

Александрова Т.Е., Лазаренко А.А.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ТАНКОВОЙ ПУШКИ

Постановка задачи. В работе [1] описано устройство и принцип работы инвариантного стабилизатора танковой пушки, отличающегося от серийного стабилизатора тем, что в его состав введены датчики давления рабочей жидкости в полостях исполнительного гидроцилиндра, а электронный блок стабилизатора формирует стабилизирующий сигнал в виде:

$$U(t) = k_{\varphi}\varphi(t) + k_{\dot{\varphi}}k_c \frac{d\varphi(t)}{dt} + k_p [p_1(t) - p_2(t)], \tag{1}$$

где $\varphi(t)$ – угловое рассогласование оси канала ствола танковой пушки относительно направления на цель, измеряемое с помощью гироскопического датчика угла; $\frac{d\varphi(t)}{dt}$ – угловая скорость поворота танковой пушки относительно оси цапф, измеряемая с помощью гироскопического датчика угловой скорости; $p_1(t), p_2(t)$ – значения давления рабочей жидкости соответственно в верхней и нижней полостях исполнительного гидроцилиндра, измеряемые введенными датчиками давления рабочей жидкости, $k_{\varphi}, k_{\dot{\varphi}}, k_p, k_c$ – коэффициенты усиления стабилизатора.

Задача параметрического синтеза инвариантного стабилизатора состоит в отыскании численного значения параметра стабилизатора k_p , такого, чтобы запас устойчивости и быстродействие, доставляемые замкнутой системе стабилизации стабилизатором (1), достигали максимального значения.

Основная часть. Математическая модель возмущенного движения танковой пушки как стабилизируемого объекта приведена в работе [2] и имеет следующий вид:

$$I_n \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} = -k_m \Delta p(t);$$

$$T_{k1}^2 \frac{d^2\Delta p(t)}{dt^2} + T_{k2} \frac{d\Delta p(t)}{dt} + \Delta p(t) = \frac{k_e k_y k_{\delta}}{c} U(t), \tag{2}$$

где $\Delta p = p_1(t) - p_2(t)$ – разность давления рабочей жидкости полостях исполнительного гидроцилиндра; I_n – момент инерции танковой пушки относительно оси цапф; T_{k1}, T_{k2} – постоянные времени якоря электромагнита управления гидросистемой; c – коэффициент жесткости фиксирующей пружины, удерживающий якорь электромагнита в нейтральном положении; $k_m, k_e, k_y, k_{\delta}$ – коэффициенты пропорциональности.

Подставляя в правую часть второго уравнения (2) соотношение (1), получаем математическую модель замкнутой системы стабилизации танковой пушки.

Пусть численные значения параметров системы стабилизации составляют: $I_n = 736.9 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$, $T_{k1} = 10^{-2} \text{ с}$; $T_{k2} = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ с}$; $c = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $k_c = 0.2 \text{ с}^2$; $k_m = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{-1}$; $k_{\delta} = 1,228 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $k_e = 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{А}^{-1}$; $k_y = 10^{-2} \text{ Ом}$; $k_{\varphi} = 42.9 \text{ В}$; $k_{\dot{\varphi}} = 11.42 \text{ В} \cdot \text{с}^{-1}$.

Положим в (1) $k_p = 0$ и получим решение системы дифференциальных уравнений (1), (2) при начальных условиях $\varphi(0) = 0.5$; $\dot{\varphi}(0) = 0$; $\Delta p(0) = 0$; $\Delta \dot{p}(0) = 0$. Процессы в замкнутой системе приведены на рисунке 1 на интервале времени $(0 \div 5) \text{ с}$.

Будем изменять величину коэффициента усиления k_p в окрестности её нулевого значения. На рисунках 2, 3 и 4 приведены процессы в замкнутой системе при $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ соответственно. Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы.

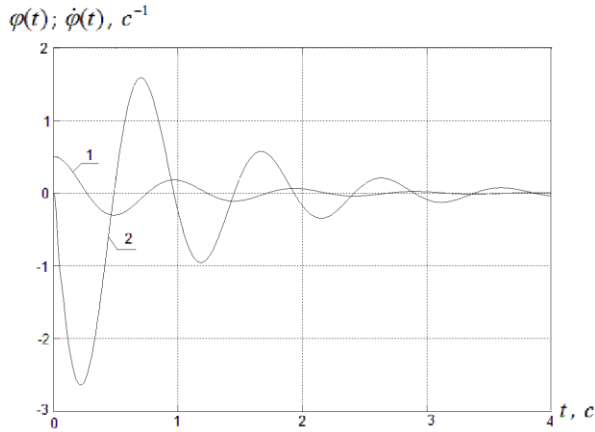


Рисунок 1 – Процессы в штатной замкнутой системе стабилизации: 1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

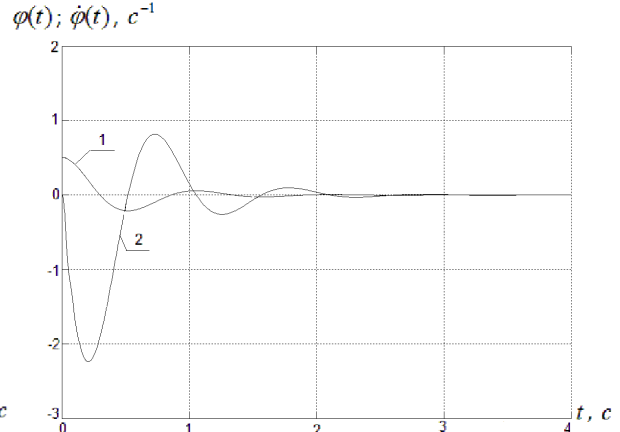


Рисунок 2 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$:

1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

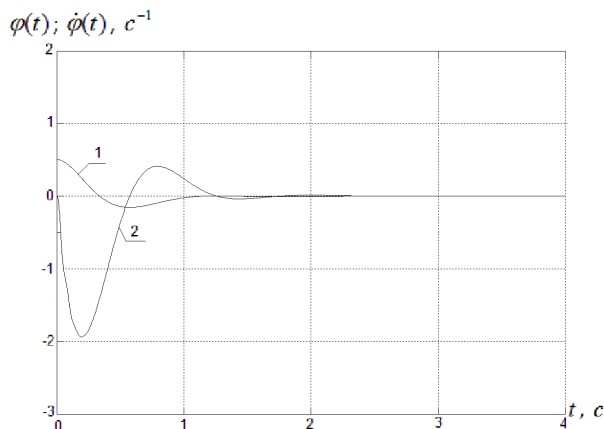


Рисунок 3 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$:

1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

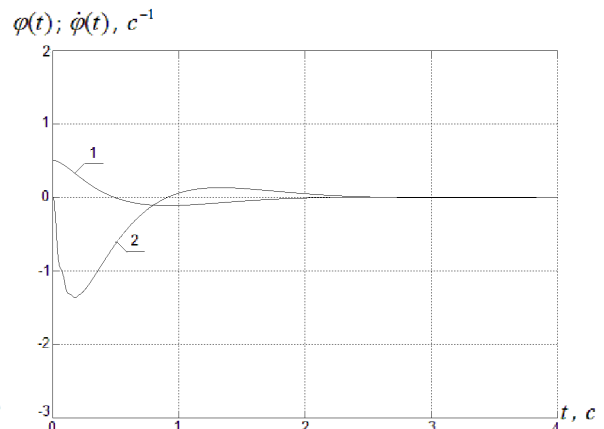


Рисунок 4 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$:

1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

Будем изменять величину коэффициента усиления k_p в окрестности её нулевого значения. На рисунках 2, 3 и 4 приведены процессы в замкнутой системе при $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ соответственно. Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы.

Выводы:

1. Введение в закон управления (1) составляющей, пропорциональной разности давлений рабочей жидкости в полостях гидроцилиндра приводит к повышению качества процессов стабилизации, а именно, к повышению запаса устойчивости быстродействию системы стабилизации.
2. Увеличение коэффициента усиления k_p до величины $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ позволяет уменьшить величину перерегулирования по углу от 0,3 рад штатном стабилизаторе до 0,15 рад при инвариантном стабилизаторе и по угловой скорости от 2,7 рад·с⁻¹ до 1,9 рад·с⁻¹ соответственно.

3. Время переходного процесса для штатного стабилизатора составляет 4 с, а для инвариантного стабилизатора при $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ составляет 1,5 с, что свидетельствует о повышении быстродействия в 2,5 раза.

4. Дальнейшее возрастание коэффициента k_p от $-2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ приводит к незначительному повышению запаса устойчивости системы стабилизации при существенном ухудшении быстродействия; так, при $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ перерегулирование по углу составляет 0,12 рад, по угловой скорости $1,4 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$, но время затухания переходных процессов возрастает до 2,5 с.

Литература

1. Александрова Т.Е., Александрова И.Е., Лазаренко А.А. Инвариантный стабилизатор танковой пушки// Интегровані технології та енергозбереження. – 2012. – №2. – С. 18–20.
2. Александров Е.Е., Александрова И.Е., Костяник И.В. Выбор коэффициентов усиления электронного блока танковой системы наведения и стабилизации// Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2006. – Вип. 2(8). С. 55–57.

УДК 519.81: 681.51

Александрова Т.С., Лазаренко А.О.

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНВАРІАНТНОГО СТАБІЛІЗАТОРА ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ

Розглянута задача вибору значення коефіцієнту підсилення по тиску інваріантного стабілізатора танкової гармати, який забезпечує підвищення запасу стійкості і швидкої дії замкненої системи стабілізації.

Alexandrova T., Lazarenko A.

PARAMETRIC SYNTHESIS INVARIANT STABILIZER TANK GUN

The problem is selected the gain on the pressure invariant stabilizer tank gun, which provides increased stability margin and rapid stabilization of the closed-loop system.