

Александров Евгений Евгеньевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры автомобилей Харьковского национального автомобильно-дорожного университета

Костяник Ирина Витальевна, к. т. н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем колесных и гусеничных машин имени А. А. Морозова Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМОБИЛЯ

Автоматическое управление тормозной системой автомобиля состоит, по крайней мере, из трех параллельно работающих систем автоматического управления: антиблокировочной системы (ABS), которая предохраняет колеса от блокирования при резком нажатии на педаль тормоза; противобуксовочная система (TRC), которая предохраняет ведущие колеса от буксования при чрезмерном нажатии на педаль управления подачей топлива; системы поддержания курсовой устойчивости (VSC) и повышения управляемости автомобиля при утрате сцепления колес с дорогой [1].

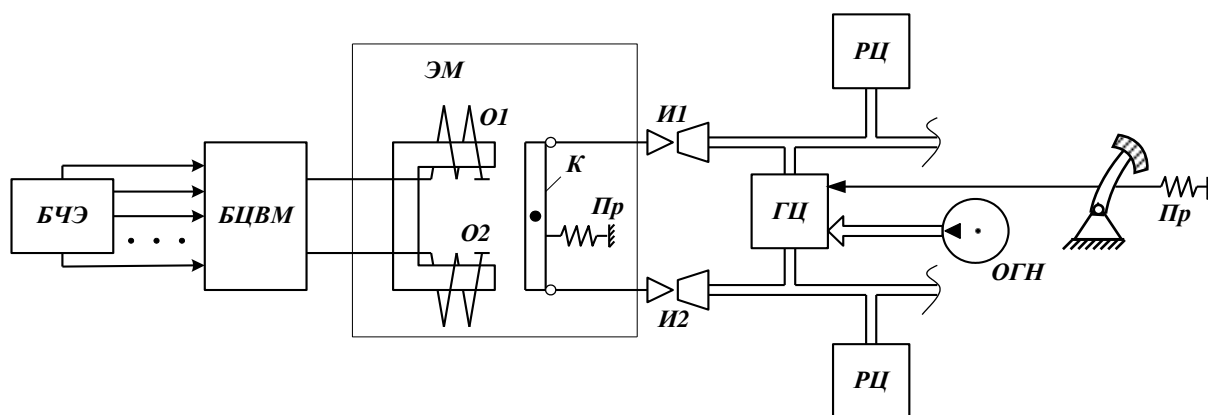


Рисунок 1 – Рабочая схема системы VSC

Как система ABS, так и система TRC постоянно поддерживают устойчивость направления движения автомобиля. Однако точность поддержания курсовой устойчивости автомобиля с помощью этих двух систем может быть недостаточной в случае утраты сцепления двумя передними или двумя задними колесами и характерного для этой ситуации заноса автомобиля. В этом случае вступает в действие система VSC, рабочая схема которой приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: БЧЭ – блок чувствительных элементов; БЦВМ – бортовая цифровая вычислительная машина; ЭМ – электромагнит; O1, O2 – обмотки ЭМ; K – коромысло ЭМ; Пр – фиксирующие пружины; И1, И2 – запорные иглы; ГЦ – головной цилиндр; ПТ

– педаль тормоза; ОГН – объемный гидронасос; РЦ – рабочие цилиндры колес правого и левого бортов.

Если автомобиль совершает движение в строго требуемом направлении, то под действием фиксирующей пружины коромысло электромагнита находится в нейтральном положении, а давление тормозной жидкости, создаваемое головным цилиндром, одинаково в рабочих цилиндрах колес правого и левого бортов автомобиля.

При заносе автомобиля на него реагируют соответствующие датчики блока чувствительных элементов, а БЦВМ формирует отличный от нуля управляющий сигнал, приводящий к отклонению коромысла электромагнита от нейтрального положения и к соответствующему перемещению запорных игл И1 и И2. При этом давление тормозной жидкости в рабочих цилиндрах забегающего борта автомобиля увеличивается, а в рабочих цилиндрах отстающего борта уменьшается, что приводит к возвращению корпуса автомобиля к заданному положению [2].

Авторами получено характеристическое уравнение замкнутой системы VSC, приведенной на рис. 1, имеющее следующий вид

$$T_{1k}^2 T_y s^5 + (T_{2k} T_y + T_{1k}^2) s^4 + (T_y + T_{2k}) s^3 + s^2 + k_0 k_{\psi} s + k_0 k_{\psi} = 0, \quad (1)$$

где  $T_y$  – постоянная времени управляющей обмотки электромагнита;  $T_{1k}, T_{2k}$  – постоянные времени коромысла;  $k_0$  – коэффициент усиления разомкнутой системы VSC;  $k_{\psi}, k_{\dot{\psi}}$  – варьируемые константы БЦВМ, подлежащие выбору.

В характеристическом уравнении (1) произведем замену [3]

$$s = j\omega,$$

выделим в полученном соотношении действительную и мнимую части, приравняем их нулю и из полученных зависимостей получаем

$$\begin{aligned} k_{\psi} = \frac{1}{k_0} \{ & 4T_{1k}^2 T_y (\alpha^5 - \alpha^3 \omega^2 - \alpha \omega^4) + \\ & + (T_{2k} T_y + T_{1k}^2) (3\alpha^4 + 2\alpha^2 \omega^2 - \omega^4) + \\ & + (T_y + T_{2k}) (2\alpha^3 + 5\alpha \omega^2) + \alpha^2 + \omega^2 \}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} k_{\dot{\psi}} = \frac{1}{k_0} \{ & -T_{1k}^2 T_y (5\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + \omega^4) - \\ & - 4(T_{2k} T_y + T_{1k}^2) \alpha (\alpha^2 - \omega^2) - \\ & - (T_y + T_{2k}) (3\alpha^2 - \omega^2) - 2\alpha \}. \end{aligned} \quad (3)$$

Значения параметров математической модели системы примем равными:

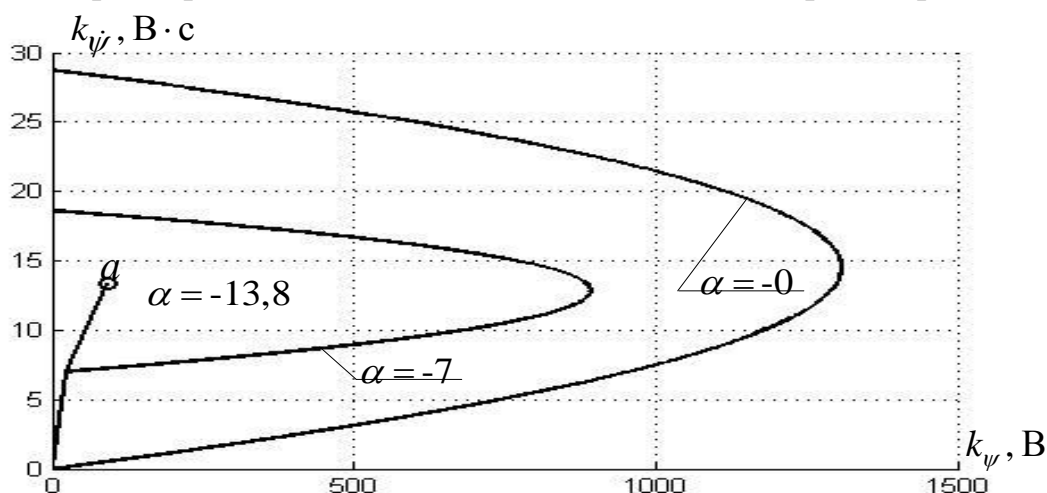


Рисунок 2 – Области равной степени устойчивости

$$k_0 = 1,9 \text{ В}^{-1}; T_y = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ с}; T_{1k}^2 = 10^{-4} \text{ с}; T_{2k} = 0,55 \cdot 10^{-2} \text{ с}.$$

На рис. 2 приведены зависимости, построенные с помощью соотношений (2) и (3) при  $\alpha \leq 0$  и при изменении  $\omega$  от нуля до бесконечности. Точка  $a$  соответствует максимальному запасу устойчивости и максимальному быстродействию [4] замкнутой системы  $\alpha^* = -13,8$ . Оптимальные значения варьируемых параметров электронного блока определяются положением точки  $a$  и составляют  $k_{\psi}^* = 90,49 \text{ В}$ ,  $k_{\dot{\psi}}^* = 13,40 \text{ В} \cdot \text{с}$ .

## Литература

1. Бажинов О. В. Гібридні автомобілі/О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков та ін. – Харків: КРОК, 2018. – 327с.
2. Александров Е. Е. Повышение устойчивости и управляемости колесных машин в тормозных режимах/Е. Е. Александров, В. П. Волков, М. А. Подригало и др. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – 320с.
3. Орурк И. А. Новые методы синтеза линейных и некоторых нелинейных систем. / И. А. Орурк. – М.–Л.: Наука, 1965. – 207с.
4. Aleksandrov Ye.Ye. The method of Main Coordinate in the Theory of Parametric Synthesis of the Linear Stabilized Systems / Ye. Ye. Aleksandrov, T. Ye. Aleksandrova // Journal of Automation and Information Sciences. – 2017. – №49(3). – Pp. 34–35.