

# СИНТЕЗ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Чернышев Н.Н., группа АТ – 00а

Руководитель доц. Рафиков Г.Ш.

В современных условиях для подавляющего большинства стран основным видом транспорта является железнодорожный. Опыт эксплуатации таких магистралей показывает, что рост скоростей неизбежно связан с возрастанием расходов на строительство и содержание пути, уменьшением коэффициента сцепления колес с рельсами, ухудшением устойчивости движения поездов, увеличением уровня шумов, создаваемых поездом, наличием трудностей в регулировании движения на участках, сочетающих высокоскоростные и обычные поезда [1].

Для новых транспортных систем должны быть характерны отсутствие загрязнения окружающей среды и предельное ограничение шума, незначительная потребность в полезных земельных площадях. По мнению специалистов многих стран, таким транспортом должен стать принципиально новый высокоскоростной наземный транспорт (ВСНТ) с магнитным подвешиванием (МП) экипажей и бесконтактной передачей тягового усилия благодаря электромагнитному взаимодействию элементов линейных электродвигателей [2].

Одной из наиболее сложных задач, которые необходимо решить при создании систем ВСНТ с электромагнитным подвешиванием (ЭМП), является проблема управления экипажем в пространстве с помощью автоматической системы регулирования зазора между полюсами электромагнита и феррорельсами [3]. Для обеспечения устойчивости ЭМП экипажа ВСНТ используют различные комбинации сигналов обратных связей по зазору,

скорости и ускорению изменения зазора и т.п. Разрабатываемая система стабилизации зазора, помимо указанных свойств объекта, должна учитывать малое значение зазора, стабилизация которого осуществляется с большой точностью; разнообразие возмущений, действующих на экипаж; необходимость обеспечения требования комфорта для пассажиров.

Рассмотрим структурную схему системы управления электромагнитного подвеса ВСНТ, представленную на рис. 1.

На рис. 1 введены следующие обозначения:  $\delta$  – зазор;  $\varepsilon$  – сигнал рассогласования;  $z_э$  – координата электромагнита;  $z_п$  – координата пути;  $T_э$  – постоянная времени электромагнита (ЭМ);  $R$  – сопротивление ЭМ;  $m$  – масса экипажа;  $K_{тп}$  – коэффициент усиления вентильного преобразователя;  $K_I, K_\delta$  – коэффициенты передачи от тока и зазора к силе;  $K$  – коэффициент передачи от скорости изменения зазора к э. д. с. индукции.

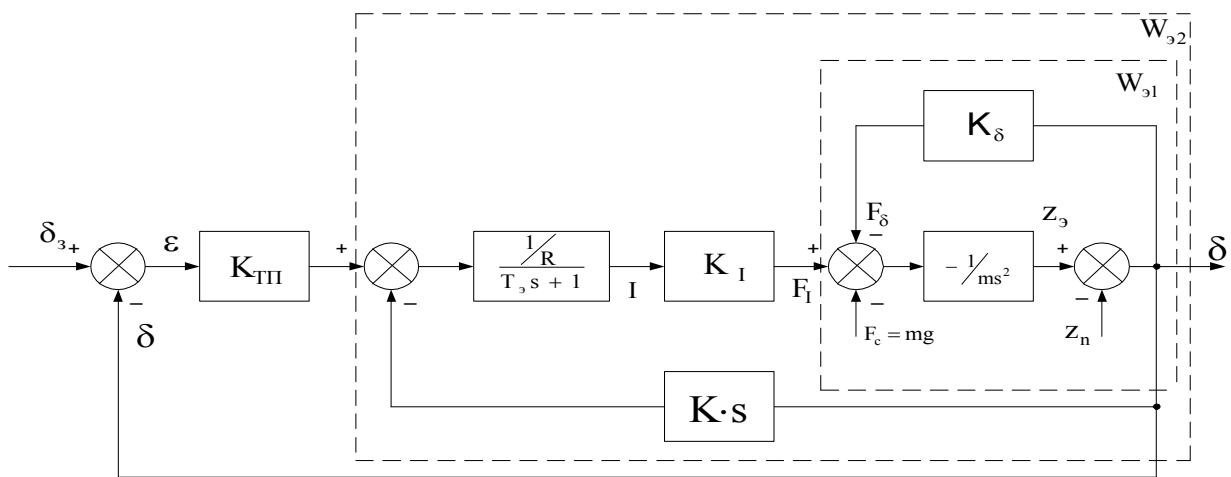


Рисунок 1 – Структурная схема системы автоматического регулирования зазора

Определим передаточную функцию разомкнутой системы по регулируемой величине  $\delta$ :

$$W_{\text{раз}}(s) = \frac{\delta(s)}{\varepsilon(s)} = K_{\text{ТП}} W_{\Sigma 2}(s) = \frac{\frac{1}{R} K_I K_{\text{ТП}}}{(T_3 s + 1)(K_\delta - m s^2) + \frac{1}{R} K_I K_\delta s} = \frac{\frac{1}{T_3 m} \cdot \frac{1}{R} K_I K_{\text{ТП}}}{s^3 + \frac{1}{T_3} s^2 - \frac{1}{T_3 m} (T_3 K_\delta + \frac{1}{R} K_I K_\delta) s - \frac{1}{T_3 m} K_\delta}, \quad (1)$$

Введем обозначения:

$$b_0 = \frac{1}{T_3 m} \cdot \frac{1}{R} K_I K_{\text{ТП}}, \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{1}{T_3}, \quad (3)$$

$$a_2 = -\frac{1}{T_3 m} (T_3 K_\delta + \frac{1}{R} K_I K_\delta), \quad (4)$$

$$a_3 = -\frac{1}{T_3 m} K_\delta. \quad (5)$$

После подстановки формул (2) – (5) в (1), получим

$$W_{\text{раз}}(s) = \frac{\delta(s)}{U(s)} = \frac{b_0}{s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3}. \quad (6)$$

где  $U(s) = \varepsilon(s)$  – управляющее воздействие (в виде сигнала рассогласования) поступающее на вход системы.

Исходными численными значениями параметров рассматриваемой системы являются:  $m=25$  кг,  $R=0,39$  Ом,  $T_3=0,1$  с,  $K_{\text{ТП}}=10$  В/В,  $K_I=16$  Н/А,  $K_\delta=8 \cdot 10^3$  Н/м,  $K=4,8$  В·с/м.

Перейдем от передаточной функции (6) к дифференциальному уравнению вида:

$$\overset{\dots}{\delta}(t) + a_1 \overset{\dots}{\delta}(t) + a_2 \overset{\cdot}{\delta}(t) + a_3 \delta(t) = b_0 U(t). \quad (7)$$

От дифференциального уравнения вида (7) осуществлен переход к уравнениям состояния системы ЭМП в непрерывной и дискретной форме. Для дискретной формы уравнения состояния вычислена матрица перехода  $\Phi(T)$  размерности  $(3 \times 3)$  и матрица управляемого перехода  $h(T)$  размерности  $(3 \times 1)$ .

На основе полученной математической модели дискретной динамической системы (ДДС) произведен синтез модального регулятора и наблюдателя состояния пониженного порядка методом Аккермана [4]. Далее получена математическая модель, описывающая систему с динамическим регулятором.

Для автоматизации всех вычислительных операций разработано программное обеспечение с использованием пакета прикладных программ Matlab [5].

Варьированием параметрами ( $T_s$ ,  $K_{TP}$ ,  $K_I$ ,  $K_S$  и  $K$ ) исходной динамической системы на  $\pm 20\%$  и  $\pm 50\%$  получены следующие процессы.

На рис. 2 представлены переходные процессы ДДС с динамическим регулятором при изменении значения постоянной времени ЭМ  $T_s$  на  $\pm 20\%$  и  $\pm 50\%$  от номинальных значений. При отклонении  $T_s$  на  $-50\%$  от номинального значения, в системе наблюдаются неустойчивые колебания.

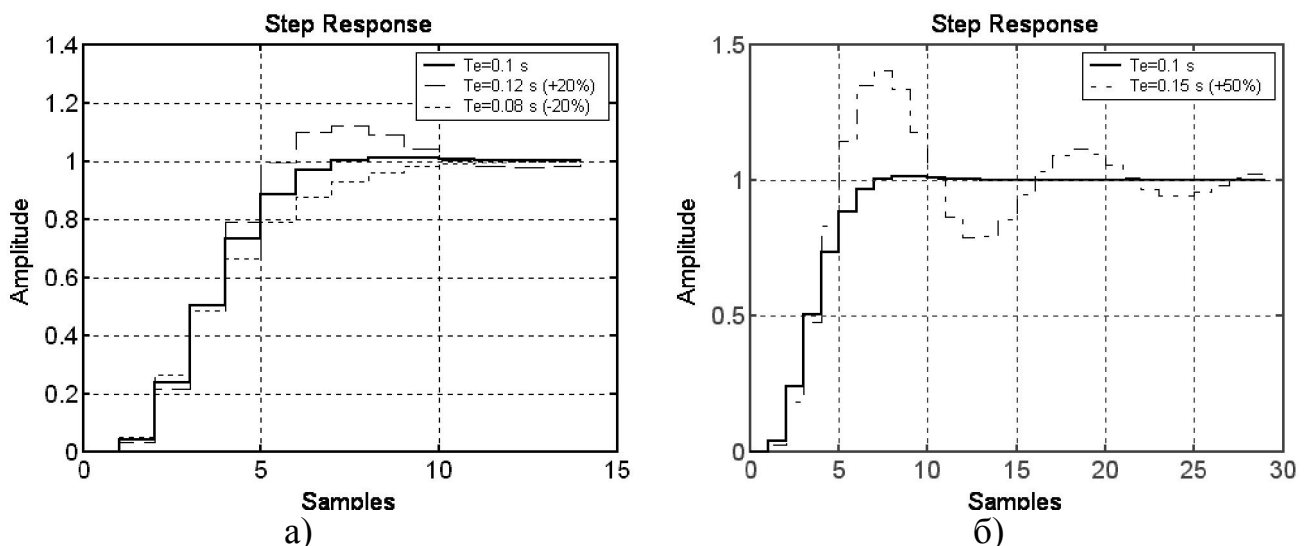


Рисунок 2 – Реакция замкнутой ДДС на единичный скачок при отклонении значения  $T_s$  на  $\pm 20\%$  (рис. 2 а));  $+50\%$  (рис. 2 б)) от номинального значения

В результате проведенного экспериментального моделирования можно сделать вывод о том, что в номинальном режиме имеется незначительное перерегулирование  $\sigma$ , которым можно пренебречь; время переходного процесса

составляет 0,24 с; наиболее чувствительным параметром является постоянная времени ЭМ  $T_3$ . Практически не чувствительными являются параметры:  $K_{тп}$ ,  $K_I$ ,  $K_\delta$  и  $K$ .

Выводы по работе:

1. Получена математическая модель исследуемой ДДС в пространстве состояний.
2. Решена задача синтеза динамического регулятора на основе желаемого размещения полюсов замкнутой системы.
3. Проведено экспериментальное моделирование исследуемой ДДС с получением переходных процессов в номинальном и возмущенном режимах работы.
4. Синтезированная ДДС электромагнитного подвеса оказалась робастной по отношению к нечувствительным параметрам.

#### Перечень ссылок

1. Бочаров В.И., Винокуров В.А., Исаков И.П. Проблемы транспортной экономики и энергетики, пути их решения. В кн. Высокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом. Под ред. В.И. Бочарова и В.Д. Нагорского. – М.: Транспорт, 1985. 273 с.
2. Бочаров В.И., Васюков О.Н. Системы наземного транспорта с магнитным подвесом и линейными тяговыми электродвигателями. В кн. Высокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом. Под ред. В.И. Бочарова и В.Д. Нагорского. – М.: Транспорт, 1985. 273 с.
3. Режко Н.А. Системы управления электромагнитным подвесом. В кн. Высокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом. Под ред. В.И. Бочарова и В.Д. Нагорского. – М.: Транспорт, 1985. 273 с.
4. Katsuhiko Ogata. Designing Linear Control System With MATLAB. Prntice – Hall, I no Engliwood Cliffs № I07632. – 1994 – 226 p.
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Control System Toolbox. MATLAB 5 для студентов/ Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 1999 – 278 с. (Пакеты прикладных программ).