

В этой лабораторной работе вы реализуете управление мотором EV3 с помощью обратной связи. Для этого вы должны использовать релейный, пропорциональный и пропорционально-интегрально-дифференциальный регуляторы. Целью управления в каждом случае является поворот мотора на 180 градусов. То есть,

$$\theta(0) = 0^\circ, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = 180^\circ.$$

В некоторых случаях цель управления не будет достигнута, и это нормально. Для описания качества получаемых переходных процессов необходимо использовать следующие понятия:

*Время переходного процесса* – наименьшее число  $t_n$  такое, что

$$t \geq t_n \quad \Rightarrow \quad |\theta(t) - 180^\circ| \leq 0.05 \cdot 180^\circ.$$

Иначе говоря, это такой момент времени, когда траектория  $\theta(t)$  замкнутой системы в последний раз пересекает границу пятипроцентного коридора от заданной величины, попадает внутрь этого коридора и более не покидает его.

*Установившаяся ошибка* – обозначается  $e_{уст}$  и определяется формулой

$$e_{уст} = |\theta_{уст} - 180^\circ| = \left| \lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) - 180^\circ \right|.$$

Представляет собой итоговую разницу между установившимся и желаемым значением выходной величины.

*Перерегулирование* – обозначается  $\sigma$  и определяется формулой

$$\sigma = \frac{\theta_{\max} - \theta_{уст}}{\theta_{уст}} \times 100\%,$$

где  $\theta_{\max}$  – наибольшее значение функции  $\theta(t)$  на рассматриваемом промежутке времени. Перерегулирование показывает, насколько сильно траектория «перелетела» выше установившегося значения в начале переходного процесса.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы, получите с двигателя данные, которые позволят идентифицировать параметры его упрощенной модели. Фактически, вам нужно просто узнать, сколько вольт соответствуют 100% в том двигателе, который вы взяли в этот раз. Поскольку коэффициент  $k_e$  вы уже знаете из прошлой лабораторной работы, сделать это будет несложно: достаточно будет узнать, чему равно  $\omega_{уст}$  при  $U = 100\%$  и умножить это значение на  $k_e$ . Результат пригодится вам при построении схемы моделирования.

1. Релейный регулятор.

1.1. Сформировать закон управления в виде

$$U = \begin{cases} 100\%, & \theta < 180^\circ, \\ 0, & \theta = 180^\circ, \\ -100\%, & \theta > 180^\circ. \end{cases}$$

1.2. Получить экспериментальный график  $\theta(t)$ , сравнить его с графиком, полученным со схемы моделирования.

2. П-регулятор.

2.1. Сформировать П-регулятор, работающий по формуле

$$U = k_p(180^\circ - \theta).$$

Если величина  $U$  выходит за границы допустимого отрезка значений  $[-100\%, 100\%]$ , следует подавать соответствующее граничное значение.

2.2. Подобрать «маленький» коэффициент  $k_p$ , при котором величина установившейся ошибки удовлетворяет неравенству

$$30^\circ \leq e_{\text{уст}} \leq 120^\circ.$$

Получить экспериментальный график  $\theta(t)$ , сравнить его с графиком, полученным со схемы моделирования.

2.3. Подобрать «большой» коэффициент  $k_p$ , при котором величина перерегулирования составляет не менее 20%. Получить экспериментальный график  $\theta(t)$ , сравнить его с графиком, полученным со схемы моделирования.

2.4. Подобрать «хороший» коэффициент  $k_p$ , при котором перерегулирование, время переходного процесса и установившаяся ошибка достаточно малы, чтобы удовлетворить ваше эстетическое чувство. Получить экспериментальный график  $\theta(t)$ , сравнить его с графиком, полученным со схемы моделирования.

3. ПИД-регулятор.

3.1. Сформировать ПИД-регулятор, работающий по формуле

$$U(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \dot{e}(t), \quad e(t) = 180^\circ - \theta(t).$$

Интегральную составляющую можно реализовать как *сумму* значений  $e(t)$  в предыдущие моменты времени. Дифференциальную составляющую можно реализовать как *разность* между текущим и предыдущим значением  $e(t)$ .

- 3.2. Задать  $k_i = 0$ . Выбрать  $k_p$  такой, чтобы у соответствующего П-регулятора было небольшое перерегулирование ( $5\% \leq \sigma \leq 20\%$ ). Перебрать не менее трёх различных значений  $k_d$ , построить для каждого из них экспериментальный график  $\theta(t)$ , сравнить его с графиком, полученным со схемы моделирования. Постараться найти наилучшее значение коэффициента  $k_d$ , при котором и время переходного процесса, и перерегулирование будут достаточно малыми.
- 3.3. Задать  $k_d = 0$ . Выбрать  $k_p$  такой, чтобы у соответствующего П-регулятора была небольшая установившаяся ошибка ( $10^\circ \leq e_{уст} \leq 30^\circ$ ). Перебрать не менее трёх различных значений  $k_i$ , построить для каждого из них экспериментальный график  $\theta(t)$ , сравнить его с графиком, полученным со схемы моделирования. Постараться найти наилучшее значение коэффициента  $k_i$ , при котором и установившаяся ошибка, и перерегулирование будут достаточно малыми.
- 3.4. Постараться найти наилучшие коэффициенты  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ . Разрешается использовать anti-windup и любые стандартные методы настройки ПИД-регулятора (метод Циглера-Никольса и другие). Получить столько графиков, сколько захочется. Самостоятельно оценить качество переходных процессов. Сравнить их с графиками со схемы моделирования.

Для каждого экспериментального задания необходимо собрать соответствующую ему схему моделирования и провести сравнение экспериментальных и модельных графиков. Для каждого экспериментального графика необходимо рассчитать значения времени переходного процесса  $t_n$ , установившейся ошибки  $e_{уст}$  и перерегулирования  $\sigma$ .

В отчёте необходимо объяснить, как влияет каждый из коэффициентов ПИД-регулятора на каждую из характеристик переходного процесса.

УДАЧНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ!