

# ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МОДАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР

В. О. Алдохин, Е. А. Шелег, М. К. Хаджинов

Кафедра систем управления,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: vovchik.mors@gmail.com, tranceinblood@hotmail.com, kh\_m@tut.by

В данном докладе авторами предложен способ усовершенствования метода модального управления посредством формирования в модели объекта дополнительного дифференциального входа контура оценивания и дополнительного дифференциального выхода контура управления. Дифференциальный вход контура оценивания позволяет сохранить качество управления при использовании упрощенной модели объекта. Дифференциальный выход контура управления применяется для приближения свойств модели к непрерывным при дискретной (микроконтроллерной) ее реализации.

## ВВЕДЕНИЕ

Решаем задачу управления объектом с использованием упрощенной модели объекта в пространстве состояний. Упрощение заключается в пренебрежении малыми постоянными времени  $T_i$ , находящимися за частотой среза.

Для модели могут быть рассчитаны модальный регулятор контура управления  $K$  и контура оценивания  $L$ , как дополнительный выход и вход модели. Отрицательная обратная связь с выхода регулятора  $K$  заводится на вход модели. Обратная связь по рассогласованию между выходом объекта  $y(t)$  и выходом модели  $\hat{y}(t)$  заводится на вход регулятора  $L$ . Это стандартная система управления с наблюдателем и модальным регулятором [1,2]. Она представлена на рис. 1.

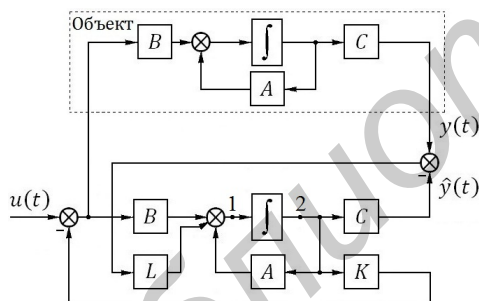


Рис. 1 – Структурная схема стандартной системы управления

## 1. ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВХОДА КОНТУРА ОЦЕНИВАНИЯ

Предположим, что можно сформировать дополнительный вход  $L$  за интегратором в точке 2 (см. рис. 1). Сигнал этого входа является дифференциальным по отношению к сигналу входа модели  $L$  в этой же точке, так как не интегрирован. Но за интегратором сформировать вход нельзя, поэтому переносим его [вход] через матрицы  $A$ ,  $K$  и  $C$  на вход модели. В результате получаем дополнительный дифференциальный вход модели  $dL$ , а в матрицы  $B$  и  $D$  добавляется по столбцу (см. рис. 2).

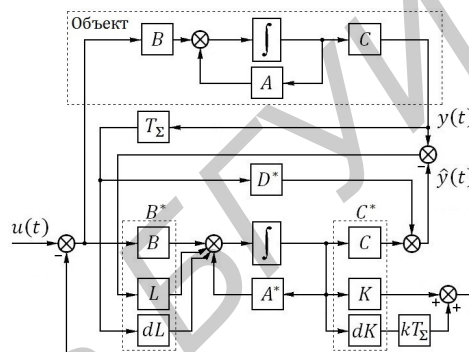


Рис. 2 – Структурная схема системы управления с дополнительными дифференциальными входом и выходом модели объекта

Матричное описание разомкнутой модели (3 входа, 2 выхода):

$$A^* = A; \quad B^* = [B \quad L \quad A \cdot L], \quad (dL = A \cdot L);$$

$$C^* = \begin{bmatrix} C \\ K \end{bmatrix}; \quad D^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & C \cdot L \\ 0 & 0 & K \cdot L \end{bmatrix}.$$

Передачная функция модели по входу  $dL$  отличается от передачной функции по входу  $L$  на множитель  $s$ , что свидетельствует о наличии дифференцирования:

$$W_L = \frac{ch}{zn}; \quad W_{dL} = \frac{s \cdot ch}{zn}.$$

Дифференциальный модальный регулятор можно рассчитать для любой модели с нулевой матрицей  $D$ . На дифференциальный вход модели  $dL$  подается выход объекта с коэффициентом передачи, равным сумме неучтенных при создании модели постоянных времени  $T_\Sigma = \sum T_i$ .

В результате вышеописанных преобразований получаем эквивалент регулятора по производной, т.е. дифференциальный модальный регулятор контура оценивания. Таким образом вход модели  $dL$  дает эффект ПД-регулятора без дополнительной инерционности на базе модели. Вид характеристик регулирования объекта для случаев со входом  $dL$  и без него представлен на рис. 3.

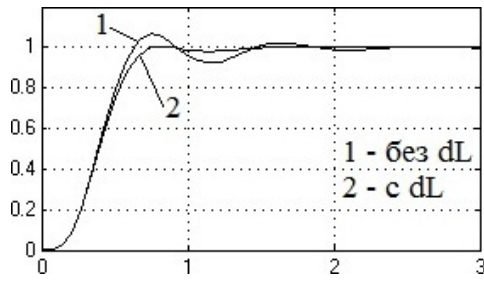


Рис. 3 – Характеристики регулирования объекта для случая с dL и без него

## II. ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВЫХОДА КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ

Предположим, что можно сформировать дополнительный выход K до интегратора в точке 1 (см. рис. 1). Сигнал этого выхода является дифференциальным по отношению к сигналу выхода модели K, так как не интегрирован. Но перед интегратором сформировать выход нельзя, поэтому переносим его [выход] через матрицы B, L и dL на выход модели. В результате получаем дополнительный дифференциальный выход модели dK, а в матрицы C и D добавляется по строке (см. рис. 2).

Матричное описание разомкнутой модели (3 входа, 3 выхода):

$$A^* = A; \quad B^* = [B \quad L \quad A \cdot L], \quad (dL = A \cdot L);$$

$$C^* = \begin{bmatrix} C \\ K \\ K \cdot A \end{bmatrix}, \quad (dL = A \cdot L);$$

$$D^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & C \cdot L \\ 0 & 0 & K \cdot L \\ K \cdot B & K \cdot L & K \cdot A \cdot L \end{bmatrix}.$$

Передаточная функция модели по выходу dK отличается от передаточной функции по выходу K на множитель s, что свидетельствует о наличии дифференцирования:

$$W_K = \frac{ch}{zn}; \quad W_{dK} = \frac{s \cdot ch}{zn}.$$

Таким образом получаем дифференциальный модальный регулятор контура управления.

Сигнал дифференциального выхода dK модели с коэффициентом  $kT_2$  складывается с сигналом отрицательной обратной связи по управлению. Коэффициент k изменяется прямо пропорционально периоду дискретизации.

При микроконтроллерной реализации модели относительно большие периоды дискретизации могут привести к разному системы. Введение в модель дополнительного дифференциального выхода позволяет увеличить максимальный период дискретизации, до которого система сохраняет устойчивость, и приблизить свойства управления объектом к непрерывным. Смысл сказанного иллюстрируется (см. рис. 4 и рис. 5). На них отобразены 3 процесса: непрерывный, для

случая без dK и с dK. При этом период дискретизации T1 на рис. 4 меньше, чем период дискретизации T2 на рис. 5 ( $T_1 < T_2$ ).

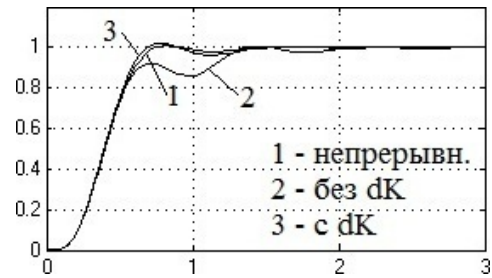


Рис. 4 – Характеристики регулирования объекта, период дискретизации T1

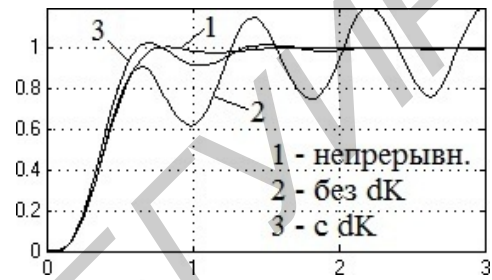


Рис. 5 – Характеристики регулирования объекта, период дискретизации T2

При мгновенной дискретизации предложенный способ дает хорошие результаты для относительно больших периодов дискретизации. При дискретизации с запаздыванием на такт максимальный период дискретизации в среднем на порядок меньше, чем при мгновенной.

## III. ВЫВОДЫ

- На базе модели объекта разработан механизм векторного дифференцирования;
- упрощенной модели, порядок которой ниже порядка объекта, уже достаточно для успешного управления;
- осуществляется компенсация неучтенных постоянных времени  $T_i$ ;
- введение в модель дополнительного дифференциального входа позволяет управлять любыми видами объектов, получая при этом хорошие характеристики регулирования;
- введение в модель дополнительного дифференциального выхода позволяет приблизить характеристики управления к непрерывным при микроконтроллерной реализации модели.

1. Филипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
2. Андриевский, Б. Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б. Р. Андриевский, А. Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2000. – 475 с.
3. Информационные технологии и управление: материалы 50-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 24-28 марта 2014 года) / редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2014. – 136 с.