

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ СО СВОЙСТВАМИ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА И КОМПЕНСАТОРОМ ВОЗМУЩЕНИЙ

Хаджинов М. К., Капустин А. И., Волот А. А.

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kh\_m@tut.by, sasha\_kapustin@mail.ru, looking-glass@list.ru

Рассматривается схемная реализация последовательной коррекции объекта. Предлагается замена характеристического полинома объекта желаемым. Дополнительно встраивается модальный регулятор  $L$  контура оценивания. Также рассматривается расширенная модель с подключённым к входу дополнительным интегратором. В качестве примера произведено моделирование трёх вариантов последовательной коррекции для неустойчивого колебательного объекта. Получен конечный результат в удобной для микроконтроллерной реализации управления объектом форме.

## ВВЕДЕНИЕ

Основными причинами использования последовательной коррекции со свойствами модального регулятора является желание сделать систему управления такой, как надо, а не такой, как получится. Задавая желаемый характеристический полином, можно сравнительно легко проводить коррекцию как разомкнутой системы, так и замкнутого контура. Расширяя систему контуром оценивания и компенсатором можно добиться астатизма системы к постоянным внешним воздействиям.

## I. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Пусть имеется объект с передаточной функцией  $W(s)$ , структурная схема которого имеет вид:

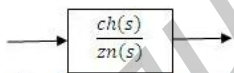


Рис. 1 – Общая структурная схема объекта

В функцию  $pol$  собраны наборы широко известных нормированных полиномов, обеспечивающих желаемую форму переходной характеристики. Для обеспечения желаемой длительности переходных характеристик зададимся масштабирующим коэффициентом, равным желаемой частоте среза контура.

## II. TF-МОДЕЛЬ РАЗОМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Последовательная эталонная  $tf$ -модель, которая своими нулями сокращает полюса объекта, вводит желаемые полюса и устанавливает общий коэффициент последовательного соединения эталонной  $tf$ -модели и объекта равным единице, имеет вид:

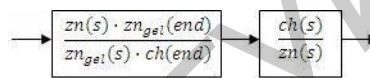


Рис. 2 – TF-модель разомкнутого управления объектом

## III. SS-МОДЕЛЬ РАЗОМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Реализация последовательной  $tf$ -модели затруднительна, поэтому переводим её в  $ss$ -модель. Для этого выделяем отдельно множитель при старшей степени  $s$  и представляем числитель как константу и разность полиномов знаменателя и числителя. Коэффициенты модального регулятора объекта вычисляются как:

$$k_{mod\_reg} = |zn_{gei}(end) - zn_{object}|$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -zn_{gei} & 0 \\ \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = |-k_{mod\_reg}| \quad D = \begin{bmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \end{bmatrix}$$

Рис. 3 – SS-модель разомкнутого управления объектом

Следует отметить не нулевые значения чисел матрицы  $D$  и связанную с этим широкую полосу пропускания.

## IV. SS-МОДЕЛЬ РАЗОМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ (С НАБЛЮДАТЕЛЕМ $L$ )

Последовательная эталонная  $ss$ -модель может быть расширена дополнительными функциями. Так, в неё легко встраивается модальный регулятор  $L$  контура оценивания в виде дополнительного столбца в матрицу  $B$ . Необходимый для контура оценивания выход модели вводится дополнительной строкой в матрицу  $C$ .

$$A = \begin{vmatrix} & -zn_{gei} & \\ 1 & \dots & 0 \\ \vdots & 1 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{vmatrix} L$$

$$C = \begin{vmatrix} -k_{mod\_reg} \\ ch \end{vmatrix} \quad D = \begin{vmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Рис. 4 – SS-модель разомкнутого управления объектом с наблюдателем L

#### V. SS-МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Корректирующее устройство с единичной обратной связью должно быть (n-1) порядка по отношению к порядку объекта. Для дополнения рассмотренной схемы единичной обратной связью необходимо свободный член желаемого характеристического полинома сделать равным нулю. Коэффициенты модального регулятора объекта:

$$k_{mod\_reg} = \begin{vmatrix} zn_{gei} |_{end=0} & -zn_{object} \\ & zn_{gei}(end) \\ & ch(end) \\ & 0 \\ & \vdots \\ & 0 \end{vmatrix}$$

$$A = \begin{vmatrix} & -zn_{gei} & \\ 1 & \dots & 0 \\ \vdots & 1 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} -k_{mod\_reg} \end{vmatrix} \quad D = \begin{vmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \end{vmatrix}$$

Рис. 5 – SS-модель замкнутого управления объектом с единичной ОС

#### VI. SS-МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ (С НАБЛЮДАТЕЛЕМ L)

Одноконтурные системы управления обеспечивают превосходные процессы по управлению, но обычно возникают проблемы с процессами по возмущению для не устойчивых объектов управления. Для таких случаев последовательная коррекция может быть расширена дополнительными функциями. Так, в неё легко встраивается модальный регулятор L контура оценивания в виде дополнительного столбца в матрицу B. Необходимый для контура оценивания выход модели вводится дополнительной строкой в матрицу C.

$$A = \begin{vmatrix} & -zn_{gei} & \\ 1 & \dots & 0 \\ \vdots & 1 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{vmatrix} L$$

$$C = \begin{vmatrix} -k_{mod\_reg} \\ ch \end{vmatrix} \quad D = \begin{vmatrix} zn_{gei}(end) \\ ch(end) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Рис. 6 – SS-модель замкнутого управления объектом с единичной ОС (с наблюдателем L)

#### VII. РАСШИРЕННАЯ SS-МОДЕЛЬ С ПОДКЛЮЧЁННЫМ ИНТЕГРАТОРОМ

Контур оценивания может базироваться на расширенной модели. Через модальный регулятор L контура оценивания интегратор привязывается к ошибке выходов объекта и модели. На этом интеграторе будет оцениваться суммарный эффект от действующих на объект внешних неизменяемых возмущений. Компенсация внешних возмущений производится подачей сигнала интегратора на вход объекта с коэффициентом -1 через модальный регулятор контура управления.

#### VIII. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫВОДЫ

Было произведено моделирование трёх вариантов последовательной коррекции. В качестве объекта был выбран неудобный вариант неустойчивого колебательного объекта. Результаты моделирования приведены на рисунке 7.

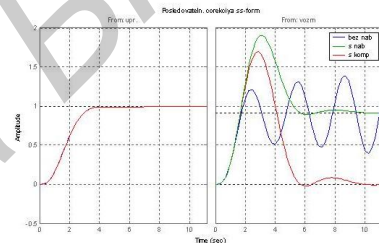


Рис. 7 – Экспериментальные данные

По управлению варианты тождественны и обеспечивают желаемый процесс. По возмущению - без контура оценивания процесс расходящийся, с контуром оценивания имеет место статическая ошибка, с контуром оценивания и компенсатором имеется астатизм к возмущениям. Таким образом для устойчивого объекта подойдут все три варианта последовательной коррекции, для неустойчивого - два последних с неодноконтурной схемой.

Конечный результат представляется в виде разностных уравнений, что позволяет реализовать последовательную коррекцию объекта управления программными средствами с использованием микроконтроллера

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов // Наука. – 1966.