

УДК 004.942.519.876.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА
В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ CoDeSys**

Инж. НОВИКОВ С. О.

Белорусский национальный технический университет

Возможности среды программирования CoDeSys для управления электроприводом постоянного тока. Большинство значимых программных проектов для персональных компьютеров (ПК) сегодня реализуется с помощью объектно-ориентированного программирования (ООП). Хотя поначалу некоторые программисты скептически относились к ООП, уменьшение сроков разработки программного обеспечения (ПО) и простота повторного использования теперь уже никем не оспариваются.

В системе программирования CoDeSys [1] полноценно реализованы фундаментальные особенности объектно-ориентированного программирования: классы, интерфейсы, наследование, полиморфизм и динамическое связывание. Компания 3S расширила стандарт МЭК 61131-3 без его изменения, введя дополнительный набор ключевых слов.

ООП – это не стандартное расширение МЭК 61131-3. Но дело упрощается тем, что в стандарте уже заложен фундамент объекта. Это функциональный блок. Даже в ранних версиях CoDeSys функциональные блоки включали в себя действия, аналогичные методам класса. Дооснащение блоков всеми свойствами объекта выглядит как абсолютно естественное их развитие. Новые ключевые слова построены на базе языка Java. Таким образом, знакомые с ООП программисты не встретят никаких затруднений при работе в CoDeSys.

Помимо собственно программ, концепция объекта в CoDeSys применяется и для других элементов проекта, как-то: графические элементы визуализации, элементы сетевой конфигурации и др.

Проектирование структуры системы управления. Учитывая, что необходимо произвести моделирование работы системы управления (СУ) электроприводом постоянного тока (ЭПТ), т. е. фактически полунатурные испытания контроллера, без использования реального объекта управления, в этом случае модель структурной схемы СУЭПТ с пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД)-регулятором в системе программирования CoDeSys будет выглядеть, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема системы регулирования скорости ДПТ

Пример реализации данной схемы в CoDeSys приведен на рис. 2.

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   MyPID: pid;
0004   sr: convert;
0005 END_VAR
  
```

```

0004 VAR_INPUT
0005   signal_deystv: REAL;
0006   signal_zad: REAL;
0007   k: REAL;
0008   tn: REAL;
0009   tv: REAL;
0010 END_VAR
0011 VAR_OUTPUT
0012   ym: REAL;
0013 END_VAR
0014 VAR
0015   xn: REAL;
0016   xn_2: REAL;
0017   xn_1: REAL;
0018   yn_1: REAL;
0019 END_VAR
0001 xn:=signal_zad - signal_deystv;
0002 yn:=yn_1 + k*xn - tn*xn_1 + tv*xn_2;
0003
0004 IF signal_deystv=0 THEN
0005   xn_2:=0;
0006   xn_1:=0;
0007   yn_1:=0;
0008 yn:=0;
0009 END_IF
  
```

Рис. 2. Пример реализации схемы системы управления ЭПТ в CoDeSys

Основная программа проектируемой системы написана на языке CFC стандарта МЭК 61131-3, а тексты функциональных блоков – на языке ST.

В модуле «Модель ДПТ» описывается математическая модель ЭПТ с использованием следующей системы уравнений [2]:

$$\begin{aligned} U_{я} &= i_{я} R_{я} + L_{я} \frac{di_{я}}{dt}; \\ M_{д} &= k_{д} i_{я}; \\ J \frac{d\omega}{dt} &= M_{д} - M_{с}. \end{aligned}$$

Решая данную систему уравнений и заменяя дифференциал разностными уравнениями в приращениях, получим следующую зависимость для вычисления скорости двигателя на n -м шаге дискретизации:

$$\omega_n = \omega_{n-1} + \frac{(M_{д} - M_{с}) \Delta t}{J}.$$

В модуле «ПИД-регулятор» описывается в разностной форме ПИД закон управления [3]

$$Y_n = Y_{n-1} + k_p \varepsilon_n - k_i \varepsilon_{n-1} + k_d \varepsilon_{n-2},$$

где Y – сигнал управления на n -м шаге; Y_{n-1} – то же на $(n-1)$ -м шаге; $\varepsilon_n, \varepsilon_{n-1}, \varepsilon_{n-2}$ – величины рассогласований между действительной и желаемой величинами скорости соответственно на n -, $(n-1)$ - и $(n-2)$ -м шагах. На вход этого блока также поданы: предельное задание по скорости $v_{зад}$; коэффициенты пропорциональный k_p , интегральный k_i и дифференциальный k_d соответственно.

Для каждого модуля все полученные значения строятся в виде графиков.

Технические характеристики двигателя. Используем для проведения полунатурных испытаний двигатель постоянного тока независимого возбуждения [4]. В номинальном режиме он имеет следующие технические данные:

- мощность $P_{ном}$ – 0,75 кВт;
- скорость вращения якоря $N_{ном}$ – 1000 об/мин;
- номинальный момент – 7,35 Н·м;
- ток якоря – 17,1 А;
- напряжение – 60 В;
- КПД – 72,9 %;
- электромагнитная постоянная времени – 3,28 мс;
- механическая постоянная времени – 25 мс;
- момент инерции – 0,0133 кг·м²;
- сопротивление якоря $R_{я}$ – 0,47 Ом.

Задачей ПИД-регулятора является цель как можно быстрее вывести систему к заданному значению. Это достигается путем расчета коэффициентов ПИД-регулятора. На рис. 3 показывается влияние коэффициентов на характер поведения переходного процесса.

Из графиков следует, что при определенных значениях коэффициентов переходный процесс будет протекать плавно, максимально быстро выводя систему к заданному уровню.

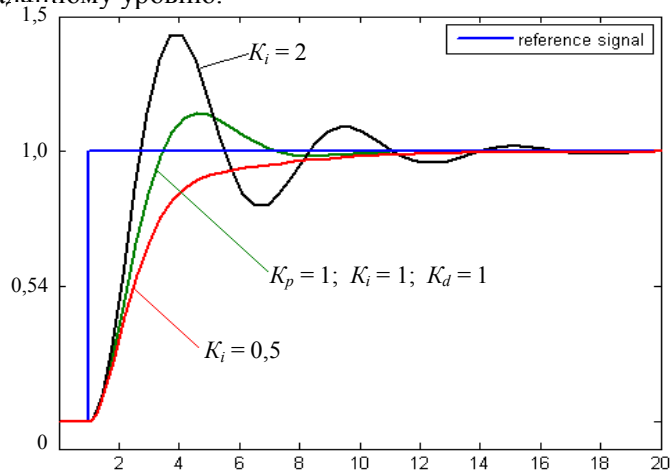


Рис. 3. Влияние коэффициентов ПИД-регулятора на характер поведения переходного процесса

Компьютерное моделирование системы. ПО системы программирования CoDeSys позволяет провести эмуляционное моделирование практически для любой разрабатываемой СУ. Для этого в ней предусмотрены такие возможности, как анимационное построение разрабатываемой системы в графическом редакторе, осциллографирование наблюдаемых параметров и многое другое. Используя возможности программного осциллографа и системы эмуляции CoDeSys, промоделируем работу СУ ЭПТ и проанализируем ее по полученным графикам поведения. Прежде чем выполнить эмуляцию рассматриваемой СУ ЭПТ, производится расчет коэффициентов ПИД-регулятора для рассматриваемой системы, а затем с помощью полученных коэффициентов проводится моделирование работы ПИД-регулятора СУ с ЭПТ. По результатам моделирования получены следующие осциллограммы трассировки наблюдаемых параметров (рис. 4).

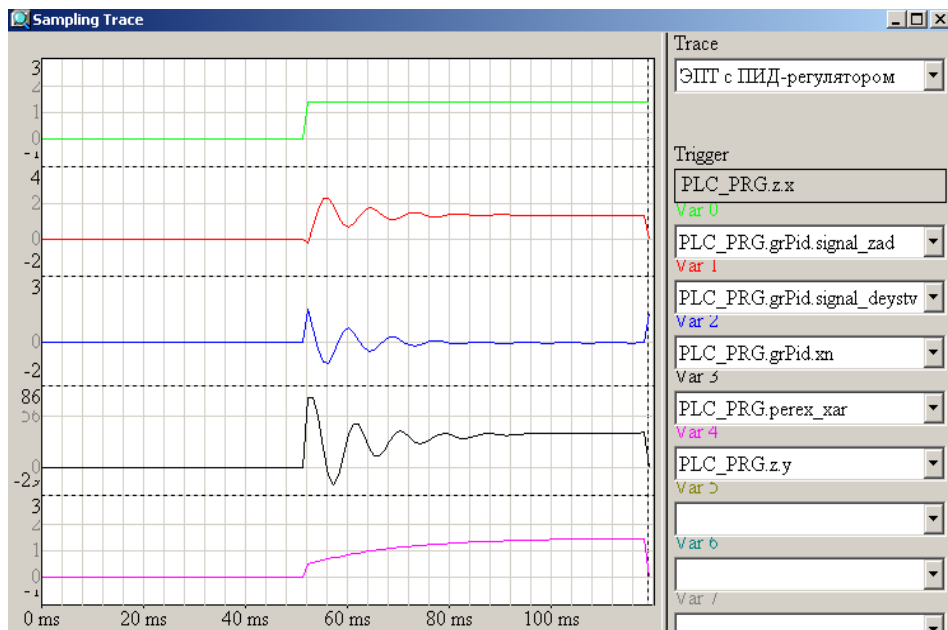


Рис. 4. Пример трассировки наблюдаемых параметров работы ПИД-регулятора с ЭПТ
Представленные на рис. 4 графики отражают поведение:

- 1) сигнала задания скорости $v_{\text{задан}}$;
- 2) сигнала действительной скорости $v_{\text{д}}$;
- 3) сигнала рассогласования ϵ ;
- 4) переходной характеристики на выходе ПИД-регулятора;
- 5) сигнала изменения нагрузки на валу двигателя.

Отладка поведения СУ с ЭПТ производится с помощью изменения коэффициентов ПИД-регулятора с целью уменьшения времени переходного процесса, а также снижения амплитуды колебаний. CoDeSys позволяет выполнить эти действия достаточно оперативно и наглядно для разработчика. В качестве примера проиллюстрируем изменение интегрального коэффициента ПИД-регулятора (рис. 5 и 6).

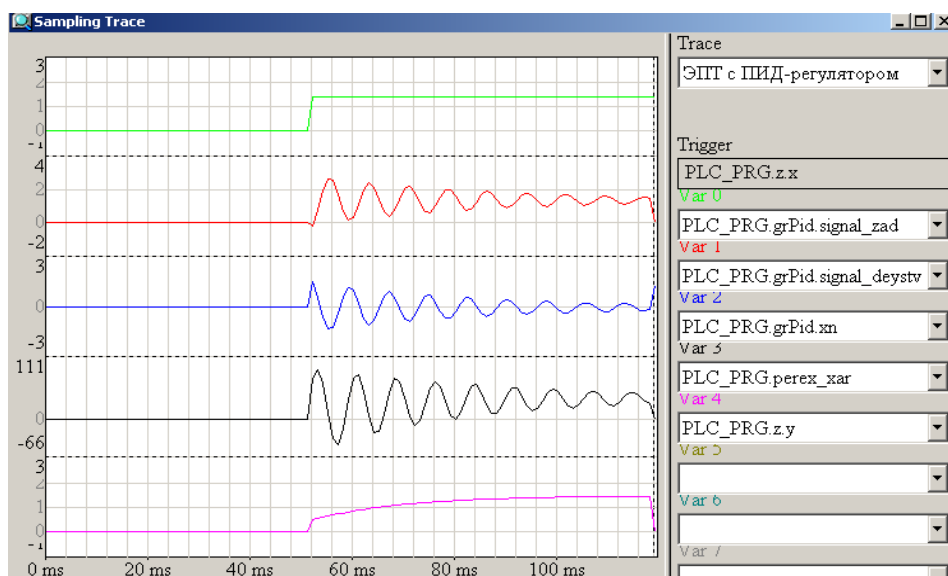


Рис. 5. Пример реализации ПИД-регулятора с ЭПТ при уменьшении в 2 раза интегрального коэффициента

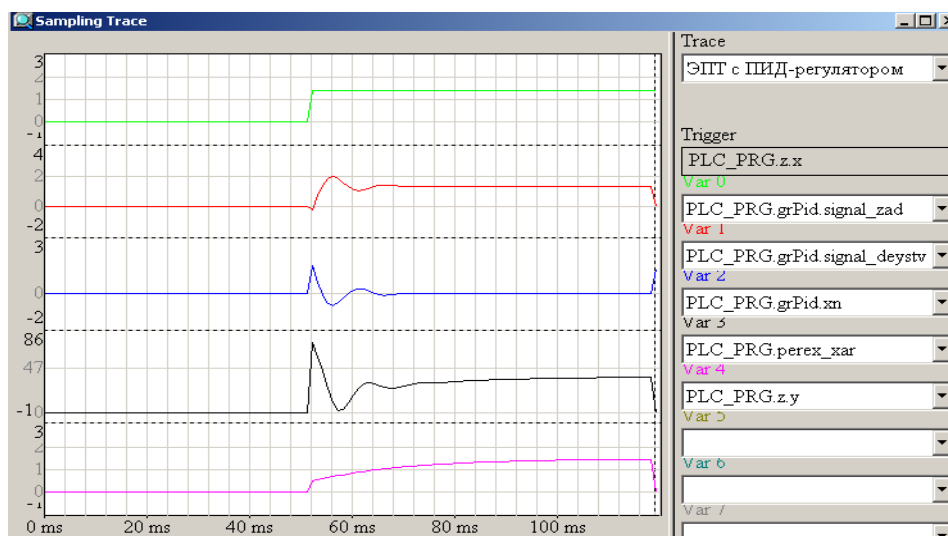


Рис. 6. Пример реализации ПИД-регулятора с ЭПТ при увеличении в 2 раза интегрального коэффициента

ВЫВОД

Представленные для анализа результаты наглядно демонстрируют возможности системы программирования CoDeSys для динамической разработки ПО сложных технических систем, которые впоследствии необходимо использовать в программируемых логических контроллерах с различными микропроцессорными платформами. CoDeSys предоставляет разработчику ПО все доступные языки программирования стандарта МЭК 61131 – CFC, FBD, LD, ST и IL. Кроме того, в данной системе имеется встроенный графический редактор, с помощью которого можно изобразить и наблюдать в действии будущую систему. Настройка программного обеспечения на конкретную микропроцессорную платформу выполняется в конфигураторе CoDeSys, при этом также настраивается система ввода-вывода информации через порты конкретного программируемого контроллера, использующего в качестве операционной системы систему программирования CoDeSys.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.3s-software.com>
2. Петров, Р. П. Оптимальное управление электроприводом с учетом ограничения по нагреву / Р. П. Петров. – Л.: Энергия, 1971. – С. 6–8.
3. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинявского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
4. Алексенко, А. Г. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на микропроцессорах / А. Г. Алексенко, А. А. Галицин, А. Д. Иванников. – М.: Радио и связь, 1984. – 259 с.

Представлена кафедрой ПОВТ и АС

Поступила 12.12.2008