



Co-funded by the  
Tempus Programme  
of the European Union

DesIRE



# КОНСТРУИРОВАНИЕ И МОНТАЖ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВЫМ МАЯТНИКОМ

Donbass State Engineering Academy (DSEA)  
Kramatorsk, Ukraine  
Subotin O.V., Donchenko E.I.



## Факультет автоматизации машиностроения и информационных технологий (ФАМИТ)

В составе факультета 4 выпускающих кафедры и 2 общеобразовательных.

Выпускающие:

- Компьютерные информационные технологии;
- Автоматизация производственных процессов;
- Электромеханические системы автоматизации и электропривод;
- Интеллектуальные системы принятия решений.

Общеобразовательные:

- Техническая механика;
- Прикладная математика и компьютерная графика.



*Мы способны решать  
комплексные задачи!*

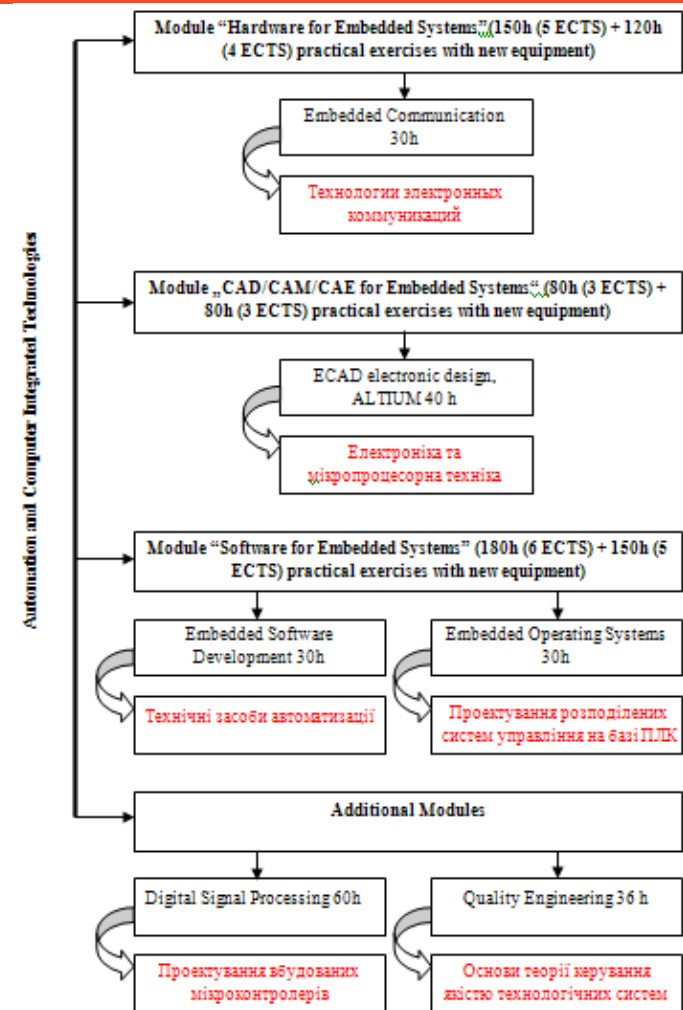


## Модернизация учебного плана

**Задача** подготовки специалиста – формирование знаний, умений и навыков в рамках направления, определяемого специальностью.

**Учебный план** должен быть направлен на формирование у студента способности комплексного решения определенной технической задачи автоматизации.

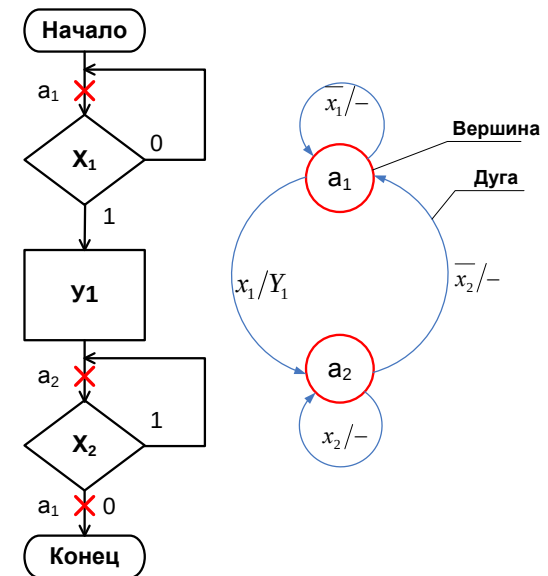
**Модернизация** учебного плана специальности АПП преследует именно такие цели.





## Что нужно знать для реализации технического проекта?

- механика, электромеханика;
- электроника, автоматика, контроллеры;
- принципы регулирования и управления;
- программирование,  
информационные технологии...





## Что нужно уметь?

- ставить задачи и представлять результаты;
- пользоваться специальным «инструментом»  
для проектирования «оборудования»...;
- владеть мат. аппаратом для реализации  
алгоритмов работы сложных систем;
- программировать...





## Навыки...

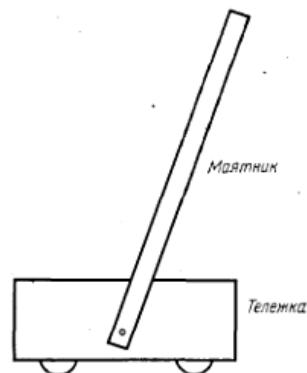
... приобретаются в результате самостоятельной работы студентов (индивидуальной или групповой) над реальным проектом...

Самостоятельная работа способствует более качественному усвоению получаемой информации и формирования знаний.

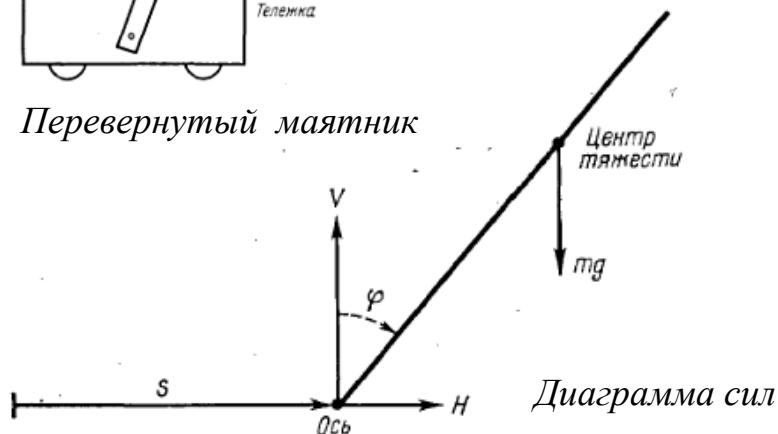
Как правило, не все студенты обладают одинаковым уровнем знаний, что делает групповые проекты более привлекательными в плане результативности проекта и приобретения навыков.



## Постановка задачи, определение алгоритма и технических средств реализации проекта



Перевернутый маятник



Система диф. уравнений состояния перевернутого маятника

$$m \frac{d^2}{dt^2} [s(t) + L \sin \varphi(t)] = H(t),$$

$$m \frac{d^2}{dt^2} [L \cos \varphi(t)] = V(t) - mg,$$

$$J \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = LV(t) \sin \varphi(t) - LH(t) \cos \varphi(t),$$

$$M \frac{d^2 s(t)}{dt^2} = \mu(t) - H(t) - F \frac{ds(t)}{dt}.$$

Упрощенное диф. уравнение состояния перевернутого  
маятника

$$\ddot{\varphi}(t) - \frac{g}{L'} \sin \varphi(t) + \frac{1}{L'} \ddot{s}(t) \cos \varphi(t) = 0,$$

где

$$L' = \frac{J + mL^2}{mL}.$$

Линеаризованное диф. уравнение

$$\ddot{\varphi}(t) - \frac{g}{L'} \varphi(t) + \frac{1}{L'} \ddot{s}(t) = 0.$$

Пространство состояний системы

$$\xi_1(t) = s(t),$$

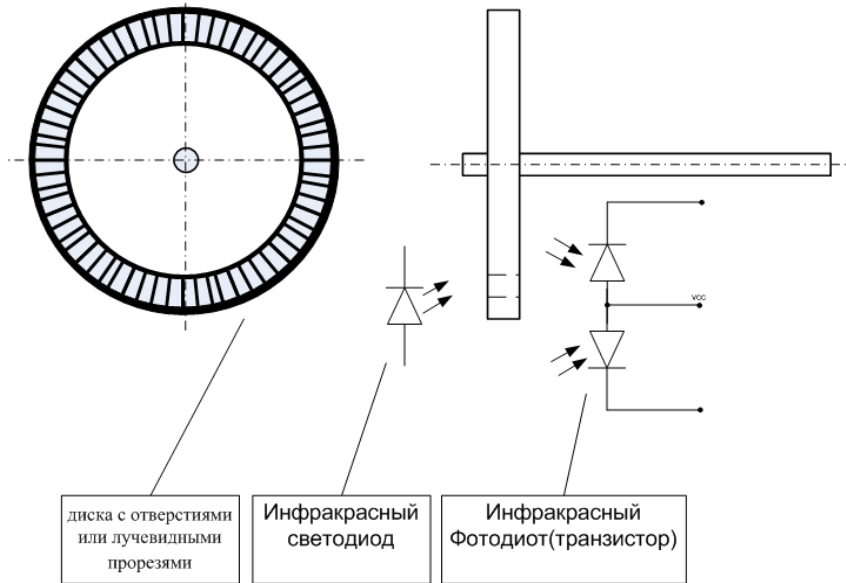
$$\xi_2(t) = \dot{s}(t),$$

$$\xi_3(t) = s(t) + L' \varphi(t),$$

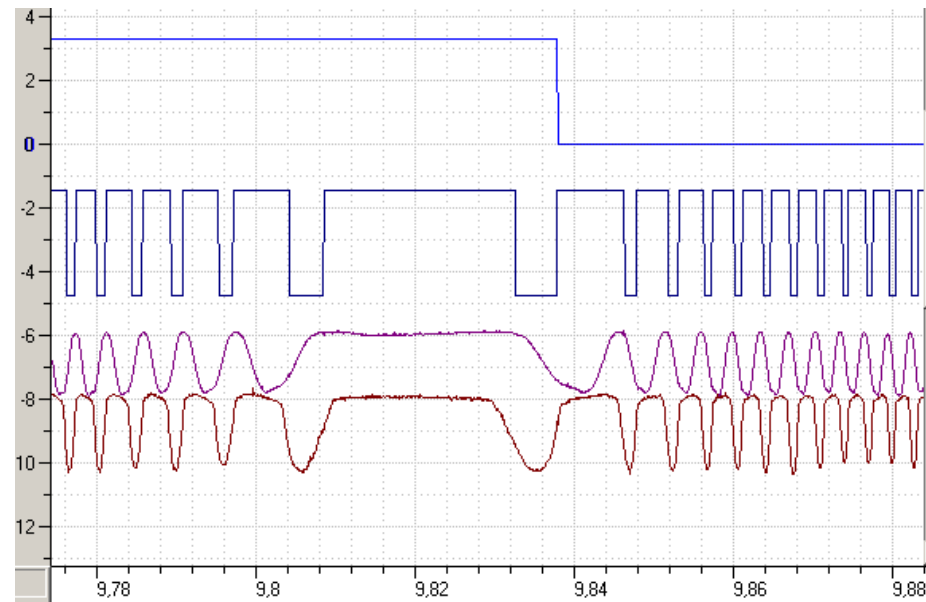
$$\xi_4(t) = \dot{s}(t) + L' \dot{\varphi}(t).$$



## Элементы конструкции датчика угла поворота



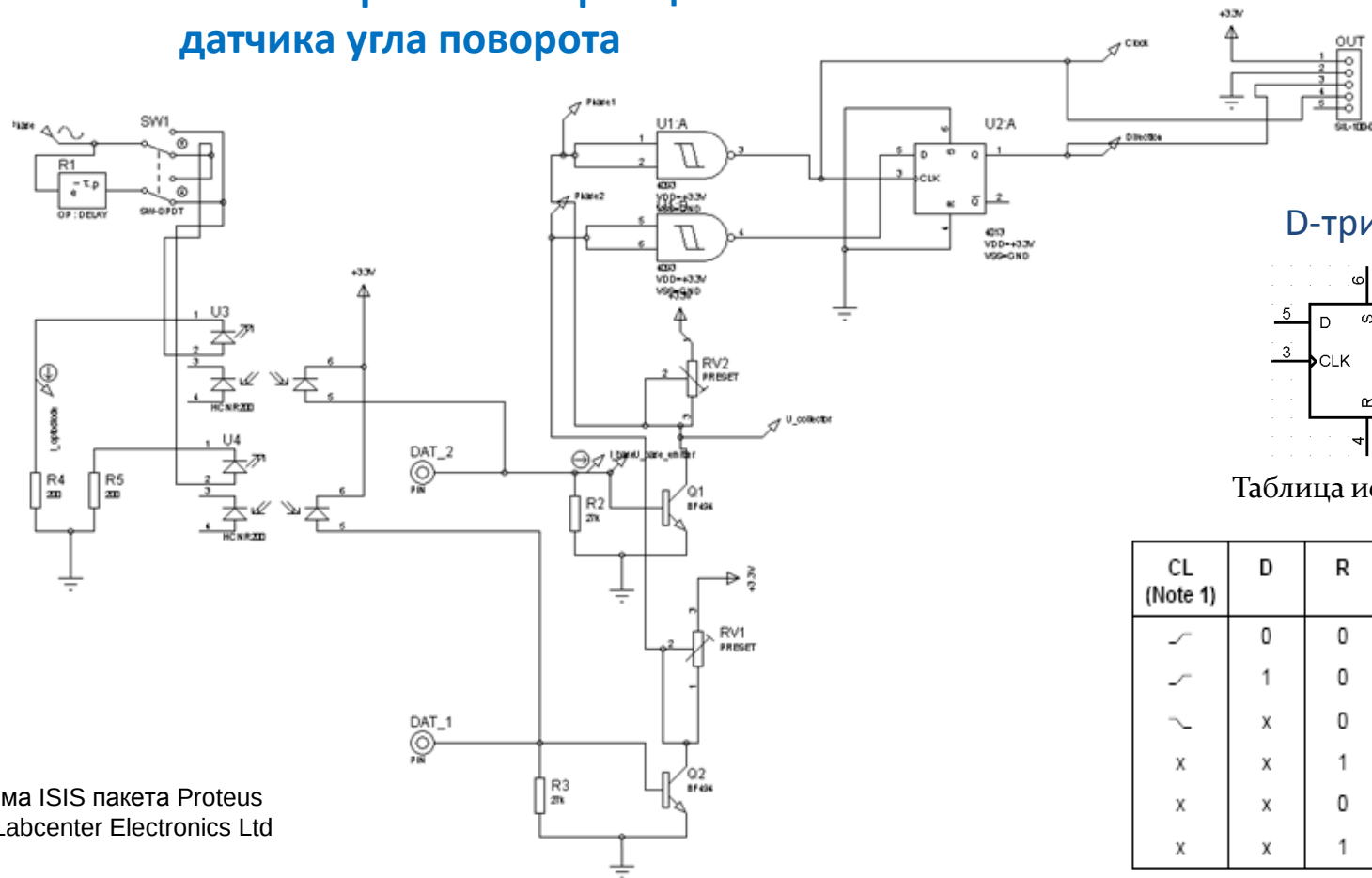
## Графики сигналов датчика угла поворота







## Разработка схемы электрической принципиальной датчика угла поворота



D-триггер

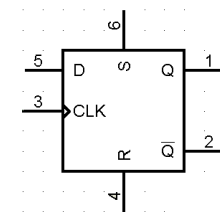


Таблица истинности

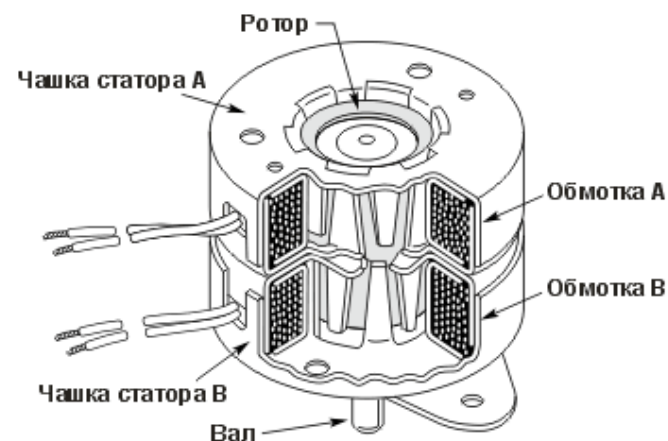
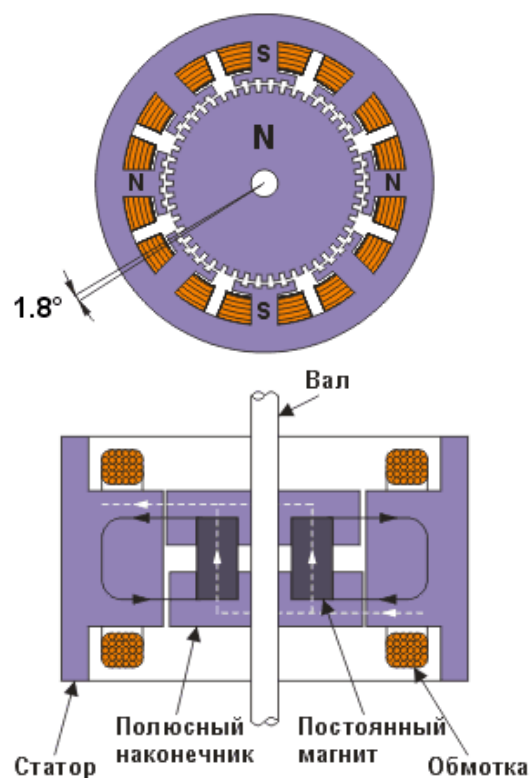
| CL<br>(Note 1) | D | R | S | Q | $\bar{Q}$ |
|----------------|---|---|---|---|-----------|
| 0              | 0 | 0 | 0 | 0 | 1         |
| 1              | 0 | 0 | 0 | 1 | 0         |
| X              | X | 0 | 0 | Q | $\bar{Q}$ |
| X              | X | 1 | 0 | 0 | 1         |
| X              | X | 0 | 1 | 1 | 0         |
| X              | X | 1 | 1 | 1 | 1         |

Программа ISIS пакета Proteus  
фирмы Labcenter Electronics Ltd

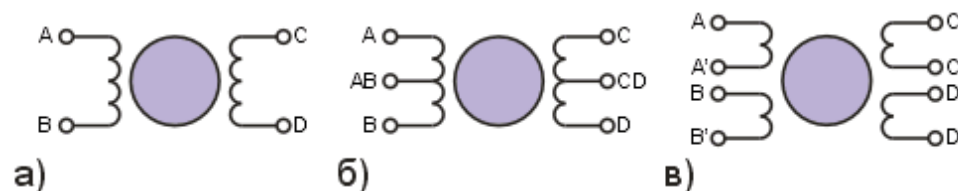


## Выбор и анализ особенностей работы исполнительного механизма

### Внутреннее устройство гибридного шагового двигателя



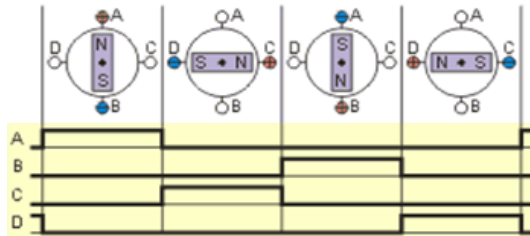
### Способы подключения обмоток шагового двигателя



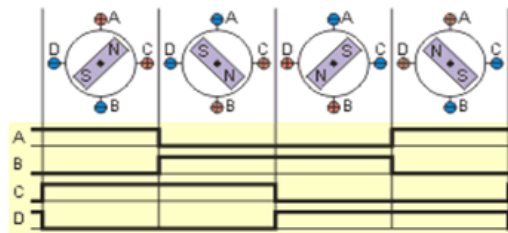
Биполярный двигатель (а), униполярный (б, в)



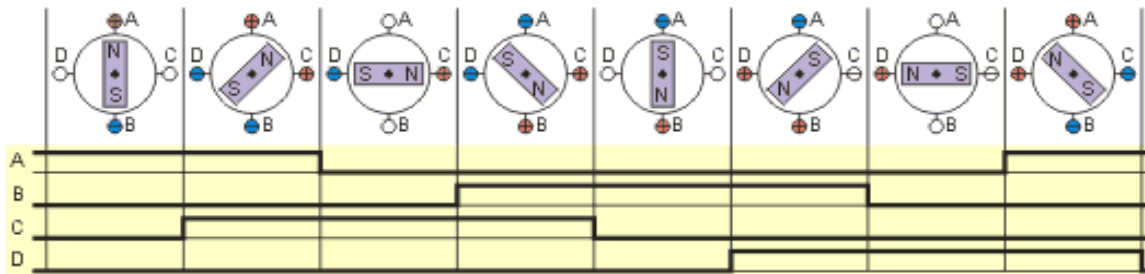
## Различные способы включения фаз шагового двигателя



Полношаговый режим, включена одна фаза

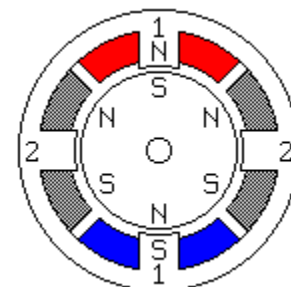
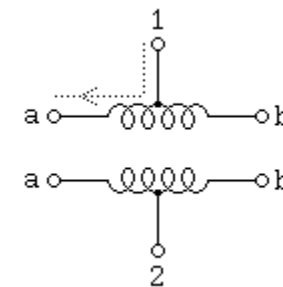
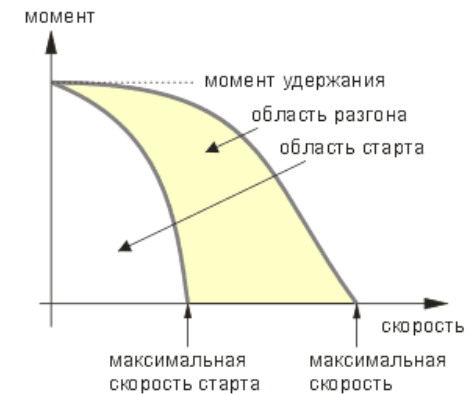


Полношаговый режим, включено две фазы



Полушаговый режим включения фаз

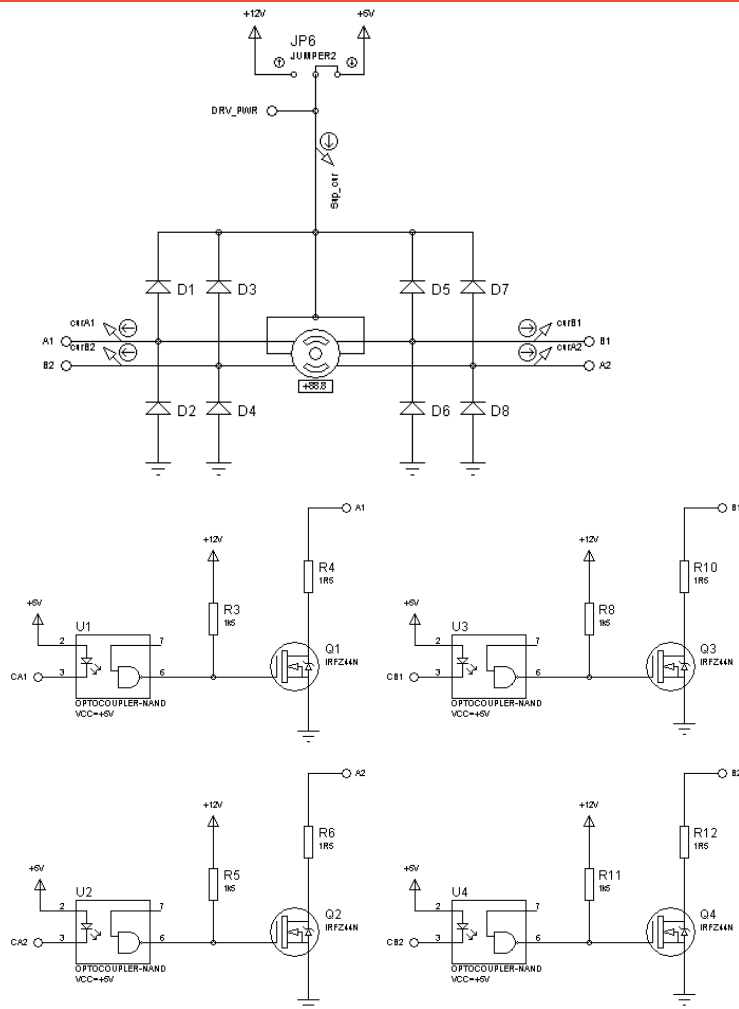
Характеристика двигателя  
ДШИ-200-1





## Моделирование работы шагового двигателя

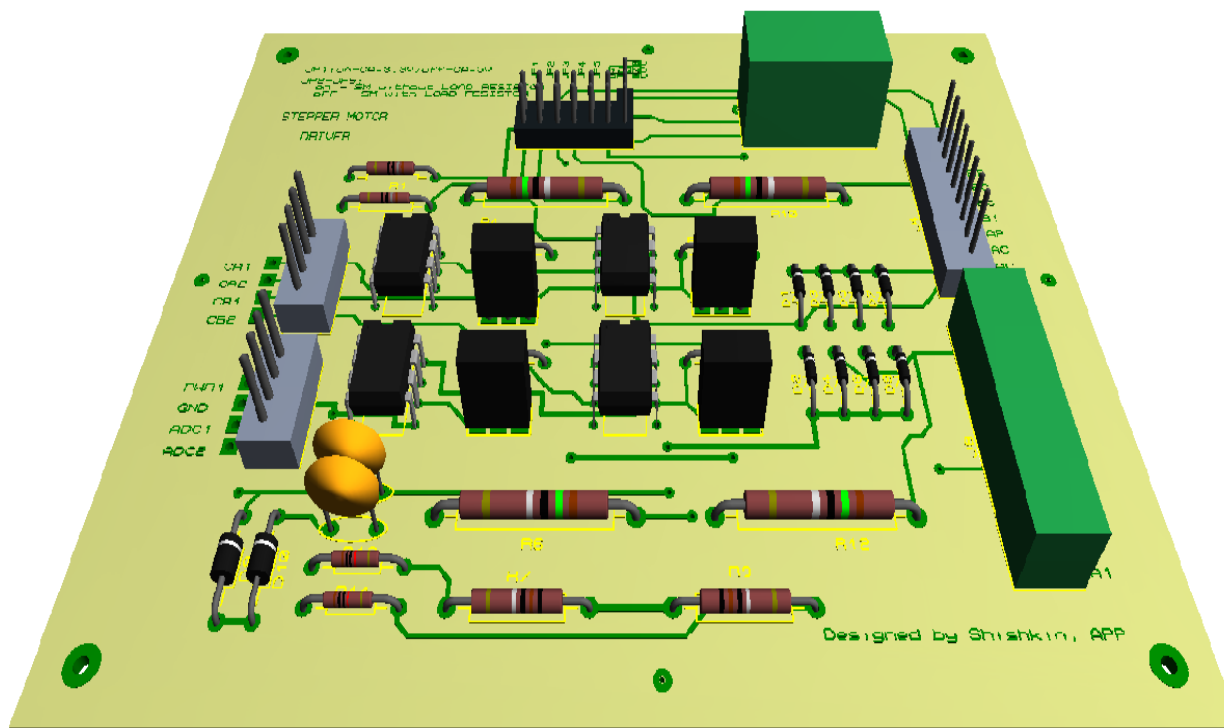
Графики тока в фазах шагового двигателя  
и тока источника питания





## Разработка печатной платы

Общий вид платы драйвера шагового двигателя



Программа ARES пакета Proteus  
фирмы Labcenter Electronics Ltd



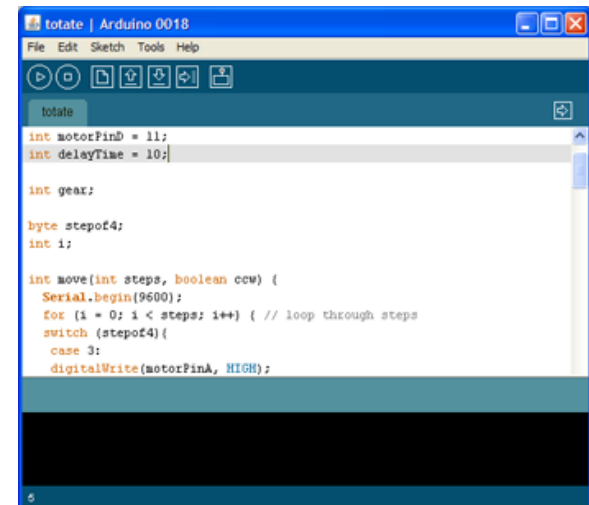
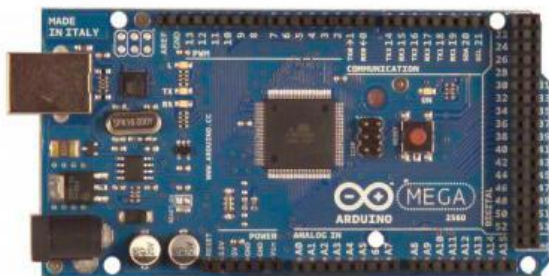
## Контроллер управления шаговым двигателем (варианты выбора)

LPC2138



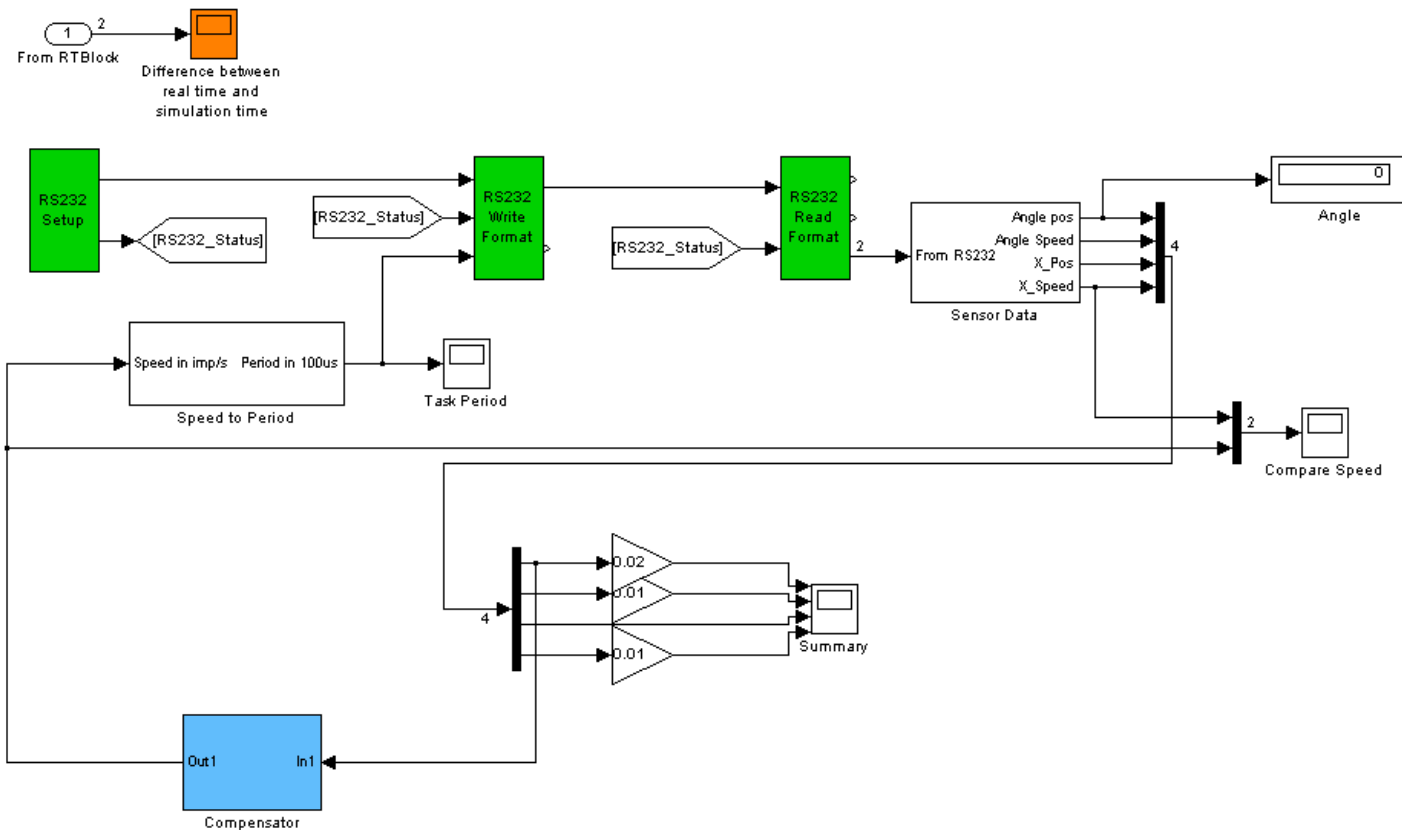
Как правило, платформы с открытым программным кодом и средой создания программного обеспечения.

Arduino





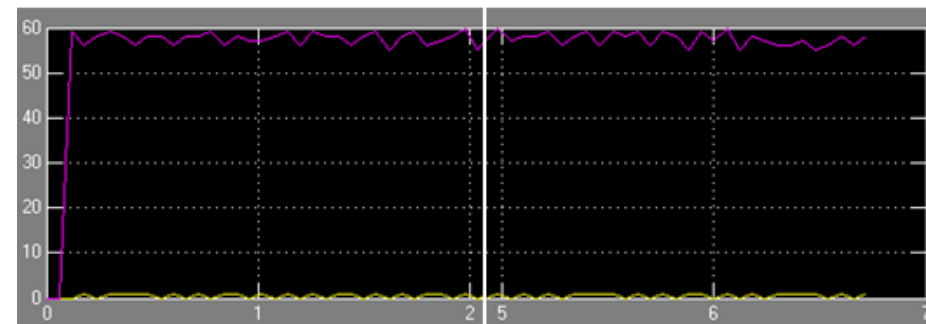
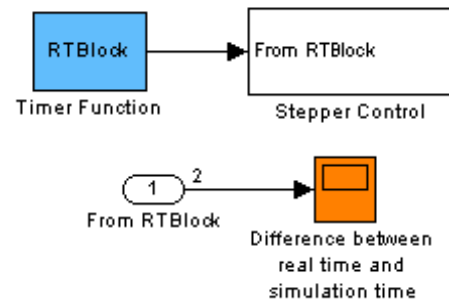
## Разработка системы управления перевернутым маятником (промежуточный вариант)



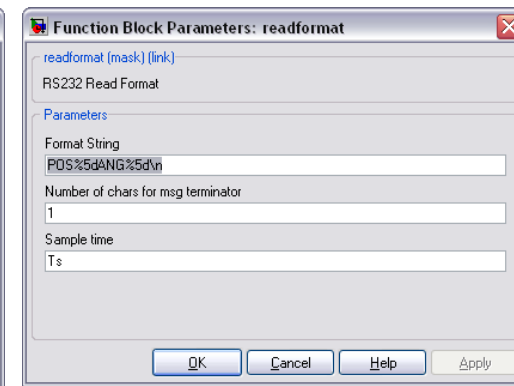
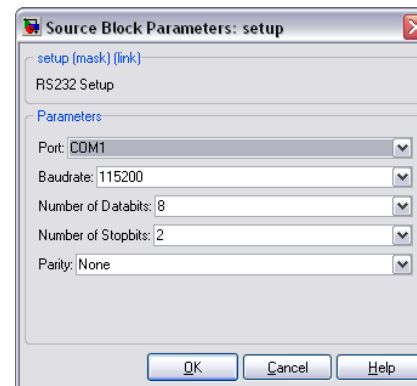
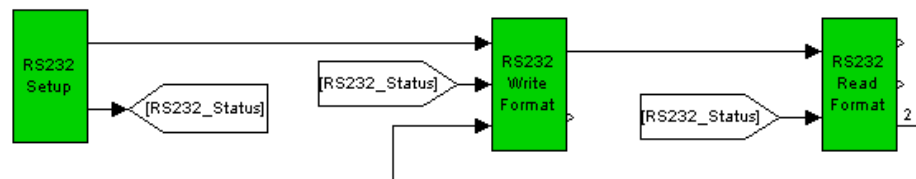


## Настройка системы управления

Реализация реального времени в Simulink MATLAB с помощью Real Time Blockset



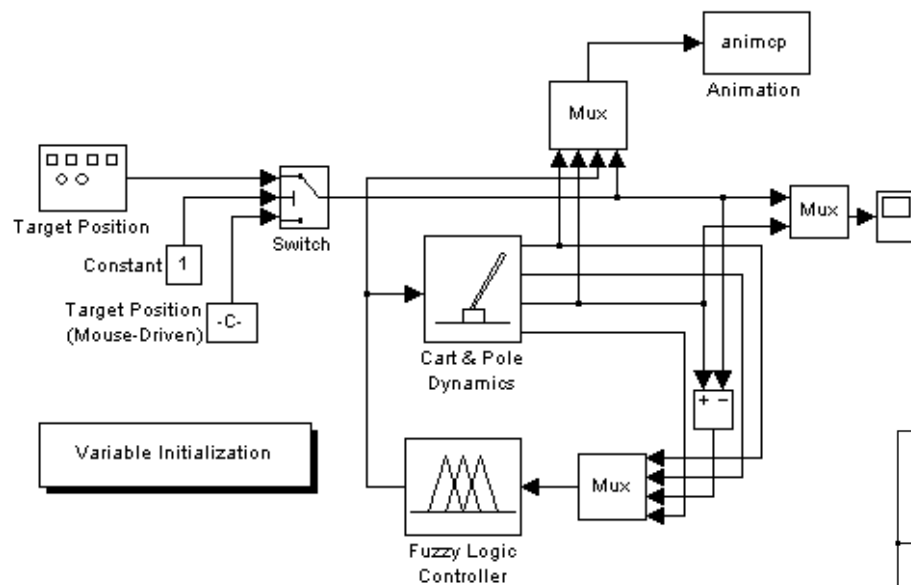
Осуществление канала передачи данных  
через COM-порт компьютера



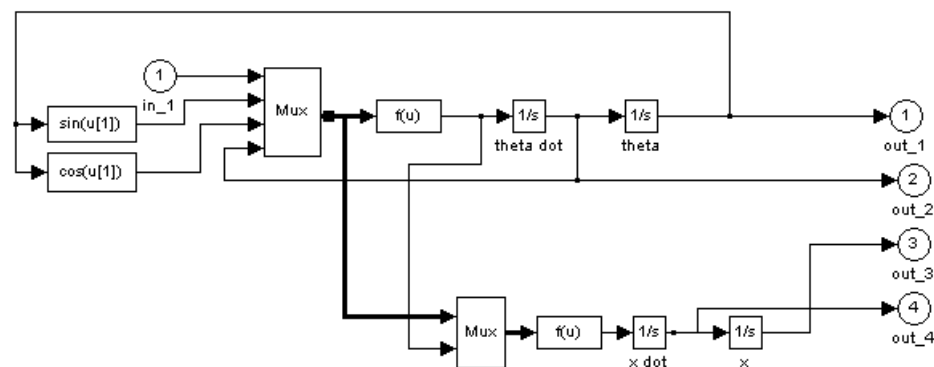




## Разработка алгоритма работы системы

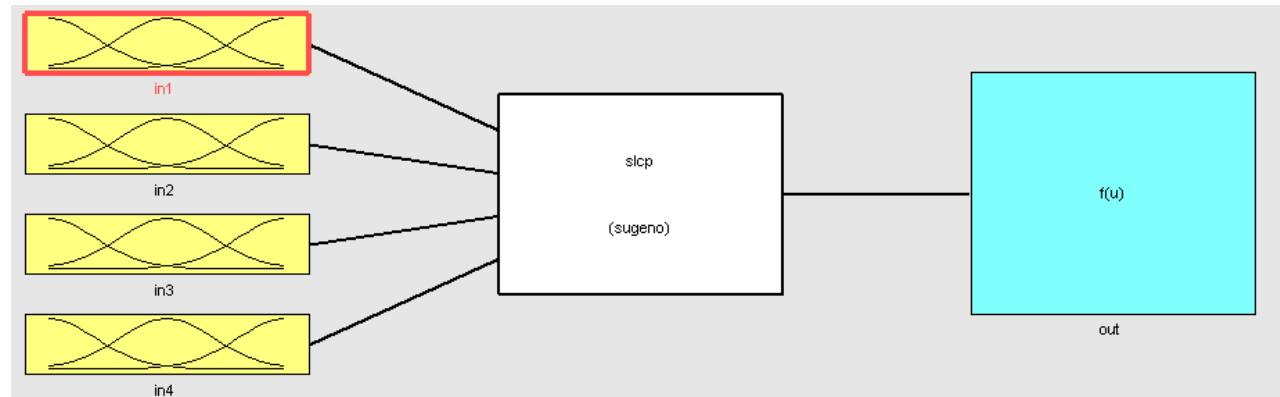


### Нечеткий (fuzzy) контроллер

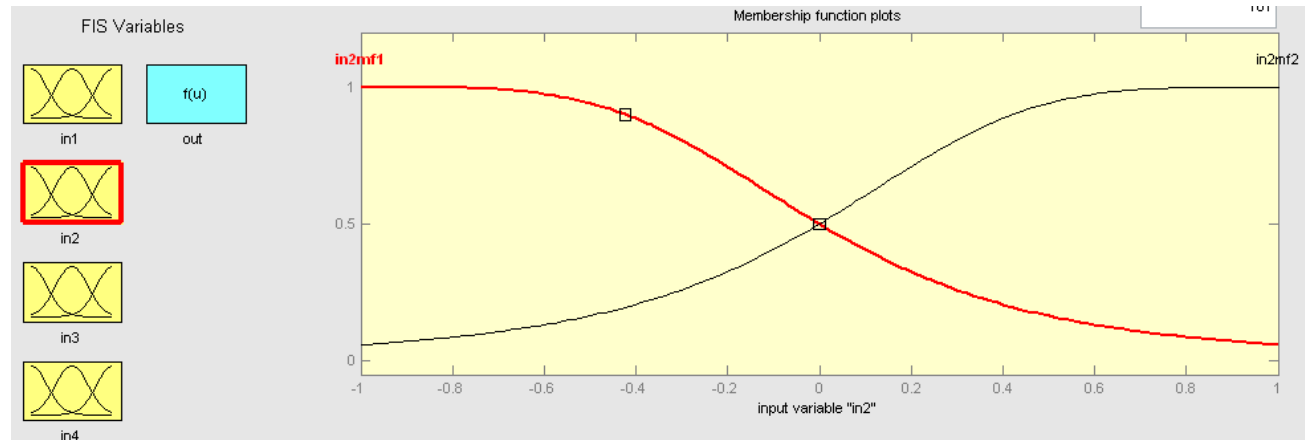




## Структура fuzzy-контроллера

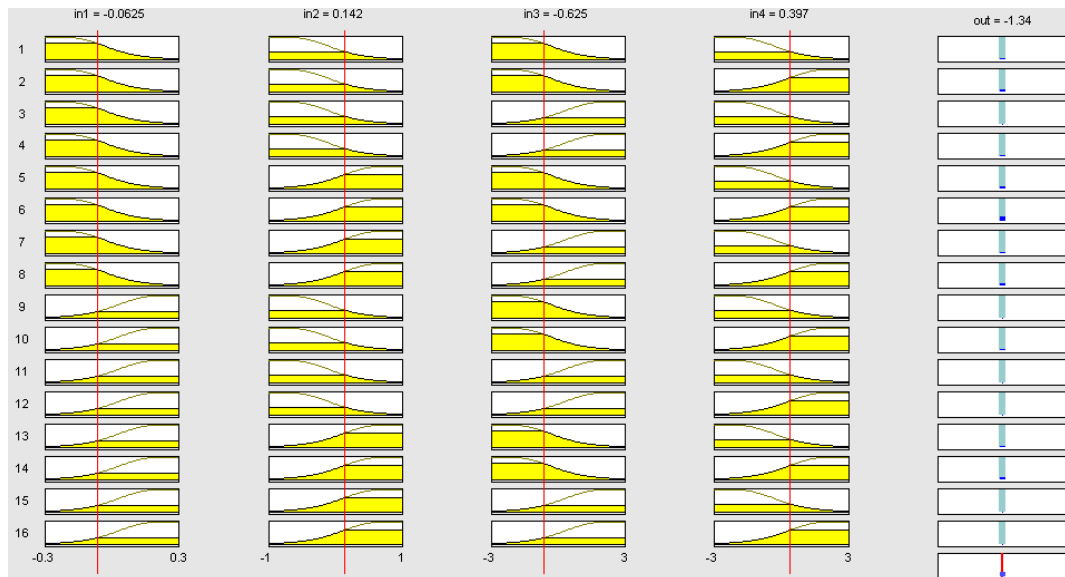


## Функции принадлежности





## Визуализация правил



## Составление правил

The screenshot shows the "Rule Editor: slcp" window. It contains a list of 14 rules and a configuration table for a specific rule.

Rules list:

1. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf1) (1)
2. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf2) (1)
3. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf2) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf3) (1)
4. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf2) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf4) (1)
5. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf2) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf5) (1)
6. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf2) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf6) (1)
7. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf2) and (in3 is in3mf2) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf7) (1)
8. If (in1 is in1mf1) and (in2 is in2mf2) and (in3 is in3mf2) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf8) (1)
9. If (in1 is in1mf2) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf9) (1)
10. If (in1 is in1mf2) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf10) (1)
11. If (in1 is in1mf2) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf2) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf11) (1)
12. If (in1 is in1mf2) and (in2 is in2mf1) and (in3 is in3mf2) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf12) (1)
13. If (in1 is in1mf2) and (in2 is in2mf2) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf1) then (out is outmf13) (1)
14. If (in1 is in1mf2) and (in2 is in2mf2) and (in3 is in3mf1) and (in4 is in4mf2) then (out is outmf14) (1)

Rule configuration table:

| in1 is | and | in2 is | and | in3 is | and | in4 is | Then | out is |
|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|--------|
| in1mf1 |     | in2mf1 |     | in3mf1 |     | in4mf1 |      | outmf1 |
| in1mf2 |     | in2mf2 |     | in3mf2 |     | in4mf2 |      | outmf2 |
| none   |     | none   |     | none   |     | none   |      | outmf3 |
|        |     |        |     |        |     |        |      | outmf4 |
|        |     |        |     |        |     |        |      | outmf5 |
|        |     |        |     |        |     |        |      | outmf6 |
|        |     |        |     |        |     |        |      | outmf7 |
|        |     |        |     |        |     |        |      | outmf8 |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |
|        |     |        |     |        |     |        |      |        |

Connection: ☐ or ☒ and

Weight: 1

Buttons: Delete rule, Add rule, Change rule

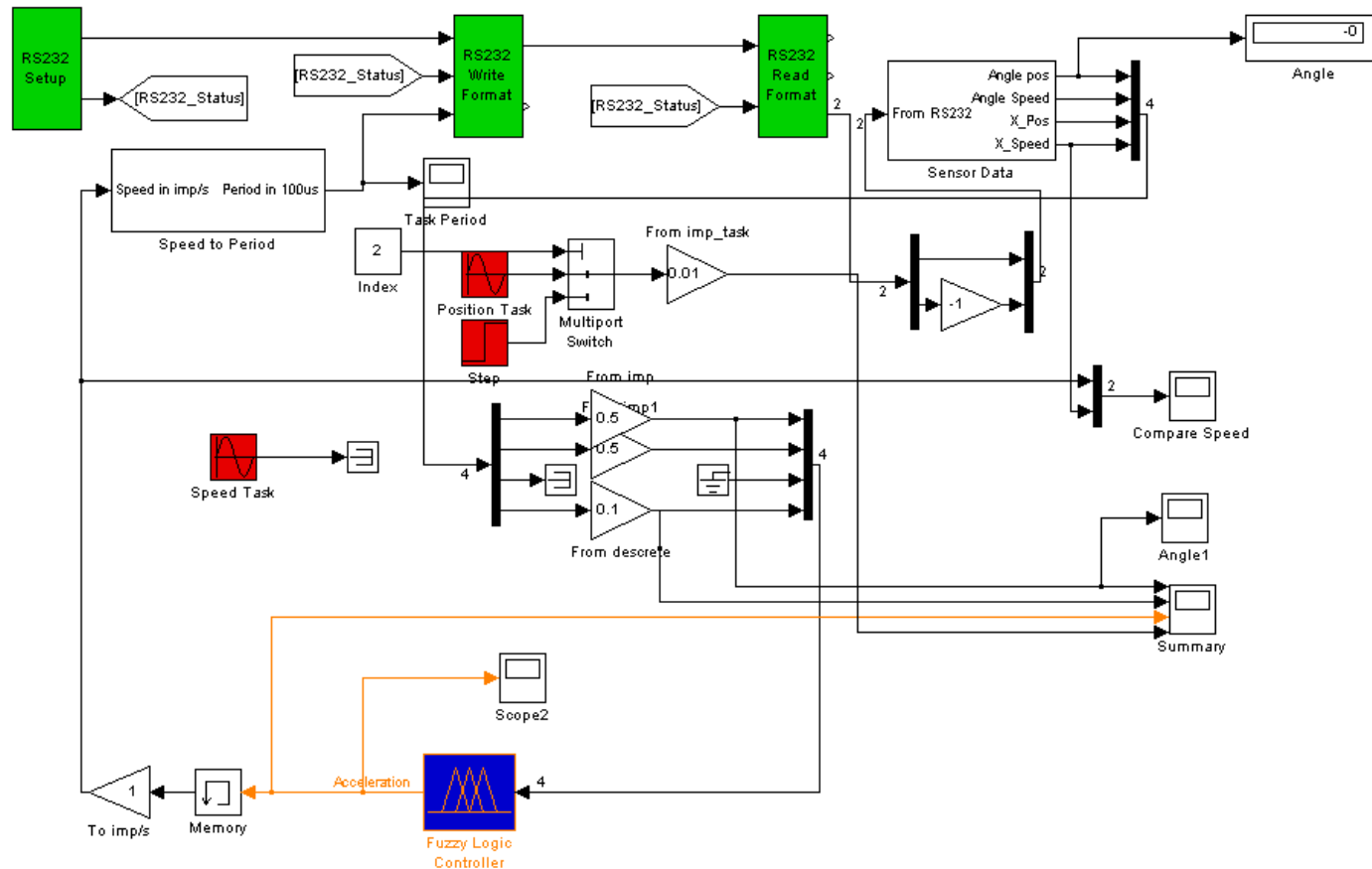
FIS Name: slcp

Buttons: Help, Close



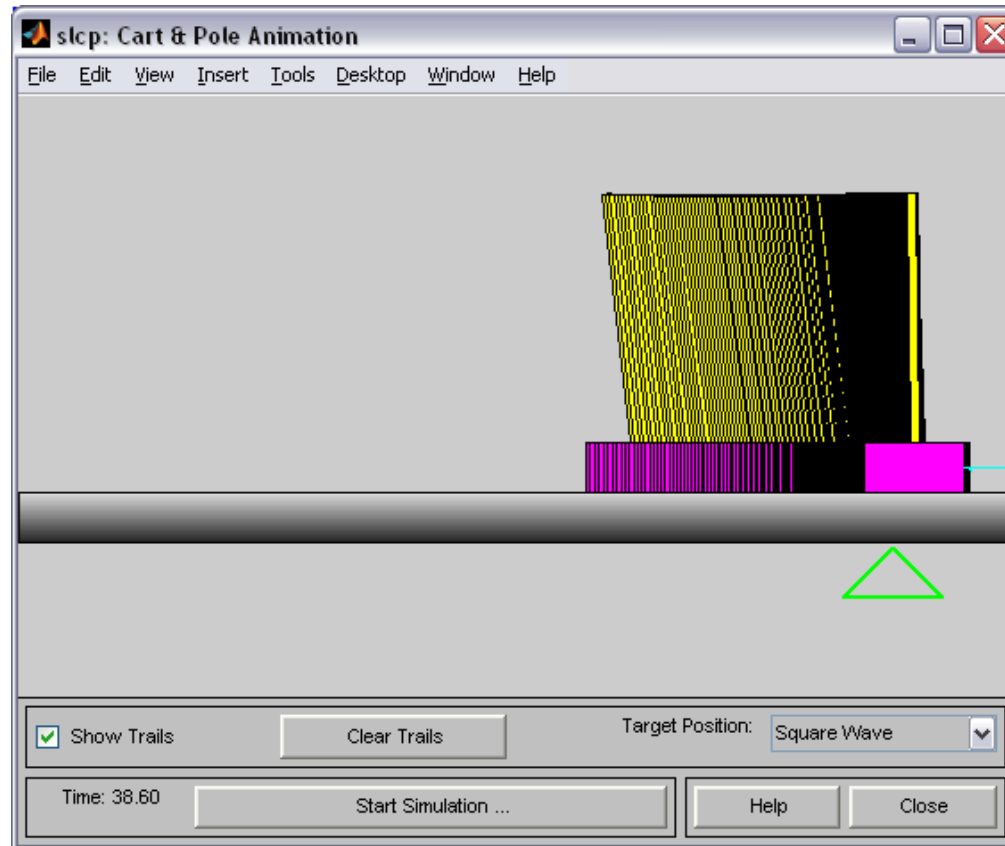
## Реализация системы управления перевернутым маятником

в среде SIMULINK программного пакета MATLAB





## Реализация алгоритма работы

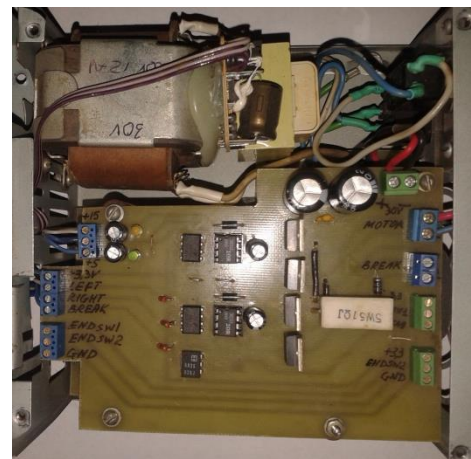
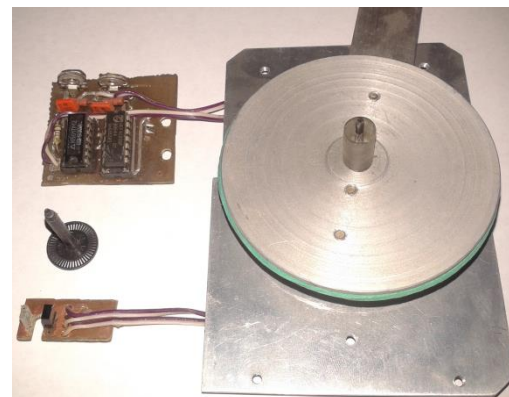




Co-funded by the  
Tempus Programme  
of the European Union

DesIRE

## Процесс создания оборудования, его настройка и реализация в проекте

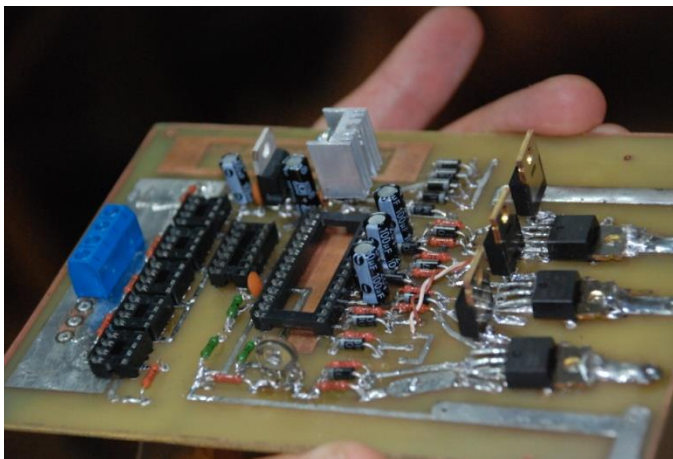






Co-funded by the  
Tempus Programme  
of the European Union

DesIRE





Co-funded by the  
Tempus Programme  
of the European Union



**Спасибо за внимание!**