

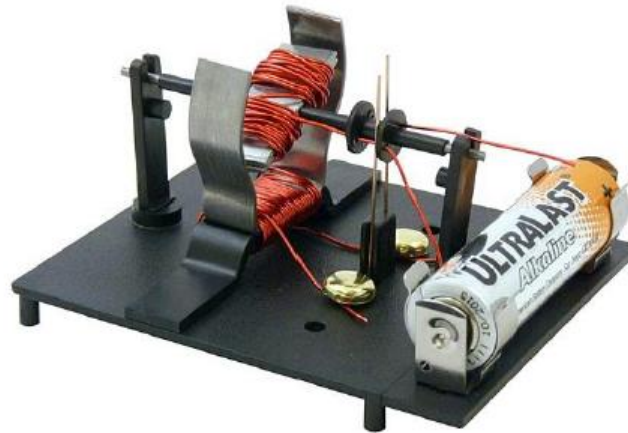
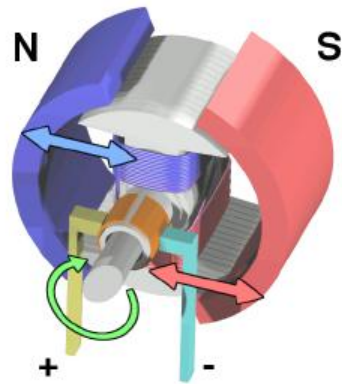
# Математические основы робототехники

lec-06-quadro-motors

13.10.2021

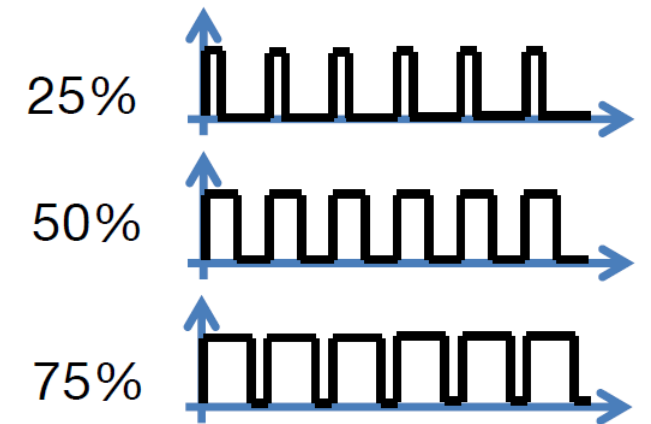
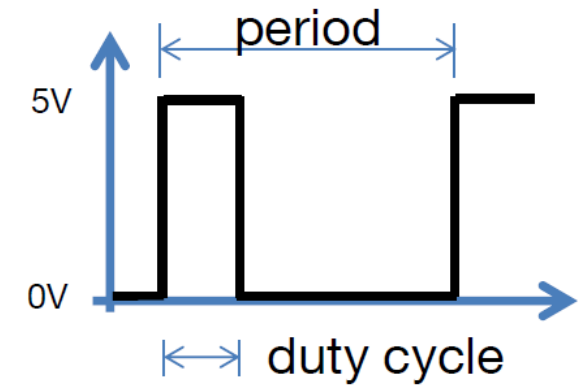
# Двигатели постоянного тока DC (direct current) Motors

- Неподвижный постоянный магнит
- Электромагнит на оси создает крутящий момент
- Контактные кольца и щетки позволяют «переключать» направление тока



# Управление ДПТ

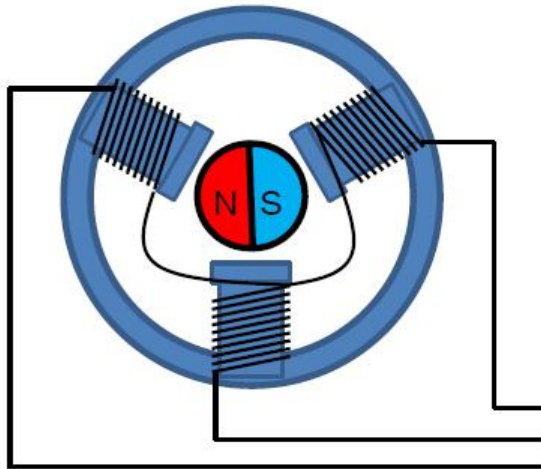
- Больше мощность = быстрее вращение
- Как модулировать мощность цифровым сигналом?
- Широтно-импульсная модуляция ШИМ (Pulse width modulation PWM)
- Скважность – отношение времени «включения» к периоду



# Бесколлекторные двигатели

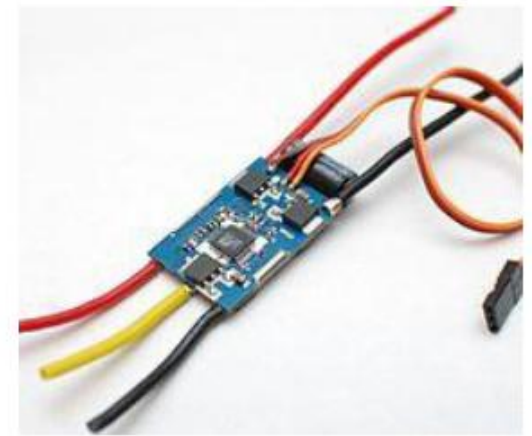
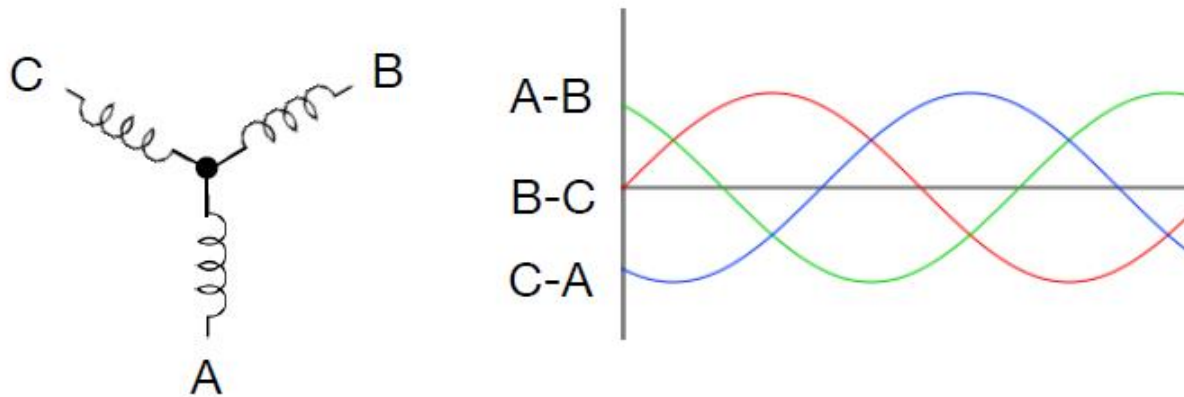
## Brushless Motors

- Неподвижный электромагнит, постоянный магнит на оси
- Три (и более) обмотки
- Нет щеток (легче обслуживание, высокая эффективность)



# Контроллеры бесколлекторных двигателей

- Как правило – один микроконтроллер на один двигатель
- Генерирует ШИМ-сигнал для трех фаз
- MOSFET преобразует ШИМ-сигнал в аналоговый выход  
AC (alternating current) converter



# Пример: Parrot Ardrone

Бесколлекторный  
мотор

3 фазы

AVR CPU  
(8 MIPS)

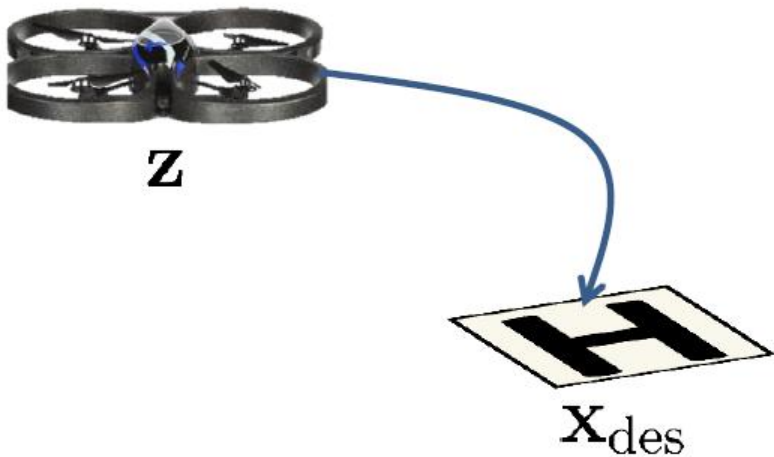
3 AC-преобразователя (MOSFET)



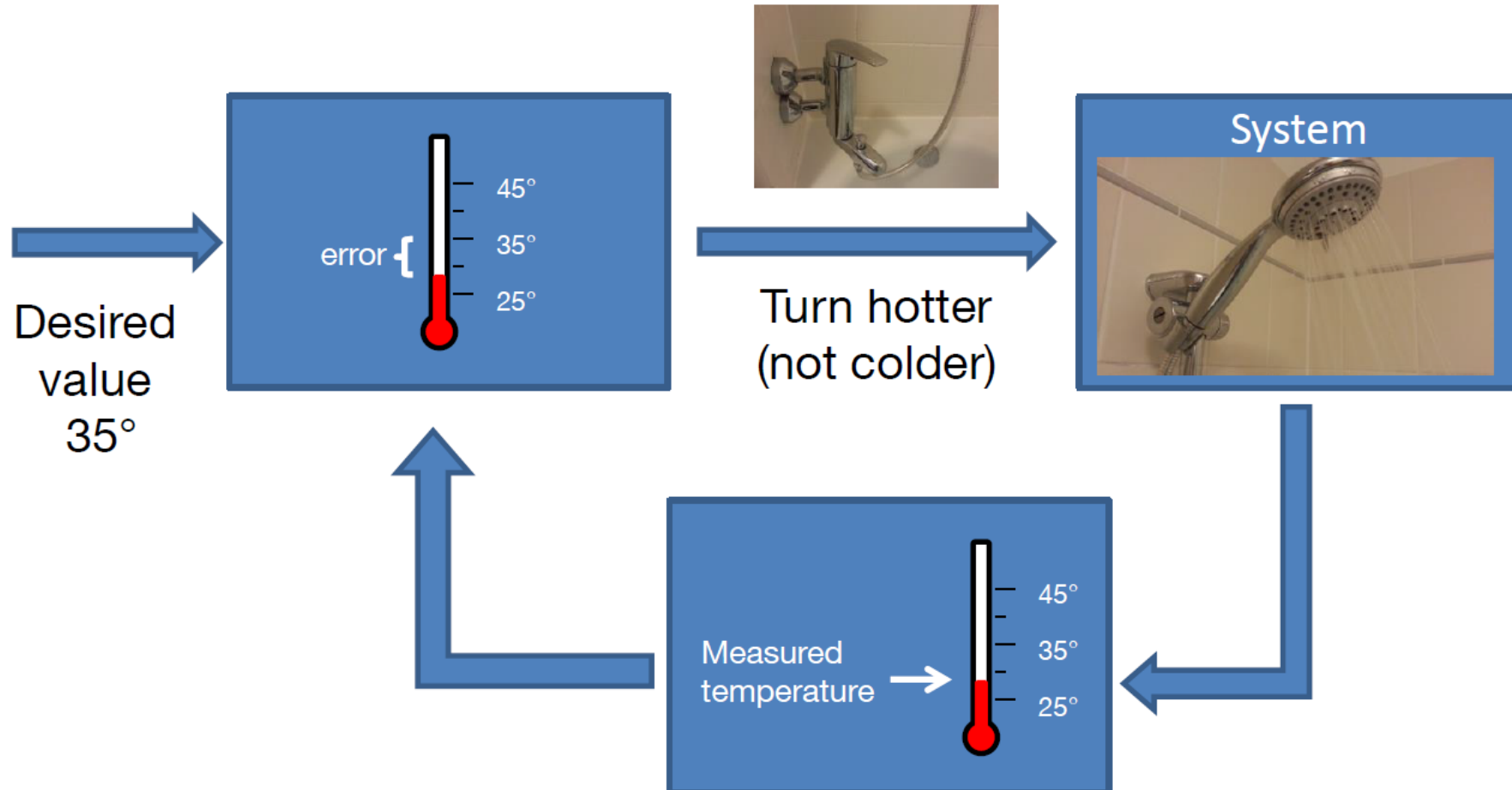
1:8,75 передача

# Управление положением

- Хотим переместить контроллер в конкретную точку  $\mathbf{x}_{des}$
- Как необходимо генерировать сигнал управления  $\mathbf{u}$ ?
- Текущее положение (по показаниям датчиков) –  $\mathbf{z}$

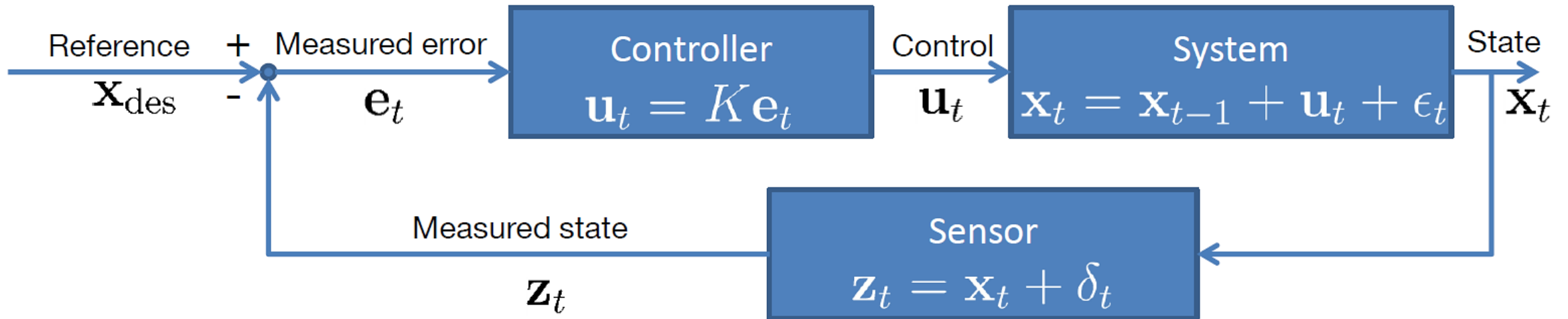


# Управление с обратной связью: идея





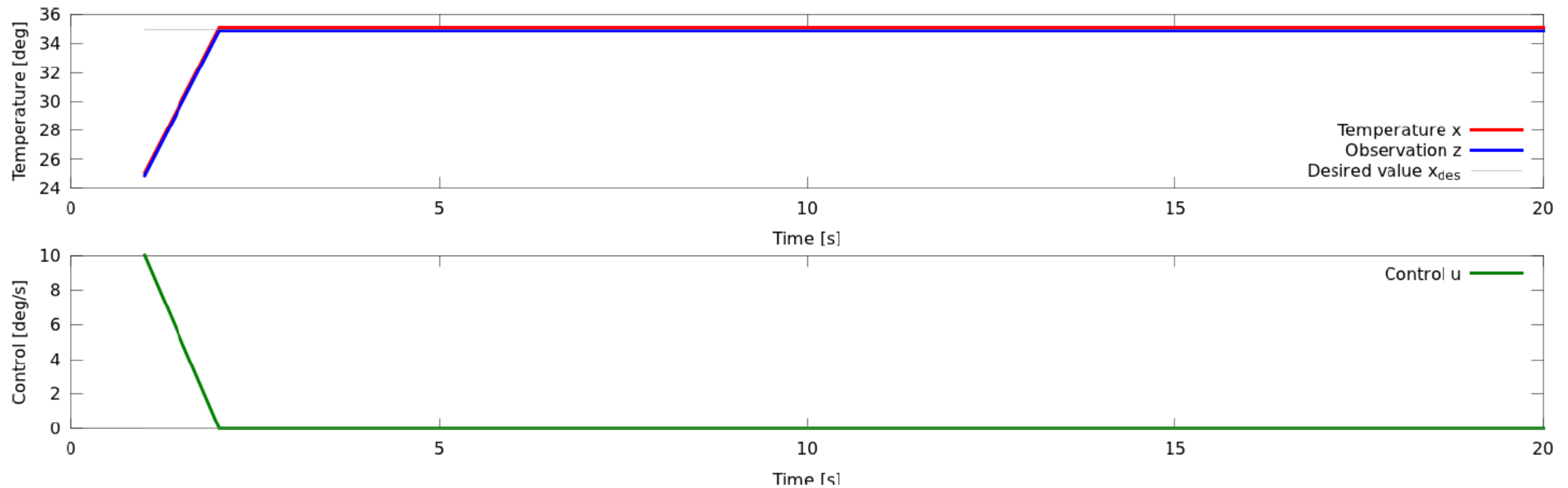
# Управление с обратной связью: блок-схема



# Пропорциональный регулятор

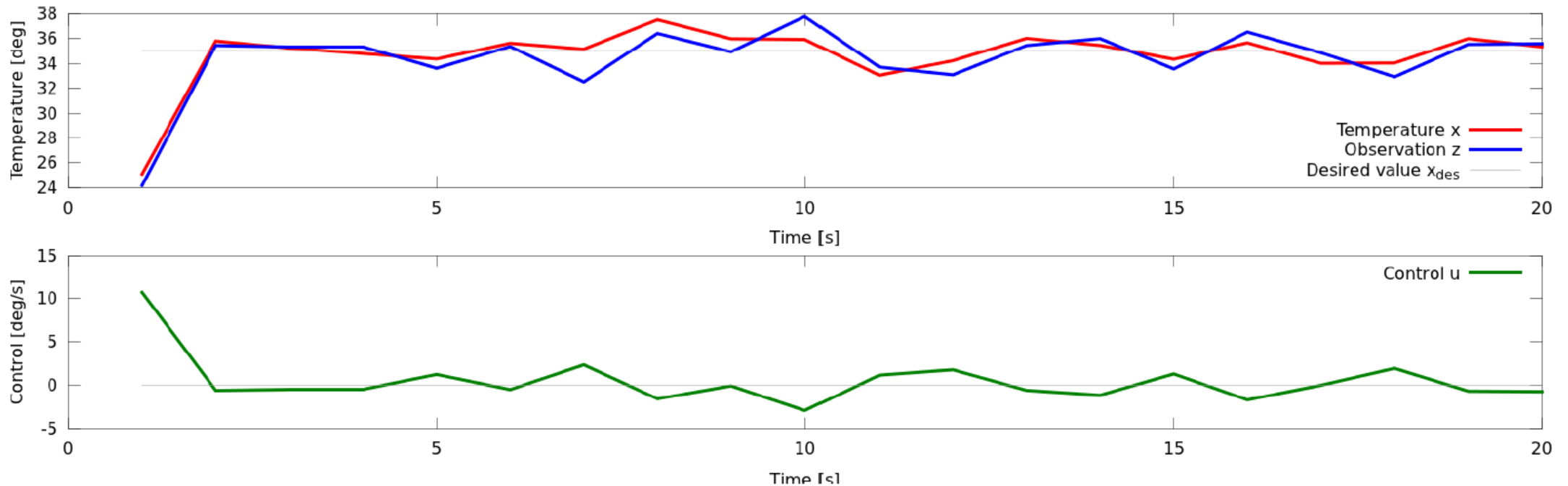
## P-Control

- $u_t = K e_t$



# Эффект шумов

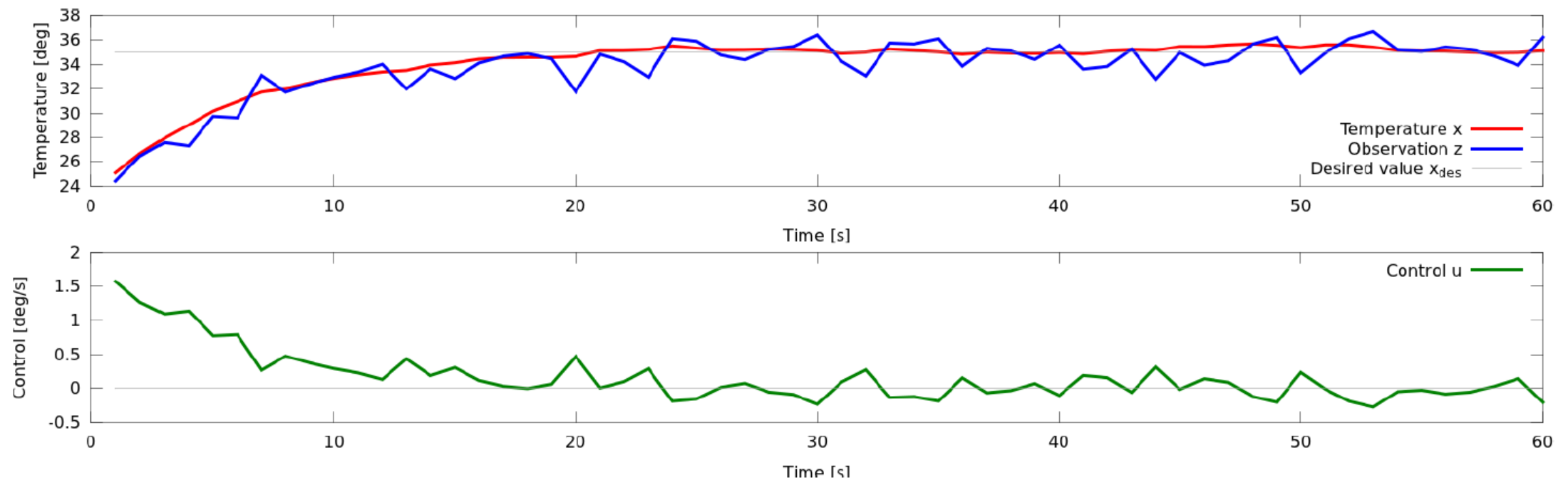
- Шумы могут быть и в самой системе, и в измерениях



- Для  $K = 1$  низкая производительность

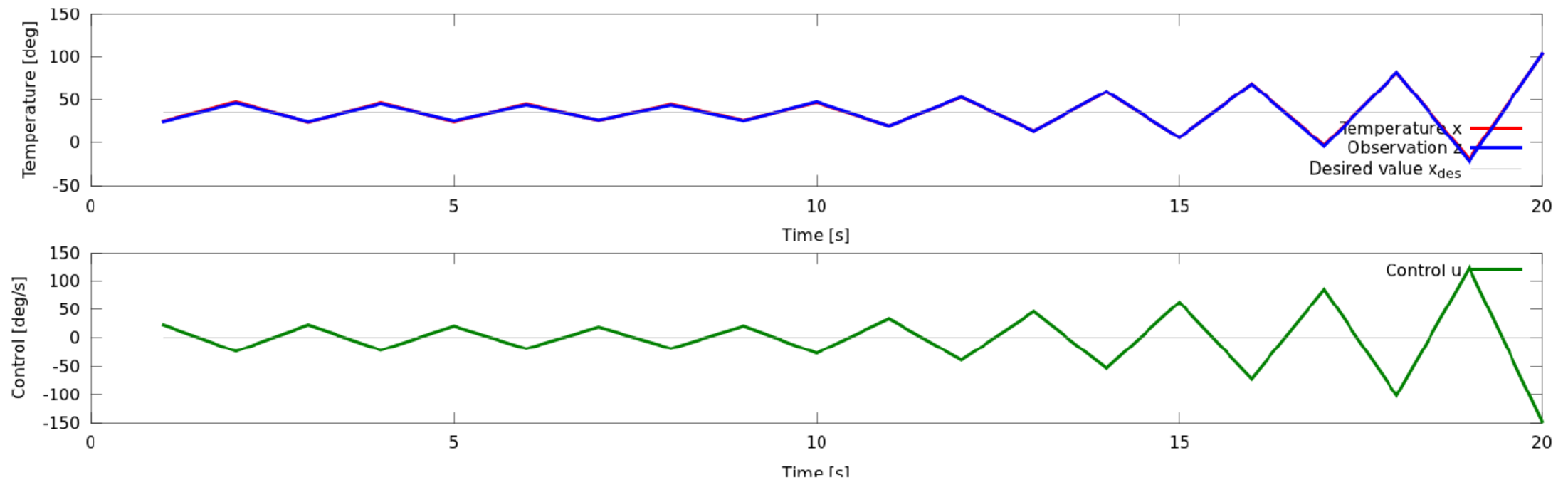
# Настройка регулятора при наличии шумов

- Решение – понизить коэффициент  $K = 0,5$



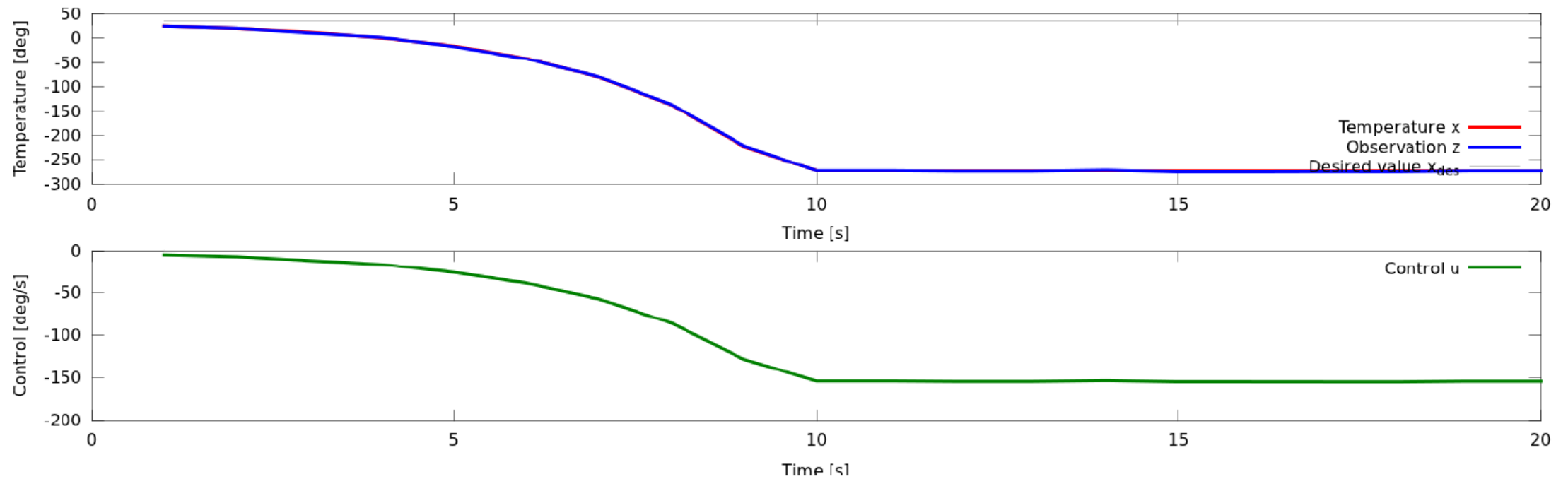
# Что делает повышенный коэффициент?

- Повышение коэффициента – всегда проблемы  $K = 2,15$



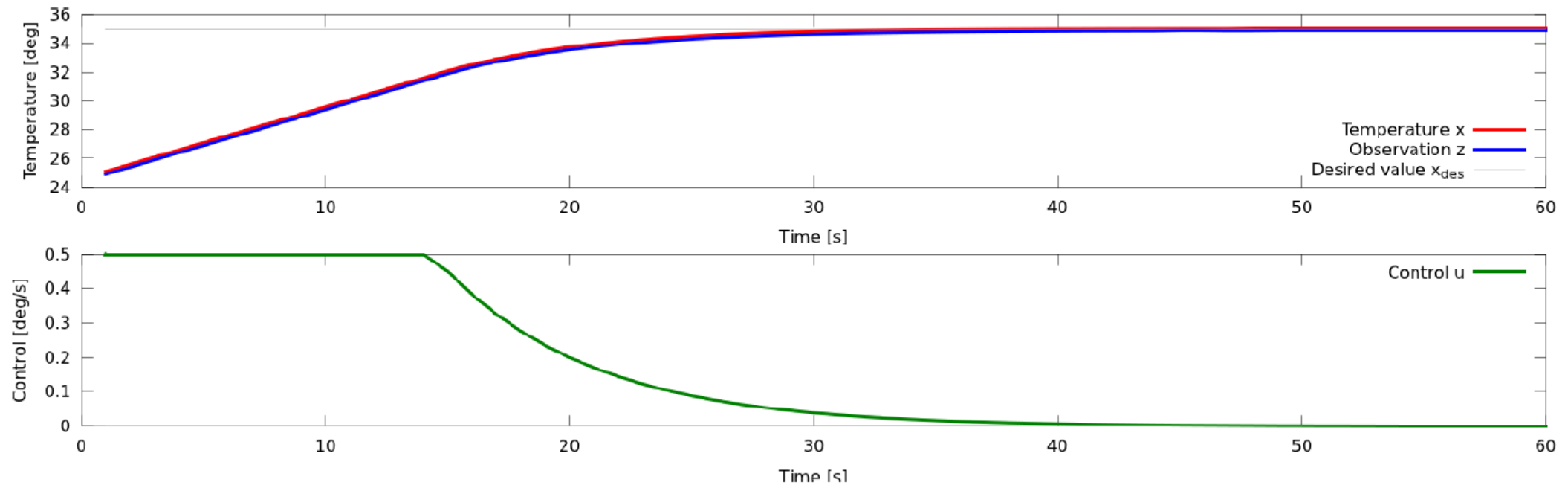
# Что, если потерять знак?

- Пусть  $K = -0,5$



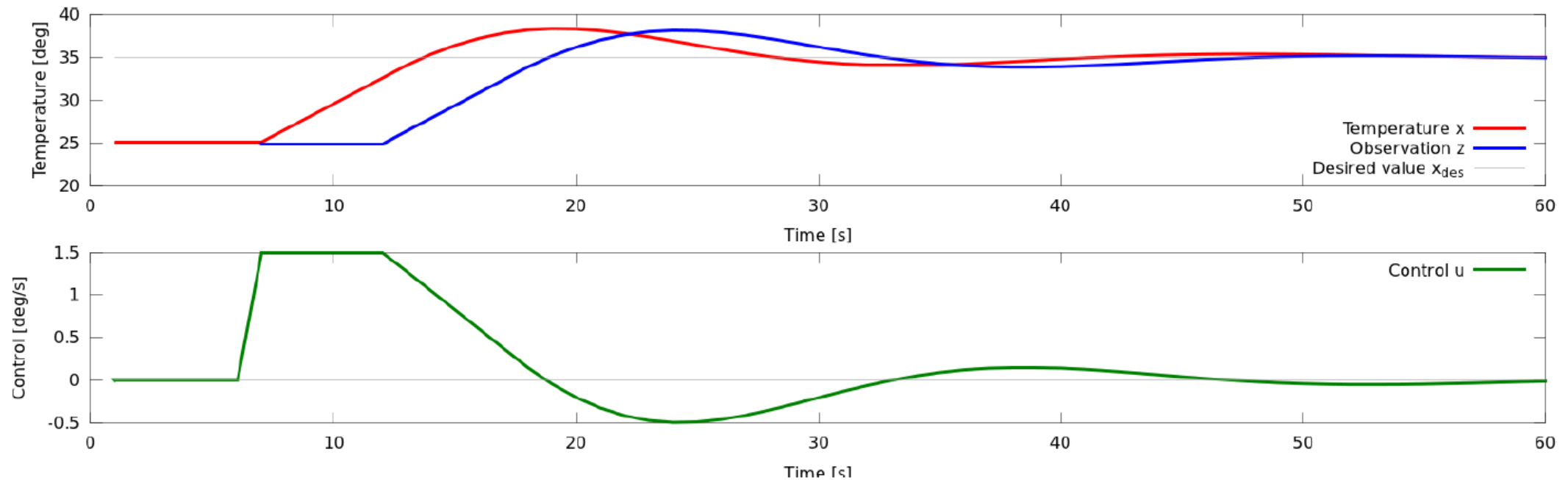
# Насыщение Saturation

- Как правило, на практике множество допустимых значений сигнала управления ограничено



# Задержки Delays

- На практике всегда есть задержки, могут приводить к перерегулированию, колебаниям, дестабилизации

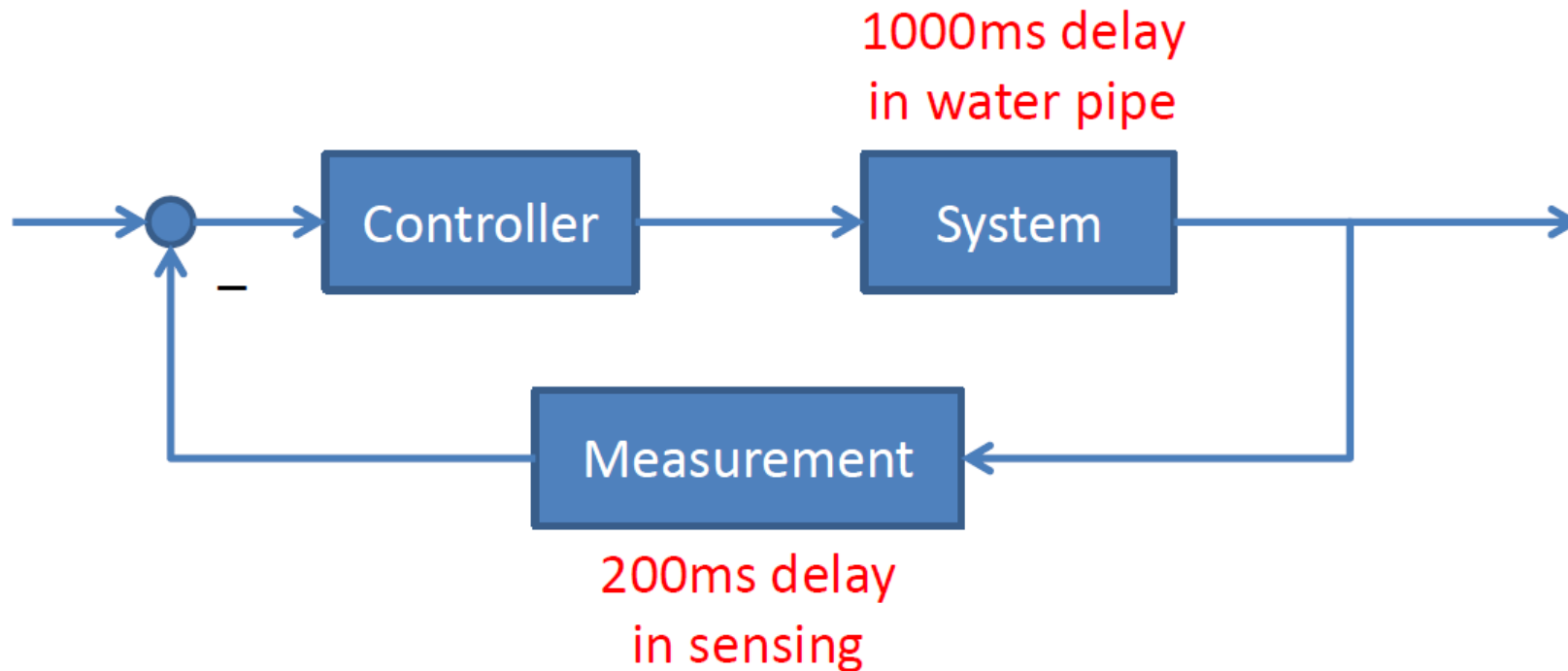


- Возможное решение – понизить коэффициент  $K$



# Задержки Delays

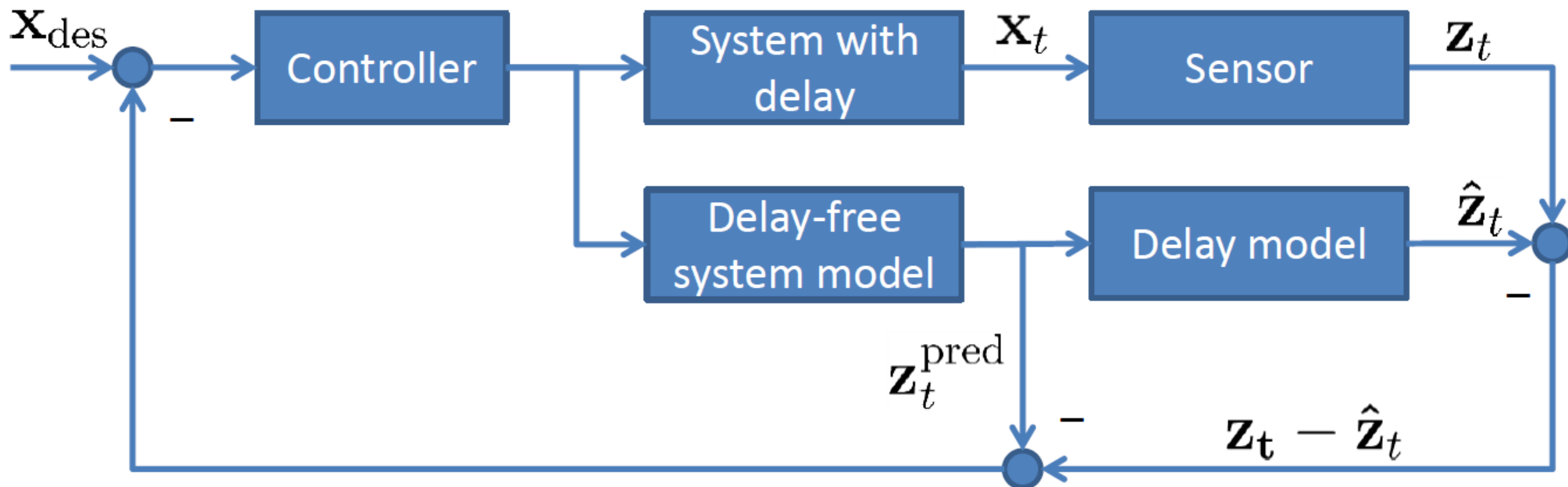
- Чему равен общий dead time системы?



- Можем ли различать задержки в системе и в датчиках?

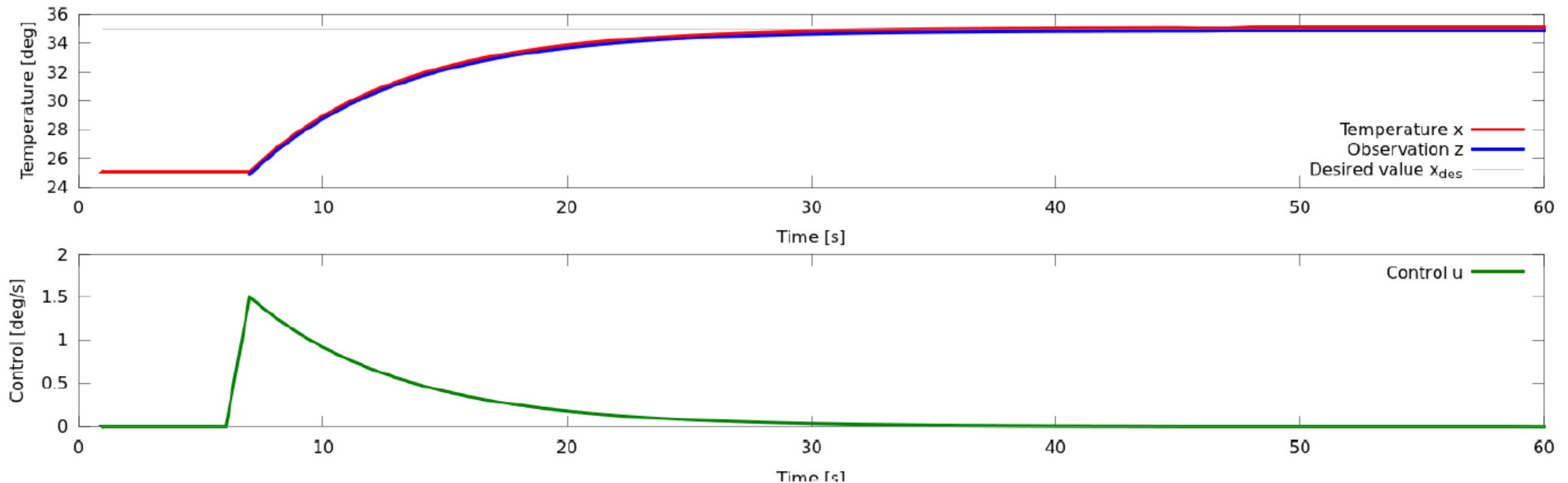
# Предсказатель Смита Smith Predictor

- Допускает высокий коэффициент  $K$
- Требует наличия (точной) модели системы



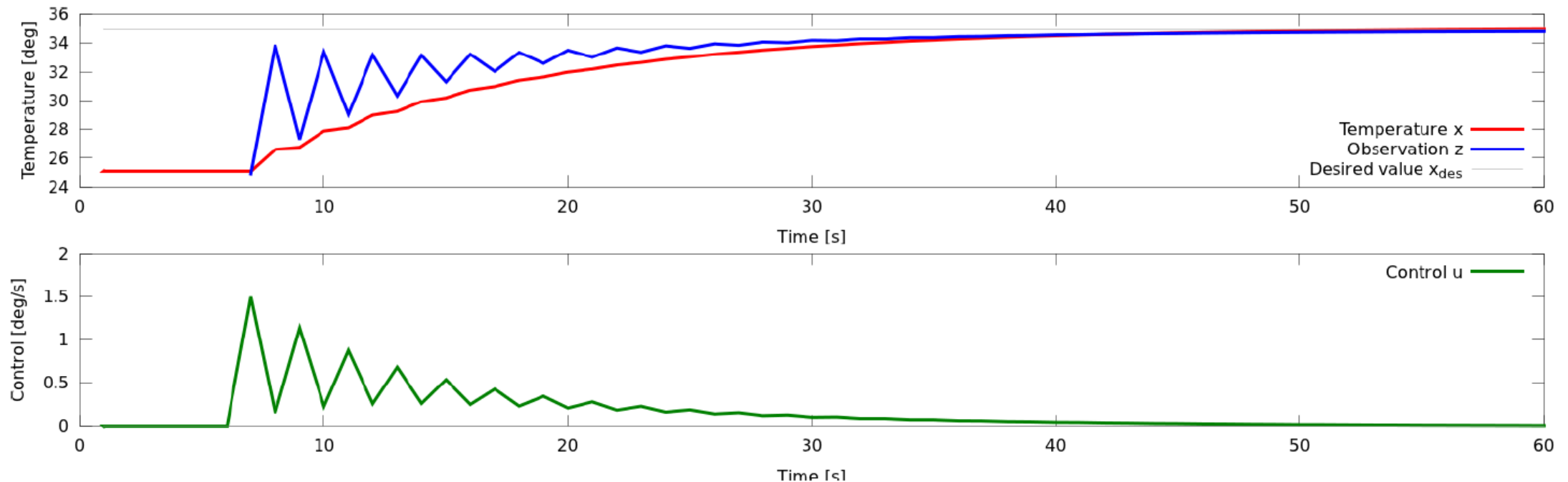
# Предсказатель Смита Smith Predictor

- Предположим: система известна, задержка – 5 секунд
- Предсказатель Смита отлично компенсирует задержку



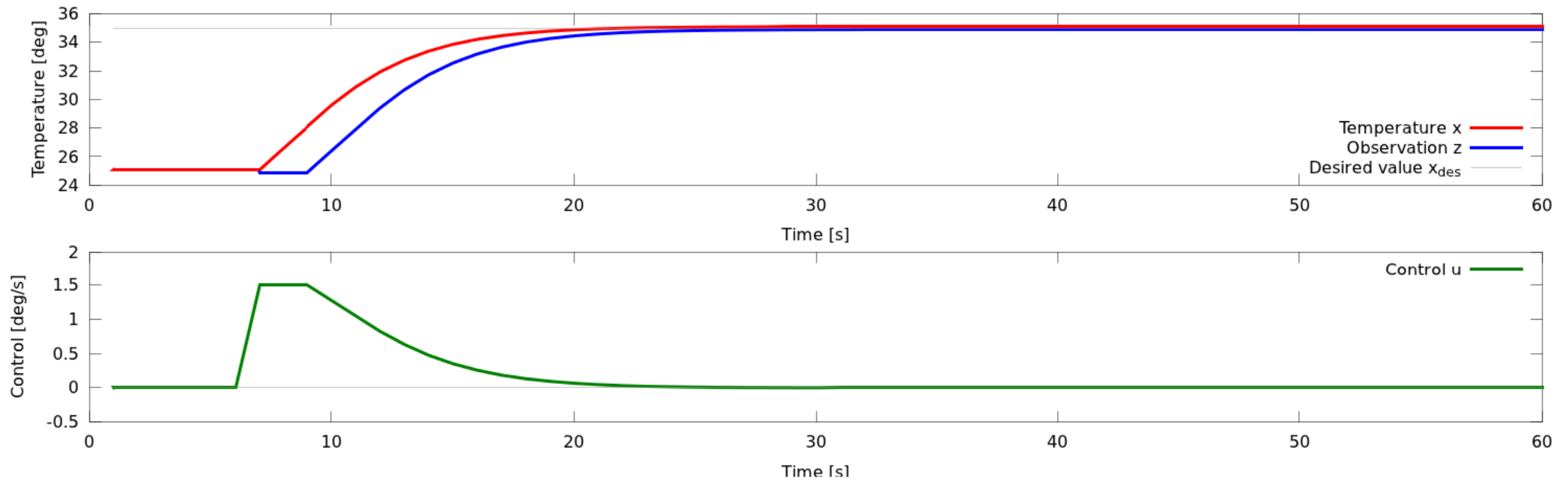
# Предсказатель Смита Smith Predictor

- Задержка (и модель системы) никогда не известна точно
- Что случится, если задержка **переоценена**



# Предсказатель Смита Smith Predictor

- Задержка (и модель системы) никогда не известна точно
- Что случится, если задержка **недооценена**



# Кинематика

- Описание движения твердых тел
- Положение
- Скорость
- Ускорение

# Пример: 1D-Кинематика

- Состояние  $\mathbf{x} = (x \quad \dot{x} \quad \ddot{x})^T \in \mathbb{R}^3$
- Действие  $u \in \mathbb{R}$
- Временная константа  $\Delta t \in \mathbb{R}$
- Линейная модель процесса

$$\mathbf{x}_t = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \mathbf{x}_{t-1} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u_t$$

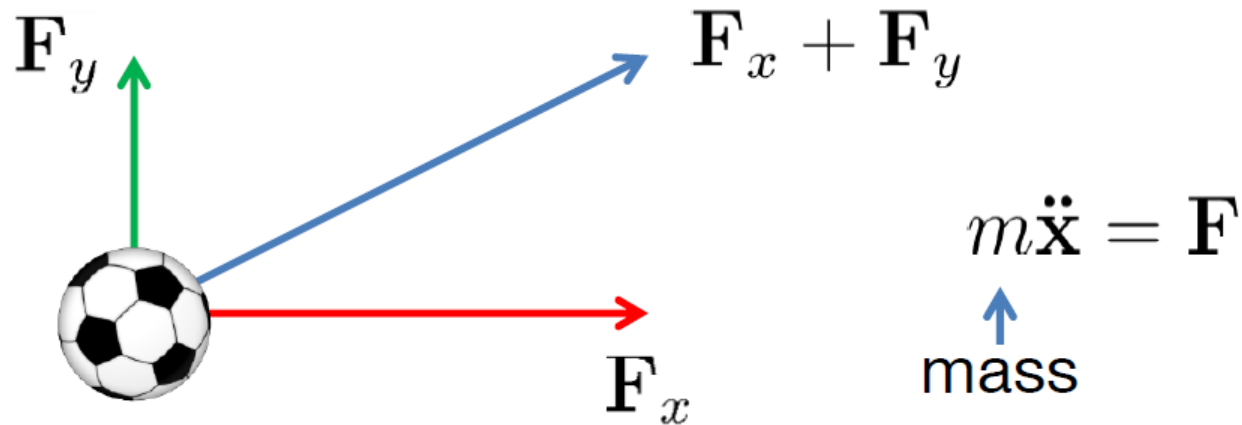
# Динамика

- Приводы создают силы (forces) и крутящие моменты (torques)
- Сила обеспечивает линейное ускорение
- Момент (вообще-то тоже сила) обеспечивает угловое ускорение



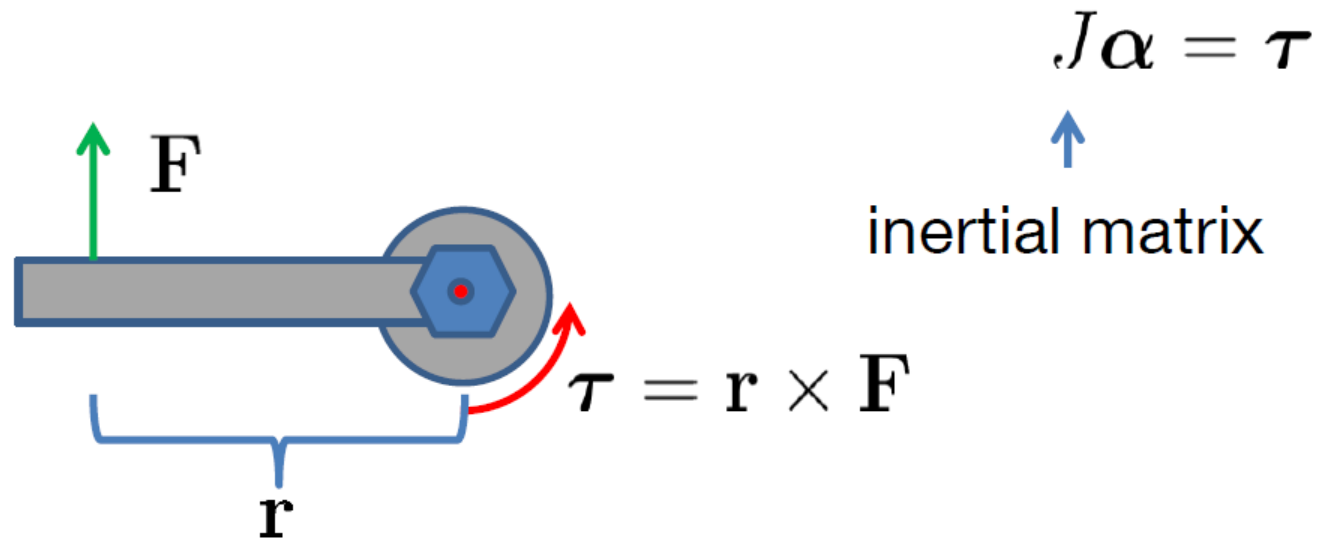
# Силы и ускорения

- Силы – векторы, можно складывать
- Важные примеры: гравитация, тяга, трение
- Силы обеспечивают ускорение



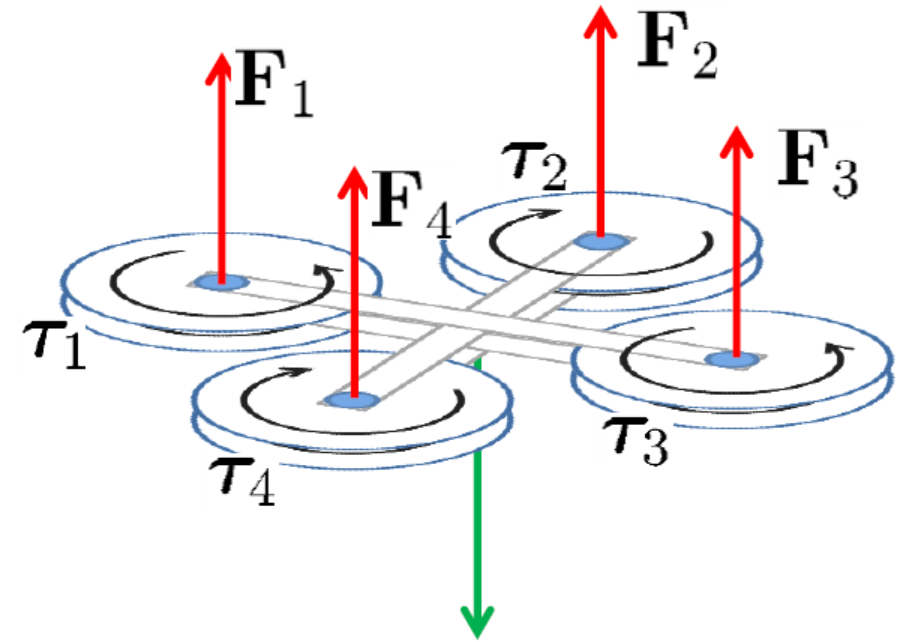
# Крутящие моменты и угловые ускорения

- Сила, действующая на рычаг, обеспечивает момент
- Силы – вектора, можно складывать
- Крутящий момент вызывает угловое ускорение



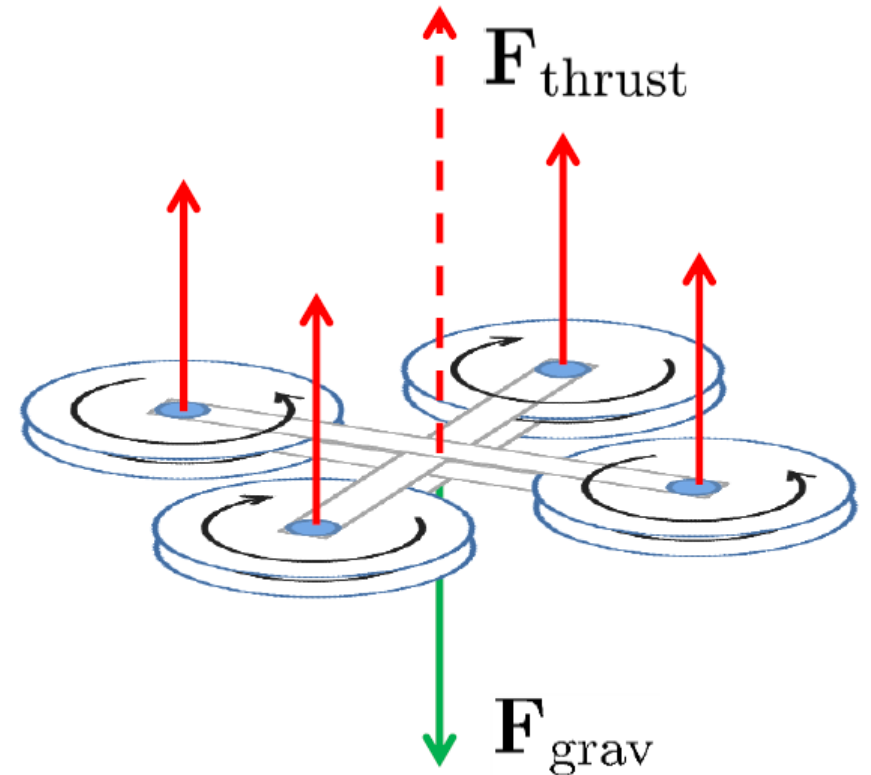
# Динамика квадрокоптера

- Каждый винт прогоняет воздух и создает некую силу и крутящий момент
- Гравитация тянет квадрокоптер вниз



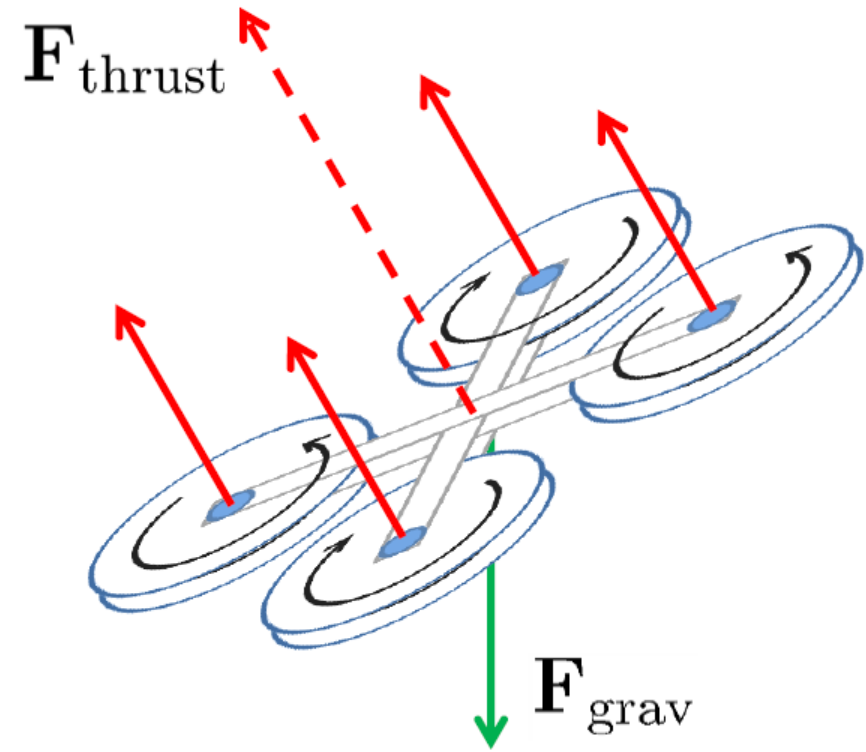
# Вертикальное ускорение

- Тяга  $\mathbf{F}_{\text{thrust}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4$



# Вертикальное и горизонтальное ускорение

- Тяга  $\mathbf{F}_{\text{thrust}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4$



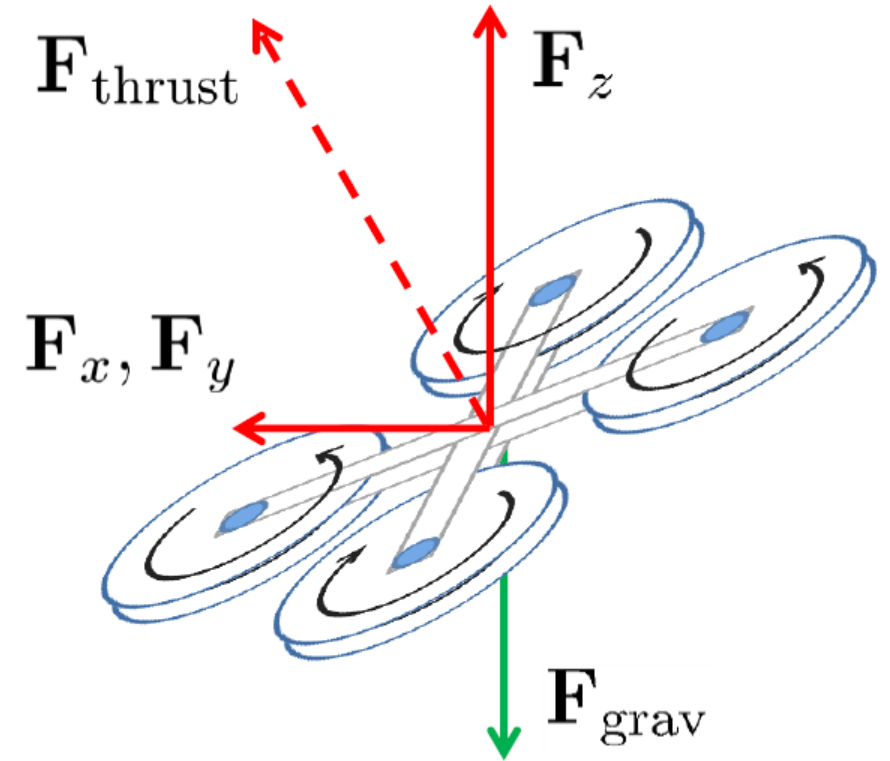
# Вертикальное и горизонтальное ускорение

- Тяга

$$\mathbf{F}_{\text{thrust}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4$$

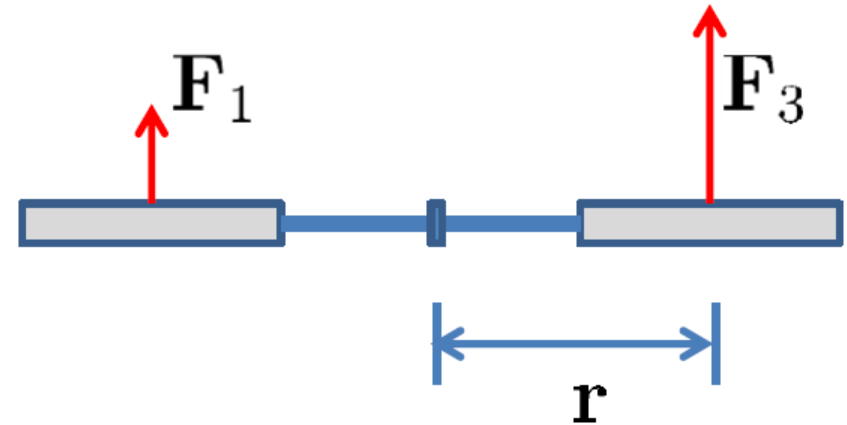
- Ускорение

$$\ddot{\mathbf{x}}_{\text{global}} = \frac{R_{RPY}\mathbf{F}_{\text{thrust}} - \mathbf{F}_{\text{grav}}}{m}$$



# Тангаж (и крен)

- Положение меняется, когда противоположные двигатели обеспечивают разную тягу
- Крутящий момент  $\tau = (F_1 - F_3) \times r$
- Угловое ускорение  $\alpha = J^{-1}\tau$



# Рыскание

- Каждый винт вращается, прогоняет воздух и создает некий крутящий момент
- Крутящий момент обеспечивает угловое ускорение

$$\tau = \tau_1 - \tau_2 + \tau_3 - \tau_4$$

