

# Исследование переходных процессов

- Функционирование технических систем происходит в условиях внешней среды.
- Любое изменение внешних управляющих или возмущающих воздействий приводит к возникновению переходного процесса.

- **Переходный процесс** — в теории систем представляет реакцию динамической системы на приложенное к ней внешнее воздействие с момента приложения этого воздействия до некоторого установившегося значения во временной области.

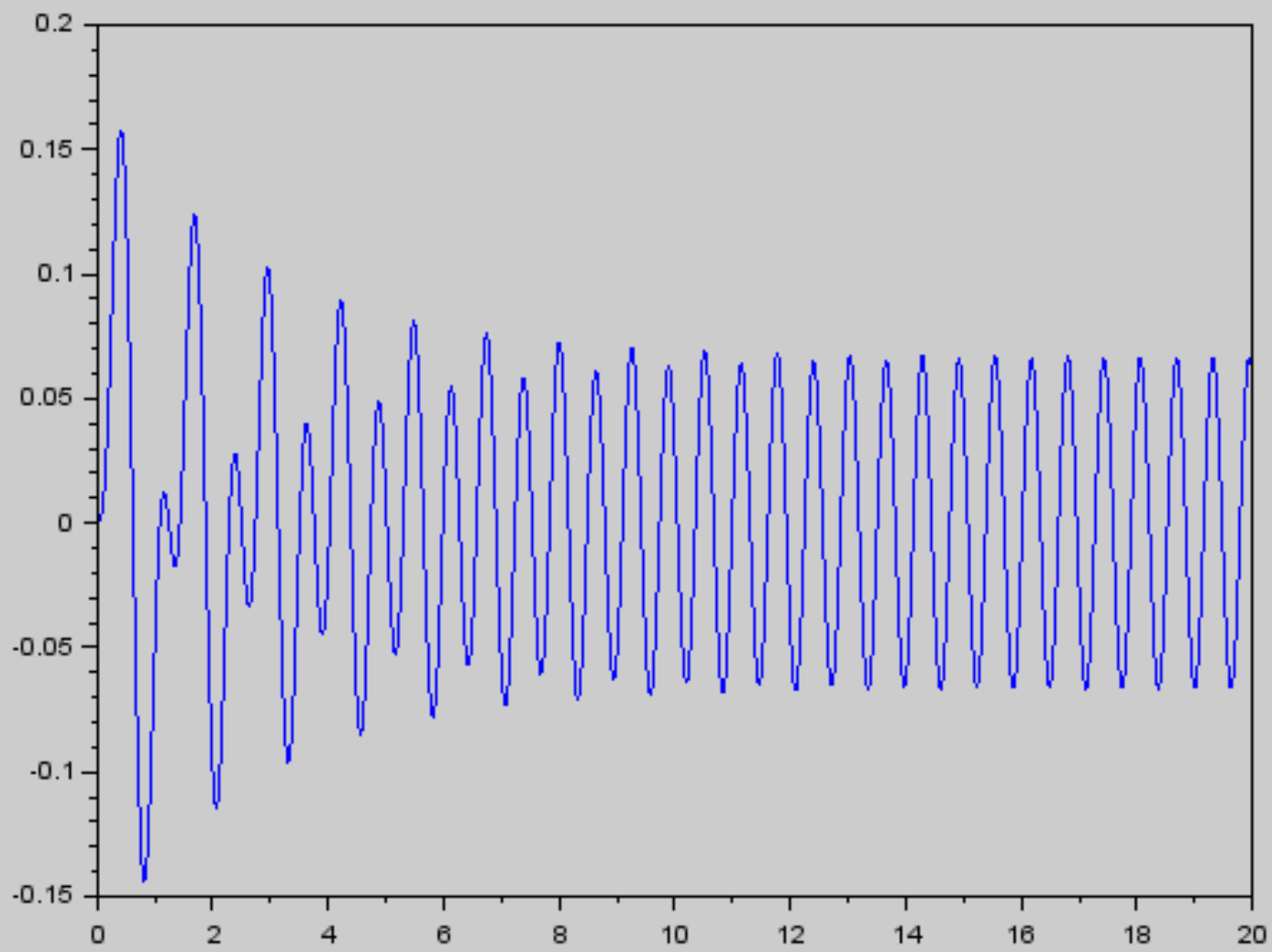
- В переходном процессе могут возникать большие амплитуды отклонений внутренних параметров, сопровождающиеся значительным повышением деформаций и напряжений в конструктивных элементах технических систем.

При изменении внешнего воздействия  $u(t)$  выходной сигнал технической системы  $v(t)$  может быть представлен состоящим из двух составляющих:

$$v(t) = v_B(t) + v_P(t), \text{ где}$$

- $v_v(t)$  – вынужденная установившаяся составляющая, определяемая частным решением неоднородного дифференциального уравнения, описывающего функционирование динамической технической системы.

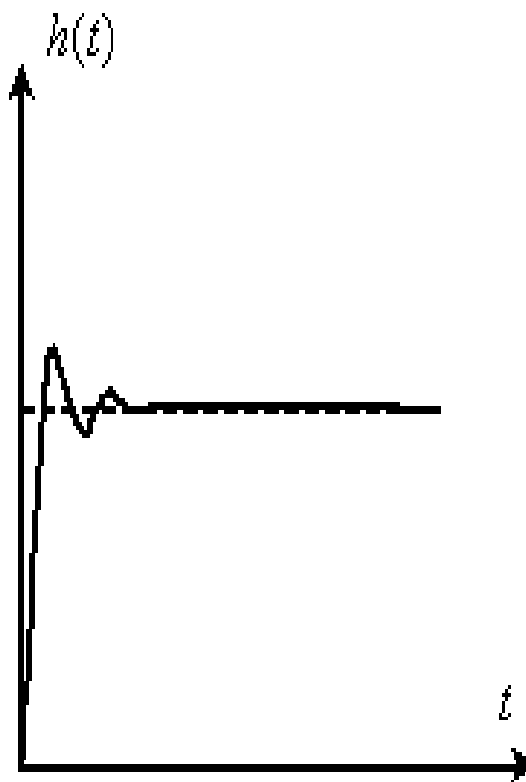
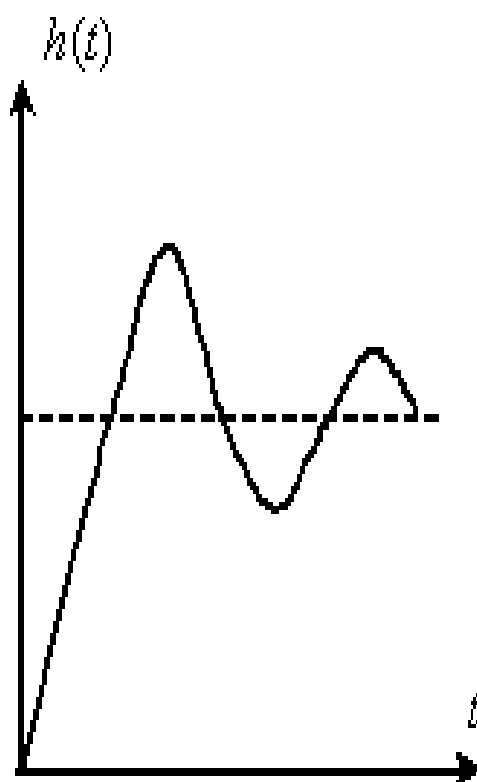
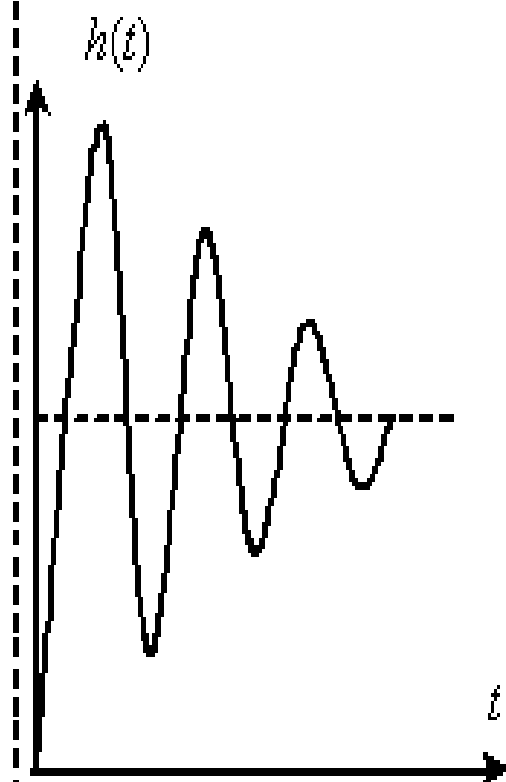
- $v_p(t)$  – переходная составляющая, характеризующая свободный переходный процесс и определяемая общим решением однородного дифференциального уравнения без правой части.



- Если техническая система устойчива, переходная составляющая с течением времени затухает и остается лишь вынужденная составляющая.
- О качестве переходных процессов есть смысл говорить лишь для устойчивых систем.



# Переходные процессы устойчивой системы



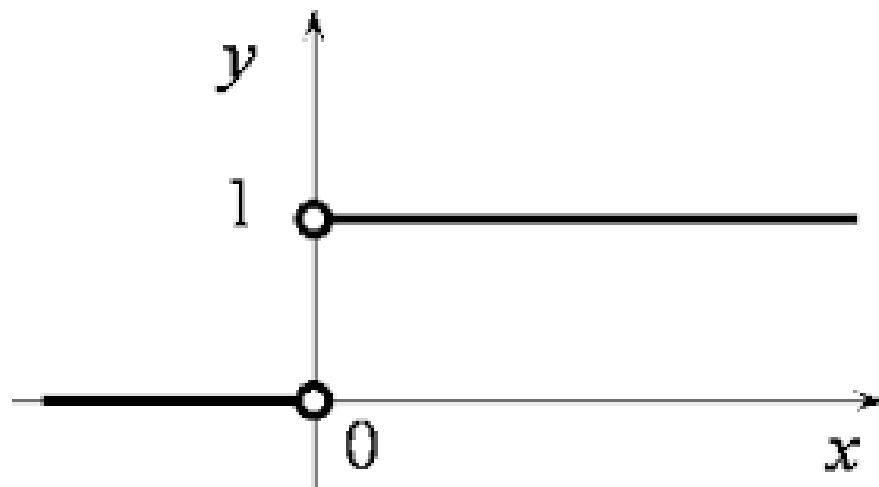
- При анализе переходных процессов применяются следующие виды воздействий:
  - ступенчатое;
  - импульсное;
  - кусочно-линейное;
  - гармоническое.

- Переходной характеристикой называется реакция технической системы на ступенчатое воздействие.

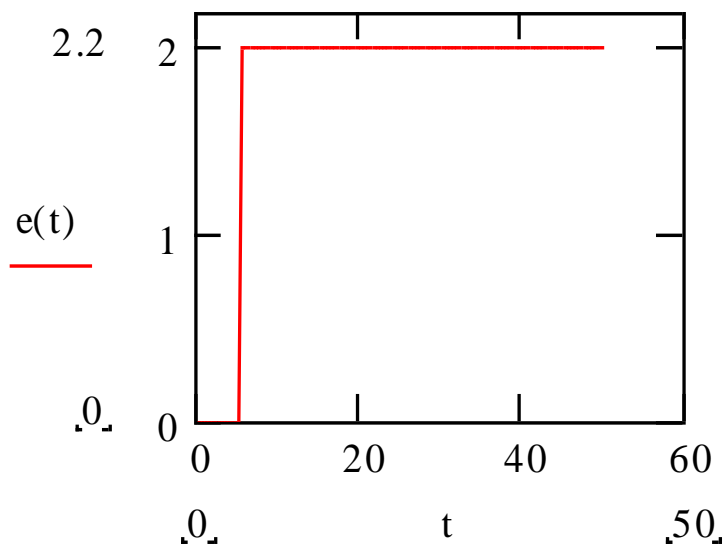
- Переходную характеристику рекомендуют получать при нулевых начальных условиях и единичном ступенчатом воздействии.

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

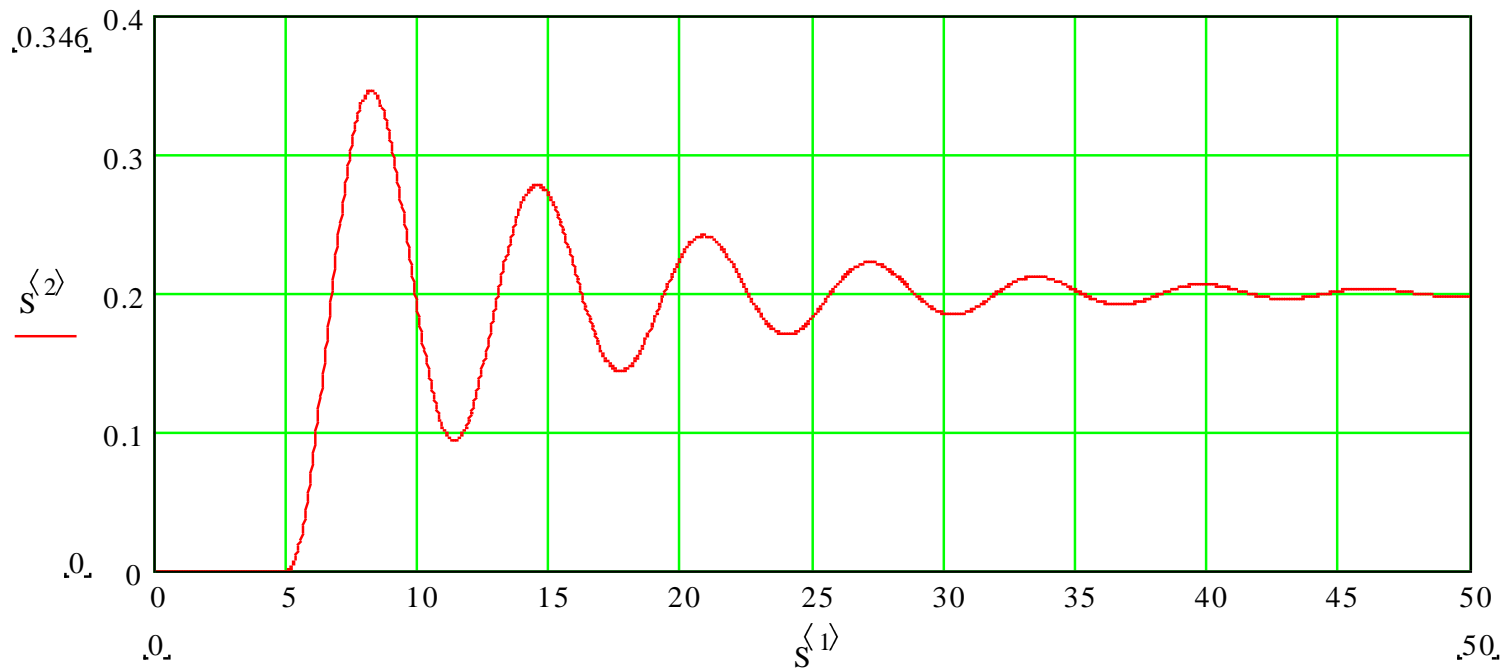
- **Функция Хевисайда** - специальная математическая функция, чьё значение равно нулю для отрицательных аргументов и единице для положительных аргументов



# Вид ступенчатого воздействия



# Реакция системы на ступенчатое воздействие

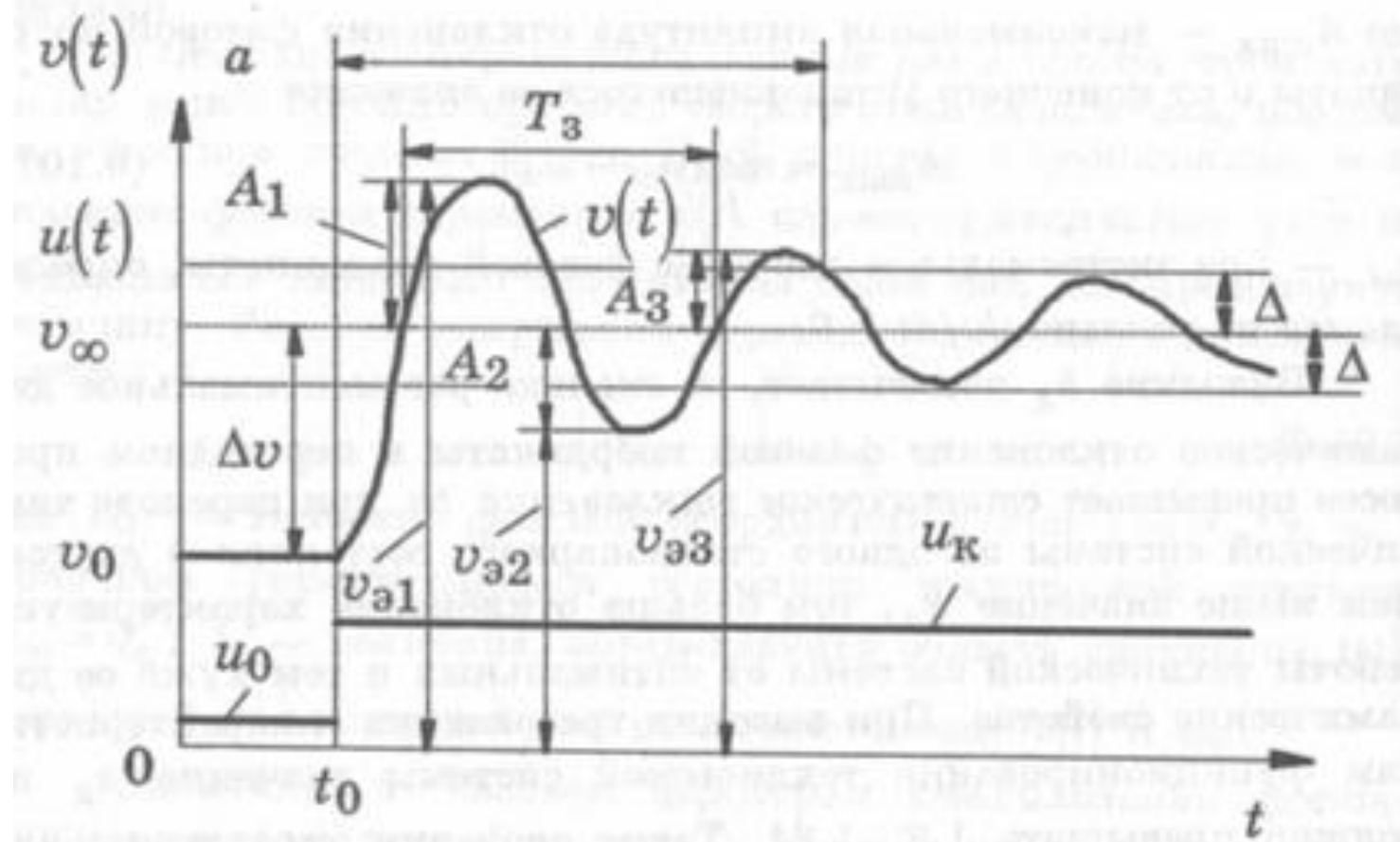


Для оценки качества переходного процесса используются следующие показатели.

- 1) Время переходного процесса –  $t_p$ , характеризуется длительностью пребывания технической системы в неустановившемся состоянии.



- 2) Коэффициент динамичности-  $k_d$ , характеризуется максимальным отклонением выходного сигнала от его значения в установившемся конечном состоянии.
- 3) Колебательность –  $K$ , определяет число колебаний за время  $t_p$ .
- 4) Декремент колебаний
- 5) Перерегулирование



# Время переходного процесса

- Длительность переходного режима даже при быстром затухании динамического процесса теоретически бесконечна, поэтому на практике считают переходный процесс завершённым, если значение выходного сигнала перестает отличаться от установившегося конечного значения не более чем на определённую величину.

# Коридор стабилизации

Эта величина называется коридором стабилизации установившегося состояния  $\Delta$ .

Обычно  $\Delta = 5\% * |v(t) - v(\infty)|$

$|v(t) - v(\infty)|$  - установившееся состояние процесса

# Время переходного процесса

- Время переходного процесса равно интервалу времени, измеряемому от момента начала ступени сигнала воздействия до момента последнего пересечения переходной характеристикой линии коридора стабилизации.
- Время переходного процесса характеризует быстродействие технической системы.

## Коэффициент динамичности

определяется по формуле:

$$k_d = 1 + A_{\max} / \Delta v$$

где  $A_{\max}$  – максимальная амплитуда отклонения выходного сигнала  $V$  от конечного установившегося ее значения

$$\Delta v = |v(t) - v(\infty)|$$

- **$A_{\max} = \max |V_{\text{э}i} - V^{\infty}|$**

$V_{\text{э}i}$  –  $i$ -ое экстремальное значение  
выходного сигнала, определяемое из  
условия  $dv/dt=0$

При высоких требованиях к характеристикам функционирования технических систем значение  $k_d$  не должно превышать 1.25 – 1.45



Декремент колебаний определяется по формуле:

$$D = A_1/A_2$$

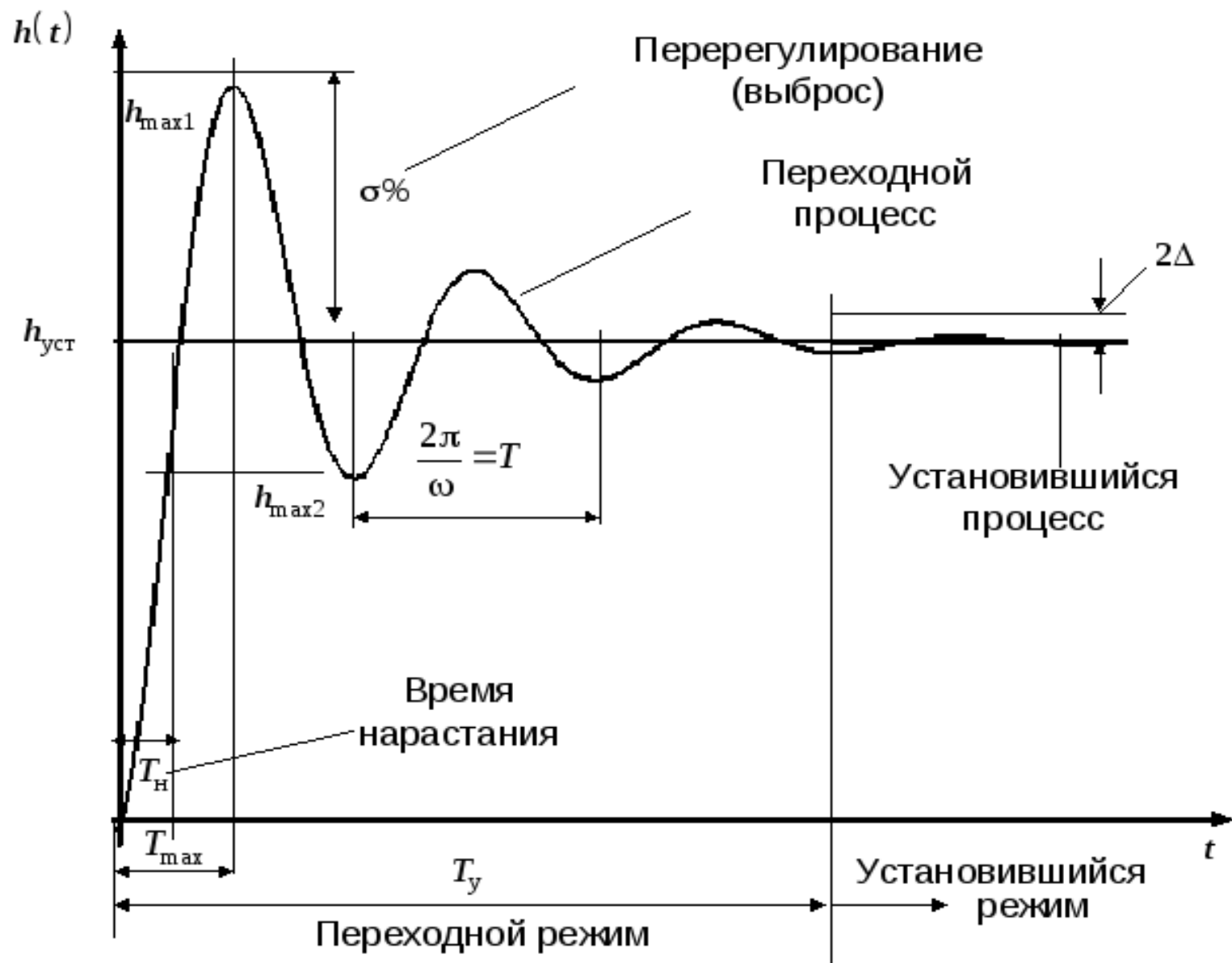
$A_1, A_2$  – амплитуды двух смежных отклонений фазовой координаты от установившегося значения.

Чем выше значение  $D$ , тем быстрее затухают колебания.

- Колебательность  $K$  определяется числом амплитудных значений  $V_{эi}$  за время  $t_p$  или числом полупериодов колебаний.
- При высоких требованиях к переходным процессам  $K$  не должно превышать 2, при умеренных – 5.

- Перерегулирование - максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения выходной величины, выраженное в относительных единицах или процентах

$$\sigma\% = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\%$$



# Расчет переходного процесса в Python

Получение переходного процесса

1. Зададим функцию ступенчатого воздействия
2. Решим ОДУ с учетом функции ступенчатого воздействия
3. Получим график переходного процесса
4. Определим числовое значение перемещения в установившемся режиме

**# Описание системы дифференциальных уравнений**

**def dempf(y,t):**

**F=0**

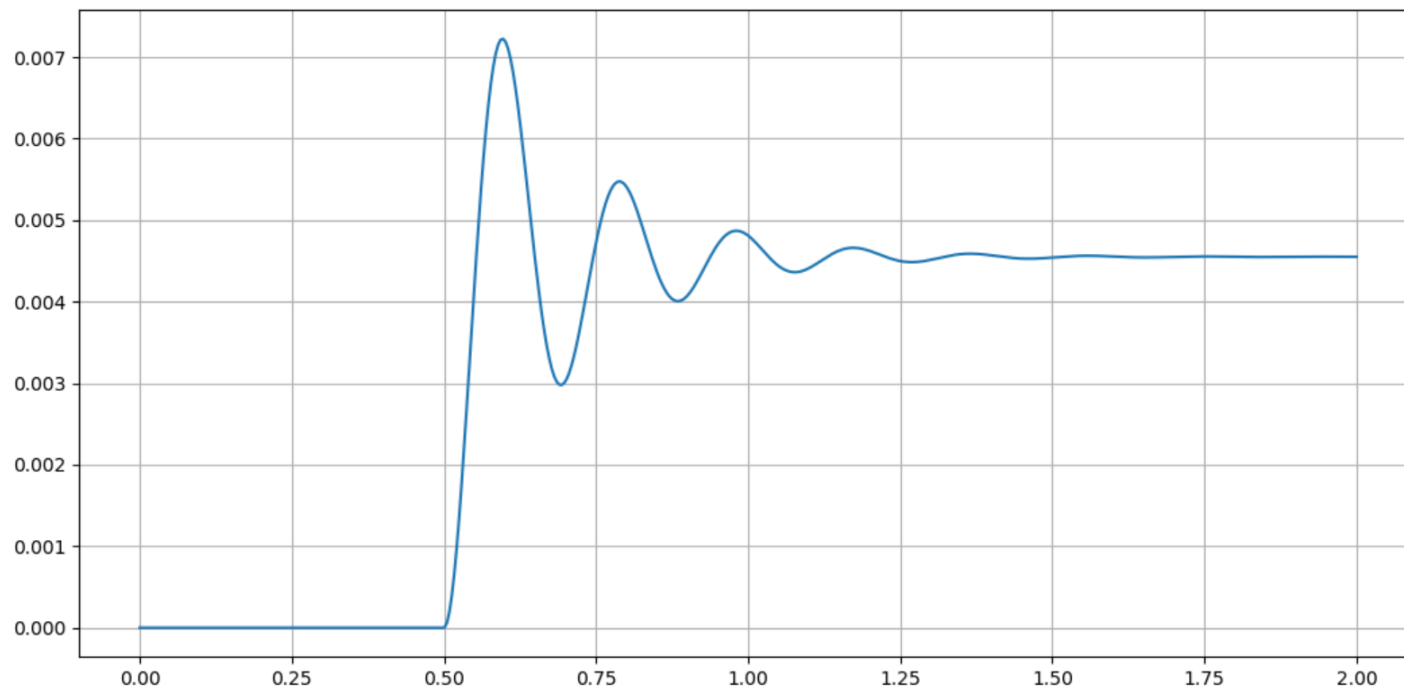
**if t>0.5:**

**F=5**

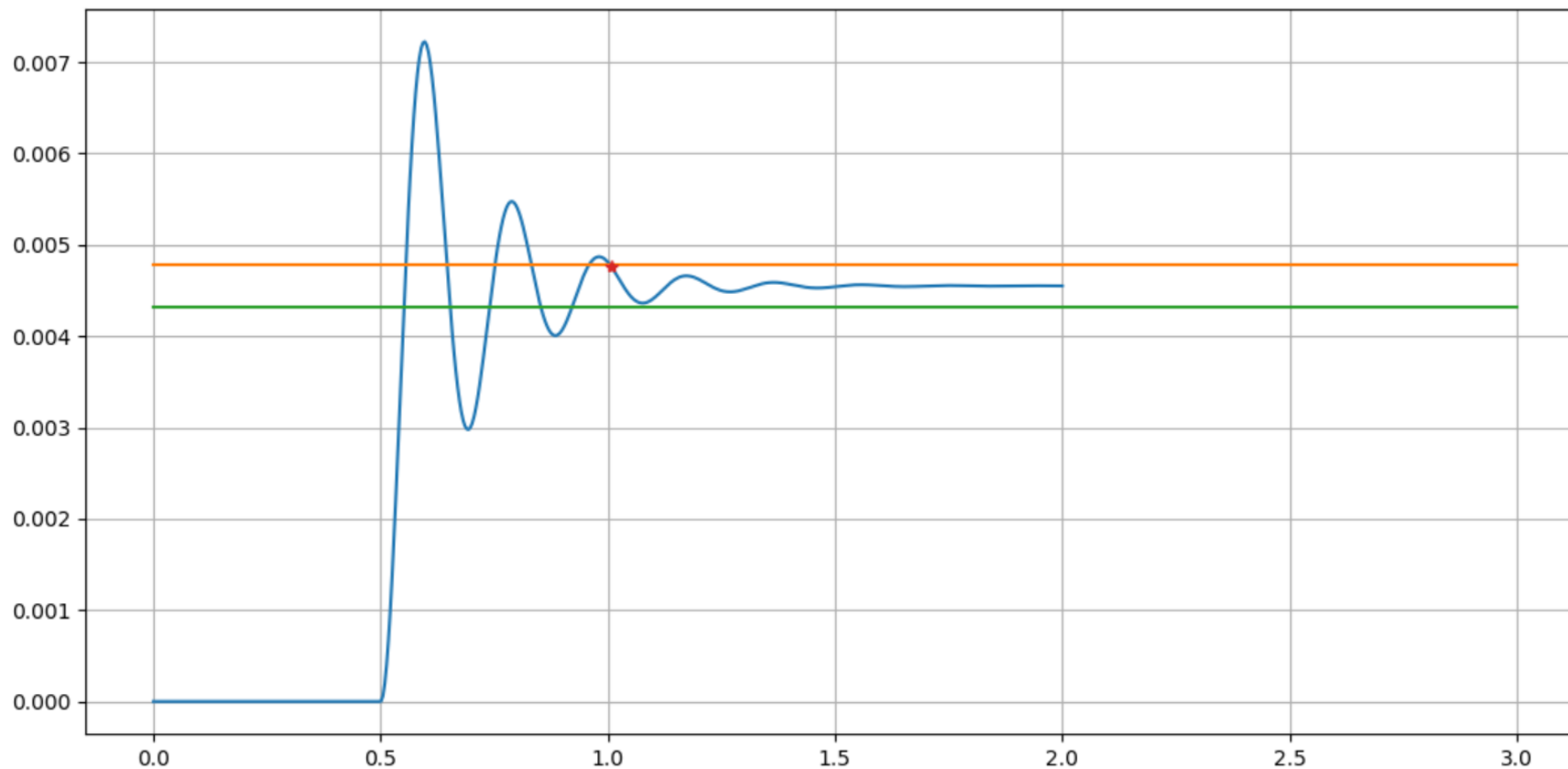
**return [y[1], -2\*n\*y[1]-p\*\*2\*y[0]+F]**

# График переходного процесса

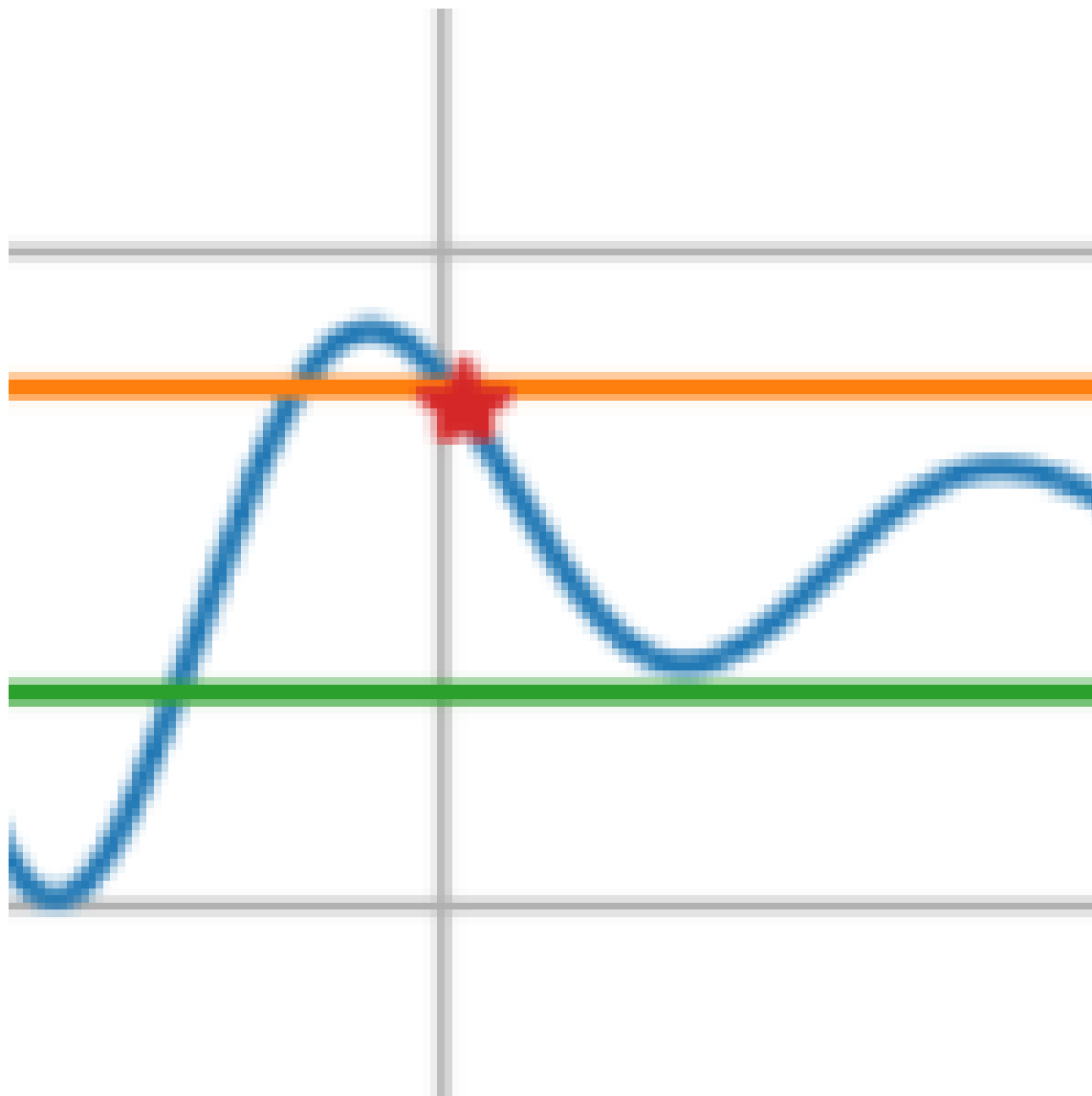
Figure 1



# Коридор стабилизации







```
print("время переходного процесса")  
print(Vrem-0.5)
```

---

время переходного процесса  
0. 506

Найдем коэффициент динамичности –  $k_d$

1) Найдем максимальное значение амплитуды  $A_{max}$

2) Вычислим  $k_d$  по формуле

$$k_d = 1 + A_{max}/u_{st}$$

```
Max=max(PP)
```

```
Amax=Max-ust
```

```
kd=1+Amax/ust
```

```
print("коэффициент динамичности")
```

```
print(kd)
```

---

коэффициент динамичности

1.4902194