

# *ЦИФРОВЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ*

Цифровые системы  
автоматического управления

# Литература

- **Бесекерский В.А.**, Цифровые автоматические системы, М.: Наука, 1976.
- Микропроцессорные системы автоматического управления // **Бесекерский В.А. и др.**, Л.: Машиностроение, 1989.

## Структура курса

- Лекции -16 часов
- Практические занятия- 16 часов
- Лабораторные занятия – 16 часов
- Экзамен
- Курсовая работа
- Количество практических и лабораторных работ - 7 шт

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  | Итог по разделам | Экзамен | Итог |
|---|---|---|---|----|----|----|------------------|---------|------|
| 7 | 7 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 60               | 40      | 100  |

## Содержание КР

### Введение

1. Преобразование структурной схемы ЦСАУ
2. Анализ устойчивости ЦСАУ
3. Анализ переходных процессов ЦСАУ
4. Анализ ЛАЧХ
5. Построение желаемой ЛАЧХ и ЛАЧХ корректирующего устройства
6. Расчет корректирующего устройства

### Заключение

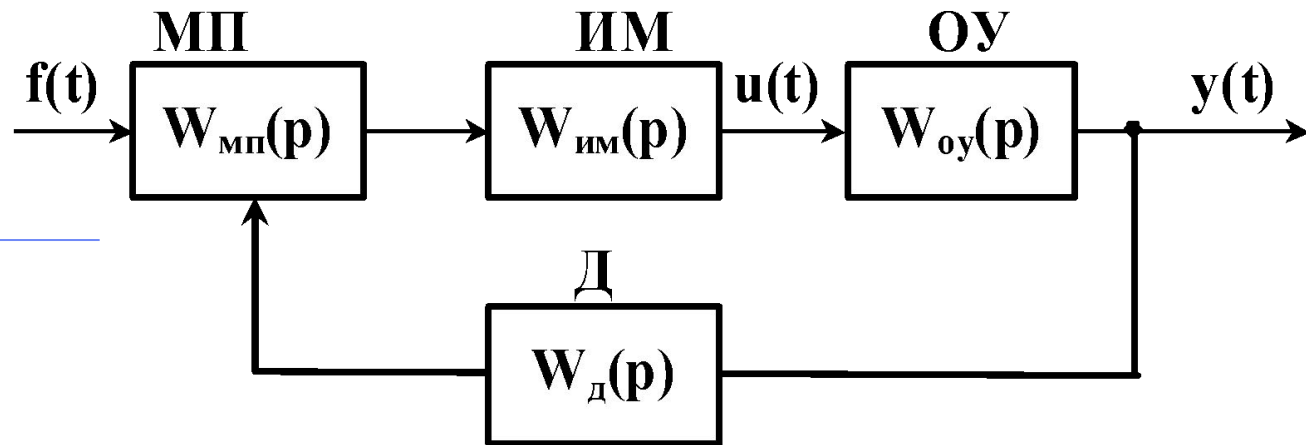
## Сроки выполнения КР

1. 30% – 1-2п. – 01.03
2. 60% – 3-4п. – 09.03
3. 90% – 5-6п. – 15.03
4. Сдача готовой КР – 22.03 – 30.03
5. Защита КР – 29.03 – 06.04

Балл за КР – 100.

За невыполнение сроков (за каждый раздел) на 1 неделю «-10»

За невыполнение сроков (за каждый раздел) на 2 недели «-20»



- ОУ - объект управления
- ИМ - исполнительный механизм
- Д - датчик
- передаточные функции:

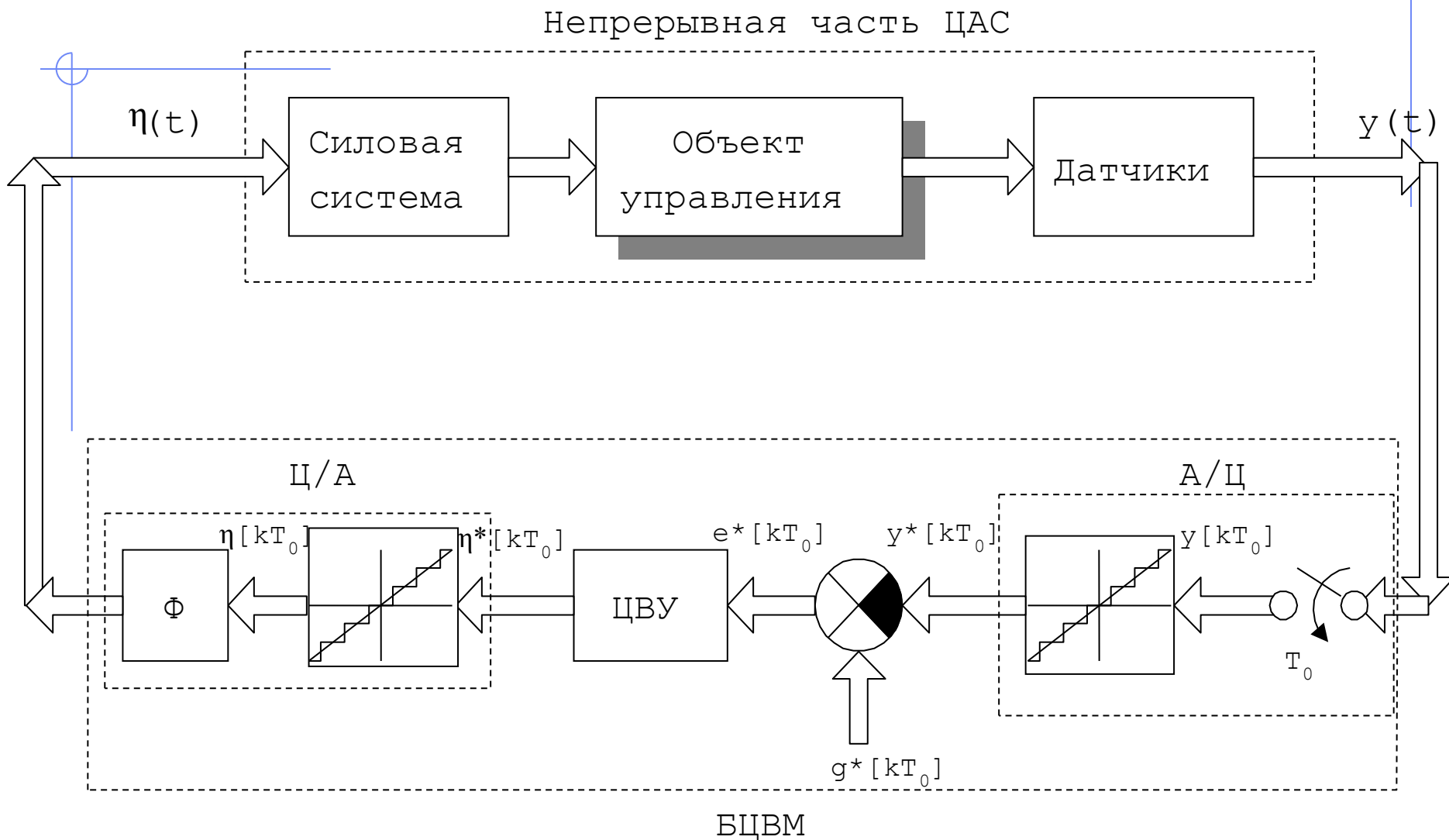
$$W_{\text{оу}}(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}$$

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$$

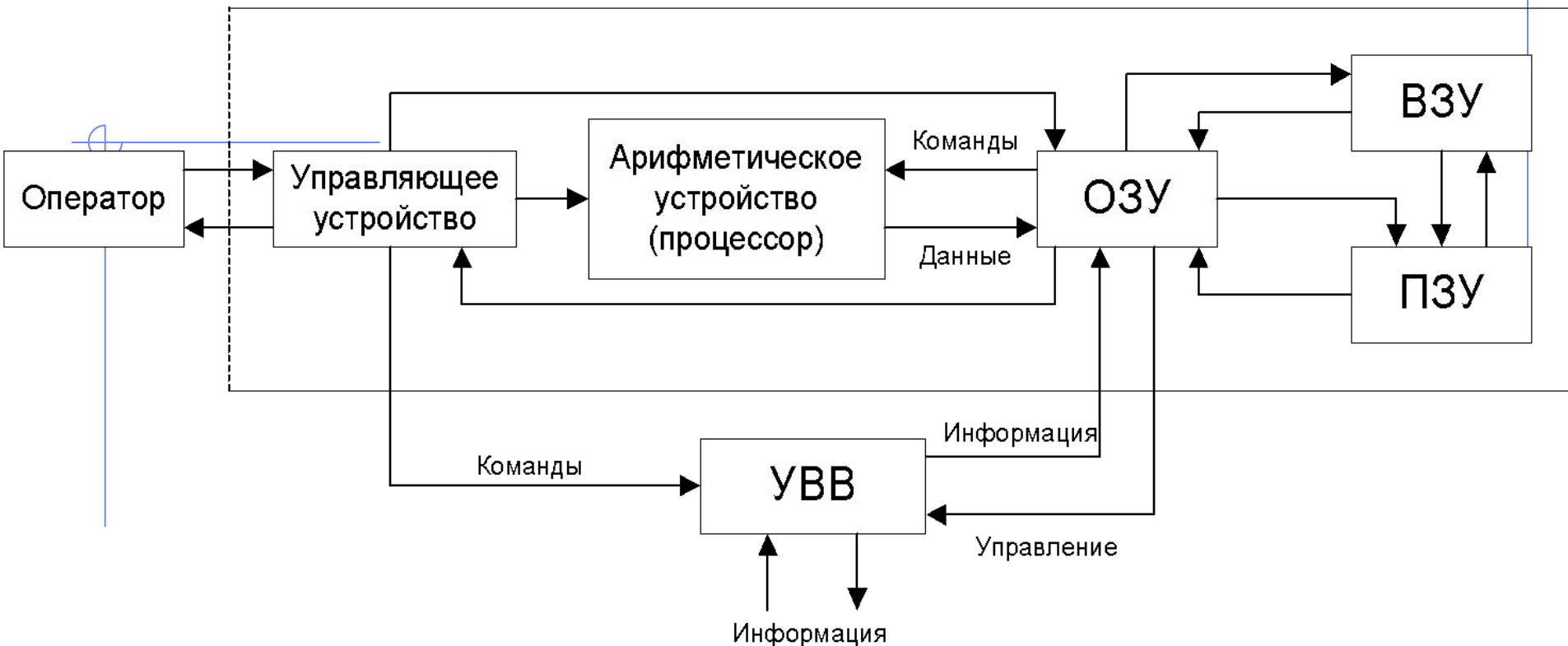
$$W_{\text{им}}(p) = \frac{K_3}{T_3 p + 1}$$

| №  | Параметры      |                |                |                |                |                | №  | Параметры      |                |                |                |                |                |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    | K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> |    | K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> |
| 1  | 1,0            | 0,2            | 2,0            | 0,4            | 0,2            | 0,07           | 11 | 0,9            | 0,6            | 2,4            | 0,7            | 0,5            | 0,05           |
| 2  | 1,2            | 0,4            | 1,8            | 0,4            | 0,4            | 0,04           | 12 | 0,8            | 0,4            | 2,1            | 0,6            | 0,3            | 0,03           |
| 3  | 1,0            | 0,6            | 2,0            | 0,5            | 0,6            | 0,05           | 13 | 1,1            | 0,4            | 2,0            | 0,6            | 0,2            | 0,02           |
| 4  | 1,2            | 0,3            | 1,9            | 0,3            | 0,4            | 0,03           | 14 | 1,0            | 0,3            | 1,9            | 0,4            | 0,1            | 0,01           |
| 5  | 1,1            | 0,2            | 2,3            | 0,4            | 0,3            | 0,04           | 15 | 1,2            | 0,6            | 2,3            | 0,5            | 0,1            | 0,01           |
| 6  | 1,4            | 0,4            | 2,0            | 0,6            | 0,4            | 0,06           | 16 | 1,4            | 0,1            | 1,8            | 0,5            | 0,7            | 0,07           |
| 7  | 1,0            | 0,5            | 2,3            | 0,6            | 0,8            | 0,06           | 17 | 1,3            | 0,3            | 2,1            | 0,5            | 0,4            | 0,04           |
| 8  | 1,0            | 0,3            | 1,9            | 0,1            | 0,5            | 0,01           | 18 | 1,2            | 0,1            | 2,0            | 0,4            | 0,8            | 0,08           |
| 9  | 1,4            | 0,5            | 2,2            | 0,2            | 0,3            | 0,02           | 19 | 1,3            | 0,5            | 2,4            | 0,8            | 0,2            | 0,02           |
| 10 | 1,5            | 0,2            | 1,5            | 0,3            | 0,1            | 0,03           | 20 | 1,5            | 0,2            | 2,1            | 0,8            | 0,6            | 0,06           |

# Обобщенная схема ЦАС



# Цифровое вычислительное устройство



- Если периоды  $T_{oi}$  повторения решений в БЦВМ алгоритмов, соответствующих  $i$ -му каналу управления можно считать постоянными, то такие системы – *периодические ЦАС*.
- Если интервалы  $T_{oi}$  повторения обслуживания оказываются случайными величинами – *непериодические ЦАС*

# Особенности цифровых систем

## Достоинства

- реализация сложных нелинейных алгоритмов управления, оптимизирующих работу системы по различным критериям качества;
- получение информации, необходимой для построения высокоточных, быстродействующих и надежных автоматических систем;
- гибкость, простота перестройки алгоритма управления.

## Недостатки

- между моментами квантования система фактически не управляется, это может привести к потере устойчивости;
- возникновение нежелательных побочных эффектов;
- Дискретизация сигналов приводит к появлению явлений, которые не могут возникнуть в непрерывных системах.

# Методы исследования цифровых систем

- 1) методы, основанные на приближенном сведении цифровой системы к чисто непрерывной системе, при этом игнорируются все процессы, связанные с квантованием и наличием цифровых элементов;
- 2) методы, которые сводятся к исследованию дискретной модели цифровой системы, при этом рассматриваются только значения сигналов в моменты квантования и игнорируются все процессы между этими моментами;
- 3) точные методы исследования, при которых цифровая система рассматривается в непрерывном времени без каких-либо упрощений и аппроксимаций.

## Этапы преобразования непрерывного сигнала $y(t)$ в цифровой код

1. квантование по времени,
2. квантование по уровню
3. кодирование.

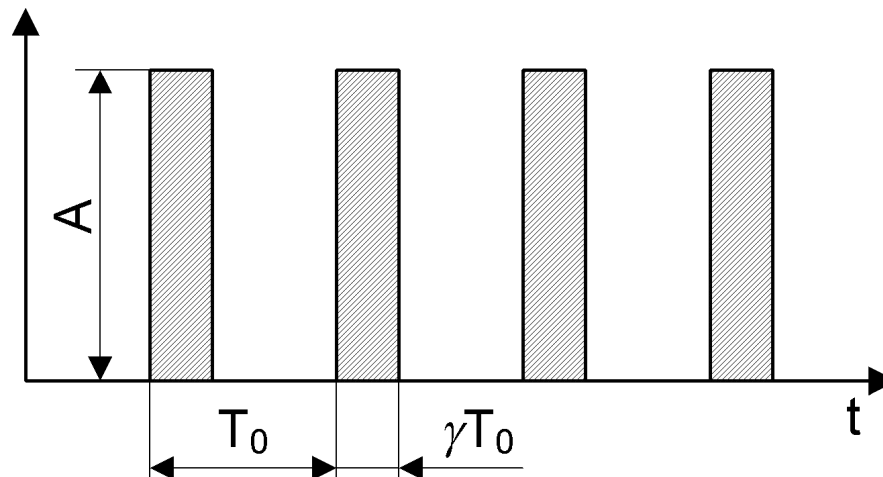
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ  
СИГНАЛОВ В ЦИФРОВОЙ КОД.  
КВАНТОВАНИЕ ПО ВРЕМЕНИ И УРОВНЮ

# Квантование по времени –

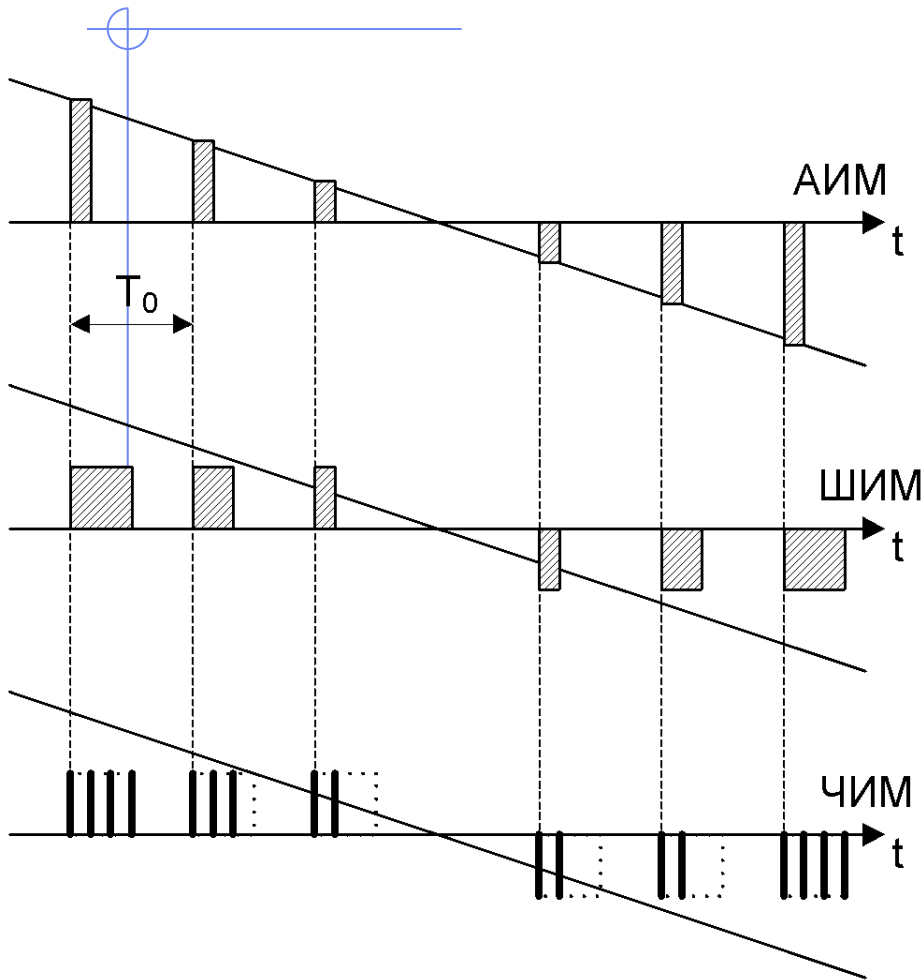
фиксация мгновенных значений непрерывно изменяющейся функции  $y(t)$  в дискретные моменты времени  $kT_0$  ( $k=0, 1, 2, \dots$  — дискретное время,  $T_0$  — период дискретности по времени).

Параметры немодулированной последовательности импульсов:

- $A$  — высота или амплитуда импульса,
- $\gamma T_0$  — длительность или ширина импульса
- $T_0$  — расстояние между импульсами или период повторения  $y(t)$ , определяющая закон модуляции, называется *модулирующей величиной*



# Виды модуляции

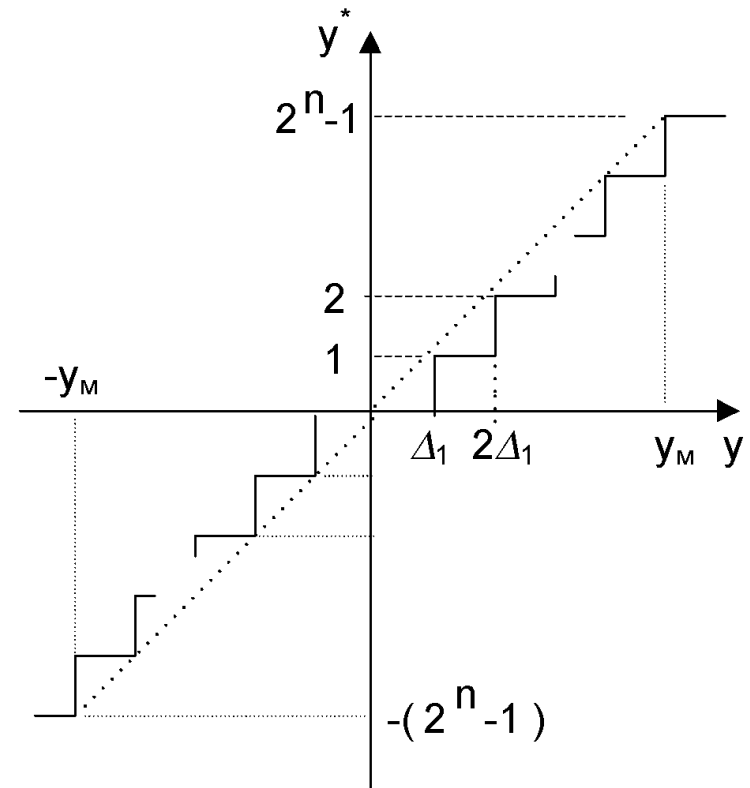


- амплитудно-импульсная модуляция — варьируется высота  $A$ ;
- широтно-импульсная модуляция — варьируется параметр  $\gamma$ ;
- частотно-импульсная модуляция — варьируется временной параметр последовательности импульсов

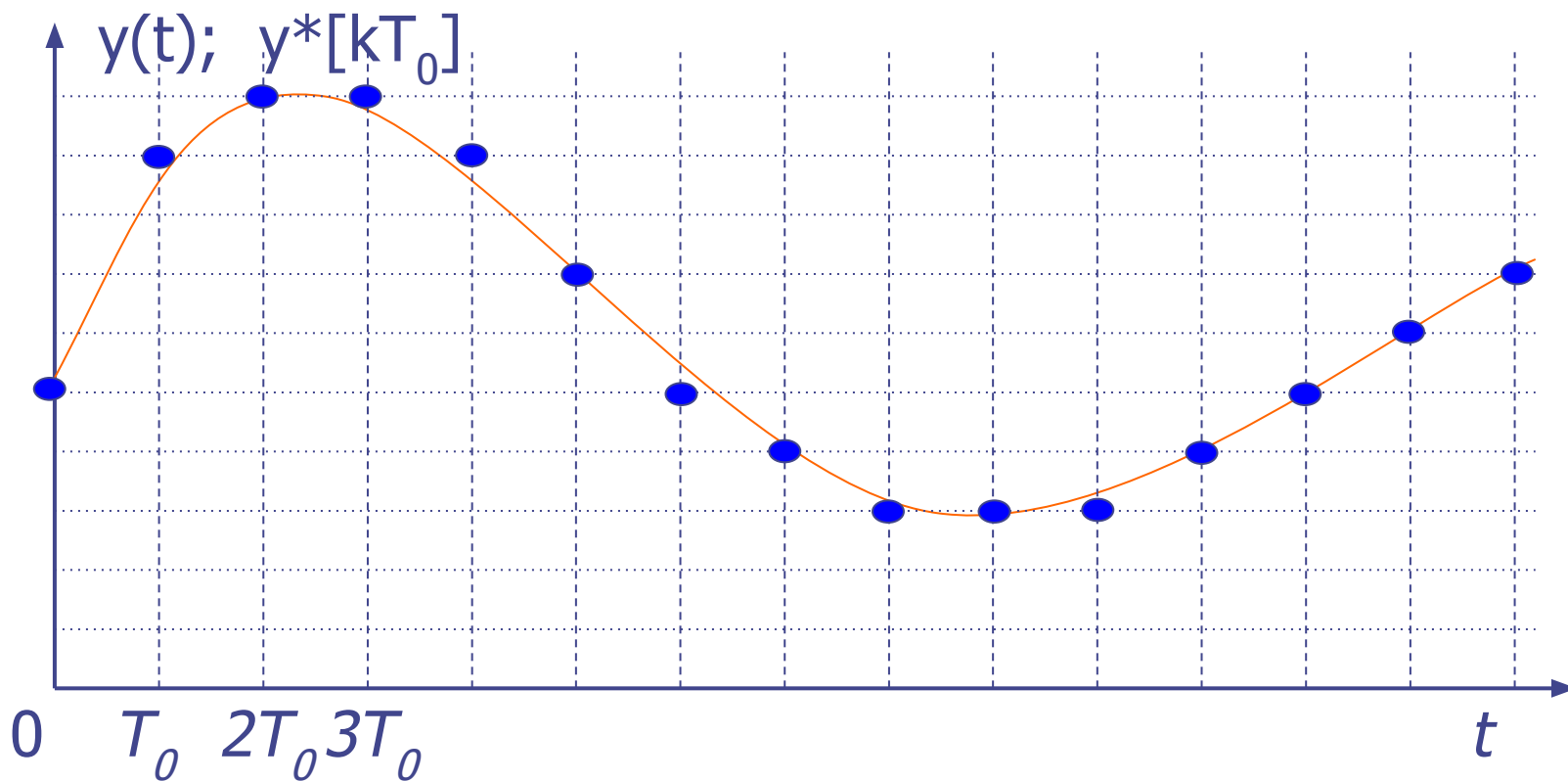
# Квантование по уровню —

- замена в соответствующие моменты времени мгновенных значений непрерывной величины  $y$  ближайшими разрешенными дискретными значениями  $y^*$  в соответствии со статической характеристикой преобразователя А/Ц.

Число уровней однозначно связано с числом двоичных разрядов преобразователя А/Ц



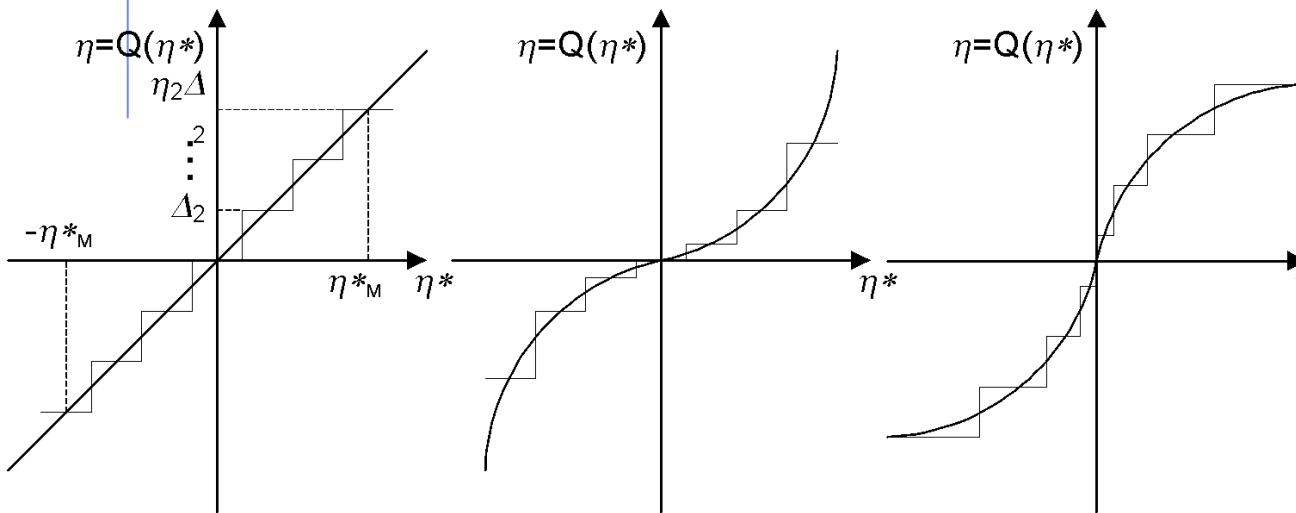
- При одновременном квантовании по времени и уровню непрерывный сигнал  $y(t)$  заменяется ближайшими к значениям непрерывного сигнала в дискретные моменты времени  $kT_0$  разрешенными дискретными уровнями  $y^*[kT_0]$



- Кодирование – преобразование сигнала  $y^*[kT_0]$  в цифровой код БЦВМ.

# Преобразование цифрового кода в непрерывный сигнал

- Декодирование состоит в преобразовании числового кода в импульсный сигнал с амплитудно-импульсной модуляцией.
- Экстраполяция заключается в преобразовании импульсного сигнала  $\eta[kT_0]$  в аналоговый сигнал  $\eta(t)$ .



*Равномерное квантование - шаг квантования по уровню не зависит от величины преобразуемого сигнала*

*неравномерное квантование сигналов по уровню – воспроизведение с большей точностью малых или больших уровней сигналов.*

# Решетчатая функция —

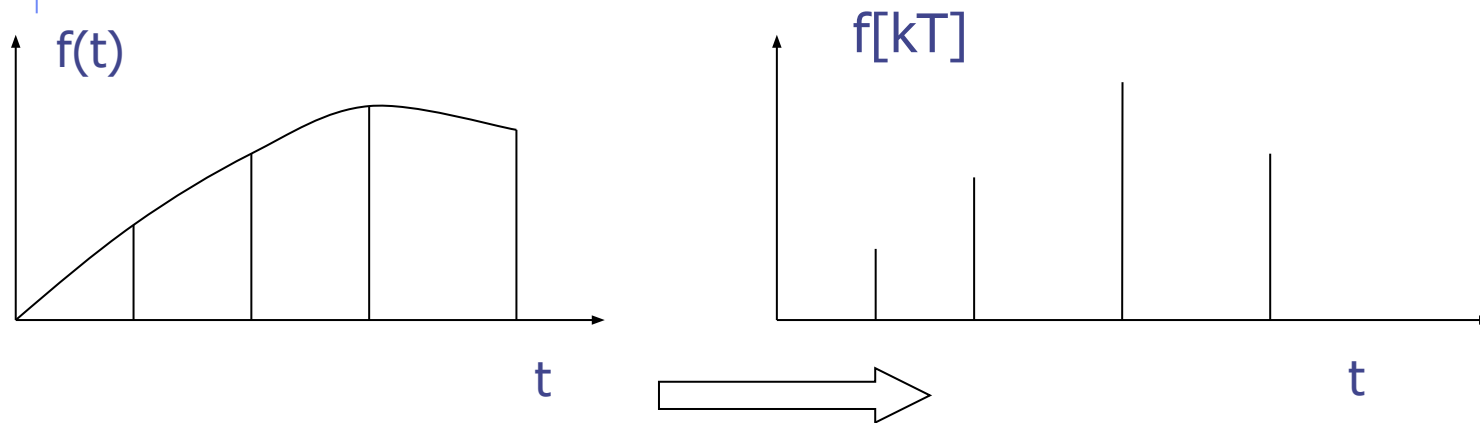
это функция, значения которой определены лишь в некоторые, тактовые моменты времени

⊕  $f[kT] = f(t); \quad t = kT, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$

# Смещенная решетчатая функция

это функция, значения которой определены для смещенных моментов времени

$$f[kT, \varepsilon T] = f(t); \quad t = kT + \varepsilon T, \quad k = 0, 1, 2, \dots; \quad 0 \leq \varepsilon < 1.$$



порождающая непрерывная  
функция

решетчатая функция

преобразование однозначно  $\Rightarrow$

$\Leftarrow$  преобразование неоднозначно

# Исследование динамики дискретных систем

с использованием переменных состояния

- Исследование проводят во временной области
- Рассматривают систему разностных уравнений
- Анализируют свойства ее решений.

Позволяют

- рассматривать нелинейные многомерные дискретные системы
- проводить исследование их свойств
- решать задачи синтеза

с использованием входных и выходных переменных системы

- Исследуют поведение некоторых величин, по изменению которых и оценивается качество САУ – выходных переменных системы

Позволяют

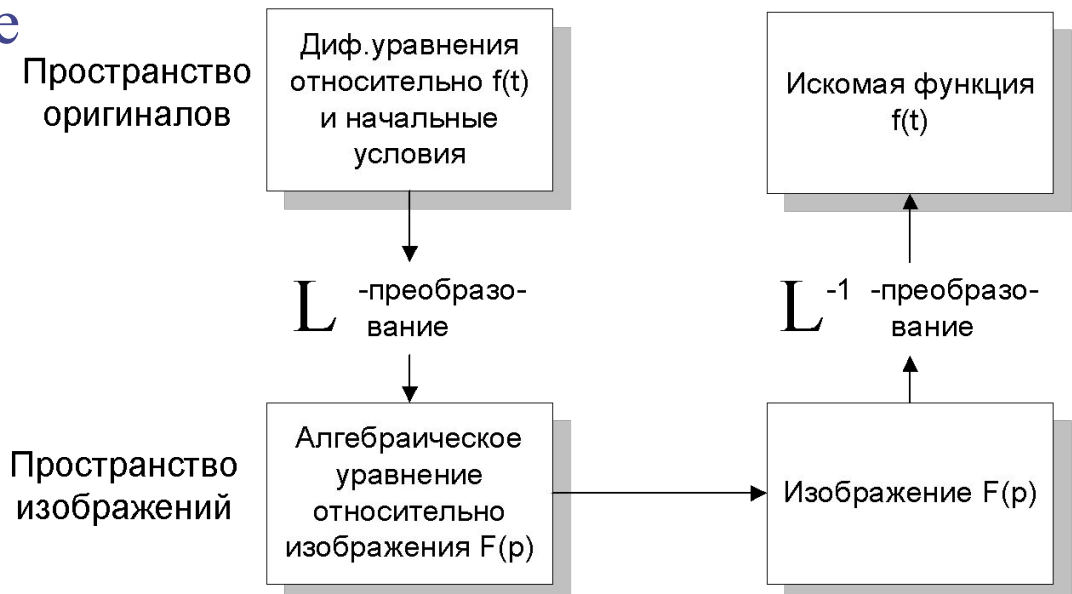
- проводить анализ зависимости выходных переменных от входных величин,
- определять, как придать системе требуемые свойства по этим переменным.

## Преобразование Лапласа

- каждой преобразуемой по Лапласу функции  $f(t)$  (оригиналу), поставить в соответствие функцию  $F(p)$  комплексной переменной  $p$  (изображение).
- дифференциальное уравнение заменить на алгебраическое уравнение

## Дискретное преобразование Лапласа

- преобразование решетчатой функции  $f[kT]$  в функцию  $F^*(p)$  комплексного переменного  $p$
- используются разностные уравнения



# Дискретное преобразование Лапласа

$$F^*(p) = \sum_{k=0}^{\infty} f[kT] \cdot e^{-pkT}$$

- $p = \sigma + j\omega$ ;
- $f[kT]$ - решетчатая функция (оригинал );
- $F^*(p)$ -изображение.

$$F^*(p) = D\{f[kT]\}$$

Для смещенной решетчатой функции  $f[k, \varepsilon]$

$$F^*(p, \varepsilon) = D\{f[k, \varepsilon]\} = \sum_{k=0}^{\infty} f[k, \varepsilon] \cdot e^{-pkT}$$

# Взаимосвязь $F^*(p)$ и $F(p)$

$$F^*(p) = \frac{1}{T} \sum_{m=-\infty}^{\infty} F\left(p + j \frac{2\pi}{T} m\right) + \frac{f(0)}{2}$$

$$F^*(p) = \overline{D}\{F(p)\}$$

$$F^*(p) = \sum_{i=1}^r \text{Res}F(s) \cdot \frac{1}{1 - e^{-T(p-s)}} \Big|_{s_i} = \sum_{i=1}^r \text{Res}F(s) \frac{z}{z - e^{TS}} \Big|_{s_i}$$

$s_i$  — полюсы изображения

Для смещенного оригинала

$$F^*(p, \varepsilon) = \overline{D}\{F(p)\} \Big|_{e^{pT}=z} = \sum_{i=1}^r \text{Res}F(s) \frac{e^{\varepsilon s}}{1 - e^{TS} \cdot z^{-1}} \Big|_{s=s_i}$$

Z-преобразование

$$z = e^{pT}$$

$$F(z) = Z\{f[kT]\} = \sum_{k=0}^{\infty} f[kT] z^{-k}$$

Для смещенной решетчатой функции - модифицированное Z-преобразование.

$$F(z, \varepsilon) = Z\{f[kT, \varepsilon T]\} = \sum_{k=0}^{\infty} f[kT, \varepsilon T] z^{-k}$$

# Z- преобразование

- результат применения к оригиналу  $f[kT]$  или изображению  $F(p)$ ,  $D$  или  $\overline{D}$  преобразования с последующей заменой  $z=e^{pT}$
- Z-преобразование несмещенной функции

$$F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} f[kT] \cdot z^{-k}$$

- Z-преобразование смещенной функции

$$F(z, \varepsilon) = \sum_{k=0}^{\infty} f[k, \varepsilon] \cdot z^{-k}$$

# Свойства Z- преобразования

- самостоятельно