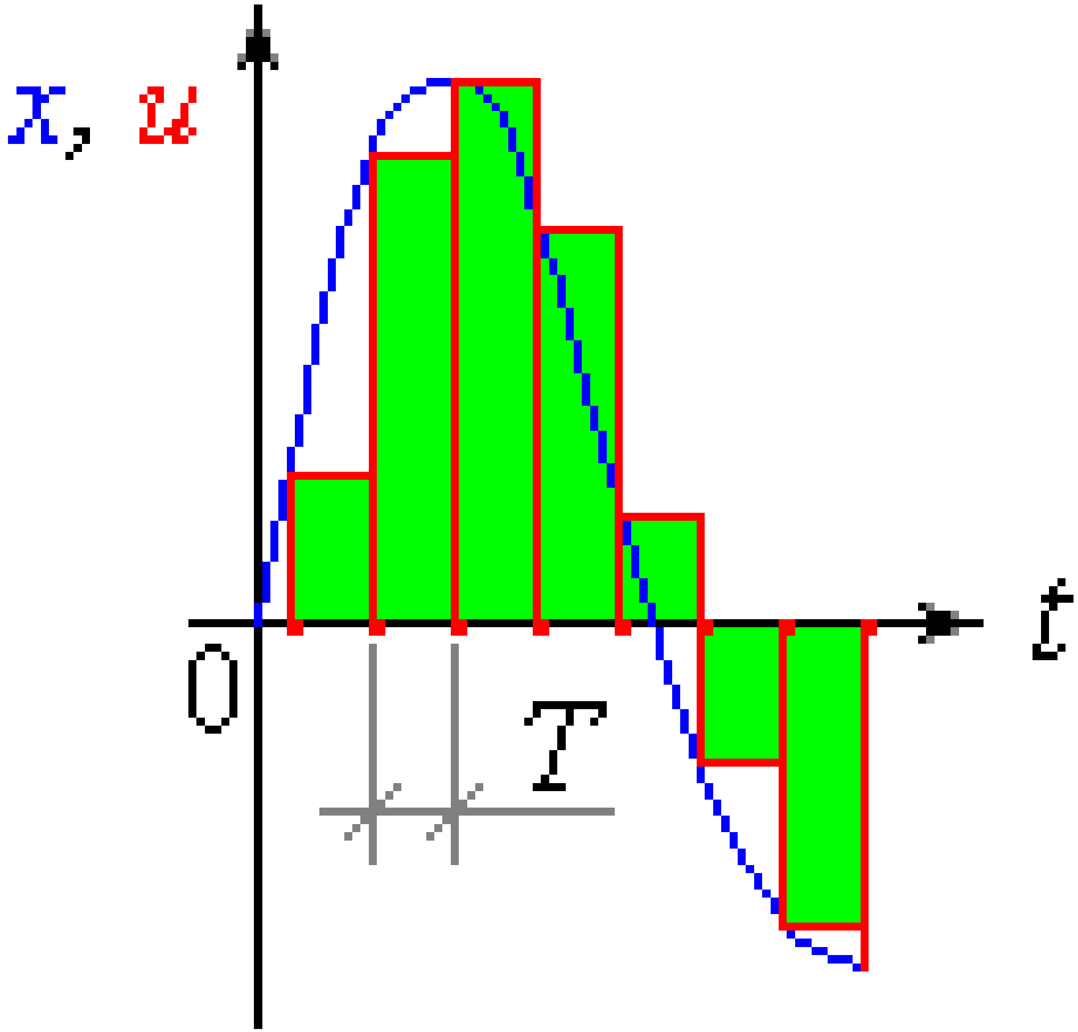
Понятие импульсных и цифровых САУ. Импульсный элемент. Модуляция импульсов. Описание импульсной системы. Решетчатые функции. Передаточные функции импульсных систем. Частотные характеристики импульсных систем. Устойчивость и качество работы

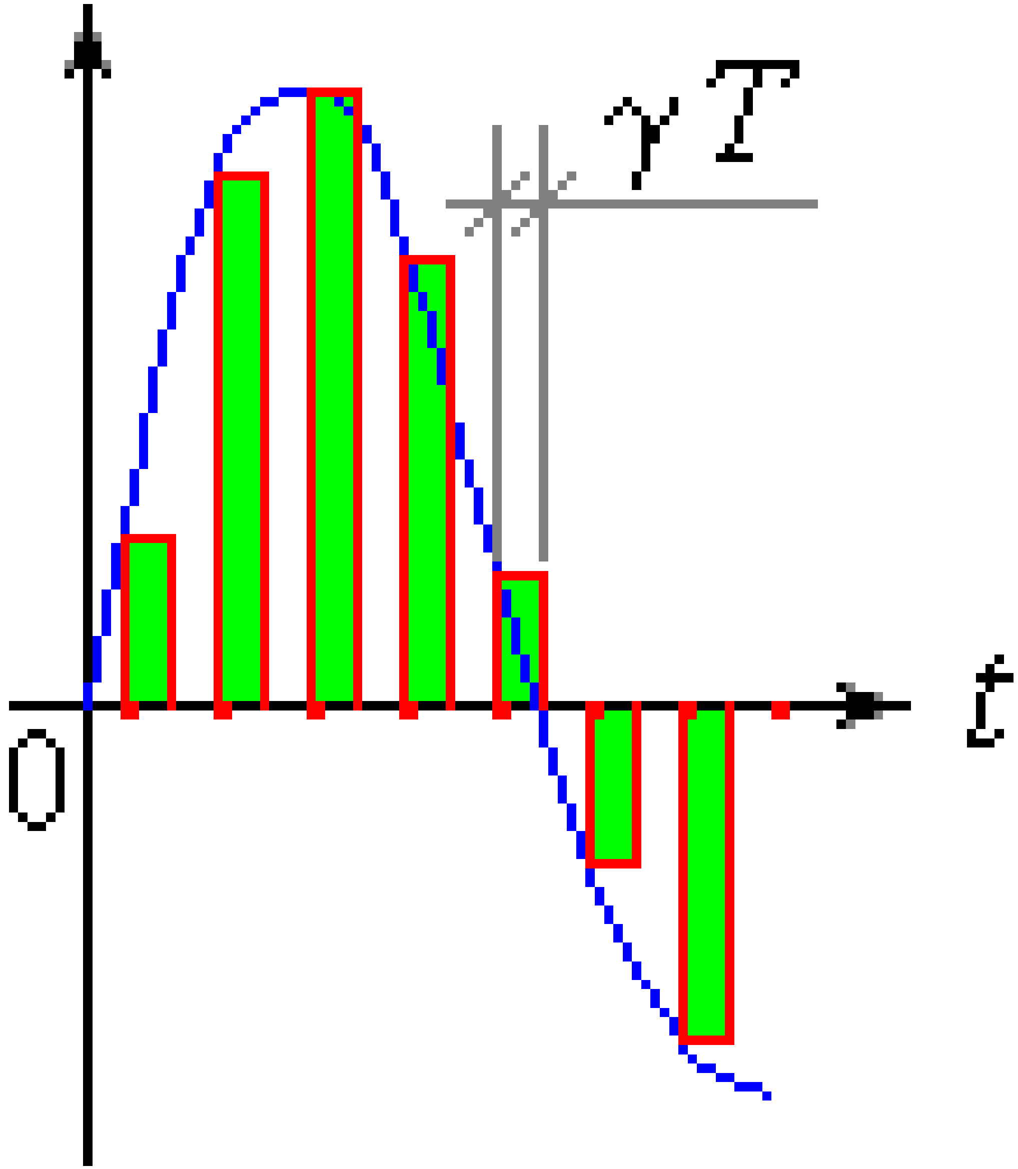
Импульсные системы

Линейной системой импульсного регулирования называется такая САР, которая кроме звеньев описываемых обыкновенными линейными ДУ содержит импульсное звено, преобразующее непрерывное входное воздействие в равноотстоящие друг от друга по времени импульсы

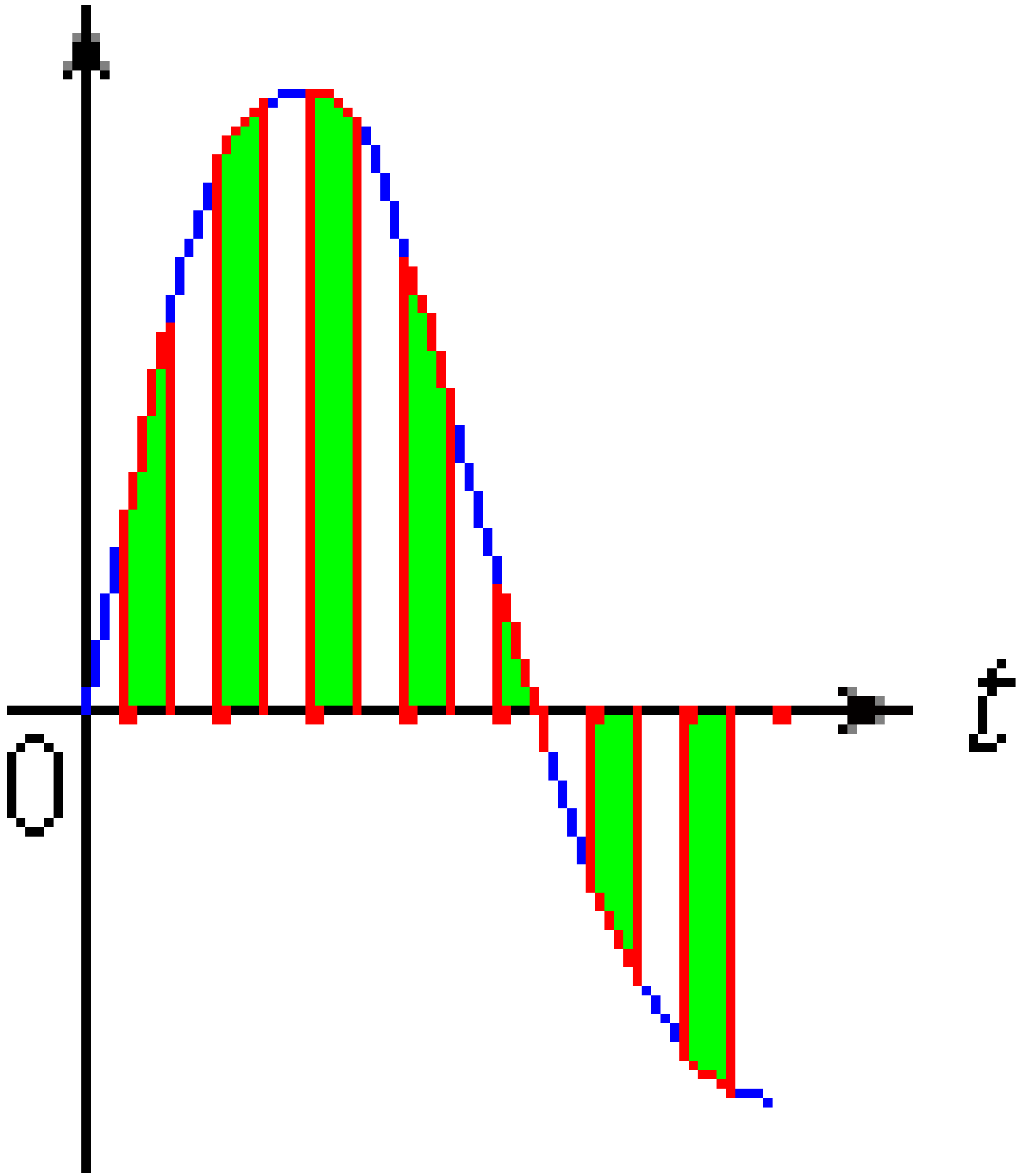
Варианты выходных последовательностей импульсных звеньев



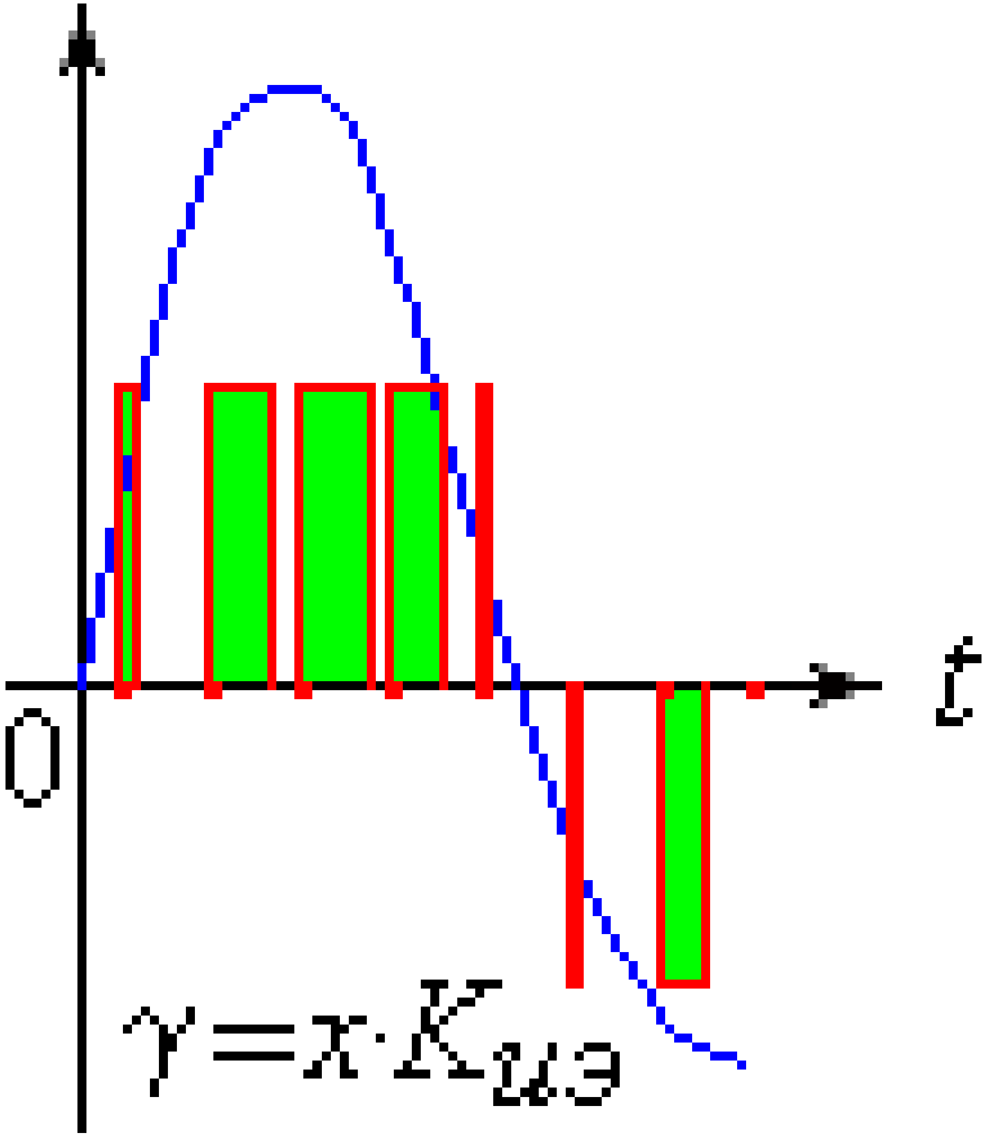
Экстраполяция нулевого порядка



АМ 1-ого рода

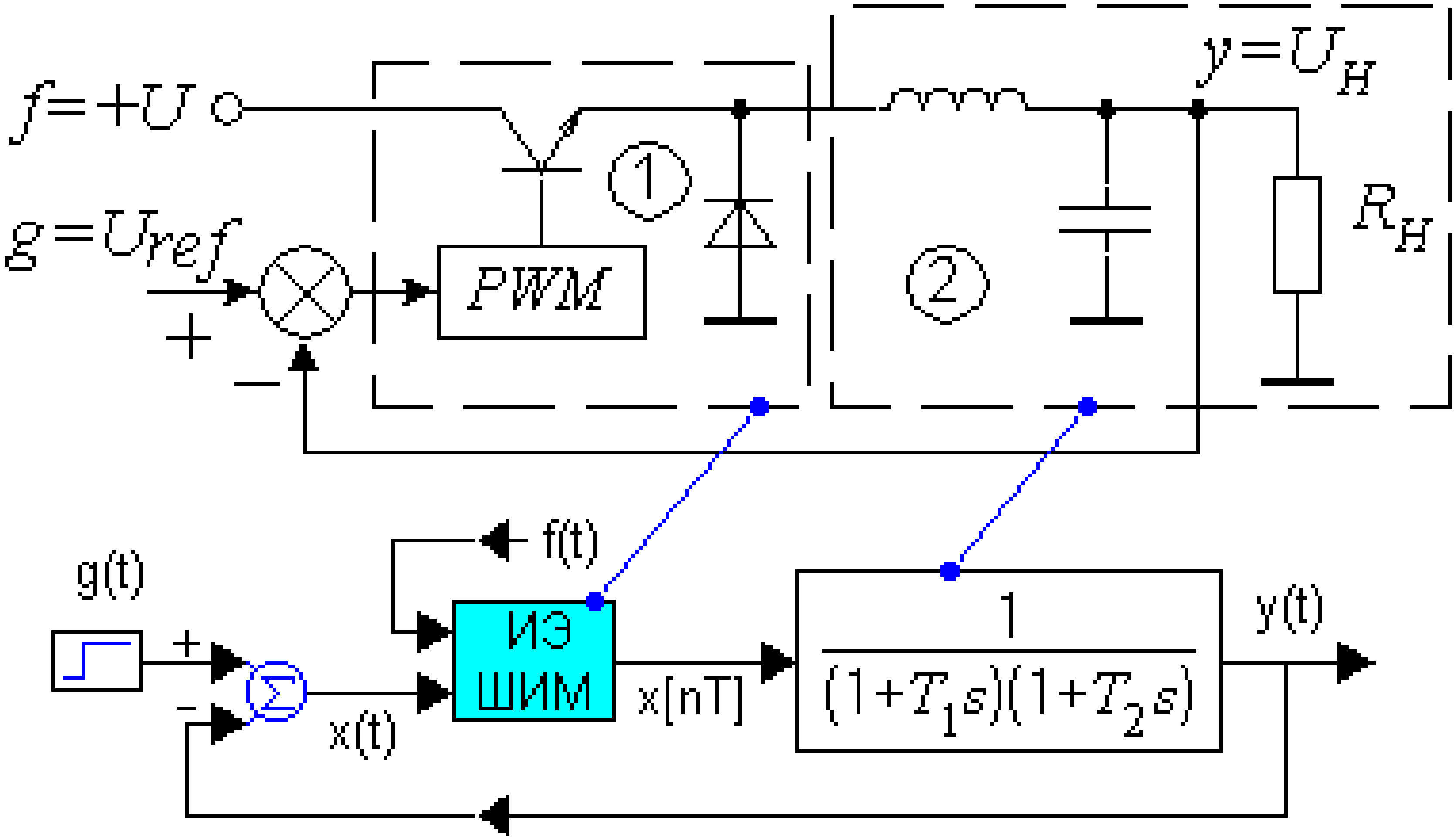


АМ 2-ого рода



ШИМ

Пример импульсной системы



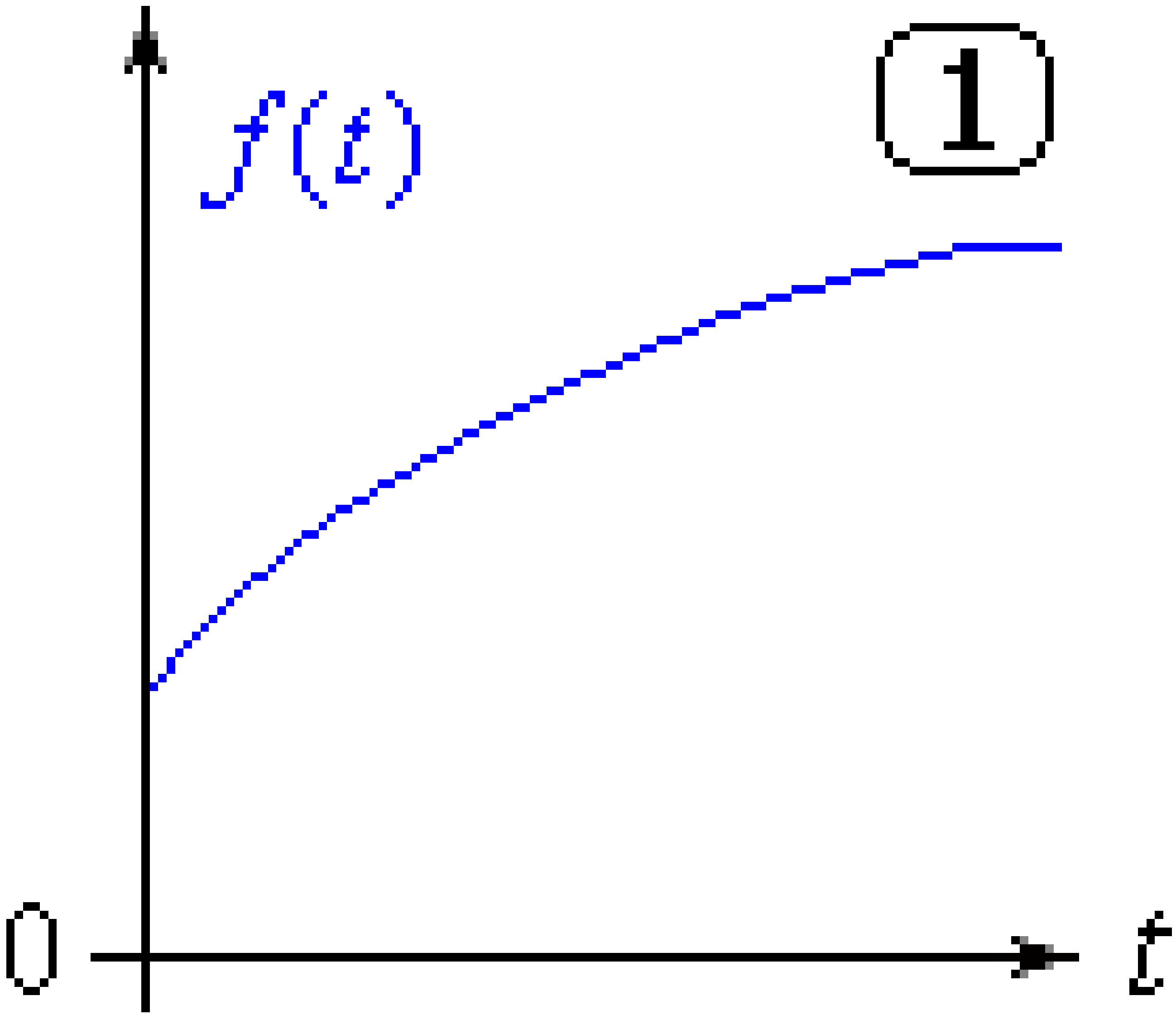
- 1 - импульсное звено - ключ с ШИМ; 2 - непрерывное звено - фильтр с нагрузкой; изменение $+U$ можно рассматривать как возмущение $f(t)$
- Система линейна, если линеен ШИ-модулятор. Если Rн меняется, то система дополнительно будет параметрической.

Математический аппарат описания импульсных систем

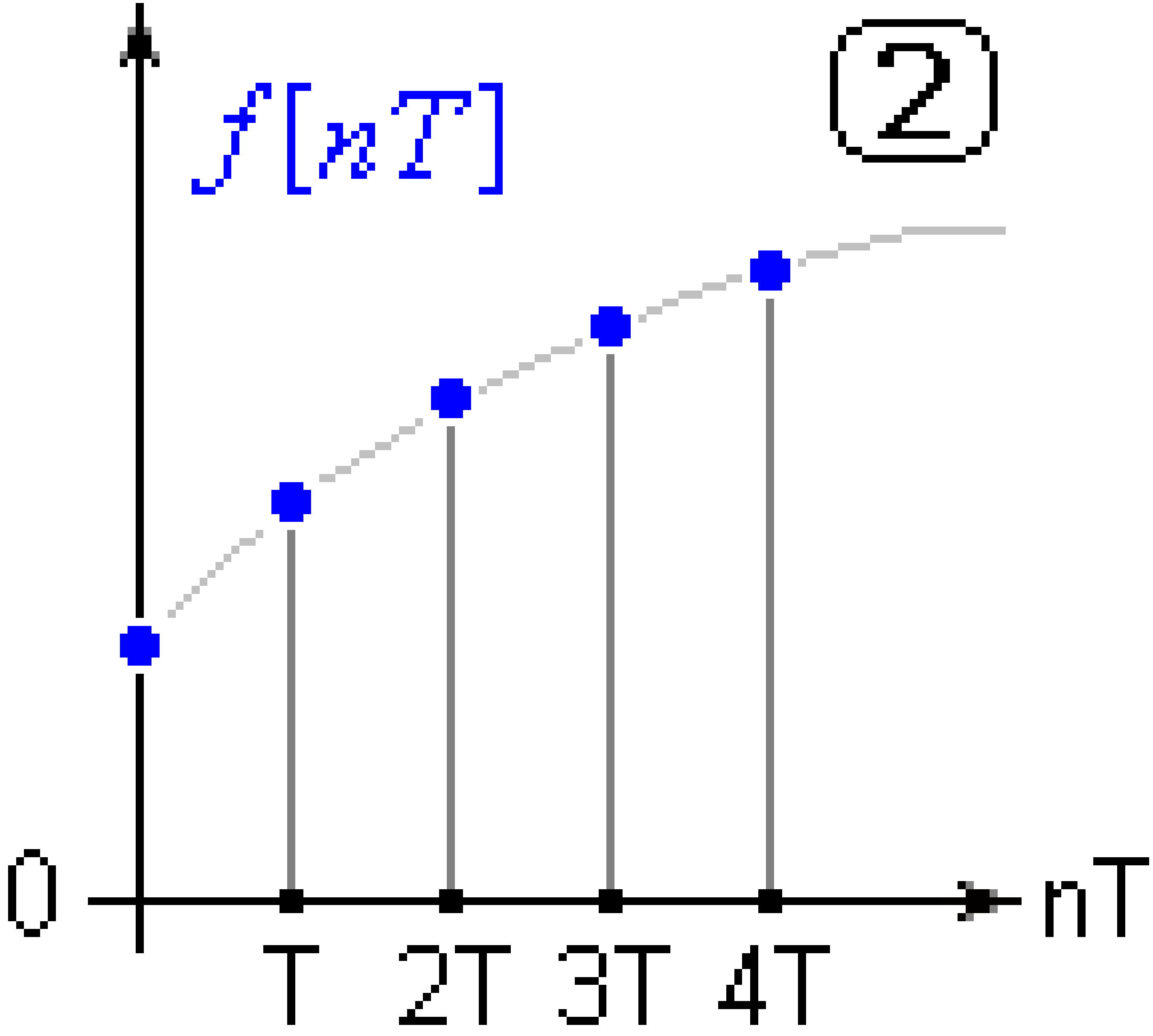
Решетчатые функции

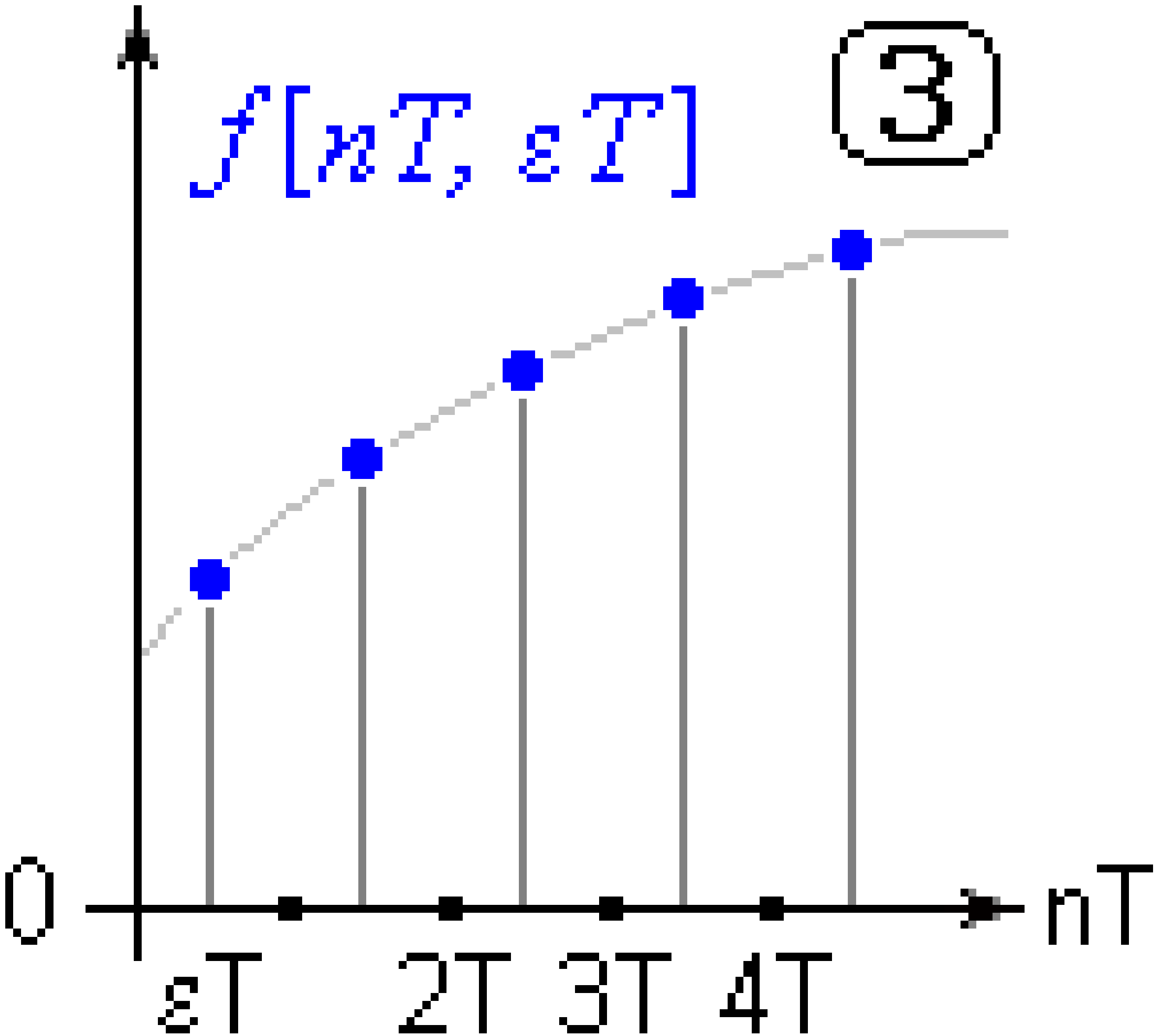
- Решетчатые функции 2 определены только в дискретные моменты времени [*nT*] (сокращенно [*n*]), и формируются из непрерывных функций 1: $f[nT] = f(t)$ при $t=nT$. Рассматривают так же смещенные решетчатые функции (последовательность 3): $f[n, \varepsilon] = f(t)$ при $t=(n+\varepsilon)T$, где ε - относительное смещение,

$$\varepsilon \in [0...1)$$



$f(t)$
1
0
t

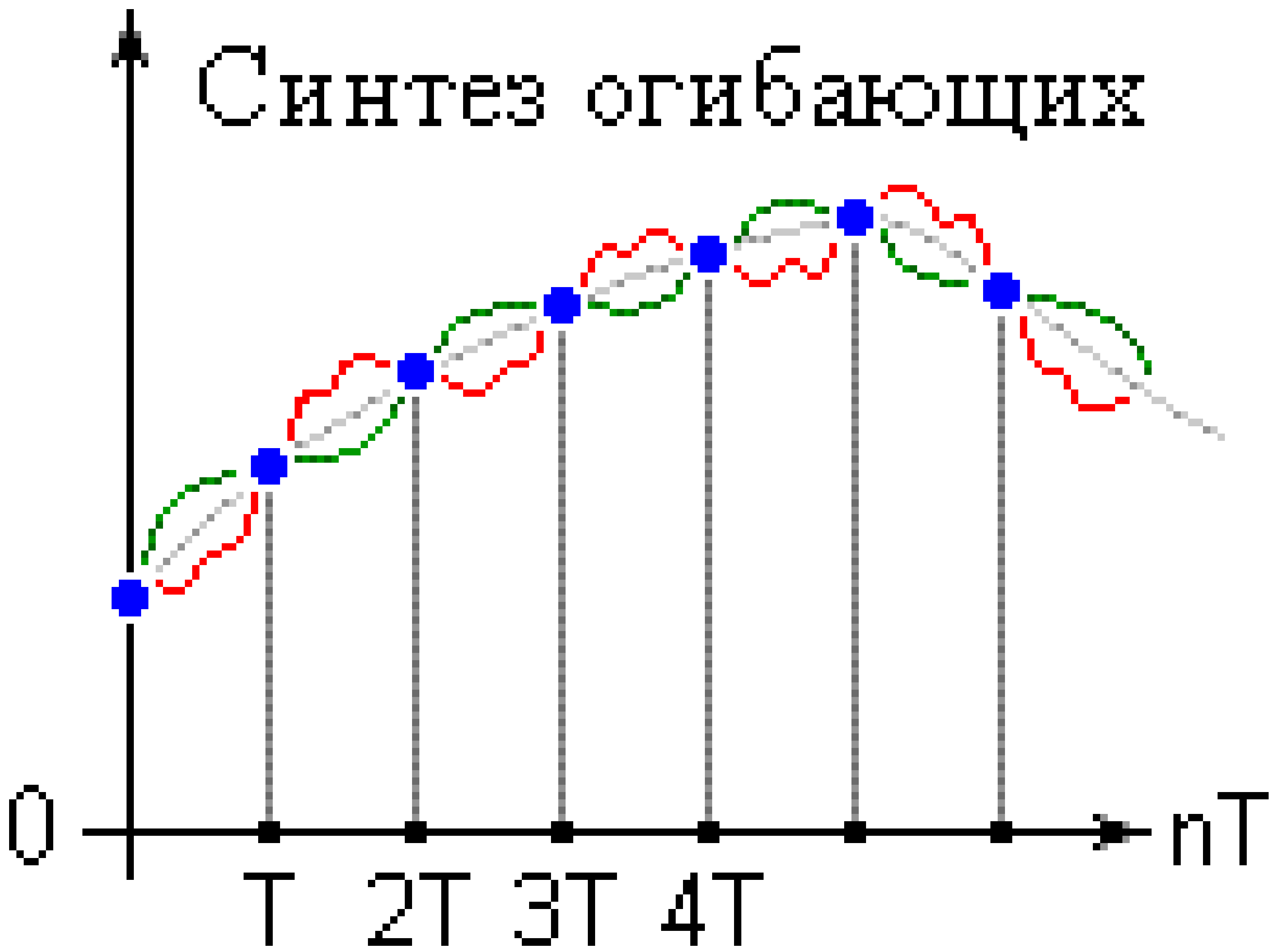

f[nT]
2
0
T
2T
3T
4T
nT



$f[nT, \varepsilon T]$
3
0
nT
εT
2T
3T
4T

Непрерывные функции, проходящие через дискреты заданной решетчатой функции, называют огибающими. Их бесконечно много.

Основная огибающая может быть получена, как результат решения ДУ наименьшего порядка и должна содержать гармоники наименьшей частоты.


Синтез огибающих
0
nT
T
2T
3T
4T

Дифференцирование и интегрирование решетчатых функций

- Аналогом первой производной для решетчатой функции является либо первая прямая разность:

$$\Delta f[n] = f[n+1] - f[n],$$

- либо первая обратная разность:

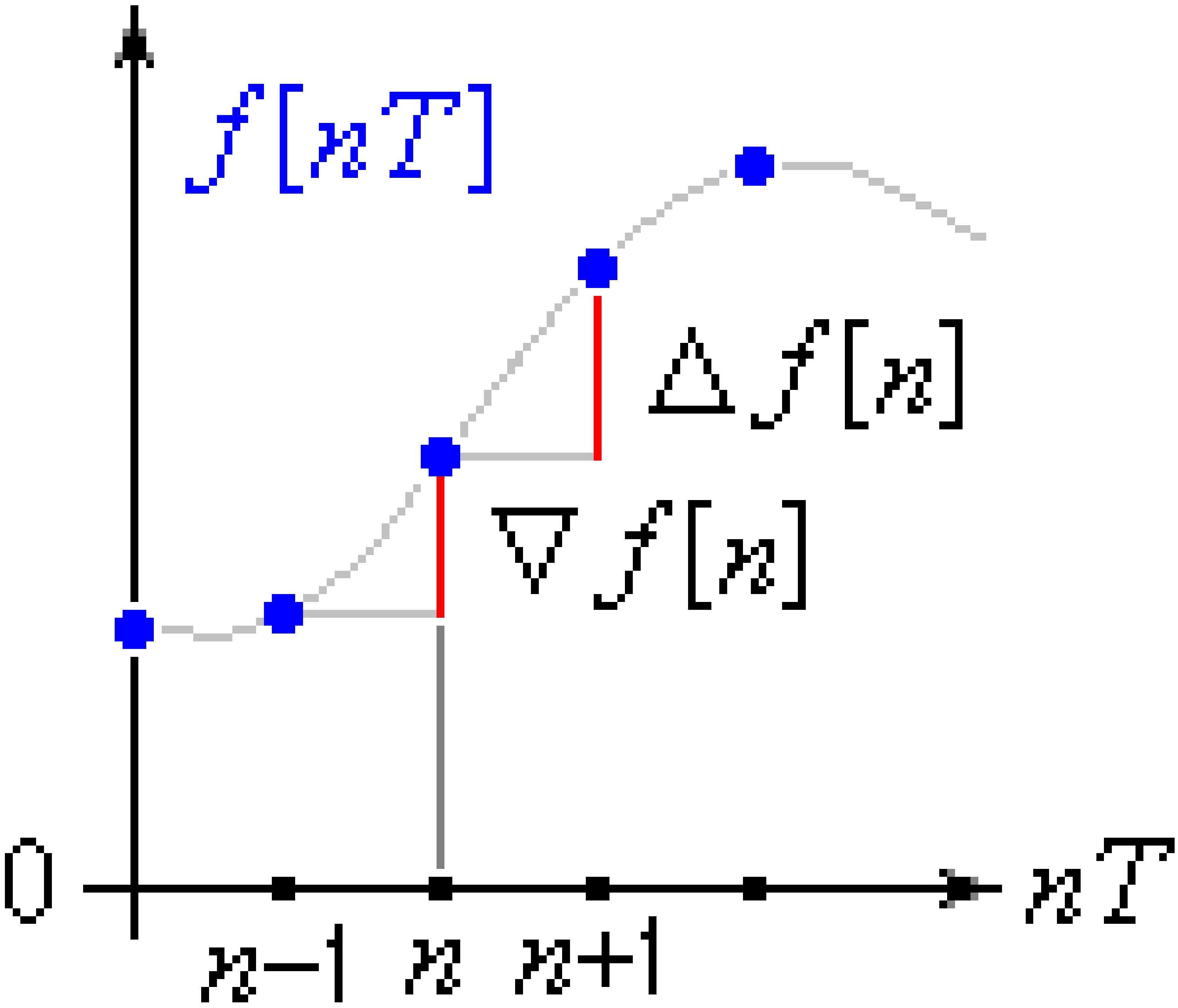
$$\nabla f[n] = f[n] - f[n-1].$$

Аналогами второй производной являются вторые разности. Прямая:

$$\Delta^2 f[n] = \Delta f[n+1] - \Delta f[n] = (f[n+2] - f[n+1]) - (f[n+1] - f[n]) = f[n+2] - 2f[n+1] + f[n],$$

и обратная:

$$\nabla^2 f[n] = \nabla f[n] - \nabla f[n\text{-}1] = f[n] - 2 f[n\text{-}1] + f[n\text{-}2].$$


f[nT]
Δf[n]
∇f[n]
0
nT
n−1
n
n+1

Разностные уравнения

Аналогом ДУ для импульсной системы является уравнение в конечных разностях или разностное уравнение (РУ):

$$b_0\nabla^m y[n] + b^1\nabla^{m\text{-}1}y[n] + \ldots$$

$$+$$

$$b^m\ y[n] = f\,[n],$$

РУ легко машинизируются и для их расчета можно составлять алгоритм.

Z-преобразование

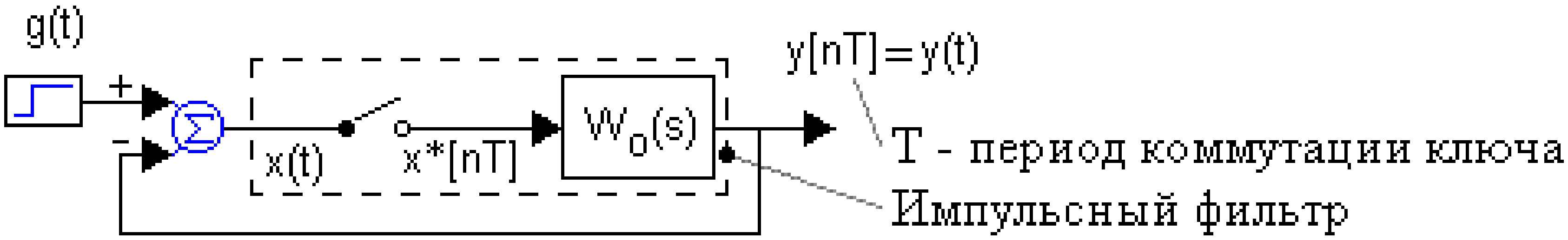
Для решетчатых функций времени может быть введено понятие дискретного преобразования Лапласа:

$$F^*(s) = \sum_{n=0}^{\infty} f[n] \cdot e^{-nTs}, \qquad \boxed{F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[n] \cdot z^{-n}};$$

которое называется *Z*-преобразованием при подстановке $z = e^{Ts}$, и связывает изображение с оригиналом.

- Z-преобразования (изображения) типовых решетчатых функций и типовых непрерывных ПФ $W(s)$ сведены в таблицы. Определены правила и теоремы для математических манипуляций с ними.

Типовая структура импульсной системы.
Понятие об импульсном фильтре



g(t)
+
–
x(t)
x*[nT]
$W_0(s)$
y[nT] = y(t)
T - период коммутации ключа
Импульсный фильтр

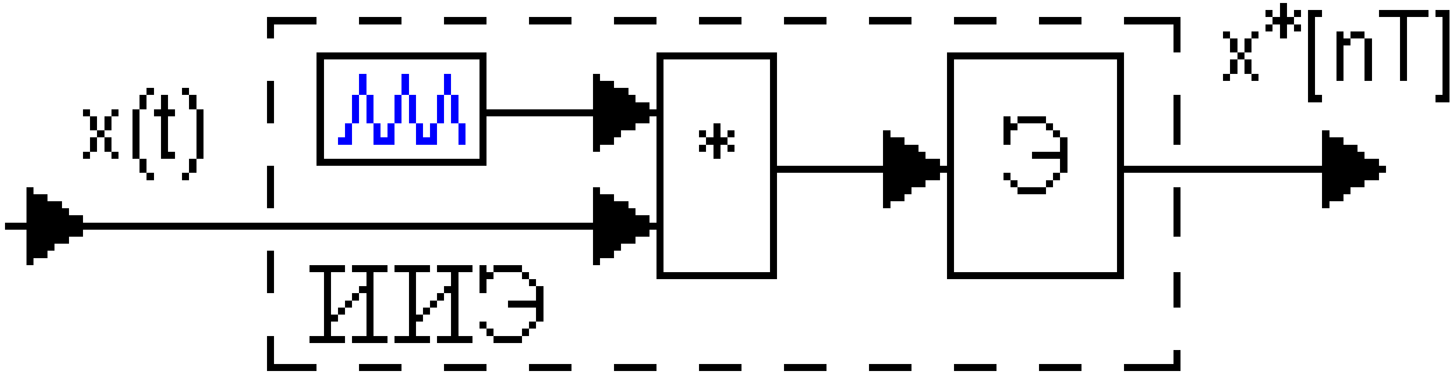
- Если время замкнутого состояния ключа мало, то сигнал на его выходе можно заменить последовательностью дельта-функций $x^*[nT]$, с площадью $x[nT]$, т.е:

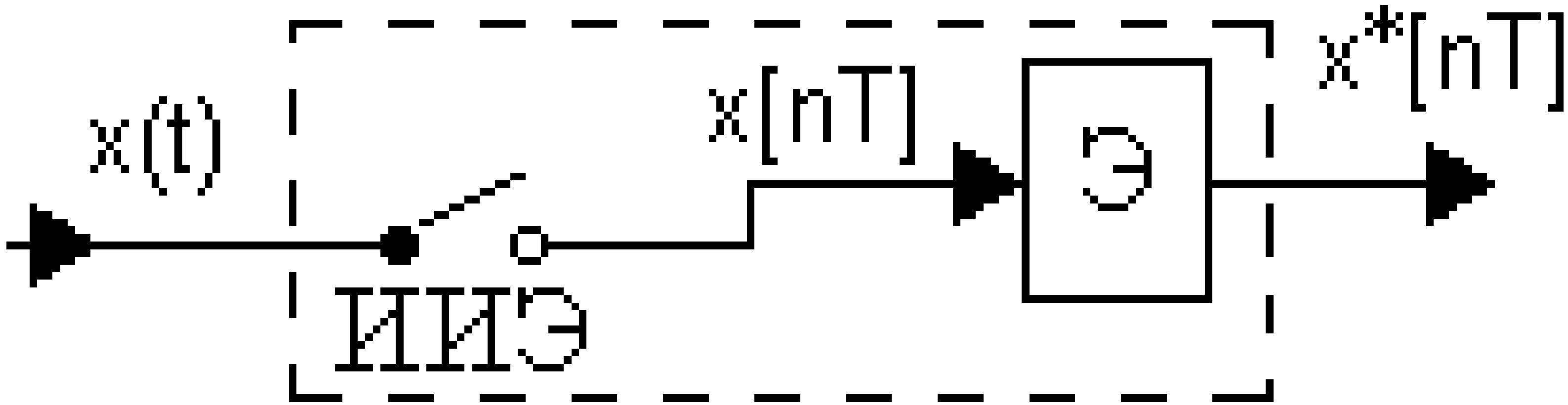
$$x^*[nT] = x[nT]\,\delta(t-nT).$$

- В таком случае реакция непрерывной части $W_o(s)$ - это суперпозиция весовых функций $w(t)$, которую можно рассматривать и как непрерывный сигнал $y(t)$, и как дискретную последовательность $y[nT]$.

Импульсным фильтром считают импульсный элемент (ключ) с непрерывной частью $W_o(s)$ на выходе. За истинный сигнал фильтра принимают выходную последовательность только в дискретные моменты времени $y[nT]$, где $n = \ldots, -2, -1, 0, 1, 2, \ldots$

Обобщенная модель импульсного элемента





Экстраполятор

Задача идеального импульсного элемента (ИИЭ) в модели - сформировать для дальнейшего математического описания системы либо последовательность импульсов типа δ-функций с площадью ~ $x(t)$, либо решетчатую функцию, в основе которой единичная импульсная функция $\delta_o(t) = \{ 1$ при $t=0$; 0 при $t \neq 0 \}$ с амплитудой ~ $x(t)$.

Задача экстраполятора - математически описать выходную последовательность реального импульсного звена между значениями решетчатой функции (экстраполяция - это прогнозирование (синтез) сигнала по истории выборок вплоть до следующего достоверного значения, которое в текущий момент не известно, и, получив которое, можно провести историческую коррекцию прогноза - интерполяцию).

Коэффициент передачи квантователя (ИИЭ) обратно пропорционален периоду квантования, а коэффициент передачи экстраполятора нулевого порядка равен периоду. Таким образом общий коэффициент передачи квантующей и восстанавливающей цепи, т.е. ИЭ обычно равен единице

Приведенные весовая и передаточная функции разомкнутой импульсной системы

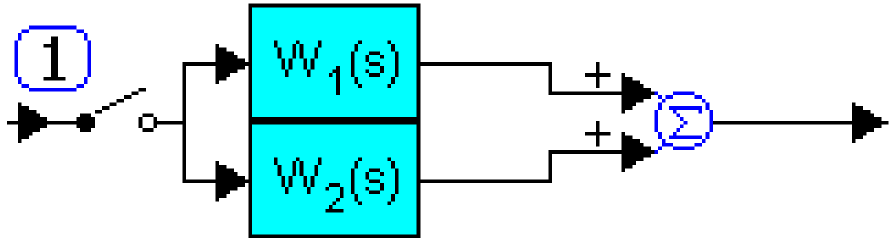
Если ИИЭ выдает решетчатую функцию, то можно ввести понятие "приведенной весовой функции" - $w_{п}$. Это отношение выходного сигнала $y(t)$ к значению единственной дискреты $x_{о}$ поданной на вход экстраполятора.

- Если ИИЭ выдает последовательность типа δ-функций, то для непрерывной части совместно с экстраполятором можно вывести понятие приведенной непрерывной передаточной функции:
- $W_п(s) = W_э(s)W_о(s)$, при этом $W_п(s) = L\{ w_п(t) \}$.

Правила преобразования структурных схем дискретных систем

1 $W_{п}(s) = W_1(s) + W_2(s)$

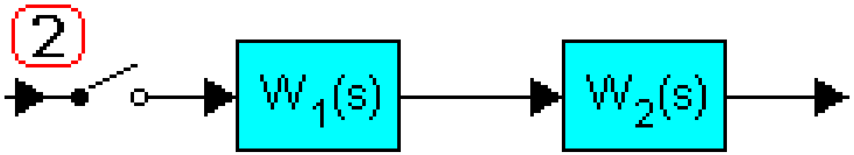
$W(z) = W_1(z) + W_2(z)$



2 $W_{п}(s) = W_1(s)\,W_2(s)$

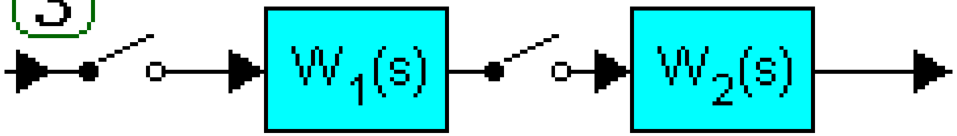
$W(z) = Z\{\,W_1(s)\,W_2(s)\,\} = W_1W_2(z)$

т.е. $\boldsymbol{W(z) \neq W_1(z)\,W_2(z)}$ **!!!**

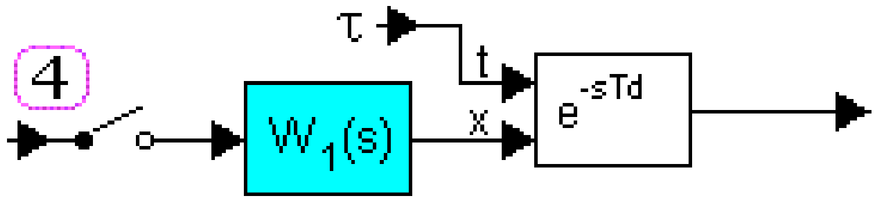


3 $W(z) = W_1(z)\, W_2(z)$

3



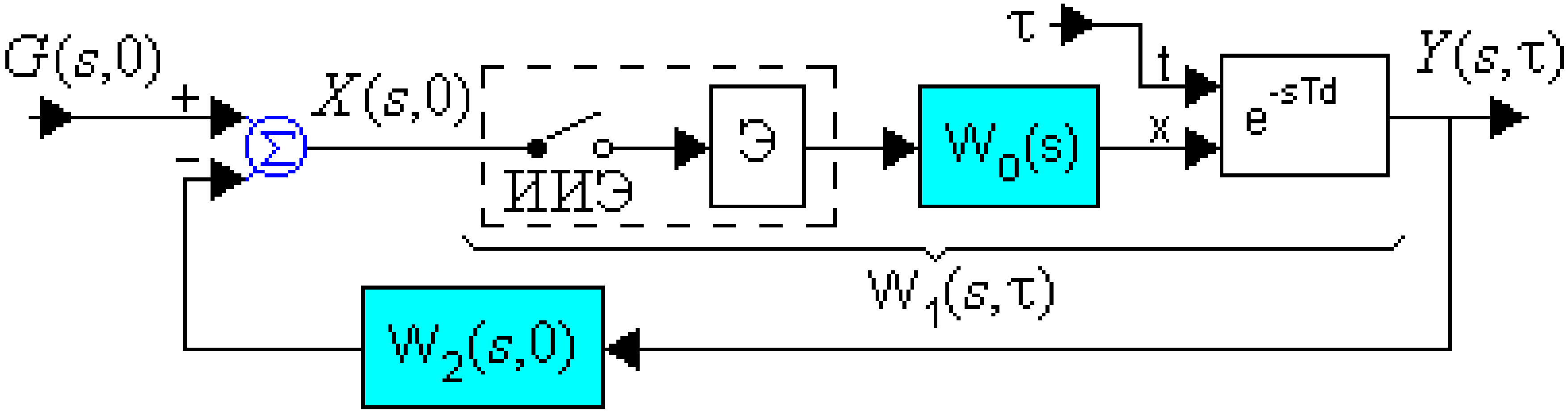
4 $W(z,\varepsilon) = Z\{L^{-1}\{W_п(s)\,e^{-\tau s}\}\} =$



$= z^{-1} Z_\varepsilon\{w_п[n,\varepsilon]\}$

где: ε - относительное смещение, которое отсчитывается от начала предыдущего такта ($\varepsilon = 1 - \tau/T$; $0 < \tau < T$).

ПФ замкнутой импульсной системы



$$\Phi(z,\varepsilon) = \frac{W_1(z,\varepsilon)}{1 + W_1 W_2(z,\varepsilon)}.$$

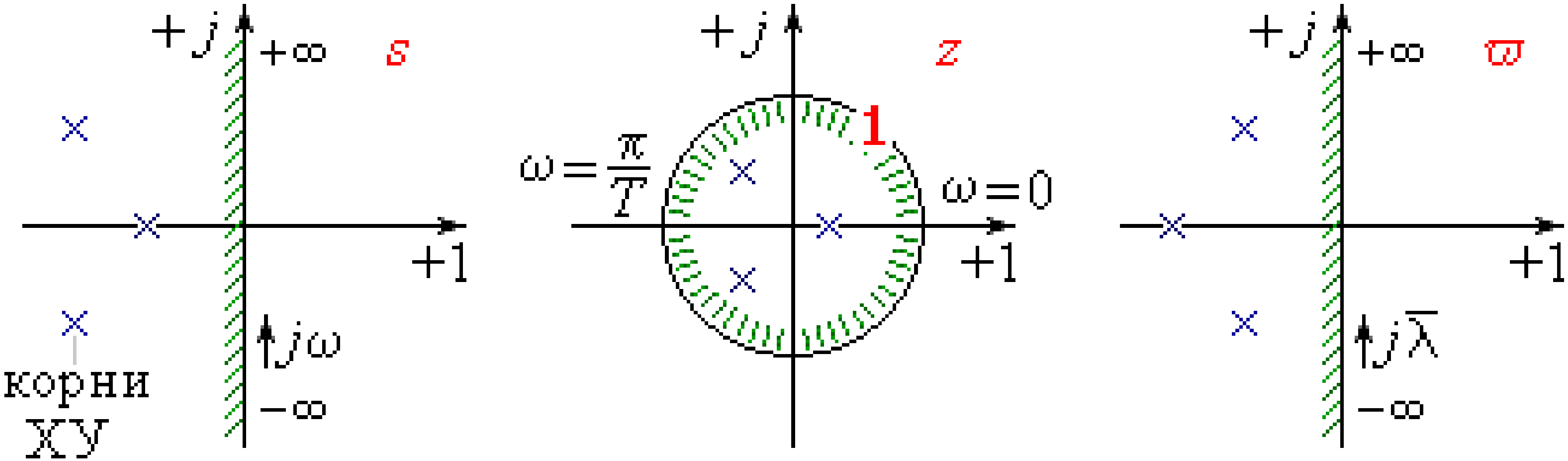
Поскольку запаздывание не определяет свойства системы в области низких частот, практически всегда для оценки качества могут быть использованы формулы

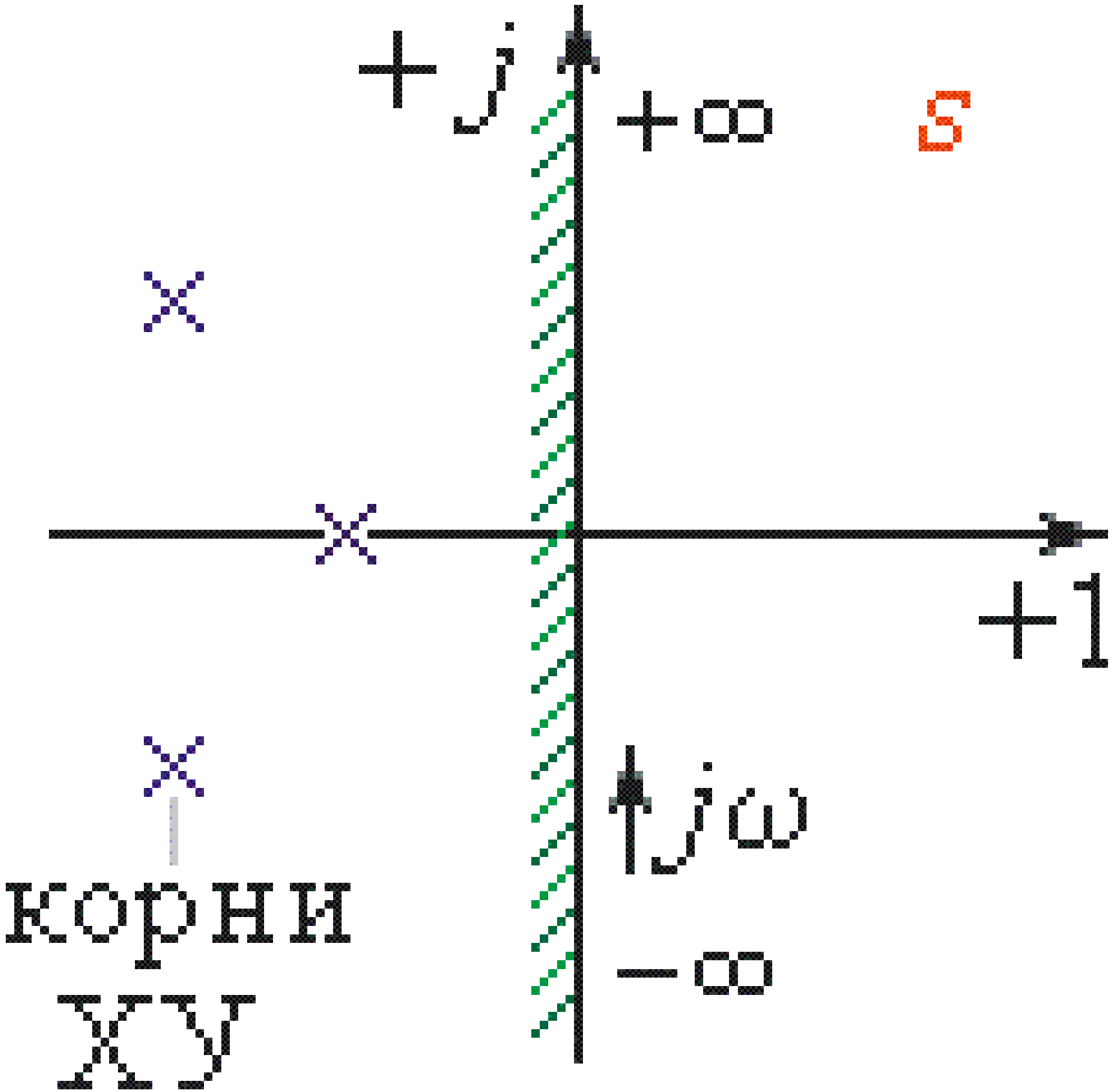
$$\Phi(z) = \frac{W_1(z)}{1 + W_1 W_2(z)}, \qquad \Phi_x(z) = \frac{1}{1 + W_1 W_2(z)};$$

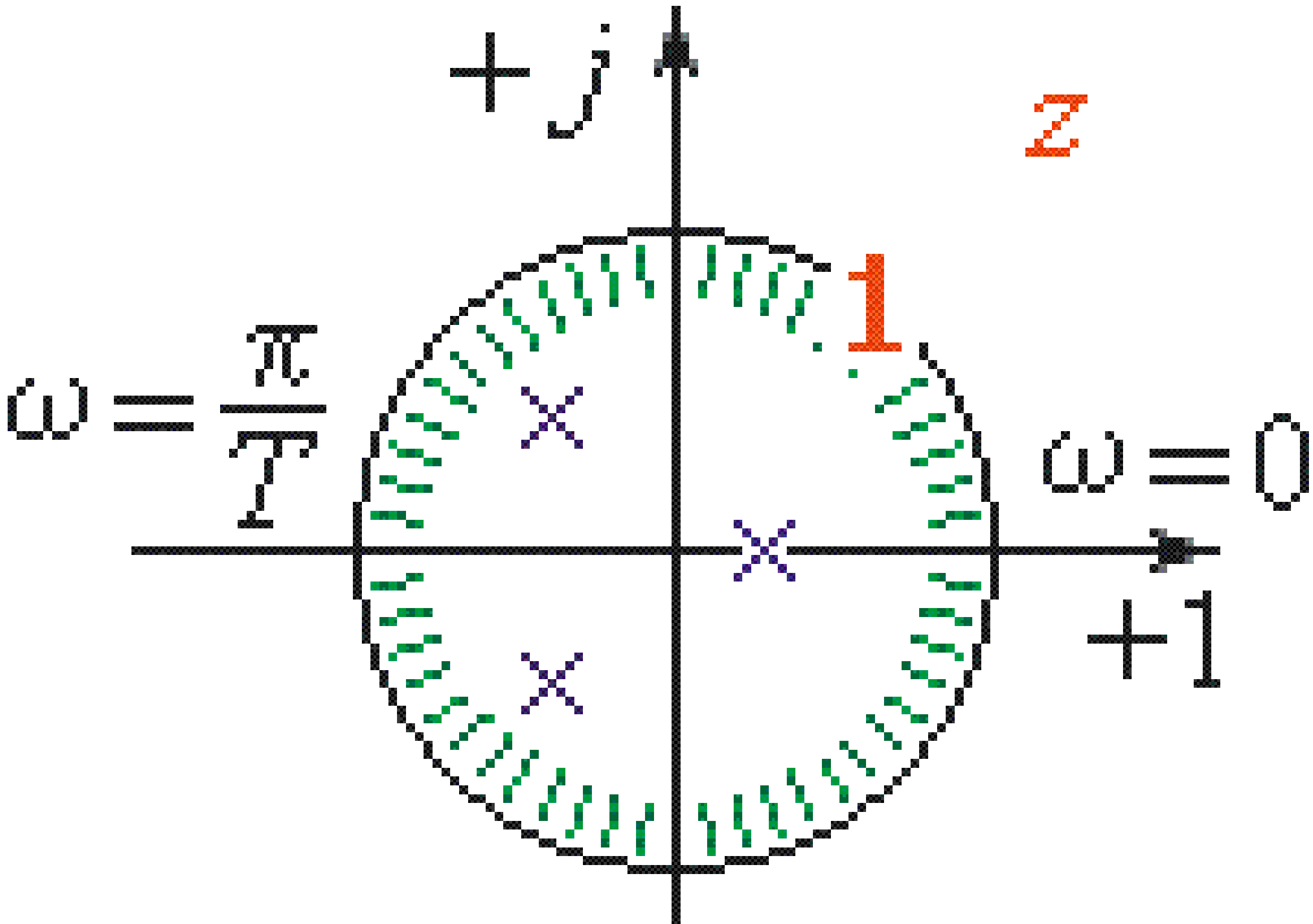
Передаточная функция по ошибке

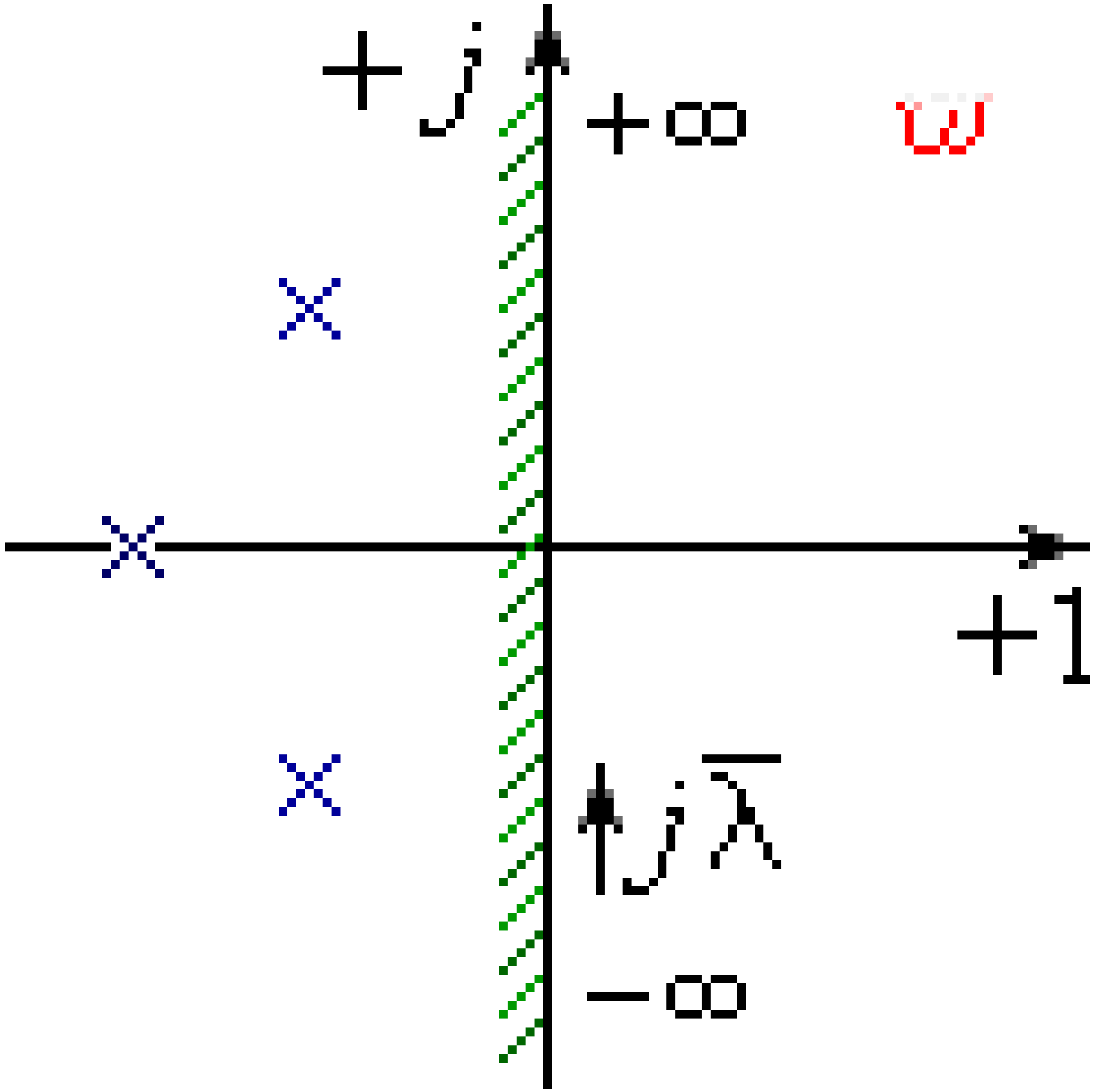
(осталась особенность - "$\boldsymbol{W_1 W_2(z)}$", см. правило 2 преобразования структурных схем)

ω - преобразование. Билинейные преобразования. Устойчивость и качество импульсных систем


+j
+∞
s
+1
jω
−∞
корни
ХУ
+j
z
1
ω = π/T
ω = 0
+1
+j
+∞
ϖ
+1
jλ̄
−∞


$+j$
$+\infty$
s
$+1$
$j\omega$
$-\infty$
корни
ХУ


+j
z
1
$\omega = \frac{\pi}{T}$
$\omega = 0$
+1


+j
+∞
ω
+1
j$\bar{\lambda}$
−∞

- Построим область устойчивости в плоскости комплексной величины *z*. Воспользуемся методикой *D*-разбиения и, меняя частоту w от ∞ до + ∞, получим границу $z = e^{Ts} = e^{jwT}$ *- в виде окружности единичного радиуса, внутрь которой попадает левая полуплоскость комплексной величины s. Следовательно, для устойчивости, все корни-полюсы замкнутой системы F(z) должны находится внутри этой окружности.*

- Итак, для описанных с помощью аппарата *Z*-преобразования импульсных систем, всилу изменившегося вида области устойчивости и периодичности их ЧХ *W*(*e* ^{jwT}), *разработанные для непрерывных систем критери устойчивости (кроме критерия Найквиста и корневого годографа), а так же наиболее эффективные методы коррекции и синтеза (использующие ЛАЧХ & ЛФЧХ) не приемлемы.*

- Для преодоления этого затруднения используют ω-преобразование, которое отражает окружность единичного радиуса на мнимую ось комплексной величины ϖ, с помощью подстановки:

$$z \leftarrow \frac{1+\varpi}{1-\varpi} \qquad \varpi \leftarrow j\frac{T}{2\lambda}$$

- Физически подстановка означает переход к ДУ заменой в РУ элементов чистого запаздывания грубой аппроксимацией - одним фазосдвигающим звеном.
- Вторая формула для перехода в область псевдочастот λ

- для большинства импульсных и цифровых систем частота дискретизации $1/T$ выбирается в 6...10 раз больше частоты среза. В таком случае выполняется условие $\omega_{ср}T<2$, вследствие чего в полосе системы псевдочастота λ и частота ω практически совпадают. Поэтому обходятся доменом обычных частот, а для переходов используют формулы "Билинейного преобразования":

$$\boxed{z \leftarrow \frac{2+sT}{2-sT}} \qquad \boxed{s \leftrightarrow \omega \Big|_{\omega T<2}} \qquad \boxed{s \leftarrow \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}} \; .$$

После ϖ-преобразования, используя ПФ $W(\varpi)$ или $F(\varpi)$ можно применять обычные (в основном алгебраические) критерии устойчивости, справедливые для непрерывных систем.

- После последующего перехода в область псевдочастот (подстановка $\varpi = j\lambda T/2$) вид ПФ $W(j\lambda T/2)$ и $F(j\lambda T/2)$ становится пригоден для применения медодов, использующих ЛАЧХ & ЛФЧХ.

- Качество импульсной системы может оцениваться построением кривой переходного процесса, что при использовании ПФ F(z) сравнительно легко. Оценку качества в установившихся режимах удобно выполнять нахождением коэффициентов для разложения ошибки в ряд.

Цифровые системы

Цифровые системы строятся на базе комплекса средств вычислительной техники, основными элементами которого являются: 1) ЦВМ, 2) устройства ввода, 3) устройства вывода.

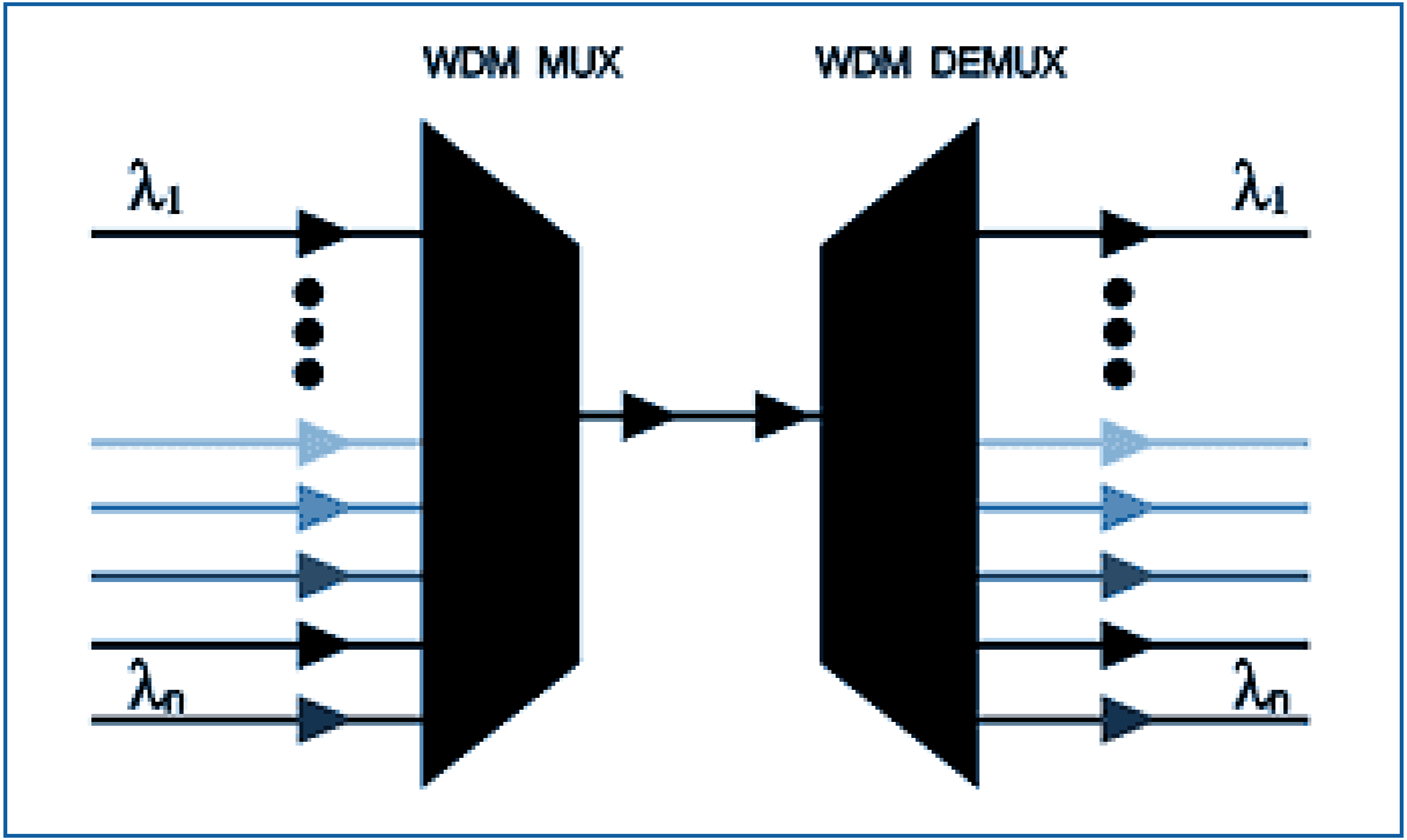
Функции ЦВМ могут выполнять: 1) ЭВМ (компьютеры), 2) DSP - цифровые сигнальные процессоры, 3) ЦУ на жесткой логике. Первые относятся к универсальным устройствам управления, вторые специализированны для приложений, третьи разрабатываются для конкретных устройств

Устройствами ввода и вывода в случае состыковки с аналоговыми сигналами являются АЦП и ЦАП-ы, а в случае состыковки с цифровыми сигналами - порты и интерфейсы

В системах с ЦВМ, последние могут выполнять роли:
1) регулятора, 2) регулятора и устройства сравнения,
3) корректирующего устройства или 4) самого объекта.

Если ЦВМ универсальная (ЭВМ), то возможно построение многофункциональных САУ, когда одна ЦВМ обслуживает комплекс составляющих объект устройств. Например, в автомобиле: 1) система навигации, 2) система бортового электропитания, 3) АБС, 4) электронная подвеска, 5) управление топливоподачей, ... В подобных случаях в состав системы ЦУ должны входить аналоговые или цифровые мультиплексоры и демультиплексоры.

- Устройство объединяющие сигналы в один общий сигнал - мультиплексор
- Устройство разделяющие один общий составной сигнал на раздельные- демультиплексор


WDM MUX
WDM DEMUX
λ_1
λ_1
λ_n
λ_n

Во всех случаях ЦВМ предоставляет легко доступные информационные потоки, позволяющие кроме прямого управления осуществлять функции: 1) контроля, 2) оптимизации, 3) координации и 4) организации всех процессов.

Процессы протекающие в системах ЦУ

Дискретная природа ЦВМ определила наличие 2-х процессов в системах ЦУ: 1) дискретизации сигналов по времени (получение решетчатой функции), и 2) квантования сигналов по уровню (АЦ и ЦА преобразования).

- Дискретизация сигналов по времени делает систему дискретной, а квантование по уровню - нелинейной. Оба процесса сопровождаются возникновением методических погрешностей.

- Выбор частоты дискретизации производится исходя из ширены полосы пропускания или из времени регулирования замкнутой системы. Разумные частоты дискретизации в 6..10 раз больше ширены полосы пропускания или от 2-х до 4-х дискретных отсчетов за время нарастания, в противном случае качество системы будет резко ухудшаться.

влияние на динамические свойства систем. При недостаточном их количестве могут возникать периодические режимы переключений между дискретами (автоколебания).

- Может случиться так, что выполняемые ЦВМ задачи (опрос датчиков, расчет программы, формирование информационных потоков, запись в порты вывода) могут быть выполнены только при систематической задержке синтезируемого воздействия на один такт дискретизации. В таком случае в системе с ЦВМ появится запаздывание t, которое должно быть учтено оператором запаздывания z -1 и, возможно, смещенной ПФ $W(z, e)$.

Обычно количество ступеней квантования по уровню велико, поэтому его влиянием пренебрегают. Это делает систему, линейной и позволяет использовать математический аппарат импульсных систем.

THE END