



«Методы и алгоритмы  
цифровой обработки сигналов  
на базе MATLAB»

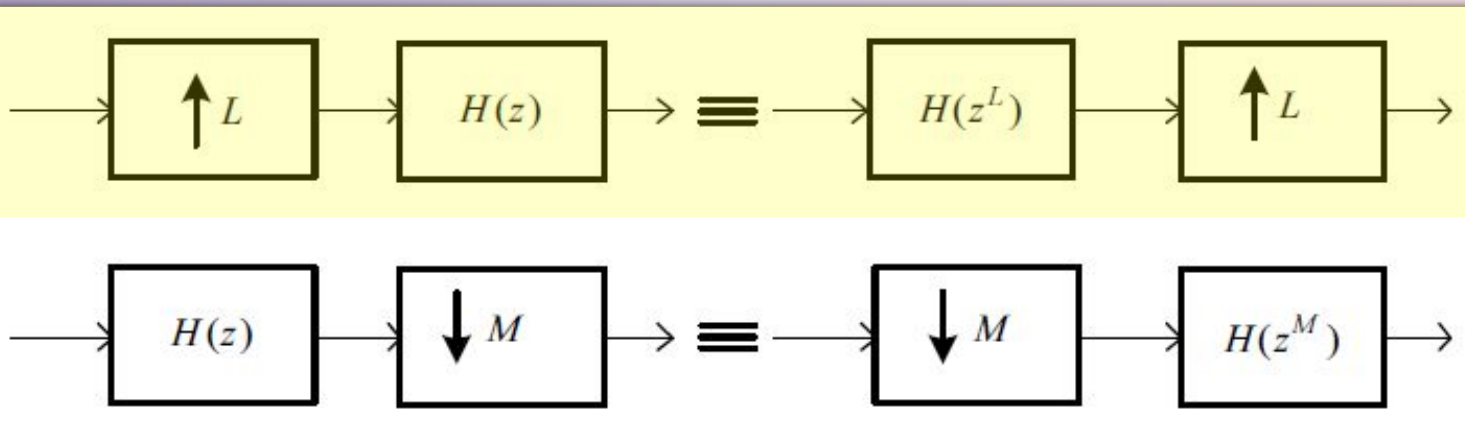
*Методы многоскоростной  
обработки сигналов.*

*Полифазные структуры  
многоскоростных систем*

Клионский Д.М. – к.т.н., доцент кафедры  
математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ)

# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (1)

## Тождества для построения многоскоростных систем



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (2)

## Передаточная функция КИХ-фильтра

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)z^{-n} = h_0z^{-1} + h_2z^{-2} + \dots + h_{L-1}z^{-L-1} + \dots + h_{N-1}z^{-(N-1)}$$

## Матричная запись передаточной функции КИХ-фильтра

$$\mathbf{H}(z) = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & \dots & h_{L-1} \\ h_L z^{-L} & h_{L+1} z^{-L} & \dots & h_{L+(L-1)} z^{-L} \\ \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes \\ h_{(G-1)L} z^{-(G-1)L} & h_{(G-1)L+1} z^{-(G-1)L} & \dots & h_{(G-1)L+(L-1)} z^{-(G-1)L} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} z^0 \\ z^{-1} \\ \boxtimes \\ z^{-(L-1)} \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{B}'$$



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (3)

## Матричная запись передаточной функции КИХ-фильтра

$$\mathbf{H}(z) = \begin{bmatrix} z^0 & z^{-1} & \boxtimes & z^{-(L-1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & \dots & h_{L-1} \\ h_L z^{-L} & h_{L+1} z^{-L} & \dots & h_{L+(L-1)} z^{-L} \\ \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes \\ h_{(G-1)L} z^{-(G-1)L} & h_{(G-1)L+1} z^{-(G-1)L} & \dots & h_{(G-1)L+(L-1)} z^{-(G-1)L} \end{bmatrix}^T = \mathbf{BA}'.$$

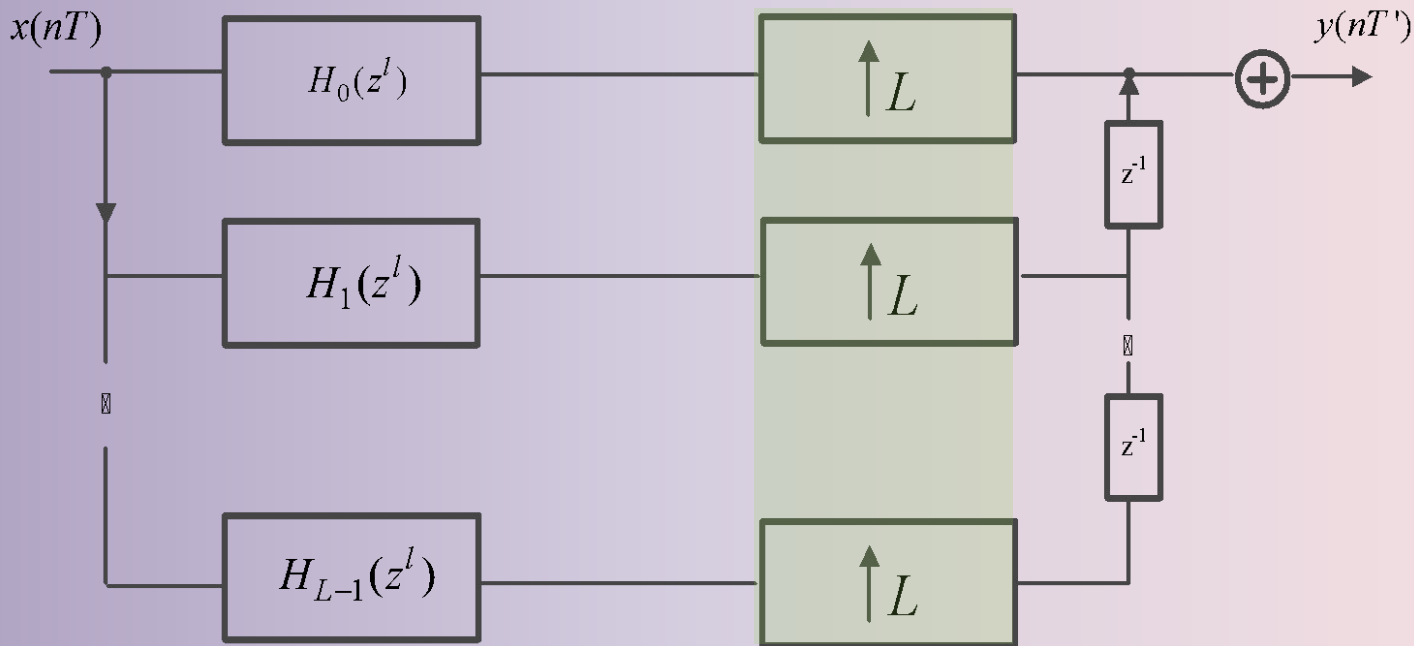
## Запись передаточной функции КИХ-фильтра

### в виде произведения векторов

$$\mathbf{H}(z) = \begin{bmatrix} z^0 & z^{-1} & \boxtimes & z^{-(L-1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} H_0(z^L) \\ H_1(z^L) \\ \boxtimes \\ H_{L-1}(z^L) \end{bmatrix} = \sum_{k=0}^{L-1} H_k(z^L) z^{-k},$$

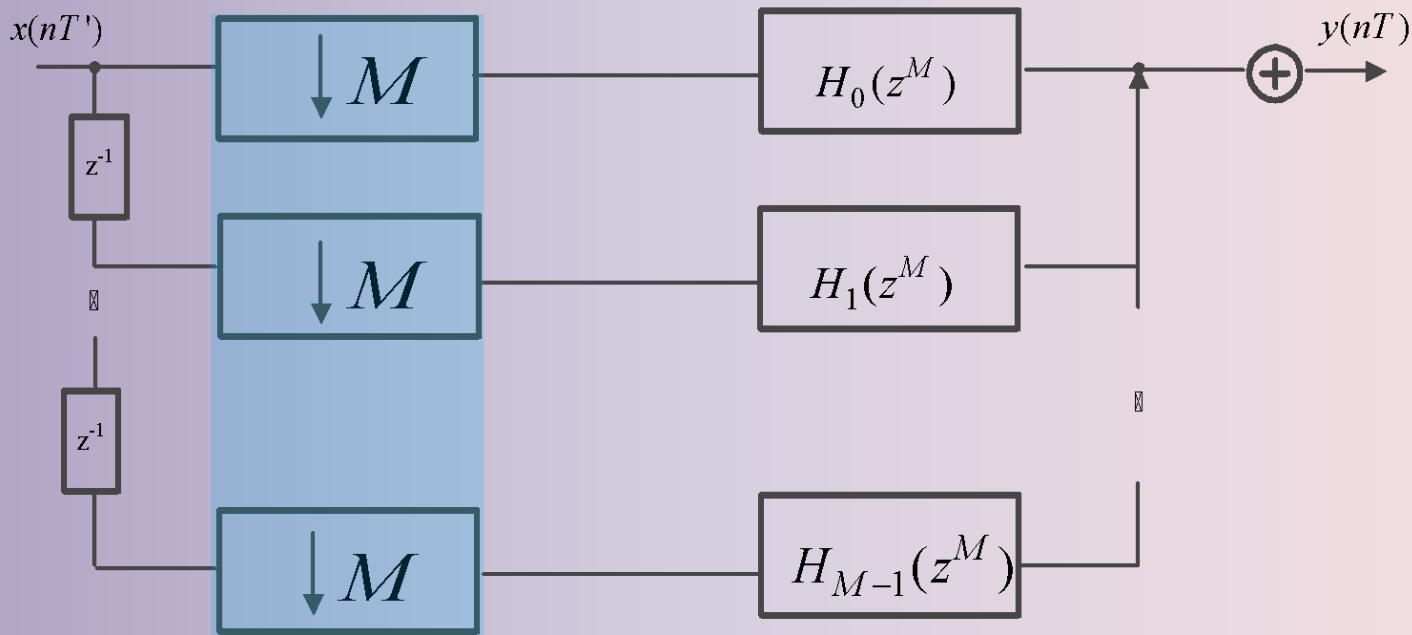
# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (4)

## Полифазная структура системы однократной интерполяции



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (5)

## Полифазная структура системы однократной децимации



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (6)

## Моделирование полифазной структуры в программной системе MATLAB

$H_i = \text{mfilt.firinterp}(L, [ , \text{Num}])$

$H_d = \text{mfilt.firdecim}(M, [ , \text{Num}])$

$H_r = \text{mfilt.firsrc}(L, M, [ , \text{Num}])$

где  $L, M$  – коэффициенты интерполяции и децимации;

$\text{Num}$  – коэффициенты передаточной функции КИХ-фильтра ФНЧ,  
работающего на "высокой" частоте дискретизации.



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (7)

## Фильтр Найквиста для полифазной структуры

- 1) для *системы однократной интерполяции*: в ПП равна  $L$  и достигает половинного значения ( $-6$  дБ) в шкале нормированных частот  $f/(f_d/2)$  на частоте  $1/L$  или на частоте  $f_d/2L$  в шкале абсолютных частот, где  $f_d$  – частота дискретизации входного сигнала;
- 2) для *системы однократной децимации*: в ПП равна  $L$  и достигает половинного значения ( $-6$  дБ) в шкале нормированных частот  $f/(f_d/2)$  на частоте  $1/M$  или на частоте  $f_d/2M$  в шкале абсолютных частот, где  $f_d$  – частота дискретизации входного сигнала;
- 3) для *системы однократной передискретизации*: в ПП равна  $L$  и достигает половинного значения в шкале нормированных частот на частоте  $1/\max\{L,M\}$ .



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (8)

## Структуры с КИХ-фильтрами прямой структуры

- ❑ Direct-Form FIR Polyphase Interpolator — полифазная структура системы интерполяции с КИХ-фильтрами, длиной  $\text{length} (N_i \cdot \text{Numerator} / L)$  (целое число), работающими на "низкой" частоте дискретизации *входного* сигнала;
- ❑ Direct-Form FIR Polyphase Decimator — полифазная структура системы децимации с КИХ-фильтрами, длиной  $\text{length} (N_d \cdot \text{Numerator} / M)$  (целое число), работающими на "низкой" частоте дискретизации *выходного* сигнала;
- ❑ Direct-Form FIR Polyphase Sample-Rate Converter — полифазная структура системы передискретизации с КИХ-фильтрами, длина и частота дискретизации которых зависит от соотношения  $L$  и  $M$ , а именно:
  - при  $L > M$  длина КИХ-фильтров равна  $\text{length} (N_r \cdot \text{Numerator} / L)$  и они работают на "низкой" частоте дискретизации *входного* сигнала;
  - при  $L < M$  длина КИХ-фильтров равна  $\text{length} (N_r \cdot \text{Numerator} / M)$  и они работают на "низкой" частоте дискретизации *выходного* сигнала.



# ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (9)

## Моделирование многоскоростной системы с полифазной структурой В MATLAB

```
y = filter(H,x)
```

где  $H$  — имя объекта `mfilt`;  $x$  — входной сигнал (воздействие);  $y$  — выходной сигнал (реакция), длина которого зависит от типа многоскоростной системы и будет следующей:

- в  $L$  раз больше длины входного сигнала для системы однократной интерполяции;
- в  $M$  раз меньше длины входного сигнала для системы однократной децимации;
- равна  $\text{ceil}(\text{length}(x) * L/M)$  для системы однократной передискретизации.





«Методы и алгоритмы  
цифровой обработки сигналов  
на базе MATLAB»

*Методы многоскоростной  
обработки сигналов.*

*Полифазные структуры  
многоскоростных систем*

Клионский Д.М. – к.т.н., доцент кафедры  
математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ)