

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»  
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Кафедра формирования и обработки радиосигналов

Лабораторная работа №2  
«Моделирование дискретных сигналов»

Дисциплина:  
Цифровая обработка сигналов

Группа: ЭР-11-21  
Студент: Тимохин С.А.  
Вариант: 15  
Преподаватель: Торопчин Д.С.

Москва, 2024

## Цель лабораторной работы

Освоить способы описания дискретных сигналов и методики их моделирования. Изучить способ формирования дискретных сигналов с помощью дискретных фильтров и определение спектральной плотности таких сигналов.

## Домашняя подготовка

Таблица 1 - Данные

№ п/п	ФИО	Вещественная посл.	p	M
15	Тимохин С.А.	$x(nT) = \{-0.5, 1, 3, -2\}$	7	3

### 1. Вещественная дискретная последовательность

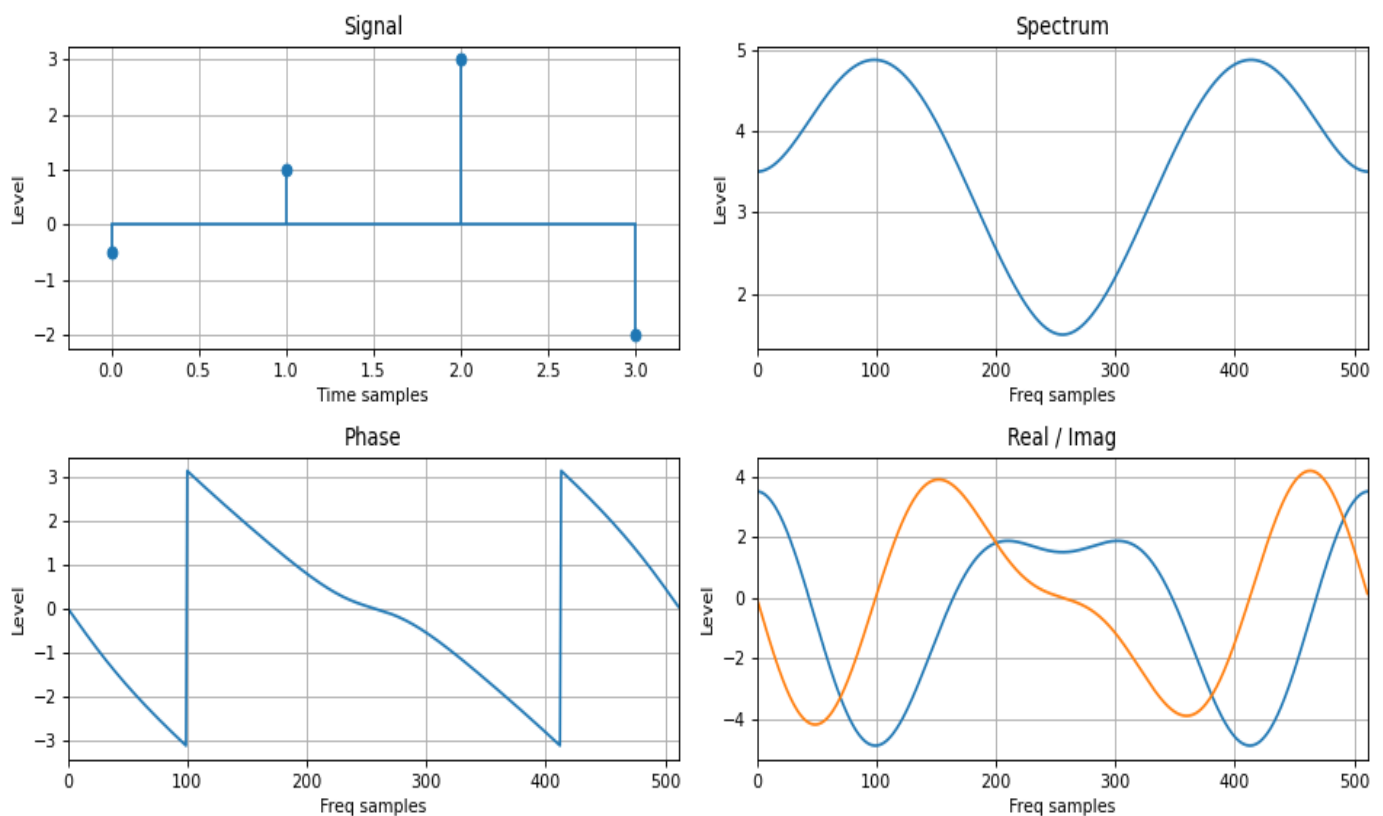


Рисунок 1 – Графики  $x(n)$ ,  $|X(e^{j\phi})|$ ,  $\arg X(e^{j\phi})$ ,  $\text{real}[X(e^{j\phi})]$ ,  $\text{img}[X(e^{j\phi})]$

$$X(nT) = \{-0,5; 1; 3; -2\} \quad P=7 \quad M=3$$

② В виде взвешенной суммы функций дельта-импульсов:

$$X(nT) = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT) \delta(nT - kT) = -0,5 \delta(nT) + 1 \delta(nT - T) + 3 \delta(nT - 2T) - 2 \delta(nT - 3T)$$

③ Определим Z-формулу:

$$X(z) = Z(X(nT)) = \sum_{k=0}^{\infty} X(kT) z^{-k} = -0,5 z^0 + 1 z^{-1} + 3 z^{-2} - 2 z^{-3}$$

От z-преобразования перейдем к спектральной плотности дискрет. последовательности:

$$\begin{aligned} X(e^{j\omega T}) &= -0,5 e^{-j\omega 0T} + 1 e^{-j\omega 1T} + 3 e^{-j\omega 2T} - 2 e^{-j\omega 3T} \\ &= -0,5 + e^{-j\omega T} + 3 e^{-j\omega 2T} - 2 e^{-j\omega 3T} = -0,5 + (\cos(\omega T) - j \sin(\omega T)) + 3(\cos(\omega \cdot 2T) - j \sin(\omega \cdot 2T)) - 2(\cos(\omega \cdot 3T) - j \sin(\omega \cdot 3T)) \end{aligned}$$

$$\operatorname{Re}(X(e^{j\omega T})) = -0,5 + \cos(\omega T) + 3 \cos(\omega \cdot 2T) - 2 \cos(\omega \cdot 3T)$$

$$\operatorname{Im}(X(e^{j\omega T})) = -j \sin(\omega T) - 3j \sin(\omega \cdot 2T) + 2j \sin(\omega \cdot 3T)$$

$$\begin{aligned} |X(e^{j\omega T})| &= \sqrt{\operatorname{Re}(X(e^{j\omega T}))^2 + \operatorname{Im}(X(e^{j\omega T}))^2} = \sqrt{(-0,5 + \cos(\omega T) + 3 \cos(\omega \cdot 2T) - 2 \cos(\omega \cdot 3T))^2 + (-j \sin(\omega T) - 3j \sin(\omega \cdot 2T) + 2j \sin(\omega \cdot 3T))^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \arg(X(e^{j\omega T})) &= \arctg\left(\frac{\operatorname{Im}(X(e^{j\omega T}))}{\operatorname{Re}(X(e^{j\omega T}))}\right) = \\ &= \arctg\left(\frac{-j \sin(\omega T) - 3j \sin(\omega \cdot 2T) + 2j \sin(\omega \cdot 3T)}{-0,5 + \cos(\omega T) + 3 \cos(\omega \cdot 2T) - 2 \cos(\omega \cdot 3T)}\right) \end{aligned}$$

## 2. Периодическая дискретная последовательность

z-форма периодической последовательности:

$$X(z) = X_1(z)(X_{\text{МП}}(z)) = (-0,5 + z^{-1} + 3z^{-2} - 2z^{-3})(1 + z^{-7})$$

От записи в виде z-формы перейдем к спектральной плотности периодической последовательности:

$$X(e^{j\omega T}) = X_1(e^{j\omega T})X_{\text{МП}}(e^{j\omega T}) = (-0,5 + e^{j\omega T} + 3e^{-j\omega 2T} - 2e^{j\omega 3T})(1 + e^{-j\omega 7T})$$

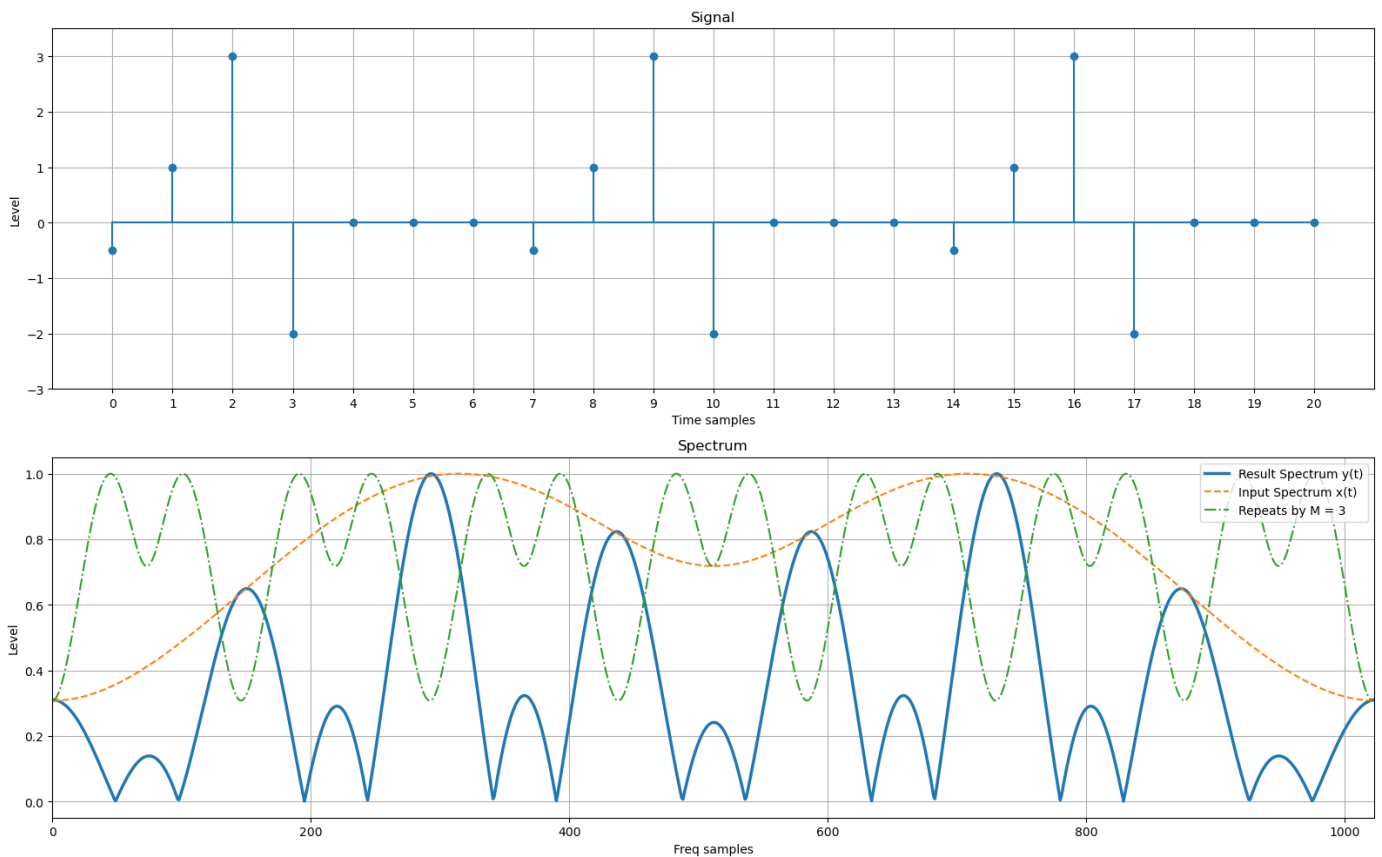


Рисунок 2 – График  $X_1 e^{j\omega T} X_{\text{МП}} e^{j\omega T}, |fft(X_1 e^{j\omega T} X_{\text{МП}} e^{j\omega T})|$

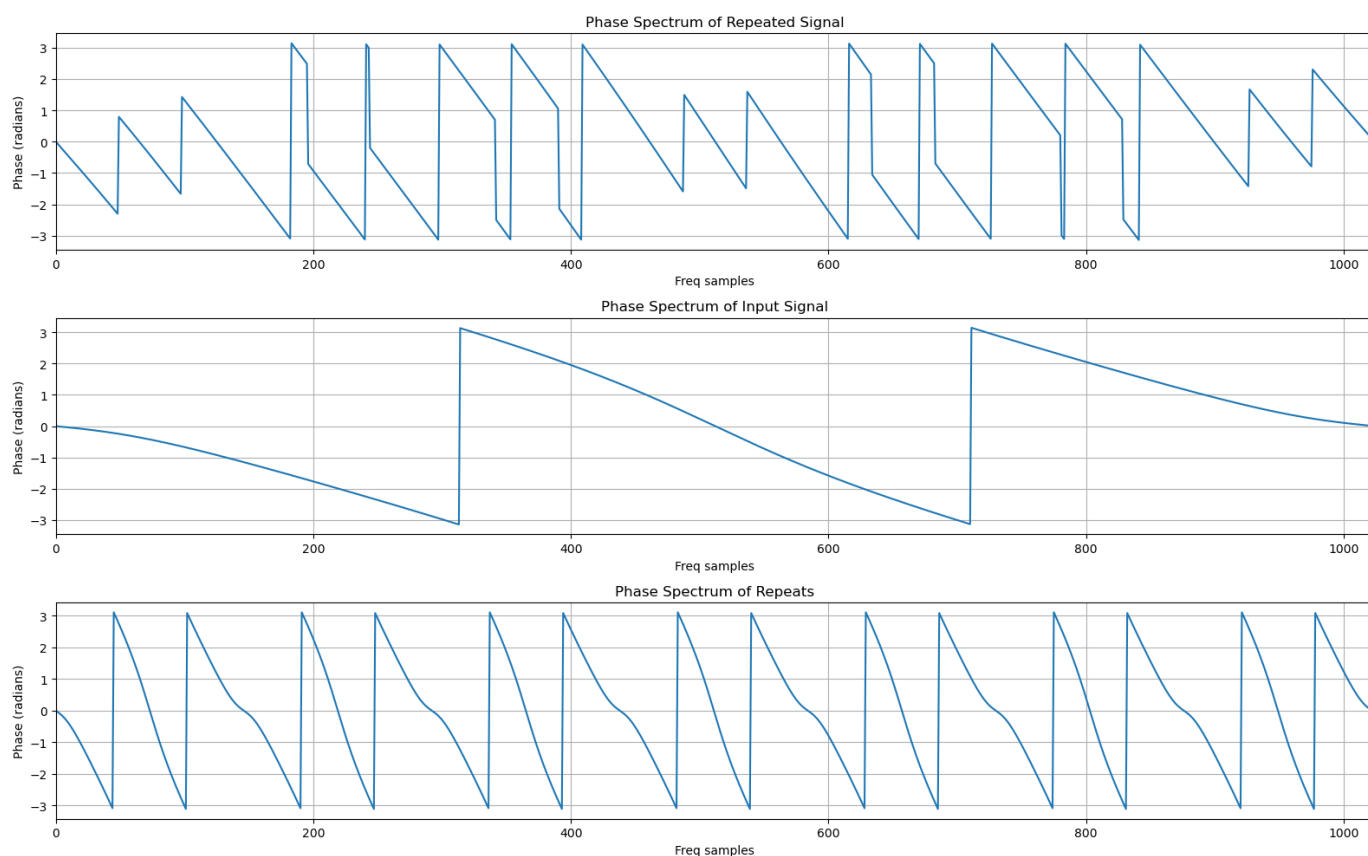


Рисунок 3 – Графики  $phase(X_1 e^{j\omega T} X_{МП} e^{j\omega T}), phase(X(e^{j\phi}))$

### 3. Выполнение работы

**3.1** Составление функциональной схемы для моделирования вещественного дискретного сигнала. Временной анализ дискретного сигнала.

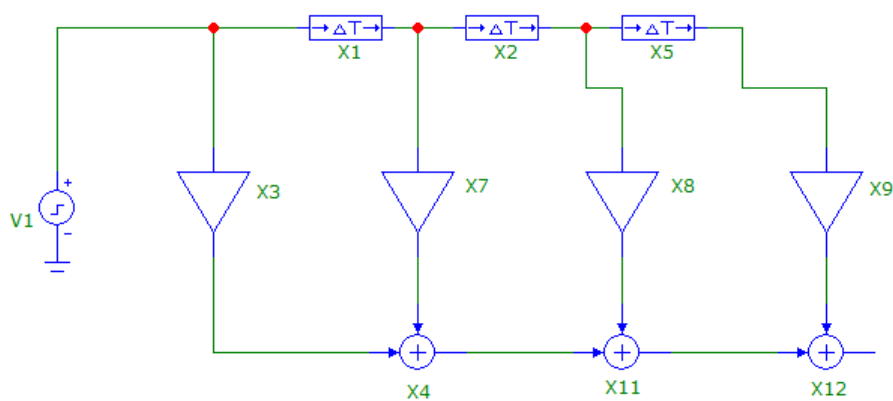


График 4 - Схема для моделирования  $x(n)$

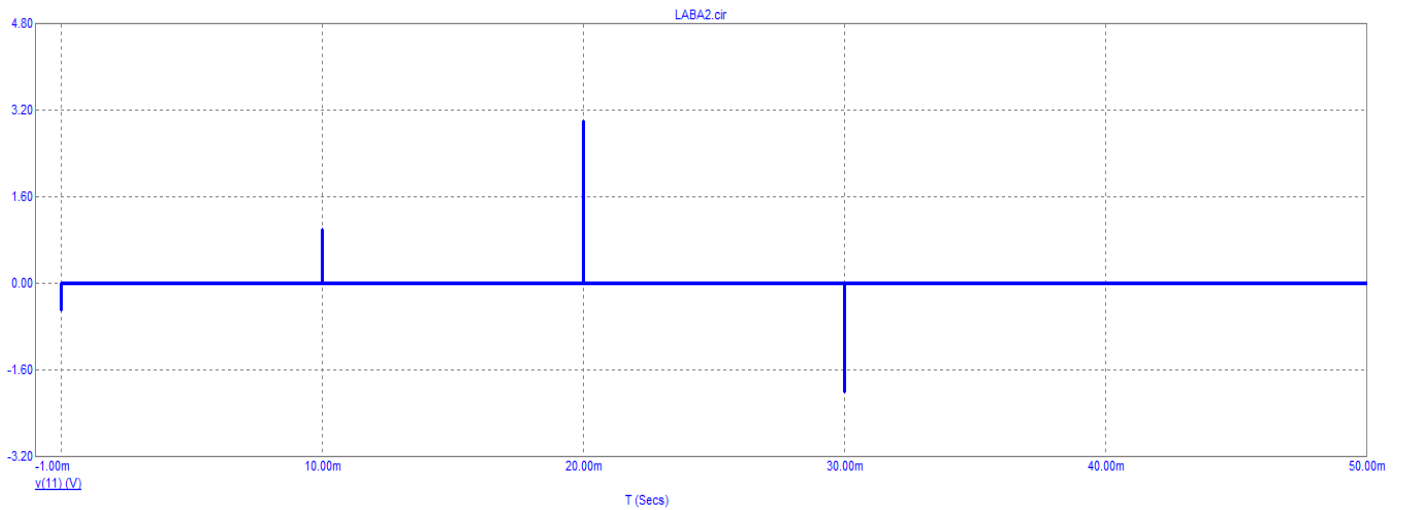


График 5 – Дискретная последовательность  $x(n)$

**3.2** Моделирование вещественной последовательности в частотной области. Расчёт модуля, аргумента, действительной и мнимой составляющих спектральной плотности.

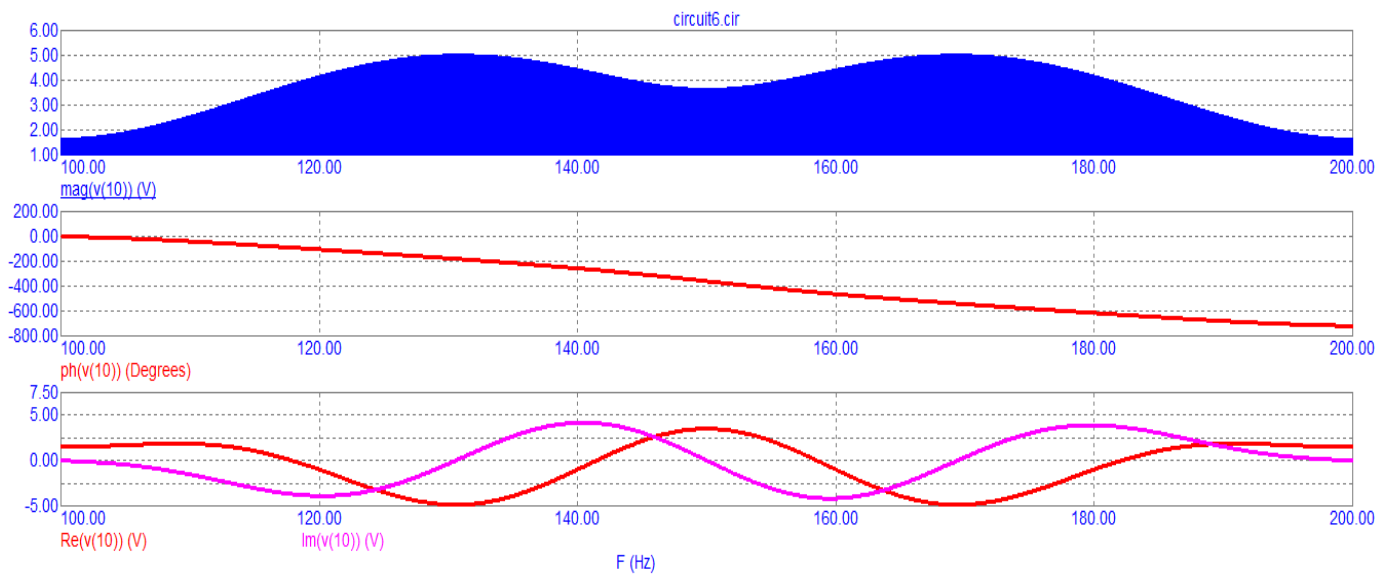


Рисунок 6 – Графики  $x(n)$ ,  $|X(e^{j\phi})|$ ,  $\arg X(e^{j\phi})$ ,  $\text{real}[X(e^{j\phi})]$ ,  $\text{img}[X(e^{j\phi})]$

**3.3** Составление функциональной схемы для моделирования периодического дискретного вещественного сигнала. Временной анализ дискретного периодического сигнала.

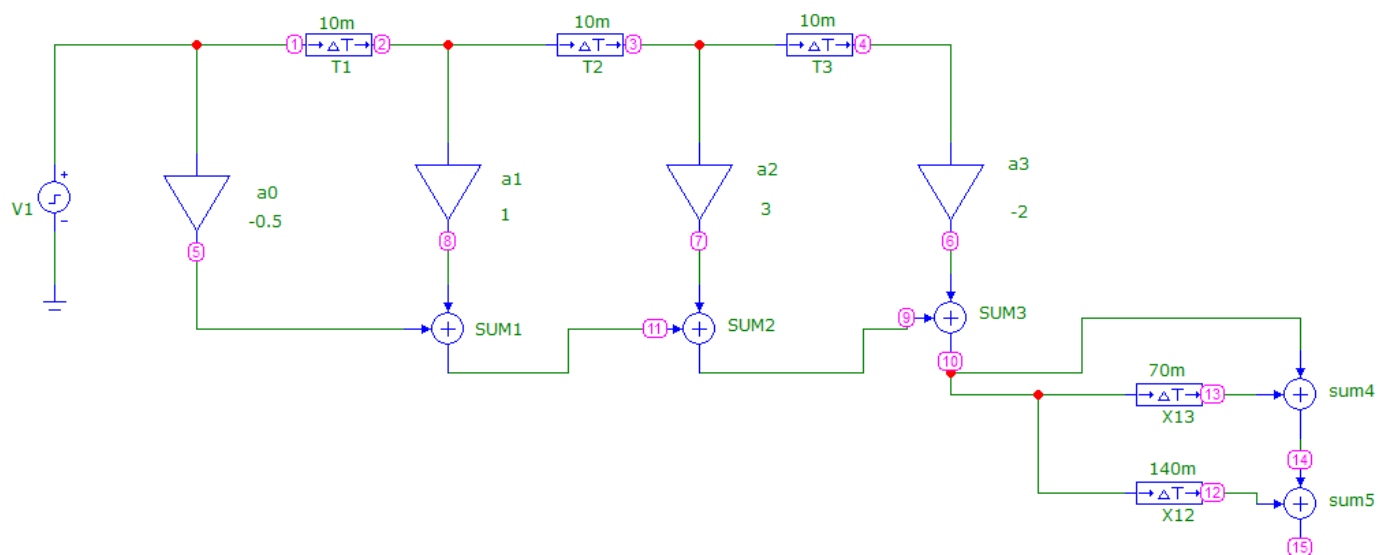


Рисунок 7 - Схема для моделирования периодического дискретного сигнала

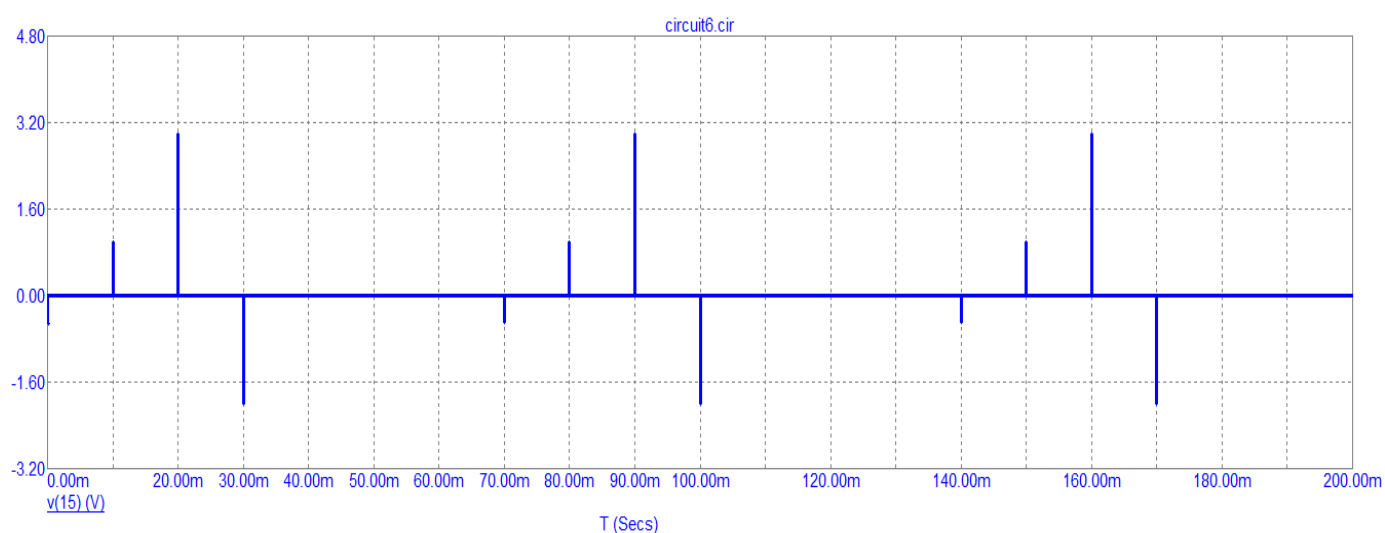


График 8 – Дискретная периодическая последовательность с параметрами

$$P = 7, M = 3$$

### 3.4 Моделирование вещественной последовательности в частотной области. Расчёт модуля, аргумента, действительной и мнимой составляющих спектральной плотности

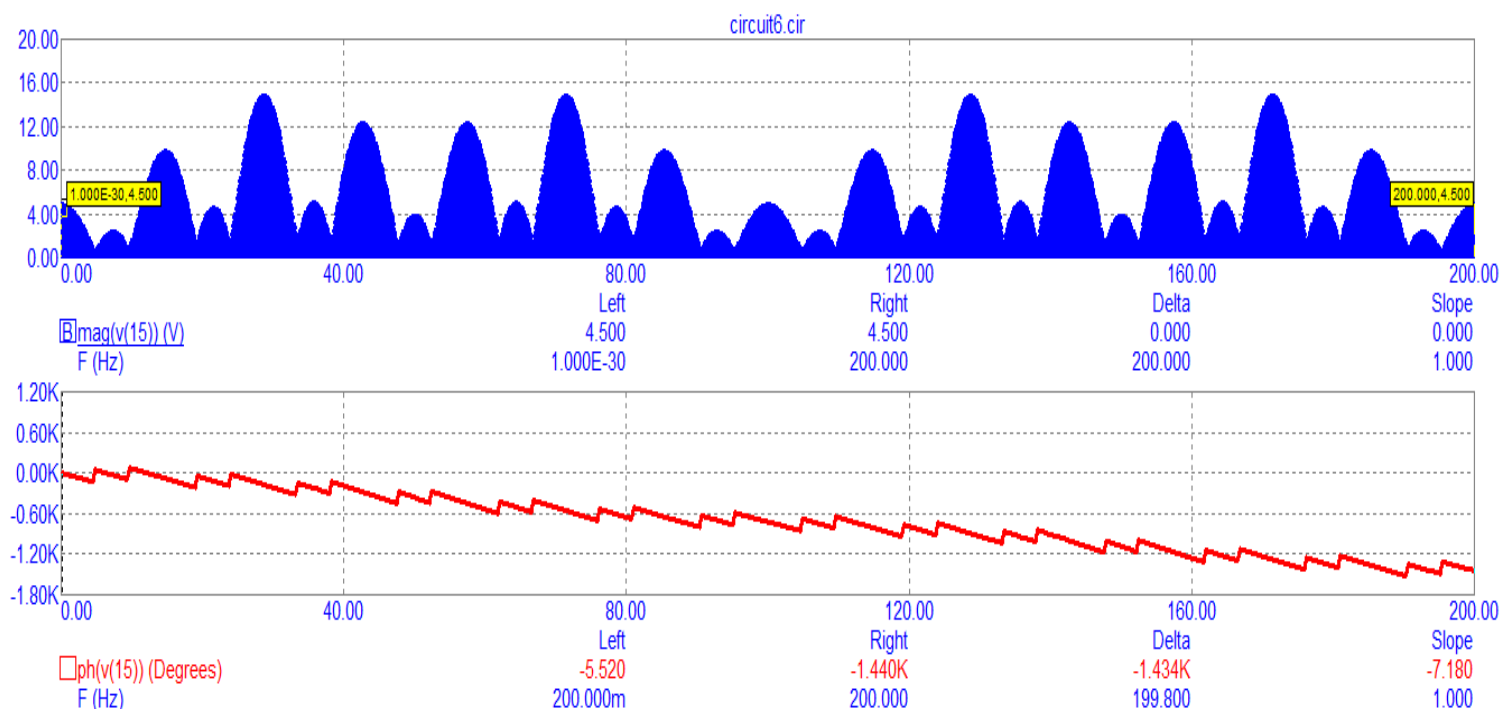


Рисунок 9 –  $|X_1 e^{j\omega T} X_{МП} e^{j\omega T} (e^{j\phi})|$ ,  $arg [X_1 e^{j\omega T} X_{МП} e^{j\omega T}]$

#### 4. Вывод

Я освоил способы описания дискретных сигналов и методики их моделирования. Изучил способ формирования дискретных сигналов в программе micro-sar. Изучил спектр и фазу дискретного сигнала и периодического дискретного сигнала. После перемножения двух спектров, получим результирующий спектр периодической последовательности. Уровень сигнала на нулевой частоте равен сумме импульсов, а т.к. последовательность периодична, это можно записать через формулу:

$$A_0 = \sum_{n=0}^{PM} x(nT) = 4.5$$