

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

**Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова**  
Департамент электронной инженерии

**ОТЧЕТ**  
**ПО ДОМАШНЕЙ РАБОТЕ №1**  
по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей»

Выполнил:  
Цуркан Андрей Александрович,  
группа БИТ202

Москва 2022 г.

# Оглавление

Задание на выполнение домашней работы.....	4
Таблица 1. Данные для расчета, задаваемые в программе .....	6
Эквивалентная схема линии передачи и основные выражения для расчета параметров схемы .....	7
Общая эквивалентная схема дискретной модели линии передачи:.....	7
Уравнения для расчета граничных условий: .....	7
Уравнения, связывающие напряжения в соседних ячейках: .....	7
Эквивалентная схема входного звена дискретной модели линии передачи: .....	8
Уравнения для расчета граничных условий слева: .....	8
Эквивалентная схема двух соседних звеньев дискретной модели линии передачи: .....	9
Уравнения, связывающие напряжения в соседних ячейках: .....	9
Эквивалентная схема выходного звена дискретной модели линии передачи:.....	10
Уравнения для расчета граничных условий справа: .....	10
Расчет параметров эквивалентной схемы отдельной ячейки .....	12
Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты .....	13
Зависимости входных, выходных напряжений от времени, их спектры и распределения напряжений вдоль линии передачи в зависимости от номера ячейки .....	17
4.1 ВЧ сигнал (nsig = 0).....	17
a) $f_c = f_0$ , $K_0 = K_N = 1$ , $N_c = 10$ .....	17
b) $f_c < f_l$ , $K_0 = K_N = 1$ , $N_c = 10$ .....	19
c) $f_c > f_h$ , $K_0 = K_N = 1$ , $N_c = 10$ .....	20
d) $f_c = f_0$ , $K_0 = K_N = 10$ , $N_c = 10$ .....	21
4.2 ВЧ импульсный сигнал (nsig = 1) .....	23
a) $f_c = f_0$ , $K_0 = K_N = 1$ , $N_c = 10$ .....	23
b) $f_c = 0.95f_h$ , $K_0 = K_N = 1$ , $N_c = 100$ .....	24
c) $f_c = f_0$ , $K_0 = K_N = 10$ , $N_c = 100$ .....	26
4.3 НЧ импульсный сигнал (nsig = 2) .....	28
a) $K_0 = K_N = 1$ , $G = 0$ , $N_c = 500$ .....	28
b) $K_0 = K_N = 1$ , $G = 10$ , $N_c = 500$ .....	29
c) $K_0 = K_N = 1$ , $lfilter = True$ , $N_c = 500$ .....	30
d) $K_0 = K_N = 10$ , $lfilter = True$ , $N_c = 500$ .....	32
e) $K_0 = K_N = 0.1$ , $lfilter = True$ , $N_c = 500$ .....	33
4.4 НЧ + ВЧ импульсный сигнал (nsig = 3) .....	35
a) $f_c = f_0$ , $K_0 = K_N = 1$ , $lfilter = True$ , $N_c = 500$ .....	35
b) $f_c = 0.95f_h$ , $K_0 = K_N = 1$ , $lfilter = True$ , $N_c = 500$ .....	37

4.5 ШП импульсный сигнал (nsig = 4) .....	38
a) K0 = KN = 1,           G = 0 (Iffilter = False),           Nc = 10 .....	38
b) K0 = KN = 1,           G = 0 (Iffilter = False),           Nc = 20 .....	39
c) K0 = KN = 1,           Iffilter = True,                Nc = 10 .....	41
Заключение .....	43

## Задание на выполнение домашней работы

1. Привести эквивалентную схему линии передачи, основные выражения для расчета ее параметров и уравнения возбуждения.

2. Рассчитать параметры эквивалентной схемы отдельной ячейки,  $C1$ ,  $C2$  (для исходных данных, указанных в п. 4). Наименования параметров, используемых в программе, и их назначение приведены в таблице 1.

3. Построить зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты (выдаются в программе на каждом итоговом графике, кроме случая с ШП импульсом).

4. Для заданных в соответствии с номером варианта  $N$  ( $N$  – порядковый номер в списке группы) параметров линии передачи:

Нижняя граничная частота:  $f_l = N$ ,

Верхняя граничная частота:  $f_h = 10(N + 1)$ ,

Опорная частота:  $f_0 = 0.5 \cdot (f_h + f_l)$ ,

Волновое сопротивление на частоте  $f_0$ :  $Z_0 = 10N$

и для различных возбуждающих сигналов получить зависимости входных и выходных напряжений от времени, их спектры и распределения напряжений вдоль линии передачи в зависимости от номера ячейки:

4.1. ВЧ сигнал ( $nsig = 0$ ):

a)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 10$

b)  $f_c < f_l$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 10$

c)  $f_c > f_h$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 10$

d)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 10$ ,  $N_c = 10$

#### 4.2.ВЧ импульс (nsig = 1):

- a)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 10$
- b)  $f_c = 0,95f_h$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 100$
- c)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 10$ ,  $N_c = 100$

#### 4.3.НЧ импульс (nsig = 2):

- a)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $G = 0$ ,  $N_c = 500$
- b)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $G = 10$ ,  $N_c = 500$
- c)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$
- d)  $K_0 = K_N = 10$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$
- e)  $K_0 = K_N = 0,1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$

#### 4.4.НЧ+ВЧ импульс (nsig = 3):

- a)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$
- b)  $f_c = 0,95f_h$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$

#### 4.5.ШП импульс (nsig = 4):

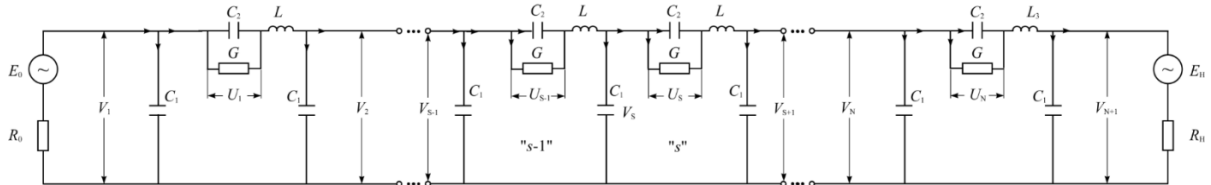
- a)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $G = 0$  ( $lfilter = False$ ),  $N_c = 10$
- b)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $G = 0$  ( $lfilter = False$ ),  $N_c = 20$
- c)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 10$

Таблица 1. Данные для расчета, задаваемые в программе

Наименование параметра	Назначение
liffilter	<b>True</b> – ячейка ЛП представляется звеном ФНЧ <b>False</b> - ПФ
nvar	<b>Номер варианта задания</b> (порядковый номер в списке группы)
nsig	<b>Сигнал возбуждения ЛП</b> 0 - ВЧ сигнал, 1 - ВЧ импульс, 2 - НЧ импульс, 3 - НЧ+ВЧ импульс, 4 - ШП импульс
fl	<b>Нижняя граничная частота</b> полосы пропускания ЛП
fh	<b>Верхняя граничная частота</b> полосы пропускания ЛП
f <sub>0</sub>	<b>Частота для задания волнового сопротивления</b> ЛП
Z <sub>0</sub>	<b>Волновое сопротивление</b> ЛП на частоте f <sub>0</sub>
f <sub>c</sub>	<b>Опорная частота</b> сигнала
G	<b>Проводимость</b> G
K <sub>0</sub>	<b>Согласование на входе</b> ЛП, $R_0 = K_0 * Z_0$ ( $K_0 = 1 \rightarrow R_0 = Z_0$ )
KN	<b>Согласование на выходе</b> ЛП, $R_N = KN * Z_0$ ( $KN = 1 \rightarrow R_N = Z_0$ )
A <sub>0</sub>	<b>Амплитуда возбуждающего сигнала на входе</b> ЛП
AN	<b>Амплитуда возбуждающего сигнала на выходе</b> ЛП
Time	<b>Временной интервал</b>
Ne	<b>Количество ячеек</b> на длине ЛП
fwFront	<b>Длительность переднего фронта</b> импульсного сигнала
bwFront	<b>Длительность заднего фронта</b> импульсного сигнала
Start	<b>Момент времени начала импульса</b>
Stop	<b>Время окончания импульса</b>

## Эквивалентная схема линии передачи и основные выражения для расчета параметров схемы

Общая эквивалентная схема дискретной модели линии передачи:



Уравнения для расчета граничных условий:

$$\frac{d^2 V_1}{dt^2} = \frac{1}{LC_1} (V_2 - V_1 + U_1) + \frac{1}{R_0 C_1} \frac{d}{dt} (E_0 - V_1),$$

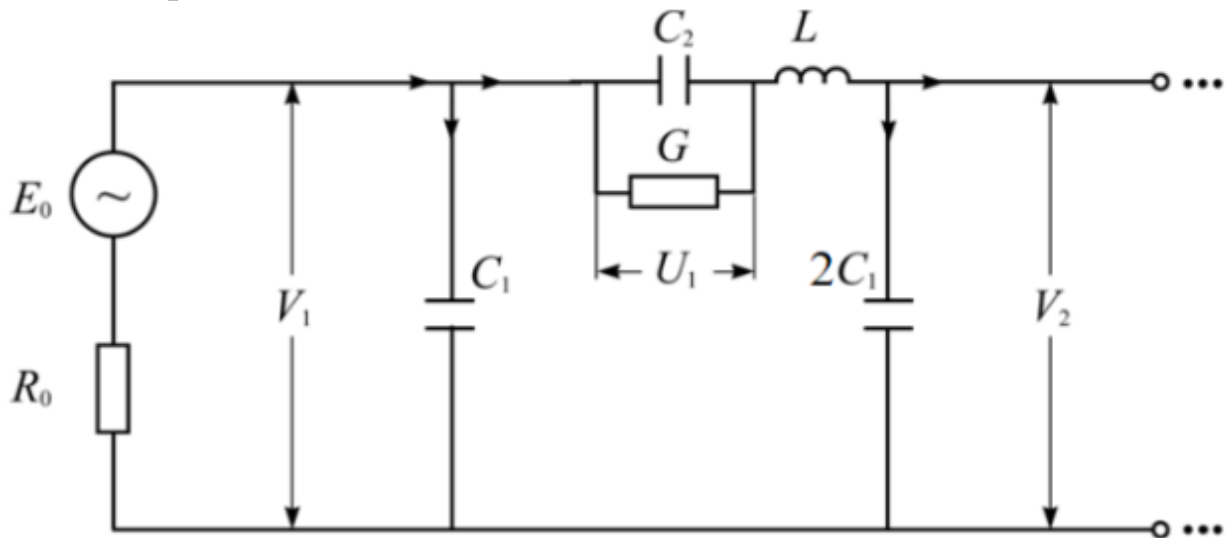
$$\frac{d^2 V_{N+1}}{dt^2} = \frac{1}{LC_1} (V_N - V_{N+1} + U_N) + \frac{1}{R_N C_1} \frac{d}{dt} (E_H - V_{N+1}).$$

Уравнения, связывающие напряжения в соседних ячейках:

$$\frac{d^2 V_S}{dt^2} = \frac{1}{2LC_1} (V_{S-1} - 2V_S + V_{S+1} + U_S - U_{S-1}),$$

$$\frac{d^2 U_S}{dt^2} = \frac{1}{2LC_1} (V_S - V_{S+1} - U_S) - \frac{G}{C_2} \frac{dU_S}{dt}.$$

Эквивалентная схема входного звена дискретной модели линии передачи:



Уравнения для расчета граничных условий слева:

$$i_0 R_0 + V_1 = E_0, \rightarrow i_0 = \frac{1}{R_0} (E_0 - V_1) = \frac{C_1 dV_1}{dt} + i_L \rightarrow i_L = \frac{E_0 - V_1}{R_0} - \frac{C_1 dV_1}{dt}$$

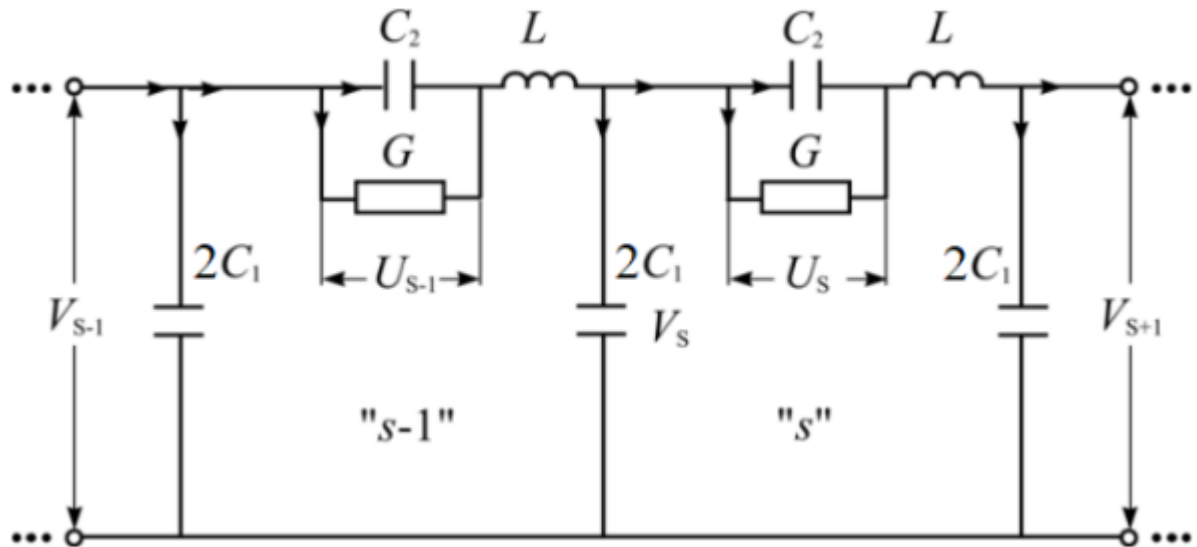
$$V_1 = U_1 + L \frac{di_L}{dt} + V_2, \rightarrow L \frac{di_L}{dt} = V_1 - V_2 - U_1,$$

$$L \frac{d}{dt} \left( \frac{E_0 - V_1}{R_0} - C_1 \frac{dV_1}{dt} \right) = V_1 - V_2 - U_1,$$

$$\frac{d^2 V_1}{dt^2} = \frac{1}{LC_1} (V_2 - V_1 + U_1) + \frac{1}{R_0 C_1} \frac{d}{dt} (E_0 - V_1).$$



Эквивалентная схема двух соседних звеньев дискретной модели линии передачи:



Уравнения, связывающие напряжения в соседних ячейках:

$$\begin{cases} V_S = V_{S-1} - U_{S-1} - L \frac{di_{LS-1}}{dt} \\ V_S = V_{S+1} + U_S + L \frac{di_{LS}}{dt} \end{cases} \rightarrow 2V_S = V_{S-1} + V_{S+1} + U_S - U_{S-1} + L \frac{d}{dt}(i_{LS} - i_{LS-1})$$

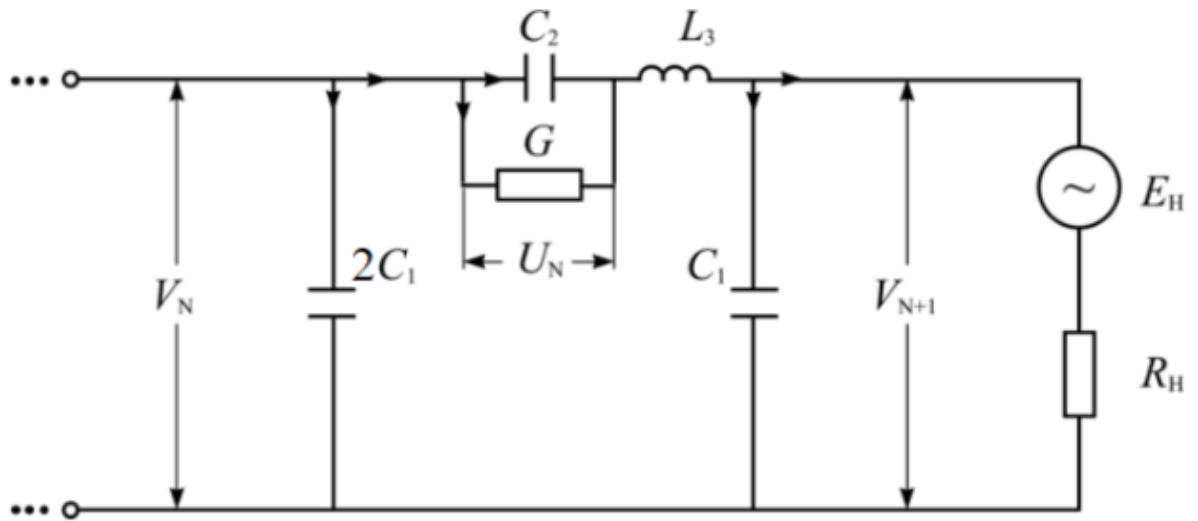
$$i_{LS} - i_{LS-1} = -2C_1 \frac{dV_S}{dt}, \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{d^2 V_S}{dt^2} = \frac{1}{2LC_1} (V_{S-1} - 2V_S + V_{S+1} + U_S - U_{S-1}).$$

$$i_{LS} = U_S G + C_2 \frac{dU_S}{dt}, \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{d^2 U_S}{dt^2} = \frac{1}{2LC_1} (V_S - V_{S+1} - U_S) - \frac{G}{C_2} \frac{dU_S}{dt}.$$

Эквивалентная схема выходного звена дискретной модели линии передачи:



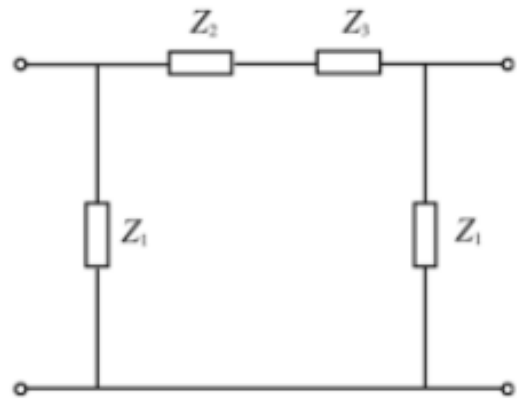
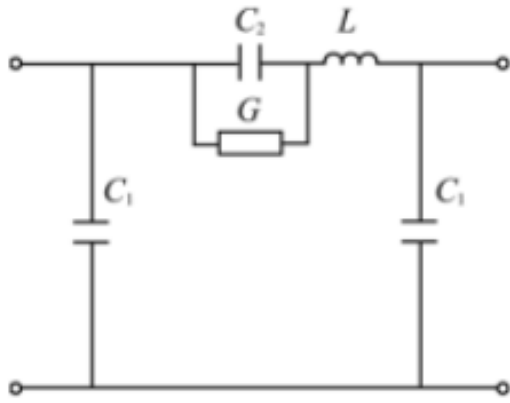
Уравнения для расчета граничных условий справа:

$$V_{N+1} - i_H R_H = E_H, \rightarrow i_H = \frac{1}{R_H} (V_{N+1} - E_H) = i_L - C_1 \frac{dV_{N+1}}{dt} \rightarrow i_L = \frac{(V_{N+1} - E_H)}{R_H} + C_1 \frac{dV_{N+1}}{dt}$$

$$V_N = U_N + L \frac{di_L}{dt} + V_{N+1}, \rightarrow L \frac{di_L}{dt} = V_N - V_{N+1} - U_N,$$

$$L \frac{d}{dt} \left( \frac{V_{N+1} - E_H}{R_H} - C_1 \frac{dV_{N+1}}{dt} \right) = V_N - V_{N+1} - U_N,$$

$$\frac{d^2 V_{N+1}}{dt^2} = \frac{1}{LC_1} (V_N - V_{N+1} + U_N) + \frac{1}{R_H C_1} \frac{d}{dt} (E_H - V_{N+1}).$$



$$L = \sqrt{\frac{Z_0^2(f_0)w_0^2(2w_B^2 - w_H^2 - w_0^2)}{(w_B^2 - w_H^2)^2 * (w_0^2 - w_H^2)}}$$

$$C_1 = \frac{2}{L(w_B^2 - w_H^2)}$$

$$C_2 = \frac{1}{w_H^2 L}$$

$$Z_0(f) = \sqrt{\frac{L^2(w_B^2 - w_H^2)^2 * (w^2 - w_H^2)}{w^2(2w_B^2 - w_H^2 - w^2)}}$$

## Расчет параметров эквивалентной схемы отдельной ячейки

По моему номеру в таблице определяем, что мой вариант – 17, следовательно, при программных расчетах, получаем следующие значения:

```
Граничные частоты: fl = 17.000000, fh = 180.000000  
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0  
Частота сигнала: 98.5
```

```
Параметры эквивалентной схемы:  
L      = 20.026571,  
C1     = 0.000394,  
C2     = 0.043766,  
G/C2   = 0.000000
```

Рассчитывая вручную, получаем:

Нижняя граничная частота:  $f_l = \text{номер варианта} = 17$

Верхняя граничная частота:  $f_h = 10 * (\text{номер варианта} + 1) = 180$

Опорная частота:  $f_0 = 0.5 * (f_h + f_l) = 0.5 * (180 + 17) = 98.5$

Волновое сопротивление на частоте  $f_0$ :  $Z_0 = 10 * \text{номер варианта} = 170$

Параметры сходятся

## Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты

Для отображения графиков по отдельности, изменим значение параметра `show_tmp_graph` на `False` для наглядности.

Таким образом, для ВЧ сигнала и заданных параметров в задании 4.1(а), получаем следующие зависимости:

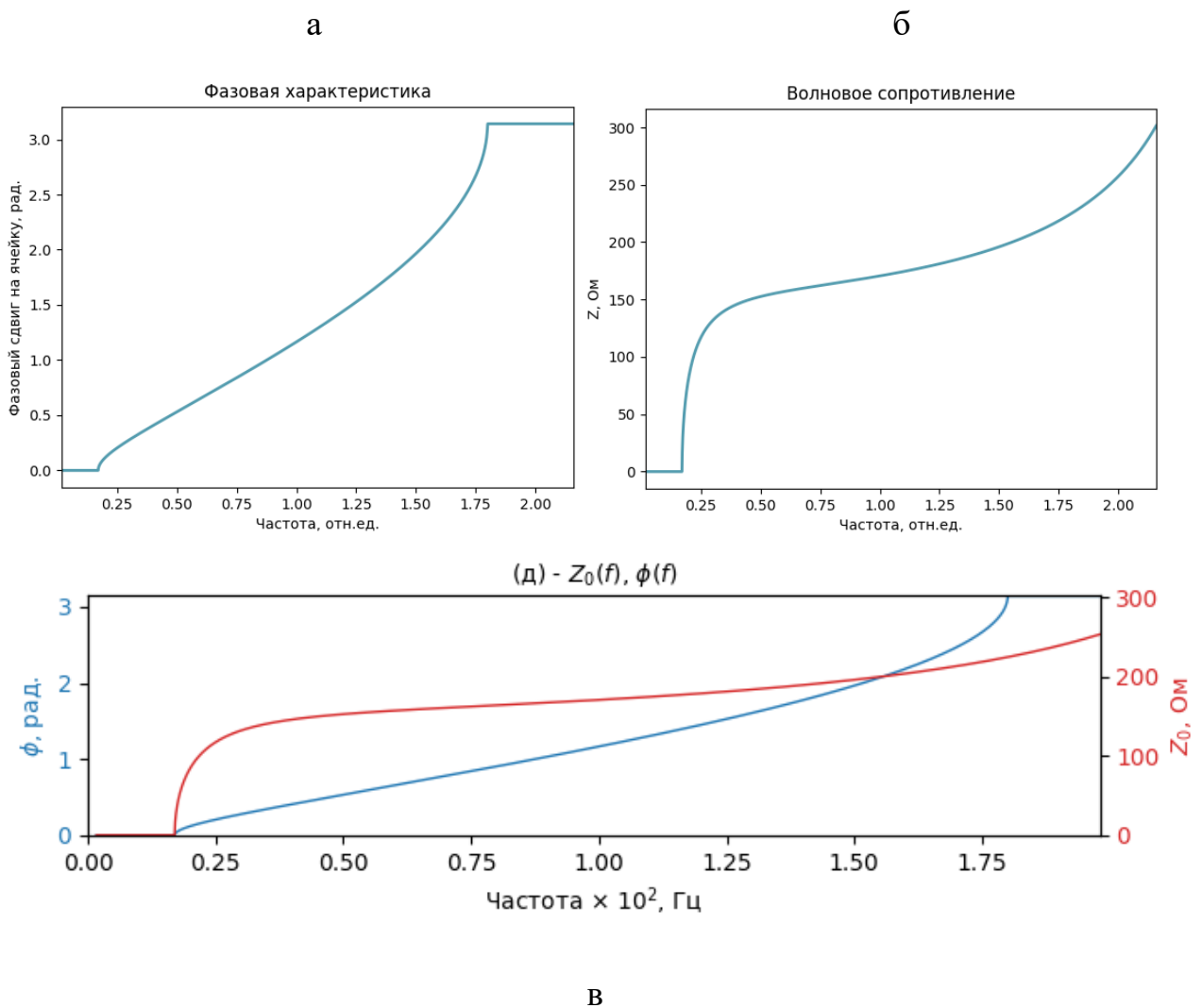


Рис.1. График зависимости фазового сдвига на ячейку (а), график волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты для высокочастотного сигнала (б) и обе зависимости на одной плоскости (в)

Для ВЧ импульсного сигнала и заданных параметров в задании 4.2(а), получаем следующие зависимости:

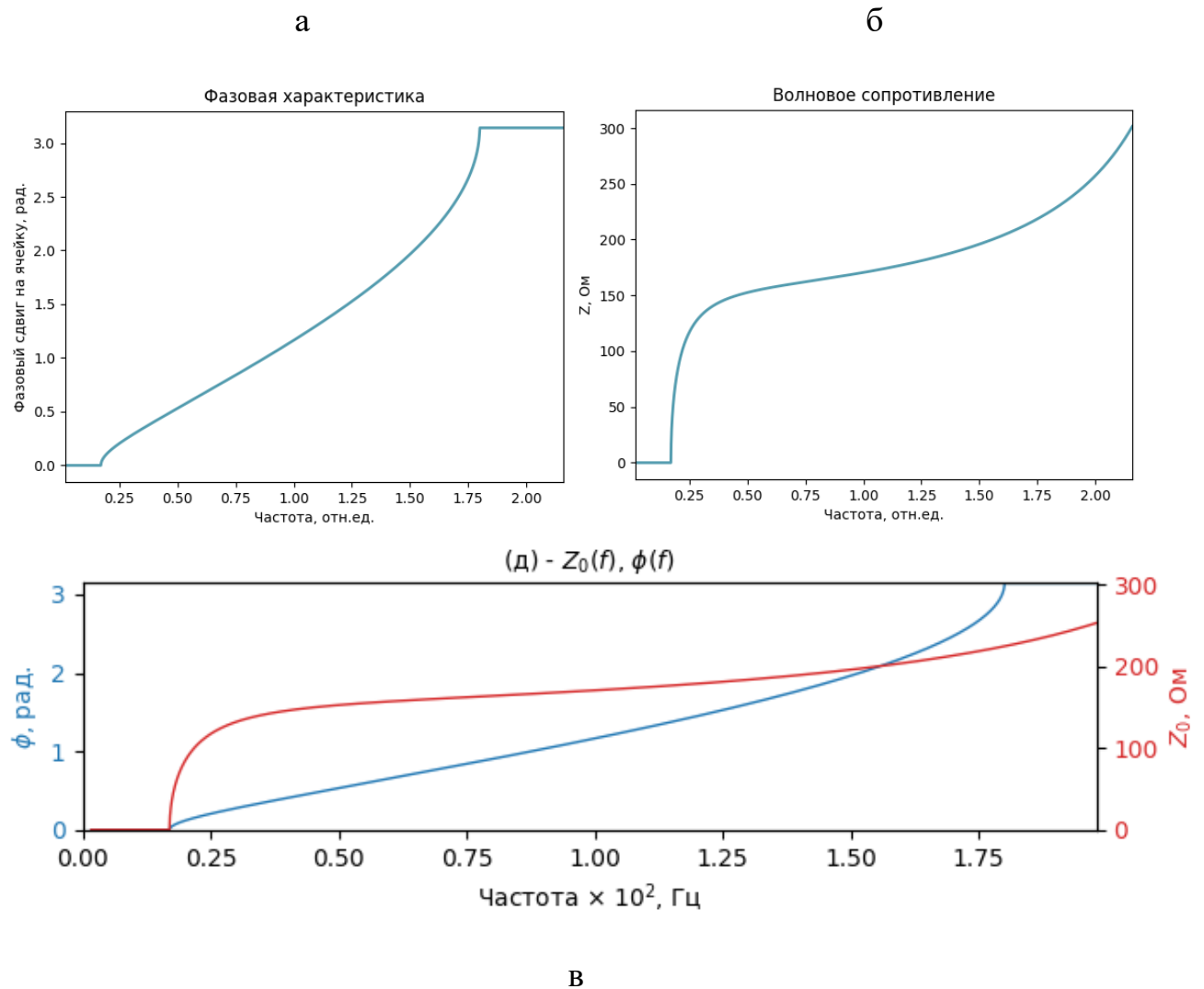


Рис.2. График зависимости фазового сдвига на ячейку (а), график волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты для высокочастотного импульсного сигнала (б) и обе зависимости на одной плоскости (в)

Для НЧ импульсного сигнала и заданных параметров в задании 4.3(а), получаем следующие зависимости:

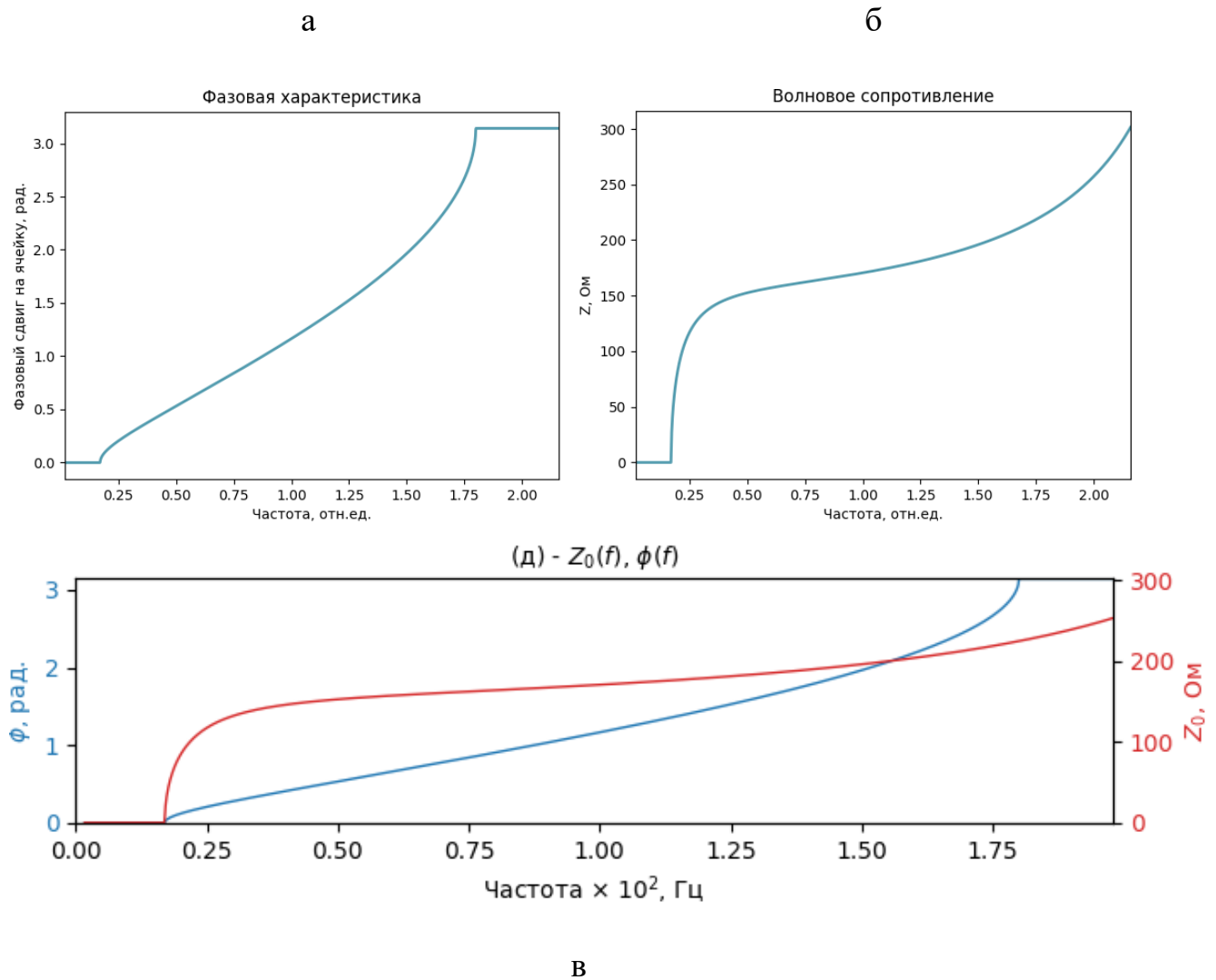


Рис.3. График зависимости фазового сдвига на ячейку (а), график волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты для низкочастотного импульсного сигнала (б) и обе зависимости на одной плоскости (в)

Для НЧ + ВЧ импульсного сигнала изменяем параметр `lfilter` на `True`, задаем параметры из задания 4.4(а) и получаем следующие зависимости:

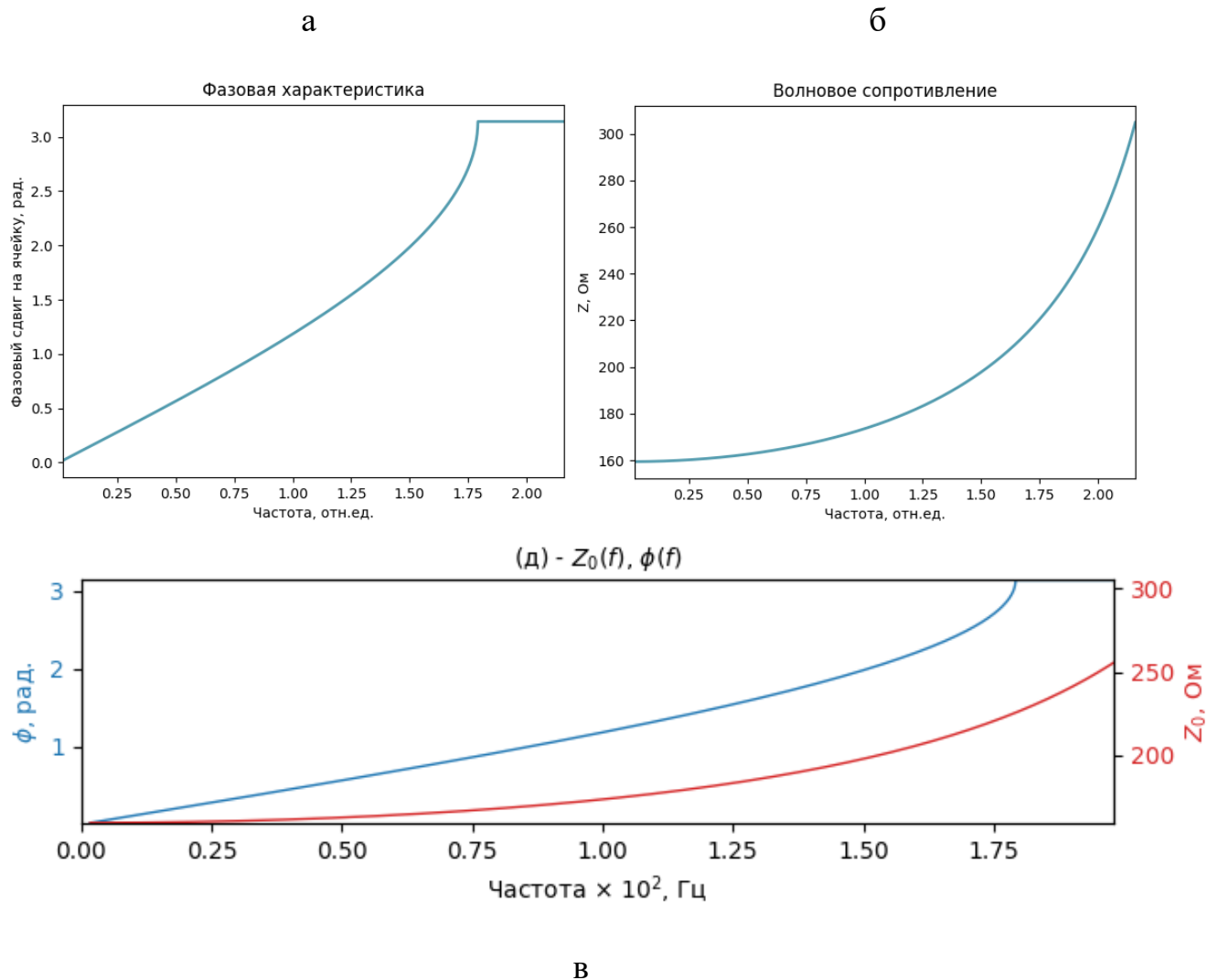


Рис.4. График зависимости фазового сдвига на ячейку (а), график волнового сопротивления эквивалентной линии от частоты для высокочастотного и низкочастотного импульсного сигнала (б) и обе зависимости на одной плоскости (в)



## Зависимости входных, выходных напряжений от времени, их спектры и распределения напряжений вдоль линии передачи в зависимости от номера ячейки

Возвращаем все параметры, которые менялись в предыдущем задании.

### 4.1 ВЧ сигнал ( $nsig = 0$ )

а)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 10$

```
Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0
Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 10
```

```
*****
***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: ВЧ сигнал
Граничные частоты: fl = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 10
*****
*****
Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****
```

а

б

Рис. 5. Параметры из пункта 4.1 (а) для получения необходимых зависимостей

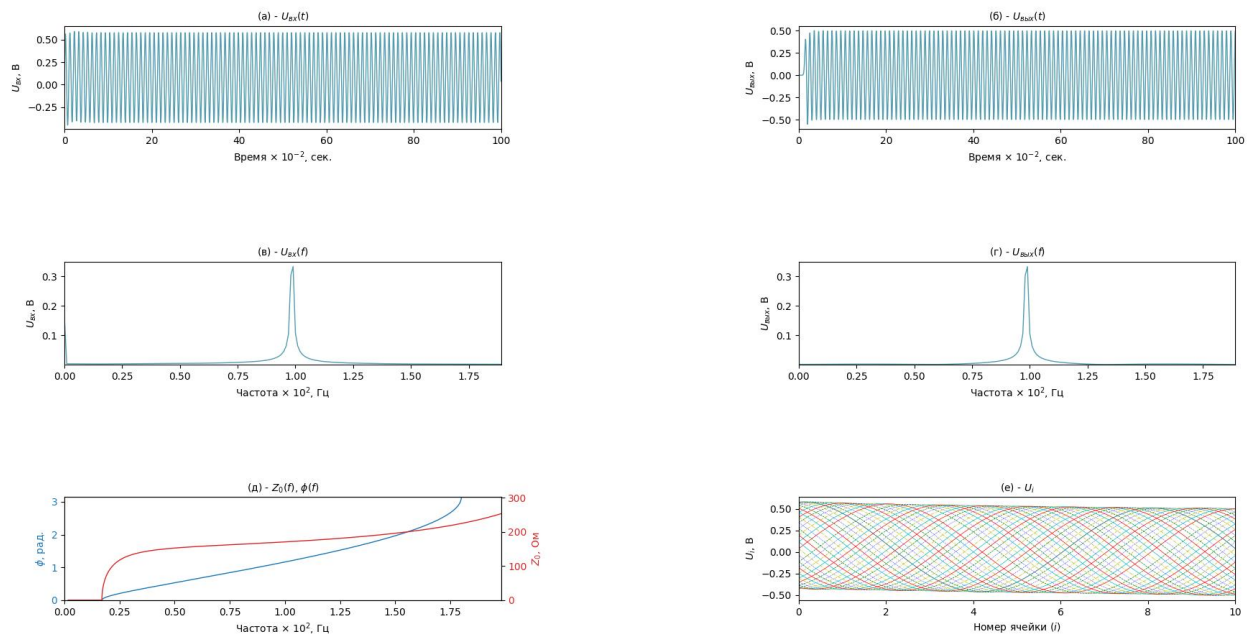


Рис.6. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Из графика Е (рисунок 6) видно, что напряжения распределяются равномерно во все промежутки времени. А из графиков а и б видно, что как входное, так и выходное напряжение равны и полностью симметричны между собой по амплитуде и частоте.

b)  $f_c < f_l$ ,

$K_0 = K_N = 1$ ,

$N_c = 10$

Входные параметры (рисунок 7), отличаются от предыдущего набора значением опорной частоты. В данном случае она задается меньше нижней граничной частоты полосы пропускания.

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0
Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
0
Частота сигнала: 10
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 10

***** Исходные данные для расчета: *****
Сигнал возбуждения ЛП: ВЧ сигнал
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 10.0
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 10

*****
Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

а

б

Рис. 7. Параметры из пункта 4.1 (б) для получения необходимых зависимостей

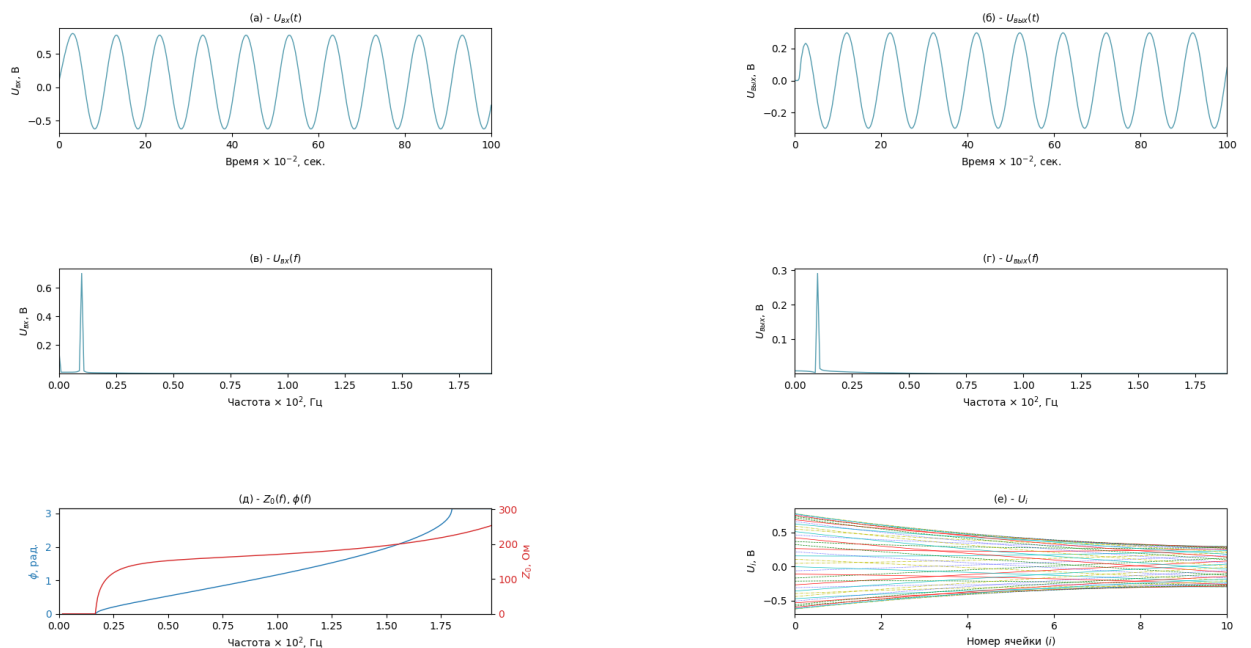


Рис.8. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Из рисунка 8 сразу видно, что из-за того, что сигнал не проходит полосу пропускания, его форма искажается. Из этого следует, что распределение напряжений перестает быть равномерным, однако, график Д рисунка 8 остался неизменным. Из чего можно сделать вывод, что на него не влияет изменение частоты.

**с)  $f_c > f_h$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $N_c = 10$**

Как и в прошлом наборе параметров, оставляем все таким же, изменяя опорную частоту, только уже с условием, что она должна быть больше верхней границы частоты полосы пропускания.

<pre> Номер варианта: 17 Нижняя граничная частота: 17 Верхняя граничная частота: 180 Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0  Сигнал возбуждения ЛП: 0 - ВЧ сигнал, 1 - ВЧ импульс, 2 - НЧ импульс, 3 - НЧ+ВЧ импульс, 4 - ШП импульс 0  Частота сигнала: 200 Проводимость G 0 Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1 Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1 Временной интервал: 100 Число ячеек в ЛП: 10         </pre>	<pre> ***** ***** Исходные данные для расчета: ***** ***** Сигнал возбуждения ЛП: ВЧ сигнал Граничные частоты: fl = 17.000000, fh = 180.000000 Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0 Частота сигнала: 200.0 Проводимость G: 0.0 Согласование слева K0: 1.0 Согласование справа KN: 1.0 Временной интервал: 100.0 Число ячеек в ЛП: 10 *****  ***** ***** Параметры эквивалентной схемы: ***** ***** L   = 20.026571, C1  = 0.000394, C2  = 0.043766, G/C2 = 0.000000 *****         </pre>
---	---

а

б

Рис. 9. Параметры из пункта 4.1 (с) для получения необходимых зависимостей

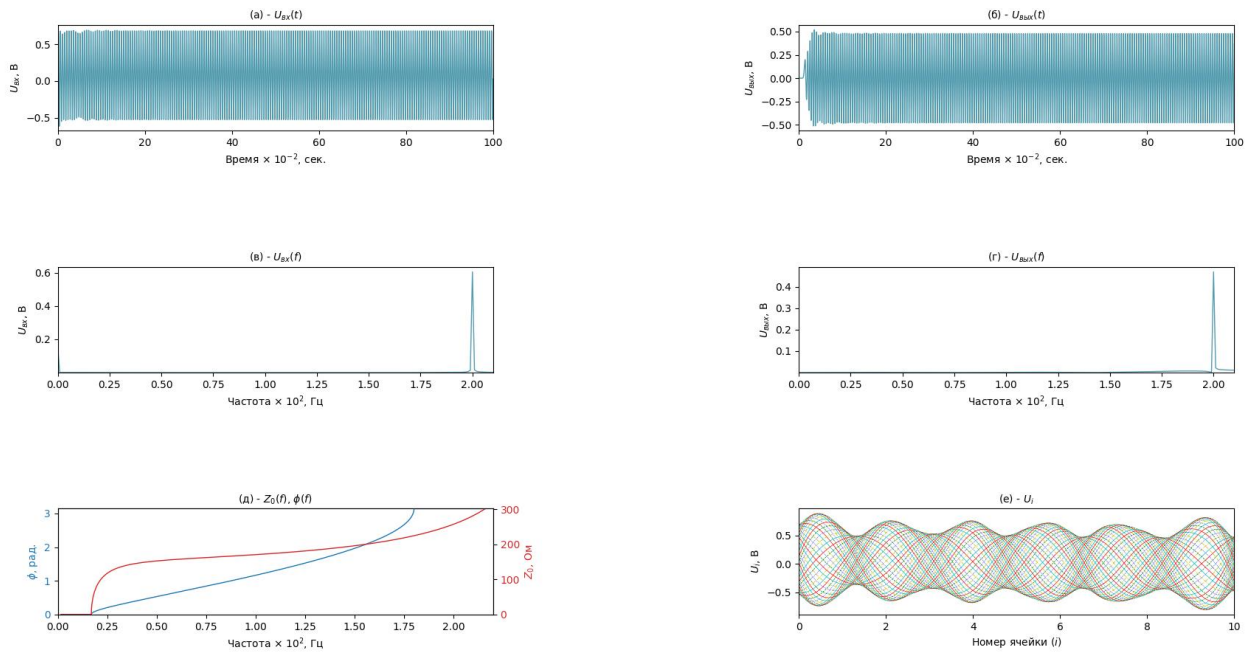


Рис.10. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Из рисунка 10 видно, что изменились графики зависимости фазового сдвига и волнового сопротивления, однако, они сохранили свою форму. Из-за потери большей части напряжения (перехода его в нагрузку), из-за чего теряется амплитуда, но уменьшается время переходного процесса, по сравнению с изначальным набором данных. Если рассмотреть спектр, на данных графиках не сильно видно, но все же заметно, если присмотреться, что на выходе появляются искажения.

$$\text{д) } f_c = f_0, \quad K_0 = K_N = 10, \quad N_c = 10$$

В последнем наборе данных опорная частота откатывается к 1 набору, мы меняем только согласование на входе и выходе ( $K_0$  и  $K_N$ ) в 10 раз.

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
0

Частота сигнала: 98.5
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 10
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 10
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 10

```

```

*****
***** Исходные данные для расчета: *****
*****

Сигнал возбуждения ЛП: ВЧ сигнал
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 10.0
Согласование справа KN: 10.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 10
*****

*****
***** Параметры эквивалентной схемы: *****
*****
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

а

б

Рис. 11. Параметры из пункта 4.1 (d) для получения необходимых зависимостей

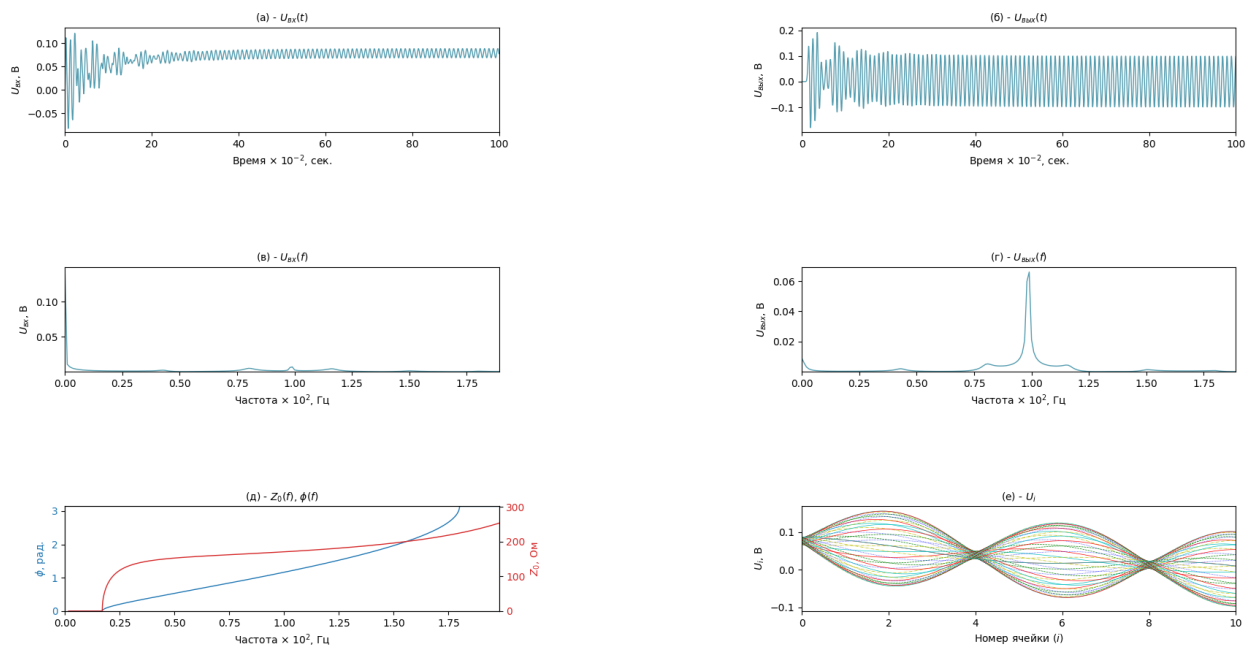


Рис.12. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Сразу бросается в глаза, что ухудшилась передача по каналу из-за увеличения амплитуды входного сигнала, что уменьшает амплитуду всех величин, а спектр сигнала сильно искажается в начальный промежуток, после чего выравнивается.

#### 4.2 ВЧ импульсный сигнал (nsig = 1)

**a)  $f_c = f_0$ ,**

$$\mathbf{K0} = \mathbf{KN} = \mathbf{1},$$

**Nc = 10**

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0
Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
1
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 10

```

a

6

Рис. 13. Параметры из пункта 4.2 (а) для получения необходимых зависимостей

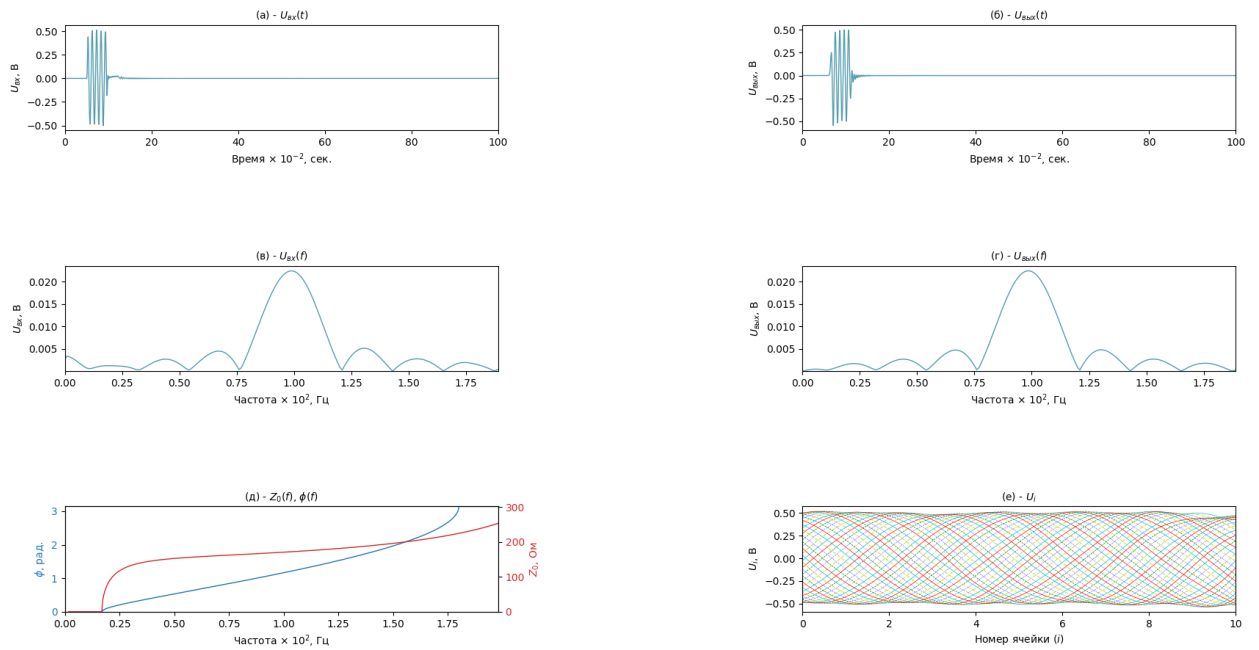


Рис.14. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Из графиков в и г рисунка 14 видно, что мы наблюдаем сигнал как на входе, так и на выходе лишь в самом начале, далее он затухает. При этом напряжение по ячейкам вдоль линии передачи остается равномерным на протяжении всего времени. Спектры данного сигнала полностью симметричны и имеют некоторое количество гармоник, однако, лишь 1 основу.

$$\mathbf{b) \text{ } f_c = 0.95f_h, \quad K0 = KN = 1, \quad N_c = 100}$$

В этом наборе данных уменьшим частоту на 5% относительно верхней граничной частоты. При этом увеличиваем число ячеек в 10 раз.



```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
|
Частота сигнала: 171
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 100

```

а

```

***** Исходные данные для расчета: *****
Сигнал возбуждения ЛП: ВЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 171.0
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 100
*****

***** Параметры эквивалентной схемы: *****
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

б

Рис. 15. Параметры из пункта 4.2 (б) для получения необходимых зависимостей

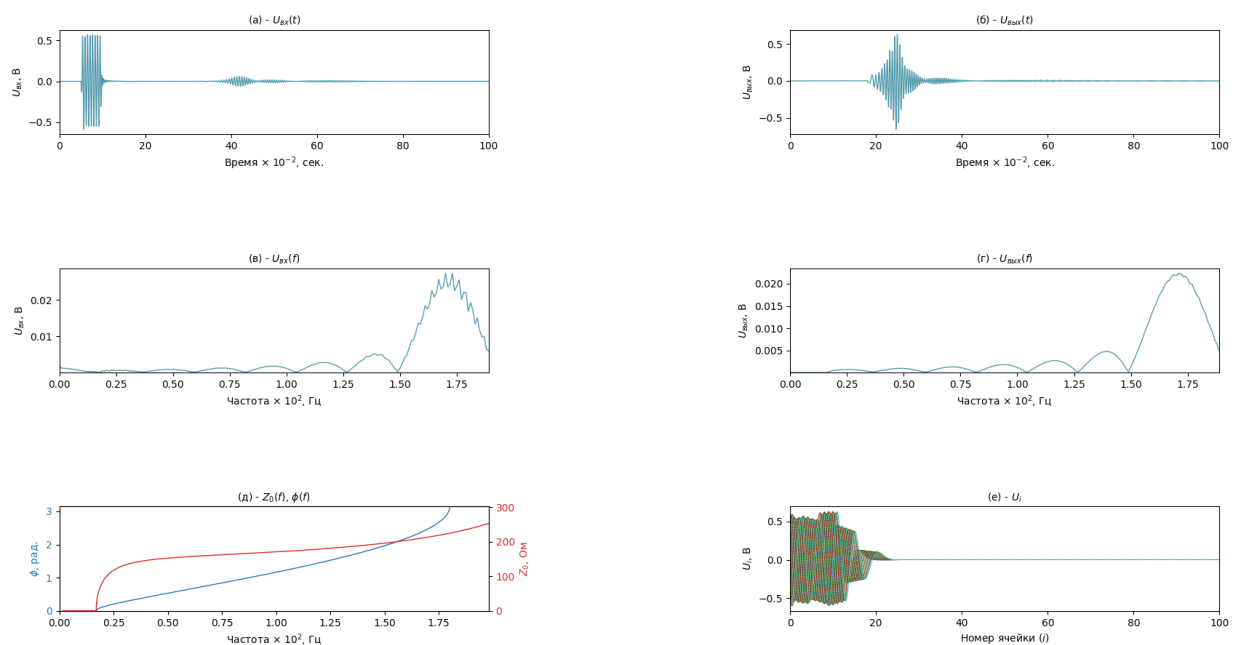


Рис.16. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

**c)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 10$ ,  $N_c = 100$**

[illegible]

6

26

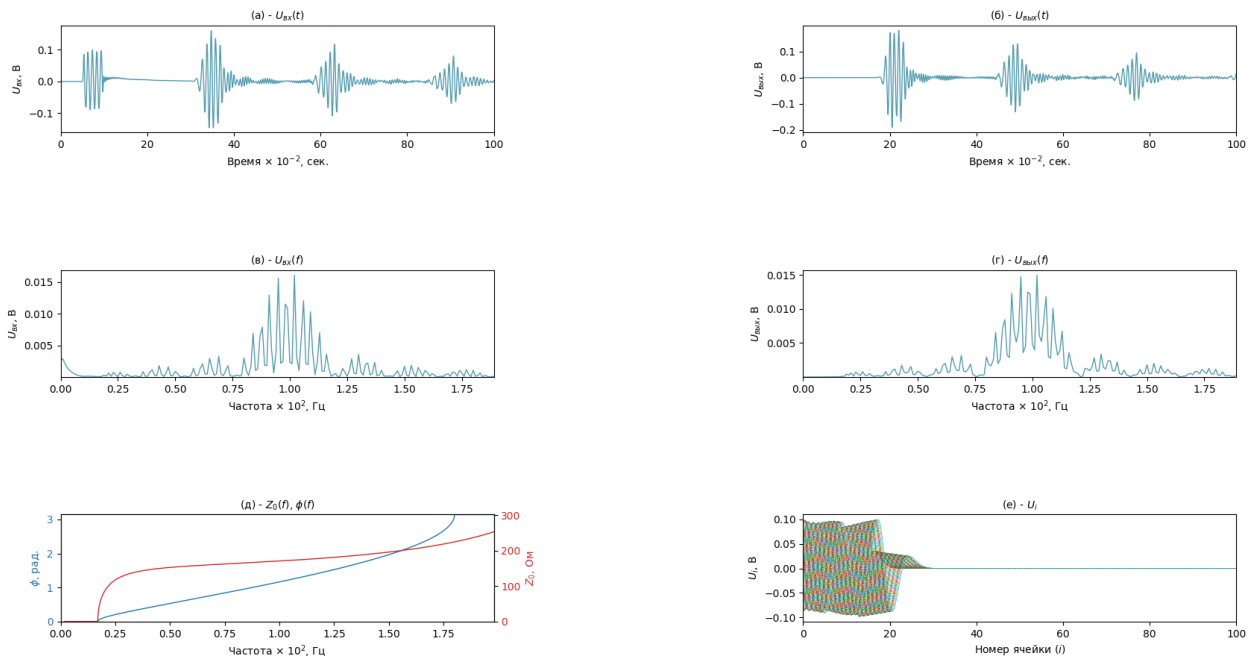


Рис.18. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Спектры довольно похожи, гармоники отличаются только амплитудой искажений. Входное и выходное напряжение отличаются значительно больше, в начальный момент времени это особенно заметно. Распределение напряжения как и в прошлом наборе угасает и равняется константе нуля с определенного момента времени.

### 4.3 НЧ импульсный сигнал (nsig = 2)

**a)  $K0 = KN = 1$ ,**

**$G = 0$ ,**

**$Nc = 500$**

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
2

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500
    
```

```

***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500
*****
*****
Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****
    
```

**а**

**б**

Рис. 19. Параметры из пункта 4.3 (а) для получения необходимых зависимостей

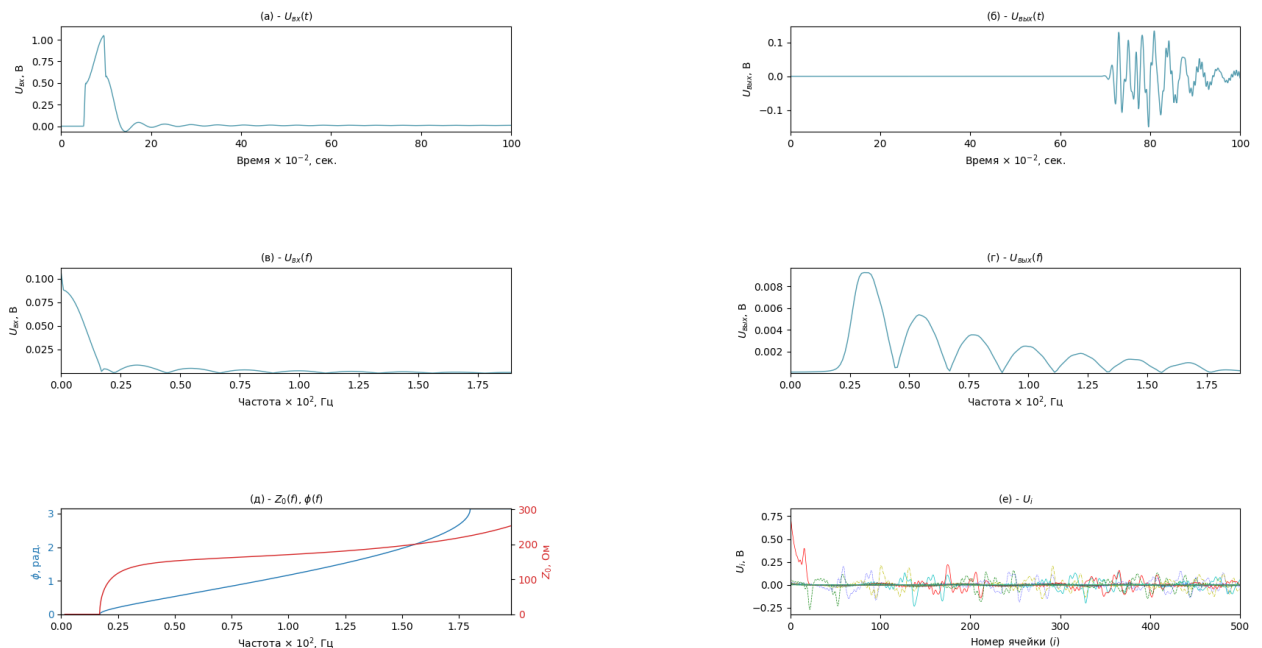


Рис.20. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового

сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

На графике а, рисунка 20, можно заметить кардинальное отличие на входном напряжении от предыдущих типов сигнала. Мы видим короткий мощный импульс в самом начале времени, который потом зануляется и идет по константе ноль на протяжении оставшегося. На выходном напряжении мы видим график, который крайне напоминает высокочастотный импульс. Немного возрасла амплитуда относительно входного спектра сигнала, фазовый сдвиг и волновое сопротивление опять практически не поменялись. Распределение напряжений максимально неравномерное, начинается с сильного скачка.

**b)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $G = 10$ ,  $N_c = 500$**

В следующем наборе изменяем проводимость, увеличивая ее в 10 раз, все остальные входные данные остаются прежними.

```
Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
5

Проводимость G 10
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500

***** Исходные данные для расчета: *****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 10.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500

*****
Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 228.488415
*****
```

а

б

Рис. 21. Параметры из пункта 4.3 (b) для получения необходимых зависимостей

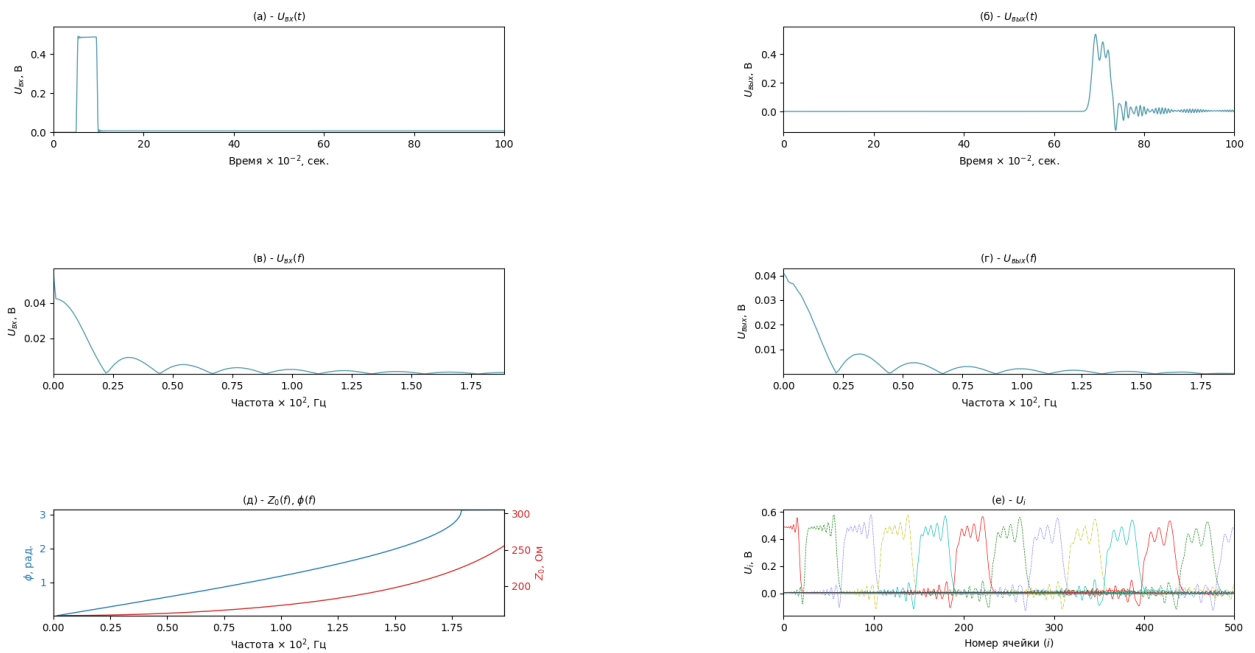


Рис.22. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Из рисунка 22, графика в видно, что амплитуда спектра входного сигнала уменьшилась практически в 2 раза, а спектр выходного стал более похож на входной, относительно предыдущих вариантов. Распределение напряжения в ячейках стало более гармоническим. Также изменилась форма зависимости фазового сдвига и волнового сопротивления. Стали абсолютно отличаться графики входного и выходного напряжений по времени.

с)  $K0 = KN = 1$ ,

$lfilter = True$ ,

$Nc = 500$

На данном наборе включаем параметр  $lfilter$ , что дает возможность представляться ячейке линии передачи звеном фильтра нижних частот

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
0

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500

```

а

```

*****
***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500
*****
*****
Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

б

Рис. 23. Параметры из пункта 4.3 (с) для получения необходимых зависимостей

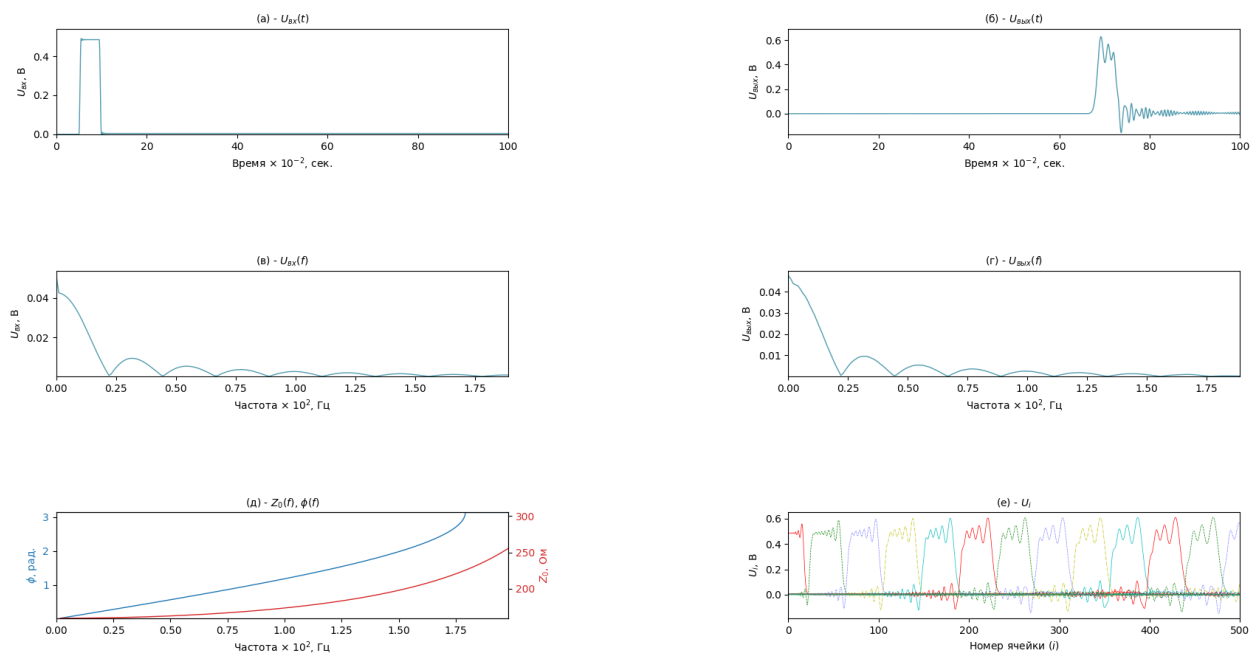


Рис.24. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.

Из рисунка 24, после пропускания сигнала через фильтр нижних частот, можно заметить, что изменений никаких не произошло. Это можно связать с тем, что все параметры изначально подобраны правильно и система является согласованной.

d)  $K0 = KN = 10$ ,

$lfilter = True$ ,

$Nc = 500$

Оставляем параметры прошлого набора данных, изменяя только  $K0$  и  $KN$  (согласования слева и справа).

```
Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
0

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 10
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 10
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500
```

а

```
*****
***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 10.0
Согласование справа KN: 10.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500
*****

*****
Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****
```

б

Рис. 25. Параметры из пункта 4.3 (d) для получения необходимых зависимостей



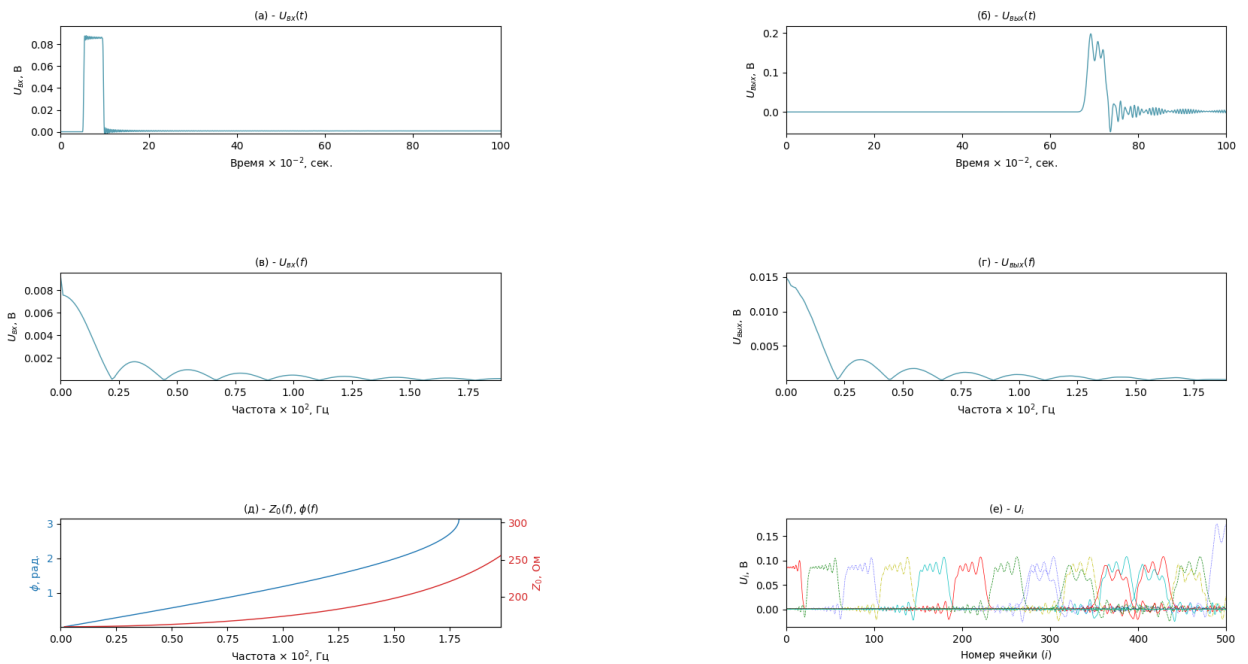


Рис.26. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи

Сравнивая графики а и б рисунка 26, заметим, что амплитуды входного и выходного сигналов сильно отличаются. Амплитуда на выходе в 2.5 раза превышает ту, что мы видим на входном напряжении. Также в 2 раза отличаются амплитуды спектров, где на входном сигнале она меньше, чем на выходном. Распределения напряжений не отличаются от распределения на предыдущем наборе данных.

е)  $K0 = KN = 0.1$ ,

$lfilter = True$ ,

$Nc = 500$

Теперь уменьшаем в 100 раз согласование на входе и выходе, оставляя фильтр нижних частот и 500 ячеек.

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
4

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 0.1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 0.1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500

```

```

***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ импульс
Граничные частоты: fl = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 0.1
Согласование справа KN: 0.1
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500
*****

Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

а

б

Рис. 27. Параметры из пункта 4.3 (е) для получения необходимых зависимостей

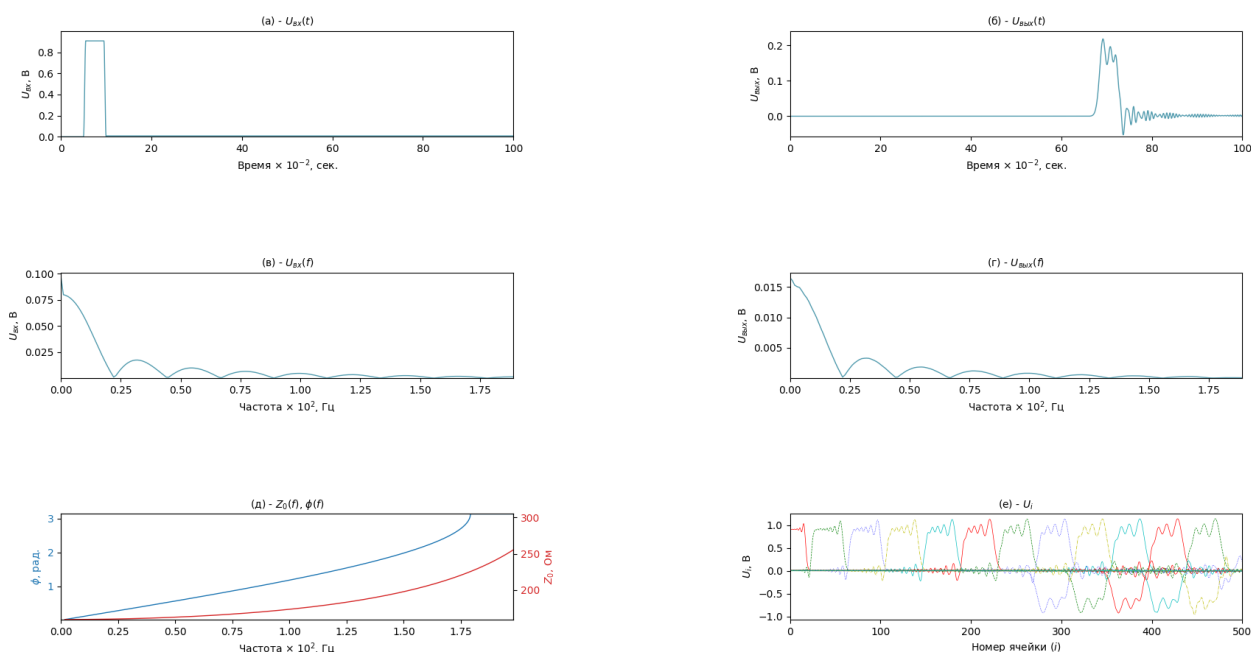


Рис.28. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.

Из графиков ф и б рисунка 28 видно, что амплитуды входного и выходного сигналов увеличились, Напряжения в ячейках с какого-то

момента времени начинают менять свою полярность, а сами напряжения увеличились в 10 раз.

#### 4.4 НЧ + ВЧ импульсный сигнал (nsig = 3)

а)  $f_c = f_0$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$

В данном пункте рассмотрим сигнал, который складывается из высокочастотного и низкочастотного сигналов.

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
3

Частота сигнала: 98.5
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500

```

а

```

***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ+ВЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500
*****

***** Параметры эквивалентной схемы: *****
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

б

Рис. 29. Параметры из пункта 4.4 (а) для получения необходимых зависимостей

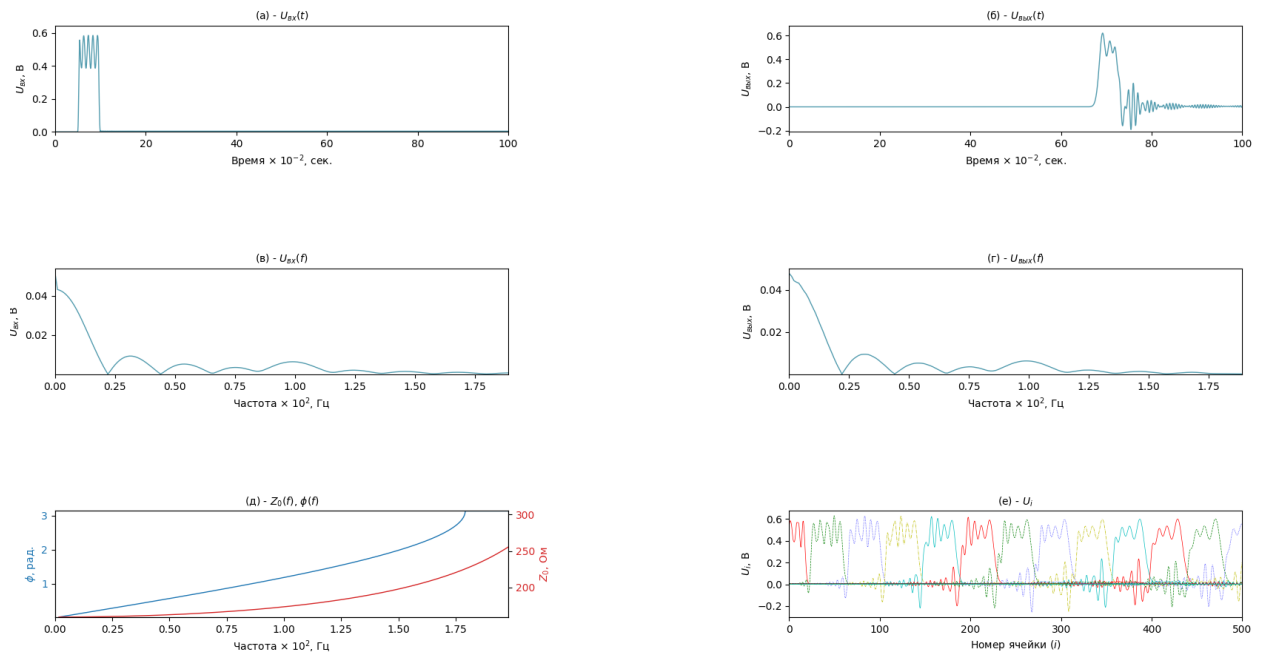


Рис.30. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.

Из-за сложения импульсов, видим, что график а (рисунок 30) из себя представляет прямоугольный импульс, похожий на низкочастотный импульс, однако, с колебаниями в верхней его части, как у высокочастотного. На выходе срабатывает фильтр нижних частот, что видно из-за того, что сигнал сглаживается и перестает быть прямоугольным. Спектры не имеют сильных отличий, за исключением небольшой колебания в начальной амплитуде

b)  $f_c = 0.95f_h$ ,  $K_0 = K_N = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $N_c = 500$

Уменьшаем на 5% опорную частоту сигнала, все остальные параметры модели остаются прежними.

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
3

Частота сигнала: 171
Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 500

```

```

***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: НЧ+ВЧ импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 171.0
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 500
*****

***** Параметры эквивалентной схемы: *****
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

а

б

Рис. 31. Параметры из пункта 4.4 (б) для получения необходимых зависимостей

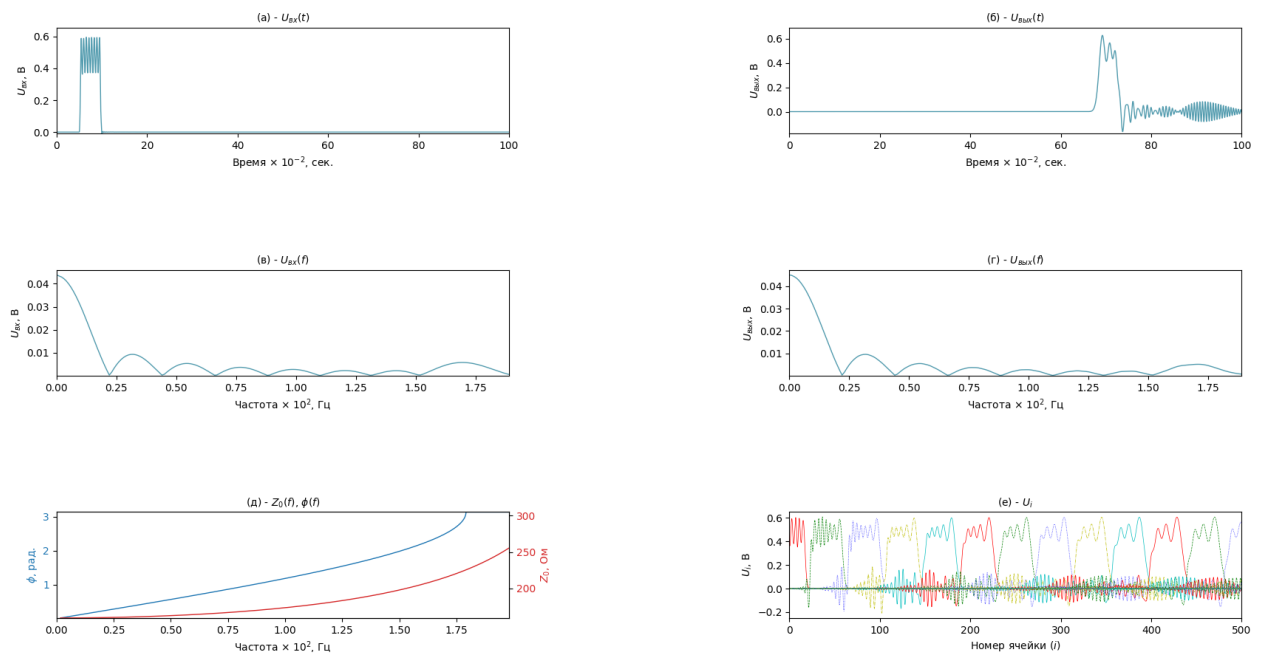


Рис.32. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр

выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.

При повешении опорной частоты, как видно из графиков а и б, колебания усиливаются, прямоугольный импульс становится менее похож на низкочастотный, следовательно, при увеличении опорной частоты, сигнал принимает больше форму высокочастотного импульса. В остальном, амплитуда спектра немного повысилась, но, думаю, это больше искажения, значения слишком не критичные.

#### 4.5 ШП импульсный сигнал (nsig = 4)

**а)  $K_0 = K_N = 1$ ,  $G = 0$  (lffilter = False),  $N_c = 10$**

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
1

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 10
    
```

а

```

***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: ШП импульс
Граничные частоты: fl = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 10
*****

Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****
    
```

б

Рис. 33. Параметры из пункта 4.5 (а) для получения необходимых зависимостей

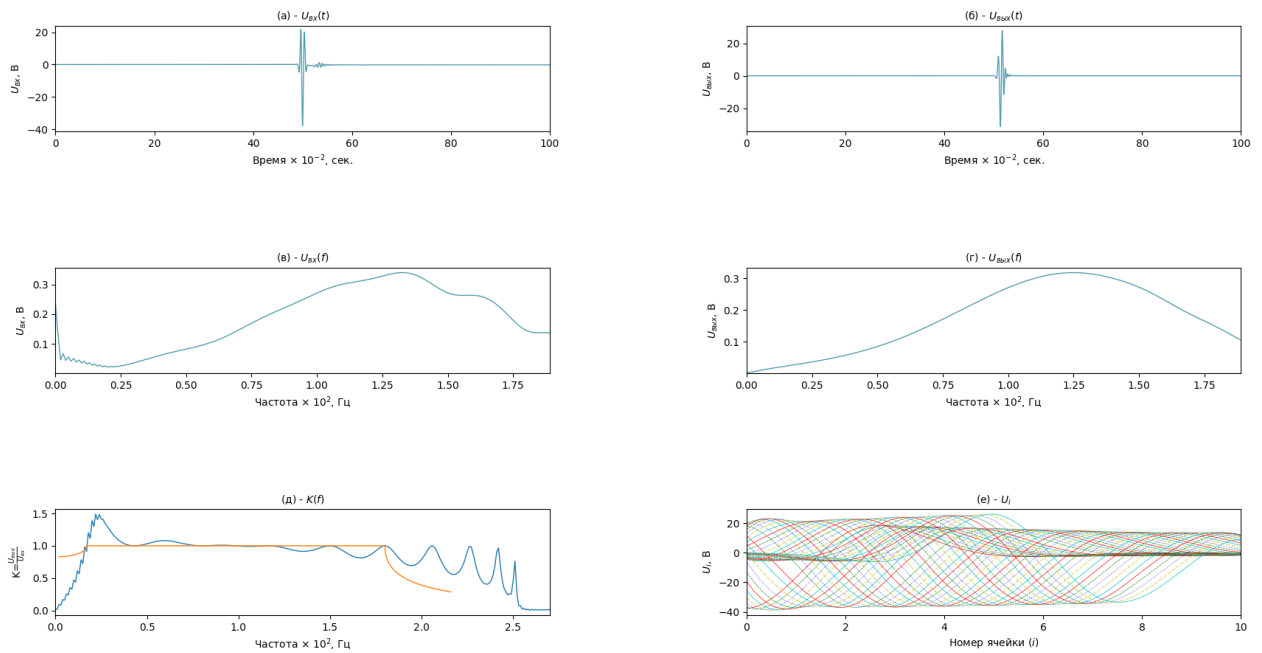


Рис.34. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.

График д на рисунке 34, показывает выходной коэффициент. Входной и выходной спектры сигнала практически идентичны по амплитуде и форме, однако спектр входного сигнала немного шумный. На таких спектрах нельзя выделить отдельные гармоники. Сами входной и выходной сигналы также практически идентичны, как и спектры, по амплитуде, не считая мелких шумов и выбросов.

**b)  $K0 = KN = 1$ ,  $G = 0$  (lffilter = False),  $Nc = 20$**

Изменим количество ячеек в 2 раза, все остальное остается таким, какое и было.

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
4

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 20

```

```

***** Исходные данные для расчета: *****
Сигнал возбуждения ЛП: ШП импульс
Граничные частоты: fl = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 20
*****

Параметры эквивалентной схемы:
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

а

б

Рис. 35. Параметры из пункта 4.5 (б) для получения необходимых зависимостей

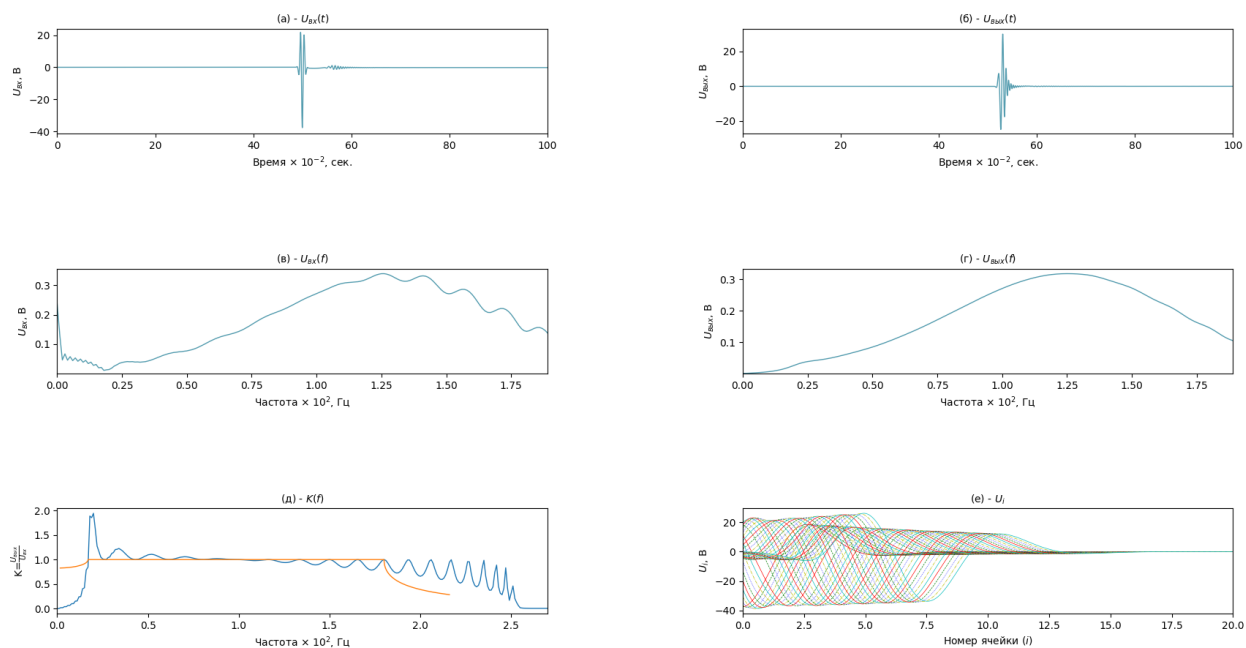


Рис.36. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.



На рисунке 36 графика е, видно, что напряжения уже обращаются в 0 в некоторый момент времени. Шумы на входном спектре сигнала и на входном и выходном сигналах усилились. Формы и амплитуды остались прежними.

с)  $K0 = KN = 1$ ,  $lfilter = True$ ,  $Nc = 10$

Включаем фильтр нижних частот, уменьшаем количество ячеек до 10 (изначального значения).

```

Номер варианта: 17
Нижняя граничная частота: 17
Верхняя граничная частота: 180
Волновое сопротивление линии на частоте 98.50 Z0: 170.0

Сигнал возбуждения ЛП:
0 - ВЧ сигнал,
1 - ВЧ импульс,
2 - НЧ импульс,
3 - НЧ+ВЧ импульс,
4 - ШП импульс
4

Проводимость G 0
Согласование слева K0 (R0 = K0 * Z0): 1
Согласование справа KN (RN = KN * Z0): 1
Временной интервал: 100
Число ячеек в ЛП: 10

```

а

```

***** Исходные данные для расчета: *****
*****
Сигнал возбуждения ЛП: ШП импульс
Граничные частоты: f1 = 17.000000, fh = 180.000000
Волновое сопротивление на частоте 98.50: Z0 = 170.0
Частота сигнала: 98.5
Проводимость G: 0.0
Согласование слева K0: 1.0
Согласование справа KN: 1.0
Временной интервал: 100.0
Число ячеек в ЛП: 10
*****

***** Параметры эквивалентной схемы: *****
L = 20.026571,
C1 = 0.000394,
C2 = 0.043766,
G/C2 = 0.000000
*****

```

б

Рис. 37. Параметры из пункта 4.5 (с) для получения необходимых зависимостей

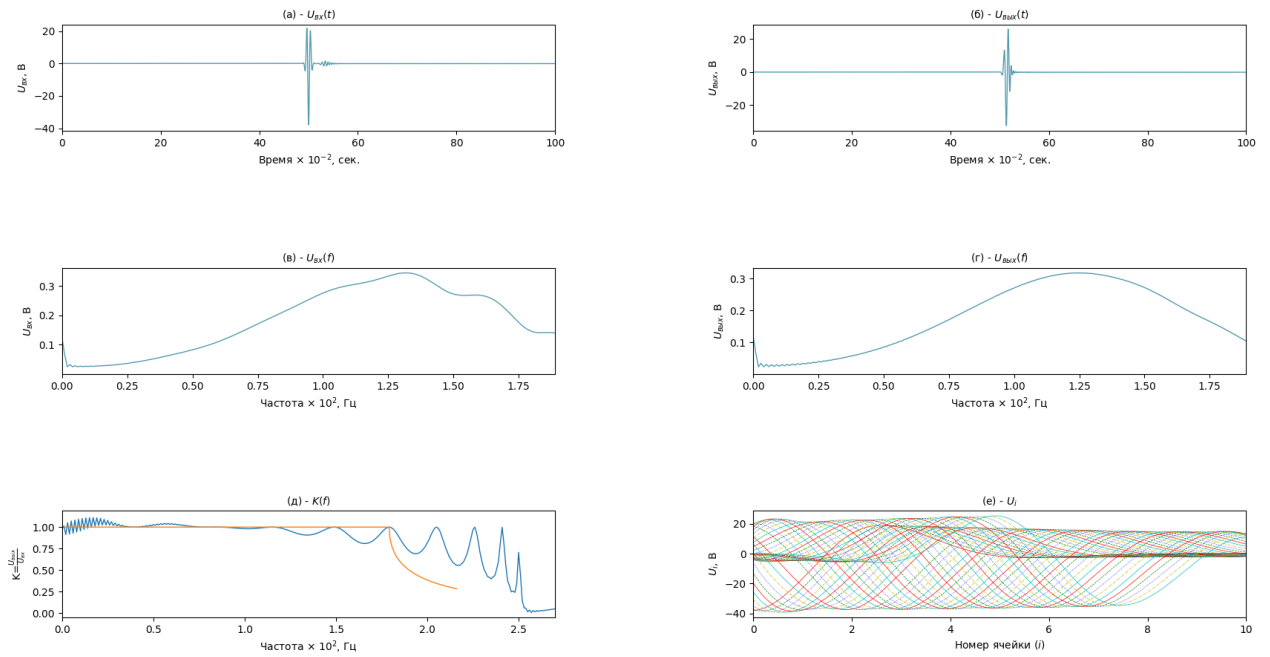


Рис.38. А. Зависимость входного напряжения от времени. Б. зависимость выходного напряжения от времени. В. Спектр входного сигнала. Г. Спектр выходного сигнала. Д. Зависимости фазового сдвига на ячейку и волнового сопротивления от частоты. Е. Распределения напряжений по ячейкам вдоль линии передачи.

Увеличилась амплитуда как входного, так и выходного сигналов, шумы на спектрах немного утихли, но также остались, а форма коэффициента на графике д изменилась.

## Заключение

В проделанной домашней работе были исследованы зависимости сигналов напрямую, путем изменения параметров, анализа и сравнения каждого графика с каждым. Также был изучен ручной способ нахождения параметров линии передачи, вывод основных выражений для данного расчета. Было изучено влияние опорной частоты, согласования, проводимости, количества ячеек и включения фильтра нижних частот. Косвенно, однако безусловно, усвоены навыки работы с Python библиотеками `matplotlib`, `numpy`.