

Номер варианта: 21(б)

## **Анализ преобразования сигналов ARC-цепями**

### **I. Задания на курсовую работу.**

#### **1. Анализ в частотной области**

1.1. Получить выражение схемной операторной функции ARC-цепи – коэффициента передачи по напряжению. По виду передаточной функции определить тип фильтра.

1.2. Рассчитать резонансную частоту  $f_P$  и добротность  $Q$  цепи. Аналитически исследовать частотные характеристики полученного ARC-фильтра, определив частоту (частоты) среза и полосы пропускания и задерживания. Построить графики АЧХ и ФЧХ.

1.3. Рассчитать и построить амплитудный и фазный спектры сигнала (воздействия).

1.4. Рассчитать амплитудный и фазный спектры реакции.

1.5. Построить в функции времени на интервале  $-T < t < T$  график реакции цепи на заданное воздействие.

1.6. Выполнить пп.1.3-1.6 для воздействия той же формы, но с периодом в 2 раза больше заданного.

1.7. Выполнить пп.1.3-1.6 для воздействия той же формы, но с периодом в 2 раза меньше заданного.

#### **2. Анализ во временной области**

2.1. Определить переходную и импульсную функции.

2.2. Рассчитать и построить график реакции цепи на ступенчатое воздействие амплитудой  $U$ . (Здесь  $U$  – амплитуда импульсов, данная в варианте задания).

2.3. Определить и построить график реакции цепи на импульсное воздействие площадью  $Ut_u$ . (Здесь  $t_u$  – длительность импульса, данная в варианте задания).

2.4. Найти реакцию цепи на непериодический прямоугольный импульс амплитудой  $U$  и длительностью  $t_u$  с помощью переходной функции фильтра. Построить график реакции.

2.5. Найти реакцию цепи на непериодический прямоугольный импульс амплитудой  $U$  и длительностью  $t_u$  с помощью импульсной функции фильтра. Построить график реакции.

2.6. Сравнить графики реакций по пп.2.4 и 2.5.

2.7. Сравнить графики реакций по пп.1.6, 2.4 и 2.5 (аналитически).

## II. Исходные данные и схема исследуемого фильтра.

### Схема ARC-цепи.

Схемный прототип звена активного RC фильтра с идеальным операционным усилителем (ОУ).

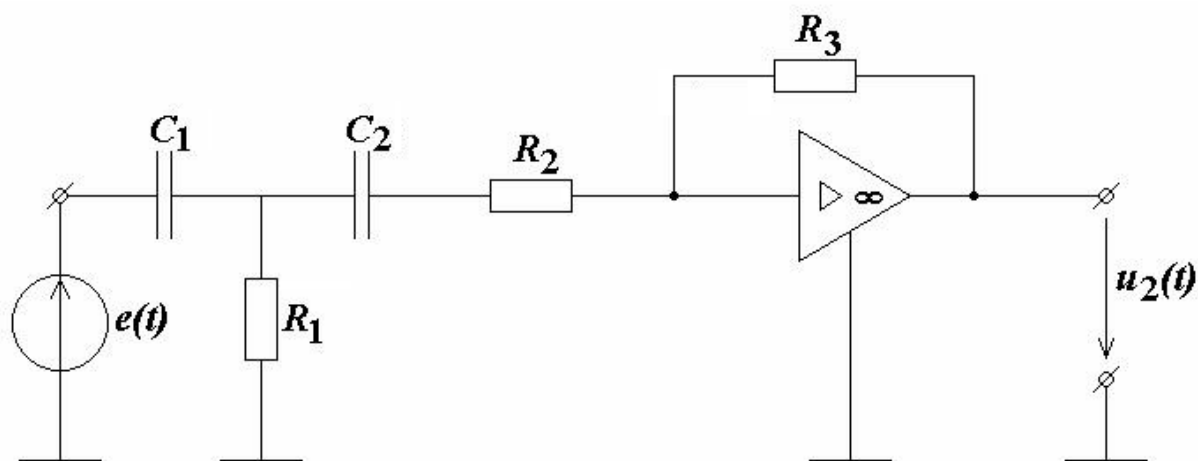


Рис. 1

### Параметры схемы.

Таблица 1

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$C_1$	$C_2$	К
кОм	кОм	кОм	нФ	нФ	—
0,1	0,2	0,6	2,9	2,5	$\infty$

### Сигналы.

1. Периодическая последовательность прямоугольных импульсов напряжения со скважностью  $s$  и амплитудой  $U$ .

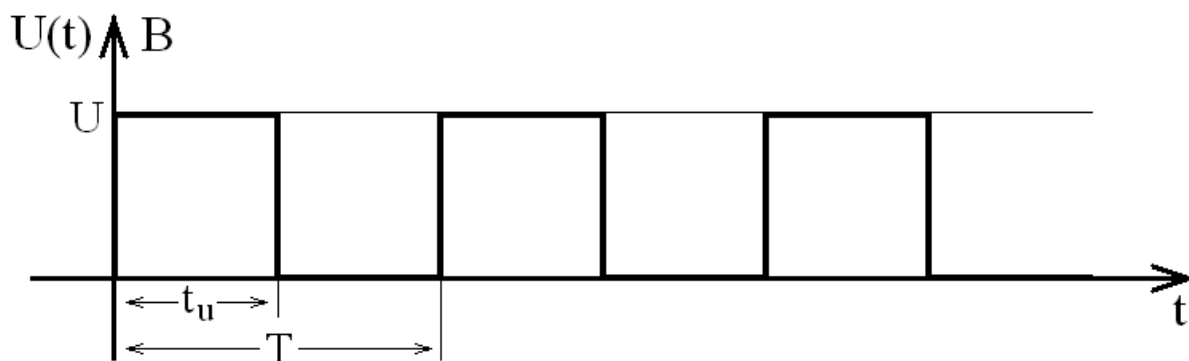


Рис. 2

Таблица 2

U	s	n
B	—	—
8	3	3

$$S = \frac{T}{t_u}; \quad T = \frac{1}{f_1}; \quad f_1 = \frac{1}{n} \cdot f_p$$

2. Ступенчатая функция напряжения.

$$U(t) = U \cdot I(t), \text{ B}$$

3. Импульсная функция напряжения.

$$U(t) = U \cdot t_u \cdot \delta(t), \text{ B}$$

4. Единичный прямоугольный импульс напряжения с амплитудой  $U$  и длительностью  $t_u$ .

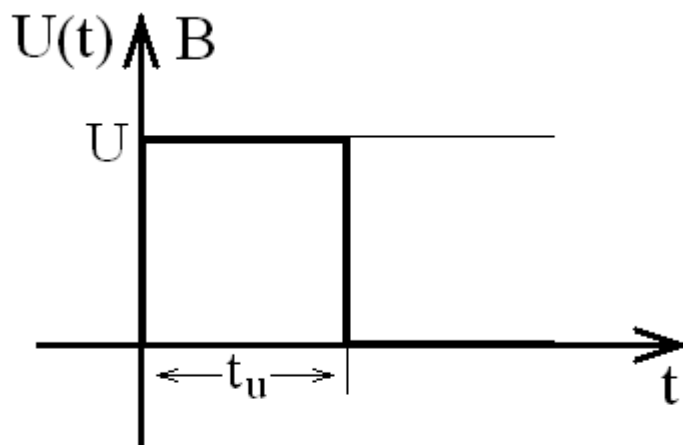


Рис. 3

Исследуемая реакция:  $U_2(t)$  – напряжение на выходе ARC-цепи.

### III. Содержание.

#### Часть 1. Частотные методы исследования.

1. Определение типа фильтра по виду передаточной функции.
2. Расчёт и построение характеристик ARC-фильтра (амплитудные и фазные характеристики).
3. Построение и расчёт амплитудного и фазного спектра сигнала (воздействия).
4. Расчёт амплитудного и фазного спектров реакции ARC-цепи.
5. Построение в функции времени на интервале  $-T < t < T$  график реакции цепи на заданное воздействие.
6. Расчёт ARC-цепи для выделенного числа гармоник в п.5.
7. Выполнение пп.3-5 для воздействия той же формы, но с периодом в 2 раза больше заданного.
8. Выполнение пп.3-5 для воздействия той же формы, но с периодом в 2 раза меньше заданного.

#### Часть 2. Временные методы исследования.

1. Определение переходной и импульсной функции (с использованием данных п.1 части 1)
2. Расчёт и построение графика реакции на ступенчатое воздействие амплитудой  $U$  ( $U$  – амплитуда импульсов, данная в варианте задания).
3. Определение и построение графика реакции цепи на импульсное воздействие площадью  $U \cdot t_u$ .
4. Нахождение реакции цепи на непериодический прямоугольный импульс амплитудой  $U$  и длительностью импульса  $t_u$  с помощью переходной функции фильтра. Построение графика реакции.

5. Нахождение реакции цепи на непериодический прямоугольный импульс амплитудой  $U$  и длительностью импульса  $t_u$  с помощью импульсной функции фильтра. Построение графика реакции.
6. Сравнение графиков реакций по п.5 и п.6.
7. Сравнение графиков реакций по п.6 части 1 и пп.5-6 части 2.

## **IV. Аннотация к курсовой работе.**

В данной курсовой работе проводится анализ ARC-фильтра высоких частот второго порядка – расчёт его частотных и временных характеристик, а также рассматривается преобразование с помощью ARC-фильтра временного сигнала.

Анализ ARC-фильтра основан на анализе в частотной области и на анализе во временной области.

### **Реферат**

Электрические фильтры представляют собой частотно-избирательные электрические цепи. Поэтому они пропускают сигналы одних частот и задерживают сигналы других частот.

В данной работе проведено исследование ARC-фильтра второго порядка. В ходе исследования была найдена передаточная функция исследуемого фильтра, определен его вид, найдены полосы пропускания и задерживания, рассчитана частота среза.

Проведен анализ в частотной и временной области и различными методами рассчитаны реакции фильтра на импульсное воздействие. Также было проведено сравнение полученных результатов.

**Часть 1. Частотные методы исследования.**

Схема звена фильтра с операционным усилителем (ОУ).

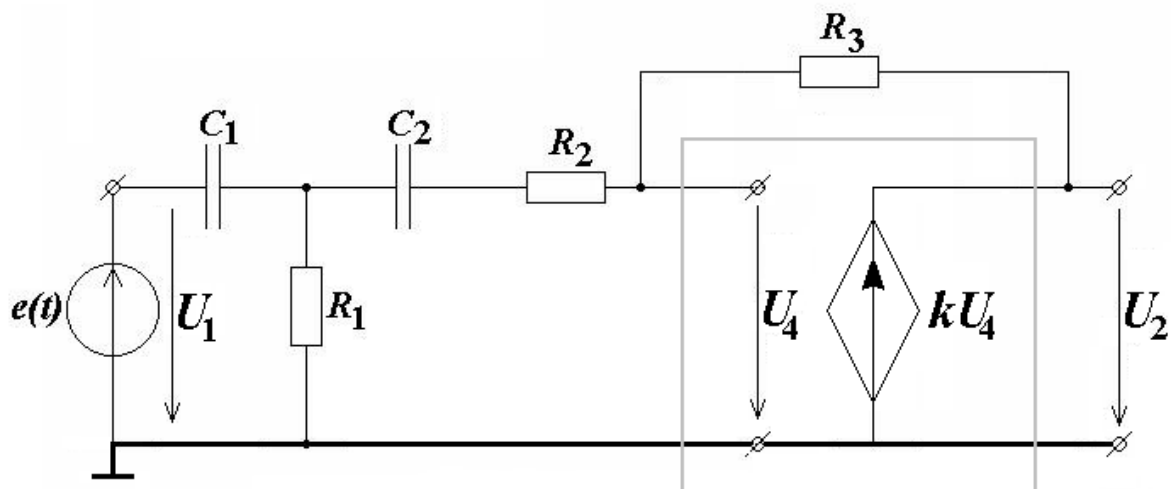


Рис. 4



## Определение типа фильтра по виду передаточной функции.

При анализе цепей, содержащих ОУ, наиболее часто ставится задача определения схемой операторной (или комплексной) функции, в частном случае коэффициента передачи по напряжению. Схемная операторная функция цепи представляет отношение операторного изображения реакции к операторному изображению воздействия<sup>1</sup>:

$$H(p) = \frac{F(p)}{V(p)}$$

Операторный коэффициент передачи по напряжению (рис. 4):

$$H_U(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)},$$

где  $U_1(p)$  – операторное изображение входного напряжения;

$U_2(p)$  – операторное изображение выходного напряжения.

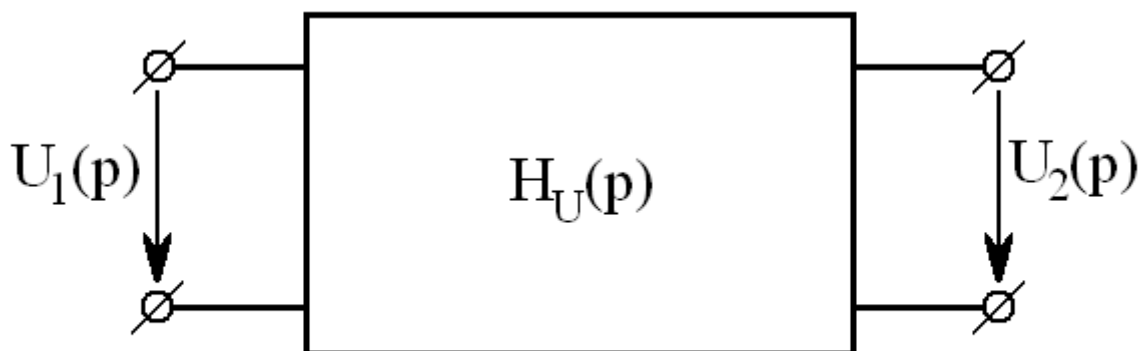


Рис. 5 (четырёхполюсник - общая схема)

Выделенный серой рамкой четырёхполюсник на рис. 4, представляет собой ОУ без инвертирования входного напряжения; полярности входного и выходного напряжения одинаковы.

<sup>1</sup> Методические указания к курсовой работе по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Общая электротехника и электроника» – «Исследование ARC-фильтров второго порядка», Бабичев Ю.Е., Семёнова И.К.

Операторная схема замещения данной цепи представлена на рис. 6, где  $K \rightarrow \infty$ .

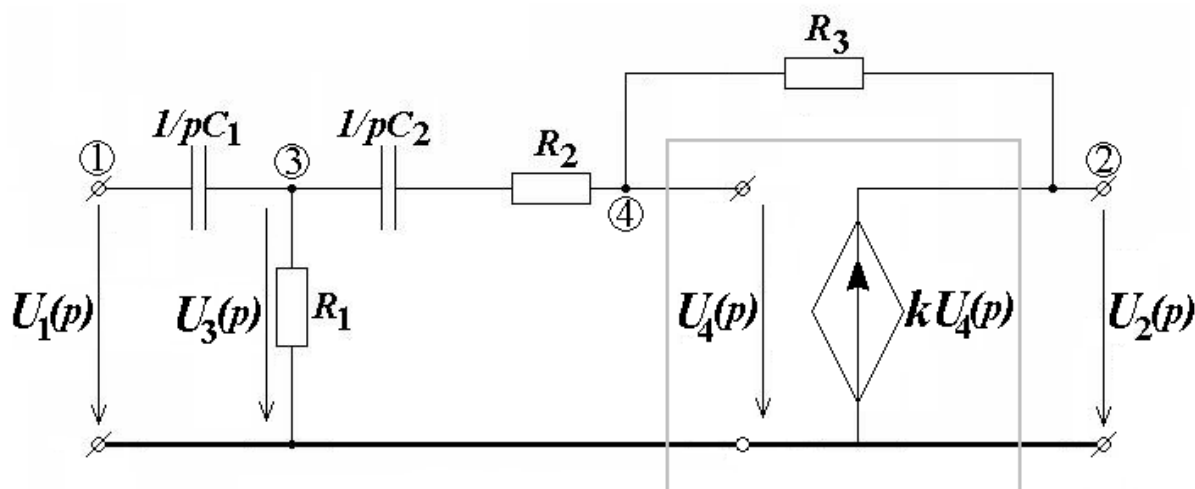


Рис. 6 (операторная схема замещения цепи)

Оптимальным методом расчёта в данном случае является метод узловых напряжений (узловых потенциалов). В общем случае при использовании этого метода должна быть выполнена следующая рекомендация: все зависимые источники преобразуются в источники тока, управляемые напряжением. При анализе схем содержащих в себе транзисторы это положение легко выполнимо, а для схем с ОУ его выполнять не следует, так как схемы замещения ОУ содержат идеальные ИНУН<sup>2</sup> (источники напряжения, управляемые напряжением).

Схеме включения ОУ без инвертирования соответствуют выражения:  $U_1(p) = U_4(p)$ ;  $U_2(p) = H_U(p) \cdot U_4(p) = H_U(p) \cdot U_1(p)$ .

Откуда

$$H_U(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} \quad (1)$$

<sup>2</sup> Методические указания к курсовой работе по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Общая электротехника и электроника» – «Исследование ARC-фильтров второго порядка», Бабичев Ю.Е., Семёнова И.К.

С учётом того, что  $U_4(p) = \frac{1}{k} \cdot U_2(p)$  по методу узловых напряжений получается выражение операторного коэффициента передачи по напряжению в символьной форме (как функция оператора  $p$ ):

(2)

Выражение (2) является также схемой (передаточной) функцией данного фильтра, которая полностью характеризует работу фильтра. Значение коэффициентов в числителе передаточной функции определяют назначение фильтра. Для определения типа фильтра, передаточная функция представляется в комплексной форме:

(3)

$$H(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = - \frac{\frac{R_3}{R_2} \cdot (j\omega)^2}{(j\omega)^2 + \frac{C_1 \cdot R_1 + C_2 \cdot R_1 + C_2 \cdot R_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} \cdot (j\omega) + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}}$$

При  $\omega \rightarrow \infty$ ,  $H(j\omega) \rightarrow k \neq 0$ , поэтому полученная функция  $H(j\omega)$  – есть схемная передаточная функция активного фильтра высокой частоты (АФВЧ).