

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

**Ю.С. Черных,  
Е.В. Дежина**

## **Теория электрических цепей**

*Методические указания к контрольной работе  
по дисциплине «Теория электрических цепей»  
Часть 2*

Новосибирск  
2025

Ю.С. Черных, Е.В. Дежина

В методических указаниях приведены решения типовых задач контрольной работы по дисциплине "Теория электрических цепей" для студентов заочной формы обучения с применением дистанционных технологий

Кафедра Инфокоммуникационных систем и сетей

## **Общие указания к выполнению контрольной работы**

При подготовке к выполнению контрольной работы по курсу «Теория электрических цепей» студенты должны изучить соответствующие разделы теоретического курса, произвести необходимые расчеты по заданию, научиться оценивать правильность получаемых расчетов.

### **Выбор варианта**

Контрольные задания содержат сто вариантов.

Каждый студент выполняет задание по одному из вариантов согласно двум последним цифрам своего пароля.

### **Требования к оформлению расчетно-графической работы**

Контрольная работа выполняется на ПК. Файл с выполненной работой отправляется на проверку преподавателю. При наличии замечаний, студенту необходимо прислать новый файл с исправлениями для повторной проверки.

Решение каждой задачи должно начинаться с выписанных всех численных данных задания и изображенной электрической схемы. Все величины: сопротивления, ЭДС, напряжения, токи и т. д., буквенные обозначения которых применяют в ходе решения, должны быть показаны на схемах, сопровождающих решение задач. Принятые обозначения нельзя менять в ходе решения одной задачи. Нельзя в одной задаче одинаково обозначать разные величины!

При выполнении контрольной работы следует соблюдать следующий порядок изложения: теоретическое обоснование, уравнения, подстановка чисел, результат с указанием единиц измерения. Расчеты должны выполняться с обычной инженерной точностью (до трех - четырех значащих цифр).

Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы.

Масштабы графиков должны быть равномерными, при этом масштаб должен быть показан вдоль осей равномерными цифровыми метками (например: 0,2; 0,4 и т. д.). В конце осевых линий графика указывают отложенную величину измерения и, использованные для меток, единицы измерения.

При выполнении контрольной работы необходимо изучить теорию нелинейных цепей (темы 11 и 12 электронного конспекта лекций).

### 1. Пример решения задачи 3

Схема нелинейного преобразователя содержит диод и сопротивление нагрузки  $R_H = 60 \text{ Ом}$  (рисунок 3.1). Напряжение на входе  $U_m = 1,5 \text{ В}$ ,  $f = 10 \text{ кГц}$ , напряжение смещения  $U_0 = -0,7 \text{ В}$ . Необходимо: определить законы изменения тока, протекающего через нелинейный элемент, и напряжения на выходе цепи, рассчитать и построить спектры тока и напряжения.

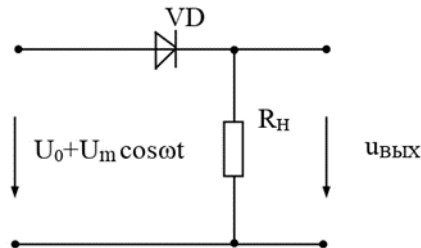


Рисунок 3.1 – Нелинейный преобразователь

Анализ работы таких цепей обычно проводится во временной и частотной областях. При анализе во временной области графически строится зависимость тока  $i_{\text{ВЫХ}}(t)$  и напряжения  $u_{\text{ВЫХ}}(t)$  на выходе нелинейной цепи от напряжения  $u_{\text{ВХ}}(t)$  на входе, используя ВАХ нелинейного элемента. При анализе в частотной области рассчитывается спектр тока и напряжения на выходе нелинейной цепи. Для этого выполняется аппроксимация характеристики нелинейного элемента, определяются спектральные составляющие тока и напряжения и строятся соответствующие графики.

Напряжение, подаваемое на вход нелинейного преобразователя, имеет вид  $u_{\text{ВХ}}(t) = U_0 + U_m \cos(\omega t) = -0,7 + 1,5 \cos(2\pi \cdot 10^4 t), \text{ В}$ .

Используя суммарную вольтамперную характеристику последовательного соединения диода и сопротивления нагрузки, графически определим вид тока на выходе нелинейного преобразователя (рисунок 3.2)

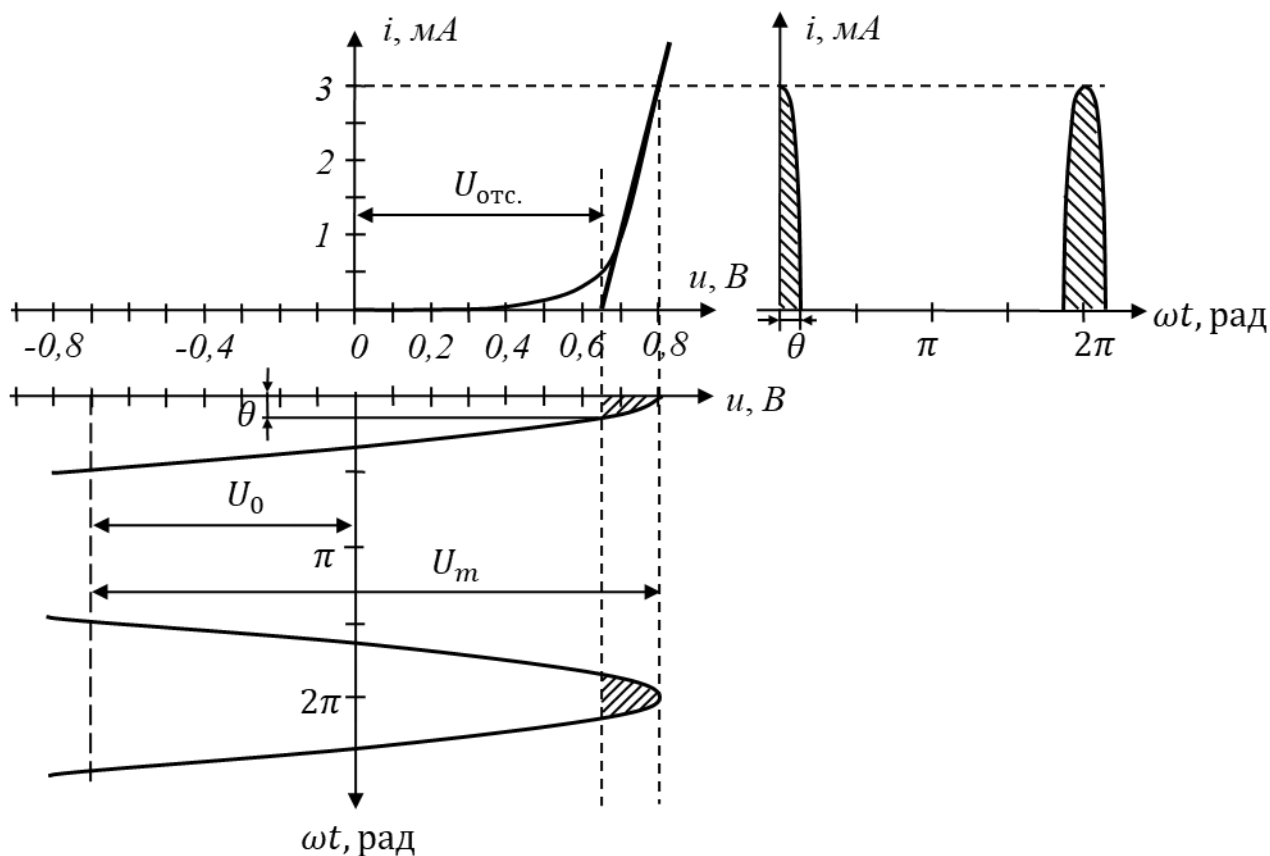


Рисунок 3.2 – Аппроксимация, графики входного и выходного сигналов

Для расчета спектра тока и напряжения на выходе нелинейного преобразователя необходимо выполнить аппроксимацию ВАХ. Т.к. нелинейный элемент работает в режиме большого сигнала, выберем кусочно-линейную аппроксимацию

$$i(t) = \begin{cases} 0, & u < U_{\text{отс.}} \\ S(u - U_{\text{отс.}}), & u \geq U_{\text{отс.}} \end{cases} \quad (3.1)$$

По ВАХ определяем  $U_{\text{отс.}} = 0,65 \text{ В}$  (рисунок 3.2).

Для расчета крутизны  $S$  выбираем точку на прямой, аппроксимирующей ВАХ, соответствующей  $u_{\text{max}} = U_0 + U_m = -0,7 + 1,5 = 0,8 \text{ В}$ ,  $i_{\text{max}} = 3 \text{ мА}$ , тогда

$$S = \frac{i_{\text{max}}}{u_{\text{max}} - U_{\text{отс.}}} = \frac{3}{0,8 - 0,65} = 20 \frac{\text{мА}}{\text{В}} \quad (3.2)$$

Рассчитываем угол отсечки:

$$\theta = \arccos\left(\frac{U_{\text{отс.}} - U_0}{U_m}\right) = \arccos\left(\frac{0,65 + 0,7}{1,5}\right) = 0,451 \text{ рад} \quad (3.3)$$

Запишем закон изменения тока на периоде и проверим правильность аппроксимации:

$$i(t) = \begin{cases} SU_m(\cos\omega t - \cos\theta), \text{ мА} & \omega t \in [0; \theta] \\ 0, & \omega t \in (\theta; 2\pi - \theta) \\ SU_m(\cos\omega t - \cos\theta), \text{ мА} & \omega t \in [2\pi - \theta; 2\pi] \end{cases} \quad (3.4)$$

Подставив значения в (3.4), получаем

$$i(t) = \begin{cases} 30(\cos 2\pi \cdot 10^4 t - \cos 0,451), \text{ мА} & \omega t \in [0; 0,451] \\ 0, & \omega t \in (0,451; 5,832) \\ 30(\cos 2\pi \cdot 10^4 t - \cos 0,451), \text{ мА} & \omega t \in [5,832; 2\pi] \end{cases} \quad (3.5)$$

Из рисунка 3.2 видно, что максимальное значение тока, протекающего через диод  $i_{\max} = i(0) = 3 \text{ мА}$ .

Проверим правильность выполненной аппроксимации, подставив в выражение (3.5)  $t = 0$

$$i(0) = 30(\cos 0 - \cos 0,451) = 3 \text{ мА}$$

Максимальное значение тока, рассчитанное по формуле (3.5) совпало с максимальным значением, определенным по рисунку 3.2, значит, аппроксимация выполнена правильно.

Найдем напряжение на выходе нелинейного преобразователя по закону Ома.

$$u(t) = i(t) \cdot R_{\text{н}} \quad (3.6)$$

где  $R_{\text{н}}$  – сопротивление на выходе нелинейного преобразователя (рисунок 3.1). Тогда

$$u(t) = \begin{cases} 1,8(\cos 2\pi \cdot 10^4 t - \cos 0,451), \text{ В} & \omega t \in [0; 0,451] \\ 0, & \omega t \in (0,451; 5,832) \\ 1,8(\cos 2\pi \cdot 10^4 t - \cos 0,451), \text{ В} & \omega t \in [5,832; 2\pi] \end{cases} \quad (3.7)$$

Для определения значений гармонических составляющих тока, протекающего через нелинейный элемент, и напряжения на выходе цепи рассчитаем функции Берга по формулам (3.8)

$$\begin{cases} \gamma_0(\theta) = \frac{\sin\theta - \theta\cos\theta}{\pi} \\ \gamma_1(\theta) = \frac{\theta - \sin\theta\cos\theta}{\pi} \\ \dots \\ \gamma_k(\theta) = \frac{2(\sin(k\theta) \cdot \cos\theta - k \cdot \sin\theta \cdot \cos(k\theta))}{\pi \cdot k(k^2 - 1)} \end{cases} \quad (3.8)$$

Определим гармонические составляющие спектра тока и спектра напряжения по формулам (3.9) и (3.10) соответственно.

$$I_{mk} = S \cdot U_m \cdot \gamma_k(\theta), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.9)$$

$$U_{mk} = S \cdot U_m \cdot R_n \cdot \gamma_k(\theta), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.10)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 3.3 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.3 – Спектры тока и напряжения

$k$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_k, \text{кГц}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\gamma_k$	0,0095	0,0187	0,0176	0,0158	0,0136	0,011	0,0083	0,0058	0,0034	0,0015
$I_{mk}, \text{мА}$	0,285	0,561	0,528	0,474	0,408	0,33	0,249	0,174	0,102	0,045
$U_{mk}, \text{мВ}$	17,1	33,6	31,7	28,4	24,5	19,8	14,9	10,4	6,12	0,27

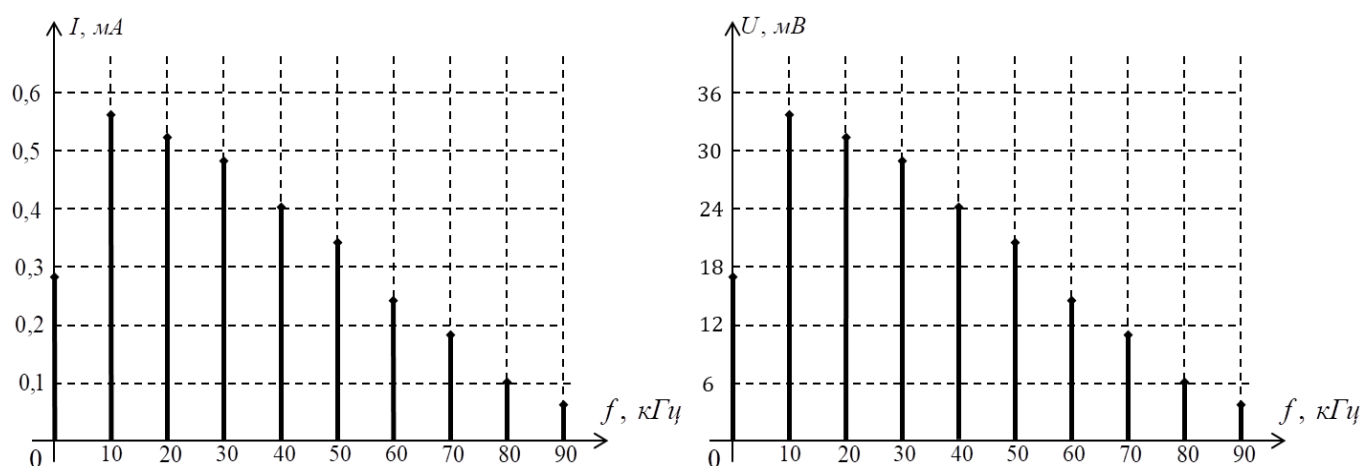


Рисунок 3.3 – Спектры тока и напряжения