

# ЭЛЕКТРОНИКА

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе  
для студентов направления 11.03.01 «Радиотехника»  
(профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и  
обработки сигналов») заочной формы обучения



Воронеж 2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиотехники

## **ЭЛЕКТРОНИКА**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к самостоятельной работе  
для студентов направления 11.03.01  
«Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства  
передачи, приема и обработки сигналов») заочной формы  
обучения

Воронеж 2021

УДК 621.396  
ББК 32.85

**Составитель** *канд. техн. наук, доц. Р. П. Краснов*

**Электроника:** методические указания к самостоятельной работе для студентов направления 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») заочной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Р. П. Краснов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 16 с.

В методических указаниях приведено содержание дисциплины «Электроника» для студентов заочной форм обучения направления 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов»). Кроме того, изложены домашние задания для подготовки к итоговому контролю. Представлены контрольные вопросы и приведены ссылки на рекомендуемую литературу.

УДК 621.396  
ББК 32.85

Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

**Рецензент** – канд. техн. наук, доц. каф. РЭУС, ВГТУ А. В. Володько

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

# 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*Цель* преподавания дисциплины – обеспечение студентов базовыми знаниями, навыками и представлениями в области электронной техники.

Для достижения цели ставятся *задачи*:

1. Изучение элементной базы современной радиоэлектроники и основных направлений ее развития.
2. Ознакомление с характеристиками радиокомпонентов РЭА, электронных приборов и интегральных микросхем.
3. Получение навыка правильного выбора схемотехнических решений при разработке радиоэлектронной аппаратуры.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

*Знать*: основные типы активных элементов, их модели и способы количественного описания при использовании в радиотехнических цепях и устройствах.

*Уметь*: выбирать проектные решения для данных технического задания.

*Владеть*: приемами использования современной элементной базы.

## *Темы и содержание лекций*

Полупроводниковые биполярные транзисторы. Устройство и принцип действия. Режимы работы. Схемы включения. Дифференциальные параметры. Транзистор как четырехполюсник. Статические вольтамперные характеристики.

Режим покоя. Цепи смещения. Параметры усилительного каскада. Обратная связь. Виды обратной связи.

Виды усилительных каскадов. Каскад с ОЭ. Каскад с ОБ. Каскад с ОК.

Полевые транзисторы. ПТ с управляющим рп-переходом. Параметры ПТ. Схема включения с ОИ. Схема включения с

ОС. МДП-транзисторы. МДП-транзистор с индуцированным каналом. МДП-транзистор со встроенным каналом.

Операционные усилители. Внутренняя структура ОУ. Схемы включения ОУ: дифференциальное включение, инвертирующее включение, неинвертирующее включение.

Схемы включения ОУ: интегратор, дифференциатор. Усилитель-сумматор.

Диодные и транзисторные тиристоры. Симметричные тиристоры.

Основные понятия. Гибридные ИМС. Полупроводниковые ИМС. Биполярные и МДП- интегральные транзисторы

Базовые технологические операции: эпитаксия, легирование, осаждение пленок, травление, литография. Технологии изготовления ИМС, технологии формирования транзисторов.

Общие принципы функционирования элементов вакуумной электроники. Вакуумный диод. Виды накала. Особенности построения схем с применением элементов вакуумной электроники.

Вакуумный триод. ВАХ, параметры, схемы включения. Вакуумный тетрод, пентод. Схемы включения, работа с дополнительными сетками.

Пьезоэлектрические преобразователи. Отражатели объемных волн. Акустические волноводы. Концентраторы. Кварцевые резонаторы

Оптоэлектроника. Полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры. Полупроводниковый лазер с электронной накачкой. СИД.

Приемники излучения. Фоторезисторы. Фотодиоды. р-і-п фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Фототранзисторы. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Оптроны.

## 2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

2.1. Подготовить краткий отчет по одному вопросу из нижеприведенного списка. Номер вопроса должен соответствовать сумме последних двух цифр номера зачетной книжки.

1. Полупроводниковые диоды. Полупроводники, собственные и примесные полупроводники. *pn*-переход в равновесном и неравновесном состоянии.
2. Полупроводниковые диоды. Параметры диодов. Вольтамперная характеристика диода. Уравнение Эберса-Молла.
3. Полупроводниковые биполярные транзисторы. Устройство и принцип действия. Режимы работы. Схемы включения.
4. Дифференциальные параметры биполярных транзисторов. Транзистор как четырехполюсник. Статические вольтамперные характеристики.
5. Виды усилительных каскадов: ОЭ, ОБ, ОК. Режим покоя. Цепи смещения. Параметры усилительного каскада.
6. Полевые транзисторы. ПТ с управляющим *pn*-переходом. Параметры ПТ. Схемы включения. Цепи смещения.
7. МДП-транзисторы. МДП-транзистор с индуцированным каналом. Режимы работы. Схемы включения. Цепи смещения.
8. МДП-транзисторы. МДП-транзистор со встроенным каналом. Режимы работы. Схемы включения. Цепи смещения.
9. Обратная связь. Виды обратной связи. Обратная связь в усилителях.
10. Дифференциальный каскад. Режим усиления синфазного и противофазного сигнала, работа с закороченным входом.
11. Операционные усилители. Внутренняя структура ОУ. Схемы включения ОУ: дифференциальное включение, инвертирующее включение, неинвертирующее включение.
12. Схемы включения ОУ: интегратор, дифференциатор.

Активные фильтры на ОУ. Компараторы напряжения.

13. Акустоэлектроника. Пьезоэлектрические преобразователи. Приборы на ПАВ. Кварцевые резонаторы.

14. Оптоэлектроника. Полупроводниковые лазеры. Принцип действия, схемотехника.

15. Оптоэлектроника. Светоизлучающие диоды. Принцип действия, схемотехника.

16. Фоторезисторы. Фотодиоды. *p-i-n* фотодиоды.

17. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Оптроны.

18. Оптоэлектронные средства отображения информации.

2.2. Произвести расчет  $h$  - параметров биполярного транзистора и определить номиналы элементов усилительного каскада. Выбор типа расчета определяется по варианту из табл. 1. Номер варианта задания соответствует сумме последних двух цифр номера зачетной книжки.

2.2.1. Привести ВАХ (входную и выходную) биполярного транзистора, выбранного в соответствии с вариантом задания по табл. 1. Используя ВАХ, определить  $h$  – параметры для схемы включения с общим эмиттером.

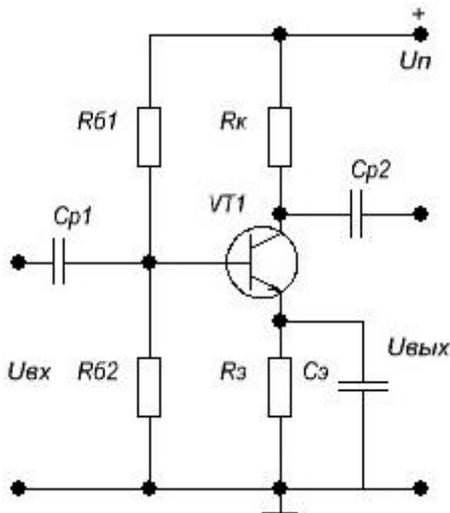
2.2.2. Рассчитать номиналы элементов и основные характеристики усилительного каскада звуковой частоты на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, составить принципиальную схему, аналогичную приведенной на рисунке, с указанием номиналов элементов. Рекомендуется воспользоваться расчетным методом, изложенным ниже.

Усилитель – это устройство, преобразующее сигнал малой мощности в сигнал большей мощности за счёт энергии источника питания.

Усилительный каскад – это минимальный функциональный блок, обеспечивающий усиление сигнала. Обычно в его состав входят один или несколько усилительных элементов, цепи обратной связи, элементы обеспечивающие режим по постоянному току, и т. д.

Важнейшей величиной, характеризующей усилительный каскад, является коэффициент усиления, равный отношению уровня выходного сигнала к уровню входного. Различают три коэффициента усиления – коэффициент усиления по напряжению, току и мощности:

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}, K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}, K_P = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых}} I_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}} I_{\text{вх}}} = K_U K_I.$$



Принципиальная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером

### Порядок расчёта транзисторного каскада

Исходными данными для расчета транзисторного каскада усиления служат:

1. Напряжение питания усилителя  $U_n$ .
2. Сопротивление нагрузки каскада  $R_n$ .
3. Тип и вид транзистора (так, для биполярных транзисторов ррр и рпн- типа будут отличаться направления токов, а также полярности источника питания). Для выбранного транзистора перед началом расчета необходимо задаться следующими характеристиками:

- 4) Максимальная рассеиваемая мощность  $P_{max}$ ,  
 5) Коэффициент передачи по току  $h_{21}$  (определяется в п. 2.1).

Расчет начинается с определения предельно допустимой статической мощности, рассеиваемой транзистором в режиме покоя (т.е. при отсутствии входного сигнала) Обычно ее выбирают на уровне 80 процентов от максимальной рассеиваемой мощности, указанной в справочнике. Тогда можно записать

$$P_n = 0,8 \cdot P_{max}.$$

Напряжение, соответствующее положению рабочей точки в режиме покоя (падение напряжения на транзисторе в режиме покоя) определяют обычно из условия половины напряжения источника питания:

$$U_{кэ0} = U_n / 2$$

Ток коллектора в статическом режиме:

$$I_{к0} = \frac{P_n}{U_{кэ0}} = \frac{2P_n}{U_n}.$$

Как уже было сказано выше, в выходной цепи транзистора в режиме покоя половина напряжения питания падает на транзисторе  $VT1$  ( $U_{кэ0}$ ). Вторая половина напряжения питания, следовательно, будет приводить к падению напряжения на последовательно соединенных резисторах  $R_k$  и  $R_э$ . Поскольку нам известен ток  $I_{к0}$ , можно определить суммарное сопротивление этих резисторов:

$$R_k + R_э = (U_{кэ0}) / I_{к0}.$$

Для уменьшения воздействия на нагрузочную характеристику падение напряжения на  $R_э$  выбирается равным 1...2В, что для биполярных транзисторов соответствует 10...30 % от  $U_n$ :

$$R_{\text{э}}I_{\text{э}} = (0,1 \dots 0,3)U_n,$$

что равносильно выбору

$$R_{\text{э}} = (0,05 \dots 0,15)R_k.$$

Для дальнейших расчетов примем  $R_k = 10R_{\text{э}}$ . При выборе номиналов  $R_k$  и  $R_{\text{э}}$  необходимо принимать ближайšie значения в ряду номиналов (табл. 2).

Для нейтрализации воздействия  $R_{\text{э}}$  на выходной сигнал параллельно ему ставится шунтирующий конденсатор  $C_{\text{э}}$ , что приводит к тому, что переменная составляющая сигнала практически без потерь проходит через конденсатор (т. к. сопротивление конденсатора с ростом частоты резко уменьшается).

Для того, чтобы конденсатор  $C_{\text{э}}$  осуществлял шунтирование резистора  $R_{\text{э}}$ , необходимо, чтобы емкостное сопротивление  $X_{C_{\text{э}}}$  конденсатора было значительно ниже  $R_{\text{э}}$  на всём диапазоне частот, на которых работает усилительный каскад. Величина емкостного сопротивления обратно пропорциональна частоте и с ростом частоты уменьшается. Следовательно, при определении величины ёмкости  $C_{\text{э}}$  необходимо ориентироваться на наименьшую рабочую частоту каскада  $f_n$ , которая для усилителя звуковой частоты составляет 20 Гц. Обычно достаточно, чтобы сопротивление  $X_{C_{\text{э}}}$  на  $f_n$  было в 5...10 раз меньше  $R_{\text{э}}$ , т.е.:

$$R_{\text{э}} = (5 \dots 10) X_{C_{\text{э}}},$$

Следовательно, ёмкость  $C_{\text{э}}$  можно определить следующим образом:

$$C_{\text{э}} = \frac{10^7}{(1 \dots 2) 2\pi f_n R_{\text{э}}}, \text{ мкФ.}$$

Напряжение на коллекторе транзистора в отсутствии входного сигнала (т.е. в режиме покоя).

$$U_{к0}=(U_{кэ0} + I_{к0} \cdot R_{э})=(U_n - I_{к0} \cdot R_{к}).$$

Поскольку ток базы и коллектора связаны параметром  $h_{21}$ , ток базы задаем из условия:

$$I_{б}=I_{к} / h_{21}=[U_n / (R_{к}+R_{э})] / h_{21}.$$

Для задания необходимого напряжения смещения в цепи базы находится резистивный делитель  $R_{б1}$ ,  $R_{б2}$ . Ток резистивного базового делителя должен быть в 5-10 раз больше тока управления базы  $I_{б}$ , чтобы исключить шунтирующее влияние делителя и повысить температурную стабильность каскада. В дальнейших расчетах рекомендуется выбрать ток делителя  $I_{дел}$  в 10 раз больше тока  $I_{б}$ :

$$I_{дел}=10 \cdot I_{б}.$$

По закону Ома сопротивление последовательно включенных  $R_{б1}$  и  $R_{б2}$  составит:

$$R_{б1}+R_{б2}=U_n / I_{дел}.$$

Далее определяются номиналы резисторов базового делителя.

$$R_{б2}=(R_{б1}+R_{б2}) \cdot (I_{к0} \cdot R_{э} + U_{бэ}) / U_n,$$

$$R_{б1}=(R_{б1}+R_{б2}) - R_{б2}.$$

В расчетах принять напряжение база-эмиттер VT1 равным 0,65 В.

Величины полученных номиналов необходимо скорректировать по допустимым значениям из соответствующего ряда номиналов резисторов. При этом рекомендуется  $R_{б1}$  выбирать в сторону уменьшения номинала, а  $R_{б2}$  в сторону увеличения.

Номиналы разделительных конденсаторов  $C_{p1}$  и  $C_{p2}$  выбирают исходя из того, что коэффициент усиления каскада не должен заметно снижаться в пределах заданной полосы частот  $f_n \dots f_v$ .

Помимо подавления постоянной составляющей, разделительные конденсаторы оказывают воздействие и на переменную: подавляют переменную составляющую (несущую полезный сигнал) на нижних частотах и смещают фазы выходного сигнала. Подавление переменного сигнала на нижних частотах связано с характером емкостного сопротивления  $X_C = 1/\omega C$ , где  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота, в результате коэффициент усиления на частотах от 0 до  $f_n$  оказывается мал и при  $f \rightarrow 0$  также стремится к нулю. Этим объясняется провал АЧХ на нижних частотах у усилителей, в которых используются конденсаторы. В рассматриваемой схеме воздействие конденсаторов на разность фаз между напряжением и током, в связи с малыми значениями емкостей конденсаторов, незначительно и мы им можем пренебречь.

Ёмкость конденсатора  $C_{p1}$  рассчитывается исходя из того, что его емкостное сопротивление на нижней частоте должно быть много меньше входного сопротивления каскада. Обычно бывает достаточно, чтобы  $X_{C_{p1}}$  не превышало 10% от входного сопротивления:

$$\frac{1}{2\pi f_n C_{p1}} \leq 0,1R_{в}$$

откуда

$$C_{p1} \geq \frac{10^7}{2\pi f_n R_{в}}, \text{ мкФ.}$$

Входное сопротивление каскада  $R_{в}$  равно сумме сопротивлений базы и входного сопротивления транзистора:

$$R_{в} = \frac{R_{б} R_{вх}}{R_{б} + R_{вх}},$$

а сопротивление базы – сумме сопротивлений  $R_{б1}$  и  $R_{б2}$  делителя, также включённых параллельно:

$$R_{ex} = h_{21} \cdot 25 / I_k \text{ (мА), Ом}$$

$$R_{\sigma} = \frac{R_{б1} R_{б2}}{R_{б1} + R_{б2}}.$$

Аналогично рассчитывается ёмкость разделительного конденсатора на выходе каскада  $C_{p2}$ , только расчёт ведётся с учётом не входного сопротивления каскада, а сопротивления нагрузки:

$$C_{p2} \geq \frac{10^7}{2\pi f_n R_n}, \text{ мкФ.}$$

В завершение расчета определяются коэффициенты усиления каскада по току  $K_I$ :

$$K_I = I_{вых} / I_{ex} \approx h_{21},$$

по напряжению  $K_U$ :

$$K_U = - \frac{U_{вых}}{U_{ex}} = -h_{21} \frac{R_k}{R_{в}},$$

и по мощности  $K_P$ :

$$K_P = K_I K_U.$$

Знак «минус» в выражении для  $K_U$  говорит о том, что каскад усиления с общим эмиттером дает фазовый сдвиг входного сигнала  $180^0$  ( $\pi$ ). Поэтому для определения коэффициента усиления по мощности  $K_U$  следует брать по модулю.

В табл. 1 приведены исходные данные для выполнения практической части задания

Таблица 1

Номер варианта	Данные задания
1	$VT1 = KT315, U_n = 12B, R_H = 100 \text{ кОм.}$
2	$VT1 = KT3102, U_n = 14B, R_H = 60 \text{ кОм.}$
3	$VT1 = KT503, U_n = 10B, R_H = 150 \text{ кОм.}$
4	$VT1 = KT3107, U_n = 15B, R_H = 220 \text{ кОм.}$
5	$VT1 = S9018, U_n = 12B, R_H = 470 \text{ кОм.}$
6	$VT1 = KT817, U_n = 9B, R_H = 22 \text{ кОм.}$
7	$VT1 = BC639, U_n = 11B, R_H = 91 \text{ кОм.}$
8	$VT1 = KT814, U_n = 13B, R_H = 110 \text{ кОм.}$
9	$VT1 = BC182, U_n = 16B, R_H = 85 \text{ кОм.}$
10	$VT1 = KT361, U_n = 18B, R_H = 71 \text{ кОм.}$
11	$VT1 = KT815, U_n = 19B, R_H = 68 \text{ кОм.}$
12	$VT1 = KT501, U_n = 17B, R_H = 330 \text{ кОм.}$
13	$VT1 = KT816, U_n = 12B, R_H = 380 \text{ кОм.}$
14	$VT1 = BC172, U_n = 10B, R_H = 270 \text{ кОм.}$
15	$VT1 = KT817, U_n = 20B, R_H = 51 \text{ кОм.}$
16	$VT1 = BC546, U_n = 16B, R_H = 120 \text{ кОм.}$
17	$VT1 = KT3117, U_n = 9B, R_H = 180 \text{ кОм.}$
18	$VT1 = 2SC1815, U_n = 11B, R_H = 200 \text{ кОм.}$

Таблица 2

Ряд	Значения номиналов для десятичного порядка	Допуск, %
E6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8	20
E12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2	10
E24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1	5

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Общие принципы усиления сигналов. Структурная схема усилителя.

2. Биполярные транзисторы ррр и ррп-типа. Схемы включения. Вольтамперные характеристики.

3. Дифференциальные ( $h$ ) параметры биполярных транзисторов. Режимы и классы работы. Понятие смещения.

4. Цепи смещения биполярных транзисторов.

5. Цепи стабилизации биполярных транзисторов.

6. Усилительный каскад по схеме с ОЭ.

7. Полевые транзисторы с управляющим рп-переходом. Статические характеристики, параметры.

8. Схемы включения полевых транзисторы с управляющим рп-переходом.

9. Цепи смещения в каскаде на ПТ с управляющим рп-переходом.

10. Усилительный каскад на ПТ с управляющим рп-переходом.

11. МДП транзисторы с индуцированным каналом.

12. МДП транзисторы со встроенными каналами.

13. Параметры усилительных каскадов. Виды обратных связей. Коэффициент передачи усилителя с обратной связью.

14. Операционные усилители. Структурная схема. Принцип работы дифференциального каскада. Обозначение операционных усилителей.

15. Схемы включения операционных усилителей: инвертирующая, неинвертирующая.

16. Схемы включения операционных усилителей: интегратор, дифференциатор.

17. Схемы включения операционных усилителей: усилитель-сумматор.

18. Схемы включения операционных усилителей: повторитель, дифференциальный усилитель.

19. Схемы включения операционных усилителей: компараторы.

20. Тиристоры. Назначение и классификация.
21. Диодные тиристоры, диак.
22. Триодные тиристоры. Симистор.
23. Принципы работы приборов вакуумной электроники.  
Электронная эмиссия.
24. Вакуумный диод. Накал.
25. Цепи накала электронных ламп.
26. Вакуумный триод: принцип работы, статические и динамические характеристики, ВАХ.
27. Схемы включения вакуумного триода.
28. Вакуумный тетрод: принцип работы, ВАХ, особенности работы. Динаatronный эффект.
29. Лучевой тетрод: принцип работы, ВАХ, особенности работы.
30. Вакуумный пентод: принцип работы, ВАХ, схемы включения.
31. Гибридные и пленочные интегральные схемы.
32. Радиоэлементы пленочных микросхем.
33. Полупроводниковые интегральные схемы. Методы создания радиоэлементов.
34. Акустоэлектроника. Линии задержки на объемных кристаллах.
35. Акустоэлектроника. Встречно-штыревые преобразователи ПАВ, ПАВ-фильтры.
36. Акустоэлектроника. Пьезоизлучатели. Кварцевые резонаторы.
37. Оптоэлектроника. Принципы генерации оптического излучения. Светоизлучающие диоды.
38. Фотодиоды, pin-фотодиоды.
39. Фоторезисторы, фототранзисторы
40. Оптроны. Резисторные, диодные, транзисторные, тиристорные оптопары.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Кучумов, А. И. Электроника и схемотехника [Текст] / А. И. Кучумов. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – 336 с.

2 Петров, К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника [Текст] / К. С. Петров. – СПб.: Питер, 2003. – 506 с.

3 Краснов, Р. П. Основы электроники [Текст] / Р. П. Краснов, Б. В. Матвеев. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. 165 с.

4 Миловзоров, О. В. Электроника [Текст] / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – М.: Высшая школа, 2006. – 288 с.

5 Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника [Текст] / В. Г. Гусев. – М.: Высшая школа, 2005. – 396 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Содержание дисциплины .....	3
2. Контрольные задания .....	5
3. Контрольные вопросы .....	14
Библиографический список.....	16

# ЭЛЕКТРОНИКА

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе  
для студентов направления 11.03.01 «Радиотехника»  
(профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и  
обработки сигналов») заочной формы обучения

Составитель  
**Краснов Роман Петрович**

Компьютерный набор Р.П. Краснова

Подписано в печать 16.04.2021  
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л 1,1, Тираж экз. Заказ № 263

ФГОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026, Воронеж, Московский просп., 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394026, Воронеж, Московский просп., 14