

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 23.08.2023 17:16:30
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕ-
НИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

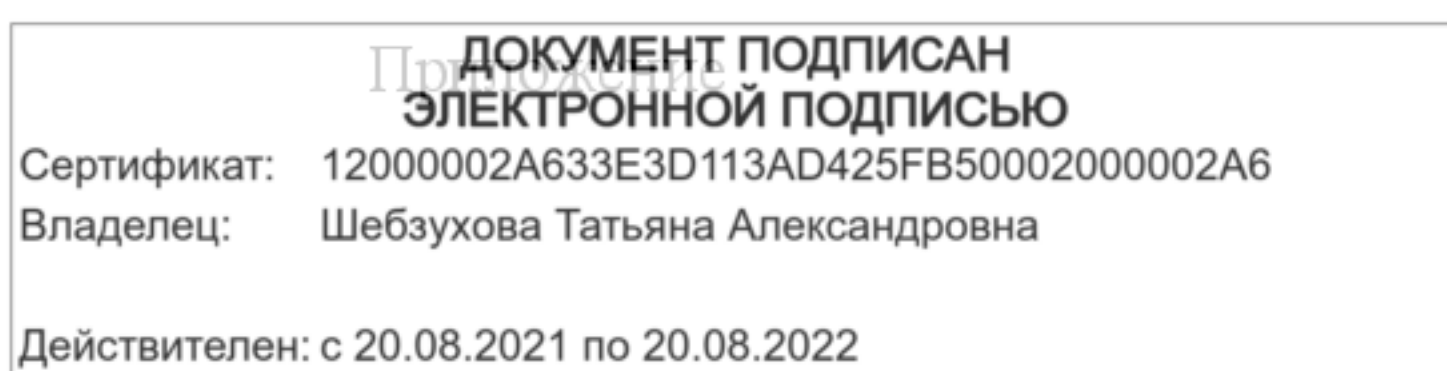
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРО-
НИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование практических работ	
4.	Содержание практических работ	
4.1	Практическая работа №1 Полупроводниковые элементы	
4.2	Практическая работа №2 Полупроводниковые диоды и стабилитроны	
4.3.	Практическая работа №3 Транзисторные ключи	
4.4	Практическая работа №4 Усилители низкой частоты на транзисторах	
4.5	Практическая работа №5 Источники стабилизированного питания	
4.6	Практическая работа №6 Генераторы гармонических колебаний	
4.7	Практическая работа №7 Мультивибраторы и одновибраторы	
4.8	Практическая работа №8 Триггеры	
4.9	Практическая работа №9 Обработка результатов измерений	
4.10	Практическая работа №10 Расчёт масштабных преобразователей	
4.11	Практическая работа №11 Измерение активной мощности в трехфазных цепях	
4.12	Практическая работа №12 Измерение реактивной мощности в трехфазных цепях	
4.13	Практическая работа №13 Расчет мостовых схем	
4.14	Практическая работа №14 Методы электрических измерений неэлектрических величин.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	



Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины является освоение принципов действия полупроводниковых приборов, усилительных, импульсных, логических, цифровых и преобразовательных устройств и основным особенностям их использования в электротехнических и электромеханических установках, освоение современных средств и методов электрических измерений, обработки и представления их результатов.

Задачи дисциплины является в результате изучения дисциплины специалист должен приобрести умение четко представлять принцип действия электронных элементов и устройств, экспериментальным путем определить их параметры и характеристики, а также оценивать технико-экономическую эффективность применения этих устройств, оптимально выбрать средство измерения для поставленной задачи измерения, выполнить измерение, обработать и надлежащим образом представить его результаты.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины

	Изучение режимов работы и расчет параметров усилителей на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером.		
5	Практическая работа №5. Источники стабилизированного питания. Приобретение умений и навыков оценки параметров схем источников стабилизированного питания, и методами расчета их параметров.		
6	Практическая работа №6. Генераторы гармонических колебаний. Приобрести навыки расчета генераторов гармонических колебаний.		
7	Практическая работа №7. Мультивибраторы и одновибраторы. Приобрести навыки расчета генераторов импульсных сигналов.		
8	Практическая работа №8. Триггеры. Получить практические навыки расчета триггеров.		
Итого за 5 семестр:		3	
6 семестр			
9	Практическая работа №9. Обработка результатов измерений. Приобрести практические навыки обработки результатов измерений и определения погрешности измерений.		
10	Практическая работа №10		

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1. Полупроводниковые элементы

Цель: приобретение умений и навыков при оценке параметров идеализированных полупроводников

Основы теории:

Пусть N - число свободных электронов в единице объема, проводящего материала. Если средняя скорость дрейфа электронов - v_d (см²/с), а заряд электрона e , то за время Δt через поперечное сечение S проводника пройдет заряд Δq , т.е.

$$\Delta q = e \cdot N \cdot v_d \cdot S \cdot \Delta t \quad [\text{Кл}]. \quad (1.1)$$

Разделив (1.1) на Δt , получим ток: $I = (\Delta q / \Delta t) = e \cdot N \cdot v_d \cdot S \quad [\text{А}]. \quad (1.2)$

Если к проводнику

Таблица №1.1. **Удельное сопротивление** металлов, используемых в электронике

N	Хим. элемент	Материал	$\rho = (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м})$ при $T = 20^\circ\text{C}$	$\alpha = \text{ТКС (+)}$ при $T = 20^\circ\text{C}$
1	<i>Ag</i>	Серебро	<u>0,016</u>	0,0035
2	<i>Cu</i>	Медь	<u>0,017</u>	0,004
3	<i>Al</i>	Алюминий	<u>0,028</u>	0,004
4	<i>Fe</i>	Сталь	0,1 – 0,3 - 0,5	0,006

Свойства полупроводниковых *p-n*-переходов

Полупроводниковые (ПП) материалы на основе *p-n* переходов из Si (29 % земной

Концентрация электронов (**n**) в зоне проводимости и дырок (**p**) в валентной зоне, с учетом энергии уровня Ферми (E_F), энергии верхней валентной зоны (E_V) и энергии нижней границы зоны проводимости (E_C), составят:

$$n = N_C \cdot e_{xp}^{-(E_C - E_F)/kT}; \quad p = N_V \cdot e_{xp}^{-(E_F - E_V)/kT}; \quad [n_i^2 = n \cdot p = N_C \cdot N_V \cdot e_{xp}^{(-\Delta E/kT)}]; \quad (1.13)$$

Уровень Ферми в собственном полупроводнике, соответствующий середине ширины запрещенной зоны ΔE составит, например, для кремния и германия:

$$W_{F1} = W_E = -\Delta E_{\Sigma(Si)}/2 = -0,56 \text{ эВ.} - \Delta E_{\Sigma(Ge)}/2 = -0,38 \text{ эВ.} \quad (1.14)$$

$\varphi_V = E_V/q$; $\varphi_C = E_C/q$ - **эл. потенциал** верх. и ниж

D_n и D_p – коэффициенты диффузии для электронов и дырок;

L_n и L_p – диффузионная длина пролета электронов (n) и дырок (p);

n_p и p_n – концентрации неосновных носителей заряда.

Для невырожденных полупроводников концентрации неосновных носителей зарядов (p_n – дырок в электронном слое) и (n_p – электронов в дырочном слое) можно определить из выражения:

$$p_n = (n_i^2/N_D), \quad n_p = (n_i^2/N_A); \quad [\text{см}^{-3}]. \quad (1.21)$$

Выражение (1.20) выводится из предположения, что всё внешнее напряжение U приложено только к области p-n-перехода с удельн. проводимостью $[\sigma = \sigma_n + \sigma_p]$.

Проводимость квазинейтральной p-области: $\sigma_p = e \cdot p_p \cdot \mu_p$, (μ_p – подвижность

Задание №4

Для полупроводника из Si проводимости в n- и p- областях $\sigma_n = 3,2 [1/(\text{Ом}\cdot\text{см})]$ и $\sigma_p = 0,64 [1/(\text{Ом}\cdot\text{см})]$; $\mu_n = 800 (\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с})$; $\mu_p = 400 (\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с})$. $T = 300 \text{ K}$.

Определить: 1) контактную разность потенциалов (ϕ_K); 2) ширину p-n-перехода со стороны n- и p- областей d_n и d_p , а также полную ширину перехода $d = (d_n + d_p)$.

3) напряженность контактного поля E_M ; 4) Как изменится высота потенц. барьера ($\Delta\phi$), если к p-n-переходу приложить внешнее напряжение: $U_1 = +0,1 \text{ В}$; $U_2 = -1 \text{ В}$.

Задание №5

Задание №9

Ширина запрещенной зоны Si при $T_1 = 300 \text{ K}$, составила $\Delta W = 1,12 \text{ эВ}$. При изменении температуры до $T_2 = 250 \text{ K}$ ширина запрещенной зоны Si изменяется по закону $\Delta W_{(T)} = \Delta W_{(300\text{K})} - \alpha(T - 300\text{K})$, где $\alpha = 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ (эВ/К)}$.

Определить, как изменится плотность обратного тока j_s через идеальный Si p-n- переход при уменьшении температуры от T_1 до T_2 .

Задание №10

Определить изменение контактной разности потенциалов ϕ_K , если в Si p-n-переходе, при $T = 300\text{K}$, удельные сопротивление p-области составляло $\rho_p = 1 \text{ (Ом/см)}$, а концентрация доноров составляла: $N_{D1} = 10^{14}$ и $N_{D2} = 10^{16} \text{ (см}^{-3}\text{)}$.</

Определить дифференциальное сопротивление и крутизну характеристики диода.

Задание №16

Плотность пар электрон-дырка в собственном германии, образовавшихся вследствие тепловой генерации, определяется по формуле: $n_i = N \cdot e_{xp}^{(-\Delta E_g/2 \cdot k \cdot T)} \text{ (см}^{-3}\text{)}$

Определить плотность пар электрон-дырка для $T = 280, 300$ и 320 K .

Предполагается, что ширина зоны (E_g) не изменяется при изменении температуры T .

Задание №17

Кристалл германия находится при $T = 300 \text{ K}$.

Вычислить, на сколько % увеличится его проводимость при увеличении T на 10%?

Задание

Задание №22

В кристалле кремния при $N_D = 10^3 N_A$, на каждые 10^8 атомов Si приходится один атом акцепторной примеси.

Определить ϕ_K при $T = 300$ К, приняв концентрацию ионизированных атомов $n_i = 3 \cdot 10^{10}$, а плотность атомов $N = 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

Задание №23

Удельная проводимость кремниевой p-области составила $\sigma_p = 10 \text{ сим/см}$, удельная проводимость n-области $\sigma_n = 1 \text{ сим/см}$. $I_0 = 2 \text{ мкА}$, $T = 300 \text{ К}$.

Вычислить напряжения, при которых ток диода составит: $I_{\text{пр}} = 1 \text{ мА}$ и $I_{\text{пр}} = 10 \text{ мА}$.

Практическая работа №2. Полупроводниковые диоды и стабилитроны

Цель: оценка статических параметров и анализ режима работы полупроводниковых диодов и стабилитронов в цепи постоянного тока

Основы теории:

Полупроводниковым диодом называют *p-n*-переход, обладающей односторонней проводимостью, т.е. проводимость (σ) которого зависит от полярности приложенного напряжения или протекающего тока.

Прямой ток в диоде возникает при подаче положительного напряжения на анод. Обратный ток в диоде намного меньше прямого и возникает при отрицательном напряжении на аноде. Свойства прямой ветви идеального *p-n*-перехода отражается вольтамперной характеристикой (рис. 2.1) и описывается выр. (1.20).

$$I = I_S(\exp^{(U/\varphi T \cdot \gamma)} - 1); \quad j = [(e \cdot D_n \cdot n_p / L_n) + (e \cdot D_p \cdot p_n /$$

Дифференциальное сопротивление характеризует наклон к оси абсцисс ВАХ при данном напряжении на диоде.

Отличие характеристик реального диода от ВАХ идеального р-п-перехода делает практически невозможным аналитический расчет токов и напряжений в реальных схемах с диодом. Поэтому в расчете часто используют либо реальные характеристики диода (справочник), либо определяют рабочую точку диода на пересечении прямой ветви ВАХ с линией нагрузки построенной по эксперименту.

Задания:

Задание №1

Требуется от источника нестабилизированного питания $E_H = 20$ В получить стабилизированное напряжение $U_{OP} = 6,8$ В, при токе в нагрузке $I_H = 15 \pm 10$ мА. ($I_{H \text{ Мин.}} = 5$ мА; $I_{H \text{ Макс.}} = 25$ мА).

Задание №2

Задание №5

Диод Д310 имеет $I_0 = 30$ мкА при $T = 300$ К и $U_{\text{пр}} = 0,13$ В. Определить температурный коэфф. напряжения (ТКН), если при повышении T на 30°C , $\Delta U = 0,08$ В

Задание №6

На диод Д18, имеющий ток $I_0 = 50$ мкА, подано $U_{\text{пр}} = 0,26$ В при $T = 25^\circ\text{C}$. Определить, на сколько изменится ток $I_{\text{пр}}$ через диод при повышении T на 35°C .

Задание №7

При $U_{\text{пр}} = 0,6$ В предельный ток диода $I_{\text{пр}} = 50$ мА. Если этот диод соединить последовательно с резистором нагрузки $R_{\text{н}} = 100$ Ом, то какова будет наибольшая величина E источника, при которой

$\tau_c = R_B \cdot C_{BX}$ – постоянная времени входной цепи; ($C_{BX} = C_K + C_\Sigma$)

C_K, C_Σ - емкости переходов транзистора (справочное значение).

Длительность фронта составит:

$$t_{\Phi P} \approx \tau_{NE} \cdot \ln[\beta \cdot I_B^+ / (\beta \cdot I_B^+ - I_{K.H})] = \tau_{NE} \cdot \ln[S/(S-1)] \quad (3.14)$$

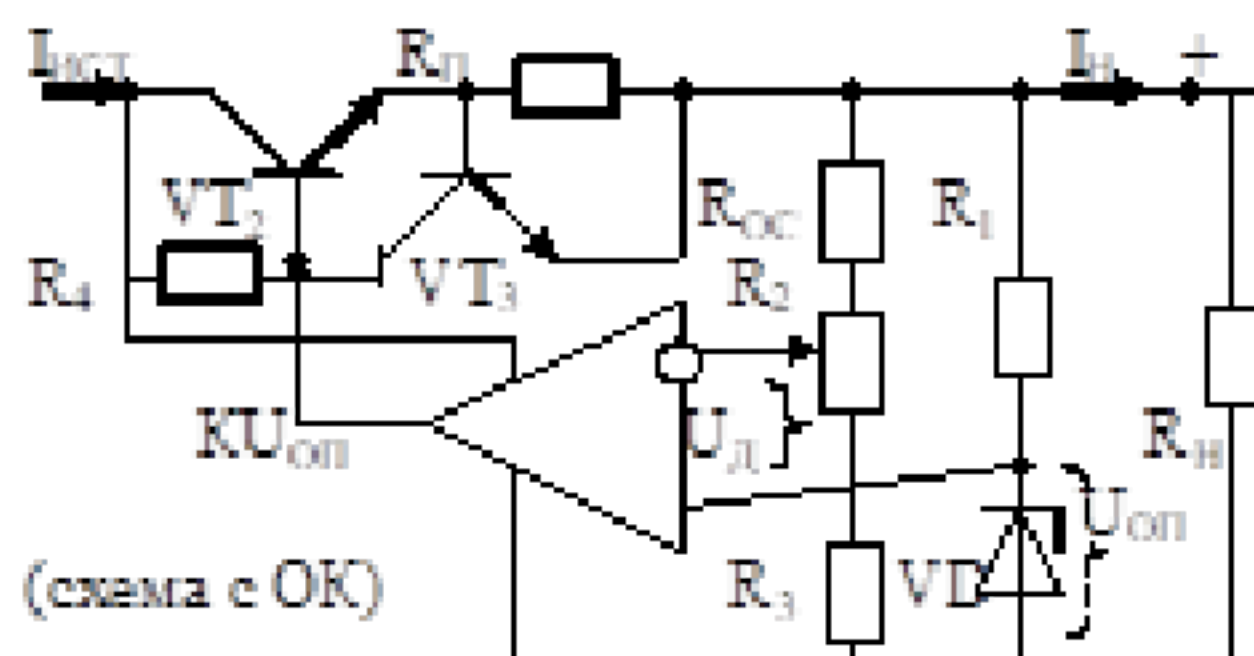
где $\tau_{NE} = \tau_\beta + (\beta + 1)R_K \cdot C_K$ - эквивалентная постоянная времени;

$I_B = I_B^+$ - входной отпирающий ток базы, для транзистора $n-p-n$ -типа;

$\tau_\beta \approx \beta \cdot \tau_\alpha$ постоянная времени транзистора в схеме с ОЭ;

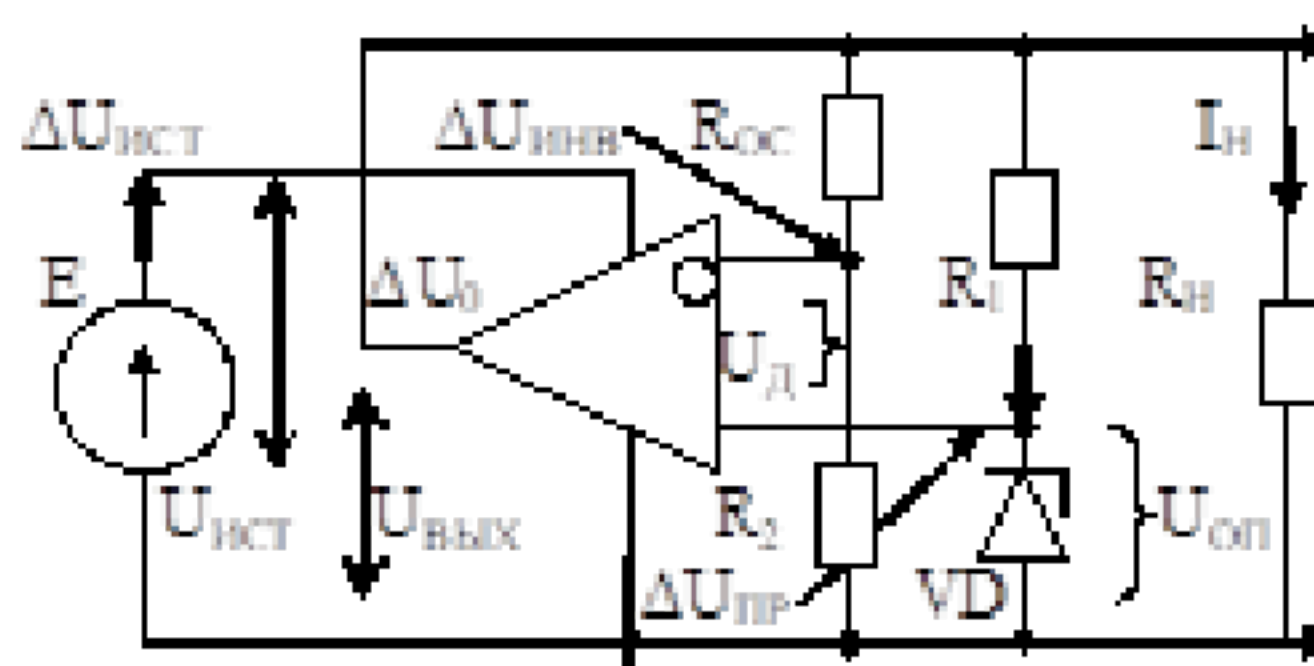
6 P	KT502	30...60	40	0,15	1	0,35	5	65	0,6		18	0,06		8	1,5	0,7 мкс	65
7 N	KT504	35...70	300	0,50	10	0,50	20	60	1,0		20		500	5	1,2	10 мГц	70
8 P	KT501	50...100	15	0,30	1	0,35	5	60	0,4		24	0,08		6	1,2	0,5 мкс	70
9 N	KT312	25...50	20	0,06	1	0,20	80	50	0,5		8		200	4	1,8	20 мГц	55

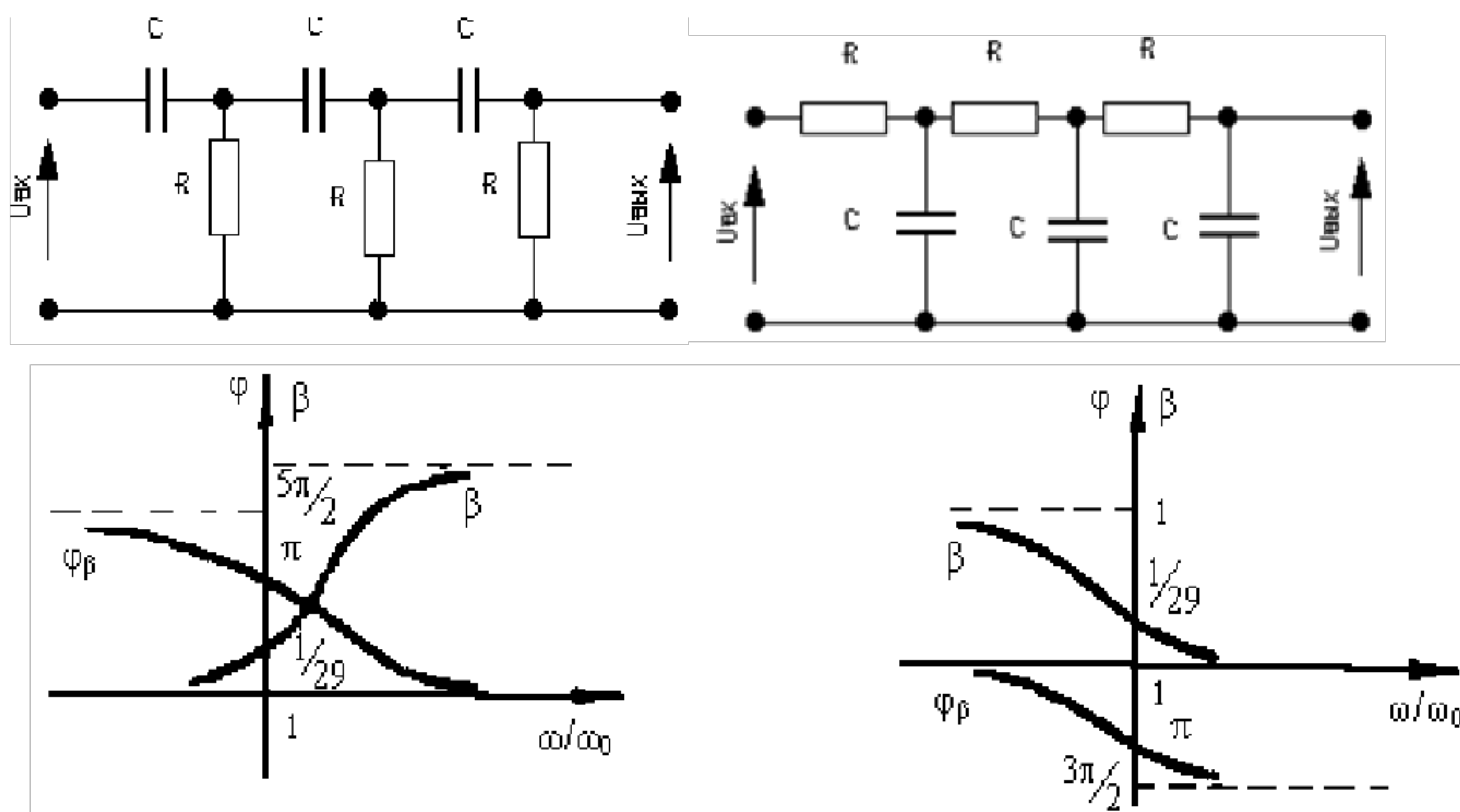
$U_H = 15 \text{ В}$, при: $U_H = 20 \text{ В}$; $I_{\text{Вых.ОУ}} \leq 10 \text{ мА}$.



Задание №2

Выполнить расчет параметров схемы стабилизатора на ОУ для $U_H = 15 \text{ В}$, при $I_H \leq 10 \text{ мА}$, $U_{H.\text{Max}} = 19 \text{ В}$ и $\Delta U_H = 2 \text{ В}$; $\Delta U_0 = 0,3 \text{ мВ}$.





На этой частоте коэффициент передачи напряжения $\beta = U_{вых} / U_{вх}$ для обеих цепей имеет вещественное значение $\beta_0 = 1/29$. Квазирезонансная частота для фазирующих цепей определяется параметрами R и C.

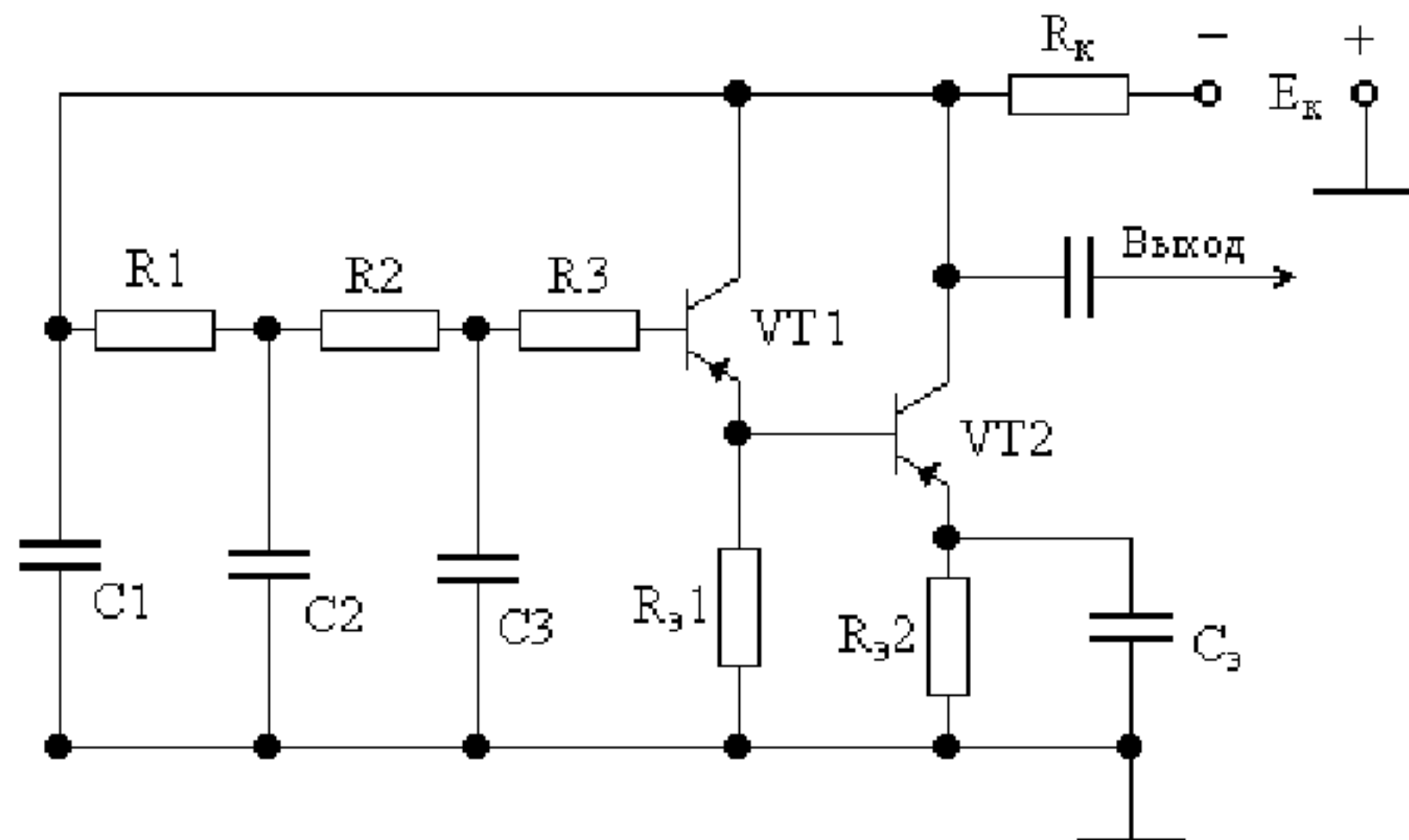
для RC-генератора с цепью "R-параллель", можно получить:

$$\tau = \frac{1}{2R\sqrt{C_3}} \quad (1.11)$$

$$h_{21Э} = 21 + 32m + 3/m \quad (1.12)$$

где $R = R_1 = R_2 = R_3 = mR_K$; $C = C_1/m = C_2 = C_3$; $R_3 = R'_3 + R_{вх}$

При этом $h_{21Э}$ должно быть больше $45 \div 60$, что может быть обеспечено не каждым транзистором. Кроме того, снижение напряжения источника питания приводит к уменьшению $U_{кэ}$, а это в свою очередь к уменьшению $h_{21Э}$, что может вызвать



Вариант / Данные	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D, Гц	3000	2500	2000	1500	3500	4000	4500	3000	2000	2500	4000
G, тип VT1	МП41	КТ104А	КТ104Г	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104В	КТ104Г
Q, тип VT2	МП41	КТ104А	КТ104Г	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104В	КТ104Г
S, В	12	24	20	12	15	24	20	15	12	10	12

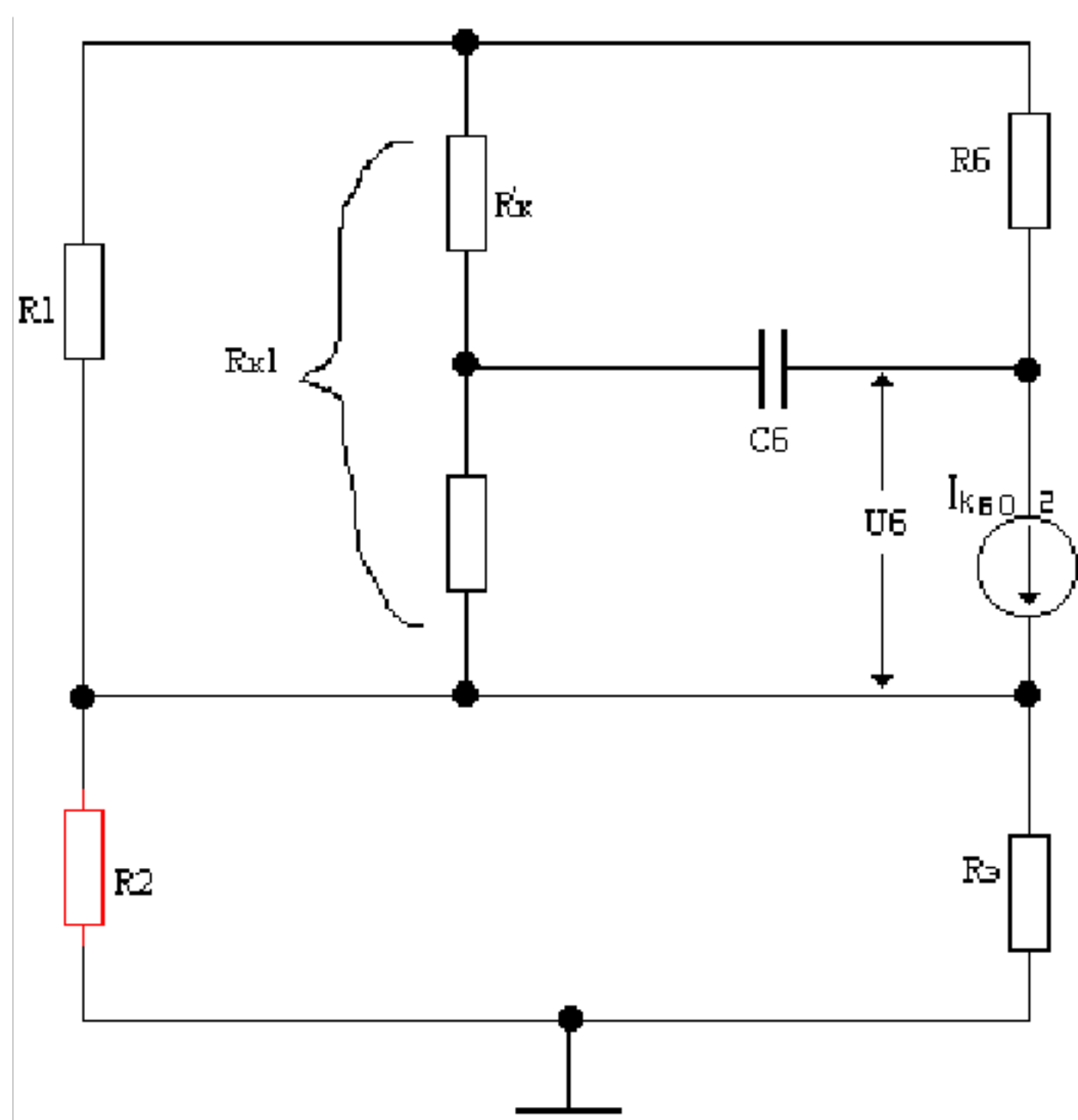
5. Каковы условия самовозбуждения RC-генераторов типа "R-параллель"? Как их выполнить в реальной инженерной практике?
6. Каковы условия самовозбуждения RC-генераторов типа "C-параллель"? Как выполняются условия по улучшению $h_{21Э}$?
7. Какие коррективы необходимо внести в расчет RC-генератора при работе его в широком диапазоне температур?
8. В каких случаях при расчете резисторов RC-генератора стандартные величины округляются в сторону увеличения, а в каких - уменьшения?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



Исходя из эквивалентной схемы разряда конденсатора (рис. 2.12), длительность выходного импульса одновибратора определяется из следующего выражения:

$$t_n = C_B R_B \ln \left[1 + \frac{E_k \frac{R_2(R_4+R_5)}{R_4(R_2+R_5)}}{E_k + R_B I_{KBO2}} \right]$$

где $a = R_1 / R_{K1}$.

Из формулы (2.43) видно, что при $R_{K2} \gg R_3$ и $R_{K1} \gg R_3$ зависимость $t_n(a)$ может быть получ

Время восстановления одновибратора определяется временем заряда конденсатора C_B :

$$t_B = (4 \div 5) C_B (R_{K1} + R_{\Theta}).$$

Наибольшая скважность импульсов $Q = 1 + \frac{t_u}{t_B}$ при $I_{КБ0} = 0$ с учетом (2.45) и (2.47) – при условии насыщения VT2 :

$$Q = 1 + \frac{0,7R_2}{(4 \div 5)(R_2 + R_3)}$$

Длительность фронта импульса на коллекторе VT2 при отпирании

$$t_{\Phi} = t_B \frac{R_2 + R_3}{h_{2\alpha} (R_2 + R_3)}$$

длительность среза импульса

$$t_{изап} = \frac{E_k R_3 R_2}{U_{3AII} R_1 R_2}$$

Если запирающий импульс подается на вход VT2, то он должен иметь длительность:

$$t_{зап} = \frac{R_3 R_2}{U_{3AII} R_1 R_2}$$

и амплитуду $U_{3AII} = \frac{R_3 R_2 E_k}{t_{изап} R_1 R_2}$

Время задержки срабатывания одновибратора примерно равно величине $t_{изап}$, определяемой по формуле (2.57) с учетом выражения (2.54).

Порядок расчета одновибратора следующий:

- при заданной нестабильности длительности импуль

3. Дать описание основных режимов работы ГИ.
4. Чем отличается режим автоколебаний от ждущего режима?
5. Описать принцип работы мультивибратора с КБ емкостными связями
6. Какие допущения приняты при использовании в расчете элементов мульти вибратора в эквивалентных схемах?
7. По каким цепям происходит заряд и перезаряд конденсаторов $C_{61,2}$?
8. Указать основные моменты порядка расчета мультивибратора с КБ емкостными связями.
9. Описать принцип работы мультивибратора с КБ связями и дополнительным источником смещения.
10. Указать последовательность расчета элементов и параметров мультивибратора с КБ связями и дополнительным источником смещения.
11. В чем заключается преимущество и каковы недостатки мультивибратора на транзисторах с проводимостью разного типа?
12. Каков порядок расчета элементов и параметров одновибратора?
13. Как в одновибраторе регулируется ширина импульса?
14. Зачем нужен в мультивибраторе и одновибраторе эмиттерный повторитель?

лавинообразными изменениями (скачками) напряжений и токов. Управляющее напряжение, вызывающее срабатывание (опрокидывание) триггера, может представлять собой непрерывно изменяющееся напряжение или импульс, а выходное напряжение имеет вид скачков напряжения рис.3.1б.

Основний елемент тригера, як правило, багатокаскадний ключ з ПОС. Основні види симетричних тригерів – тригер з внутрішнім джерелом зміщення, тригер з автоматичним джерелом зміщення, тригер з нелінійною зовнішньою зв'яззю. Основним видом несиметричних тригерів є тригер з еміттерною зв'яззю (тригер Шмідта).

Симметричный триггер с внешним источником смещения (E_6)

показан на рис. 3.2а, эквивалентная схема – на рис.

