«Казанский национальный исследовательский технический
университет им А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)
Всероссийская студенческая олимпиада с международным участием
«Управление и информатика в технических системах», 24 апреля 2026 г.

Примеры решения задач для номинации 2 Электроника.

Аналоговая схемотехника

1. Расчёт усилителя на транзисторе

Дано: h21э=50, Uпит=+12В, Rк=2кОм, Rэ=500Ом

Решение:

Коэффициент усиления по напряжению для каскада с эмиттерным повторителем:

$$K_u = \frac{R_k}{R_э + r_э} \approx \frac{R_k}{R_э} = \frac{2000}{500} = 4$$

Входное сопротивление:

$$R_{вх} = R_б \parallel (h_{21э} \cdot (R_э + r_э))$$

Примем Rб1=Rб2=100кОм, тогда Rб|| = 50кОм.

$$r_э = \frac{26мВ}{I_э} \approx 130Ом$$

$$R_{вх} \approx 50кОм \parallel (50 \cdot 630Ом) = 50кОм \parallel 31,5кОм \approx 19кОм$$

Выходное сопротивление:

$$R_{вых} \approx R_к \parallel r_э \approx 2кОм \parallel 130Ом \approx 125Ом$$

---

2. Активный полосовой фильтр

Дано: f0=1кГц, Δf=200Гц, K=2

Решение:

Для полосового фильтра на ОУ используем звено второго порядка.

Добротность: $Q = f0/\Delta f = 1000/200 = 5$

Применяем схему с двойным Т-мостом или звено Сален-Ки.

Номиналы для f0=1кГц:

• R1 = R2 = 10кОм
• C1 = C2 = 15,9нФ (стандартное 15нФ)
• R3 = 100Ом (для коррекции)

Проверка: $f0 = 1/(2\pi \cdot R \cdot C) = 1/(2\pi \cdot 10000 \cdot 15 \cdot 10^{-9}) \approx 1061$Гц ≈ 1кГц ✓

---

3. Параметрический стабилизатор

Дано: Uст=13В, Iн=20мА, ±20% питания

Решение:

Примем номинальное входное напряжение Uвх=18В.

Максимальное входное: Uвх.max = 18·1,2 = 21,6В
Минимальное входное: Uвх.min = 18·0,8 = 14,4В

Ток через стабилитрон: Iст = Iн + Iбалласта
Примем Iст = 5мА (минимальный ток стабилизации)

$$R_{бал} = \frac{Uвх.min - Uст}{Iн + Iст} = \frac{14,4 - 13}{0,025} = \frac{1,4}{0,025} = 56Ом$$

Мощность резистора:

$$P_R = (Uвх.max - Uст) \cdot Iст = (21,6 - 13) \cdot 0,005 = 0,043Вт$$

Принимаем Rбал=56Ом, мощность 0,5Вт (с запасом).

---

4. Мультивибратор

Дано: R1=R2=10кОм, C1=C2=0,1мкФ

Решение:

Период мультивибратора:

$$T = 1,4 \cdot R \cdot C = 1,4 \cdot 10000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = 1,4мс$$

Частота: f = 1/T ≈ 714Гц

Длительность импульса: τ = 0,7·R·C = 0,7мс

Скважность: Q = T/τ = 1,4/0,7 = 2

---

5. Усилитель мощности (класс АВ)

Дано: Uпит=±15В, Rн=8Ом

Решение:

Максимальная амплитуда напряжения на нагрузке: Uвых.max ≈ Uпит - Uнас ≈ 14В

Максимальная выходная мощность:

$$P_{вых.max} = \frac{U_{вых.max}^2}{2R_н} = \frac{14^2}{2 \cdot 8} = \frac{196}{16} \approx 12,25Вт$$

КПД класса АВ (теоретический): η ≈ 78,5%
Практический КПД: η ≈ 60-70%

Мощность, рассеиваемая на транзисторах:

$$P_{расс} = P_{пит} - P_{вых} = \frac{P_{вых}}{η} - P_{вых} \approx \frac{12,25}{0,65} - 12,25 \approx 6,6Вт$$

Операционные усилители

6. Инвертирующий усилитель

Дано: Ku=-10, R1=1кОм

Решение:

$$R_{вх} = R_1 = 1кОм$$

Резистор R2 (Roc) необходим для компенсации входного тока смещения ОУ. Его номинал:

$$R_2 = R_1 \parallel R_{oc} = \frac{R_1 \cdot R_{oc}}{R_1 + R_{oc}}$$

При Ku=-10: Roc = 10·R1 = 10кОм

$$R_2 = \frac{1 \cdot 10}{1 + 10} \approx 0,91кОм$$

Принимаем R2 = 910Ом (или 1кОм для упрощения).

---

7. Компаратор с гистерезисом

Дано: U1=2В, U2=3В, Uпит=±5В

Решение:

Гистерезис: ΔU = U2 - U1 = 1В

Используем неинвертирующий компаратор с положительной обратной связью.

Для порога U1=2В (нижний):

$$U_{пор1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{пит+} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{вых0}$$

Примем R1=10кОм, R2=100кОм (коэффициент обратной связи ≈ 0,1).

Верхний порог:

$$U_{пор2} = U_{пор1} + \Delta U = 2 + 1 = 3В$$

Расчёт делителя: R1/R2 обеспечивают необходимый гистерезис.

---

8. Сумматор на ОУ

Дано: U1=1В, U2=2В, U3=3В, R1=R2=R3=10кОм, Rос=10кОм

Решение:

Для инвертирующего сумматора:

$$U_{вых} = -R_{ос} \cdot \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3}\right)$$

$$U_{вых} = -10к \cdot \left(\frac{1}{10к} + \frac{2}{10к} + \frac{3}{10к}\right) = -(0,1 + 0,2 + 0,3) = -0,6В$$

Ответ: Uвых = -0,6В

---
10. Генератор на мосте Вина

Дано: R=10кОм, C=0,01мкФ

Решение:

Частота генерации:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10000 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 100} = \frac{10000}{6,28} \approx 1592Гц$$

Условия самовозбуждения:
1. Петлевой коэффициент усиления ≥ 1 на частоте f0
2. Фазовый сдвиг = 0° (или кратен 360°)
3. Для моста Вина: Kусилителя ≥ 3 (чтобы компенсировать потери в мосте)

Цифровая схемотехника

11. Синтез комбинационной схемы

Функция: Y = (A ∧ B) ∨ (¬A ∧ C)

Минимизация методом Карно-Вейча:

AB\C	0	1
00	0	1
01	0	0
11	1	1
10	1	1

Минимизированная форма: $Y = B \vee C$

Реализация на 2И-НЕ:

Исходная форма через 2И-НЕ:
• $Y = (A \cdot B) + (\bar{A} \cdot C) = \neg(\neg(A \cdot B) \cdot \neg(\bar{A} \cdot C))$

Схема требует: 2 элемента 2И-НЕ для инверсии, 1 элемент 2И для $A \cdot B$, 1 элемент 2И для $\bar{A} \cdot C$, 1 элемент 2И-НЕ для финального инвертора.

---

12. Дешифратор 3→8

Решение:

Таблица истинности:

A2	A1	A0	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Каждый выход: $Y_i = \neg(\neg A2 \wedge \neg A1 \wedge \neg A0)$ для i-ой комбинации.

Стробирование: Добавляем вход разрешения E (Enable). Выход $Y_i = 1$ только при E=1.

---

13. Счётчик 0-7 на JK-триггерах

Решение:

Используем 3 JK-триггера (Q2 Q1 Q0).

Такт	Q2	Q1	Q0	Десятич.
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	2
3	0	1	1	3
4	1	0	0	4
5	1	0	1	5
6	1	1	0	6
7	1	1	1	7
8	0	0	0	0

Все триггеры работают в режиме счёта (J=K=1).
Q0 переключается на каждом такте.
Q1 переключается при Q0=1→0.
Q2 переключается при Q1=1→0.

---

14. Регистр сдвига 4 разряда

Дано: данные 1011, сдвиг вправо

Решение:

Такт	D3	D2	D1	D0	Вход
0	0	0	0	0	-
1	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0
3	1	0	1	0	1
4	1	1	0	1	1

После 4 тактов регистр содержит входные данные: 1011

---

15. Асинхронный триггер

Ответ:

RS-триггер: имеет входы Set (установка в 1) и Reset (установка в 0). При одновременной подаче S=R=1 — состояние не определено (запрещённая комбинация).

D-триггер: имеет один информационный вход D (Data). По фронту тактового импульса записывает значение D в выход Q. По сути — это синхронный RS-триггер с инвертором: D = S, ¬D = R.

Почему асинхронные триггеры не используются в современных схемах:
1. Непредсказуемое поведение при одновременном изменении входов
2. Нет синхронизации с тактовым сигналом — возможны гонки (race conditions)
3. Метастабильность — неопределённое состояние на выходе
4. Сложность верификации и отладки цифровых схем
5. Современные ПЛИС и микроконтроллеры используют только синхронную логику

Микропроцессоры и интерфейсы

16. Адресация микроконтроллера

Дано: 16-битная адресная шина, 8-битная шина данных

Решение:

Адресное пространство: $2^{16} = 65536 = 64К$ ячеек

Память программ (FLASH): 64К × 8 бит = 64КБ
Память данных (RAM): 64К × 8 бит = 64КБ (если фон Неймановская архитектура)

При гарвардской архитектуре (раздельные шины):
• Память программ: 64К × 8 бит = 64КБ
• Память данных: 64К × 8 бит = 64КБ

---

9. Интегратор

Дано: Uвх=1В (меандр), f=1кГц, R=10кОм, C=0,1мкФ

Решение:

Постоянная времени: $\tau = R \cdot C = 10кОм \cdot 0,1мкФ = 1мс$

Период сигнала: $T = 1/f = 1мс$

За время полупериода (0,5мс) конденсатор заряжается:

$$\Delta U_{вых} = \frac{1}{RC} \int_0^{T/2} U_{вх} dt = \frac{U_{вх} \cdot T/2}{RC} = \frac{1 \cdot 0,5мс}{1мс} = 0,5В$$

Выходной сигнал — треугольная форма с амплитудой ±0,5В.

Ограничения реального интегратора:
• Напряжение смещения ОУ вызывает дрейф выходного напряжения
• Конечный коэффициент усиления ОУ ограничивает точность интегрирования
• Ток утечки конденсатора
• Необходимость разрядки конденсатора при перегрузке

---

17. UART

Дано: 9600 бит/с, 8 бит данных, 1 стоп-бит, без чётности

Решение:

Количество бит на байт: старт-бит (1) + данные (8) + стоп-бит (1) = 10 бит

Время передачи одного байта:

$$t_{байта} = \frac{10}{9600} \approx 1,04мс$$

Частота кварца для таймера:

При 9600 бод и коэффициенте деления 16 (стандартно):

$$f_{кварца} = 9600 \cdot 16 = 153600Гц$$

Ближайший стандартный кварц: 14,7456 МГц (даёт точно 9600 при делении 1536)

---

18. SPI

Дано: SCK = 10 МГц, 16 бит

Решение:

Время передачи одного бита: tбита = 1/10МГц = 0,1мкс

Время передачи 16 бит: t16 = 16 × 0,1мкс = 1,6мкс

Максимальная скорость: V = 16 бит / 1,6мкс = 10 Мбит/с

Примечание: Реальная скорость меньше из-за служебных бит и пауз между передачами.

---

19. Загрузка CPU

Дано: время обработки прерывания tпр = 100мкс, частота прерываний fпр = 1 кГц

Решение:

Время на прерывания за 1 секунду:

$$t_{сумм} = t_{пр} \cdot f_{пр} = 100мкс \cdot 1000 = 100мс = 0,1с$$

Загрузка CPU:

$$\eta = \frac{t_{сумм}}{1с} \cdot 100\% = \frac{0,1}{1} \cdot 100\% = 10\%$$

Ответ: загрузка 10%

---

20. АЦП последовательного приближения

Дано: 10 бит, Uоп = 5В, Uвх = 2,5В

Решение:

Разрешение (шаг квантования):

$$LSB = \frac{U_{оп}}{2^n} = \frac{5}{1024} \approx 4,88мВ$$

Погрешность квантования (максимальная):

$$\varepsilon_{макс} = \pm \frac{LSB}{2} = \pm 2,44мВ$$

Цифровой код для Uвх=2,5В:

$$N = \frac{U_{вх}}{LSB} = \frac{2,5}{0,00488} \approx 512$$

Код: $1000000000_2 = 512_{10}$

Реальная погрешность:
• Погрешность квантования: ±2,44мВ (±0,5 LSB)
• Погрешность опорного напряжения
• Погрешность смещения нуля
• Нелинейность