

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО”

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

Отчёт по лабораторной работе №6
"Стабилизаторы напряжения"

по дисциплине "Электронные устройства мехатронных и
робототехнических систем"

Вариант №5

Выполнили:

Студенты группы R34362

Ванчукова Татьяна Сергеевна

Зайцев Даниил Александрович

Симонян Анна Юрьевна

Преподаватель:

Николаев Николай Анатольевич,

доцент факультета СУиР

Санкт-Петербург, 2023

1 Цель работы

Исследование и сравнение характеристик различных схемных решений стабилизаторов на дискретных элементах и стабилизатора в интегральном исполнении.

При выполнении лабораторной работы исследуются:

- параметрический стабилизатор (на стабилитроне)
- параметрический стабилизатор с биполярным транзистором
- компенсационный стабилизатор напряжения с последовательным регулирующим элементом.

2 Материалы работы

2.1 Исследование параметрического стабилизатора

Рассчитаем параметры для стабилитрона. Исходными данными для расчёта простейшего параметрического стабилизатора напряжения являются:

- Входное напряжение $U_{\text{вх}}$
- Выходное напряжение $U_{\text{вых}} = U_{st}$ – напряжение стабилизации
- Выходной ток $I_H = I_{st}$

По варианту: $U_{\text{вх}} = 16 \text{ В}$, $U_{\text{вых}} = 8 \text{ В}$. По напряжению стабилизации выбираем стабилитрон D814A ($U_{st} = 8 \text{ В}$, дифференциальное сопротивление $r_{st} = 6 \text{ Ом}$, $P_{ct} = 0,34 \text{ Вт}$).

1. Рассчитаем максимальный ток, текущий через стабилитрон:

$$I_{ct \text{ max}} = \frac{P_{ct}}{U_{ct}} = \frac{0.34}{8} = 0.0425 \text{ А}$$
$$I_{ct \text{ ном}} = \frac{(I_{ct \text{ max}} - I_{ct})}{2} = \frac{0.0425 - 0.005}{2} = 0.01875 \text{ А}$$
$$I_H = 0.01 \text{ А}$$

2. Определяем необходимое балластное сопротивление R1:

$$R_6 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{I_{st} + I_H} = (16 - 8) / (0.005 + 0.01) = 533.33 \text{ Ом}$$
$$R_H = \frac{U_{\text{вых}}}{I_H} = \frac{8}{0.01} = 800 \text{ Ом}$$

3. Определяем коэффициент стабилизации:

$$k_{ST} = \left(1 - \frac{(R_6(I_{ST} + I_H))}{U_0}\right) \cdot \frac{(R_6 + r_{ST})}{r_{ST}} =$$
$$\left(1 - \frac{(533(0.005 + 0.01))}{16}\right) \cdot \frac{(533 + 6)}{6} = 0.5 \cdot 89.83 = 44.92$$
$$k_{ST1} = \frac{R_6 \cdot U_{\text{вых}}}{r_{st} \cdot U_{\text{вх}}} = \frac{533.33 \cdot 8}{6 \cdot 16} \approx 44.44$$

4. Определяем коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{(I_H \cdot U_{ST})}{(U_{BX}(I_{ST} + I_H))} = \frac{8 \cdot 0.01}{16 \cdot (0.005 + 0.01)} \approx 0.33$$

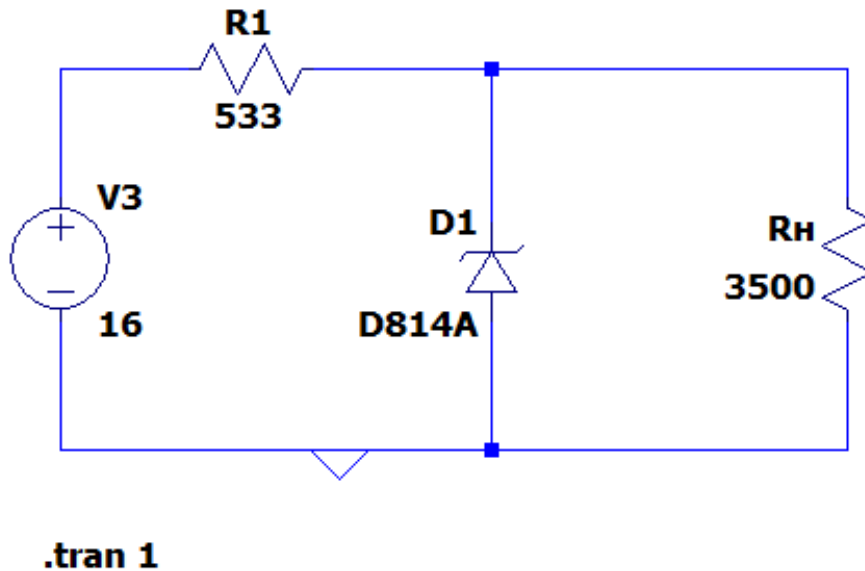


Рис. 1: Схема параметрического стабилизатора

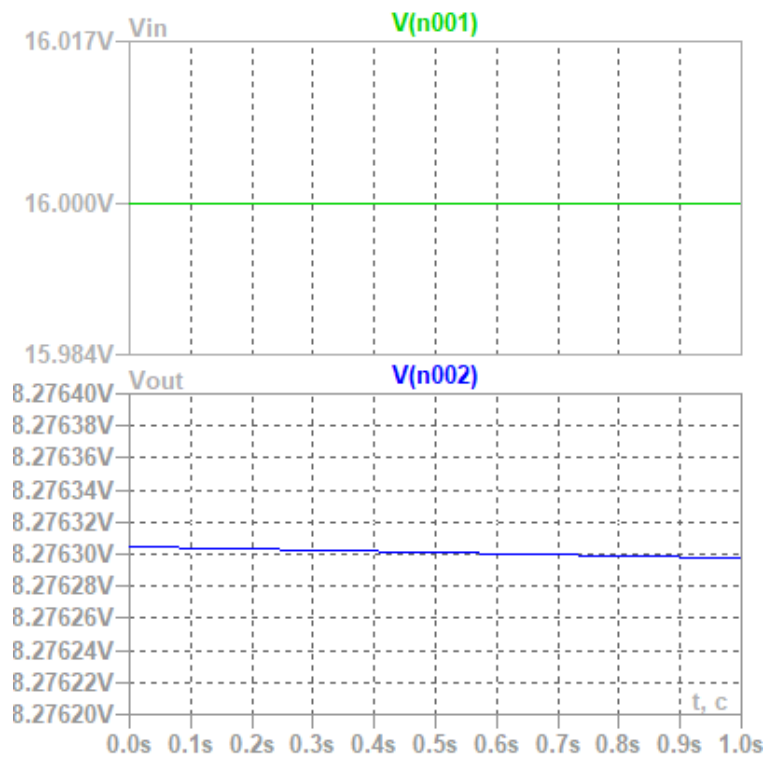


Рис. 2: Графики (значения) выходного и входного напряжений при постоянном напряжении

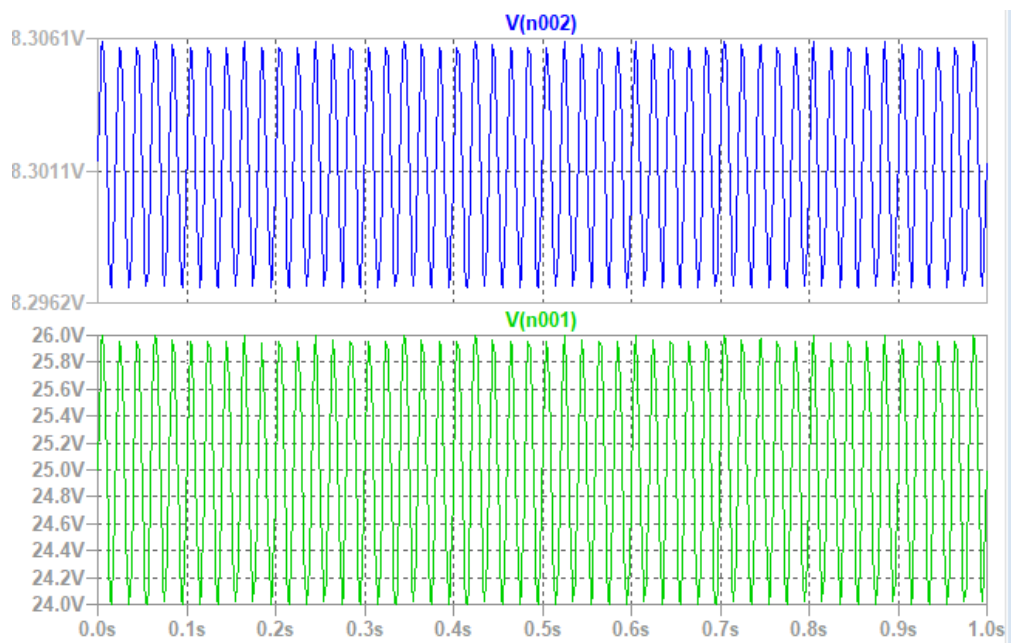


Рис. 3: Графики выходного и входного напряжений

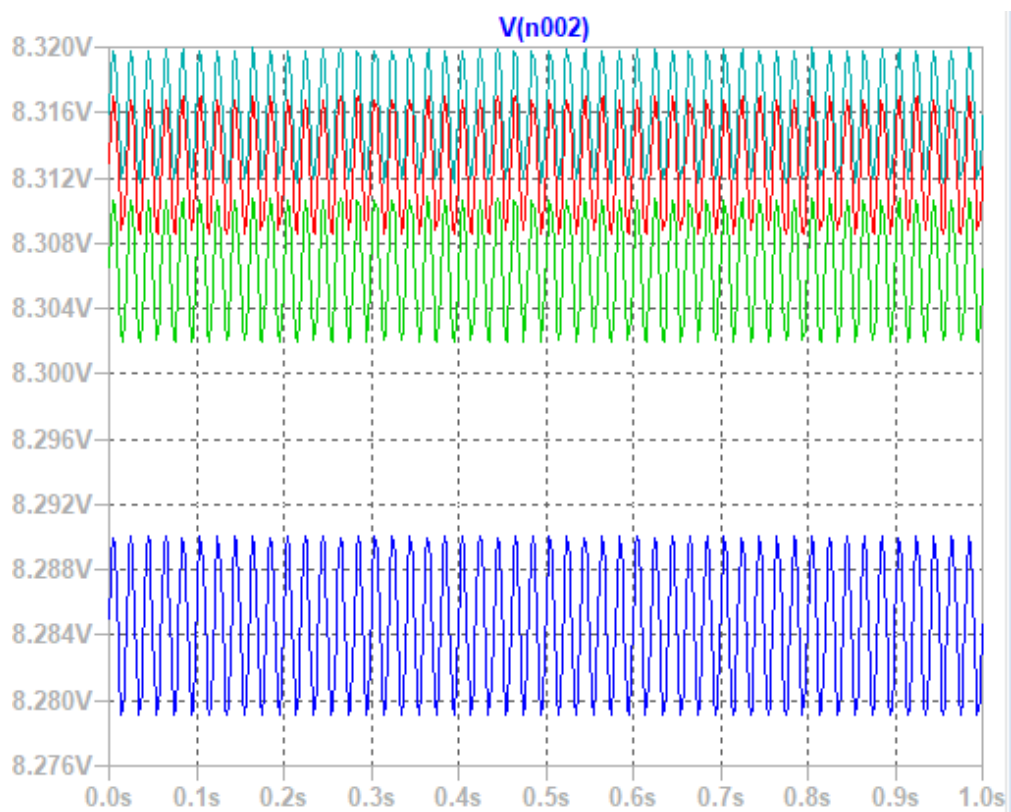


Рис. 4: Графики напряжений при разных значениях нагрузки

2.2 Исследование одностранзисторного последовательного линейного стабилизатора

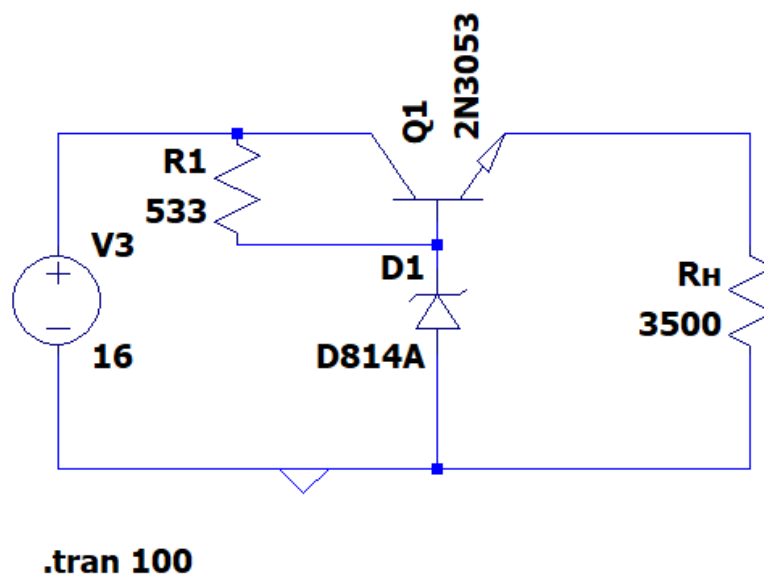


Рис. 5: Схема последовательного линейного стабилизатора

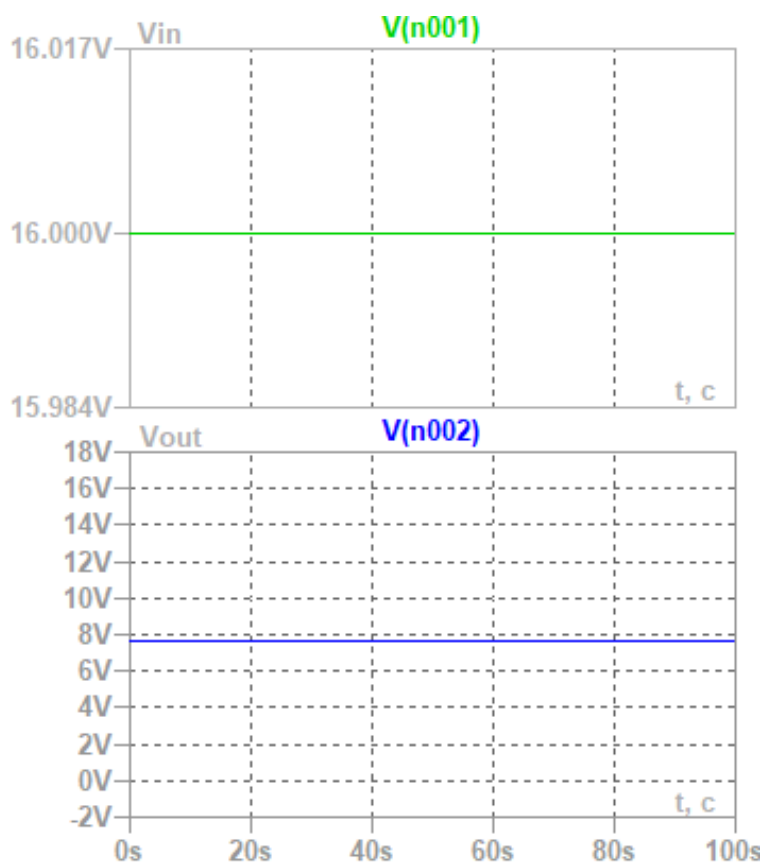


Рис. 6: График (значения) выходного и входного напряжений при постоянном напряжении

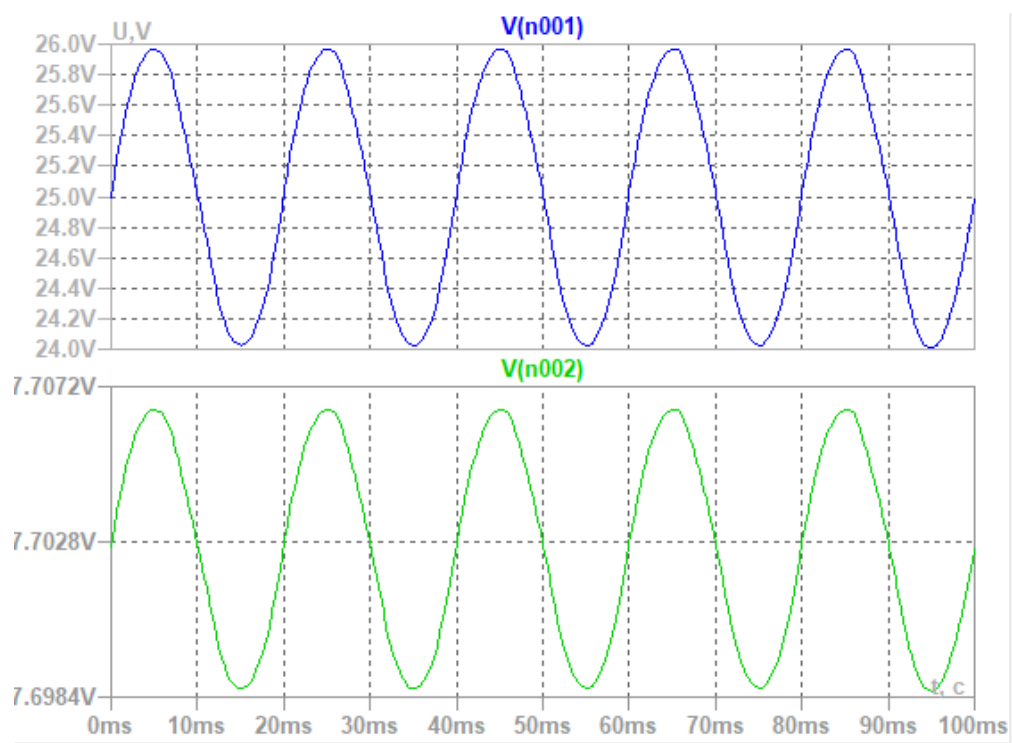


Рис. 7: Графики выходного и входного напряжений

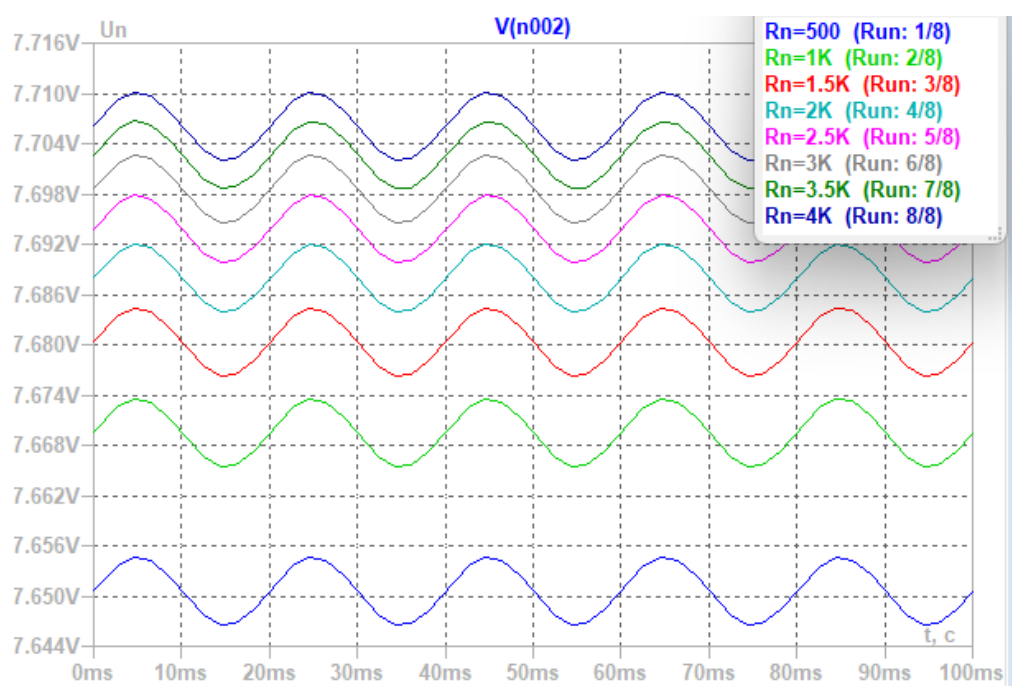


Рис. 8: Графики напряжений при разных значениях нагрузки

2.3 Исследование компенсационного стабилизатора

Выполним расчет компенсационного стабилизатора напряжения. Исходные данные:

- Среднее выходное напряжение стабилизатора – 8 В
- Максимальный ток нагрузки стабилизатора – 2 А
- Входное напряжение 16 В

Выберем стабилитрон измерительного моста, стабилитрон VD1 выбирается со значением напряжения стабилизации, равным половине выходного напряжения стабилизатора:

$$U_{VD1} = \frac{U_{\text{вых}}}{2} = 4 \text{ В}$$

При этом условии обеспечивается наилучшая стабилизация. Выберем стабилитрон с напряжением стабилизации, близким к рассчитанным. Выбираем *BZX84C3V9* $U_{VD1} = 3.9 \text{ В}$, $I_{VD1} = 5 \text{ мА}$

Определим значение сопротивление балластного резистора R_6 . Падение напряжение на балластном сопротивлении составляет.

$$U_{R_6} = U_{\text{вых}} - U_{VD1} = 8 - 4 = 4 \text{ В}$$

Тогда, значение сопротивление балластного резистора может быть рассчитано по закону Ома.

$$R_6 = \frac{U_{R_6}}{I_{VD1}} = \frac{4}{5 \cdot 10^{-3}} = 800 \text{ Ом}$$

Рассчитаем значения делителя напряжения $R_1 \dots R_3$. Традиционно переменный резистор R_2 используется для возможности подстройки выходного напряжения схемы.

В *LtSpice* есть проблема - отсутствие в пакете переменного резистора, поэтому в работе будем использовать делитель на базе двух сопротивлений R_1 и R_3 .

Зададим ток через делитель в 10 раз меньше, чем ток стабилизации стабилитрона $I_{\text{дел}} = 0,5 \text{ мА}$. В стабилизаторе компенсационного типа транзисторы работают в активном режиме.

Известно, что в активном режиме напряжение между базой и эмиттером биполярного транзистора составляет $0,6 \dots 0,7$ В, выберем значение $U_{БЭ} = 0.65$ В. Таким образом потенциал базы, равный падению напряжения на резисторе R_3 составляет:

$$U_{R3} = U_{VD1} + 0.65 = 4 + 0.65 = 4,65 \text{ В}$$

Таким образом, рассчитаем U_{R1} .

$$U_{R1} = U_{\text{ВЫХ}} - U_{R3} = 8 - 4.65 = 3,35 \text{ В}$$

Зная падения напряжения на резисторах и ток через делитель, можно рассчитать значения сопротивлений по закону Ома.

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{\text{дел}}} = \frac{4,65}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 9.3 \text{ кОм}$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{\text{дел}}} = \frac{3.35}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 6.7 \text{ кОм}$$

В реальности мы не сможем найти резисторы с такими сопротивлениями, вопрос балансировки схемы нам бы помог решить переменный резистор R_2 . Выберем второй источник опорного напряжения, в качестве источника опорного напряжения выберем стабилитрон *EDZV15B* с напряжением стабилизации $U_{VD2} = 20$ В, и токе $I_{VD2} = 5$ мА.

Найдем значение сопротивления балластного резистора R для номинальных значений параметров схемы

$$R_{\text{СМ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{VD2}}{I_{VD2}} = \frac{16 - 15}{5 \cdot 10^{-3}} = 100 \text{ Ом}$$

Рассчитаем значение сопротивления резистора R_K . Для стабильной работы цепи опорного напряжения ($VD2$), необходимо, чтобы R_K не оказывал на эту цепь шунтирующего действия. Поэтому ток R_K должен быть не менее, чем в 2 раза меньше тока стабилитрона. Кроме того, на нём падает разность между входным и выходным напряжением:

$$U_{R_K} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}} = 16 - 8 = 8 \text{ В}$$

$$R_K = \frac{8}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 3200 \text{ Ом}$$

Вычислим номинальное значение сопротивления нагрузки R_H

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{8}{2} = 4 \text{ Ом}$$

Выберем транзисторы для стабилизатора, в качестве транзистора VT1 можно выбрать маломощный биполярный транзистор с максимальным напряжением между коллектором и эмиттером более 30 В, выберем BCX54 с $U_{КЭ\text{ max}} = 45\text{ В}$, $I_K = 1\text{ А}$, $h_{21Э} = 100$

В качестве выходного выберем транзистор VT3 с током коллектора более максимального выходного тока, например KT863A с $U_{КЭ\text{ max}} = 60\text{ В}$, $I_K = 3\text{ А}$, $h_{21Э} = 100$.

В качестве VT2 выберем KT815a с $U_{КЭ\text{ max}} = 400$, $I_K = 1.5\text{ А}$, $h_{21Э} = 100$. При номинальном токе нагрузки 2 А, ток базы транзистора VT3 равен:

$$I_{B_{VT3}} = \frac{I_H}{h_{21Э\text{ min}}} = \frac{2}{100} = 20\text{ мА}$$

Транзистор усиливает ток, текущий через R_K , для выбранного VT3 равен имеем выходной ток:

$$I_{K_{VT3}} = I_{R_K} \cdot h_{21Э\text{ min}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 250\text{ мА}$$

$$R_Э = \frac{U_{БЭ}}{I_H \cdot h_{21Э}} = \frac{0,65}{2} \cdot 100 = 32,5\text{ Ом}$$

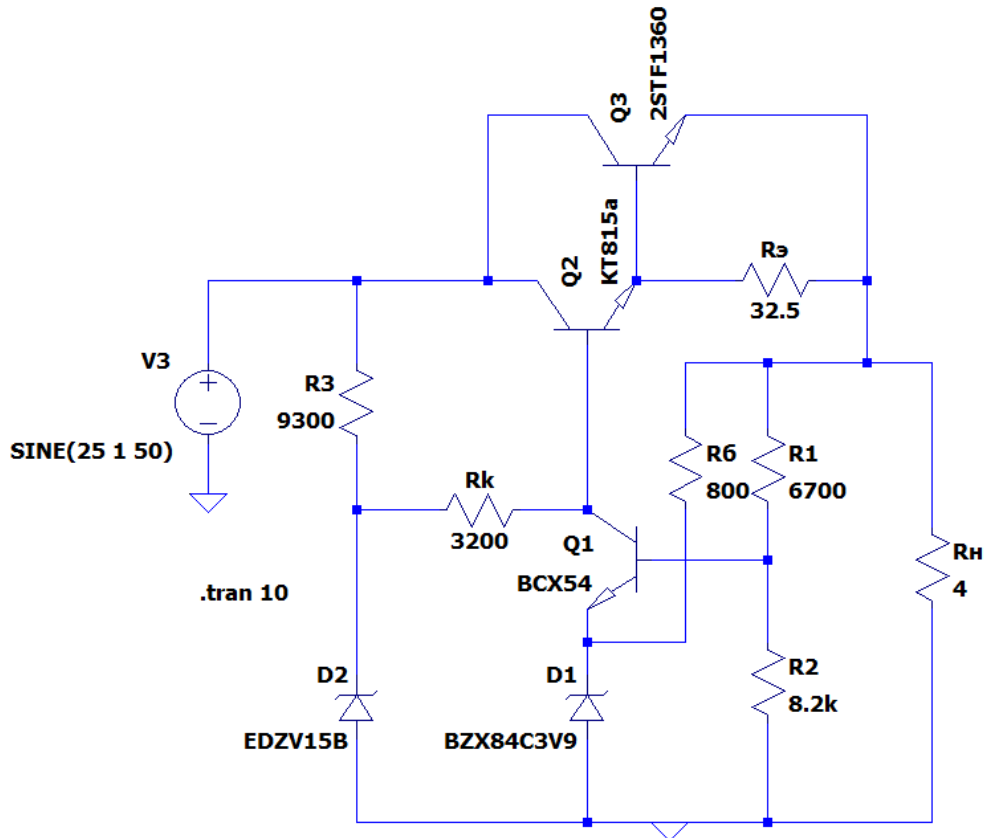


Рис. 9: Схема компенсационного стабилизатора напряжения

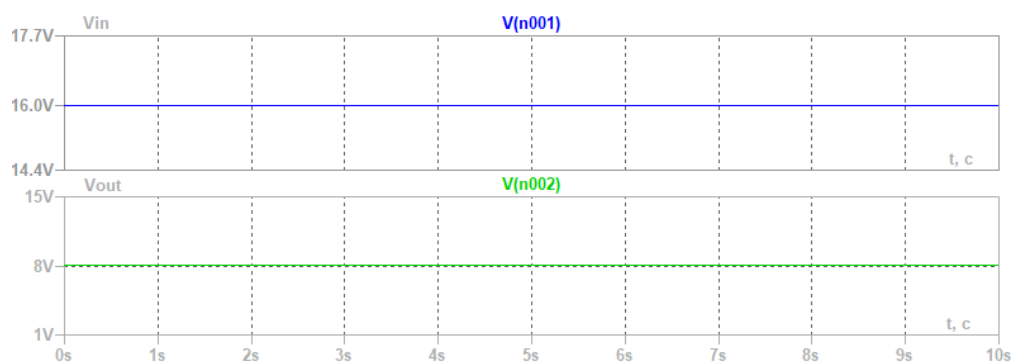


Рис. 10: График (значения) выходного и входного напряжений при постоянном сигнале

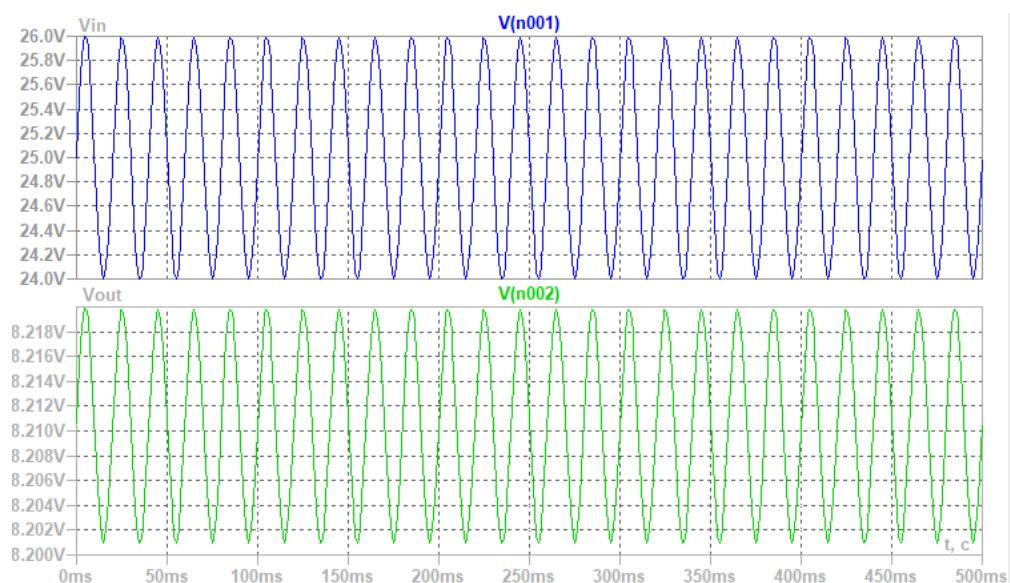


Рис. 11: График (значения) выходного и входного напряжений при переменном сигнале

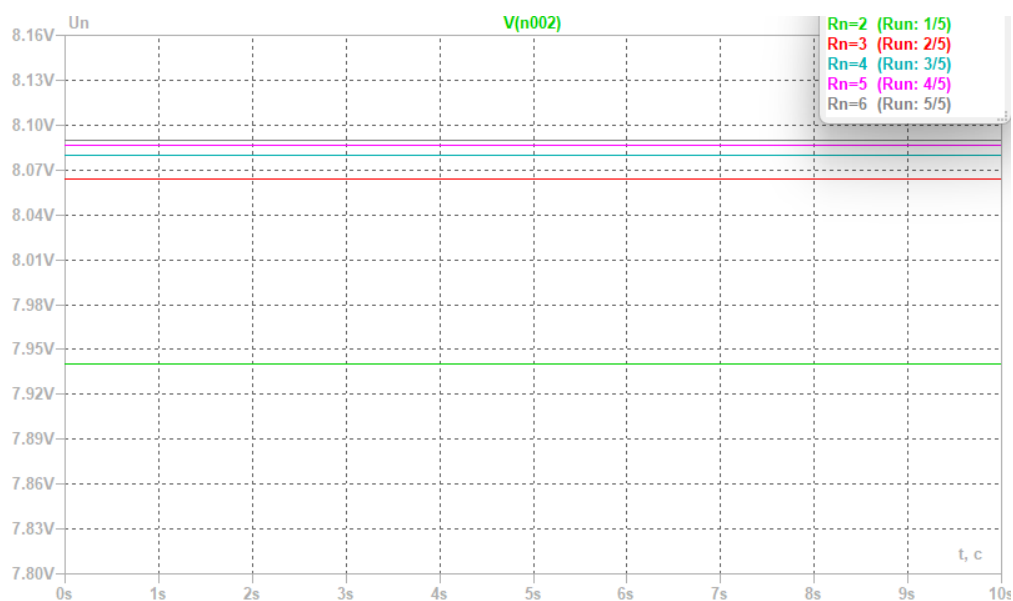


Рис. 12: Графики (значения) напряжений при разных значениях нагрузки

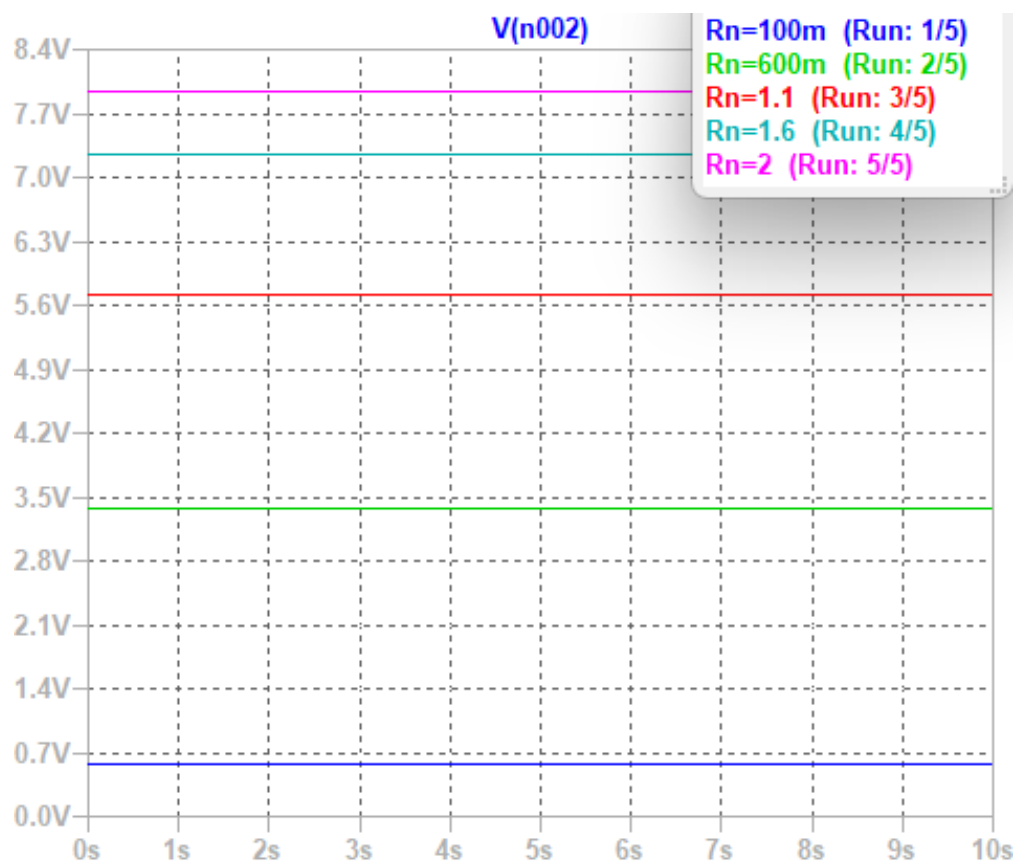


Рис. 13: Графики (значения) напряжений при разных значениях нагрузки

3 Выводы

В данной лабораторной работе было проведено исследование стабилизаторов:

- Параметрический стабилизатор (на стабилитроне)
При изменении входного напряжения стабилитрон автоматически подстраивается, чтобы удерживать выходное напряжение на постоянном уровне. По графикам видим, что при разном входном значении, выходное напряжение соответствует ожидаемому (8 В). При увеличении сопротивления нагрузки, выходное напряжение увеличивается
- Параметрический стабилизатор с биполярным транзистором
Добавление биполярного транзистора улучшает стабилизацию и дает возможность более эффективно регулировать выходное напряжение. При увеличении сопротивления нагрузки, выходное напряжение увеличивается
- Компенсационный стабилизатор напряжения с последовательным регулирующим элементом.
При увеличении сопротивления нагрузки, выходное напряжение практически не изменяется, при условии, что $R_H > 2 \text{ Ом}$, иначе напряжение уменьшается. Т.е. компенсационный стабилизатор использует последовательный регулирующий элемент, который компенсирует изменения нагрузки при $R_H > 2 \text{ Ом}$.