

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный Исследовательский Университет ИТМО»



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
ПРЕДМЕТ «ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ»
ТЕМА «СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ»
Вариант №5

Преподаватель:
Жданов В. А.

Выполнил:
Румянцев А. А.

Факультет: СУиР
Группа: R3341
Поток: ЭлУСУ R22 бак 1.2

Санкт-Петербург
2025

Содержание

1	Цель работы	2
2	Исходные данные	2
3	Исследование параметрического стабилизатора	2
3.1	Выбор стабилитрона	2
3.2	Расчет параметров схемы	2
3.3	Коэффициент стабилизации	2
3.4	Коэффициент полезного действия	3
3.5	Схема параметрического стабилизатора постоянного напряжения	3
3.6	Влияние сопротивления нагрузки на работу стабилизатора	3
3.7	Скачкообразное изменение нагрузки	4
3.8	Нагрузки разного вида при скачкообразном изменении входного напряжения	5
4	Исследование одностранзисторного последовательного линейного стабилизатора	8
4.1	Выбор стабилитрона	8
4.2	Расчет параметров схемы	8
4.3	Коэффициент стабилизации	9
4.4	Схема одностранзисторного последовательного линейного стабилизатора постоянного напряжения	9
4.5	Влияние сопротивления нагрузки на работу стабилизатора	9
4.6	Скачкообразное изменение нагрузки	11
4.7	Нагрузки разного вида при скачкообразном изменении входного напряжения	11
5	Исследование компенсационного стабилизатора постоянного напряжения	14
5.1	Выбор стабилитрона	14
5.2	Расчет параметров схемы	14
5.3	Коэффициент стабилизации	15

Цель работы

Цель работы – исследование и сравнение характеристик различных схемных решений стабилизаторов на дискретных элементах и стабилизатора в интегральном исполнении.

Исходные данные

В таблице ниже представлены исходные данные для варианта №5

$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	8
$R_{\text{н}}, \text{ Ом}$	3500
$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	16

Исследование параметрического стабилизатора

Выбор стабилитрона

Выходное напряжение (напряжение стабилизации) составляет 8 В, тогда возьмем стабилитрон типа EDZV8.2B $\Rightarrow U_{\text{ст}} = 8.2 \text{ В}$. При подаче 8.2 В он начнет проводить ток (при $< 8.2 \text{ В}$ ничего не будет делать, при $> 8.2 \text{ В}$ «сбросит» лишнее напряжение через себя, удерживая на нагрузке примерно 8.2 В; теперь $U_{\text{вых}} = 8.2 \text{ В}$). Этот стабилитрон имеет рассеиваемую мощность $P_{\text{ст}} = 0.15 \text{ Вт}$, дифференциальное сопротивление $r_{\text{ст}} = 30 \text{ Ом}$

Расчет параметров схемы

Рассчитаем максимальный ток, текущий через стабилитрон

$$I_{\text{ст макс}} = \frac{P_{\text{ст}}}{U_{\text{ст}}} = \frac{0.15}{8.2} = 0.0182926829 \text{ А}$$

Рассчитаем ток нагрузки

$$I_{\text{н}} = I_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_{\text{н}}} = \frac{8.2}{3500} = 0.0023428571 \text{ А}$$

Рассчитаем номинальное значение тока на стабилитроне

$$I_{\text{ст ном}} = \frac{I_{\text{ст макс}} - I_{\text{ст}}}{2} = \frac{0.018 - 0.002}{2} = 0.0079749129 \text{ А}$$

Определим балластное сопротивление резистора

$$R_6 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{I_{\text{ст ном}} + I_{\text{н}}} = \frac{16 - 8.2}{0.008 + 0.002} = 755.9773090503 \text{ Ом}$$

Коэффициент стабилизации

Определим коэффициент стабилизации

$$k_{\text{ст}} = \left(1 - \frac{R_6 (I_{\text{ст ном}} + I_{\text{н}})}{U_{\text{вх}}} \right) \cdot \frac{R_6 + r_{\text{ст}}}{r_{\text{ст}}},$$

$$k_{\text{CT}} = \left(1 - \frac{755.977 (0.008 + 0.002)}{16}\right) \cdot \frac{755.977 + 30}{30} = 13.4271123629;$$

Посчитаем оценку k_{CT} (приближенно коэффициент стабилизации)

$$\hat{k}_{\text{CT}} = \frac{R_6 U_{\text{ВЫХ}}}{r_{\text{CT}} U_{\text{ВХ}}} = 12.9146123629$$

Коэффициент полезного действия

Определим коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{I_{\text{CT НОМ}} U_{\text{CT}}}{U_{\text{ВХ}} (I_{\text{CT НОМ}} + I_{\text{H}})} = \frac{0.008 \cdot 8.2}{16 (0.008 + 0.002)} = 0.3961265720 \approx 40\%$$

Схема параметрического стабилизатора постоянного напряжения

Соберем схему параметрического стабилизатора постоянного напряжения с учетом наших расчетов. Конденсатор в расчетах не участвовал (со временем перестанет проводить ток) – он нужен для сглаживания пульсаций (фильтр шумов)

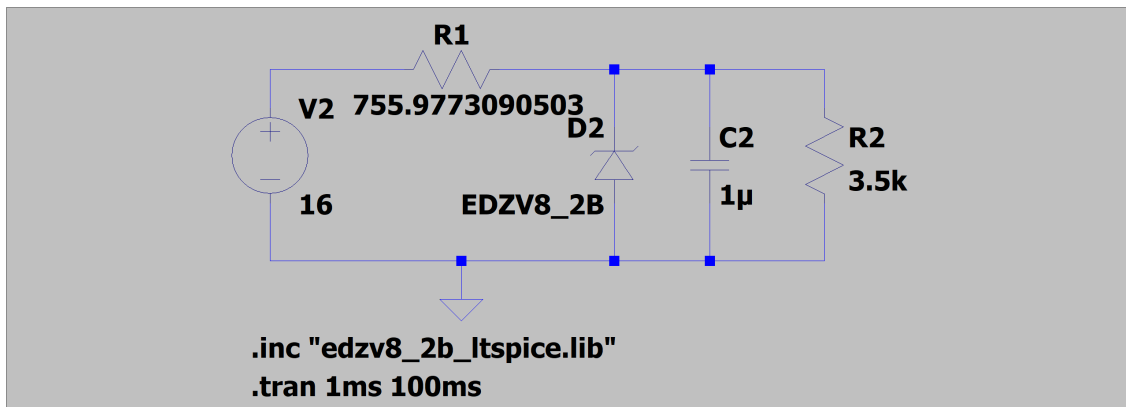


Рис. 1: Схема параметрического стабилизатора постоянного напряжения

Влияние сопротивления нагрузки на работу стабилизатора

Проверим выходное напряжение цепи и ток на стабилизаторе при постоянном входном напряжении 16 В и различных сопротивлениях нагрузки. $V(n001) \equiv U_{\text{ВХ}}$, $V(n002) \equiv U_{\text{ВЫХ}}$, $I(D2) \equiv I_{\text{CT}}$. Результаты представлены на рис. 2–5

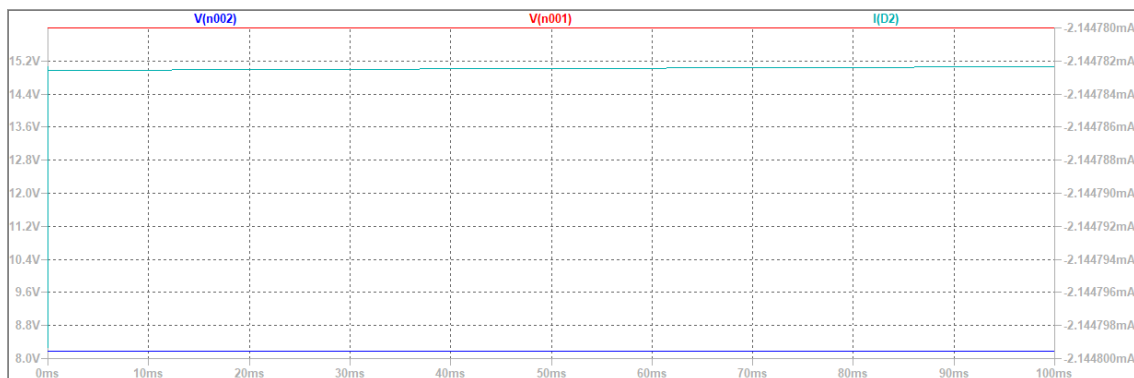


Рис. 2: Выходное напряжение при $R_{\text{H}} = 1000 \text{ Ом}$; $U_{\text{ВЫХ ср}} = 8.1884 \text{ В}$

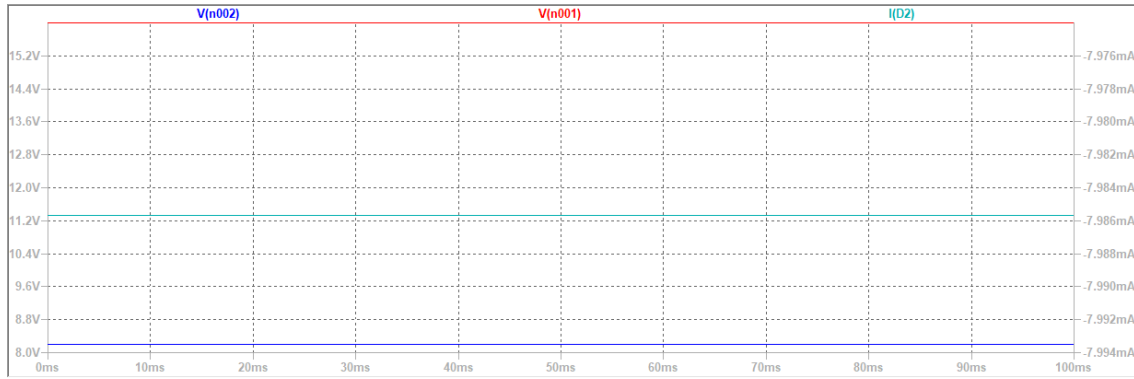


Рис. 3: Выходное напряжение при $R_{\text{н}} = 3500 \text{ Ом}$; $U_{\text{вых ср}} = 8.1933 \text{ В}$

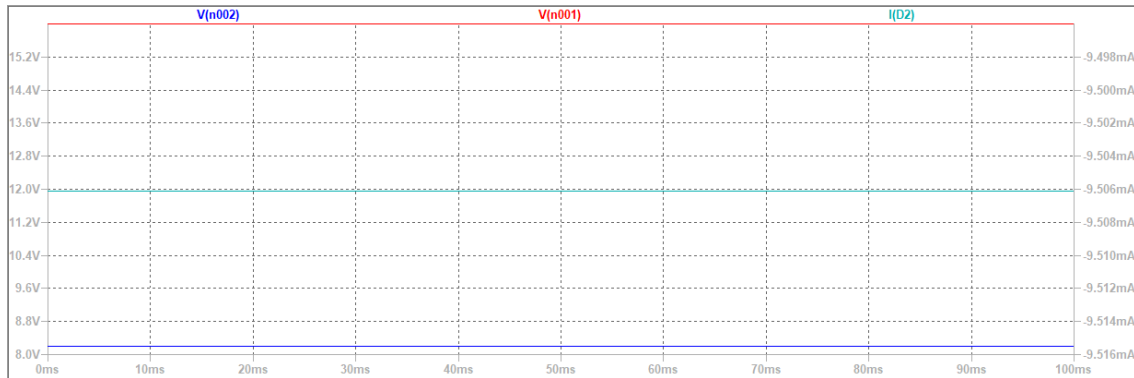


Рис. 4: Выходное напряжение при $R_{\text{н}} = 10000 \text{ Ом}$; $U_{\text{вых ср}} = 8.1941 \text{ В}$

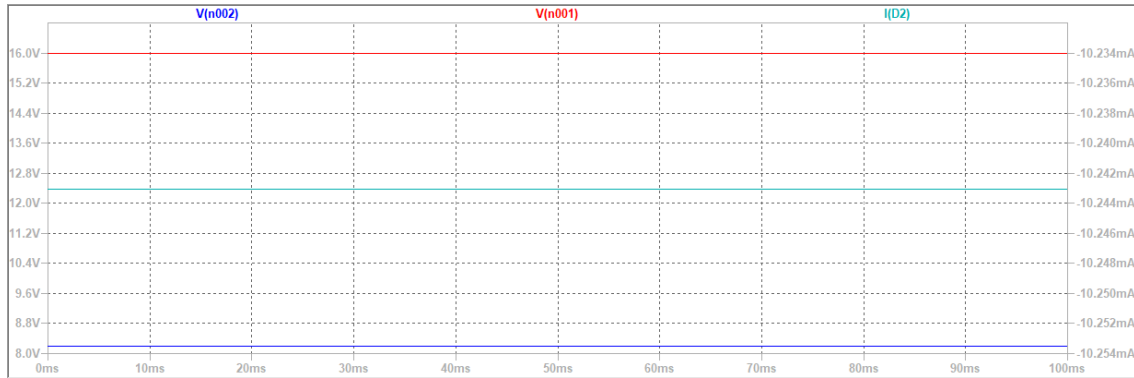


Рис. 5: Выходное напряжение при $R_{\text{н}} = 100000 \text{ Ом}$; $U_{\text{вых ср}} = 8.1945 \text{ В}$

Выходное напряжение с увеличением сопротивления нагрузки немного увеличивается, при этом стабилизатор потребляет больше тока. Максимальное значение тока на стабилизаторе в 18 мА не было достигнуто (при $R_{\text{н}} = 100000 \text{ Ом}$ получили $I_{\text{ст}} \approx 10.243 \text{ мА}$).

Скачкообразное изменение нагрузки

Подадим скачкообразную нагрузку PULSE(16 18 5m 1u 1u 10m 10m). Входное напряжение представлено на рис. 6

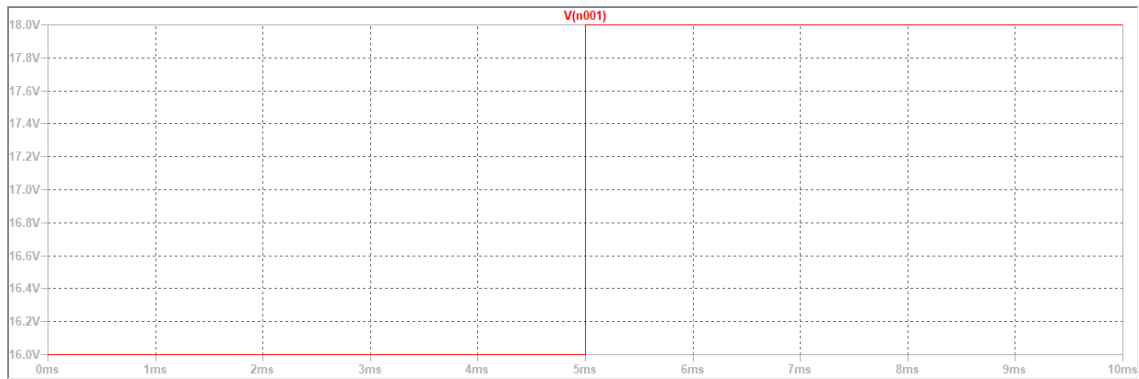


Рис. 6: Скачкообразная нагрузка с 16 В до 18 В

При таком входном напряжении на выходе получаем

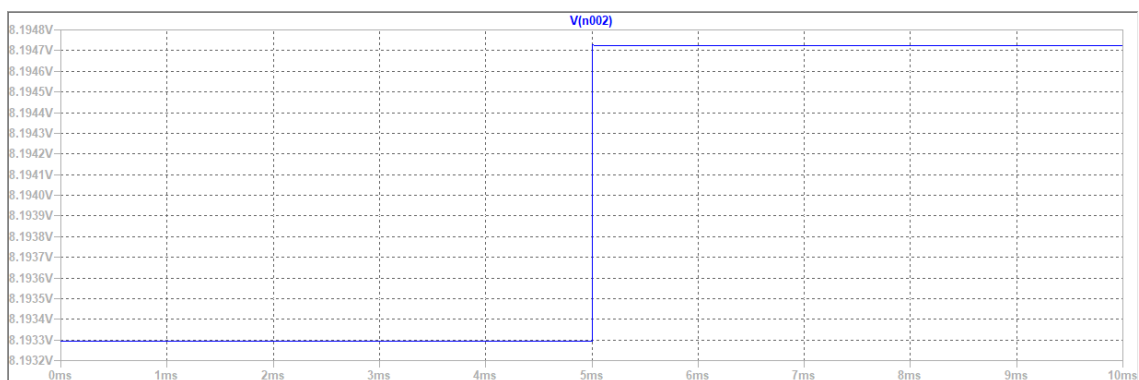


Рис. 7: Выходное напряжение при скачкообразной нагрузке

Скачок напряжения на выходе значительно меньше скачка на входе. Стабилизатор удержал напряжение в районе 8.2 В. Напряжение до скачка 8.193294 В, после 8.194724 В.

Нагрузки разного вида при скачкообразном изменении входного напряжения

Снимем осциллограммы выходных напряжений стабилизатора при скачкообразном изменении входного напряжения для нагрузок разного вида. На схеме на рис. 1 представлена активно-емкостная нагрузка. Для начала построим схему только лишь **активной** нагрузки

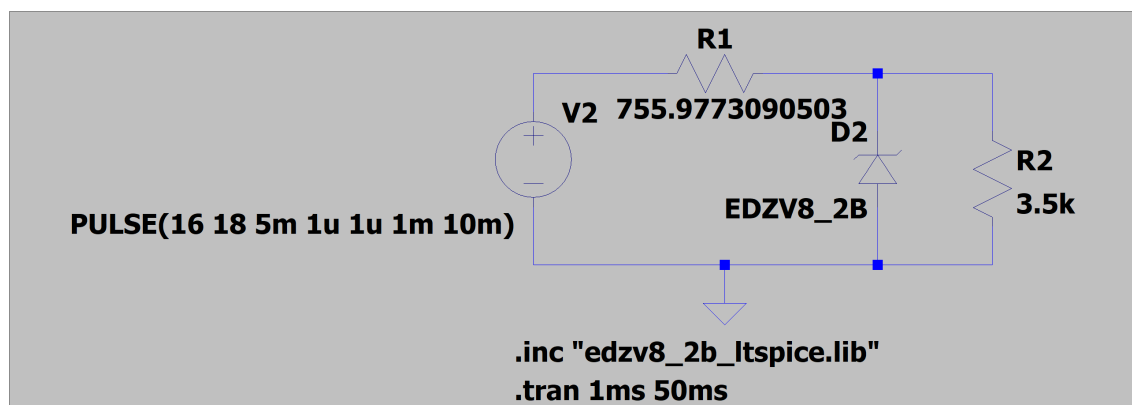


Рис. 8: Схема параметрического стабилизатора: активная нагрузка

Подадим на вход скачкообразный сигнал PULSE(16 18 5m 1u 1u 1m 10m), который представлен на рис. 9

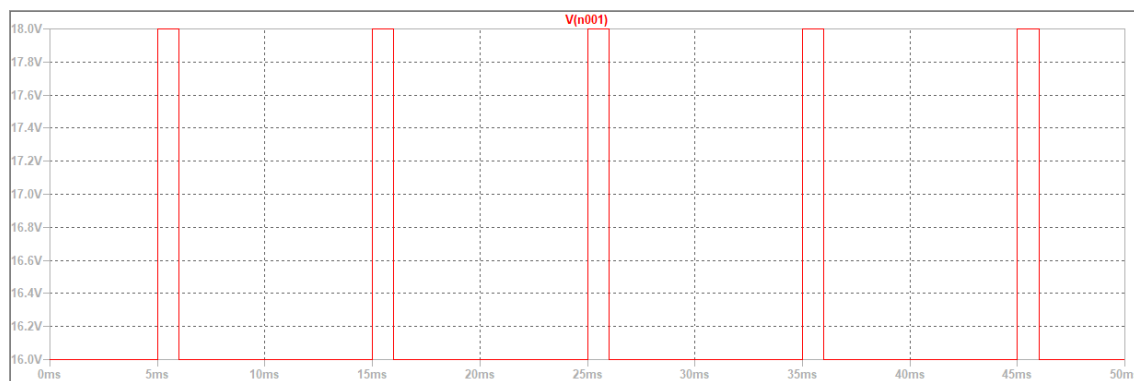


Рис. 9: Повторяющаяся скачкообразная нагрузка с 16 В до 18 В

Посмотрим выходное напряжение при **активной** скачкообразной нагрузке

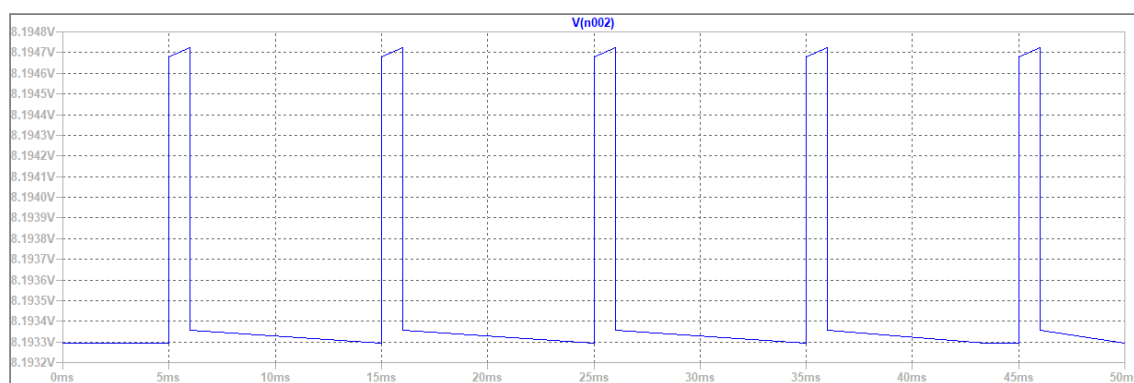


Рис. 10: Выходное напряжение при активной скачкообразной нагрузке

Посмотрим выходное напряжение при **активно-емкостной** нагрузке. Схема была представлена на рис. 1

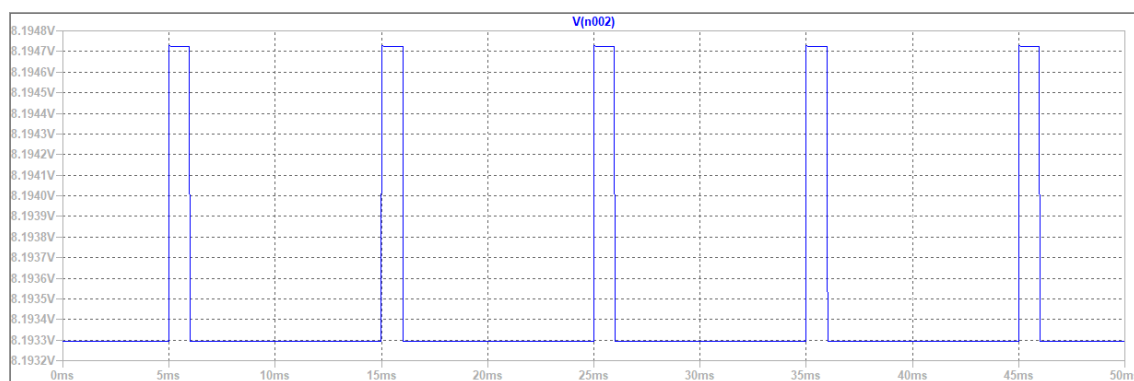


Рис. 11: Выходное напряжение при активно-емкостной скачкообразной нагрузке

Построим схему для проверки **активно-индуктивной** нагрузки. Зададим значение индуктивности в 1 Гн

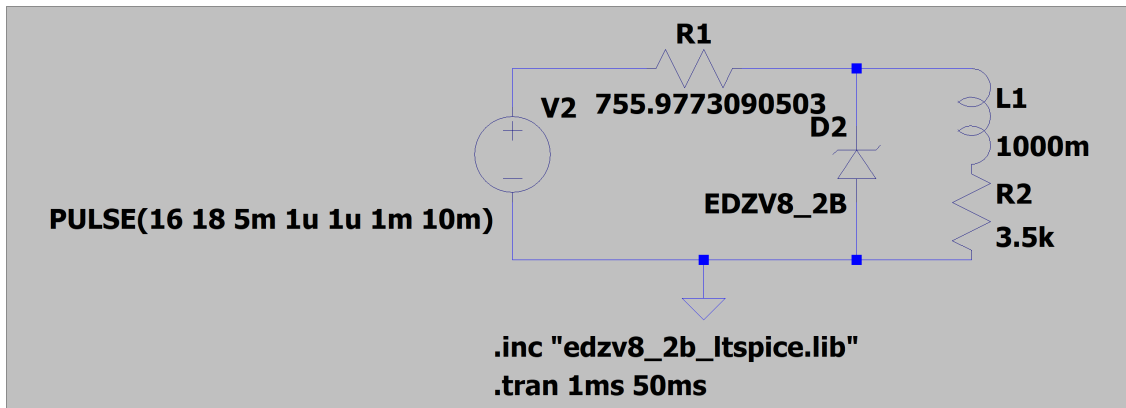


Рис. 12: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивная нагрузка

Посмотрим выходное напряжение при **активно-индуктивной** нагрузке

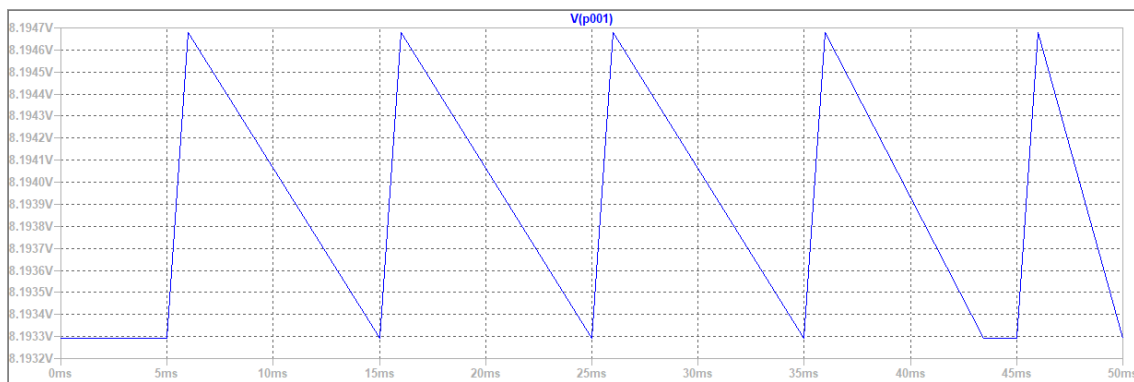


Рис. 13: Выходное напряжение при активно-индуктивной скачкообразной нагрузке

Построим схему для проверки **активно-индуктивно-емкостной** нагрузки. Зададим значение индуктивности в 1 Гн

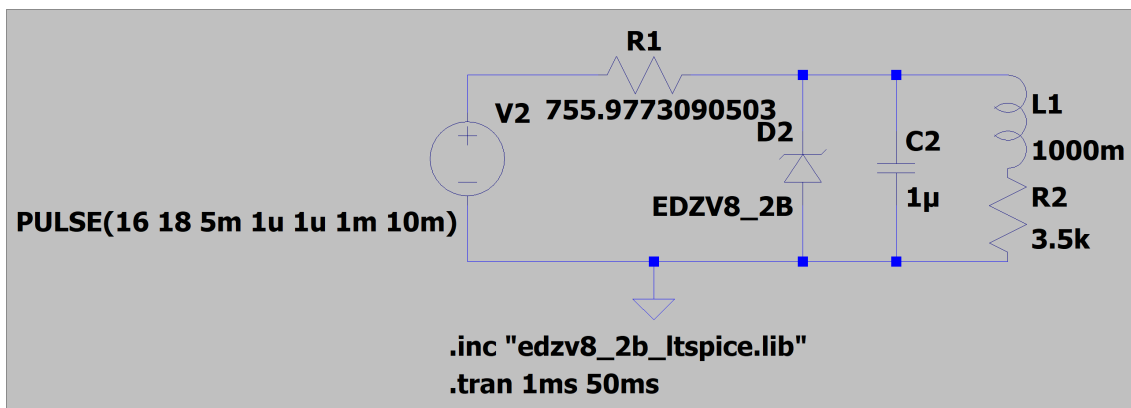


Рис. 14: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивно-емкостная нагрузка

Посмотрим выходное напряжение при **активно-индуктивно-емкостной** нагрузке

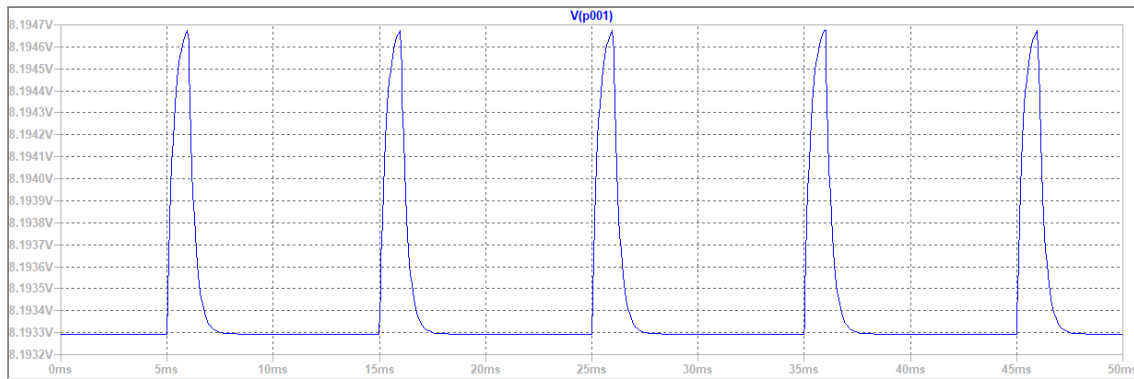


Рис. 15: Выходное напряжение при активно-индуктивно-емкостной скачкообразной нагрузке

Результат лучше всего получился на рис. 15. При увеличении емкости конденсатора пульсации будут сглаживаться еще больше.

Исследование однотранзисторного последовательного линейного стабилизатора

Выбор стабилитрона

Определимся со стабилизатором

$$U_{\text{ст}} = U_{\text{вых}} + 0.6 = 8 + 0.6 = 8.6 \text{ В}$$

Самые близкие доступные стабилизаторы – EDZV8.2B на 8.2 В и EDZV9.1B на 9.1 В. Сравним по разнице между возможным и желаемым напряжениями на стабилизаторе и возьмем напряжение $U_{\text{ст}}$, при котором разница наименьшая

$$9.1 - 8.6 = 0.5, \quad 8.2 - 8.6 = -0.4,$$

$$|-0.4| < |0.5| \Rightarrow \text{берем EDZV8.2B}$$

Пересчитаем выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ст}} - 0.6 = 8.2 - 0.6 = 7.6 \text{ В}$$

В теории теряем 5% от желаемых 8 В.

Расчет параметров схемы

Далее рассчитаем сопротивление на резисторе. Для транзистора 2N3055 выберем коэффициент передачи тока базы $h_{\text{FE мин}}$

$$20 \leq h_{\text{FE}} \leq 70 \Rightarrow h_{\text{FE мин}} = 20$$

Определим минимальное входное напряжение

$$U_{\text{вх мин}} > U_{\text{вых}} + 2.5 = 7.6 + 2.5 = 10.1 \Rightarrow U_{\text{вх мин}} = 11 \text{ В},$$

Рассчитаем максимальный выходной ток стабилизатора

$$I_{\text{вых макс}} = h_{\text{FE}} \cdot I_{\text{б}},$$

$$I_{\text{б макс}} \approx I_{\text{ст макс}} = \frac{P_{\text{ст}}}{U_{\text{ст}}} = \frac{0.15}{7.6} = 0.0197368421 \text{ А},$$

$$I_{\text{вых макс}} = 20 \cdot 0.02 = 0.394736842 \text{ А}$$

Теперь посчитаем R

$$R \approx \frac{U_{\text{вх мин}} h_{\text{FE мин}}}{1.2 I_{\text{вых макс}}} = \frac{11 \cdot 20}{1.2 \cdot 0.395} = 464.4444445683 \text{ Ом}$$

Коэффициент стабилизации

Определим коэффициент стабилизации по формуле

$$k_{\text{ст}} = \left. \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} \div \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}} \right|_{R_{\text{н}} = \text{const.}}$$

Значения $\Delta U_{\text{вых}}$ возьмем с моделирования схемы, представленной на рис. 16, в LTspice при $U_{\text{вх 1}} = 16 \text{ В}$, $U_{\text{вх 2}} = 17 \text{ В}$

$$k_{\text{ст}} = \frac{17 - 16}{16} \div \frac{7.9021 - 7.9013}{7.6} = 593.7499999994$$

Схема однотранзисторного последовательного линейного стабилизатора постоянного напряжения

Построим схему однотранзисторного последовательного линейного стабилизатора постоянного напряжения, учитывая проведенные ранее расчеты

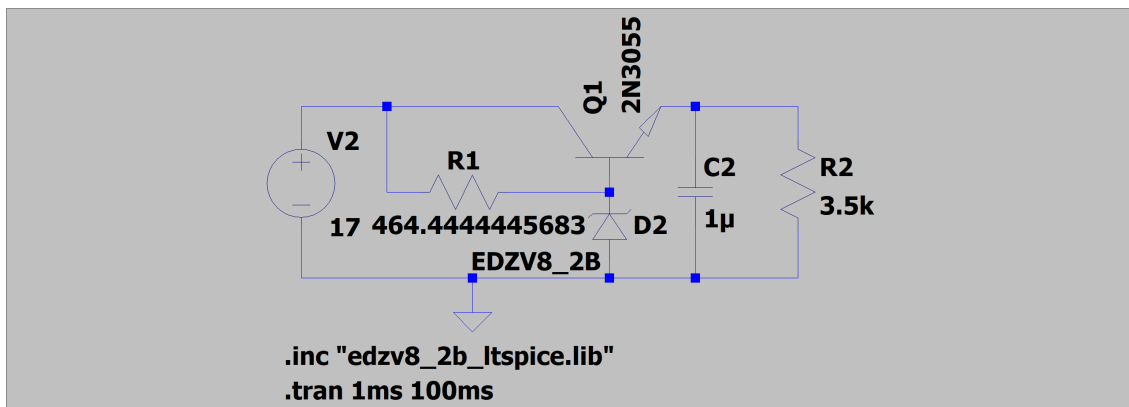


Рис. 16: Схема однотранзисторного последовательного линейного стабилизатора постоянного напряжения

Влияние сопротивления нагрузки на работу стабилизатора

Проверим выходное напряжение цепи и ток на стабилизаторе при постоянном входном напряжении 16 В и различных сопротивлениях нагрузки. $V(n001) \equiv U_{\text{вх}}$, $V(n002) \equiv U_{\text{вых}}$, $I(D2) \equiv I_{\text{ст}}$. Результаты представлены на рис. 17–20

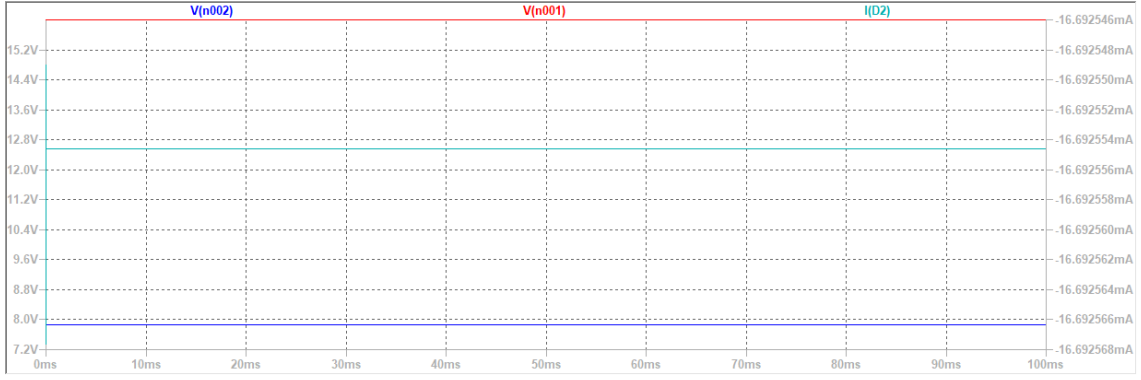


Рис. 17: Выходное напряжение при $R_n = 1000 \text{ Ohm}$; $U_{\text{вых ср}} = 7.8687 \text{ В}$

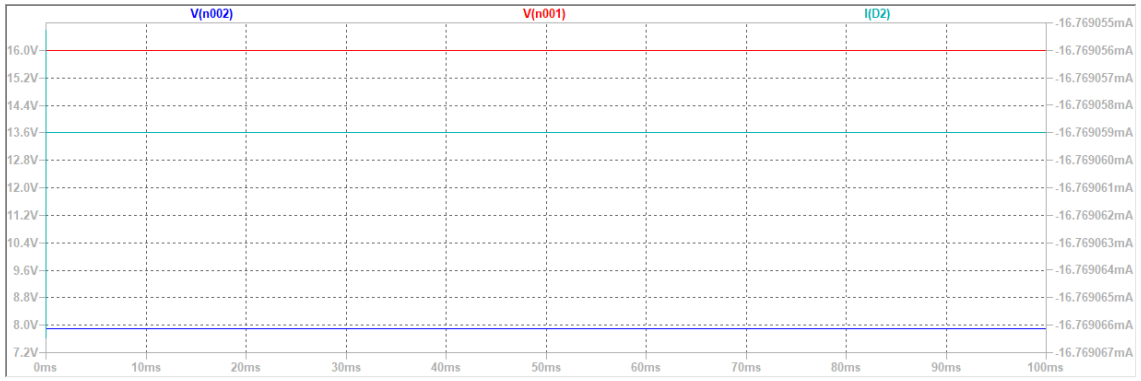


Рис. 18: Выходное напряжение при $R_n = 3500 \text{ Ohm}$; $U_{\text{вых ср}} = 7.9013 \text{ В}$

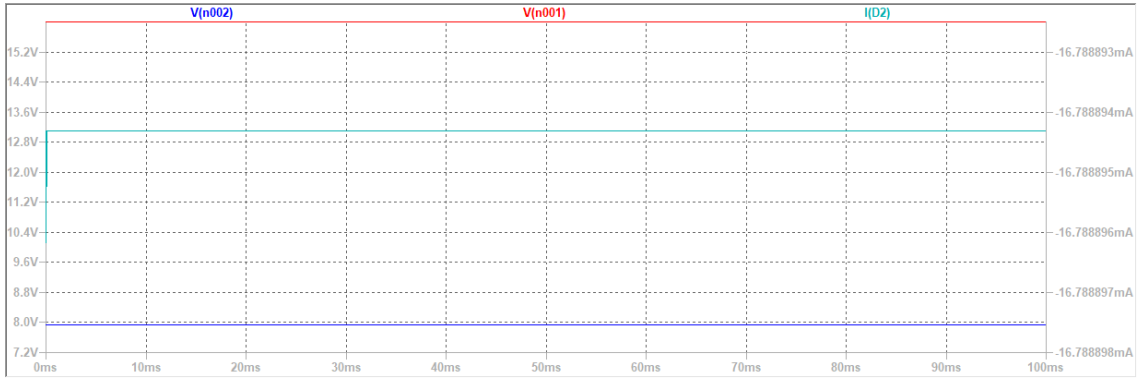


Рис. 19: Выходное напряжение при $R_n = 10000 \text{ Ohm}$; $U_{\text{вых ср}} = 7.9284 \text{ В}$

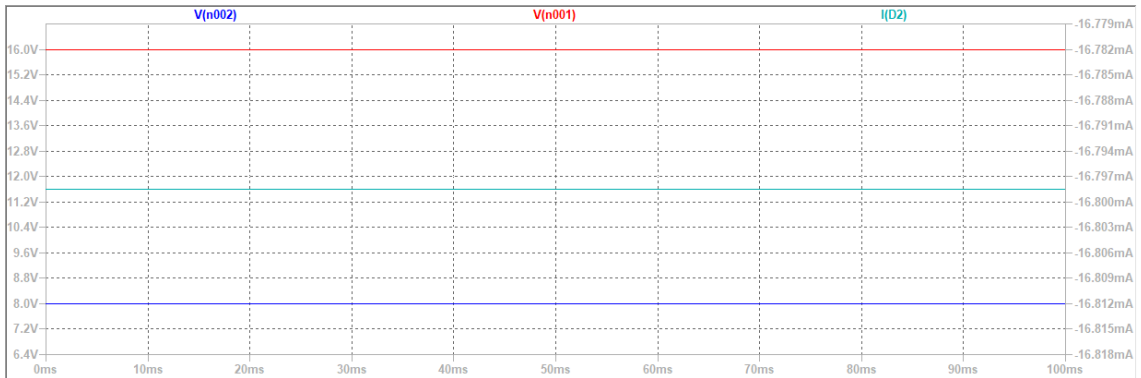


Рис. 20: Выходное напряжение при $R_n = 100000 \text{ Ohm}$; $U_{\text{вых ср}} = 7.9878 \text{ В}$

Выходное напряжение с увеличением сопротивления нагрузки немного увеличивается, при этом стабилитрон потребляет немного больше тока (в сравнении с результатами для первого задания, представленными на рис. 2–5, увеличение потребления тока значительно меньше).

Скачкообразное изменение нагрузки

Выполним моделирование скачкообразного изменения нагрузки аналогично первому заданию (входное напряжение представлено на рис. 6)

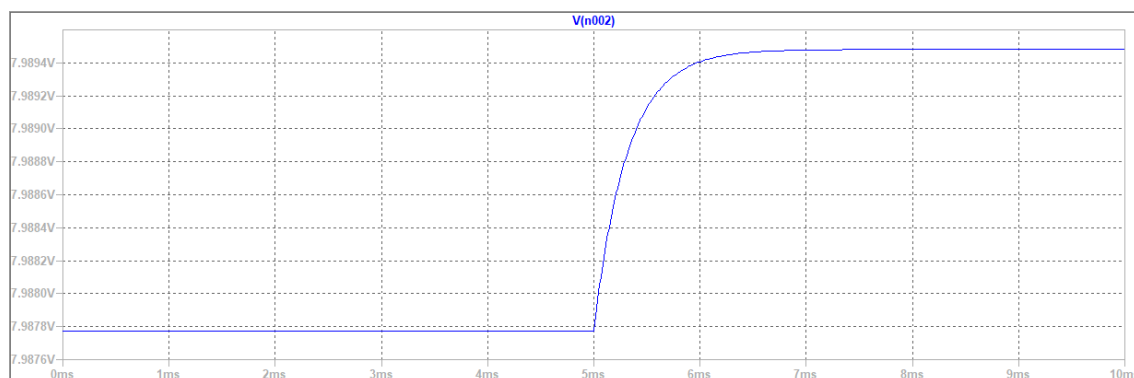


Рис. 21: Выходное напряжение при скачкообразной нагрузке

Скачок напряжения на выходе значительно меньше скачка на входе. Стабилизатор удержал напряжение в районе 8 В. Напряжение до скачка 7.9877738 В, после 7.989481 В.

Нагрузки разного вида при скачкообразном изменении входного напряжения

Снимем осциллограммы выходных напряжений стабилизатора при скачкообразном изменении входного напряжения для нагрузок разного вида. На схеме на рис. 16 представлена активно-емкостная нагрузка. Для начала построим схему только лишь **активной** нагрузки

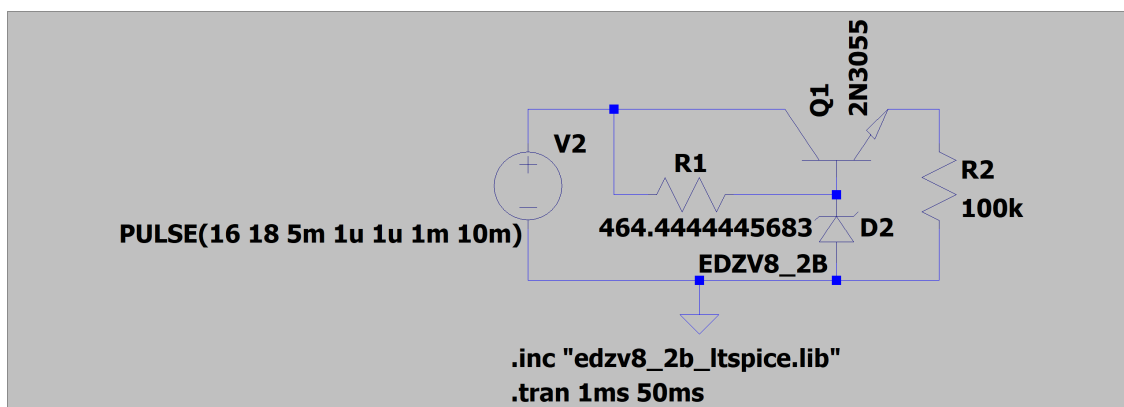


Рис. 22: Схема параметрического стабилизатора: активная нагрузка

Подадим на вход скачкообразный сигнал аналогично первому заданию (см рис. 9). Посмотрим выходное напряжение при **активной** скачкообразной нагрузке

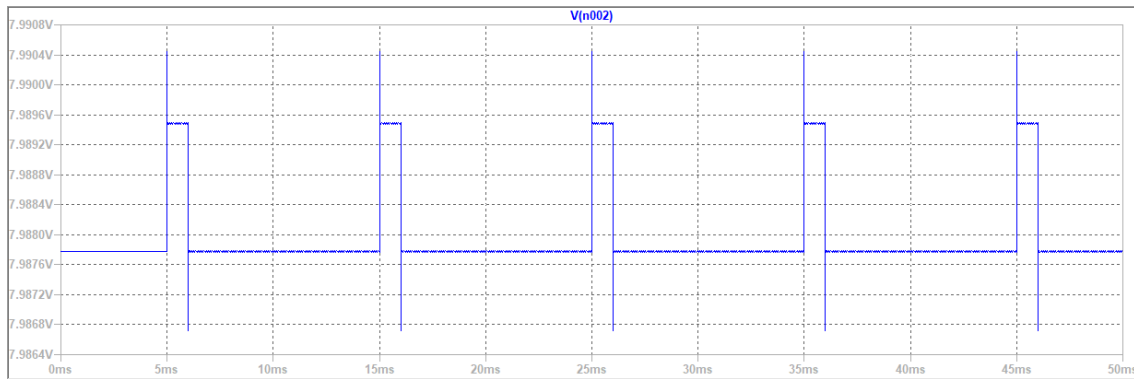


Рис. 23: Выходное напряжение при активной скачкообразной нагрузке

Посмотрим выходное напряжение при **активно-емкостной** нагрузке. Схема была представлена на рис. 16

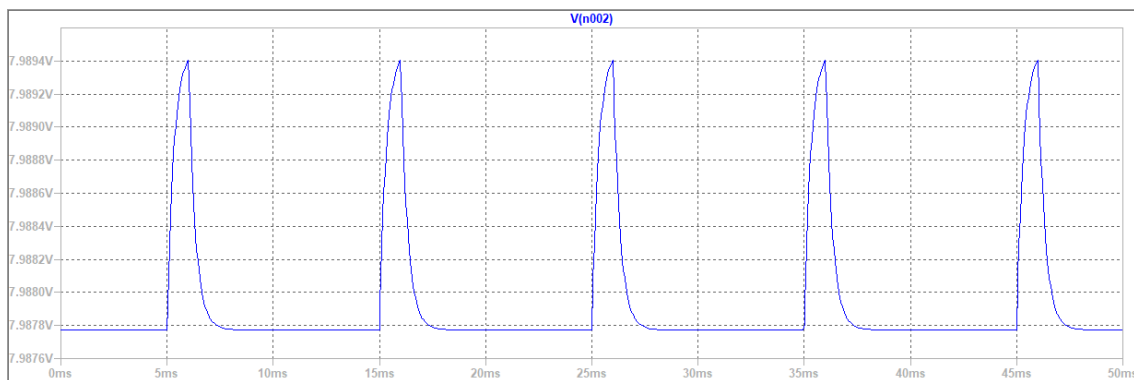


Рис. 24: Выходное напряжение при активно-емкостной скачкообразной нагрузке

Построим схему для проверки **активно-индуктивной** нагрузки. Зададим значение индуктивности в 100 Гн

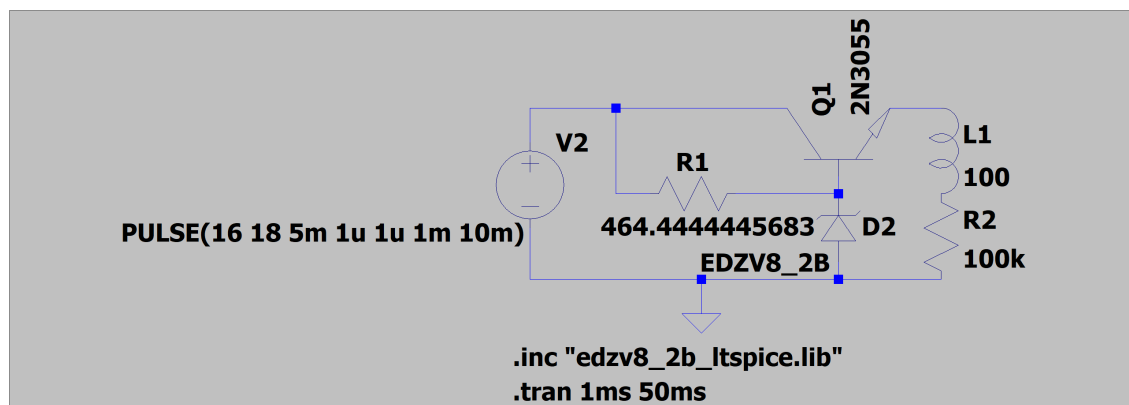


Рис. 25: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивная нагрузка

Посмотрим выходное напряжение при **активно-индуктивной** нагрузке

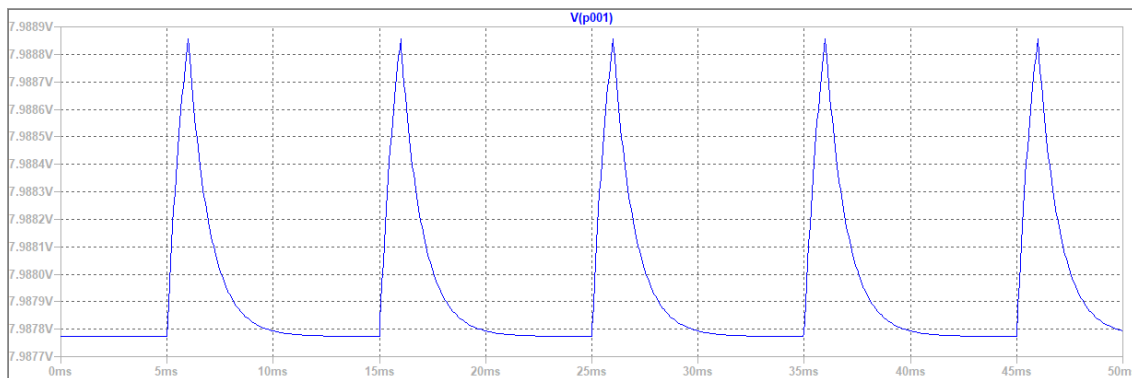


Рис. 26: Выходное напряжение при активно-индуктивной скачкообразной нагрузке

Построим схему для проверки **активно-индуктивно-емкостной** нагрузки. Зададим значение индуктивности в 100 Гн

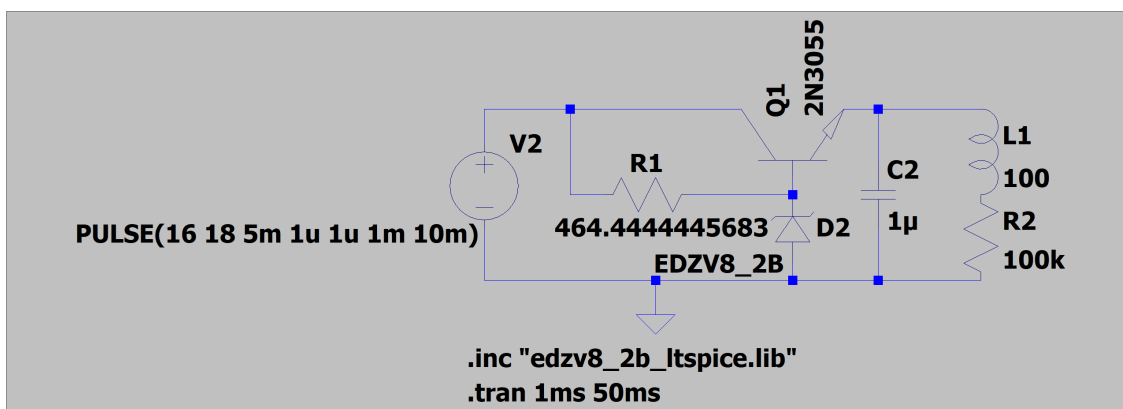


Рис. 27: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивно-емкостная нагрузка

Посмотрим выходное напряжение при **активно-индуктивно-емкостной** нагрузке

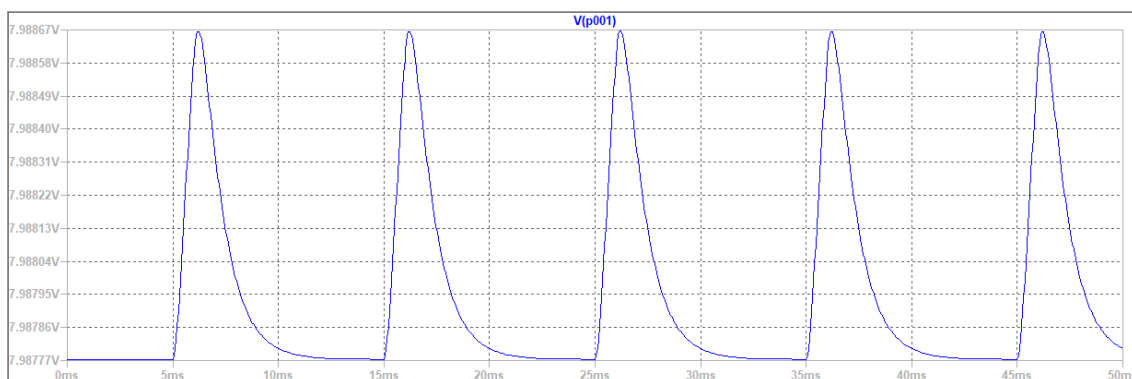


Рис. 28: Выходное напряжение при активно-индуктивно-емкостной скачкообразной нагрузке

Результат лучше всего получился на рис. 28. При увеличении емкости конденсатора пульсации будут сглаживаться еще больше.

Исследование компенсационного стабилизатора постоянного напряжения

Выбор стабилитрона

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

$$U_{\text{ст 1}} = \frac{U_{\text{вых}}}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ В}$$

При этом условии обеспечивается наилучшая стабилизация. Выбираем стабилитрон EDZV3.9В – его напряжение стабилизации близко к рассчитанному. Тогда

$$U_{\text{ст 1}} = 3.9 \text{ В}, I_{\text{ст 1}} = 5 \text{ мА}$$

Расчет параметров схемы

Определим значение сопротивления балластного резистора R_6 . Падение напряжения на балластном сопротивлении составляет

$$U_{R_6} = U_{\text{вых}} - U_{\text{ст 1}} = 8 - 3.9 = 4.1 \text{ В}$$

Значение сопротивления балластного резистора может быть рассчитано по закону Ома

$$R_6 = \frac{U_{R_6}}{I_{\text{ст 1}}} = \frac{4.1}{5 \cdot 10^{-3}} = 820 \text{ Ом}$$

Рассчитаем значения делителя напряжения $R_1...R_3$. 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

$$I_{\text{дел}} = \frac{I_{\text{ст 1}}}{10} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{10} = 0.5 \text{ мА}$$

В стабилизаторе компенсационного типа транзисторы работают в активном режиме. Известно, что в активном режиме напряжение между базой и эмиттером биполярного транзистора составляет 0.6...0.7 В, выберем значение

$$U_{\text{БЭ}} = 0.65 \text{ В}$$

Таким образом потенциал базы, равный падению напряжения на резисторе R_3 составляет

$$U_{R_3} = U_{\text{ст 1}} + 0.65 = 4.55 \text{ В}$$

А на R_1

$$U_{R_1} = U_{\text{вых}} - U_{R_3} = 8 - 4.55 = 3.45 \text{ В}$$

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

$$R_3 = \frac{U_{R_3}}{I_{\text{дел}}} = \frac{4.55}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 9.1 \text{ кОм},$$

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{\text{дел}}} = \frac{3.45}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 6.9 \text{ кОм};$$

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 EDZV13B с напряжением стабилизации $U_{\text{ст } 2} = 13 \text{ В}$ и током $I_{\text{ст } 2} = 5 \text{ мА}$. Найдем значение сопротивления балластного резистора $R_{\text{см}}$ для номинальный значений параметров схемы

$$R_{\text{см}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{ст } 2}}{I_{\text{ст } 2}} = \frac{16 - 13}{5 \cdot 10^{-3}} = 600 \text{ Ом}$$

Рассчитаем значение сопротивления резистора R_K . Для стабильной работы цепи опорного напряжения (транзистор 2), 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

$$I_{R_K} = \frac{I_{\text{ст } 2}}{2} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2} = 2.5 \text{ мА}$$

Кроме того, на нём падает разность между входным и выходным напряжениями

$$U_{R_K} = U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}} = 16 - 8 = 8 \text{ В},$$

$$R_K = \frac{U_{R_K}}{I_{R_K}} = \frac{8}{2.5 \cdot 10^{-3}} = 3.2 \text{ кОм};$$

Выберем транзисторы для стабилизатора. Пусть первый транзистор Q1 будет 2N3904 с параметрами

$$U_{KЭ_{\text{макс}}} = 40 \text{ В}, I_K = 200 \text{ мА}, h_{21Э} = 100...300;$$

Возьмем такой же транзистор в качестве выходного (транзистор 3). В качестве второго транзистора выберем 2N2222 с параметрами

$$U_{KЭ_{\text{макс}}} = 40 \text{ В}, I_K = 600 \text{ мА}, h_{21Э} = 75...300;$$

Рассчитаем ток нагрузки

$$I_n = \frac{8}{3500} = 0.0022857143 \text{ А}$$

Определим ток базы третьего транзистора

$$I_{B_{T3}} = \frac{I_n}{h_{21Э_{\text{мин}}}} = \frac{0.002}{100} = 0.0000228571 \text{ А}$$

Транзистор усиливает ток, текущий через R_K . Для выбранного транзистора 3 имеем выходной ток

$$I_{K_{T3}} = I_{R_K} h_{21Э_{\text{мин}}} = 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot 75 = 0.1875 \text{ А}$$

Рассчитаем $R_{Э}$ при $h_{21Э} = 85$

$$R_{Э} = \frac{U_{BЭ}}{I_n} h_{21Э} = \frac{0.65}{0.002} \cdot 85 = 24171.8748489258 \text{ Ом}$$

Коэффициент стабилизации

Рассчитаем коэффициент стабилизации аналогично заданию 2