

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

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Исходные данные</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Исследование параметрического стабилизатора</b>	<b>2</b>
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
<b>4</b>	<b>Исследование одностранзисторного последовательного линейного стабилизатора</b>	<b>8</b>
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
<b>5</b>	<b>Исследование компенсационного стабилизатора постоянного напряжения</b>	<b>14</b>
5.1	Выбор стабилитрона . . . . .	14
5.2	Расчет параметров схемы . . . . .	14

## 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

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

### Коэффициент стабилизации

Определим коэффициент стабилизации

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

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

Посчитаем оценку  $k_{\text{ст.}}$  (приближенно коэффициент стабилизации)

$$\hat{k}_{\text{ст.}} = \frac{R_6 U_{\text{вых.}}}{r_{\text{ст.}} U_{\text{вх.}}} = 12.9146123629$$

### Коэффициент полезного действия

Определим коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{I_{\text{ст. ном.}} U_{\text{ст.}}}{U_{\text{вх.}} (I_{\text{ст. ном.}} + I_{\text{н.}})} = \frac{0.008 \cdot 8.2}{16 (0.008 + 0.002)} = 0.3961265720 \approx 40\%$$

### 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)

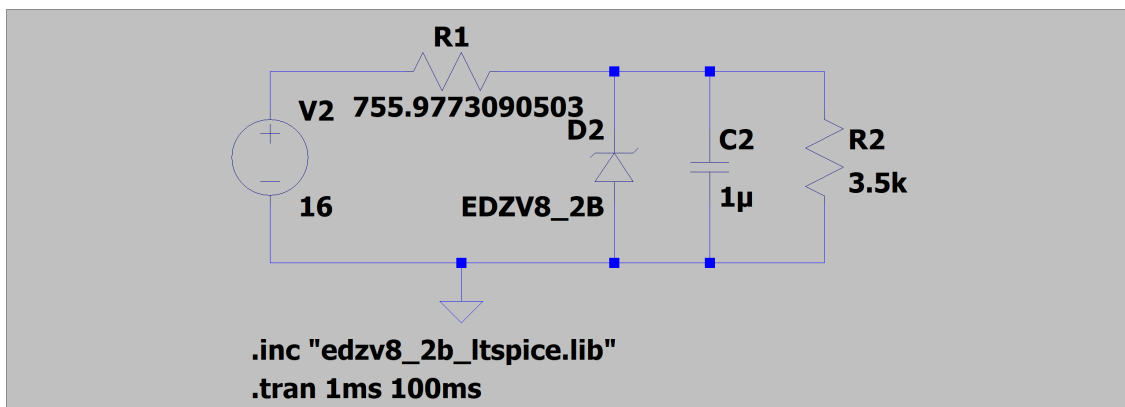


Рис. 1: Схема параметрического стабилизатора постоянного напряжения

### Влияние сопротивления нагрузки на работу стабилизатора

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

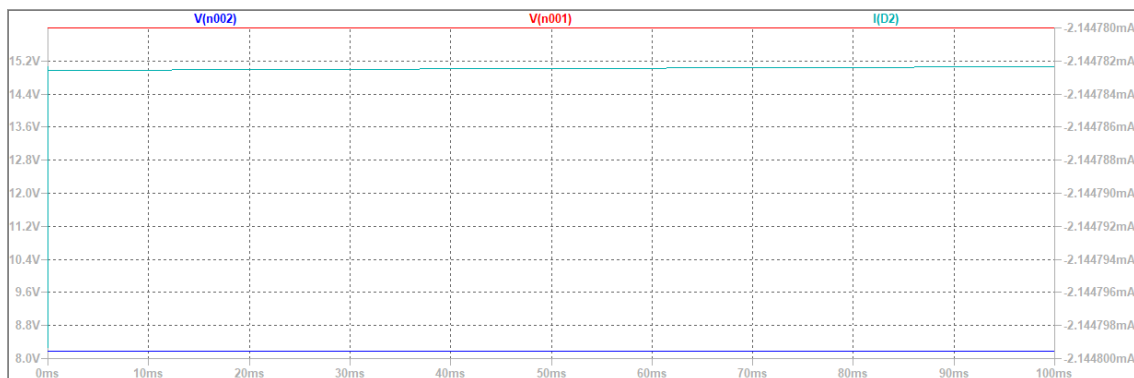


Рис. 2: Выходное напряжение при  $R_{\text{н.}} = 1000 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 8.1884 \text{ В}$

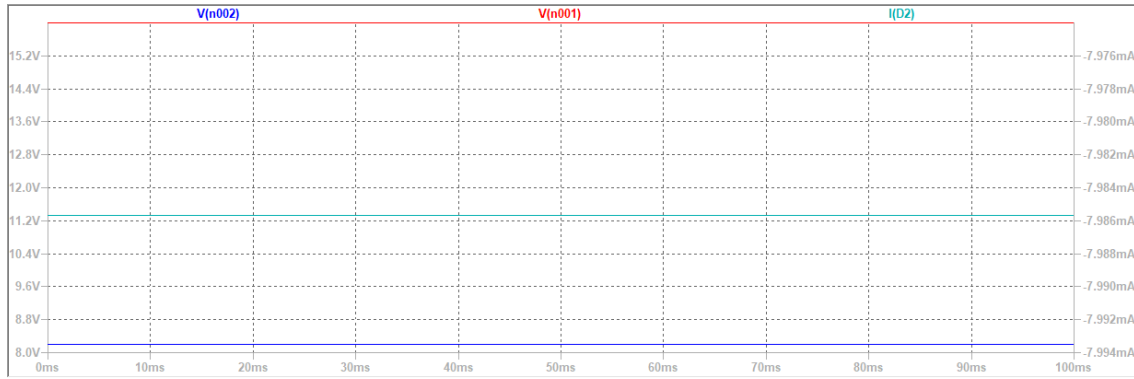


Рис. 3: Выходное напряжение при  $R_{\text{н.}} = 3500 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 8.1933 \text{ В}$

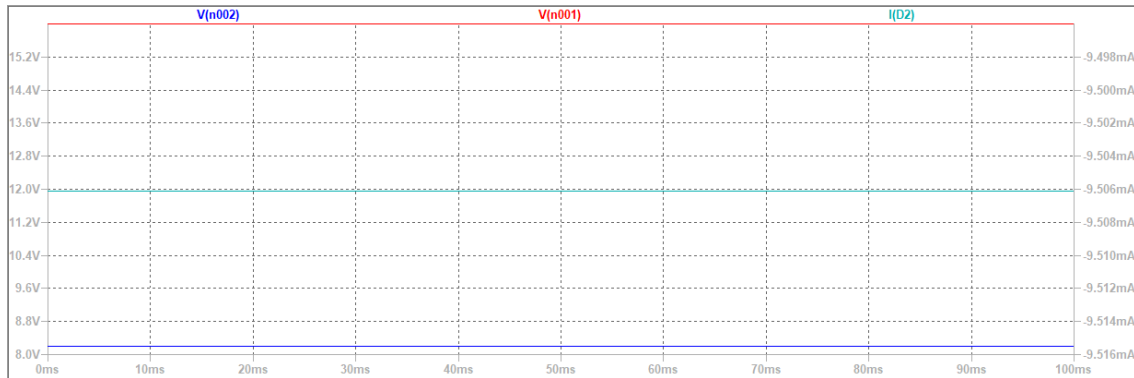


Рис. 4: Выходное напряжение при  $R_{\text{н.}} = 10000 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 8.1941 \text{ В}$

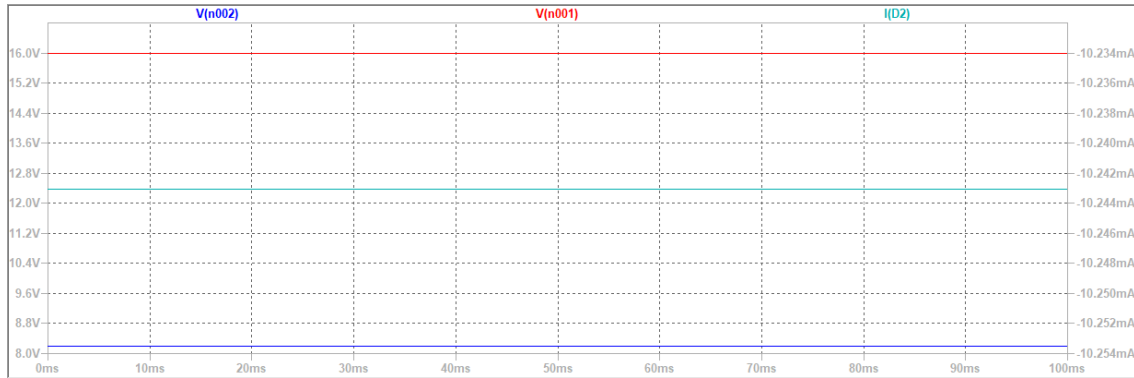


Рис. 5: Выходное напряжение при  $R_{\text{н.}} = 100000 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 8.1945 \text{ В}$

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

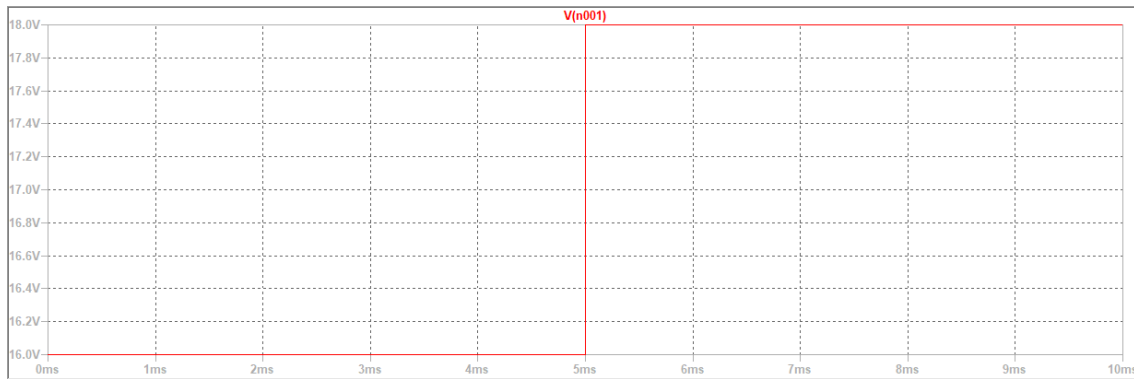


Рис. 6: Скачкообразная нагрузка с 16 В до 18 В

При таком входном напряжении на выходе получаем

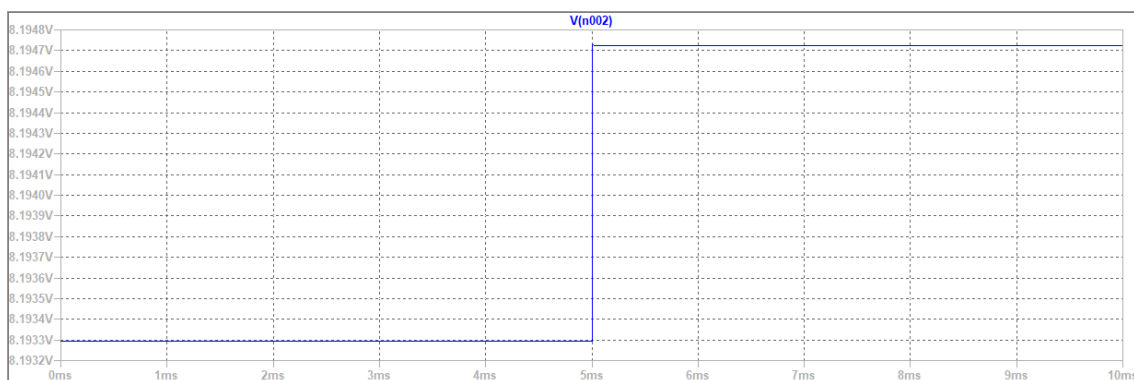


Рис. 7: Выходное напряжение при скачкообразной нагрузке

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

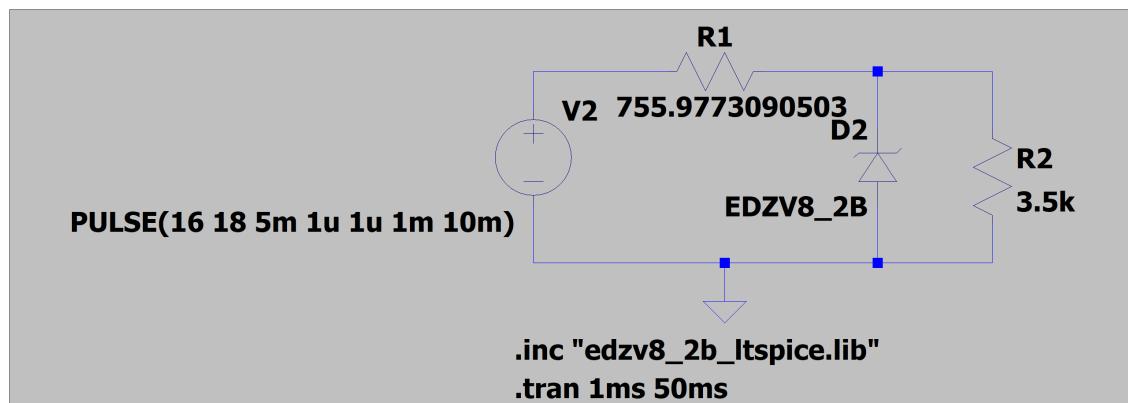


Рис. 8: Схема параметрического стабилизатора: активная нагрузка

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

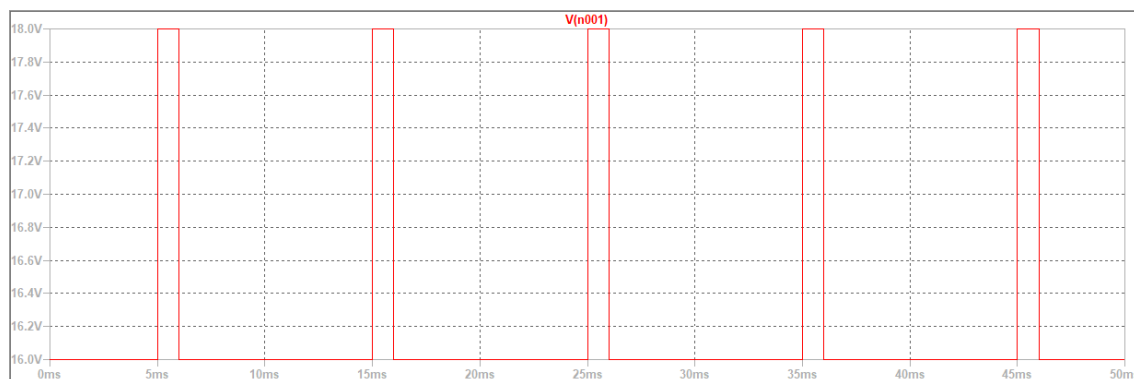


Рис. 9: Повторяющаяся скачкообразная нагрузка с 16 В до 18 В

Посмотрим выходное напряжение при **активной** скачкообразной нагрузке

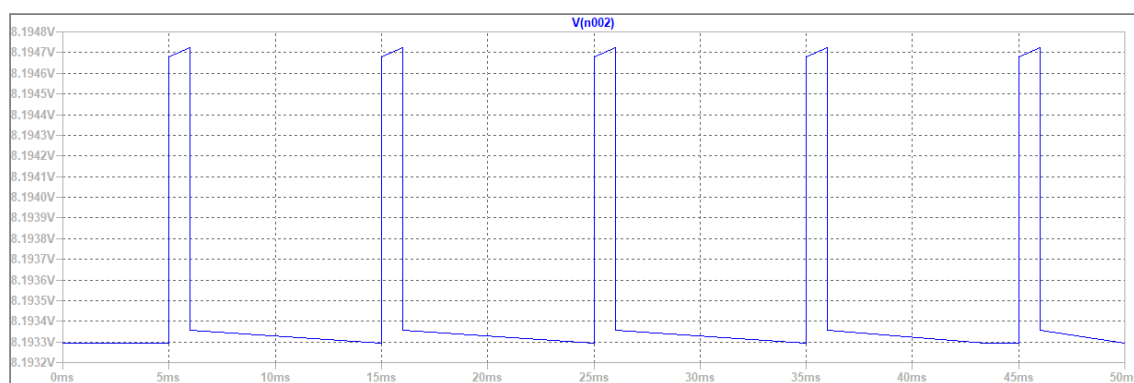


Рис. 10: Выходное напряжение при активной скачкообразной нагрузке

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

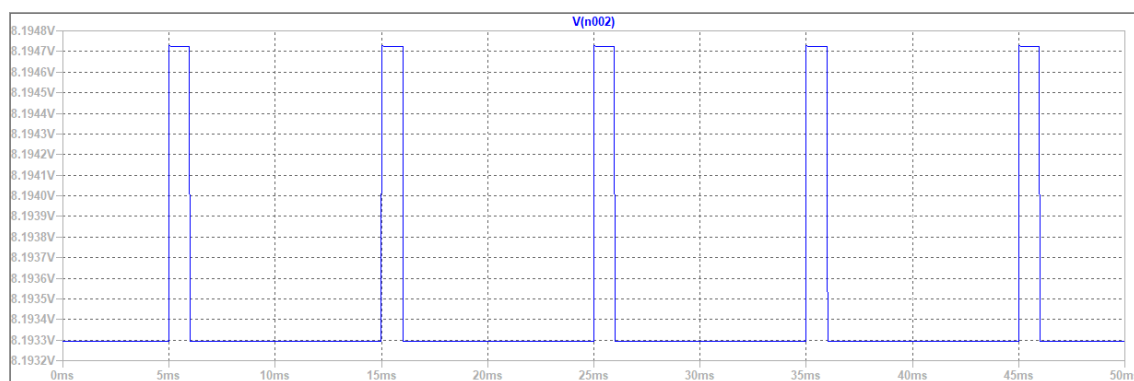


Рис. 11: Выходное напряжение при активно-емкостной скачкообразной нагрузке

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

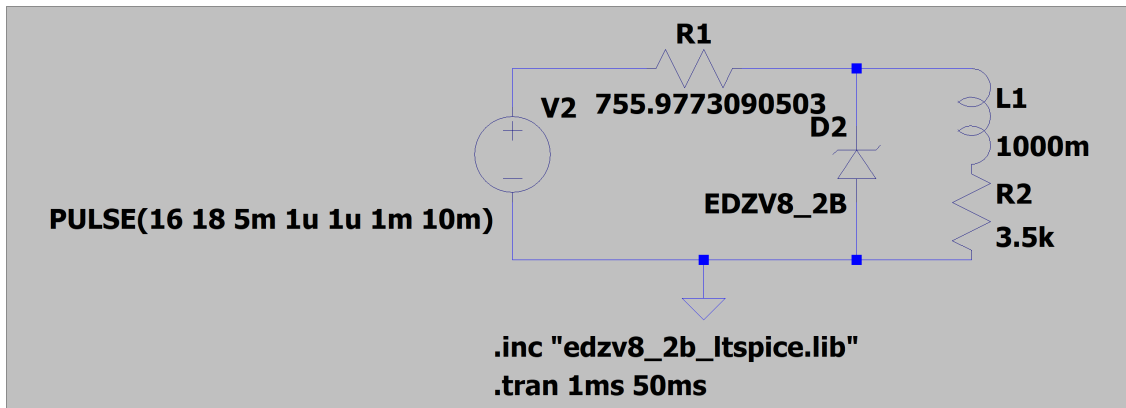


Рис. 12: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивная нагрузка

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

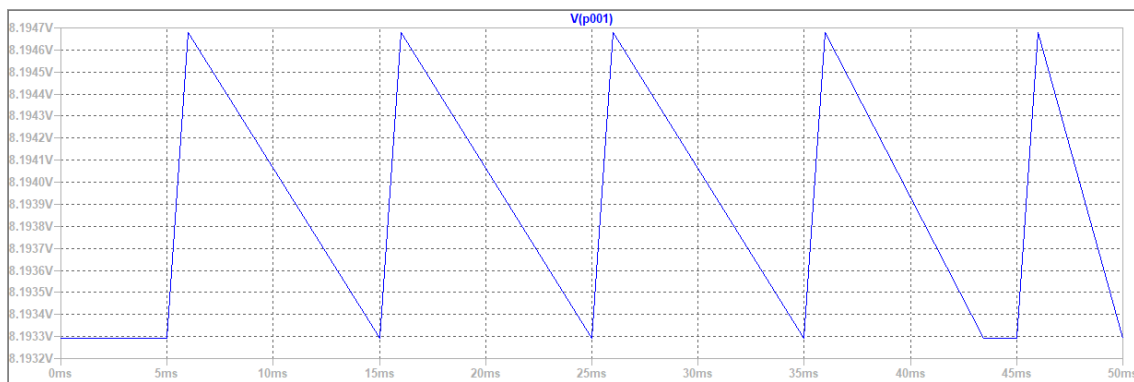


Рис. 13: Выходное напряжение при активно-индуктивной скачкообразной нагрузке

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

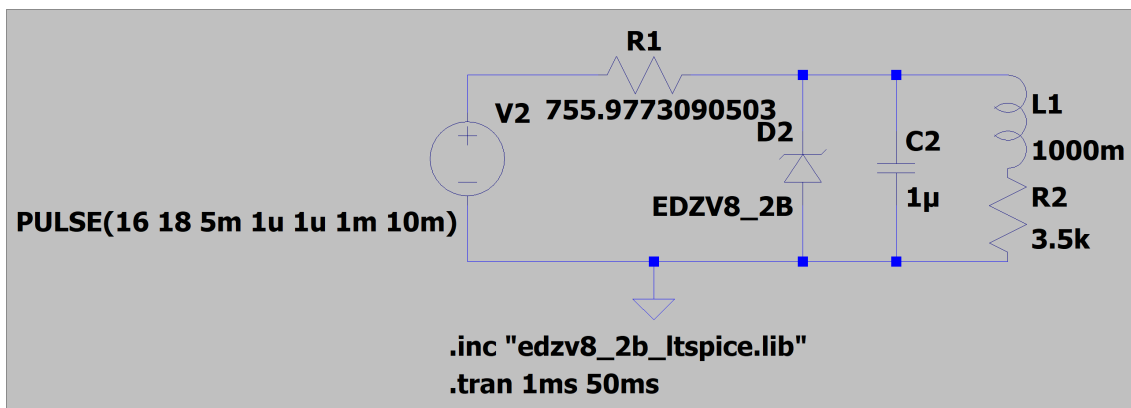


Рис. 14: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивно-емкостная нагрузка

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



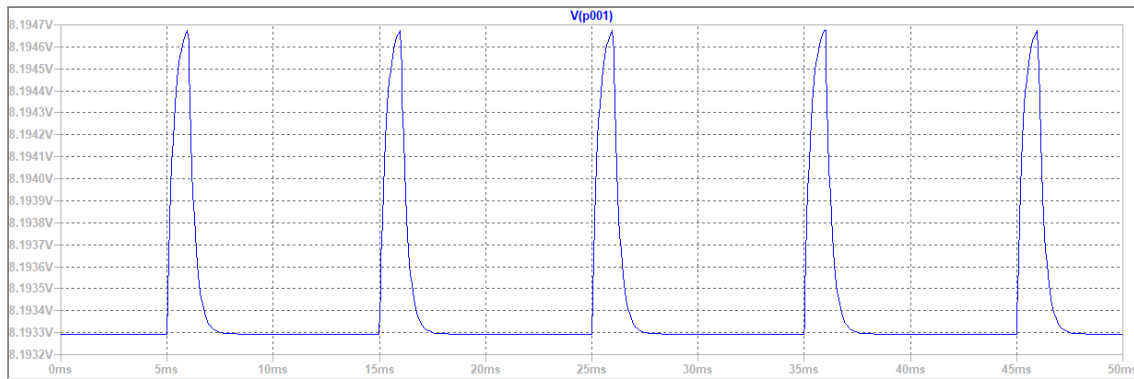


Рис. 15: Выходное напряжение при активно-индуктивно-емкостной скачкообразной нагрузке

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

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

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

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  $R$

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

### 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

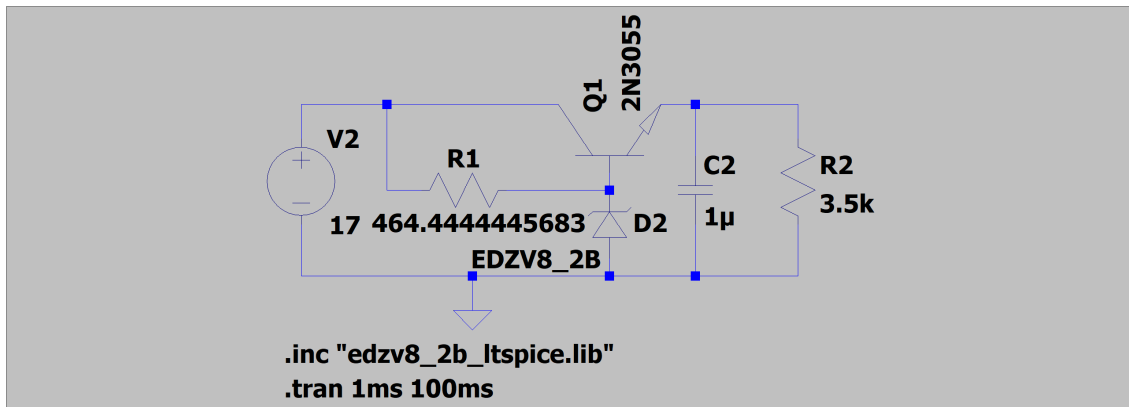


Рис. 16: Схема однотранзисторного последовательного линейного стабилизатора постоянного напряжения

### 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

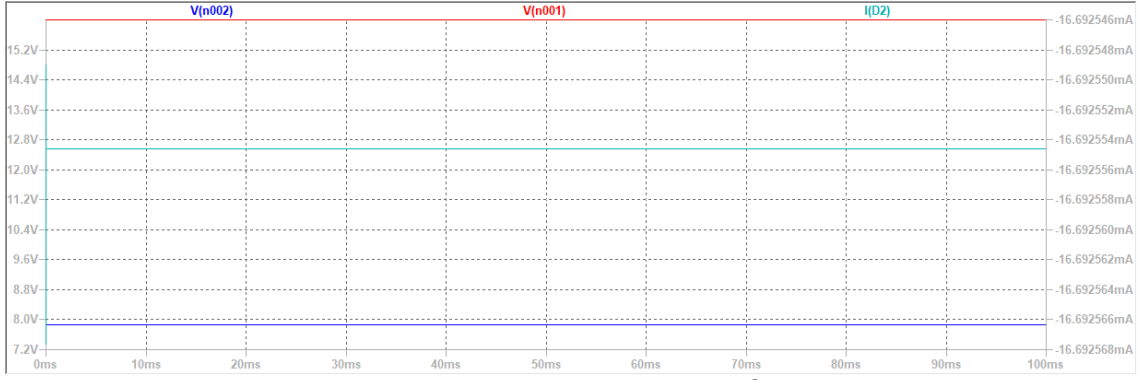


Рис. 17: Выходное напряжение при  $R_{\text{н}} = 1000 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 7.8687 \text{ В}$

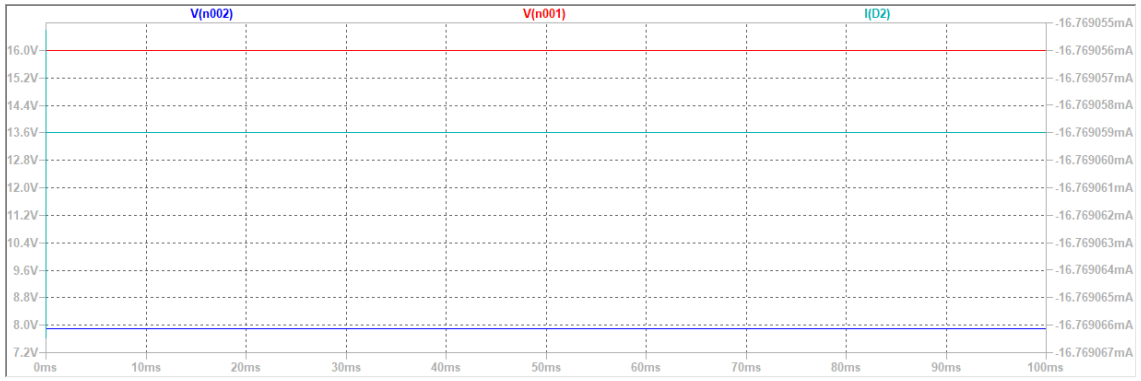


Рис. 18: Выходное напряжение при  $R_{\text{н}} = 3500 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 7.9013 \text{ В}$

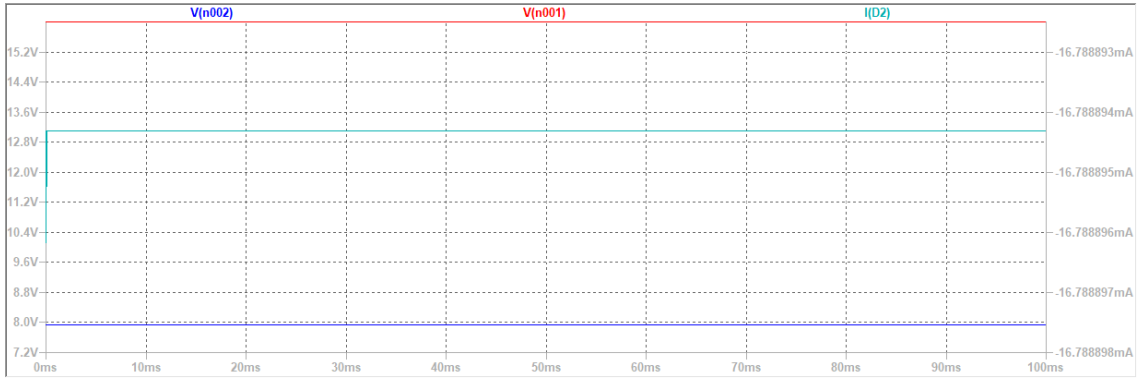


Рис. 19: Выходное напряжение при  $R_{\text{н}} = 10000 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 7.9284 \text{ В}$

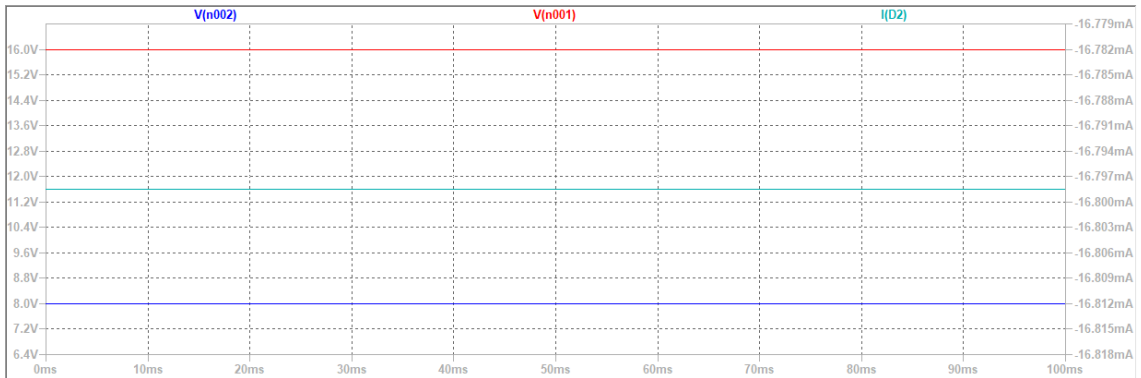


Рис. 20: Выходное напряжение при  $R_{\text{н}} = 100000 \text{ Ом}$ ;  $U_{\text{вых. ср.}} = 7.9878 \text{ В}$

Выходное напряжение с увеличением сопротивления нагрузки немного увеличивается, при этом стабилизатор 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)

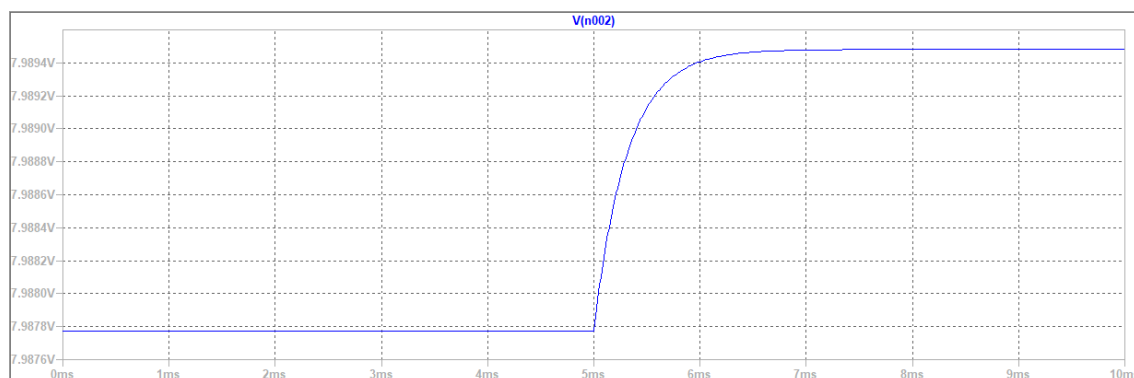


Рис. 21: Выходное напряжение при скачкообразной нагрузке

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

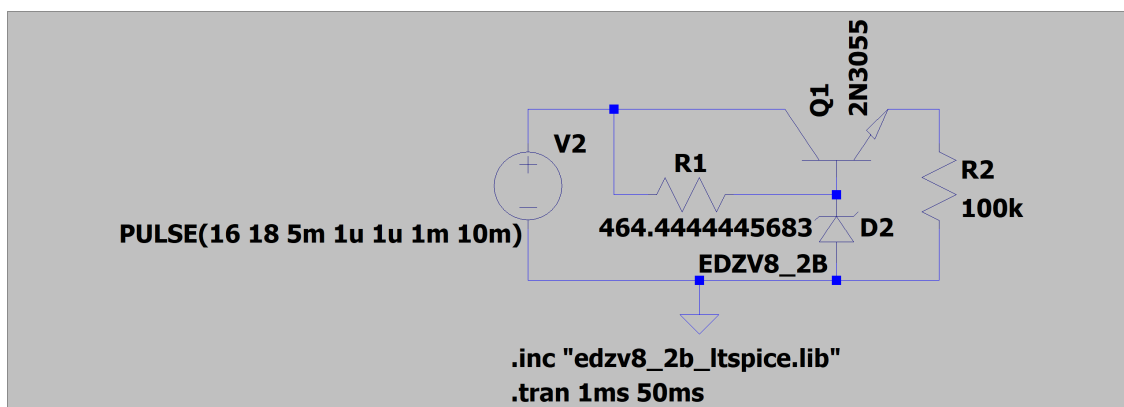


Рис. 22: Схема параметрического стабилизатора: активная нагрузка

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

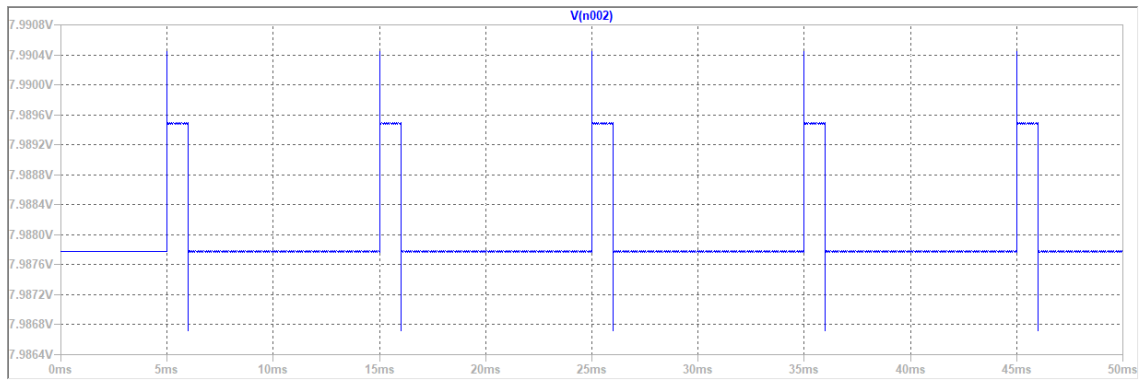


Рис. 23: Выходное напряжение при активной скачкообразной нагрузке

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

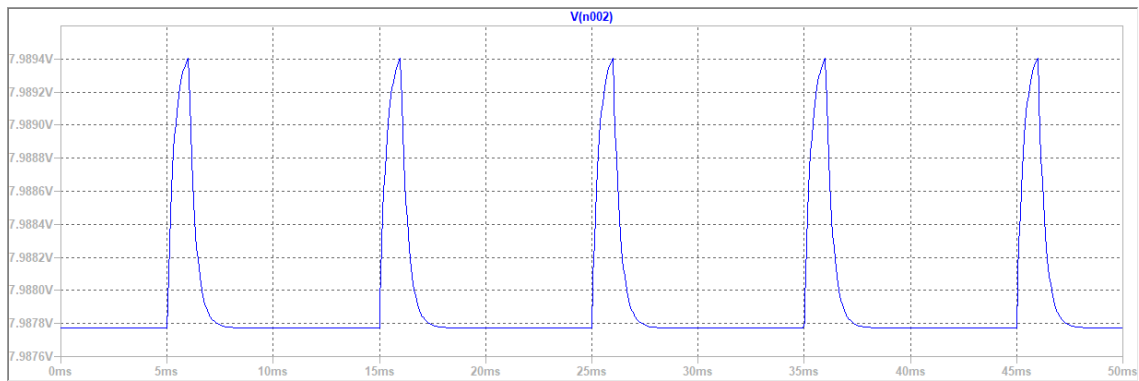


Рис. 24: Выходное напряжение при активно-емкостной скачкообразной нагрузке

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

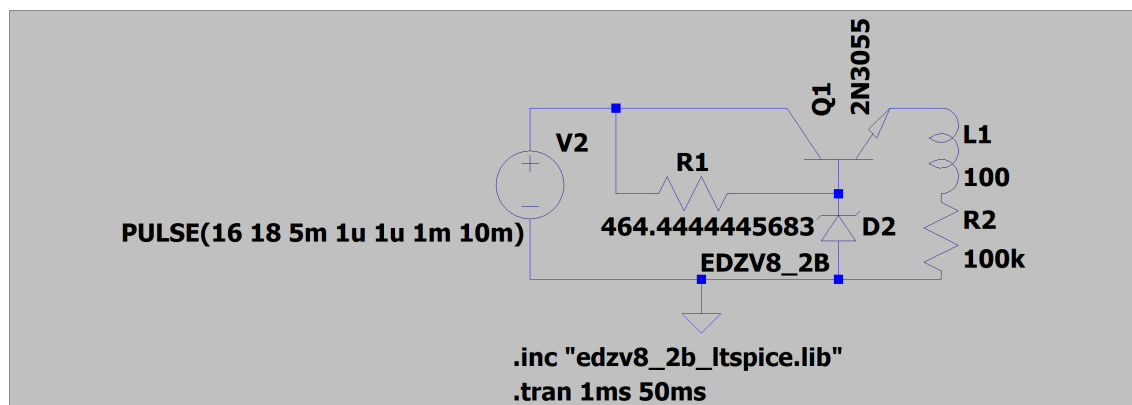


Рис. 25: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивная нагрузка

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

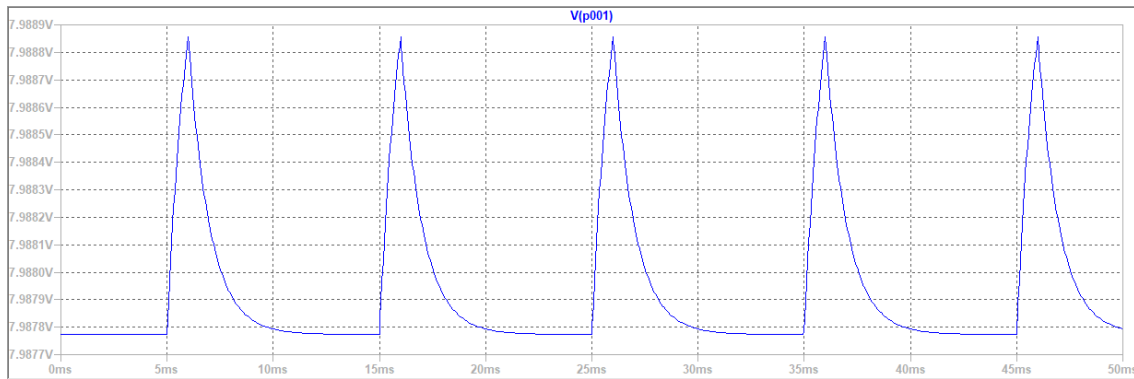


Рис. 26: Выходное напряжение при активно-индуктивной скачкообразной нагрузке

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

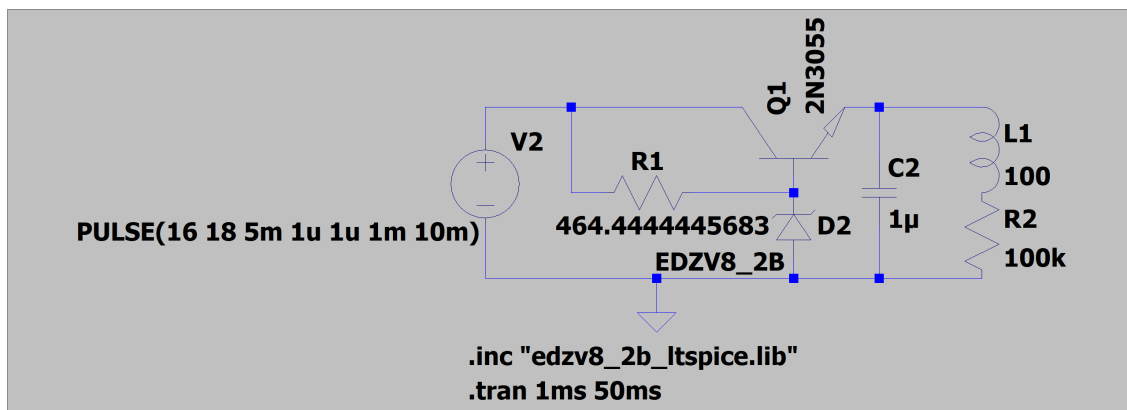


Рис. 27: Схема параметрического стабилизатора: активно-индуктивно-емкостная нагрузка

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

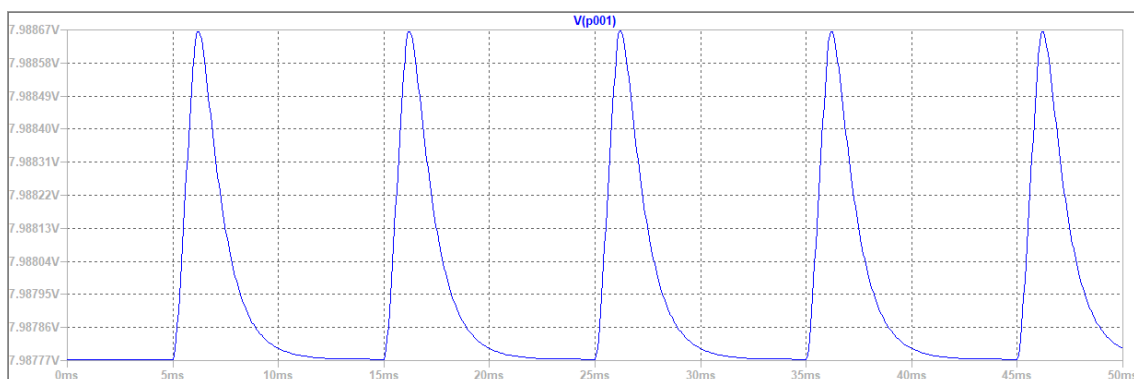


Рис. 28: Выходное напряжение при активно-индуктивно-емкостной скачкообразной нагрузке

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 EDZV3.9B – 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 EDZV13В с напряжением стабилизации  $U_{\text{ст. 2}} = 13 \text{ В}$  и током  $I_{\text{ст. 2}} = 5 \text{ мА}$ . Найдём значение сопротивления балластного резистора  $R_{\text{СМ}}$  для номинальных 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 (ст. 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

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

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