

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 10.02.2022 15:45:00
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

«22» сентября 2016 г.



ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторной работы
по дисциплинам «Электротехника, электроника, схемотехника»
и «Основы электроники»
для студентов специальности 09.03.01 «Информатика
и вычислительная техника»

Курск 2016

УДК 621.37(075)

Составители: В. И. Иванов, М.В. Бобырь

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Е.О. Брежнева*

Импульсный стабилизатор напряжения : методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Электротехника, электроника, схемотехника» и «Основы электроники» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В. И. Иванов, М.В. Бобырь. – Курск, 2016. – 15 с.: ил. 8, табл. 2. – Библиогр.: с.15.

Изложена методика проектирования и исследования импульсного стабилизатора напряжения с релейным управлением в апериодическом режиме; приведены рекомендации по применению программы моделирования электронных схем **Electronics Workbench 5.0** для исследования характеристик стабилизатора.

Методические указания соответствуют требованиям программы дисциплин «Электротехника, электроника, схемотехника» и «Основы электроники».

Предназначены для студентов специальности 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 22.09.16. Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 50 экз. Заказ.952. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Изучение принципа работы стабилизаторов напряжения с импульсным (релейным) режимом управления; исследование схемы понижающего стабилизатора с ключевым режимом работы проходного транзистора.

2. Основные положения

Импульсные, или ключевые, источники электропитания в настоящее время получили распространение не меньшее, чем линейные стабилизаторы напряжения. Их основными достоинствами являются: высокий коэффициент полезного действия, малые габариты и масса, высокая удельная мощность. Все перечисленные свойства эти источники питания получили благодаря применению ключевого режима работы силовых элементов. В ключевом режиме проходной транзистор большую часть времени находится в области насыщения или области отсечки, а зону активного (линейного) режима проходит с высокой скоростью за очень малое время переключения. При этом в области насыщения напряжение на транзисторе близко к нулю, а в режиме отсечки в транзисторе отсутствует ток, благодаря чему потери в транзисторе оказываются достаточно малыми. Все это приводит к тому, что средняя за период коммутации мощность, рассеиваемая в ключевом транзисторе, оказывается намного меньше, чем в линейном регуляторе. Малые потери в силовых ключах приводят к уменьшению или полному исключению охлаждающих радиаторов.

Улучшение массогабаритных характеристик источника питания обусловлено и тем, что из схемы источника питания исключается силовой трансформатор, работающий на частоте 50 Гц. Вместо него в схему вводится высокочастотный трансформатор или дроссель, габариты и масса которых намного меньше низкочастотного силового трансформатора. Однако в ряде случаев такие стабилизаторы являются источником импульсных помех, что снижает информационную надежность электронной аппаратуры.

По способу управления ключевые стабилизаторы подразделяются на импульсные и релейные. В импульсных стабилизаторах частота

управляющих сигналов постоянна, задается внешним генератором, в процессе работы изменяется скважность. В релейных стабилизаторах напряжения управляющие сигналы формируются с помощью компаратора и зависят от выходного напряжения.

Схема понижающего релейного стабилизатора приведена на рисунке 1. В этой схеме используется накопительная индуктивность (дроссель) $L1$, включенная последовательно с нагрузкой. Для сглаживания пульсаций в нагрузке параллельно ей включен конденсатор фильтра $C1$. Проходной транзистор $VT1$ включен между источником питания U_1 и накопительной индуктивностью $L1$. Схема управления включает или выключает транзистор в зависимости от значения напряжения на нагрузке U_2 .

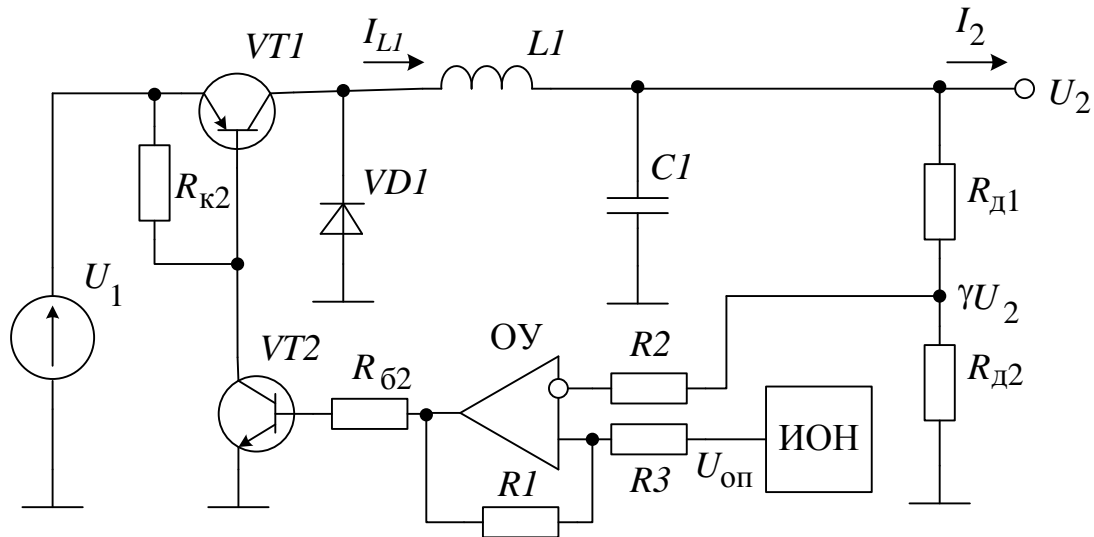


Рис. 1. Импульсный стабилизатор напряжения

Цикл работы стабилизатора поясняется временными диаграммами на рисунке 2. При отпирании транзистора $VT1$ к дросселю приложена разность входного и выходного напряжений, ток индуктивности i_L в интервале времени T_1 нарастает по линейному закону; при этом в дросселе запасается энергия. Когда ток i_L становится больше тока нагрузки I_n , конденсатор заряжается и напряжение u_C на выходе растет. В момент, когда выходное напряжение превысит заданное значение, равное $\frac{U_{оп}}{\gamma} = U_{оп} \frac{R_{д1} + R_{д2}}{R_{д2}}$, срабатывает компаратор ОУ и запирает транзисторы $VT2$ и $VT1$. К этому времени ток i_L достигает максимального значения I_{max} .

При размыкании транзисторного ключа $VT1$ ток индуктивности i_L протекает через диод $VD1$, уменьшаясь по линейному закону под воздействием приложенного к дросселю напряжения U_2 . Включение в схему диода $VD1$ обеспечивает непрерывность тока в индуктивности LI и исключает появление опасных выбросов напряжения на транзисторе $VT1$ в момент коммутации. За время T_2 ток дросселя уменьшается от максимального значения I_{\max} до минимального значения I_{\min} . Ток дросселя отдает накопленную энергию в нагрузку. Когда ток i_L становится меньше тока нагрузки I_H , конденсатор разряжается и напряжение u_C на выходе уменьшается. В момент, когда выходное напряжение опустится ниже значения $\frac{U_{\text{оп}}}{\gamma} = U_{\text{оп}} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$, срабатывает компаратор ОУ и открывает транзисторы $VT2$ и $VT1$.

Перепад тока от минимального до максимального значения называется амплитудой: $I_{\max} - I_{\min} = I_m$. Возможны два режима работы стабилизатора: режим непрерывного тока, когда $I_m \leq 2I_H$, и цикл в стационарном процессе состоит из двух интервалов T_1 и T_2 , и режим с прерыванием тока с амплитудой $I_m > 2I_H$, при этом рабочий цикл содержит, кроме интервалов T_1 и T_2 , и третий интервал времени T_3 , на котором ток в дросселе равен нулю. В любом режиме среднее значение тока дросселя за период равно току нагрузки I_H .

Примем граничный режим стабилизатора с амплитудой $I_m = 2I_H$. В этом режиме $I_{\min} = 0$; $I_{\max} = I_m$. Длительности интервалов T_1 и T_2 связаны между собой соотношениями:

$$I_m = \frac{(U_1 - U_2)T_1}{L} = \frac{U_2 T_2}{L} = 2I_H. \quad (1)$$

Отсюда можно найти период коммутации, установившийся в стационарных условиях при известных значениях входного напряжения и тока нагрузки:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{2LI_H U_1}{(U_1 - U_2)U_2}. \quad (2)$$

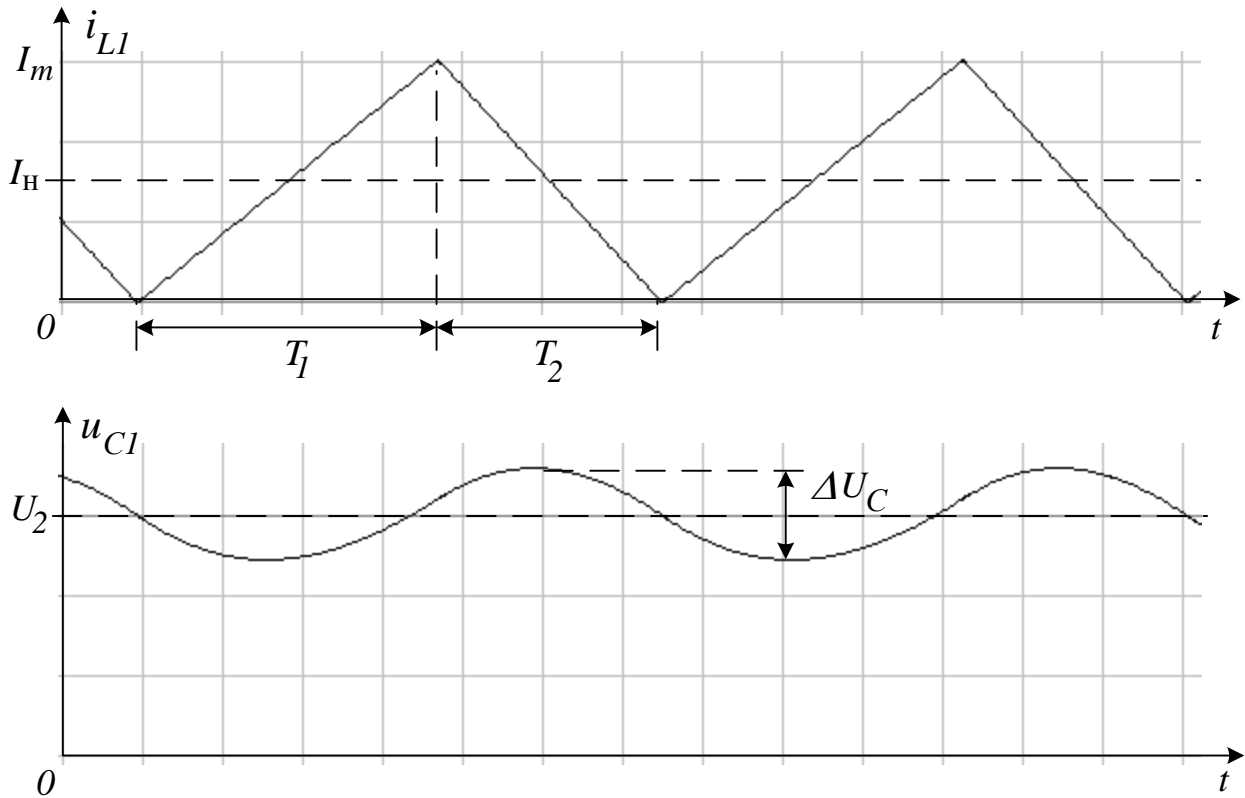


Рис. 2. Диаграммы тока дросселя и выходного напряжения в импульсном стабилизаторе

Диапазон пульсаций выходного напряжения при заряде и разряде конденсатора CI определяется его емкостью C , током нагрузки и периодом коммутации:

$$\Delta U_C = \frac{I_H T}{4C}. \quad (3)$$

При линейной форме тока форма напряжения на конденсаторе состоит из отрезков парабол, однако в первом приближении можно считать ее синусоидальной с амплитудой пульсаций

$$U_m = \frac{\Delta U_C}{2} = \frac{I_H T}{8C} = \frac{LI_H^2 U_1}{4C(U_1 - U_2)U_2}. \quad (4)$$

На самом деле, амплитуда пульсации будет больше указанной в (4) величины, так как пороги срабатывания и отпускания компаратора отличаются на $\Delta U_{\text{пор}}$:

$$U_m = \frac{\Delta U_C}{2} + \Delta U_{\text{пор}} = \frac{LI_H^2 U_1}{4C(U_1 - U_2)U_2} + \Delta U_{\text{пор}}. \quad (5)$$

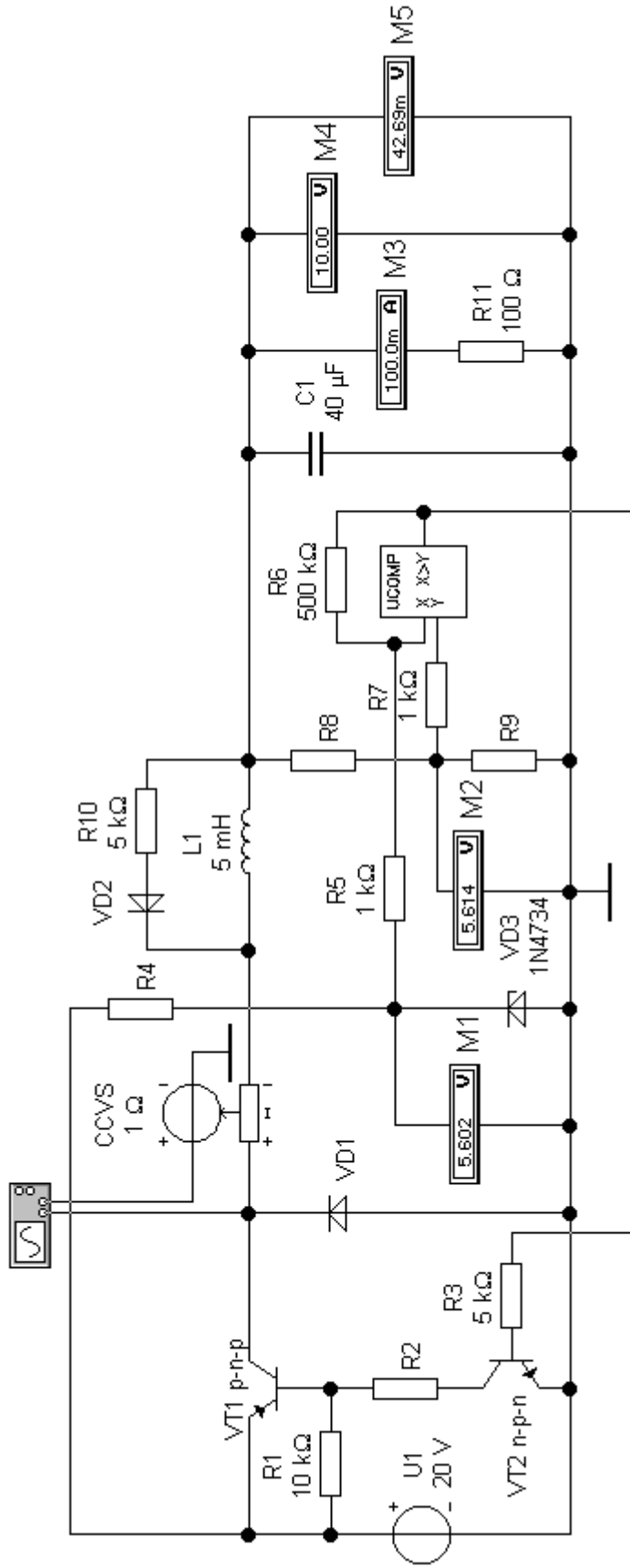


Рис.3. Схема установки для исследования импульсного стабилизатора напряжения

3. Программа работы и методические указания

1. Расчет и налаживание стабилизатора в номинальном режиме

Собрать на рабочем столе программы **Electronics Workbench** схему стабилизатора (рис. 3).

Проходной транзистор $VT1$ типа $p-n-p$ из библиотеки **default** модель **ideal**, его коэффициент $\beta_1 = 100$, транзистор $VT2$ типа $n-p-n$ также из библиотеки **default** модель **ideal**, его коэффициент $\beta_2 = 100$. Мало-мощный транзистор $VT2$ управляет мощным транзистором $VT1$, так как ток базы $VT1$ – это ток коллектора $VT2$. Оба транзистора работают в режиме ключа: когда $VT2$ закрыт, то и $VT1$ выключен; если же $VT2$ открыт до состояния насыщения, то при достаточном для насыщения токе базы и $VT1$ будет включен и насыщен. Сопротивление $R2$ ограничивает ток базы $VT1$ на уровне, превышающем граничное значение при максимальном токе дросселя LI :

$$R_2 < \frac{(U_1 - U_{\text{бэ1}})\beta_1}{I_{\text{max}}}. \quad (5)$$

Варианты заданий приведены в таблице 1.

Таблица 1. Варианты задания

Вариант	U_1 , В	U_2 , В	I_H , мА	F , кГц	Вариант	U_1 , В	U_2 , В	I_H , мА	F , кГц
1	25	12	150	5,0	9	25	15	120	4,0
2	20	10	100	4,0	10	16	8	150	3,0
3	18	8	120	4,5	11	25	11	90	5,0
4	30	15	75	6,0	12	22	10	110	6,0
5	15	6	150	5,5	13	25	12	90	5,5
6	22	12	80	3,3	14	30	13	75	6,3
7	25	13	90	4,8	15	20	9	120	4,5

Вариант	U_1 , В	U_2 , В	I_H , мА	F , кГц	Вариант	U_1 , В	U_2 , В	I_H , мА	F , кГц
8	20	9	120	5,3	16	30	15	70	6,7

Источник опорного напряжения $U_{оп}$ построен на стабилитроне VD3. Выбрать из библиотеки **motor_1n** стабилитрон, у которого напряжение стабилизации $U_{ст}$ (**Zener test voltage**) составляет около половины заданной величины выходного напряжения стабилизатора согласно номеру варианта. В табл. 2 приводится список названий моделей стабилитронов и напряжений $U_{ст}$.

Таблица 2. Модели стабилитронов из библиотеки **motor_1n**

Модель	$U_{ст}$, В	Модель	$U_{ст}$, В	Модель	$U_{ст}$, В
1N4728A	3,3	1N4734A	5,6	1N4740A	10
1N4729A	3,6	1N4735A	6,2	1N4741A	11
1N4730A	3,9	1N4736A	6,8	1N4742A	12
1N4731A	4,3	1N4737A	7,5	1N4743A	13
1N4732A	4,7	1N4738A	8,2	1N4744A	15
1N4733A	5,1	1N4739A	9,1	1N4745A	16

Рассчитать сопротивление балластного резистора R_4 из условия, чтобы ток стабилитрона был равен 10 мА:

$$R_4 = (U_1 - U_{ст})/10, \text{ кОм.} \quad (6)$$

Рассчитать сопротивления резисторного делителя R_8 и R_9 , удовлетворяющие условию:

$$\frac{R_9}{R_8} = \frac{U_{ст}}{U_2 - U_{ст}}. \quad (7)$$

Для определенности принимаем ток делителя равным 1 мА. Тогда суммарное сопротивление $R_8 + R_9 = U_2$ (в килоомах), т. е. R_9 равно $U_{ст}$ (в килоомах), а R_8 – равно $(U_2 - U_{ст})$.

Рассчитать и установить индуктивность дросселя, обеспечивающую заданную частоту коммутации $F = 1/T$ (кГц) по формуле (1). Рекомендуется использовать следующие единицы измерения: период T – в мкс; ток I – в мА; индуктивность L – в мГн; напряжение U – в В.

Рассчитать и установить емкость конденсатора, обеспечивающую амплитуду пульсаций выходного напряжения, равную одному проценту от заданного значения U_2 , по формуле (5).

Рассчитать и установить сопротивление нагрузки R_{II} , которое обеспечивает номинальный ток нагрузки I_n .

Установить в свойствах компаратора (модель **Comparator** из магазина **Analog ICs**) нулевое значение напряжения смещения (**Input Offset Voltage = 0**).

Для наблюдения на экране осциллоскопа временной диаграммы тока дросселя в схему на рис.3 включен преобразователь ток-напряжение (**Current-Controlled Voltage Source** – источник напряжения, управляемого током). Если сопротивление прямой передачи этого четырехполюсника равно одному Ом, то один миллиампер входного тока преобразуется в один милливольт выходного напряжения.

Параллельно дросселю включена цепочка $VD2-R10$ для гашения вспышки колебаний напряжения в колебательном контуре, образованном индуктивностью и межвитковой емкостью дросселя, возникающих в момент исчезновения тока в дросселе.

Включить моделирование и уточнить значение сопротивления R_8 или R_9 так, чтобы выходное напряжение соответствовало заданному значению с точностью до единицы младшего разряда вольтметра. Вольтметр М4 в режиме DC измеряет постоянную составляющую выходного напряжения, а вольтметр М5 в режиме AC – действующее напряжение пульсаций U_p , которое в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитуды пульсаций U_m . Сравнить полученное напряжение пульсаций с заданным значением.

Получить на экране осциллографа временные диаграммы тока дросселя и напряжения, скопировать эти изображения и поместить в отчете.

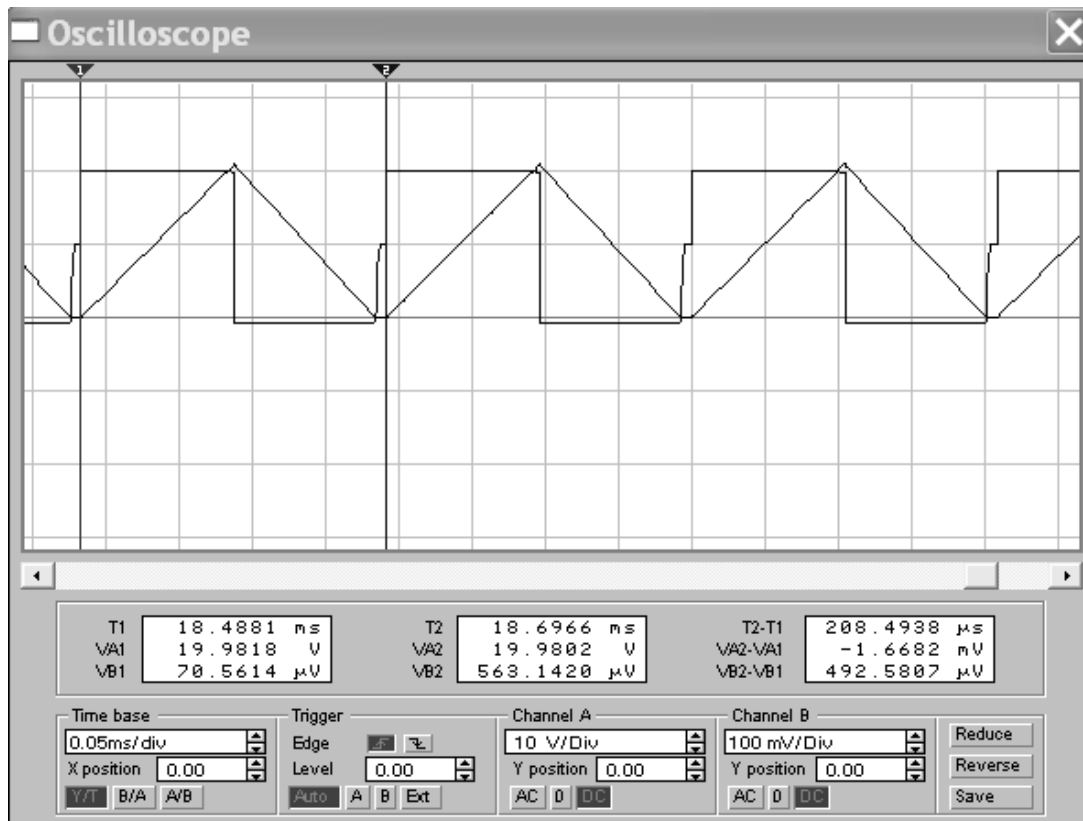


Рис. 4. Диаграммы напряжения на входе дросселя и тока дросселя при номинальном входном напряжении

2. Исследование временных диаграмм при изменениях входного напряжения

Установить на входе повышенное напряжение, на 25% выше номинального значения U_1 , при номинальном выходном токе I_H . Измерить выходное напряжение и напряжение пульсаций. Получить на экране осциллографа временные диаграммы тока дросселя и напряжения, скопировать эти изображения и поместить в отчете. Отметить и объяснить изменения диаграмм и периода колебаний. На рисунке 5 приведен пример осциллограмм для схемы рис. 3.

Повторить эксперимент при уменьшении входного напряжения на 25% ниже номинального значения U_1 , при номинальном выходном токе I_H . Измерить выходное напряжение и напряжение пульсаций. Получить на экране осциллографа временные диаграммы тока дросселя и напряжения, скопировать эти изображения и поместить в отчете. Отметить и объяснить изменения диаграмм и периода колебаний. На рисунке 6 приведен пример осциллограмм для схемы рис. 3.

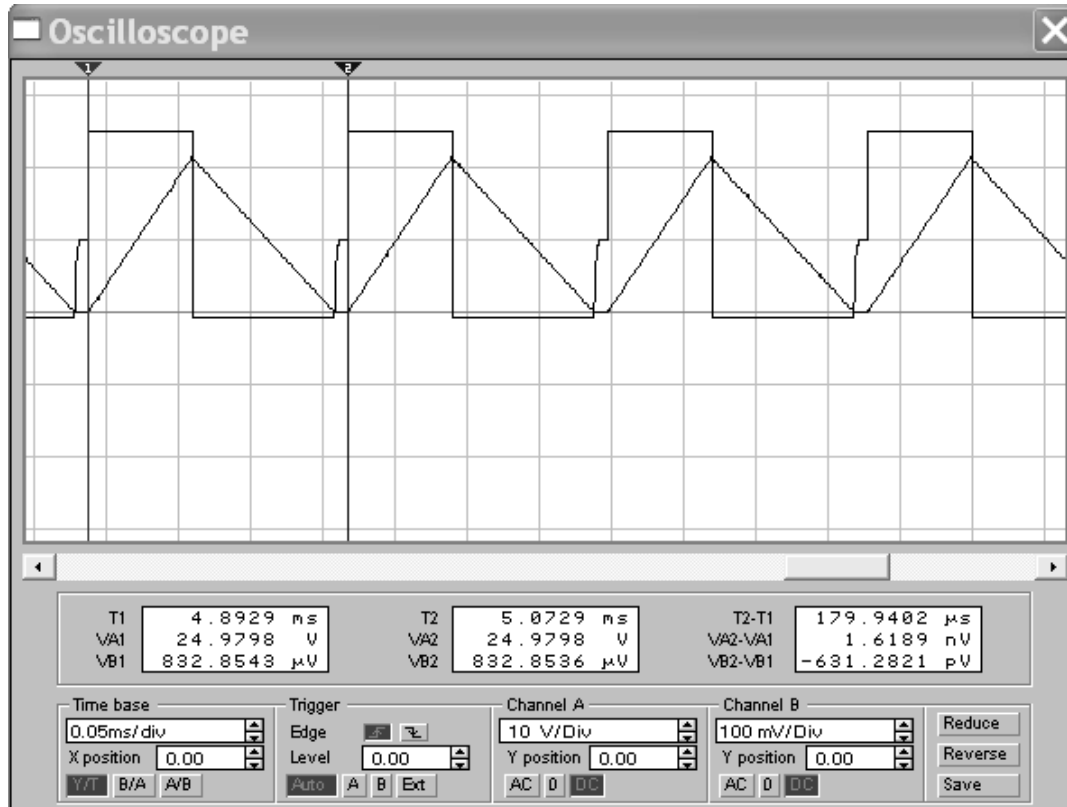


Рис. 5. Диаграммы напряжения на входе дросселя и тока дросселя при повышенном входном напряжении

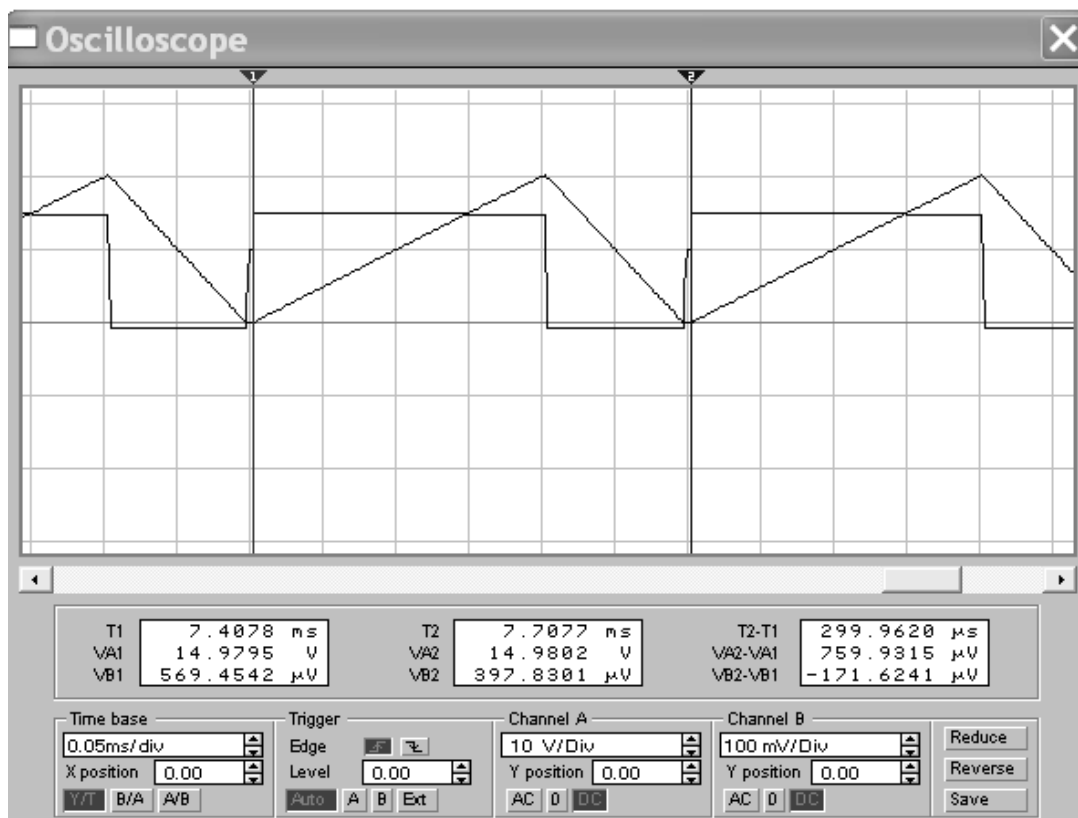


Рис. 6. Диаграммы напряжения на входе дросселя и тока дросселя при пониженном входном напряжении

3. Исследование временных диаграмм при изменениях тока нагрузки

Установить на входе номинальное напряжение U_1 и уменьшить ток нагрузки на 25% от номинального значения I_H . Для этого необходимо увеличить сопротивление нагрузки в 1,33 раза. Измерить выходное напряжение и напряжение пульсаций. Получить на экране осциллографа временные диаграммы тока дросселя и напряжения, скопировать эти изображения и поместить в отчете. Отметить и объяснить изменения диаграмм и периода колебаний. На рисунке 7 приведен пример осциллограмм для схемы рис. 3.

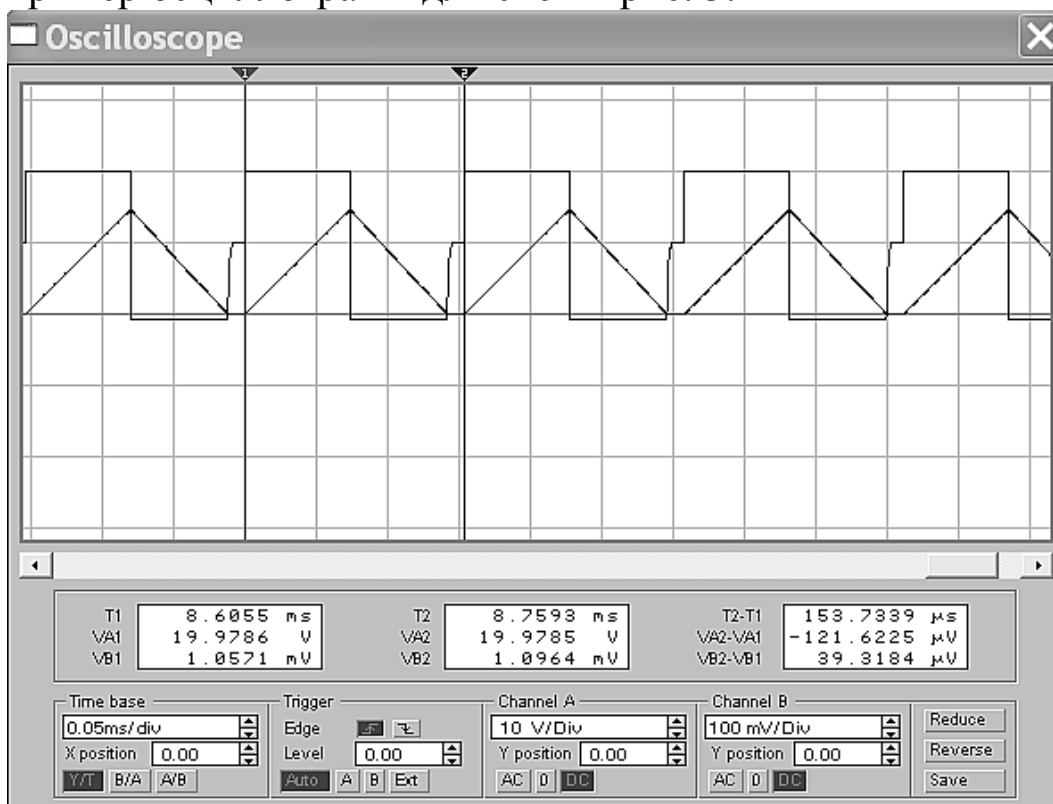


Рис. 7. Диаграммы напряжения на входе дросселя и тока дросселя при уменьшении тока нагрузки

Повторить эксперимент при изменении тока нагрузки в противоположном направлении: при номинальном входном напряжении U_1 увеличить ток нагрузки на 25% от номинального значения I_H . Для этого необходимо уменьшить сопротивление нагрузки в 1,25 раза. Измерить выходное напряжение и напряжение пульсаций. Получить на экране осциллографа временные диаграммы тока дросселя и напряжения, скопировать эти изображения и поместить в отчете. Отме-

тить и объяснить изменения диаграмм и периода колебаний. На рисунке 8 приведен пример осциллограмм для схемы рис. 3.

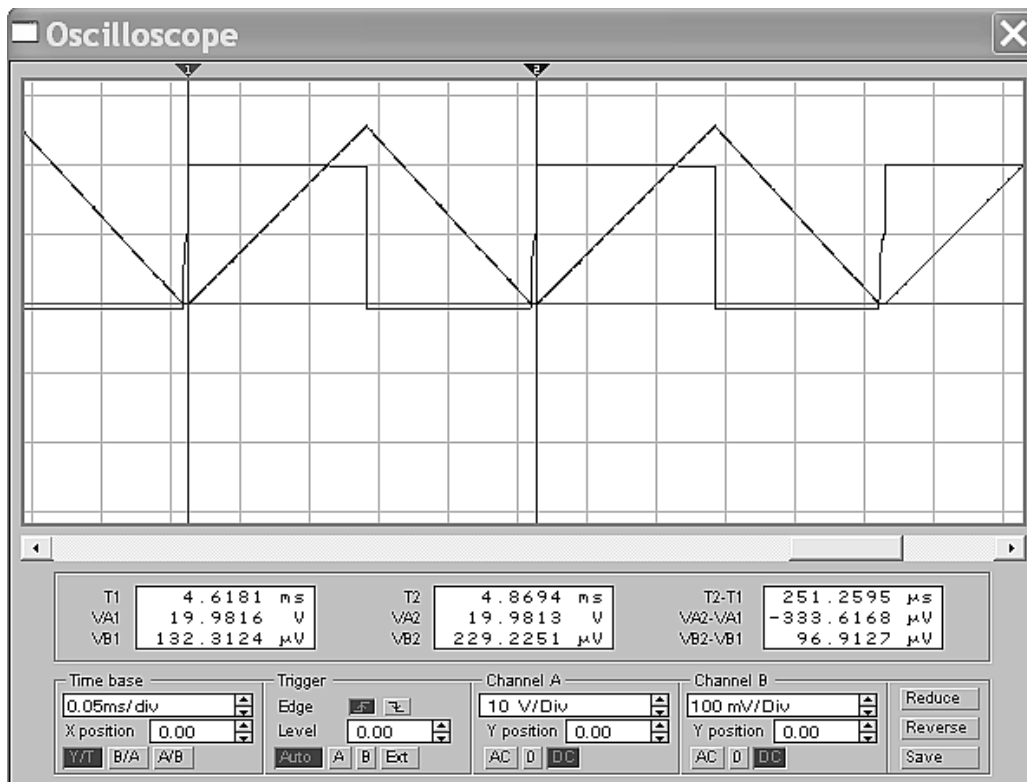


Рис. 8. Диаграммы напряжения на входе дросселя и тока дросселя при увеличении тока нагрузки

4. Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип работы стабилизатора напряжения с «релейным» управлением?
2. Какие преимущества имеют импульсные понижающие стабилизаторы перед стабилизаторами компенсационного типа с непрерывным регулированием?
3. Чем объясняется высокий к.п.д. импульсных стабилизаторов?
4. Пояснить цикл работы релейного стабилизатора: процессы коммутации ключевого (проходного) транзистора, заряд и разряд дросселя и конденсатора фильтра.
5. Какую функцию выполняет разрядный диод?
6. От чего зависит скорость нарастания и спада тока в дросселе? Как связаны значения максимального тока дросселя и тока нагрузки?

7. Чем объясняются малые значения индуктивности дросселя и емкости конденсатора, а, следовательно, и габариты деталей импульсных стабилизаторов напряжения?
8. Как изменяются диаграммы тока дросселя и временные параметры стабилизатора при уменьшении или увеличении входного напряжения и тока нагрузки?
9. По каким параметрам следует выбирать проходной транзистор?

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) наименование работы и цель исследований;
- 3) схему исследуемого стабилизатора напряжения;
- 4) программу работы;
- 5) результаты расчета компонентов схемы для номинального режима;
- 6) результаты измерений, временные диаграммы и их анализ.

Библиографический список

1. Титов, В.С. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учеб. Пособие для студентов вузов / В.С. Титов, В.И. Иванов, М.В. Бобырь // М.: ИНФРА-М, 2014. 143 с.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие / М.В. Бобырь, В.И. Иванов, В.С. Титов, А.С. Ястребов. В 2 кн. – Курск: Курск. гос. тех. ун-т. – 2009. Кн. 2. – Электроника. – 240 с.
3. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2002. – 768 с.
4. Лачин, В.И. Электроника: Учебное пособие / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. Изд. 6-е. – Ростов н / Д: изд-во “Феникс”, 2007. – 703 с.

