

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
ГВУЗ «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автоматика и телекоммуникации»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Электропитание систем связи»
для студентов дневной формы обучения
направления подготовки 6.050903 «Телекоммуникации»

Утверждено на заседании
методической комиссии
кафедры «Автоматики и телекоммуникаций»
протокол № ___ от «___» _____ 2013 г.

Утверждено на заседании
учебно-издательского совета ДонНТУ
протокол № __ от «__» _____ 2013 г.

Донецк, ДонНТУ – 2013

УДК 621.311:621.396

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электропитание систем связи» для студентов дневной формы обучения направления подготовки 6.050903 «Телекоммуникации» / Сост. Чернышев Н.Н., Ямилов В.К. – Донецк, ДонНТУ, 2013. – 36 с.

Приведены цель, краткие теоретические сведения, методика выполнения и обработки экспериментальных данных для каждой работы с помощью программы моделирования электронных схем Multisim. Приведены требования к содержанию и оформлению отчетов по лабораторным работам.

Составители: Чернышев Н.Н.;
Ямилов В.К.

Рецензент: Хмелевой С.В.;
Кузнецов Д.Н.

Ответственный за выпуск: Воронцов А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	
«Исследование однофазного однотактного выпрямителя».....	4
Лабораторная работа № 2	
«Исследование мостового выпрямителя».....	9
Лабораторная работа № 3	
«Исследование схемы удвоения напряжения».....	13
Лабораторная работа № 4	
«Исследование трехфазного мостового выпрямителя».....	16
Лабораторная работа № 5	
«Исследование параметрического стабилизатора напряжения».....	20
Лабораторная работа № 6	
«Исследование последовательного компенсационного стабилизатора напряжения»	25
Лабораторная работа № 7	
«Исследование последовательного компенсационного стабилизатора напряжения с операционным усилителем».....	31
Список литературы.....	36

Лабораторная работа № 1

«Исследование однофазного однотактного выпрямителя»

Цель работы: исследование однофазного однотактного выпрямительного устройства, сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими. Экспериментально определить влияние емкостной составляющей сопротивления нагрузки на основные параметры выпрямителя, снятие внешних характеристик.

1. Теоретические сведения

1.1 Назначение и устройство

Выпрямителем называется статический преобразователь переменного тока в постоянный. Выпрямительные устройства обычно состоят из трех основных элементов: трансформатора, вентильного блока и сглаживающего фильтра (рис. 1.1).

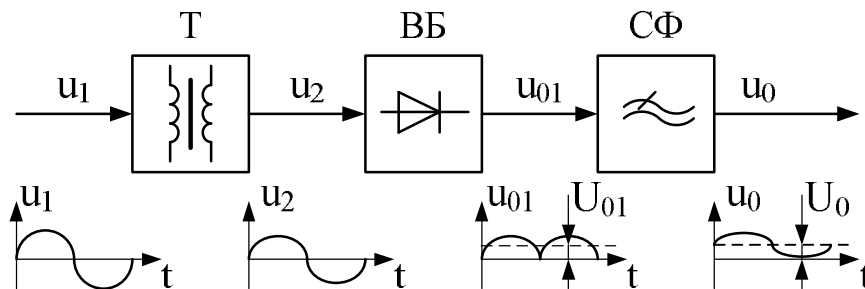


Рисунок 1.1 – Структурная схема выпрямителя

Трансформатор преобразует напряжение сети переменного тока u_1 с тем, чтобы на зажимах его вторичной обмотки получить необходимое значение напряжения u_2 . Для преобразования переменного тока в пульсирующий, имеющим в своем составе постоянную составляющую U_{01} , применяются вентили. Сглаживающий фильтр предназначен для уменьшения амплитуды переменной составляющей выпрямленного напряжения.

1.2 Схема однофазного однотактного выпрямления

Принципиальная схема выпрямителя при различном типе нагрузки (активной и активно-емкостной) изображена на рис. 1.2. В зависимости от

характера нагрузки соотношение между всеми параметрами схемы выпрямления, так же как и в любой другой схеме различны.

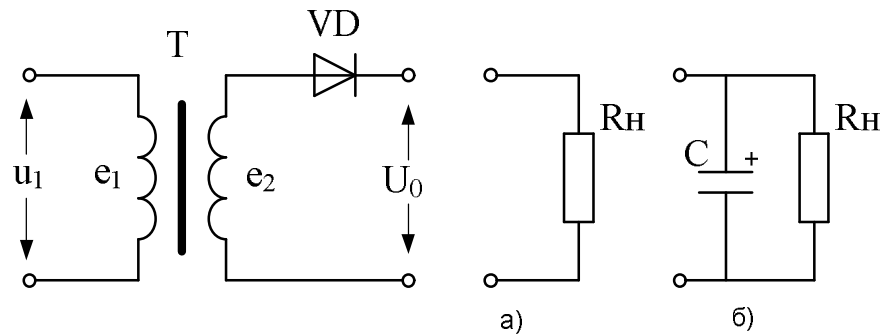


Рисунок 1.2 – Схема однофазного однотактного выпрямителя

При чисто активной нагрузке (рис. 1.2 а) вентиль VD будет открыт в течение половины периода, когда потенциал на аноде положителен. Поэтому выпрямленное напряжение в течение этой половины периода будет равно ЭДС вторичной обмотки трансформатора. В течении другой половины периода вентиль будет закрыт и напряжение на выходе выпрямителя равно 0 (рис. 1.3 а).

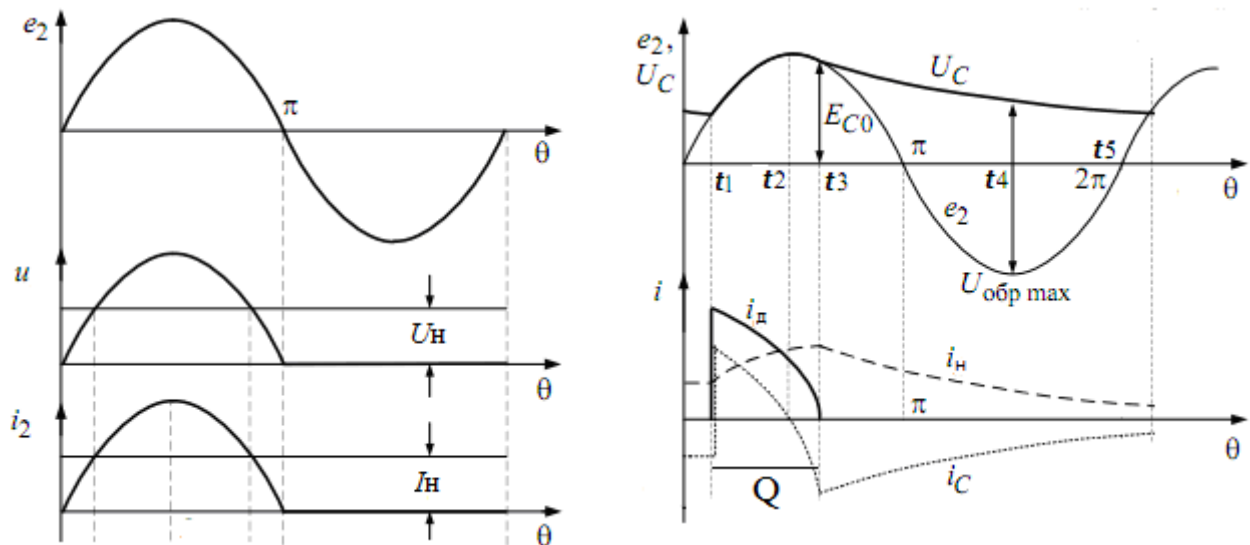


Рисунок 1.3 – Однополупериодная схема выпрямителя с нагрузкой:

а) активной; б) активно-емкостной

Существенным недостатком данной схемы выпрямления при работе ее на активную нагрузку является большая величина пульсации выпрямленного напряжения и тока, которые обуславливаются наличием в кривых выпрямленного тока и напряжения переменных составляющих.

Коэффициент пульсаций – отношение амплитуды наиболее резко выраженной гармонической составляющей напряжения или тока на выходе выпрямителя к среднему значению напряжения или тока

$$K_{II} = \frac{U_{m\sim}}{U_0} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2U_0} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}. \quad (1)$$

где U_{\max} , U_{\min} и U_0 – максимальное, минимальное и среднее значение выпрямленного напряжения.

Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения в маломощных выпрямителях параллельно нагрузке включают конденсатор (рис. 1.2 б). При работе схемы вентиль открыт в интервале времени (t_1, t_3) , когда напряжение вторичной обмотки превышает напряжение на емкости (рис. 1.3 б). Как только напряжение вторичной обмотки станет меньше напряжения на емкости (момент времени t_3), емкость разряжается на сопротивление нагрузки до момента времени t_5 . Таким образом, ток диода и вторичной обмотки трансформатора является несинусоидальным и существует в течение интервала 2θ , меньше половины периода. Величина θ называется углом отсечки тока вентиля.

Угол отсечки θ зависит от процессов заряда и разряда конденсатора C и схемы выпрямителя. В явном виде угол отсечки не определяется, поэтому для расчета выпрямителей с активно-емкостной нагрузкой вводят вспомогательный параметр A , через который определяются основные расчетные величины:

$$A = \frac{\pi r_{\phi}}{pR_n} = \operatorname{tg} \theta - \theta, \quad (2)$$

где $r_{\phi} = r_{np} + r_{mp}$ – сопротивление фазы выпрямителя;

r_{np} – сопротивление вентиля в прямом направлении;

r_{mp} – активное сопротивление обмоток трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке;

p – число зарядных импульсов тока конденсатора за период.

Все основные параметры выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой являются функцией угла отсечки, поэтому функциональные зависимости приводятся в виде графиков в функции параметра A .

Среднее значение выпрямленного напряжения связано с действующим значением напряжения вторичной обмотки трансформатора через параметр B :

$$U_2 = BU_0, B = \frac{1}{\sqrt{2} \cos \theta}. \quad (3)$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_2 = \frac{I_0}{p} D, D = \frac{\sqrt{\pi} [\theta(1 + 0,5 \cos 2\theta) - 0,75 \sin 2\theta]}{\sin \theta - \theta \cos \theta}. \quad (4)$$

Поскольку ток диода представляет собой короткий импульс с большой амплитудой, то диоды необходимо проверять по амплитудному значению тока, который не должен превышать допустимое значение тока диода больше, чем в 4-5 раз:

$$I_{d \max} = \frac{I_0}{p} F, F = \frac{\pi(1 - \cos \theta)}{\sin \theta - \theta \cos \theta}. \quad (5)$$

Пульсации напряжения на нагрузке определяются через параметр H :

$$K_{\Pi} = \frac{U_0 H}{r_{\phi} C}, H = \frac{1}{p \omega \pi} \cdot \frac{\cos \theta \sin p\theta - p \cos p\theta \sin \theta}{(p^2 - 1) \cdot \cos \theta}. \quad (6)$$

Наибольшее обратное напряжение, которое может быть приложено к вентилю в непроводящий полупериод, зависит от схемы выпрямления. Поэтому при выборе диода необходимо принимать во внимание, что $U_{\text{обр. max}} \leq U_{2m}$ (U_{2m} амплитудному значению напряжения на вторичной обмотке трансформатора) для схемы (1.2 а) и $U_{\text{обр. max}} \leq 2U_{2m}$ для схемы (1.2 б).

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему однофазного однотактного выпрямителя представленного на рис. 2.1.

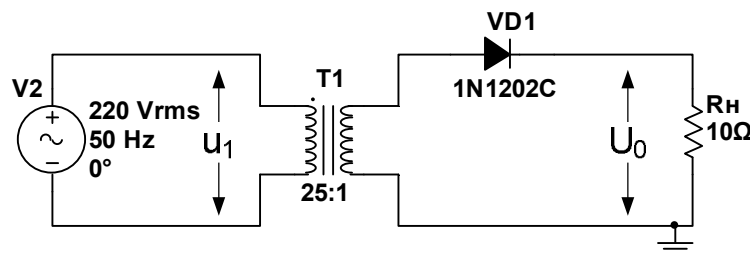


Рисунок 2.1 – Схема выпрямителя с активной нагрузкой в пакете Multisim

2. Четырехканальным осциллографом снять осциллограммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора, нагрузке и тока диода. Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

3. Используя возможности пакета Multisim собрать схему однофазного однотактного выпрямителя представленного на рис. 2.2.

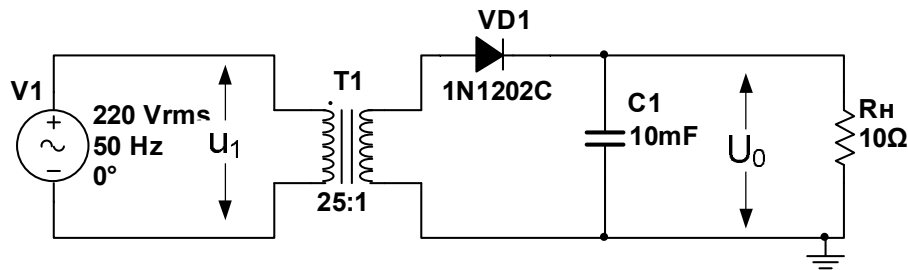


Рисунок 2.2 – Схема выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой в пакете Multisim

4. Четырехканальным осциллографом снять осциллограммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора, нагрузке, токи диода и конденсатора (особое внимание обратить на калибровку осциллографа по длительности и амплитуде). Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

5. Определить и построить зависимость коэффициента пульсации выпрямленного напряжения от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкость конденсатора на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения вычислить значения коэффициента пульсации напряжения на нагрузке.

5. Определить и построить зависимость амплитуды тока диода от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкость конденсатора на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения определить значение тока через диод.

6. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для каждой исследуемой схемы выпрямителя в отчете представить:

- схему выпрямителя;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики зависимости коэффициента пульсации и амплитуды тока диода от величины емкости;
- выводы.

Лабораторная работа № 2

«Исследование однофазного мостового выпрямителя»

Цель работы: исследование однофазного мостового выпрямительного устройства, сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими. Экспериментально определить влияние емкостной составляющей сопротивления нагрузки на основные параметры выпрямителя, снятие внешних характеристик.

1. Теоретические сведения

1.1 Мостовая схема выпрямления

Принципиальная схема однофазного двухтактного выпрямителя при различном типе нагрузки (активной и активно-емкостной) изображена на рис. 1.1. Схема представляет собой мост вентилей, в одну диагональ которого включена нагрузка, а в другую – переменное напряжение от вторичной обмотки сетевого трансформатора.

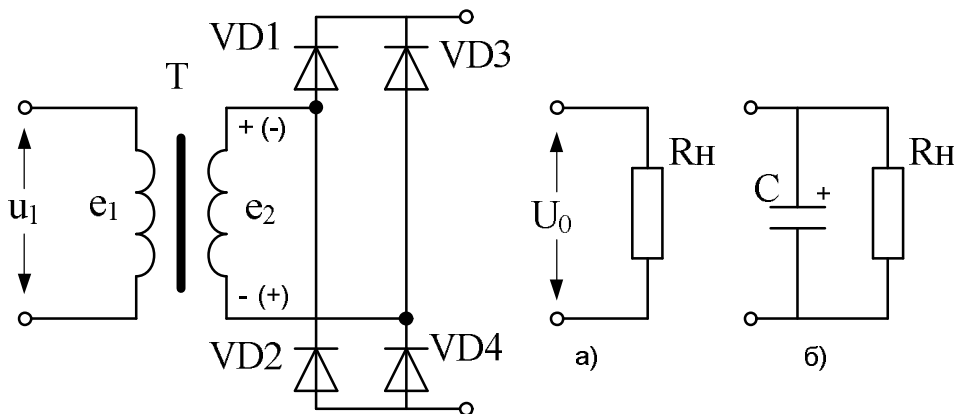


Рисунок 1.1 – Схема однофазного двухтактного выпрямителя

При выпрямлении положительного полупериода переменного напряжения ток проходит по следующей цепи: верхний вывод вторичной обмотки – вентиль VD1 – верхний вывод нагрузки – нагрузка – нижний вывод нагрузки – вентиль VD4 – нижний вывод вторичной обмотки – обмотка. При выпрямлении отрицательного полупериода переменного напряжения ток проходит по следующей цепи: нижний вывод вторичной обмотки – вентиль VD3 – верхний вывод нагрузки – нагрузка – нижний

вывод нагрузки – вентиль VD2 – верхний вывод вторичной обмотки – обмотка.

Трансформатор не является принципиально необходимым элементов схемы и нужен только для создания требуемой величины напряжения e_2 на входе выпрямителя, а так же для обеспечения гальванической развязки между питающей сетью и нагрузкой выпрямителя.

На рис. 1.2 приведены графики изменения напряжений и токов в мостовой схеме выпрямителя с различного типа нагрузкой.

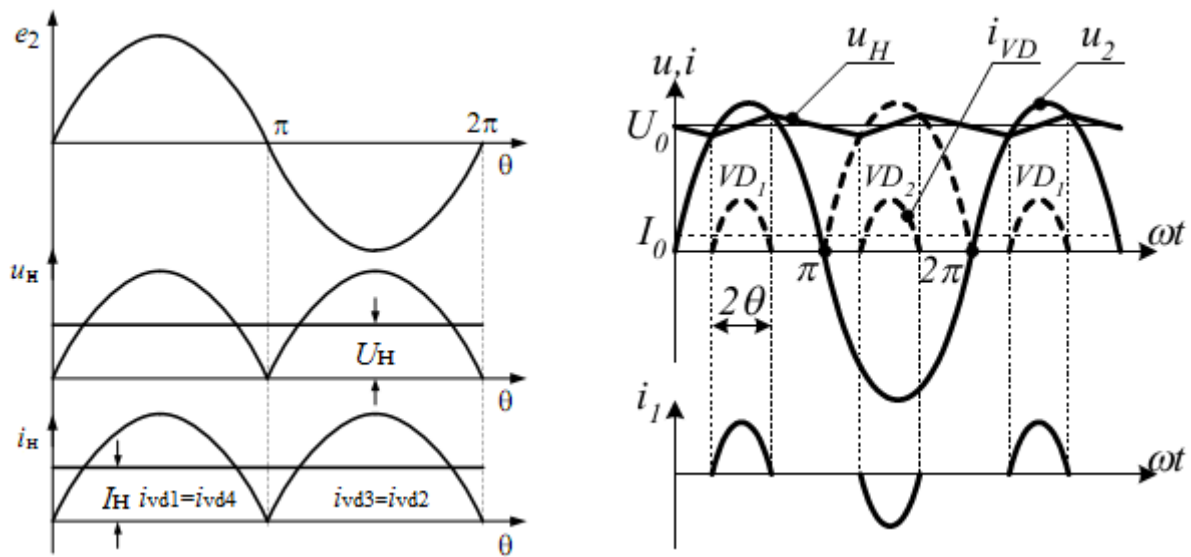


Рисунок 1.2 – Мостовая схема выпрямителя с нагрузкой:
а) активной; б) активно-емкостной

Для активной нагрузки среднее значение выпрямленного напряжения U_0 и действующим значением напряжения U_2 на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,9U_2, \quad U_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_0 = 1,11U_0. \quad (1)$$

Среднее значение тока через нагрузку $I_n = U_0 / R_n$.

Поскольку ток i_n протекает через диоды поочередно, средний ток через каждый диод составит

$$I_{\partial} = \frac{I_n}{2}, \quad I_{\partial \max} = \frac{\sqrt{2}U_2}{R_n} = \frac{\pi}{2} I_n. \quad (2)$$

Ток в нагрузке протекает в течение обоих полупериодов переменного напряжения, как и ток во вторичной обмотке трансформатора имеющий форму синусоиды. Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_2 = \frac{U_2}{R_n} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{U_0}{R_n} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_n. \quad (3)$$

При работе схемы на активно-емкостную нагрузку все основные параметры выпрямителя являются функцией угла отсечки, поэтому справедливы формулы, приведенные в лабораторной работе №1.

Максимальное обратное напряжение на каждом из закрытых диодов имеет такое значение, что и в однофазном одноконтном выпрямителе.

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему мостового выпрямителя представленного на рис. 2.1.

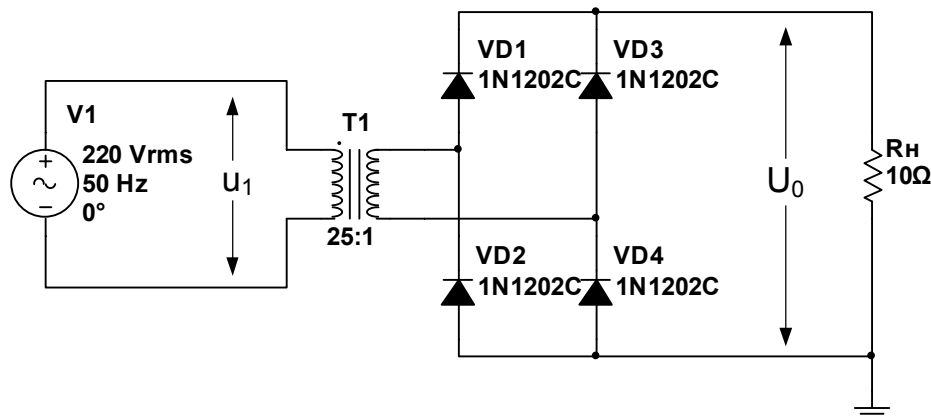


Рисунок 2.1 – Схема выпрямителя с активной нагрузкой в пакете Multisim

2. Четырехканальным осциллографом снять осциллограммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора, нагрузке и ток диода. Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

3. Используя возможности пакета Multisim собрать схему мостового выпрямителя представленного на рис. 2.2.

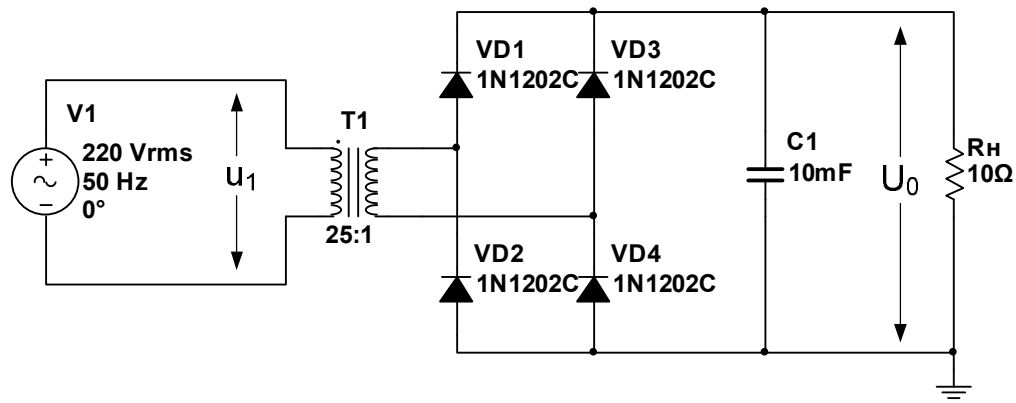


Рисунок 2.2 – Схема выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой в пакете Multisim

4. Четырехканальным осциллографом снять осциллограммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора, нагрузке, токи диода и конденсатора (особое внимание обратить на калибровку осциллографа по длительности и амплитуде). Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

5. Определить и построить зависимость коэффициента пульсации выпрямленного напряжения от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкость конденсатора на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения вычислить значения коэффициента пульсации напряжения на нагрузке.

5. Определить и построить зависимость величины амплитуды тока диода от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкость конденсатора на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения определить значение тока через диод.

6. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для каждой исследуемой схемы выпрямителя в отчете представить:

- схему выпрямителя;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики зависимости коэффициента пульсации и амплитуды тока диода от величины емкости;
- выводы.

Лабораторная работа № 3 «Исследование схемы удвоения напряжения»

Цель работы: исследование схемы удвоения Латура, сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими. Экспериментально определить влияние емкостной составляющей сопротивления нагрузки на основные параметры устройства, снятие внешних характеристик.

1. Теоретические сведения

1.1 Схема удвоения Латура

Схема удвоения напряжения (схема Латура) представляет собой мостовую схему (рис. 1.1), у которой в два плеча моста включены вентили VD1 и VD2, а в два другие плеча - конденсаторы C1 и C2.

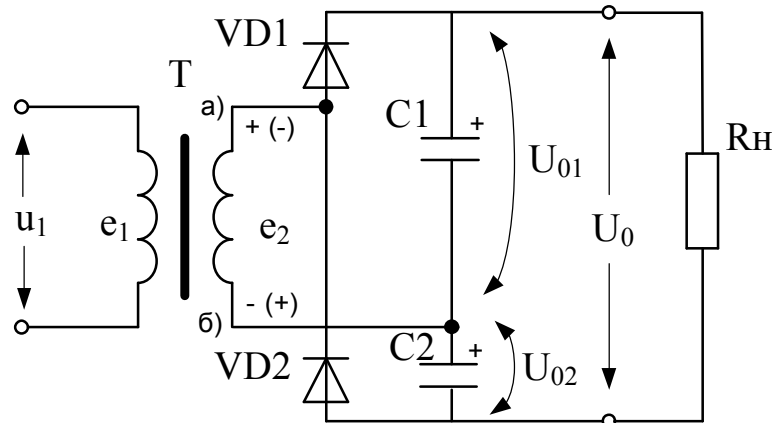


Рисунок 1.1 – Схема удвоения напряжения

При положительном потенциале точки *a* вторичной обмотки трансформатора, когда э.д.с. в ней направлены вверх, будет открыт вентиль VD1 и начнется заряд конденсатора C1. При противоположном направлении э.д.с. вторичной обмотки ток заряда конденсатора C2 протекает через вторичную обмотку, конденсатор C2 и вентиль VD2. Конденсаторы C1 и C2 соединены последовательно и разряжаются на нагрузку. Так как напряжения двух однополупериодных схем U_{01} и U_{02} сдвинуты по фазе на половину периода, то при последовательном соединении этих схем суммарное напряжение U_n изменяется с удвоенной частотой. Ток во вторично обмотке

трансформатора в различные полупериоды имеет противоположное направление и постоянная составляющая тока во вторичной обмотке равна нулю.

На рис. 1.2 показаны кривые напряжений на конденсаторах и на нагрузке, а также кривые токов вентиляей.

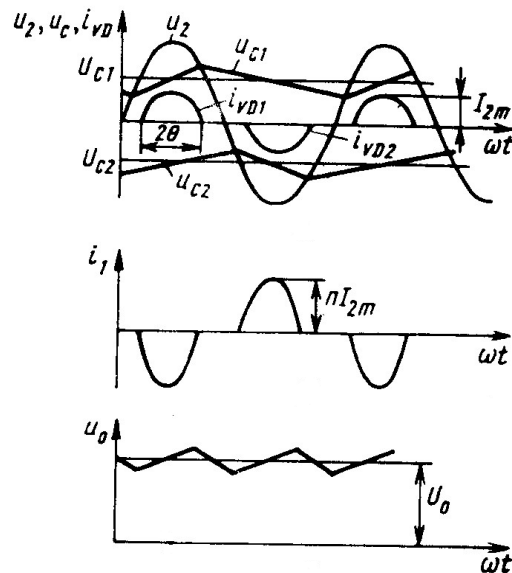


Рисунок 1.2 – Кривые выпрямленного напряжения и тока

Значения параметров схемы удвоения напряжения таковы:

- среднее значение выпрямленного напряжения U_0 и действующим значением напряжения U_2 на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_0 = \frac{2U_2}{B}, U_2 \approx U_0. \quad (1)$$

- средний ток, амплитуда и действующее значение через каждый диод составляют

$$I_{\partial} = I_n = \frac{U_0}{R_n}, I_{\partial \max} = FI_n, I_{\partial \partial} = DI_n. \quad (2)$$

- величина обратного напряжения

$$U_{\text{обрmax}} = 1,41BU_0, U_{\text{обрmax}} \leq U_0. \quad (3)$$

- ток вторичной обмотки трансформатора

$$I_2 = 1,41DI_n. \quad (4)$$

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему удвоения напряжения представленного на рис. 2.1.

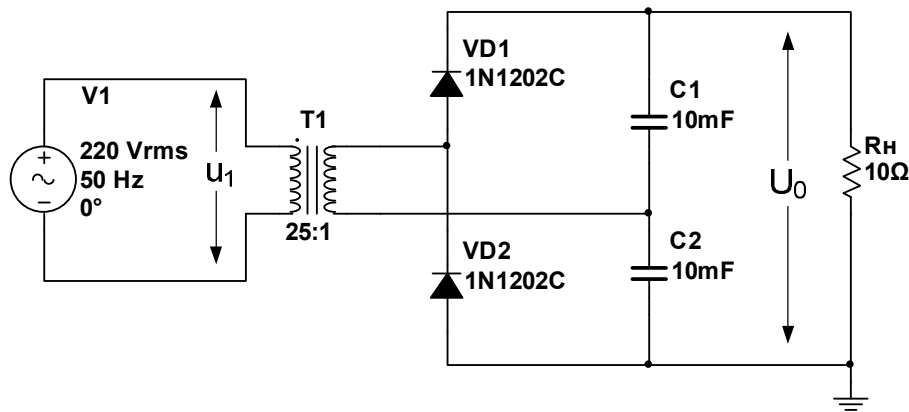


Рисунок 2.1 – Схема удвоения напряжения в пакете Multisim

2. Осциллографом снять осциллограммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора, нагрузке, конденсаторах, токи диода и конденсаторов (особое внимание обратить на калибровку осциллографа по длительности и амплитуде). Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

3. Определить и построить зависимость коэффициента пульсации выпрямленного напряжения от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкости конденсаторов на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения вычислить значения коэффициента пульсации напряжения на нагрузке.

5. Определить и построить зависимость амплитуды тока диода от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкости конденсаторов на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения определить значение тока через диод.

6. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для каждой исследуемой схемы выпрямителя в отчете представить:

- схему выпрямителя;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики зависимости коэффициента пульсации и амплитуды тока диода от величины емкости;
- выводы.

Лабораторная работа № 4

«Исследование трехфазного мостового выпрямителя»

Цель работы: исследование схемы трехфазного выпрямителя Ларионова, сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими. Экспериментально определить влияние емкостной составляющей сопротивления нагрузки на основные параметры устройства, снятие внешних характеристик.

1. Теоретические сведения

1.1 Схема трехфазного мостового выпрямителя

Многофазные выпрямители применяются, как правило, только в промышленной и специальной аппаратуре. В промышленной аппаратуре нашел широкое распространение трехфазный двухтактный выпрямитель (схема Ларионова рис. 1.1). Схема состоит из двух трехфазных однополупериодных схем выпрямления, питающихся от одних и тех же вторичных обмоток трансформатора и работающих на общую нагрузку.

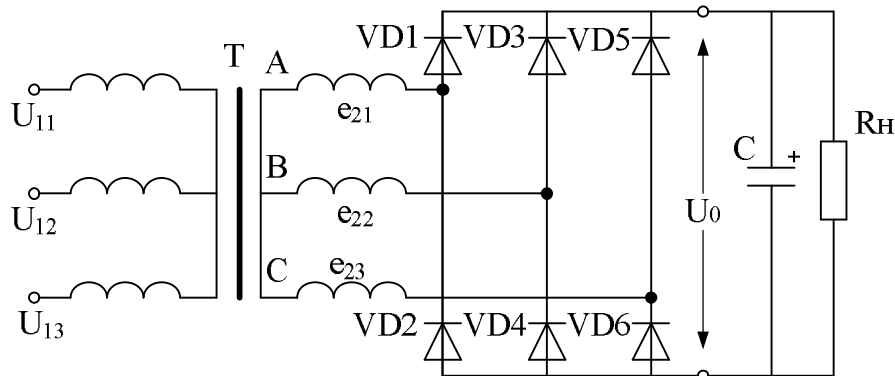


Рисунок 1.1 – Схема трехфазного мостового выпрямителя

На интервале $[t_1; t_3]$ фаза «А» имеет наибольший потенциал по отношению к другим фазам, поэтому диод VD1 работает два такта (так как к аноду прикладывается «+»). В момент времени t_3 происходит перекоммутация в катодной группе с VD1 на VD3, т.к. фаза «В» становится более положительной по отношению к другим фазам. Аналогично, в момент времени t_5 происходит перекоммутация в катодной группе с VD3 на VD5. На интервале $[t_1; t_2]$ фаза «В» имеет более отрицательный потенциал по

отношению к другим фазам, поэтому в анодной группе будет открыт диод VD4. В интервале времени $[t_2; t_4]$ фаза «С» имеет наименьший отрицательный потенциал, поэтому диод VD6 работает два такта.

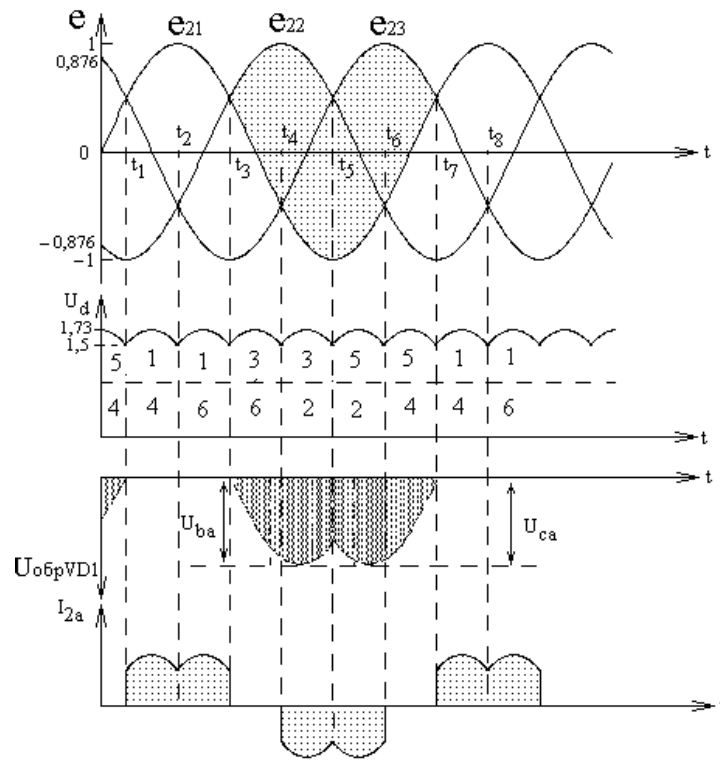


Рисунок 1.2 – Кривые выпрямленного напряжения и тока

Среднее выпрямленное напряжение U_0 по сравнению с U_2 для данного выпрямителя будет в два раза больше или наоборот, при том же значении U_0 величина U_2 будет в два раза меньше:

$$U_0 = (3\sqrt{6}/\pi)U_2 = 2,34U_2, \quad U_2 = (\pi/3\sqrt{6})U_0 = 0,425U_0, \quad (1)$$

что сокращает число витков вторичных обмоток трансформатора и снижает требования к изоляции.

Максимальное обратное напряжение вентиля данной схемы

$$U_{обр\max} = \sqrt{6}U_2 = (\pi/3)U_0 = 1,045U_0. \quad (2)$$

Среднее значение тока вентиля соответственно составляет $I_0 = I_0/3$.

При работе схемы на активно-емкостную нагрузку все основные параметры выпрямителя являются функцией угла отсечки, поэтому справедливы формулы, приведенные в лабораторной работе №1.

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему выпрямителя представленного на рис. 2.1.

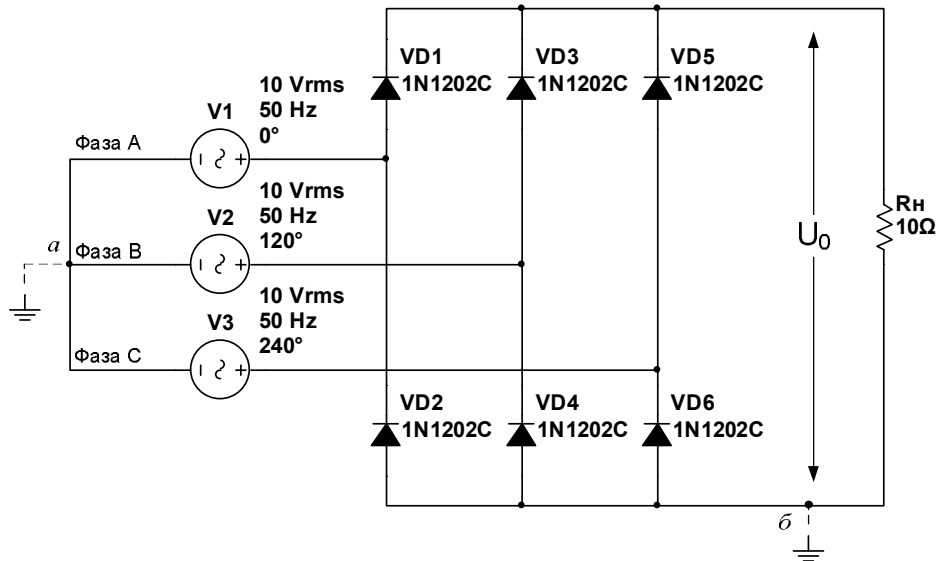


Рисунок 2.1 – Схема мостового трехфазного выпрямителя в пакете Multisim

2. Осциллографом снять осциллограммы фазного напряжения, токи в каждой фазной вторичной обмотке трансформатора, диодов (\perp подключить к точке *a*), напряжения на нагрузке (\perp подключить к точке *b*). Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

3. Используя возможности пакета Multisim собрать схему выпрямителя представленного на рис. 2.2.

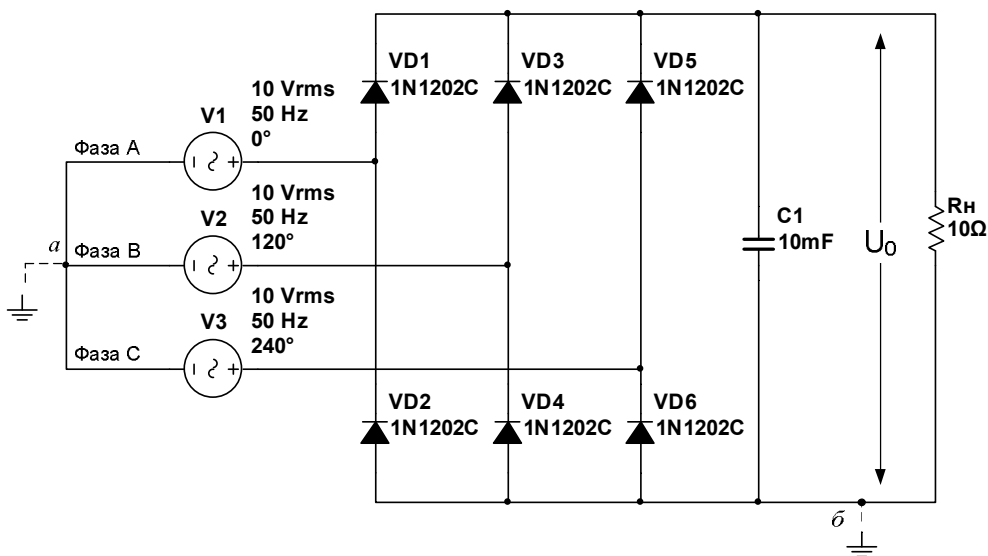


Рисунок 2.2 – Схема мостового трехфазного выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой в пакете Multisim

4. Осциллографом снять осциллограммы фазного напряжения, токи диодов, конденсатора, фазных вторичных обмоток трансформатора (\perp подключить к точке *a*), напряжения на нагрузке (\perp подключить к точке *b*). Особое внимание обратить на калибровку осциллографа по длительности и амплитуде. Используя мультиметр измерить значение выпрямленного напряжения и тока.

5. Определить и построить зависимость коэффициента пульсации выпрямленного напряжения от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкость конденсатора на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения вычислить значения коэффициента пульсации напряжения на нагрузке.

5. Определить и построить зависимость амплитуды тока диода от величины емкости конденсатора. Для этого необходимо изменяя емкость конденсатора на $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, $\pm 80\%$ от номинального значения определить значение тока через диод.

6. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для каждой исследуемой схемы выпрямителя в отчете представить:

- схему выпрямителя;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики зависимости коэффициента пульсации и амплитуды тока диода от величины емкости;
- выводы.

Лабораторная работа № 5

«Исследование параметрического стабилизатора напряжения»

Цель работы: изучить принцип действия параметрического стабилизатора напряжения, экспериментально определить основные параметры и характеристики стабилизатора.

1. Теоретические сведения

1.1 Параметрический стабилизатор напряжения

При конструировании источников питания телекоммуникационной аппаратуры возникает важная задача обеспечения стабильности выходного напряжения, причем такая стабильность должна поддерживаться независимо от колебаний напряжения в сети питания, тока потребления питаемого устройства, температуры окружающей среды и т.п. Для решения данной проблемы применяются стабилизаторы напряжения (тока) различных типов.

Схема параметрического стабилизатора напряжения (ПСТ) приведена на рис. 1.1.

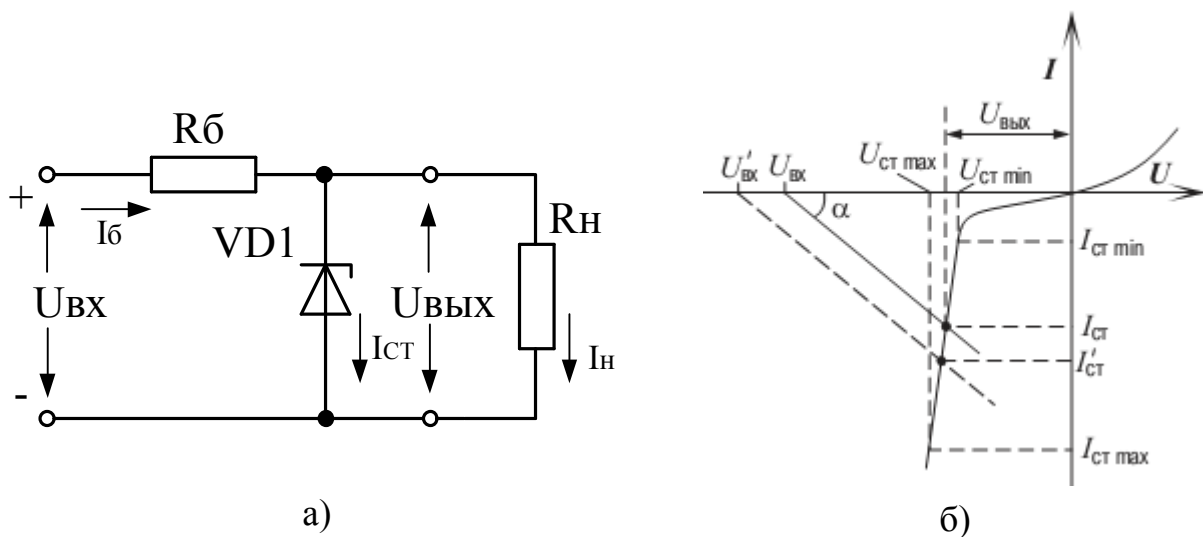


Рисунок 1.1 – Схема параметрического стабилизатора (а) и характеристики, поясняющие его работу (б)

Схема содержит балластный резистор R_6 и стабилитрон $VD1$, включаемый параллельно нагрузке R_H (т.е. это стабилизатор параллельного типа), в целях снижения пульсаций выходного напряжения при колебаниях тока в нагрузке может включаться фильтрующий конденсатор $C_ф$. Принцип

работы параметрического стабилизатора хорошо виден при рассмотрении нагрузочных характеристик, представленных на рис. 1.1 б. Здесь кривая представляет собой вольт-амперную характеристику стабилитрона, а угол наклона прямой (α) определяется сопротивлением балластного резистора R_{δ} ($\operatorname{tg}\alpha = 1/R_{\delta}$). Точка пересечения данной прямой с осью напряжений определяется заданным напряжением на входе стабилизатора $U_{вх}$, а точка пересечения с ВАХ стабилитрона характеризует текущий режим работы этого прибора ($I_{СТ}$, $U_{СТ} = U_{вых}$). При изменении входного напряжения нагрузочная линия перемещается параллельно самой себе, при изменении сопротивления нагрузки – поворачивается относительно точки пересечения с осью токов.

Коэффициент стабилизации по напряжению $K_{СТU}$

$$K_{СТU} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} : \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых}} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = K'_{СТU} \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \approx \left(1 + \frac{R_{\delta}}{r_d}\right) \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \quad (1)$$

где r_d – динамическое сопротивление стабилитрона

$$r_d = \frac{U_{СТ\max} - U_{СТ\min}}{I_{СТ\max} - I_{СТ\min}},$$

$$I_{СТ\min} \leq (10-15)\% \cdot I_H.$$

При минимальном значении входного напряжения $U_{вх\min}$ ток стабилитрона должен быть не менее $I_{СТ\min}$, тогда:

$$U_{вх\min} = (I_{СТ\min} + I_H)R_{\delta} + U_{вых\min}. \quad (2)$$

Из (2) величина балластного сопротивления рассчитывается по формуле

$$R_{\delta} = \frac{U_{вх\min} - U_{вых\min}}{I_{СТ\min} + I_H}. \quad (3)$$

Из выражения (1) очевидно, что чем больше величина сопротивления R_{δ} по сравнению с r_d , тем выше коэффициент стабилизации. Увеличение величины сопротивления R_{δ} приводит к меньшим изменениям тока через стабилитрон при тех же изменениях напряжения сети, а, следовательно, к меньшим приращениям напряжения на нагрузке.

При максимальном значении входного напряжения $U_{вх\max}$ ток стабилитрона не должен быть больше $I_{СТ\max}$, в противном случае необходимо выбирать стабилитрон с меньшим r_d или с большим значением $I_{СТ\max}$.

Поскольку падение напряжения на R_{δ} составляет (20÷40) % от $U_{вых}$, то ПСН имеет низкий к.п.д.

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{ex}}} = \frac{I_H U_{\text{вых}}}{(I_H + I_{CT}) U_{\text{ex}}}, \quad (4)$$

и используется для стабилизации напряжения в маломощных нагрузках.

Выходное сопротивление ПСН в основном определяется дифференциальным сопротивлением стабилитрона r_d .

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему стабилизатора представленного на рис. 2.1.

Используя формулу (3) определить сопротивление балластного резистора R_6 и номинальное сопротивление нагрузки $R_{\text{нн}}$, если: $U_{\text{ex min}} = 20,5$ В; $U_{\text{вых min}} = 10,5$ В; $I_{CT \text{ min}} = 15$ мА и $I_H = 1$ А.

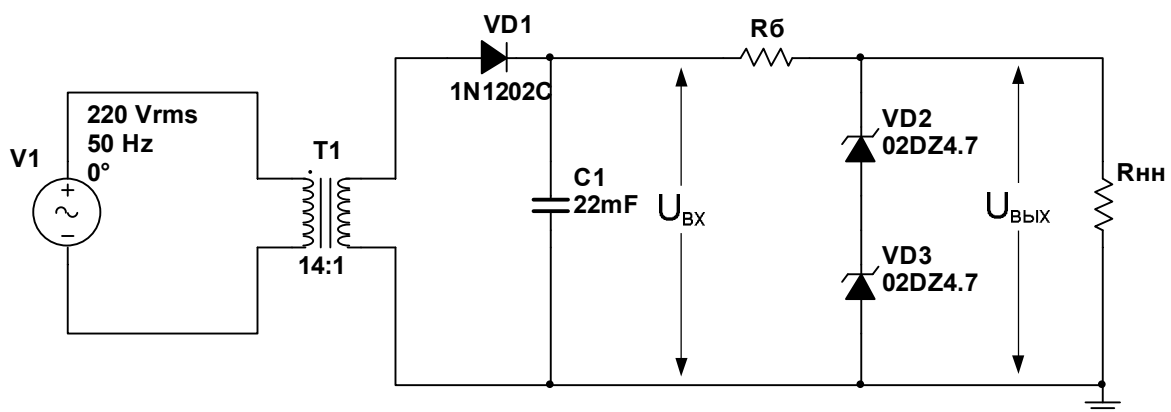


Рисунок 2.1 – Схема ПСН в пакете Multisim

2. Осциллографом снять осциллограммы напряжения на входе и выходе стабилизатора, тока протекающего через диод, балластный резистор, стабилитрон и нагрузку.

3. Для проведения исследования и снятия характеристик стабилизатора заменить сопротивление нагрузки $R_{\text{нн}}$ потенциометром $R_{\text{п}} = 10R_{\text{нн}}$ (см. рис. 2.2). При этом изменяя величину потенциометра показания приборов можно снимать, не останавливая процесс моделирования.

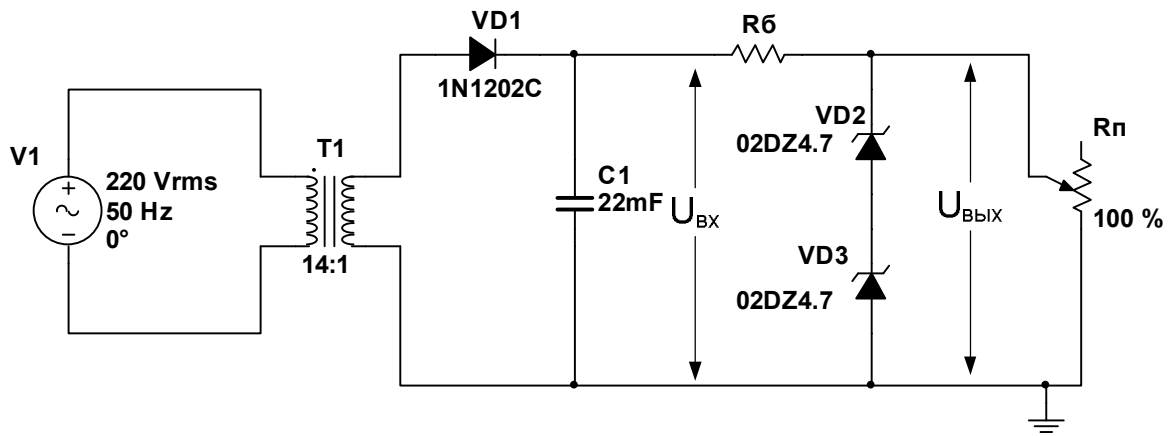


Рисунок 2.2 – Схема исследования ПСН в пакете Multisim

4. Определить и построить:

- нагрузочную характеристику стабилизатора – зависимость напряжения на нагрузке U_H от тока нагрузки I_H ;
- зависимость тока стабилизатора I_{CT} от величины тока нагрузки I_H ;
- зависимость коэффициента сглаживания пульсации стабилизатора q от величины тока нагрузки I_H ;

$$q = \frac{U_{ex}^n}{U_{вых}^n} \frac{U_{вых}}{U_{ex}},$$

где U_{ex}^n , $U_{вых}^n$ – амплитуды пульсации входного U_{ex} и выходного $U_{вых}$ напряжений стабилизатора соответственно.

Для проведения эксперимента необходимо изменяя ток нагрузки потенциометром в диапазоне $[0,1-1,5]I_H$ снять показания измеряемых параметров и заполнить табл. 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

I_H , мА	I_{CT} , мА	I_D , мА	U_H , В	U_{ex}^n , мВ	$U_{вых}^n$, мВ	q
$0,1 I_H$						
...						
$1,5 I_H$						

При определении коэффициента сглаживания пульсаций настроить каналы измерения напряжений на осциллографе в режим «АС».

5. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для исследуемой схемы стабилизатора в отчете представить:

- схему стабилизатора;
- значения основных параметров стабилизатора напряжения;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики нагрузочной характеристики, зависимости тока стабилизатора и коэффициента сглаживания пульсации от величины тока нагрузки;
- выводы.

Лабораторная работа № 6

«Исследование последовательного компенсационного стабилизатора напряжения»

Цель работы: изучить принцип действия последовательного компенсационного стабилизатора напряжения, экспериментально определить основные параметры и характеристики стабилизатора.

1. Теоретические сведения

1.1 Последовательный компенсационный стабилизатор напряжения

В компенсационных стабилизаторах напряжения (КСН) в качестве регулирующего элемента используются транзисторы, что позволяет значительно увеличить выходной ток и коэффициент стабилизации стабилизатора. По отношению к нагрузке регулирующий транзистор включается последовательно или параллельно. Соответственно, КСН разделяют на стабилизаторы последовательного и параллельного типа. Схемы КСН последовательного типа различаются схемами управления регулирующим транзистором, и в зависимости от структурной схемы КСН делятся на КСН без усилителя ошибки и КСН с усилителем ошибки.

КСН без усилителя ошибки фактически является эмиттерным повторителем (схема с общим коллектором), на базу транзистора которого подается опорное напряжение (рис. 1.1 а).

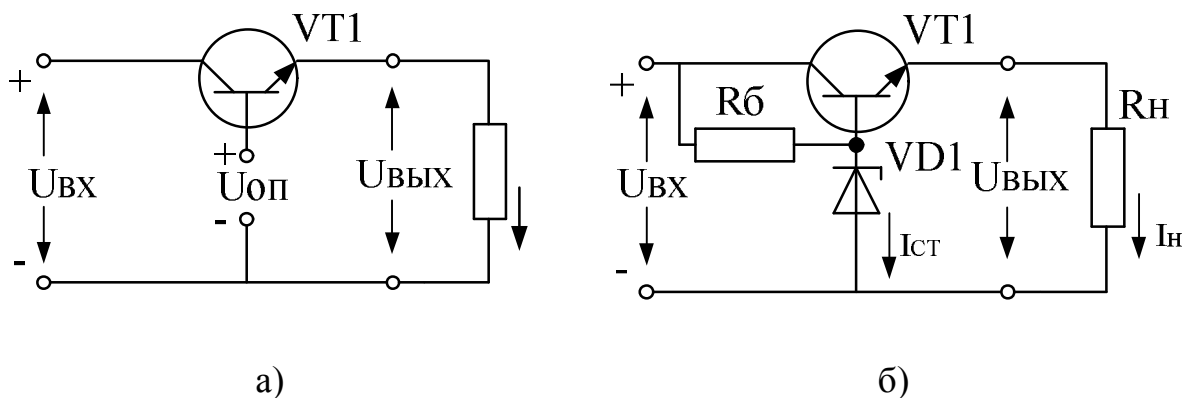


Рисунок 1.1 – Схема последовательного параметрического стабилизатора (а) и практическая схема (б)

На практике обычно в качестве источника опорного напряжения используется параметрический стабилизатор напряжения (см. рис. 1.1).

Работа схемы КСН описывается двумя уравнениями:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{КЭ}} + U_{\text{н}}, \quad (1)$$

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{БЭ}} + U_{\text{н}}. \quad (2)$$

При увеличении входного напряжения и напряжение на нагрузке также увеличивается, но поскольку $U_{\text{оп}} = \text{const}$, то это приводит к уменьшению напряжения $U_{\text{БЭ}}$, что в свою очередь приводит к увеличению напряжения $U_{\text{КЭ}}$, так что напряжение на нагрузке увеличивается незначительно, почти весь прирост входного напряжения воспринимает на себя регулирующий транзистор VT1. Режим работы регулирующего транзистора при постоянном сопротивлении нагрузки $R_{\text{н}}$ ($I_{\text{н}} = \text{const}$) приведен на рис. 1.2.

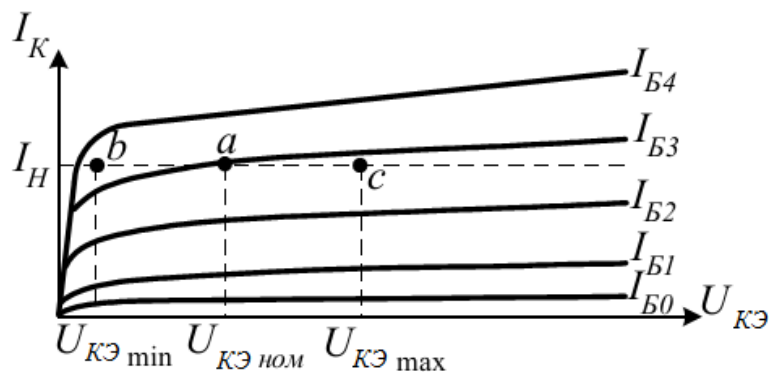


Рисунок 1.2 – Режим работы стабилизатора

Режим работы транзистора выбирается так, чтобы при минимальном значении входного напряжения $U_{\text{вхmin}}$ рабочая точка b транзистора находилась вблизи линии насыщения. При номинальном значении входного напряжения рабочая точка транзистора определяется координатами $I_{\text{н}}$, $U_{\text{КЭном}}$ (точка a на рис. 1.2). Выбор транзистора по мощности и обеспечения теплового режима регулирующего транзистора осуществляется по рабочей точкой при максимальном значении входного напряжения $U_{\text{вхmax}}$ (точка c на рис. 1.2).

При изменении тока нагрузки величина тока через транзистор меняется, рабочая точка транзистора не должна переходить в область насыщения, поэтому величина $U_{\text{КЭmin}}$ выбирается по максимальному току нагрузки.

КСН по схеме на рис. 1.1 б можно рассматривать как параметрический стабилизатор напряжения с усилителем тока. Коэффициент стабилизации

при изменении входного напряжения равен коэффициенту стабилизации параметрического стабилизатора:

$$K_{CTU} = K'_{CTU} \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \approx \left(1 + \frac{R_{\delta}}{r_d}\right) \frac{U_{вых}}{U_{вх}}. \quad (3)$$

Выходное сопротивление стабилизатора, который определяет коэффициент стабилизации при изменении тока нагрузки, определяется как

$$R_{вых} = \frac{1}{K'_{CTU}} \cdot \frac{1}{h_{22E}}, \quad K_{CTI} = \frac{1}{R_{вых}} \cdot \frac{1}{h_{22E}}. \quad (4)$$

Для схем, работающих с большими токами применяют составной транзистор (Дарлингтона или Шиклаи) – объединение двух или более биполярных транзисторов с целью увеличения коэффициента усиления по току. Составной транзистор имеет три вывода (база, эмиттер и коллектор), которые эквивалентны выводам обычного одиночного транзистора (рис. 1.3).

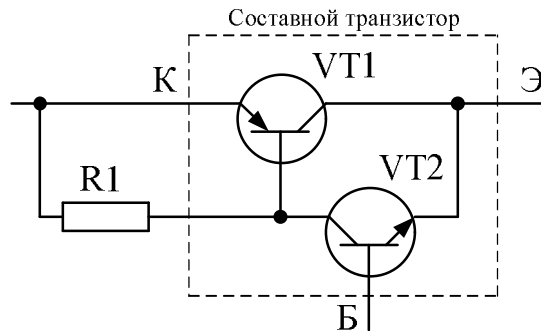


Рисунок 1.3 – Соединение транзисторов по схеме Шиклаи

Сопротивление $R1$ выбирается из условия:

$$R1 \leq \frac{U_{БЭз}}{I_{КБ0}}, \quad (5)$$

где $U_{БЭз}$ – напряжение на переходе база-эмиттер закрытого транзистора VT1 (0,1 В);

$I_{КБ0}$ – обратный ток коллектора при отключенном эмиттере транзистора.

Балластное сопротивление параметрического стабилизатора напряжения рассчитывается по формуле:

$$R_{\delta} = \frac{U_{вх \min} - U_{вых \min}}{I_{CT \min} + I_{Б \min}}, \quad (6)$$

где $I_{CT \min}$ – минимальный ток стабилитрона;

$I_{Б \min}$ – минимальный ток базы транзистора,

$$I_{B\min} = \frac{I_H}{h_{21Э\min}} = \frac{I_H}{\beta_{\min}}, \quad (7)$$

где β_{\min} – минимальный коэффициент усиления по току (в случае составного транзистора β_{\min} равен произведению коэффициентов усиления по току каждого транзистора).

Напряжение стабилизации стабилитрона VD1 выбирается из условия:

$$U_{CT} = U_H + U_{БЭ}, \quad (8)$$

и обычно на $(0,7 \div 1)$ В больше напряжения на нагрузке.

К.п.д. последовательного КСН без усиления составляет $(60 \div 75)\%$, поэтому эта схема получила широкое применение для питания нагрузок, которые допускают изменение напряжения питания порядка единиц процентов, в широком диапазоне изменения тока нагрузки.

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему стабилизатора представленного на рис. 2.1.

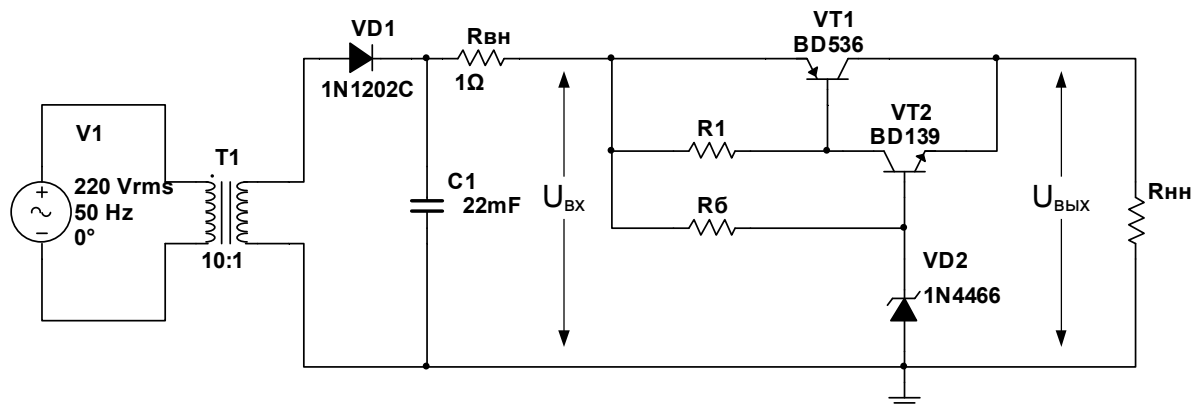


Рисунок 2.1 – Схема последовательного КСН в пакете Multisim

Используя формулу (5), (6) и (7) определить сопротивление резисторов R_1 , R_6 и номинальное сопротивление нагрузки $R_{нн}$, если: $U_{БЭ3} = 0,1$ В; $I_{КБ0} = 1$ мА; $\beta_{VT1\min} = 20$ и $\beta_{VT2\min} = 40$; $I_H = 1$ А; $I_{CT\min} = 15$ мА; $U_{ex\min} = 20,5$ В; $U_{вых\min} = 10,2$ В.

2. Осциллографом снять осциллограммы напряжения на входе и выходе стабилизатора, тока протекающего через коллектор VT1, эмиттер VT2, балластный резистор, стабилитрон и нагрузку.

3. Для проведения исследования и снятия характеристик стабилизатора

заменить сопротивление нагрузки $R_{\text{нн}}$ потенциометром $R_{\text{п}}=10R_{\text{нн}}$ (см. рис. 2.2). При этом изменяя величину потенциометра показания приборов можно снимать, не останавливая процесс моделирования.

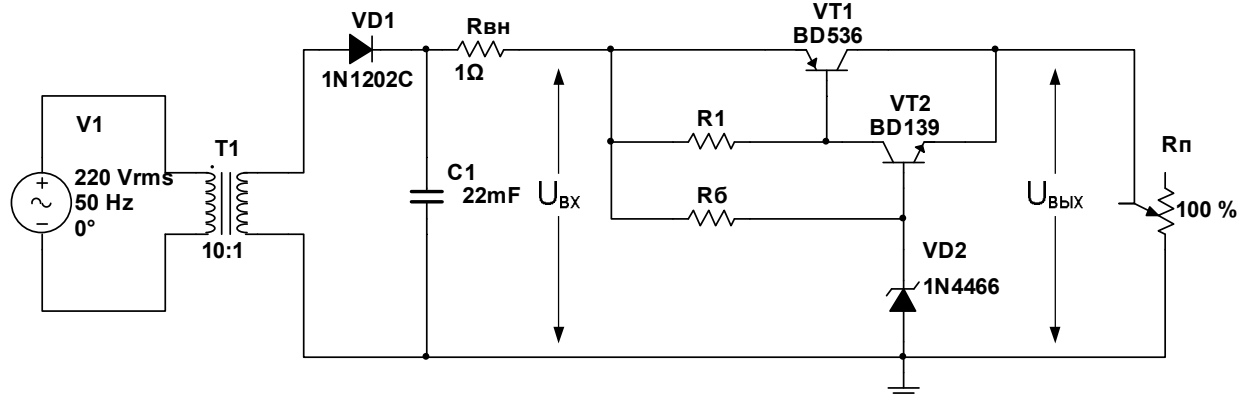


Рисунок 2.2 – Схема исследования параметрического стабилизатора напряжения в пакете Multisim

4. Определить и построить при номинальном напряжении сети:

- нагрузочную характеристику стабилизатора – зависимость напряжения на нагрузке $U_{\text{н}}$ от тока нагрузки $I_{\text{н}}$;
- зависимость тока стабилизатора $I_{\text{СТ}}$ от величины тока нагрузки $I_{\text{н}}$;
- зависимость коэффициента сглаживания пульсации стабилизатора q от величины тока нагрузки $I_{\text{н}}$:

$$q = \frac{U_{\text{вх}}^{\text{н}}}{U_{\text{вх}}^{\text{н}}} \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}^{\text{н}}},$$

где $U_{\text{вх}}^{\text{н}}$, $U_{\text{вх}}^{\text{н}}$ – амплитуды пульсации входного $U_{\text{вх}}$ и выходного $U_{\text{вх}}$ напряжений стабилизатора соответственно.

Для проведения эксперимента необходимо изменяя ток нагрузки потенциометром в диапазоне $[0,1-10]I_{\text{н}}$ снять показания измеряемых параметров и заполнить табл. 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

$I_{\text{н}}$, мА	$I_{\text{СТ}}$, мА	$U_{\text{н}}$, В	$U_{\text{вх}}^{\text{н}}$, мВ	$U_{\text{вх}}^{\text{н}}$, мВ	q
$0,1 I_{\text{н}}$					
...					
$10 I_{\text{н}}$					

При определении коэффициента сглаживания пульсаций настроить каналы измерения напряжений на осциллографе в режим «АС».

5. Определить и построить:

- зависимость коэффициента стабилизации $K_{СТУ}$ по входному напряжению:

$$K_{СТУ} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вхном}} : \frac{\Delta U_{вых}}{U_{выхном}} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} \frac{U_{выхном}}{U_{вхном}},$$

где $\Delta U_{вх}$, $\Delta U_{вых}$ – приращения напряжений на входе и выходе стабилизатора.

Для проведения эксперимента необходимо изменяя напряжение сети в диапазоне $[0,25-2]U_{сети_ном}$ ($U_{сети_ном}=220$ В) при номинальном токе нагрузки снять показания измеряемых параметров и заполнить табл. 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента

$U_{сети}, В$	$U_{вх}, В$	$U_{н}, В$	$K_{СТУ}$	$I_{СТ}, мА$	$U_{КЭВТ1}, В$	$I_{н}, мА$
$0,25U_{сети_ном}$						
...						
$2U_{сети_ном}$						

6. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для исследуемой схемы стабилизатора в отчете представить:

- схему стабилизатора;
- значения основных параметров стабилизатора напряжения;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики нагрузочной характеристики, зависимости тока стабилизатора и коэффициента сглаживания пульсации от величины тока нагрузки, коэффициента стабилизации от величины входного напряжения.

- выводы.

Лабораторная работа № 7

«Исследование последовательного компенсационного стабилизатора напряжения с усилителем ошибки на операционном усилителе»

Цель работы: изучить принцип действия последовательного компенсационного стабилизатора напряжения с усилителем ошибки на операционном усилителе, экспериментально определить основные параметры и характеристики стабилизатора.

1. Теоретические сведения

1.1 Последовательный компенсационный стабилизатор напряжения с усилителем ошибки на операционном усилителе

Представим КСН в виде структурной схемы.

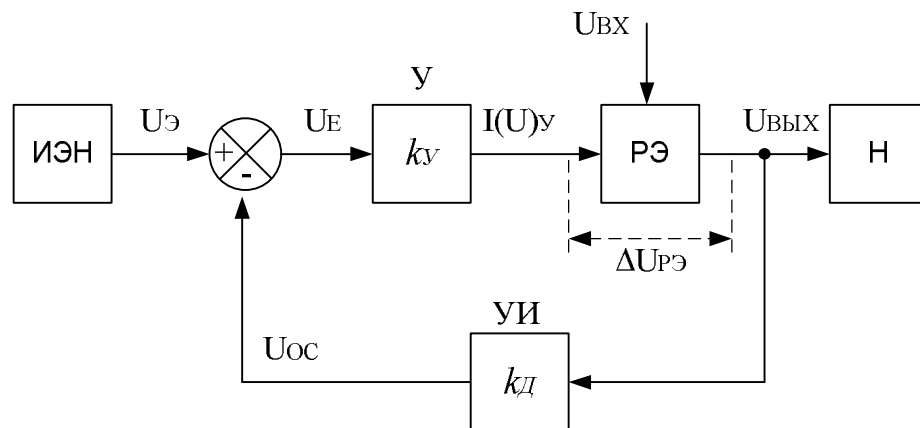


Рисунок 1 – Структурная схема КСН:

ИЭН – источник эталонного напряжения; У – усилитель; РЭ – регулирующий элемент; УИ – устройство измерения; Н – нагрузка.

Из рис. 1 можно найти

$$\Delta U_{ВЫХ} = \frac{k_{РЭ}}{1 + k_{РЭ}k_{У}k_{Д}} \Delta U_{ВХ}, \quad (1)$$

где $k_{РЭ}$ – коэффициент передачи регулирующего элемента ($k_{РЭ} \approx 1$);

$k_{Д}$ – коэффициент передачи делителя ($k_{Д} \approx (0,6 - 0,8)$);

$k_{У}$ – коэффициент передачи усилителя.

При увеличении $k_{У}$ повышается коэффициент стабилизации, поэтому

для повышения качества стабилизации в компенсационных стабилизаторах непрерывного действия усилитель ошибки может быть выполнен на базе инвертирующего усилителя, на операционном усилителе (ОУ).

Схема КСН с усилителем ошибки на ОУ приведена на рис. 2. Особенностью данной схемы является то, что источник эталонного напряжения (параметрический стабилизатор, выполненный на стабилитроне VD1 и балластном резисторе R_Б) подключен к выходной цепи КСН. Это приводит к повышению стабильности эталонного напряжения, однако при этом величина U_Э будет меньше напряжения на нагрузке на (30÷40)%, поэтому для сравнения напряжения на нагрузке с эталонным напряжением необходимо снизить ее в такой же пропорции. Это осуществляется помощью делителя напряжения на резисторах R_{Д1} и R_{Д2}. Регулирующий элемент может быть выполнен как на полевом, так и на биполярном транзисторе.

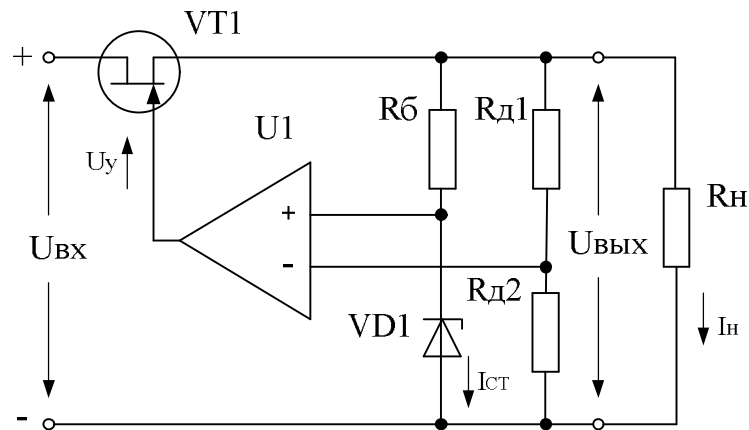


Рисунок 2 – Компенсационный стабилизатор напряжения с усилителем ошибки на операционном усилителе

При возрастании напряжения U_{ВХ} в первоначальный момент времени увеличивается напряжение на нагрузке U_Н. Это приводит к увеличению напряжения обратной связи и повышению положительного потенциала на затворе транзистора VT1. Транзистор VT1 приоткрывается, увеличивается падение напряжения U_{СИ} и напряжение на нагрузке восстанавливается.

2. Порядок выполнения работы

1. Используя возможности пакета Multisim собрать схему стабилизатора представленного на рис. 2.1.

Определить сопротивление резисторов R_6 , $R_{д1}$, $R_{д2}$ и номинальное сопротивление нагрузки $R_{нн}$, если:

$$R_6 = \frac{U_{\text{вых min}} - U_{\text{см min}}}{I_{\text{CT min}} + I_{\text{OУ}}},$$

где $U_{\text{вых min}} = 21,5 \text{ В}$; $U_{\text{см min}} = 10,8 \text{ В}$; $I_{\text{CT min}} = 35 \text{ мА}$; $I_{\text{OУ}} = 0,03 \text{ мА}$; $I_{\text{дел}} = 0,6 \text{ мА}$; $I_{\text{н}} = 2 \text{ А}$.

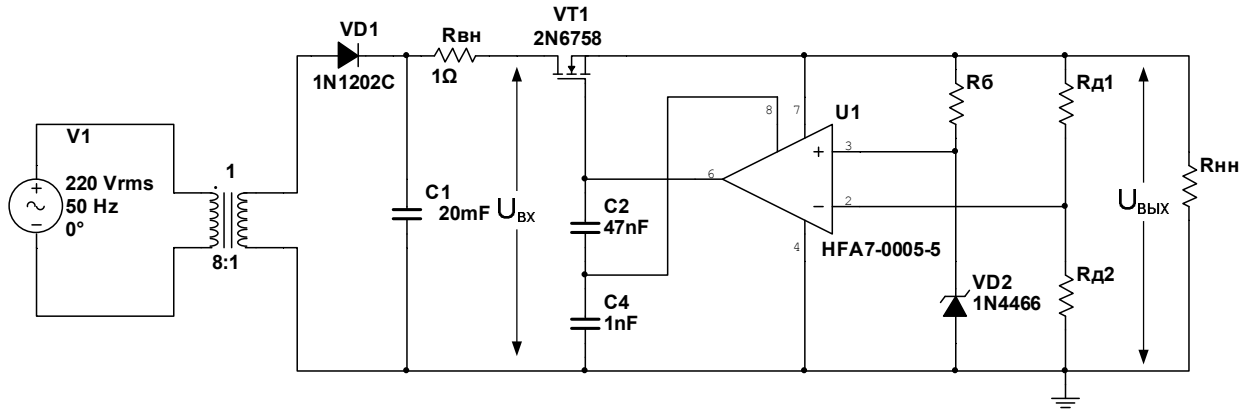


Рисунок 2.1 – Схема последовательного КСН с усилителем ошибки на ОУ в пакете Multisim

2. Осциллографом снять осциллограммы напряжения на входе и выходе стабилизатора, падение напряжения «сток-исток» на транзисторе VT1.

3. Для проведения исследования и снятия характеристик стабилизатора заменить сопротивление нагрузки $R_{нн}$ потенциометром $R_{п} = 10R_{нн}$ (см. рис. 2.2). При этом изменяя величину потенциометра показания приборов можно снимать, не останавливая процесс моделирования.

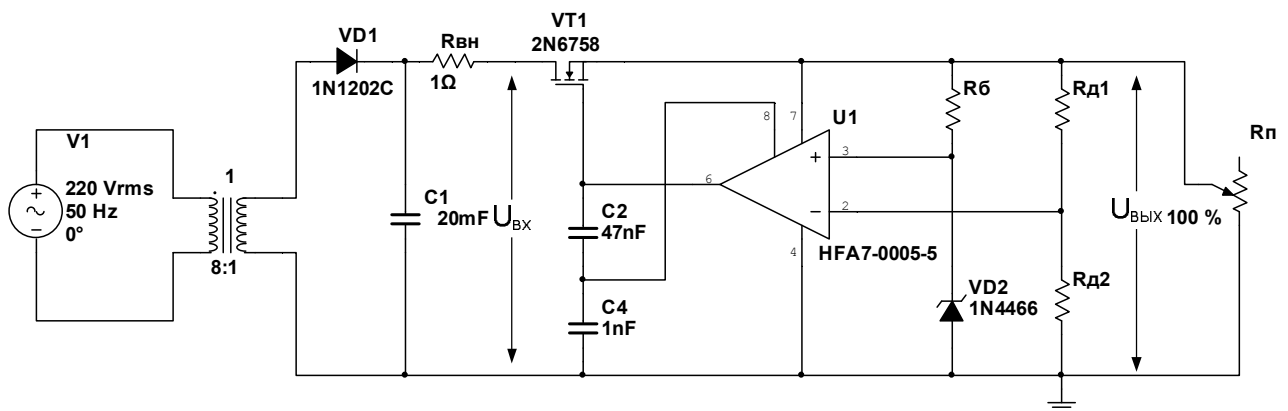


Рисунок 2.2 – Схема исследования последовательного КСН с усилителем ошибки на ОУ в пакете Multisim

4. Определить и построить при номинальном напряжении сети:

- нагрузочную характеристику стабилизатора – зависимость напряжения на нагрузке U_H от тока нагрузки I_H ;

- зависимость коэффициента сглаживания пульсации стабилизатора q от величины тока нагрузки I_H :

$$q = \frac{U_{вх}^n}{U_{вых}^n} \frac{U_{вых}}{U_{вх}},$$

где $U_{вх}^n$, $U_{вых}^n$ – амплитуды пульсации входного $U_{вх}$ и выходного $U_{вых}$ напряжений стабилизатора соответственно.

Для проведения эксперимента необходимо изменяя ток нагрузки потенциометром в диапазоне $[0,1-6]I_H$ снять показания измеряемых параметров и заполнить табл. 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

I_H , мА	$I_{СТ}$, мА	U_H , В	$U_{вх}^n$, мВ	$U_{вых}^n$, мВ	q
$0,1 I_H$					
...					
$6 I_H$					

При определении коэффициента сглаживания пульсаций настроить каналы измерения напряжений на осциллографе в режим «АС».

5. Определить и построить:

- зависимость коэффициента стабилизации $K_{СТУ}$ по входному напряжению:

$$K_{СТУ} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вхном}} : \frac{\Delta U_{вых}}{U_{выхном}} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} \cdot \frac{U_{выхном}}{U_{вхном}},$$

где $\Delta U_{вх}$, $\Delta U_{вых}$ – приращения напряжений на входе и выходе стабилизатора.

Для проведения эксперимента необходимо изменяя напряжение сети в диапазоне $[0,25-2]U_{сети_ном}$ ($U_{сети_ном}=220$ В) при номинальном токе нагрузки снять показания измеряемых параметров и заполнить табл. 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента

$U_{сети}, В$	$U_{вх}, В$	$U_{н}, В$	$K_{СТУ}$	$U_{СИПТ1}, В$	$I_{н}, МА$
$0,25U_{сети_ном}$					
...					
$2U_{сети_ном}$					

6. Сделать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Для исследуемой схемы стабилизатора в отчете представить:

- схему стабилизатора;
- значения основных параметров стабилизатора напряжения;
- осциллограммы напряжений и токов в схеме;
- графики нагрузочной характеристики, зависимости коэффициента сглаживания пульсации от величины тока нагрузки и коэффициента стабилизации от величины входного напряжения.
- выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: учебное пособие для вузов / В.М. Бушуев, В.А. Деминский, Л.Ф. Захаров и др. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 384 с.
2. Бокуняев А.А. Электропитание устройств связи : Учебник для вузов связи / А.А. Бокуняев, В.М. Бушуев ; Под ред.Ю.Д.Козляева. - М. : Радио и связь, 1998. - 328с.
3. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет: учебное пособие / Е.Н. Гейтенко. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 448 с.
4. Сенько В.Ф. Енергетична електроніка: [навчальний посібник] / В.Ф. Сенько, О.В. Вовна, А.А. Зорі. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 228 с.
5. Гусев В.Г. Электроника: учебное пособие для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 621 с.
6. Костиков В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: учебник для вузов / В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов. – М.: Радио и связь, 1998. – 344 с.