

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники

Электропитание ЭВМ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУХТАКТНОГО ИНВЕРТОРА СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ

Руководство к лабораторной работе

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра промышленной электроники

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ПрЭ

С.Г. Михальченко

Электропитание ЭВМ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУХТАКТНОГО ИНВЕРТОРА СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ

**Руководство к лабораторной работе
для студентов направления 11.04.04
электроника и наноэлектроника**

РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент каф. ПрЭ

Б.И. Коновалов

Ст. препод. каф. ПрЭ

В.С. Мишуров

Доцент каф. ПрЭ

В.Д. Семенов

Ст. препод. каф. ПрЭ

В.В. Русанов

2015

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	3
2 ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2.1 Двухтактный инвертор со средней точкой.....	4
2.4 Стабилизированный источник питания на основе преобразователей с трансформаторным выходом.....	8
3 ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	11
4 ОПИСАНИЕ МАКЕТА.....	12
5 ПРОГРАММА РАБОТЫ.....	17
6 ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА.....	18
7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	19
8 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	20

1 ВВЕДЕНИЕ

Основная масса устройств радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) потребляет электроэнергию на постоянном токе. Силовая цепь большинства источников питания постоянного тока реализуется на основе непосредственных преобразователей постоянного напряжения (НПН). Однако такие источники питания наряду с высокими энергетическими показателями обладают существенными недостатками. Это наличие гальванической связи входа и выхода, а также такие источники не могут обеспечить питания нагрузки напряжениями нескольких уровней. Для реализации силовой цепи многоканальных источников питания используют, как правило, инверторы с трансформаторным выходом. В настоящей работе рассматриваются источники питания, выполненные на основе двухтактной нулевой и однотактных схем.

2 ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Двухтактный инвертор со средней точкой

Двухтактная схема инвертора с нулевым выводом первичной обмотки трансформатора (рис. 2.1), в дальнейшем — просто нулевая, содержит два транзисторных ключа, которые работают в противотакте и по очереди подключают к источнику питания соответствующую половину первичной обмотки. Если включен транзистор VT1, то «плюс» источника питания приложен к концу одной $W_{1.1}$ (левой) полуобмотки трансформатора, а если открыт транзистор VT2 — к началу другой $W_{1.2}$ (правой). Отличительная особенность этой схемы заключается в том, что к ключу, находящемуся в замкнутом состоянии, прикладывается сумма напряжений двух полуобмоток, т. е. удвоенное напряжение источника питания. При симметричном режиме работы инвертора сердечник трансформатора перемагничивается по полной петле кривой намагничивания от $+B_r$ до $-B_r$. В результате в сердечнике трансформатора создается переменный магнитный поток, который наводит во вторичных полуобмотках переменное напряжение прямоугольной формы. Двухполупериодный выпрямитель преобразует это напряжение в однополярное (постоянное). За период инвертирования энергия дважды передается от источника в нагрузку.

При запираании ключа VT1 токи в транзисторах равны нулю, начинается интервал паузы t_n в первом полупериоде работы схемы. Для протекания тока нагрузки I_H должны быть открыты диоды VD3 и VD4, при этом вторичные полуобмотки закорочены, а напряжения на них равны нулю. Последнее означает, что ток намагничивания i_μ протекает по вторичным полуобмоткам и остается постоянным и равным $I_{\mu \max}$, а токи вторичных полуобмоток i_{21} и i_{22} определяются выражениями:

$$i_{21} = \frac{I_H}{2} + \frac{i_\mu}{2K_{TP}};$$

$$i_{22} = \frac{I_H}{2} + \frac{i_\mu}{2K_{TP}}.$$

По результатам анализа можно сделать вывод, что токи I_{21} и I_{22} оказываются неравными вследствие пересчета в полуобмотки $W_{2.1}$ и $W_{2.2}$ тока намагничивания.

В начале второго полупериода отпирается ключ VT2 и на интервале t_n изменяется полярность напряжения на всех полуобмотках трансформатора. Ток намагничивания протекает через правую полуобмотку $W_{1.2}$ и убывает линейно от первоначального значения $I_{\mu \max}$. Ток нагрузки протекает по диоду VD4, а диод VD3 заперт.

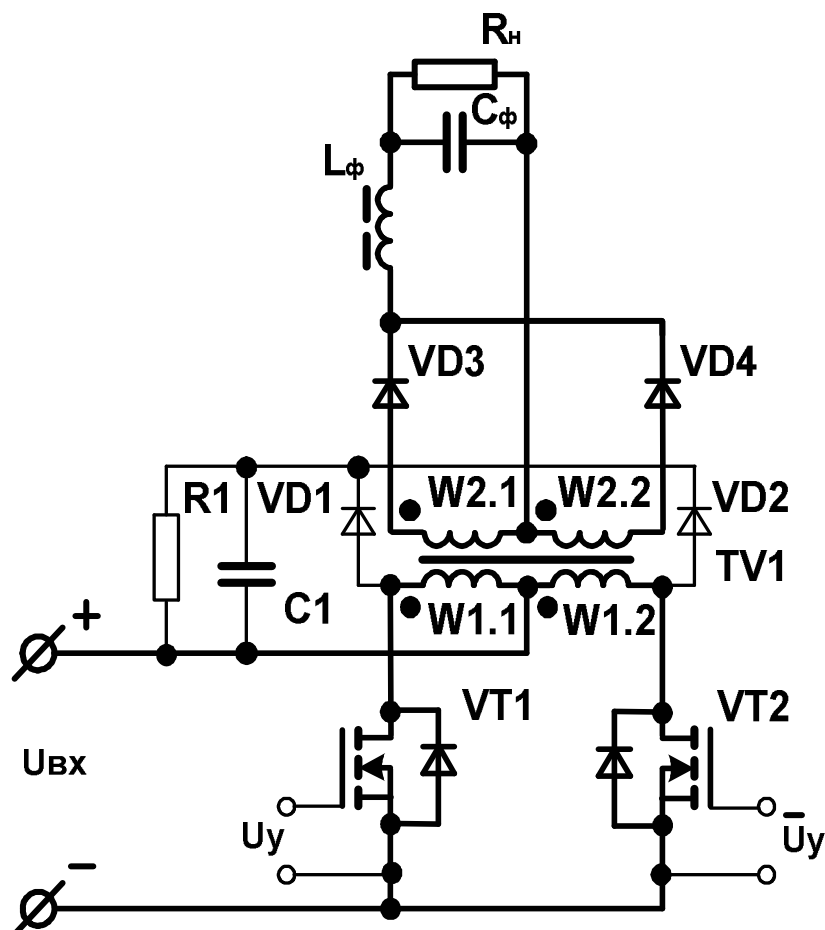


Рисунок 2.1 — Двухтактный автономный нулевой инвертор напряжения с выпрямителем на выходе

Ток i_{12} полуобмотки $W_{1,2}$, равный току ключа i_{VT2} :

$$i_{12} = i_{VT2} = -i_{\mu} + I_H K_{TP}.$$

Ток намагничивания изменяется в соответствии с соотношением:

$$i_{\mu} = -\frac{U_{BX}}{L}t + I_{\mu max}.$$

где

$$I_{\mu max} = \frac{U_{BX}}{2L}t_{и}.$$

Далее процессы повторяются. На рис. 2.2 приведены временные диаграммы напряжений и токов, характерные для работы этого преобразователя в режиме регулирования относительной длительности открытого состояния транзисторов $\gamma = \frac{t_{и}}{T}$ не равной единице.

Токи в ключах VT1 и VT2 имеют одинаковую форму и смещены друг относительно друга на половину периода. В начале интервала $t_{и}$ ток в ключе равен:

$$I_{\text{VT НАЧ}} = I_{\text{H}} K_{\text{ТР}} - I_{\mu\text{max}}.$$

Этот ток линейно возрастает и к концу импульса достигает значения $I_{\text{H}} K_{\text{ТР}} + I_{\mu\text{max}}$.

Выполнение неравенства

$$I_{\text{H}} K_{\text{ТР}} - I_{\mu\text{max}} < 0$$

означает, что при использовании в качестве ключей биполярных транзисторов параллельно транзисторам необходимо включать обратные диоды.

Регулировочная характеристика такой двухтактной схемы, работающей в режиме непрерывного тока дросселя выходного фильтра:

$$U_{\text{H}} = U_{\text{ВХ}} K_{\text{ТР}} \gamma, \gamma = 1$$

где $\gamma = \frac{t_{\text{и}}}{T}$.

RCD-цепь (R1, C1, VD1, VD2) предназначена для сброса реактивной энергии индуктивности рассеяния первичных полуобмоток трансформатора.

Нулевые инверторы обладают рядом достоинств:

- уменьшенное количество ключей по сравнению с мостовыми;
- не требуется обязательная для мостовых схем гальваническая развязка схемы управления с силовой цепью;
- передача энергии от источника в нагрузку в оба полупериода, что приводит к уменьшению установленной мощности выходного фильтра, по сравнению с однотактными инверторами.

Однако наряду с достоинствами нулевым инверторам присущи и недостатки:

- удвоенное напряжение на ключах по сравнению с мостовыми инверторами;
- наличие сквозных токов в режиме максимальной длительности открытого состояния транзисторов $\gamma = 1$;
- возможность режима замагничивания сердечника трансформатора по сравнению с однотактными инверторами. Это вызвано неидентичностью характеристик элементов схемы (падением напряжения на открытых транзисторах, временами включения и выключения транзисторов, различиями активных сопротивлений полуобмоток трансформатора). Этот недостаток особенно важен при серийном производстве источников, где невозможен индивидуальный подбор элементов.

Последних двух недостатков лишены источники, выполненные на основе однотактных инверторов

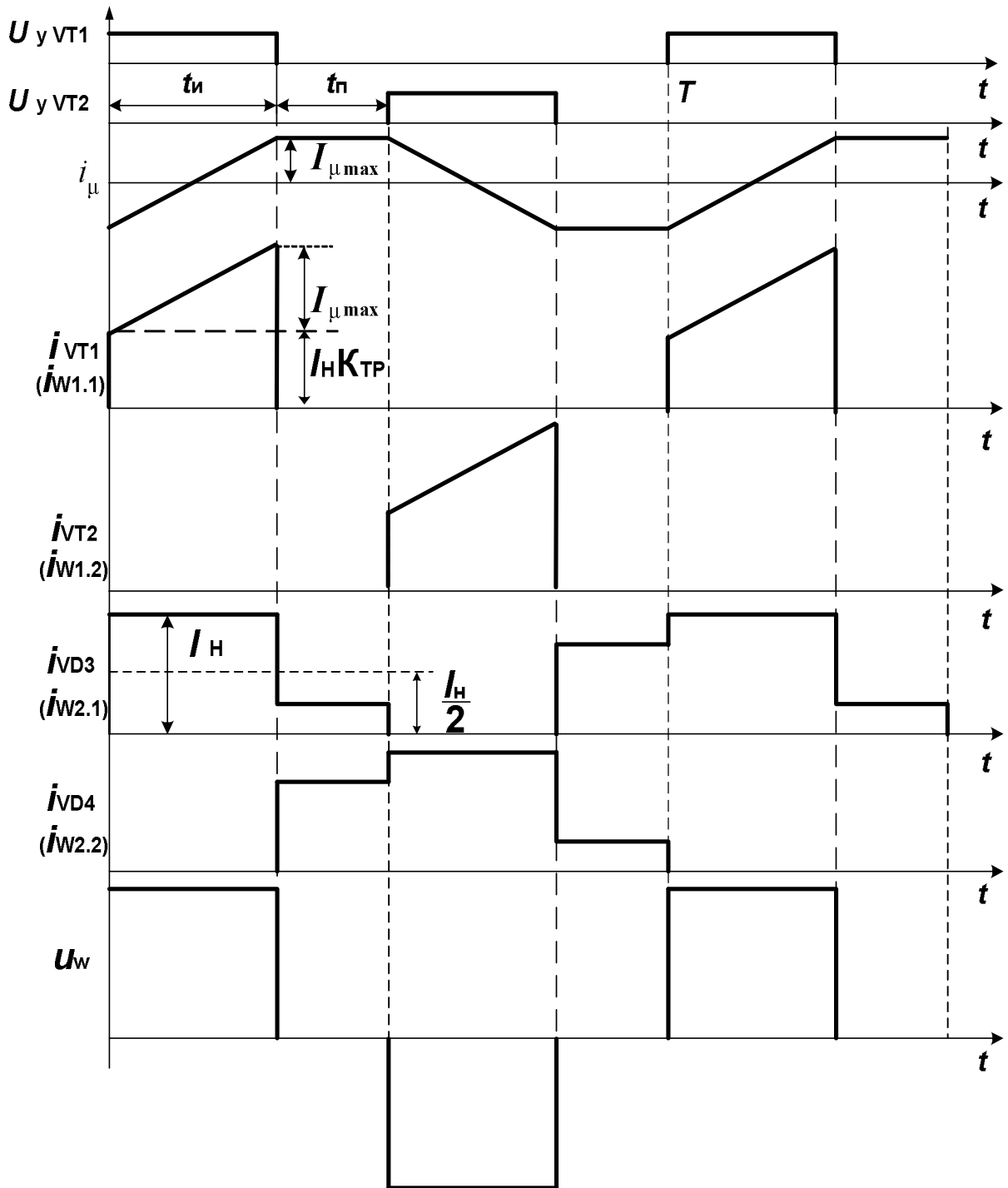


Рисунок 2.2 — Временные диаграммы токов и напряжений нулевого инвертора

2.4 Стабилизированный источник питания на основе преобразователей с трансформаторным выходом

Структурная схема стабилизированного источника представлена на рис. 2.3 и состоит из силовой или энергетической части источника, которая включает в себя источник напряжения питания $U_{\text{пит}}$, однотактный инвертор И, высокочастотный трансформатор T_p , выпрямитель В, фильтр Φ выходного напряжения, нагрузку Н. В некоторых случаях между источником $U_{\text{пит}}$ и инвертором И устанавливается входной фильтр для сглаживания пульсаций входного тока. Оставшаяся часть структурной схемы включает в себя источник опорного напряжения ИОН, сравнивающее устройство в виде сумматора S, УО — усилитель ошибки, КЗ — корректирующее звено, ЗГ — задающий генератор, ГПН — генератор пилообразного напряжения, ИМ — импульсный модулятор, звено обратной связи $K_{\text{ос}}$, и относится к информационной части схемы. По необходимости устанавливают драйвера, или усилители мощности, являющиеся согласующим устройством между маломощной информационной частью и мощной силовой. Назначение драйвера — преобразовывать маломощный сигнал ИМ в сигнал необходимой мощности, способный включать ключи инвертора, а также осуществлять гальваническую развязку сигнала управления от силовой части источника, если такое требование выдвигается.

Блок защиты осуществляет выключение силовой (энергетической) части источника при коротких замыканиях или перегрузках в силовой цепи, в источнике питания или преобразователе.

На современном уровне развития электроники зачастую информационная часть выполняется в виде специализированной микросхемы — ШИМ-контроллера, к выходам которого необходимо лишь подключить источники питания и необходимые элементы, задающие режимы работы микросхемы. Информацию о ШИМ-контроллерах можно найти в [1].

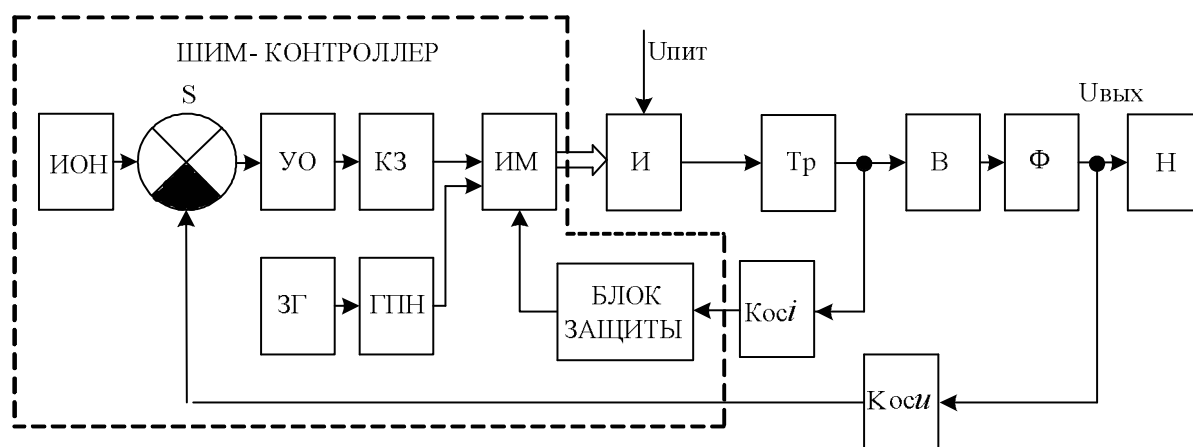


Рис. 2.3 — Структурная схема преобразователя с управлением на основе ШИМ

На рис. 2.4 представлена развернутая структурная схема, которая представляет фактически математическую модель стабилизированного источника питания на основе преобразователя с трансформаторным выходом.

Силовая часть модели состоит из источника напряжения $U_{\text{вх}}$, умножителя МУ1, играющего роль преобразователя с ШИМ, так как его выходное напряжение будет равно $U_{\text{вх}} \gamma$, безынерционного звена $\frac{1}{K_{\text{тр}}}$, сумматоров S1, S2, S3, интеграторов, в качестве которых выступают дроссель фильтра и конденсатор фильтра.

Неидеальность дросселя L фильтра отражена его сопротивлением r_L постоянному току. Интеграторы имеют отрицательную обратную связь по напряжению U_H нагрузки (дроссель $\frac{1}{L} \int U_L dt$) и току i_H нагрузки ($\frac{1}{C} \int i_c dt$).

Множительное звено МУ1 и безынерционное звено $\frac{1}{K_{\text{тр}}}$ используются также при нахождении входного тока $i_{\text{вх}}$ преобразователя $K_{\text{тр}}$.

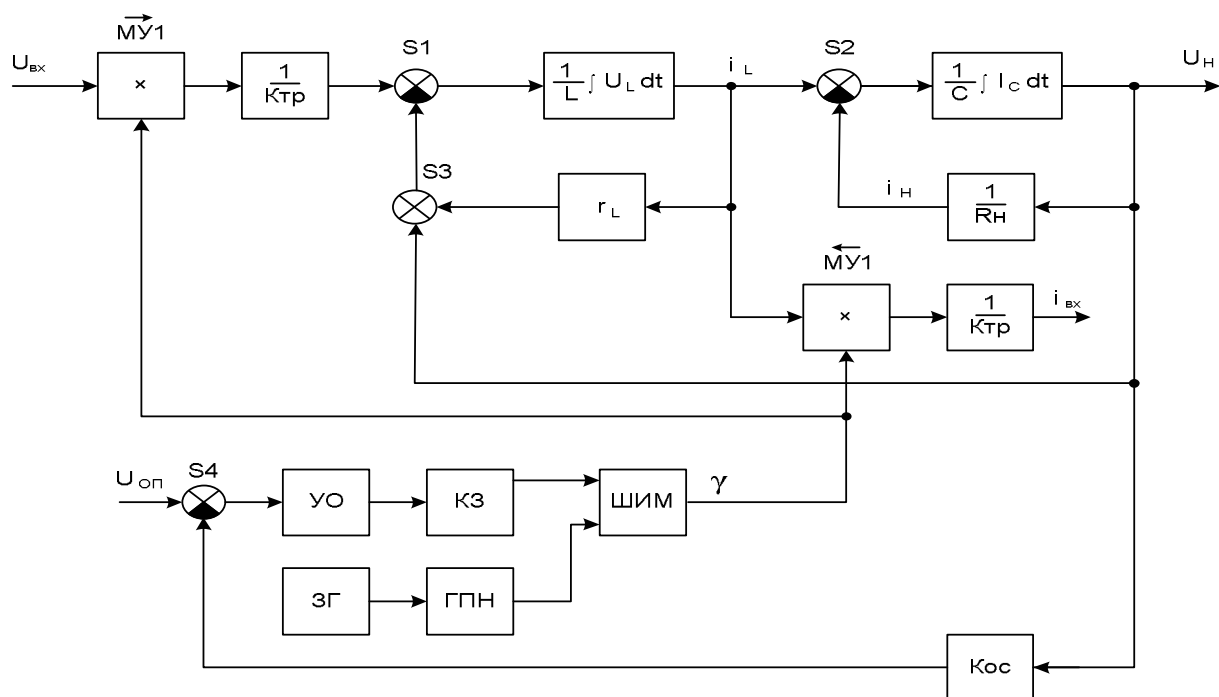


Рис. 2.4 — Развернутая структурная схема преобразователя

На рис. 2.5 приведена принципиальная электрическая схема силовой цепи источников питания на основе нулевого инвертора, которая при выполнении лабораторной работы отражается на мониторе компьютера.

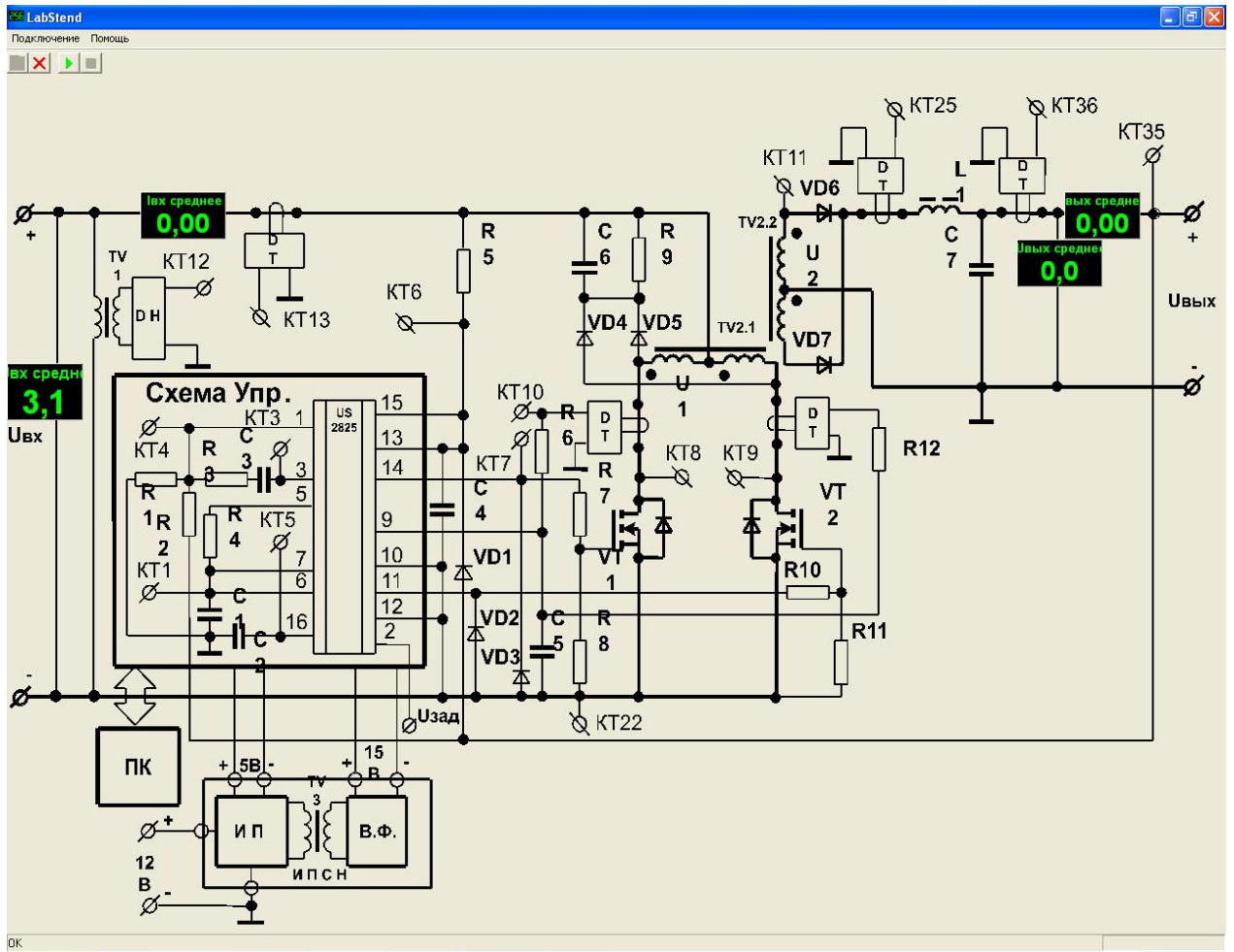


Рисунок 2.5

На экран выводятся следующие органы управления и индикации:

- индикатор измеренного значения входного напряжения преобразователя;
- индикатор измеренного значения входного тока преобразователя;
- индикатор измеренного значения тока дросселя;
- индикатор измеренного значения выходного тока преобразователя;
- индикатор измеренного значения выходного напряжения преобразователя.

3 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

3.1 Изучить принципы построения источников вторичного питания, выполненных на основе двухтактного инвертора.

3.2 Исследовать особенности работы источников питания (как замкнутой системы) при воздействии возмущающих факторов ($U_{вх}$; I_H).

4 ОПИСАНИЕ МАКЕТА

Структура лабораторной установки представлена на рис. 4.1.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ОТКЛЮЧАТЬ И ПОДКЛЮЧАТЬ ВЫХОДНЫЕ КЛЕММЫ ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ ВЫХОДНОМ НАПРЯЖЕНИИ!

4.1 Лабораторный макет оформлен в виде стенда. Стенд выполнен в настольном исполнении. На лицевой панели расположены контрольные точки для измерения исследуемых параметров. На левой боковой панели расположены разъем подключения источника питания собственных нужд, разъем подключения источника входного напряжения, разъем связи с компьютером. На правой боковой панели расположены клеммы подключения нагрузки.

4.2 Состав стенда.

4.2.1 Стенд включает в себя следующие основные узлы:

- микроконтроллер;
- ШИМ-контроллер;
- стабилизатор напряжения на основе двухтактного инвертора со средней точкой;
- стабилизатор напряжения на основе прямоходового преобразователя;
- стабилизатор напряжения на основе обратногоходового преобразователя;
- вспомогательные элементы;
- реле.

4.2.2 Микроконтроллер управляет работой стенда:

- обрабатывает сигналы управления от компьютера;
- формирует сигналы управления реле;
- формирует сигналы управления активным преобразователем в соответствии с заданными выходными параметрами;
- измеряет текущее значение контролируемых параметров;
- передает измеренные параметры и информацию о состоянии преобразователя в управляющий компьютер.

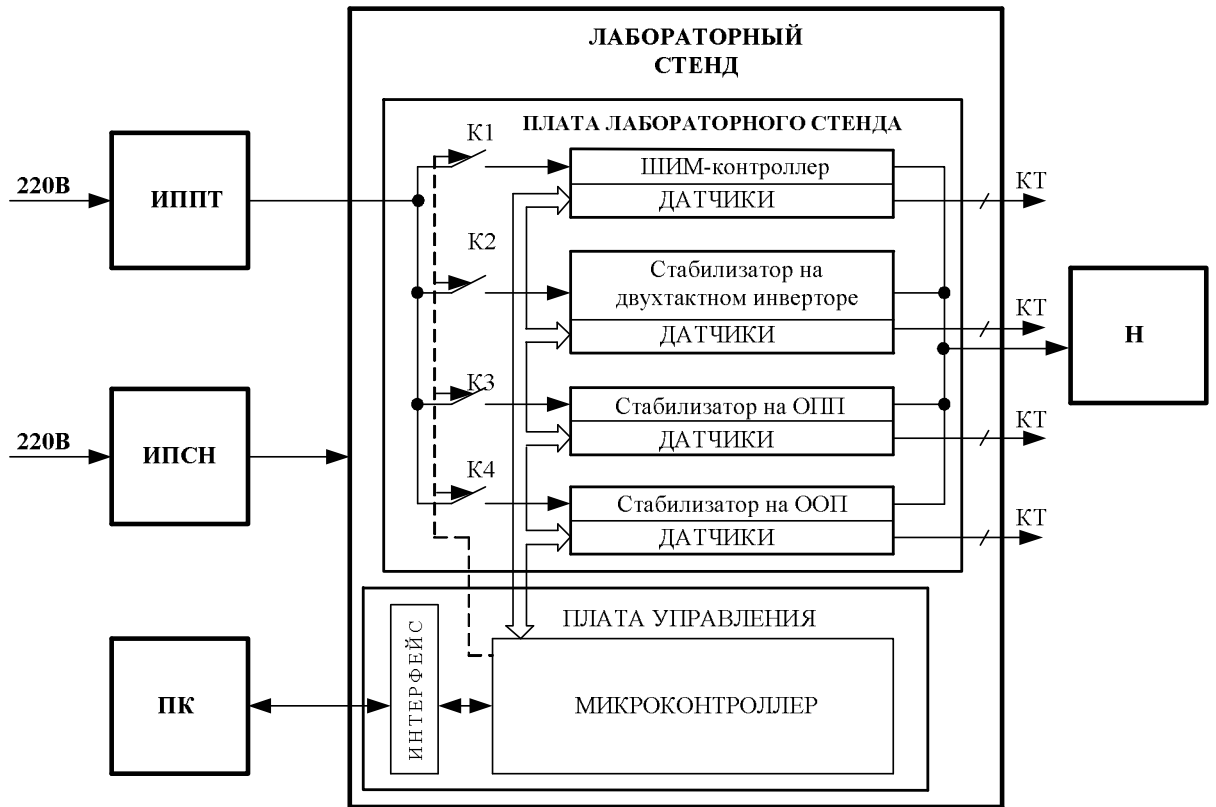


Рис. 4.1 — Структурная схема лабораторной установки

4.2.3 Реле служат для конфигурирования схемы силовой цепи стенда в соответствии со схемой выбранного преобразователя по рис. 4.2.

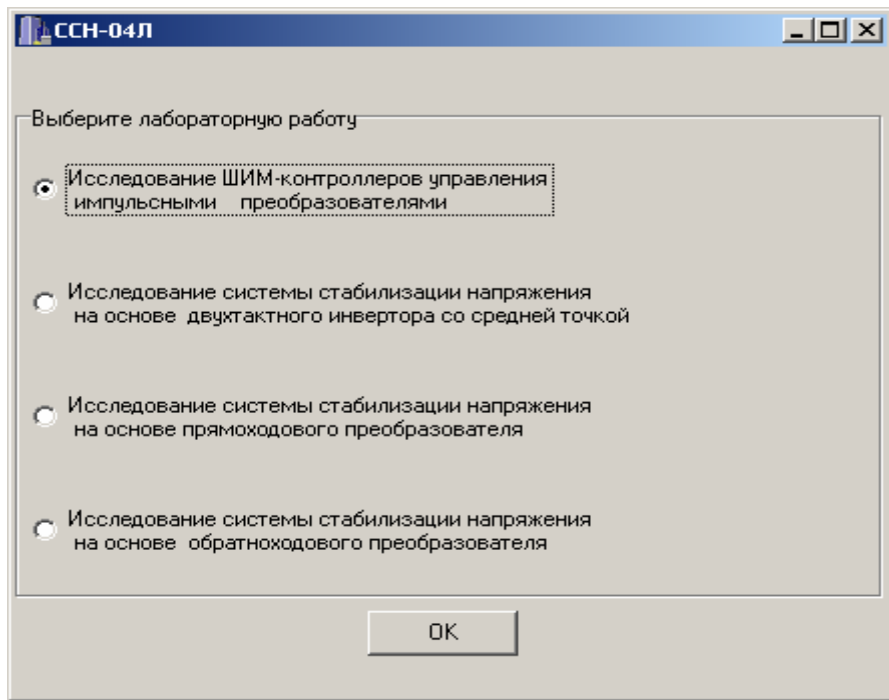


Рисунок 4.2

4.3 Подготовка стенда к работе.

Подключить нагрузочное сопротивление (реостат) к клеммной колодке X1 на правой боковой панели стенда.

Присоединить разъем кабеля связи стенда с компьютером к разъему XP1 на левой боковой панели стенда.

Присоединить разъем кабеля источника питания собственных нужд к разъему XS2 на левой боковой панели стенда.

Присоединить разъем кабеля входного переменного напряжения стенда к разъему XS1 на левой боковой панели стенда.

Проверить правильность монтажа. Провести проверку работоспособности стенда в следующей последовательности:

- подать на стенд напряжение 12 В (присоединить вилку сетевого кабеля источника питания 12 В к розетке однофазной сети переменного тока 220 В). При поступлении питания на стенд должны включиться светодиоды HL12-HL15;

- включить компьютер и загрузить соответствующее программное обеспечение LabStend.exe;

- нажать кнопку «Выбор исследуемой схемы».

При исправном стенде программа должна перейти в меню выбора исследуемой схемы, в заголовке которого должно быть указано наименование стенда «ССН-04Л».

После запуска программы на экран выводится главное окно программы рис. 4.3 с управляющими элементами.

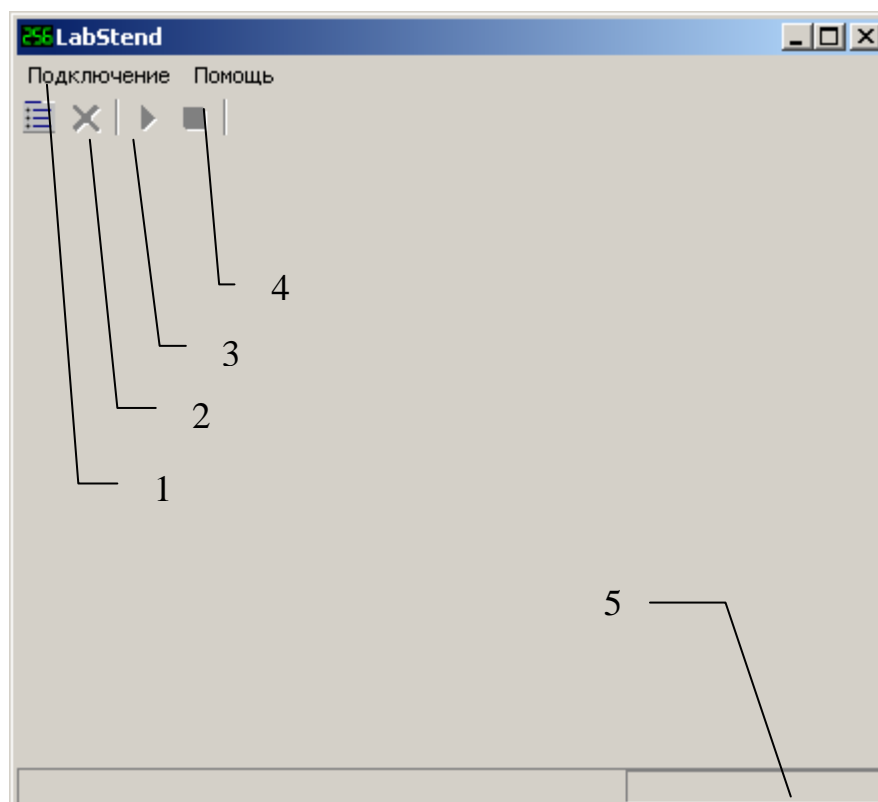


Рисунок 4.3

В заголовке программы указывается имя программы. Главное меню программы состоит из двух пунктов: «Подключение» и «О программе». Под главным меню расположена панель инструментов с четырьмя кнопками: «Выбор исследуемой схемы» поз. 1, «Сброс выбора» поз. 2, «Старт» поз. 3, «Стоп» поз. 4. Неактивные кнопки выделены серым цветом. В правом нижнем углу окна (поз. 5) расположен индикатор качества связи управляющего компьютера со стендом, показывающий количество пропущенных пакетов в процентном соотношении к запрошенным. Ухудшение качества связи приводит к замедлению обновления значений измеренных величин.

При выборе пункта меню «Подключение» на экран выводится окно выбора COM порта для связи со стендом рис. 4.4.

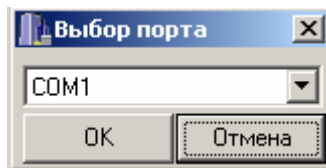


Рисунок 4.4

При нажатии кнопки «Выбор исследуемой схемы» на дисплей выводится окно выбора со списком схем (рис. 4.2), исследуемых на подключенном стенде. В заголовке окна указывается наименование подключенного стенда.

Нажатие кнопки «ОК» в этом окне, а так же при выборе лабораторных работ, на экран последовательно выводятся два окна (рис. 4.5—4.6) выбора дополнительных параметров работы стенда. В заголовке окна указывается наименование лабораторной работы.

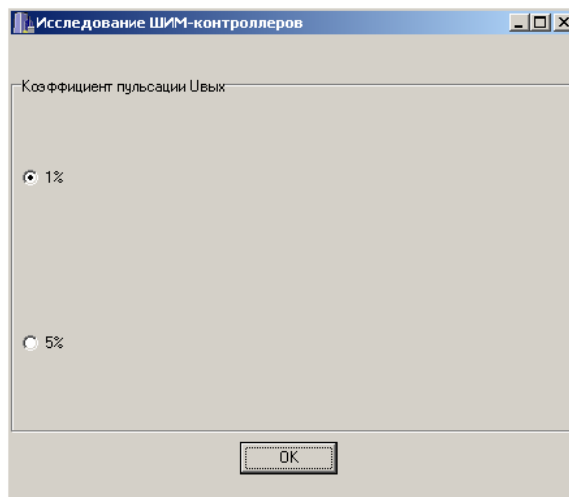


Рисунок 4.5

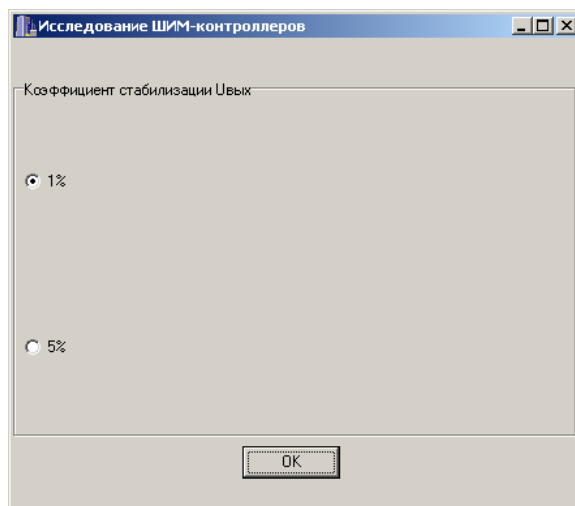


Рисунок 4.6

Нажатием кнопки «ОК» в основное окно программы загружается изображение исследуемой схемы с управляющими элементами и элементами отображения параметров.

С помощью кнопок «Включить К1» и «Выключить К1» подается и снимается входное напряжение.

ВНИМАНИЕ! При входном напряжении свыше 30В блокируется коммутация всех реле, изменяющих конфигурацию силовой схемы стенда, кроме отключения реле К1. При попытке изменить конфигурацию силовой схемы стенда на экран выводится сообщение «Запрещено».

Основные технические характеристики стенда:

величина входного напряжения	24—48 В;
максимальный выходной ток (не более)	5 А;
частота преобразователя	35 кГц.

5 ПРОГРАММА РАБОТЫ

5.1 Изучить состав и принцип работы источника вторичного электропитания по принципиальной электрической схеме.

5.2 Исследовать нестабильность выходного напряжения источника от статического изменения напряжения питания при фиксированных токах нагрузки ($I_{н\text{ мин}}$; $I_{н\text{ ном}}$).

5.3 Исследовать нестабильность выходного напряжения источника от статического изменения тока нагрузки при фиксированных значениях напряжения питания ($U_{вх\text{ мин}}$; $U_{вх\text{ макс}}$).

5.4 Исследовать зависимость коэффициента пульсаций выходного напряжения:

- а) от изменения входного напряжения;
- б) изменения тока нагрузки.

5.5 Снять переходные характеристики включения источника при различных значениях:

- а) входного напряжения;
- б) тока нагрузки.

5.6 Снять осциллограммы напряжений и токов, характерные для источника.

6 ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями к оформлению и содержанию отчетов, действующими в ТУСУР. Он должен содержать: введение, цель работы, электрические схемы исследуемых устройств, результаты исследований в виде таблиц, графиков осциллограмм, необходимые расчеты, выводы, сделанные на основе анализа расчетных и экспериментальных данных.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 В чем заключается особенность регулируемого двухтактного инвертора, при работе на трансформаторную нагрузку.

7.2 Как выглядит нагрузочная характеристика источника питания на базе регулируемого инвертора.

7.3 Чем обусловлены потери в силовой цепи источника.

7.4 Перечислить виды переходных процессов в замкнутых структурах.

7.5 Назвать показатели качества переходного процесса.

7.6 Как можно изменить точность поддержания выходного напряжения при воздействии дестабилизирующих факторов.

7.7 Записать выражение передаточной функции источника питания как замкнутой системы.

8 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П.А. Воронин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Додэка-XXI, 2005. — 381 с.: ил.

2 Дьяконов В.П. Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера» / В.П. Дьяконов. — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 320 с.: ил.

3 Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учеб. пособие / Г.С. Зиновьев. — Изд. 2-е, испр. и доп. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. — 664 с. — (Серия «Учебники НГТУ»).

4 Кобзев А.В., Коновалов Б.И., Семенов В.Д. Энергетическая электроника: учеб. пособие. В 2-х частях / А.В. Кобзев, Б.И. Коновалов, В.Д. Семенов. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. — Ч.1. — 102 с.

5 Коновалов Б.И. Электропитание ЭВМ: учеб. пособие / Б.И. Коновалов. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2007. — 177 с.

6 Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления: учеб. пособие / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев. — Томск: гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. 2003. — 205 с.