

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

**Кафедра промышленной электроники**

## **Электропитание ЭВМ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОТАКТНОГО  
ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

**Руководство к лабораторной работе**

ТОМСК — 2015

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

**Кафедра промышленной электроники**

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ПрЭ

С.Г. Михальченко

## **Электропитание ЭВМ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОТАКТНОГО  
ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

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

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 Однотактный обратногоходовый преобразователь (ООП).....	4
2.2 Стабилизированный источник питания на основе преобразователей с трансформаторным выходом.....	7
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 одноконтурных схем.

## 2 ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1 Однотактный обратногоходовой преобразователь (ООП)

Отличительной особенностью обратногоходового преобразователя (рис. 2.1) является то, что на интервале  $t_{\text{и}}$  замкнутого ключа VT1 происходит нарастание тока намагничивания в первичной обмотке трансформатора с одновременным накоплением энергии в трансформаторе, который работает в дроссельном режиме. Нагрузка в это время питается от конденсатора выходного фильтра. На интервале  $t_{\text{п}} = T - t_{\text{и}}$  выключенного транзистора накопленная энергия передается в конденсатор и нагрузку, при этом ток нагрузки является током размагничивания.

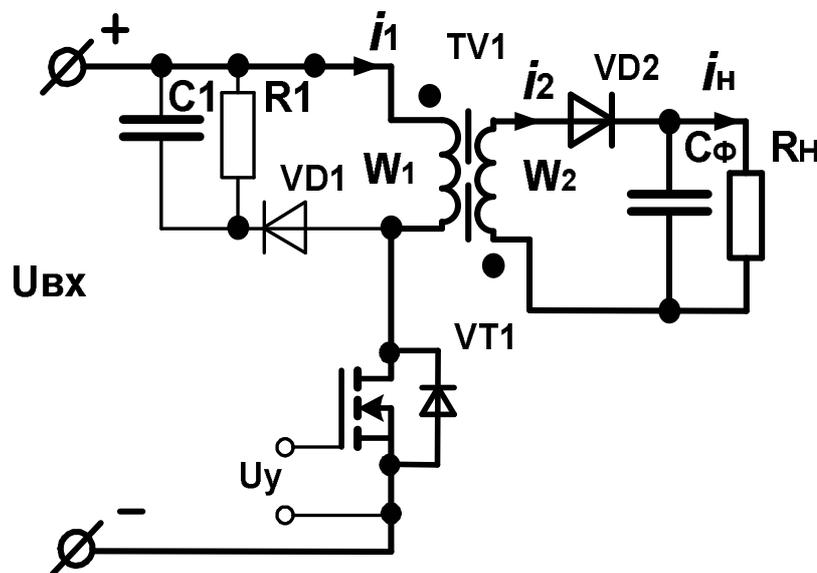


Рис. 2.1 — Однотактная преобразовательная ячейка с обратным включением выпрямительного диода

Этот режим работы преобразователя определяется обратным включением выпрямительного диода.

Дроссельный режим работы трансформатора достигается введением в сердечник немагнитного зазора, либо использованием другого магнитного материала с распределенным зазором.

На рис. 2.2 приведены временные диаграммы управляющих сигналов на затворе транзистора, токов и напряжений на обмотках трансформатора.

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

$$U_{\text{Н}} = U_{\text{ВХ}} K_{\text{ТР}} \frac{\gamma}{1 - \gamma}, \quad (1)$$

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

В режиме непрерывного тока энергия, запасенная в первичной обмотке на интервале  $\gamma T$  передается в нагрузку на интервале  $(1 - \gamma)T$ , причем в нагрузку она отдается не полностью и частично возвращается опять в первичную обмотку. Чтобы исключить такую паразитную циркуляцию энергии часто в ОХП используют режим граничного тока, когда ток во вторичной обмотке обращается в ноль в момент следующего включения ключа. В этом режиме ток вторичной обмотки (он же ток диода  $i_{VD2}$ ) имеет треугольную форму, а ток нагрузки, вследствие фильтрующего действия конденсатора  $C$  — постоянен, и при  $C \rightarrow \infty$  его пульсации как угодно малы. В установившемся режиме постоянная составляющая тока  $i_C$  через конденсатор равна нулю. Это значит что, среднее значение тока диода  $i_{VD1}$  равно среднему значению тока нагрузки, откуда можно получить соотношение

$$I_H = \frac{I_{W2\max}(1 - \gamma)}{2}, \quad (2)$$

где  $I_{W2\max}$  — максимальное значение тока вторичной обмотки трансформатора-дросселя. Принимая во внимание, что

$$I_{W1\max} W_1 = I_{W2\max} W_2, \quad (3)$$

выражение (2) можно записать в виде

$$I_H = \frac{I_{W1\max} W_1 (1 - \gamma)}{2 W_2}, \quad (4)$$

где  $I_{W1\max}$  — максимальное значение тока первичной обмотки трансформатора-дросселя, которое можно найти по выражению

$$I_{W1\max} = \frac{U_{ex} \gamma T}{L_1}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) получаем

$$I_{W1\max} = \frac{U_{ex} T K_{тр}}{2 L_1} \gamma (1 - \gamma). \quad (6)$$

Величина  $\frac{U_{ex} T}{2 L_1}$  в (6) имеет размерность тока и численно равна току первичной обмотки, если ее индуктивность  $L_1$  и к ней приложено напряжение  $U_{ex}$  в течение времени  $\frac{T}{2}$ .

Система уравнений (1) и (6) параметрически задает внешнюю (нагрузочную) характеристику ОХП без обратной связи, при этом величина  $\gamma$  является ее параметром.

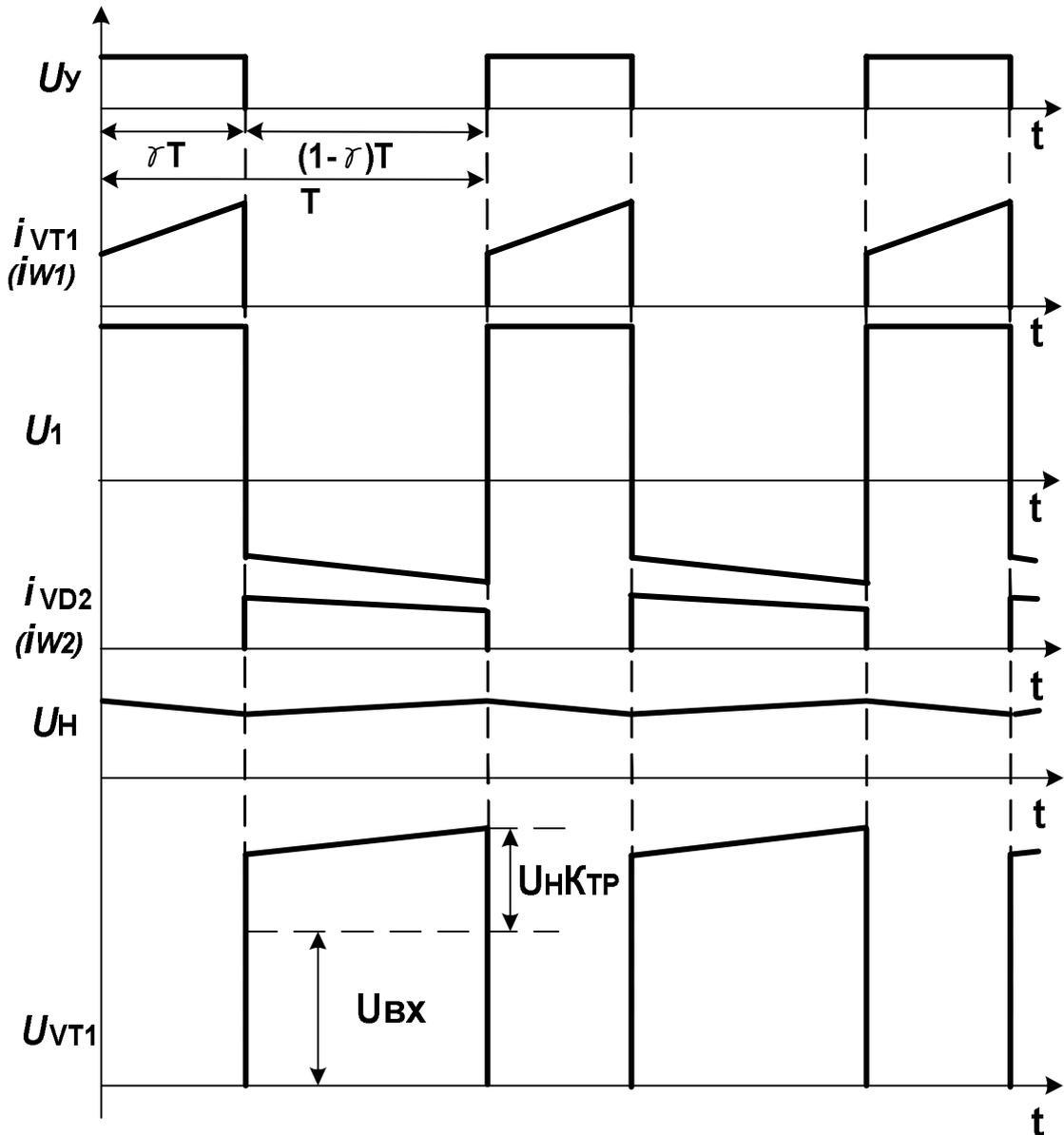


Рис. 2.2 — Временные диаграммы токов и напряжений, характерные для однотактного обратного преобразователя (ООП)

Мощность нагрузки в этом случае можно найти как

$$P_H = U_H I_H = U_{BX} K_{TP} \frac{\gamma}{1-\gamma} \frac{U_{BX} T K_{TP}}{2L_1} \gamma(1-\gamma) = U_{BX} I_{W1max} K_{TP}^2 \gamma^2. \quad (7)$$

Среднее значение тока  $i_{BX}$  потребляемого от источника питания  $U_{BX}$

$$I_H = I_{W1max} K_{TP}^2 \gamma^2. \quad (8)$$

Внешнюю или нагрузочную характеристику можно получить из (6) и (1). Выражая из (6)

$$1-\gamma = \frac{I_H 2L_1}{U_{BX} T \gamma K_{TP}} \quad (9)$$

и подставляя в (1), получаем

$$U_{\text{H}} = \frac{U_{\text{ex}} K_{\text{тр}} \gamma U_{\text{ex}} T \gamma}{I_{\text{H}} 2L_1} = \frac{U_{\text{ex}} I_{\text{W1max}} K_{\text{тр}}^2 \gamma^2}{I_{\text{H}}} \gamma_{\text{max}}. \quad (10)$$

Для уменьшения расчетной мощности выходного фильтра (в данном случае емкости конденсатора) целесообразно выбирать  $\gamma_{\text{max}}$  как можно больше. Однако следует учитывать, что увеличение  $\gamma_{\text{max}}$  при выполнении условия  $U_{\text{вх}} \gamma_{\text{max}} \leq U_{\text{H}} K_{\text{тр}} (1 - \gamma_{\text{max}})$  (положительные вольтсекунды не должны быть больше отрицательных), приводит к увеличению максимального значения отрицательной полуволны и напряжения на силовом транзисторе.

Для вывода энергии, запасенной в индуктивности рассеяния первичной обмотки, последняя шунтируется RCD-цепью. Энергия, запасенная в индуктивности рассеивания первичной обмотки  $W_1$ , сбрасывается через диод VD1 в конденсатор C1 и выделяется на резисторе R1.

К достоинствам источников питания на основе обратногоходовой ячейки следует отнести:

- уменьшенное количество ключей по сравнению с двухтактными схемами;
- отсутствие режима замагничивания сердечника трансформатора (для правильно спроектированного трансформатора).

К недостаткам:

- передача энергии от источника в нагрузку только в одном такте по сравнению с двухтактными инверторами;
- увеличенная установленная мощность выходного фильтра по сравнению с двухтактными инверторами;
- в связи с тем, что трансформатор работает в дроссельном режиме, завышенная индуктивность рассеяния по сравнению и с двухтактными инверторами и с одноктактным прямоходовым преобразователем.

## 2.2 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  $U_{\text{пит}}$ , одноктактный инвертор И, высокочастотный трансформатор  $T_{\text{р}}$ , выпрямитель В, фильтр  $\Phi$  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].

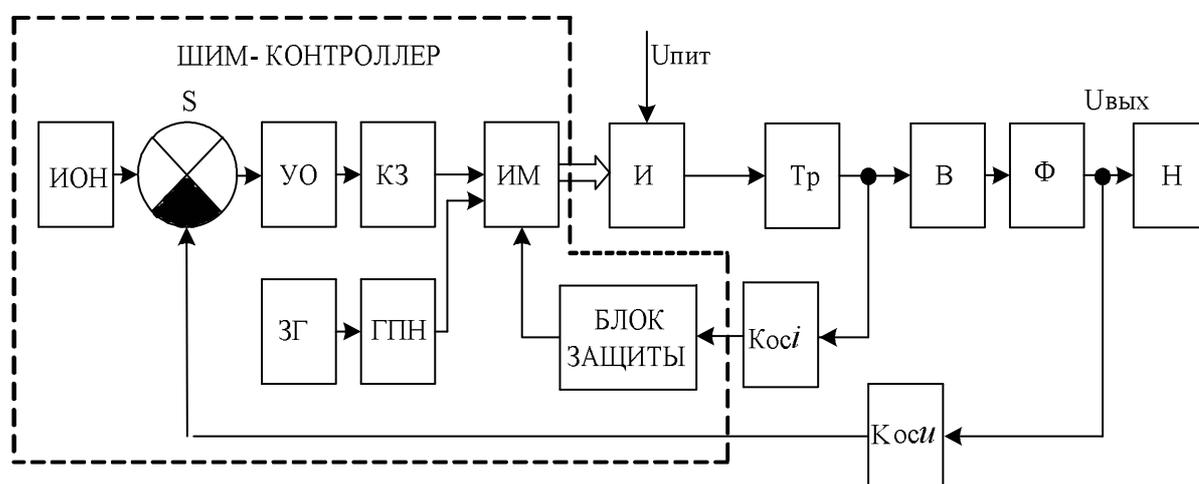


Рис. 2.3 — Структурная схема преобразователя с управлением на основе ШИМ

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

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  $\frac{1}{K_{\text{ф}}}$ , 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  $\frac{1}{K_\phi}$  используются также при нахождении входного тока  $i_{вх}$  преобразователя  $K_{тр}$ .

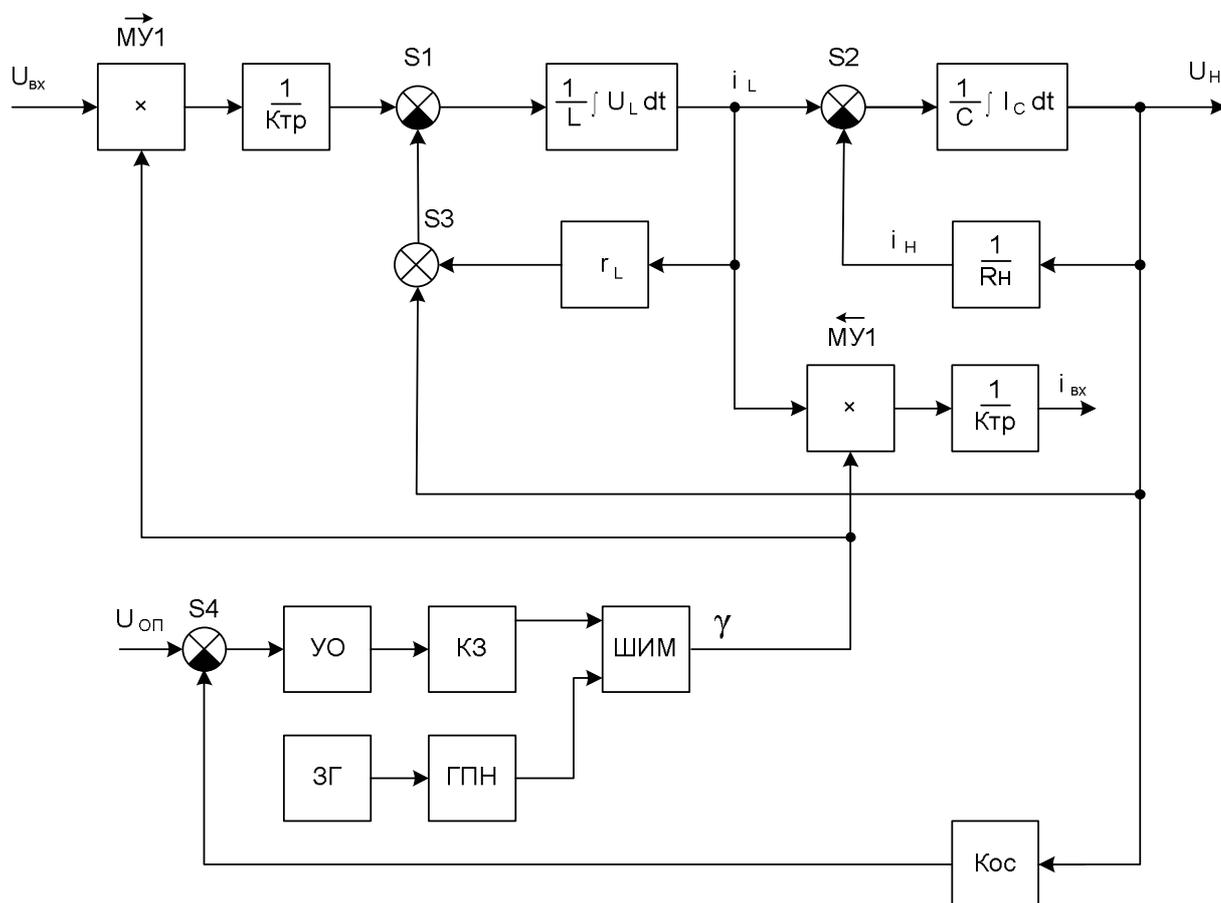


Рис. 2.4 — Развернутая структурная схема преобразователя

На рис. 2.5 приведена принципиальная электрическая схема силовой цепи источника питания на основе обратноходового преобразователя, которая при выполнении лабораторной работы отражается на мониторе компьютера.

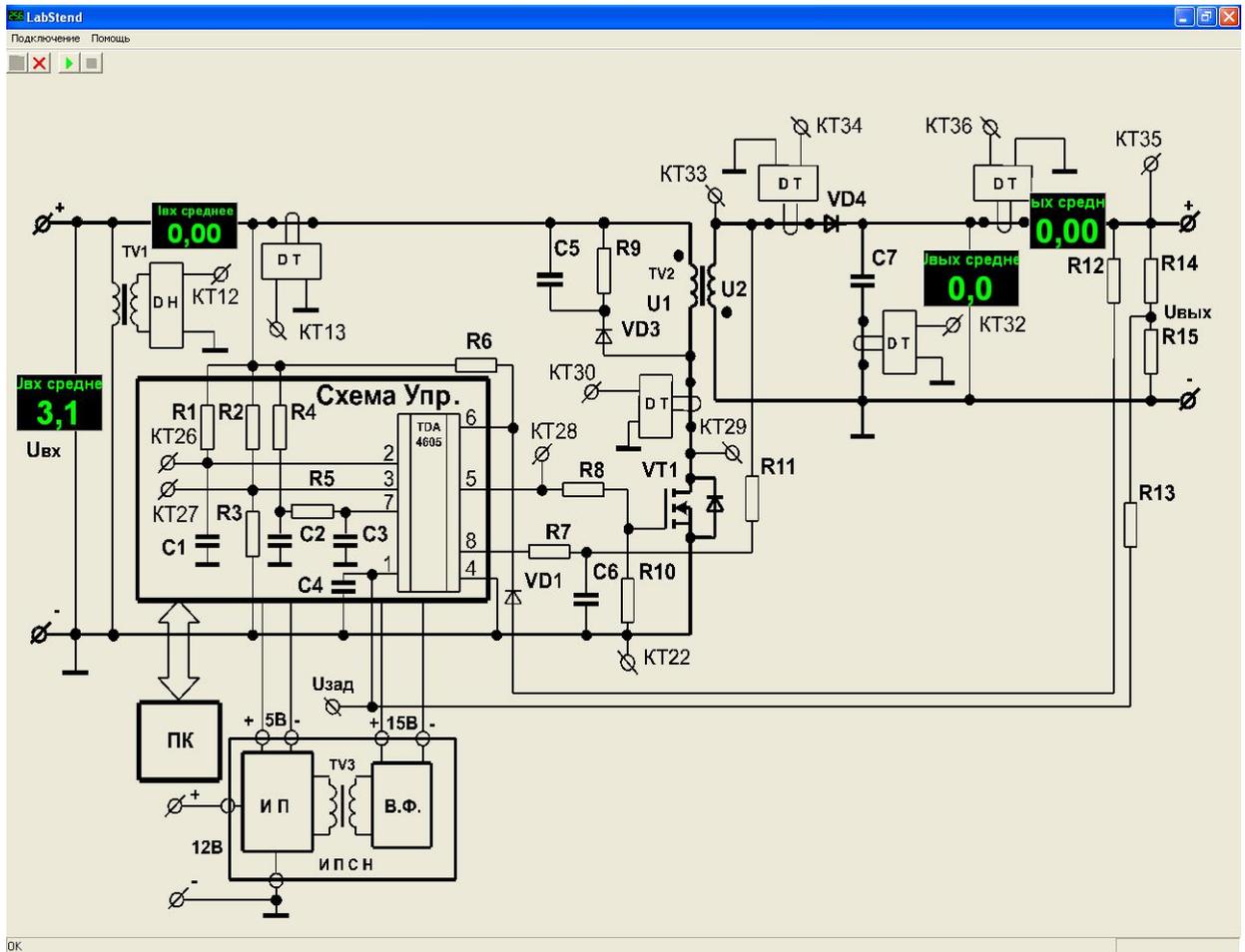


Рисунок 2.5

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 однотактного обратного преобразователя (ОПП).

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.

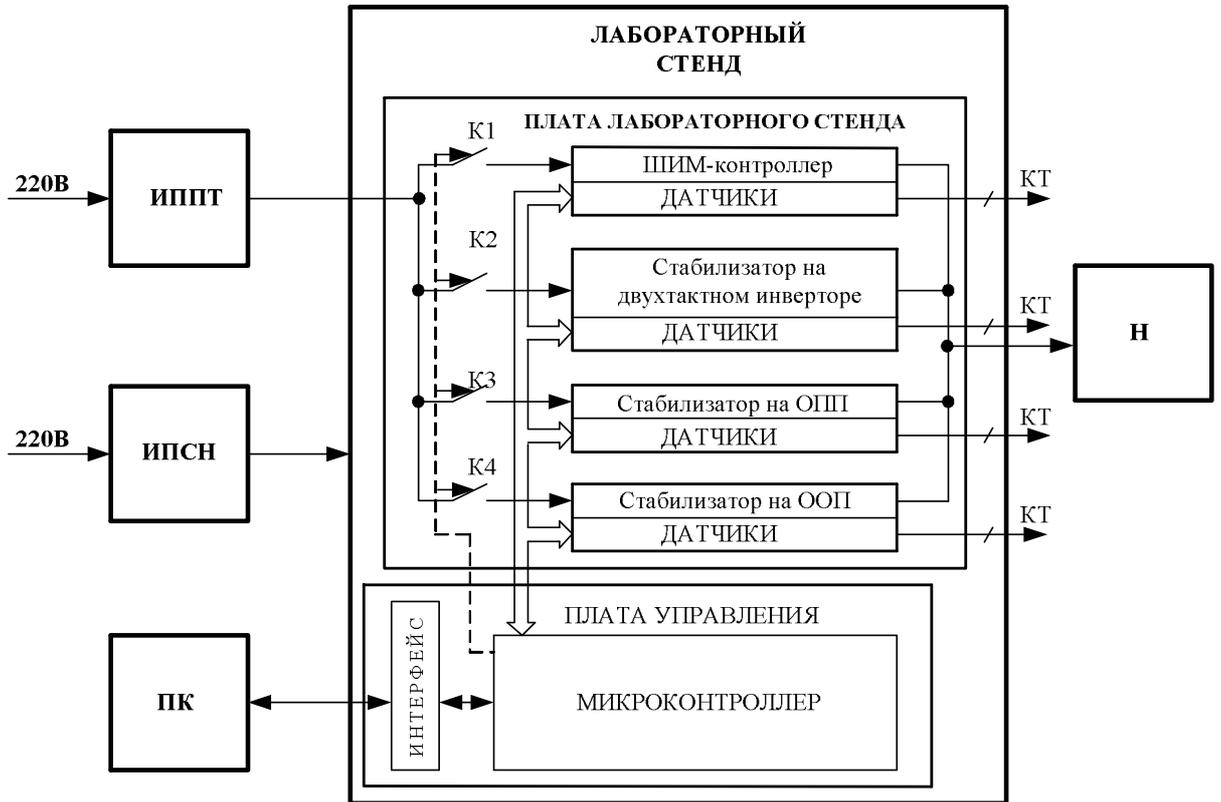


Рис. 4.1 — Структурная схема лабораторной установки

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

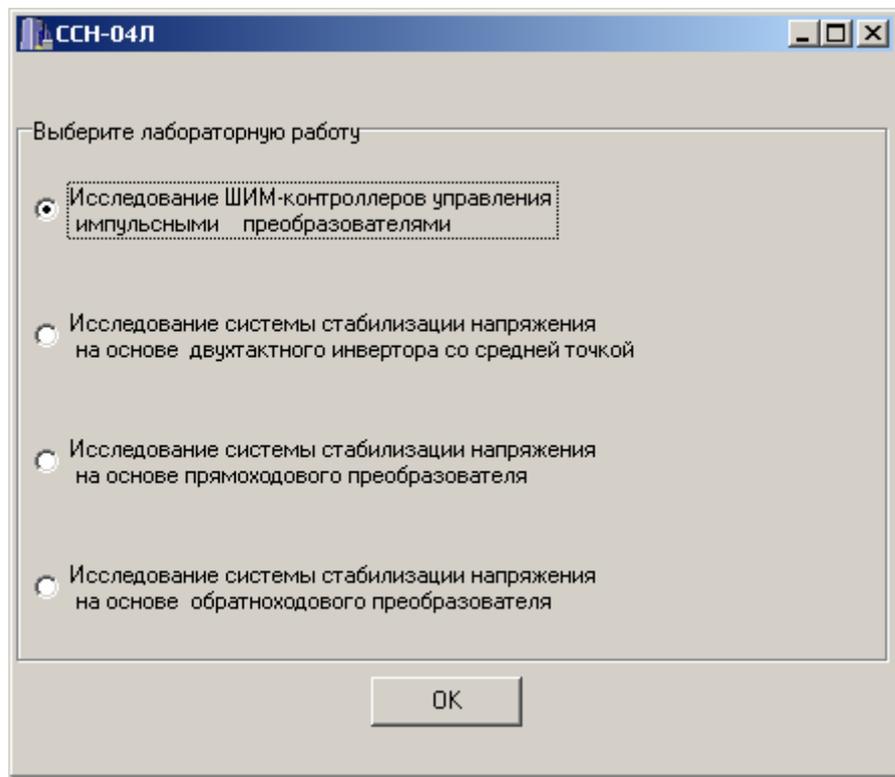


Рисунок 4.2

#### 4.3 Подготовка стенда к работе.

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

Присоединить разъём кабеля связи стенда с компьютером к разъёму XP1 на левой боковой панели стенда.

Присоединить разъём кабеля источника питания собственных нужд к разъёму XS2 на левой боковой панели стенда.

Присоединить разъём кабеля входного переменного напряжения стенда к разъёму 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.

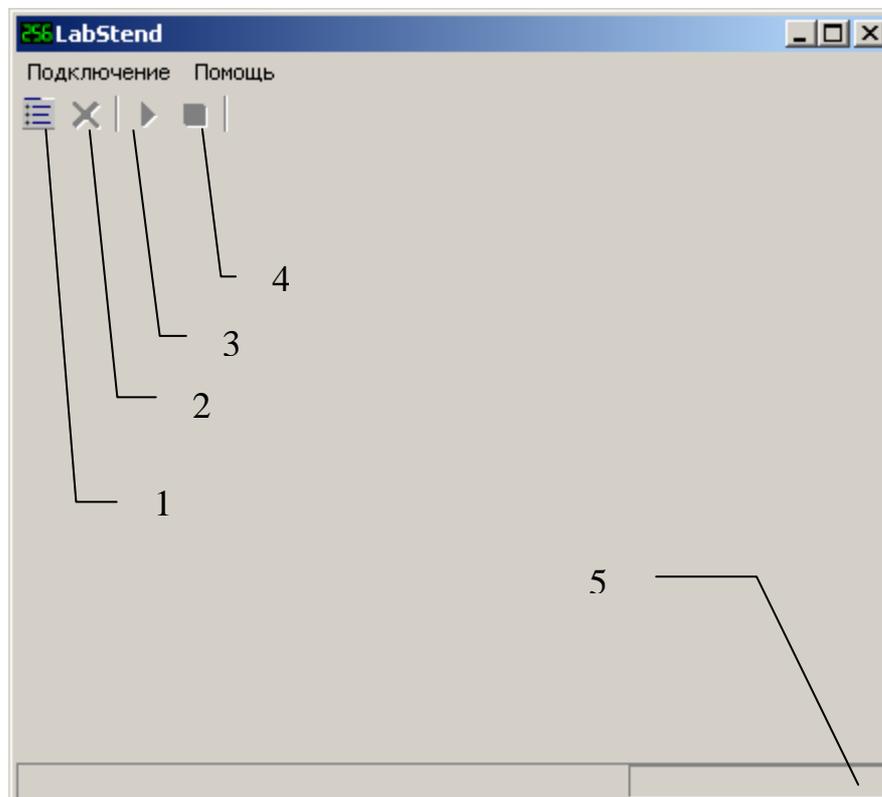


Рисунок 4.3

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.

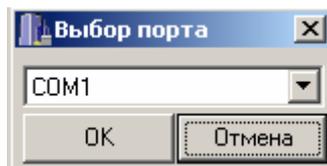


Рисунок 4.4

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.

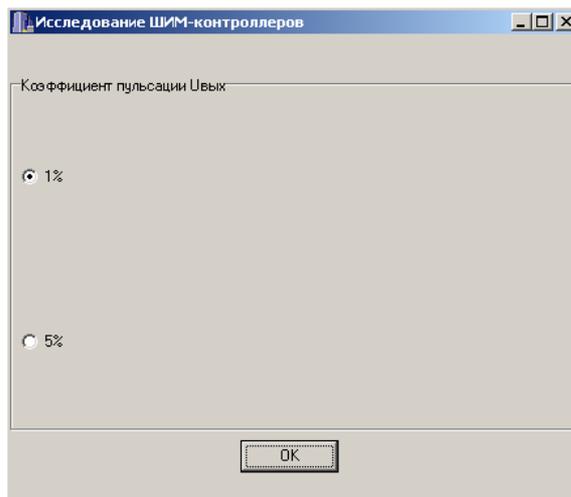


Рисунок 4.5

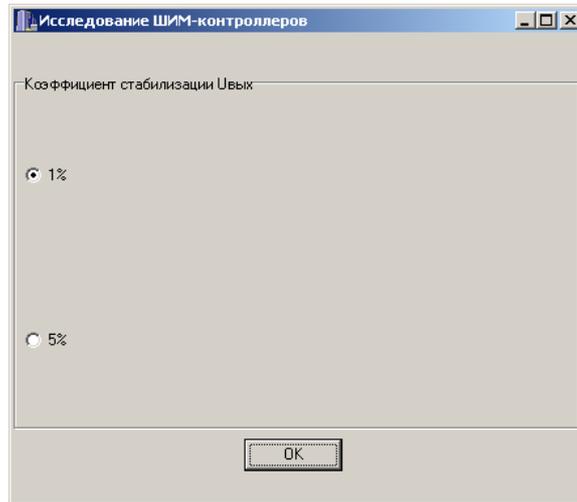


Рисунок 4.6

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 однотактного 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». — 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.