

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра промышленной электроники**

## **Электропитание ЭВМ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ НПН Понижающего типа**

**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 (ПрЭ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ПрЭ

С. Г. Михальченко

**Электропитание ЭВМ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ НПН Понижающего типа**

**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

Ст. научный сотрудник. каф. ПрЭ

А.В. Миллер

**2015**

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ .....	3
2 ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2.1 Преобразователь понижающего типа.....	4
2.2 Стабилизированный источник питания на основе НПН понижающего типа.....	13
3 ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	16
4 ОПИСАНИЕ МАКЕТА .....	17
5 ПРОГРАММА РАБОТЫ.....	23
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	24
7 ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА .....	25
8 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	26

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Решение комплекса энергетических и структурных проблем миниатюризации устройств энергетической электроники состоит во введении промежуточного звена повышенной частоты и создании на этой основе преобразователей параметров электрической энергии. Принципиальная основа такого пути заключается в том, что электромагнитные элементы улучшают свои удельно-экономические показатели с ростом частоты: масса и объем уменьшаются, к.п.д. растет, индуктивности рассеяния уменьшаются. Импульсные преобразователи, регулирующие выходное напряжение за счет периодического переключения и отключения к источнику питания, получили название непосредственных, или однократных. Применение в схемах импульсных преобразователей реактивных элементов — дросселей и конденсаторов позволяет регулировать выходное напряжение как ниже, так и выше входного. Достоинством источников питания на основе непосредственных преобразователей постоянного напряжения (НПН) является отсутствие трансформаторного оборудования, однократное преобразование электрической энергии, а следовательно и высокий к.п.д. К недостаткам можно отнести то, что в них источник питания и нагрузка гальванически связаны между собой, а также, что такие источники могут быть только одноканальными.

## 2 ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1 Преобразователь понижающего типа

Схема непосредственного преобразователя понижающего типа представлена на рисунке 2.1, а.

Один из вариантов регулирования выходного напряжения в этой схеме осуществляется изменением соотношений времени включенного  $t_{\text{вкл}}$  и выключенного  $t_{\text{выкл}}$  состояний транзистора при постоянстве периода, что иллюстрируется диаграммой на рисунке 2.1, б. Такое регулирование принято называть широтно-импульсным регулированием, а при изменении  $t_{\text{вкл}}$  широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Существует два режима работы преобразователя:

- режим непрерывного тока дросселя;
- режим прерывистого тока дросселя.

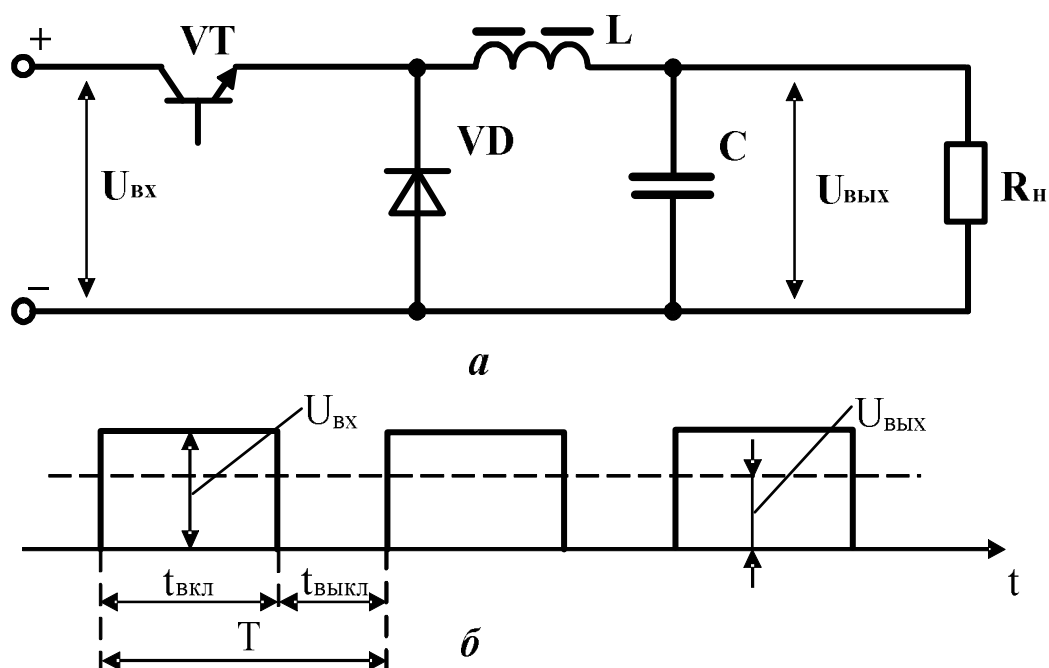


Рисунок 2.1

Полагая, что все элементы в схеме не имеют потерь, а выходные напряжение и ток идеально сглажены, для среднего значения выходного напряжения можно записать:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{ВКЛ}}} U_{\text{ВХ}} dt = U_{\text{ВХ}} \frac{t_{\text{ВКЛ}}}{T} = U_{\text{ВХ}} \cdot \gamma, \quad (1)$$

где  $T$  — период переключения транзистора;

$\gamma = t_{\text{ВКЛ}}/T$  — относительная длительность включенного состояния транзистора.

Для вывода основных расчетных соотношений предположим, что процессы в схеме установились, и транзистор перешел в открытое состояние в момент времени  $t = 0$ , как показано на рисунке 2.2. Под воздействием разности входного напряжения и напряжения на конденсаторе (но это же и напряжение на нагрузке  $U_{\text{ВЫХ}}$ ) начинает нарастать ток дросселя  $i_L$ . Пренебрегая пульсациями напряжения на конденсаторе, которые в реальных схемах достаточно малы, получаем уравнение:

$$L \frac{di_L}{dt} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}.$$

Из последнего выражения следует, что ток  $i_L$  будет нарастать по линейному закону:

$$i_L = I_{L_{\text{МИН}}} + \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{L} \cdot t,$$

где  $I_{L_{\text{МИН}}}$  — ток, протекающий через дроссель в момент включения транзистора.

В момент времени  $t = t_1$  транзистор выключается и включается диод, через который начинает протекать ток  $i_L$ . К дросселю прикладывается только напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$  в направлении, уменьшающем ток  $i_L$ , что можно выразить уравнением:

$$L \frac{di_L}{dt} = -U_{\text{ВЫХ}}.$$

Следовательно, ток в дросселе начнет убывать по линейному закону.

$$i_L = I_{L_{\text{МАКС}}} - \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{L} \cdot t,$$

где  $I_{L_{\text{МАКС}}}$  — ток в момент выключения транзистора.

Затем в момент  $t = t_2$  снова включается транзистор, и процессы начнут повторяться.

Если к концу разомкнутого состояния транзистора ток  $i_L$  не успевает снизиться до нуля, то такой режим работы называют режимом непрерывного тока. Этот режим обычно и используется в практических схемах. Размах пульсаций тока в дросселе в этом режиме:

$$\Delta I_L = \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{L} \cdot t_{\text{ВКЛ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} (1 - \gamma) \gamma}{Lf}. \quad (2)$$

Максимальное значение тока транзистора:

$$I_{\text{VT}_{\text{макс}}} = I_{\text{L}_{\text{макс}}} = I_{\text{H}} + \frac{\Delta I_L}{2}, \quad (3)$$

где  $I_{\text{H}} = U_{\text{ВЫХ}} / R_{\text{H}}$  — среднее значение тока нагрузки.

Пульсацию выходного напряжения  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  можно определить, исходя из следующих соображений. В установившемся режиме работы схемы с нагрузкой  $R_{\text{H}}$  среднее значение токов в дросселе и нагрузке равны между собой. Следовательно, среднее значение тока, протекающего через конденсатор, равно нулю, и изменение напряжения на нем, то есть пульсация, определяется только пульсацией тока  $i_L$ . Когда ток  $i_L$  больше среднего значения  $I_{\text{H}}$ , напряжение на конденсаторе увеличивается, а когда меньше — уменьшается. Учитывая сказанное, можно записать уравнение баланса электрических зарядов в цепи дросселя и конденсатора в следующем виде:

$$\frac{\Delta I_L}{4} \cdot \frac{T}{2} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} C, \quad (4)$$

где  $\Delta I_L / 2$  — среднее значение тока, протекающего через конденсатор за время, равное  $\frac{T}{2}$ , когда напряжение на конденсаторе изменяется на  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ .

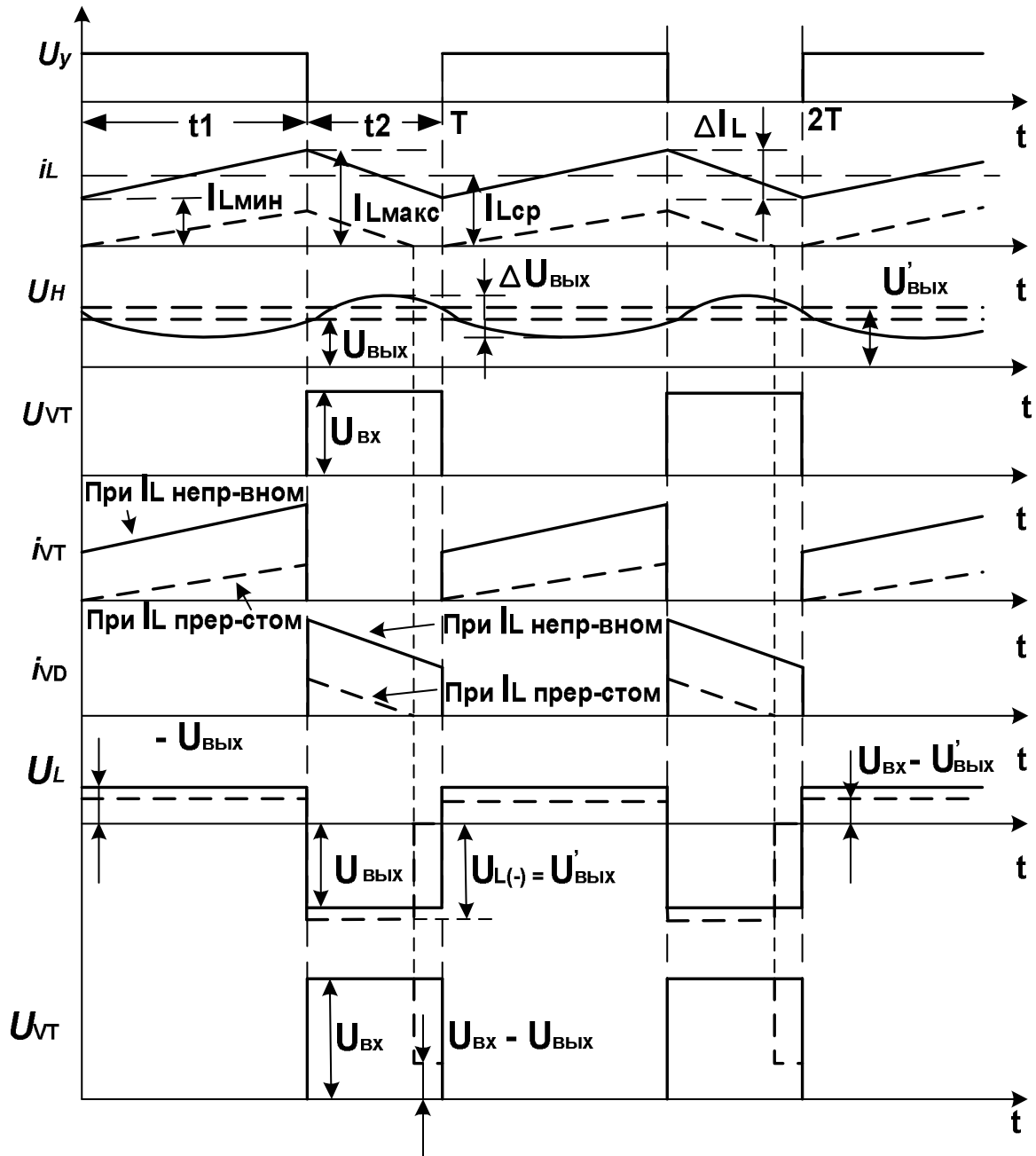


Рисунок 2.2 — Процессы в ИПН понижающего типа

Подставив в (4) значения  $\Delta I_L$  из (2) и  $U_{ВХ}$  из (1), получим:

$$\Delta U_{ВЫХ} = \frac{\Delta I_L \cdot T}{8C} = \frac{(U_{ВХ} - U_{ВЫХ}) t_{ВКЛ} \cdot T}{8LC} = \frac{U_{ВЫХ} (1 - \gamma) T^2}{8LC}.$$

Из последнего соотношения запишем основную расчетную формулу для определения параметров элементов сглаживающего фильтра при заданной величине размаха пульсаций выходного напряжения:



$$LC = \frac{U_{\text{ВЫХ}} (1 - \gamma)}{\Delta U_{\text{ВЫХ}} \cdot 8 \cdot f^2}. \quad (5)$$

Можно определять параметры фильтра и по методике, принятой для проектирования выпрямителей. Для этого нужно сначала рассчитать коэффициент пульсаций на входе фильтра, затем коэффициент сглаживания и далее — произведение  $LC$ . Результаты будут отличаться, так как при определении коэффициента пульсаций используется не амплитуда самой пульсации напряжения, как это было сделано выше, а амплитуда первой гармоники разложения в ряд Фурье. Но отличие составит лишь несколько процентов.

Определим амплитуду первой (основной) гармоники пульсаций выходного напряжения  $U_{1\text{макс.}}$ . При этом начало координат для удобства вычислений примем, как показано на рисунке 2.3. в центре импульса. При разложении в ряд Фурье симметричной периодической функции присутствуют помимо постоянной составляющей только косинусные члены, вычисляемые по выражению:

$$b_m = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cdot \cos(mx) dx.$$

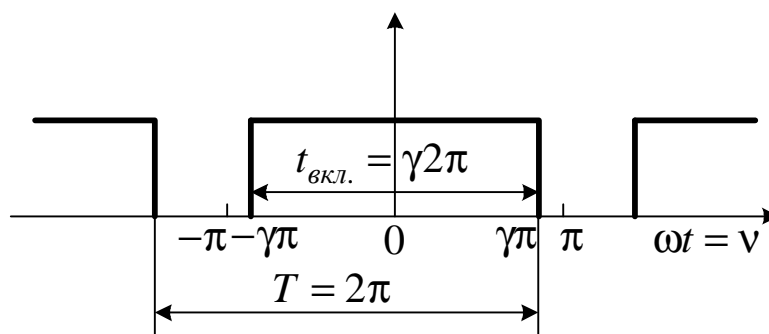


Рисунок 2.3

Тогда амплитуда основной гармоники:

$$U_{1\text{макс.}} = \frac{1}{\pi} \int_{-\gamma\pi}^{\gamma\pi} U_{\text{ВХ}} \cdot \cos \nu d\nu = \frac{2U_{\text{ВХ}}}{\pi} \sin \gamma\pi. \quad (6)$$

Коэффициент пульсаций с учетом (1):

$$K_{\Pi} = \frac{U_{1\text{макс.}}}{U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{2 \sin \gamma\pi}{\gamma\pi} K_{\Pi}. \quad (7)$$

График зависимости коэффициента пульсаций напряжения от величины  $\gamma$  на входе фильтра приведен на рисунке 2.4.

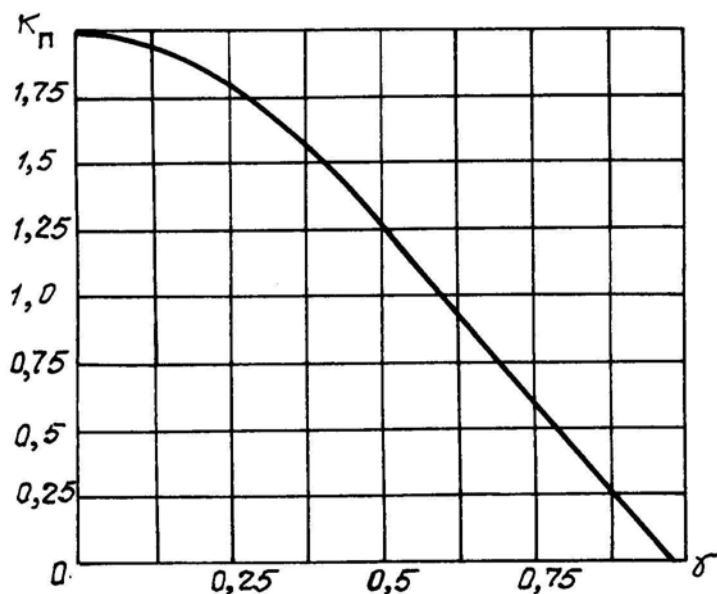


Рисунок 2.4

После определения требуемого значения  $LC$ , по какой бы методике оно не рассчитывалось, находится критическое (минимальное) значение индуктивности  $L_{\text{мин}}$  и выбирается  $L > L_{\text{мин}}$  (для обеспечения непрерывности тока), а затем — и значение  $C$ . Кроме того, следует учитывать два противоречивых фактора. С одной стороны, для получения малых всплесков и провалов выходного напряжения при скачкообразных изменениях нагрузки необходимо индуктивность дросселя выбирать по возможности малую, а емкость конденсатора — большую. С другой стороны, для уменьшения амплитуды тока транзистора, величину индуктивности, как это видно из (3), следует принимать как можно большей.

В режиме непрерывного тока дросселя размах пульсаций тока в дросселе  $\Delta I_L$  должен быть как минимум в два раза меньше среднего значения тока нагрузки  $I_H$ . Исходя из этого условия, используя (2), получим выражение для расчета индуктивности дросселя, обеспечивающей режим непрерывного тока:

$$L > L_{\text{мин}} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot \gamma_{\text{мин}} (1 - \gamma_{\text{мин}})}{2I_{\text{нмакс}} \cdot f}. \quad (8)$$

Для выбора конденсатора необходимо также знать величину действующего тока  $I_C$ . Считая, что переменная составляющая тока

дросселя протекает только через конденсатор, на основании (2) запишем:

$$\Delta I_L = I_{C_{\text{макс.}}} = \frac{U_{\text{вх}} \gamma (1 - \gamma)}{4Lf},$$

где  $I_{C_{\text{макс.}}}$  — амплитуда тока конденсатора, имеющего треугольную форму (см. диаграмму  $i_L$  на рисунке 2.2).

Максимум произведения  $\gamma(1-\gamma)$  соответствует значению  $\gamma = 0,5$ . Следовательно, амплитуда тока конденсатора будет:

$$I_{C_{\text{макс.}}} = \frac{U_{\text{вх}}}{16Lf}.$$

Эффективное значение тока треугольной формы в  $\sqrt{3}$  раз меньше его амплитудного значения. С учетом этого получим:

$$I_C = \frac{U_{\text{вх}}}{16\sqrt{3} \cdot Lf}. \quad (9)$$

Минимальная емкость конденсатора определится выражением:

$$C = \frac{1 - \gamma}{16Lf^2 \kappa_{\Pi}'},$$

где  $\kappa_{\Pi}'$  — заданный коэффициент пульсаций напряжения нагрузки.

Учет инерционных особенностей полупроводниковых элементов вносит особенности в работу преобразователя. В том случае, когда к моменту включения транзистора ток дросселя не упал до нуля (режим непрерывного тока), его открывание происходит в режиме короткого замыкания открытым диодом. Если считать, что за короткое время ток дросселя не изменится, то будет справедливо равенство:

$$i_{VD} = i_{L_{\text{мин}}} - i_{VT},$$

где  $i_{VT}$  — ток транзистора ограничен лишь сопротивлением входной цепи контура ( $+U_{\text{вх}}$ , VT, VD,  $-U_{\text{вх}}$ ).

Уменьшение и последующая смена направления протекания тока в диоде приводят к рассасыванию избыточных носителей в базе дио-

да. По истечении времени  $\tau_1$  процесс рассасывания заканчивается и диод переходит в режим восстановления его обратного сопротивления. Ток через него резко уменьшается, диод запирается напряжением источника питания. После окончания импульса управления происходит рассасывание избыточных носителей в транзисторе на интервале времени  $\tau_2$ , по окончании которого ток транзистора уменьшается, а ток диода возрастает до максимального тока дросселя. Режим короткого замыкания приводит к увеличению динамических потерь, а, следовательно, и к снижению к.п.д. преобразователя.

Временные диаграммы процессов коммутации приведены на рис. 2.5.

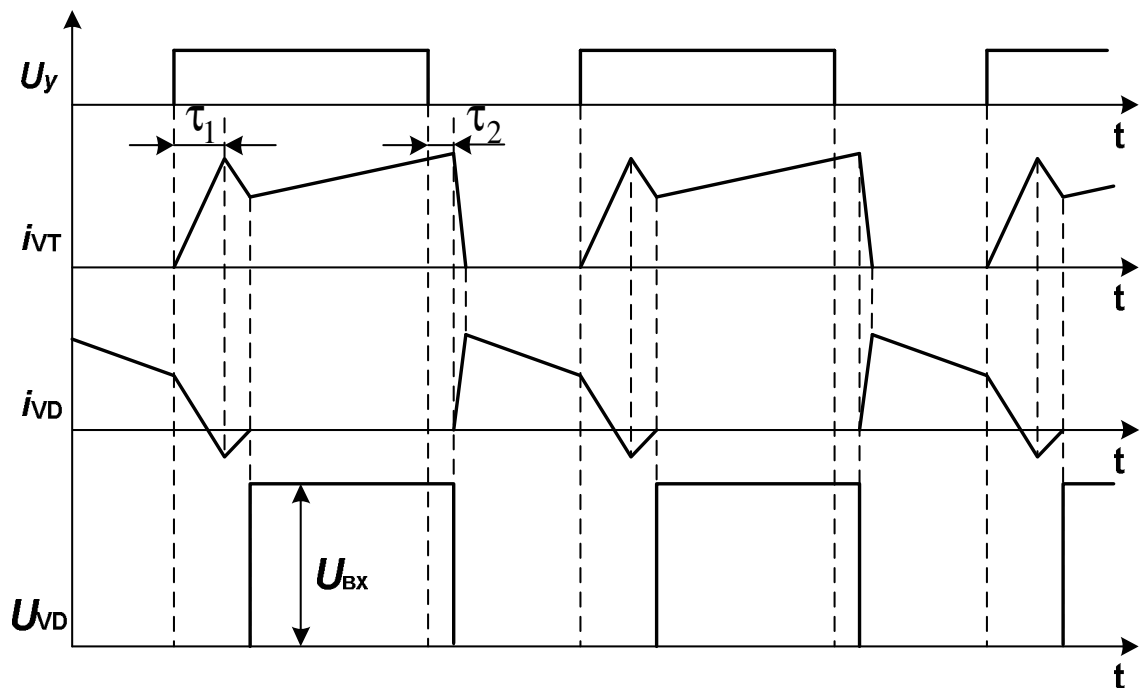


Рисунок 2.5 — Временные диаграммы процессов коммутации

Для уменьшения коммутационных перегрузок транзистора инерционность диода должна быть значительно меньше чем инерционность транзистора. Кроме того, для этих же целей в контур коммутации включают дроссель  $L1$ , шунтированный резистором  $R$  и обратным диодом  $VD1$  (рис.2.6а), либо двухобмоточный дроссель  $L1$ , через вторичную обмотку которого избыточная энергия, накопленная в нем на интервале  $\tau_1$ , возвращается в источник питания через дополнительный диод  $VD1$ .

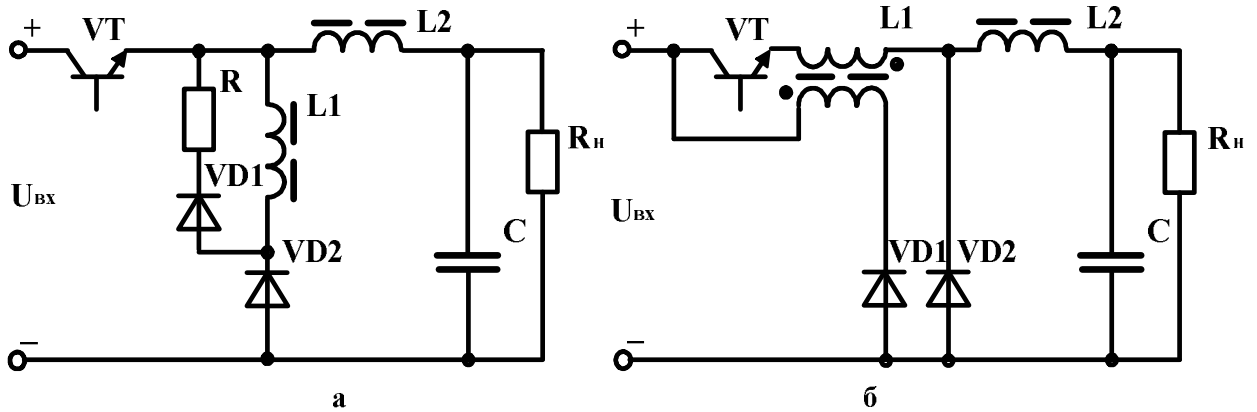


Рисунок 2.6

Требуемая индуктивность дополнительного дросселя вычисляется по выражению:

$$L_{\text{доп}} \geq \frac{U_{\text{вх}} \tau_1}{I_{\text{VTдоп}}},$$

где  $I_{\text{VTдоп}}$  — допустимый ток транзистора.

Сопротивление резистора определяется из формулы:

$$R \geq \frac{(2 \div 3)L_{\text{доп}}}{t_{\text{выкл.мин}}},$$

где  $t_{\text{выкл.мин}}$  — минимальная расчетная длительность открытого состояния диода (выключенного состояния транзистора).

Режим прерывистого тока исключает режим сквозного тока при включении транзистора, уменьшая при этом динамические потери, однако приводит к увеличению емкости конденсатора, так как на интервале выключенного транзистора и диода нагрузка питается только энергией, запасенной в конденсаторе.

При питании преобразователя от источника соизмеримой мощности в целях избежания влияния на другие потребители на входе НПН устанавливают индуктивно-емкостной фильтр (рис.2.7). Входной фильтр и индуктивность дросселя выходного фильтра выбирают такими, чтобы пульсации тока, потребляемого от источника питания и тока нагрузки, были незначительными, и ими можно было пренебречь при приближенном определении пульсаций напряжения на конденсаторе входного фильтра.

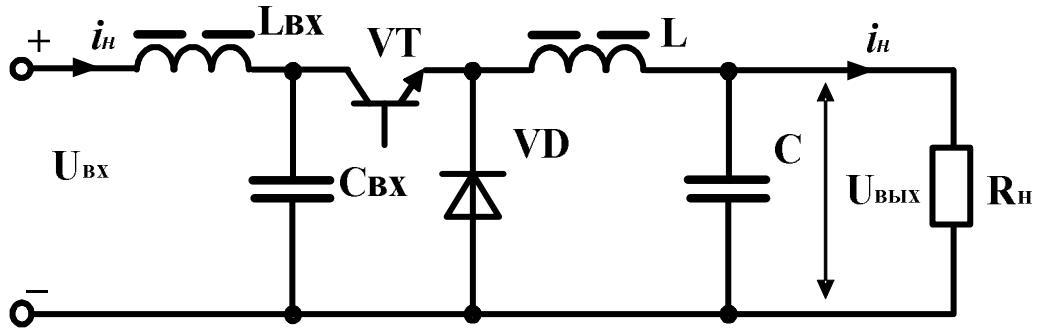


Рисунок 2.7

Параметры элементов входного фильтра определяются выражениями:

$$C_{\text{BX}} \geq \frac{I_{\text{H}}}{4f \Delta U_{\text{CBX}}}, \quad (10)$$

$$L_{\text{BX}} \geq \frac{I_{\text{H}}}{32f^2 \Delta I_{\text{BX}} C_{\text{BX}}},$$

где  $\Delta U_{\text{CBX}}$  — допустимый размах пульсаций напряжения на входе, как правило, определяемый характеристиками используемых конденсаторов;

$\Delta I_{\text{BX}}$  — допустимый размах пульсаций потребляемого тока.

Выражения (10) рассчитаны для  $\gamma = 0,5$ . Если в расчетный диапазон  $\gamma$  не входит значение  $\gamma = 0,5$ , то при проектировании входного фильтра следует воспользоваться выражениями:

$$C_{\text{BX}} \geq \gamma(1-\gamma) \frac{I_{\text{H}}}{f \Delta U_{\text{CBX}}}, \quad L_{\text{BX}} \geq \gamma(1-\gamma) \frac{I_{\text{H}}}{8f^2 \Delta I_{\text{BX}} C_{\text{BX}}}, \quad (11)$$

при этом значение  $\gamma$  следует брать такое, при котором произведение  $\gamma(1-\gamma)$  дает максимальное значение.

## 2.2 Стабилизированный источник питания на основе НПН понижающего типа

Основным показателем источника питания как замкнутой системы автоматического управления является точность поддержания в установившемся режиме выходного напряжения при воздействии

возмущающих факторов, основными из которых являются изменение питающего напряжения и изменение тока нагрузки. Точность принято характеризовать относительной величиной отклонения выходного напряжения от его номинального значения:

$$\delta = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2U_{\text{ном}}} \cdot 100\%,$$

где  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  — максимальное и минимальное значения выходного напряжения при изменении возмущающих воздействий в заданных или допустимых пределах;

$U_{\text{ном}}$  — номинальное значение выходного напряжения.

С учетом отмеченного выходное напряжение записывается

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ном}} \pm \delta\%.$$

Уменьшить относительную ошибку  $\delta$  можно с помощью увеличения коэффициента усиления усилителя сигнала ошибки (УО). Однако увеличение этого коэффициента приводит к ухудшению качества переходных процессов и в итоге к неустойчивости замкнутой системы. В теории автоматического управления устройства, в которых полностью устранить ошибку в установившемся режиме невозможно, называются **статическими**.

Для полного устранения отклонения выходной величины при наличии возмущающих воздействий в цепь обратной связи вводят интегратор (интегрирующее звено или пропорционально-интегрирующий регулятор). Устройства, в которых при стремлении возмущающих воздействий к постоянной величине отклонение выходной величины стремится к нулю и не зависит от величины самого возмущающего воздействия, называются **астатическими**.

Структурная схема стабилизированного источника представлена на рис. 2.8 и состоит из силовой (энергетической) и управляющей (информационной) частей. Силовая часть включает в себя источник напряжения питания  $U_{\text{пит}}$ , непосредственный преобразователь постоянного напряжения НПН понижающего типа, сглаживающий фильтр  $\Phi$  выходного напряжения, нагрузку  $H$ . В некоторых случаях между источником  $U_{\text{пит}}$  и НПН устанавливается входной фильтр для сглаживания пульсаций входного тока. Управляющая 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  $K_{oc}$ . 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.

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

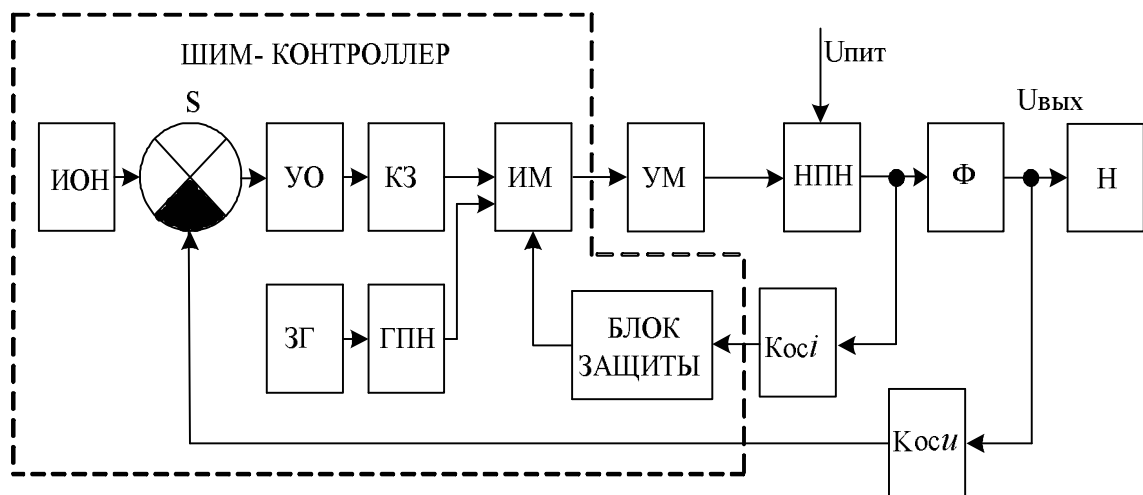


Рисунок 2.8 — Структурная схема стабилизатора на основе НПН с ШИМ-управлением



### 3 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

3.1 Изучить принципы широтно-импульсного регулирования (ШИР) постоянного напряжения.

3.2 Изучить принципы построения источников вторичного питания, выполненных на основе НПН понижающего типа.

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

## 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.

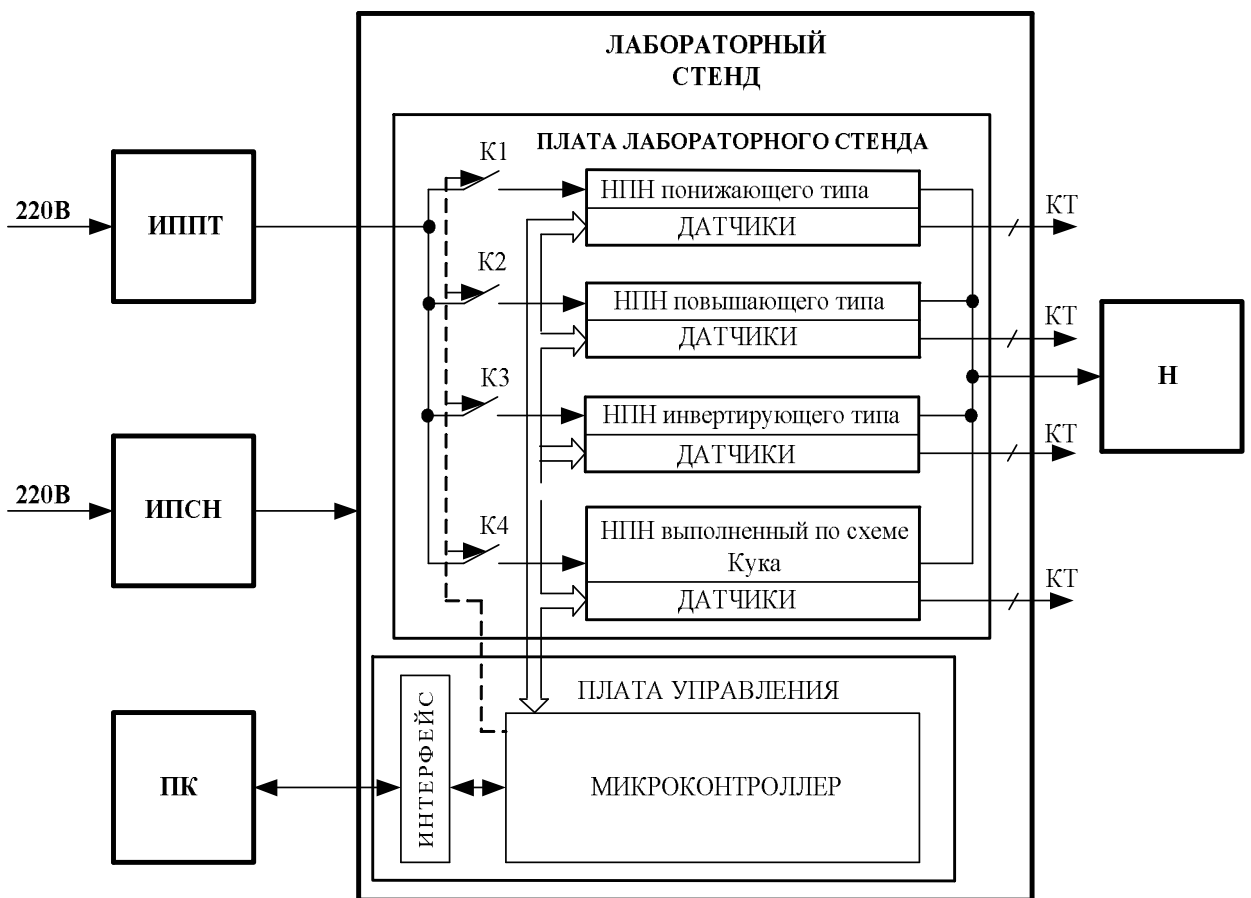


Рис. 4.1 — Структурная схема лабораторной установки

## 4.2 Состав стенда.

### 4.2.1 Стенд включает в себя следующие основные узлы:

- микроконтроллер;
- НПП понижающего типа;
- НПП повышающего типа;
- НПП инвертирующего типа;
- НПП по схеме Кука;
- вспомогательные элементы;
- реле.

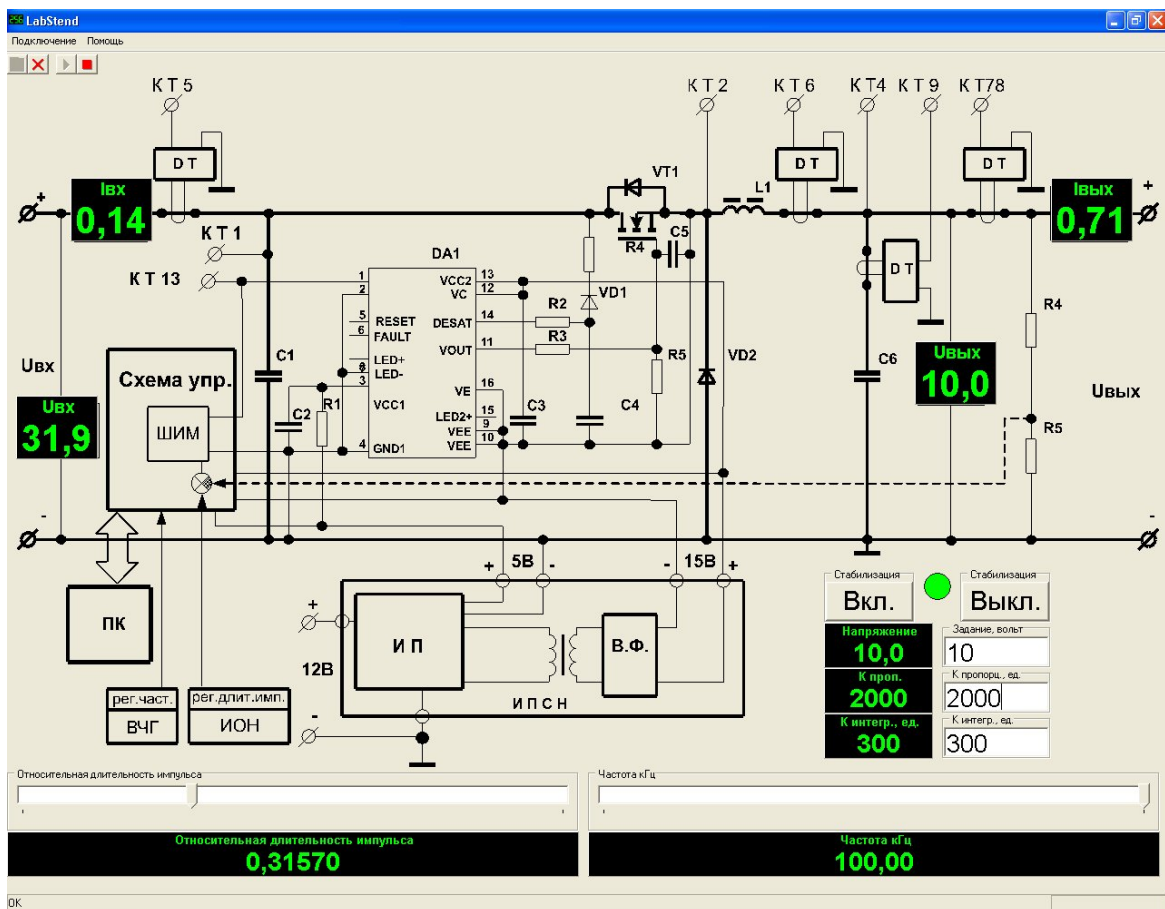


Рисунок 4.2

### 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.

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

На экран выводятся следующие органы управления и индикации:

- индикатор измеренного значения входного тока  $I_{ВХ}$  преобразователя,
- индикатор измеренного значения входного напряжения  $U_{ВХ}$  преобразователя,
- движок задания величины относительной длительности импульса в диапазоне 0—1,
- индикатор заданного значения относительной длительности импульса,
- движок задания частоты преобразователя в диапазоне (10—100) кГц,
- индикатор заданного значения частоты преобразователя,
- индикатор измеренного значения выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$  преобразователя,
- индикатор измеренного значения выходного тока  $I_{ВЫХ}$  преобразователя,
- табло задания значения выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$  преобразователя,
- индикатор заданного значения выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$  преобразователя,
- табло задания значения коэффициента передачи П-регулятора,
- индикатор заданного значения коэффициента передачи П-регулятора,
- табло задания значения коэффициента передачи пропорционально-интегрирующего звена,
- индикатор заданного значения коэффициента передачи пропорционально-интегрирующего звена.

### 4.3 Подготовка стенда к работе

Подключить нагрузочное сопротивление (реостат) к клеммной колодке X1 на правой 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 «НПН-04Л».

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

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.

Для работы стенда в режиме стабилизированного источника питания необходимо нажать кнопку «Стабилизация «Вкл.»», при этом высветится зеленым светом табло. В окне «Напряжение» набрать числовое значение выходного напряжения источника питания. Нажать «Enter», набранное значение выходного напряжения высветится на индикаторе заданного значения выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ . С помощью движка задания частоты преобразователя установить нужную Вам частоту.

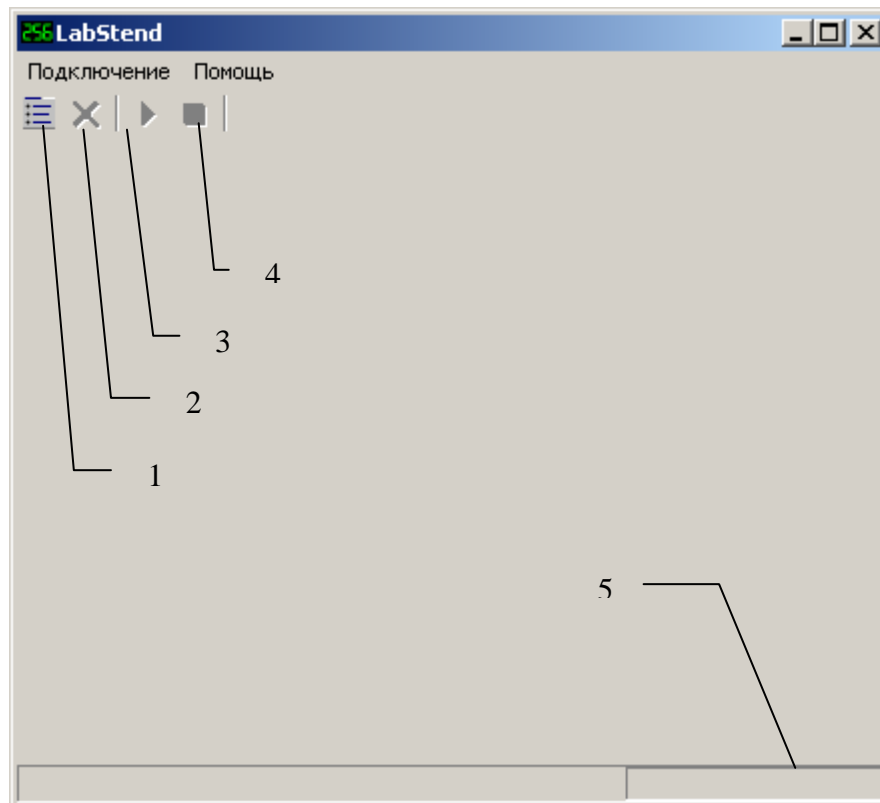


Рисунок 4.3

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

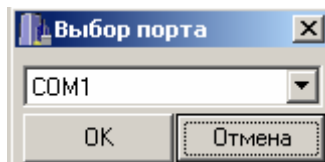


Рисунок 4.4

При нажатии кнопки «Выбор исследуемой схемы» на дисплей выводится окно выбора со списком схем (рис 4.5), исследуемых на подключенном стенде. В заголовке окна указывается наименование подключенного стенда.

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.

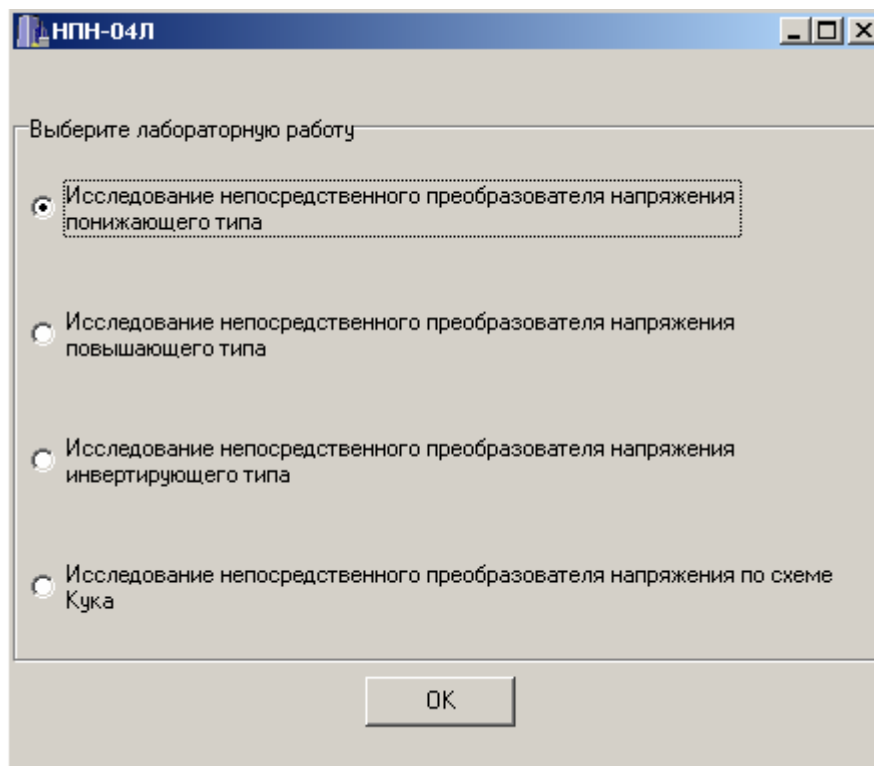


Рисунок 4.5

**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.

Стенд позволяет конфигурировать НПН понижающего, повышающего, инвертирующего типов и НПН по схеме Кука.

Питание стенда осуществляется от источника питания собственных нужд и источника входного постоянного напряжения.

Требования к источнику питания постоянного напряжения:

регулирование выходного напряжения	24—48 В;
максимальный выходной ток (не более)	5 А.

Выходное напряжение НПН понижающего типа постоянное, положительной полярности.

Регулирование выходного напряжения	24—48 В,
максимальный выходной ток (не более)	2,5 А,
регулирование частоты преобразования	10—100 кГц,
регулирование относительной длительности управляющих импульсов	0—1.

## 5 ПРОГРАММА РАБОТЫ

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

5.2 Исследовать нестабильность выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  источника (значение  $U_{\text{вых}}$  задается преподавателем) как **статической системы**, задавая значение коэффициента усиления сигнала ошибки  $K_{\text{проп.}}$  в пределах (2000 ÷ 20000):

а) от изменения напряжения питания при фиксированных токах нагрузки ( $I_{\text{н мин}}$ ;  $I_{\text{н ном}}$ ),

б) от статического изменения тока нагрузки при фиксированных значениях напряжения питания ( $U_{\text{вх мин}}$ ;  $U_{\text{вх макс}}$ ). Коэффициент усиления сигнала ошибки оставить прежним.

5.3 Исследовать нестабильность выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  источника как **астатической системы**, задавая значение коэффициента усиления сигнала ошибки пропорционально-интегрирующего звена  $K_{\text{интегр.}}$  в пределах (300 ÷ 1000):

а) от изменения напряжения питания при фиксированных токах нагрузки ( $I_{\text{н мин}}$ ;  $I_{\text{н ном}}$ ),

б) от статического изменения тока нагрузки при фиксированных значениях напряжения питания ( $U_{\text{вх мин}}$ ;  $U_{\text{вх макс}}$ ). Коэффициенты усиления сигнала ошибки оставить прежними.

5.4 Исследовать зависимость коэффициента пульсаций выходного напряжения:

а) от изменения входного напряжения;

б) от изменения тока нагрузки.

5.5 Снять переходные характеристики включения источника при различных значениях:

а) входного напряжения;

б) тока нагрузки

в) коэффициента передачи пропорционально-интегрирующего звена.

5.6 Снять осциллограммы напряжений и токов, характерные для источника.



## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 В чем заключается особенность процессов, протекающих в НПП, при учете инерционности полупроводниковых приборов?

6.2 Для чего нужен LC-фильтр на входе НПП.

6.3 В каких случаях, и с какой целью используют НПП с неполной глубиной модуляции.

6.4 В чем заключаются отличительные особенности работы многофазного НПП.

6.5 Как влияет на регулировочные характеристики сопротивление активных внутренних потерь.

6.6 Чем обусловлены потери в силовой цепи источника.

6.7 Перечислить виды переходных процессов в замкнутых структурах.

6.8 Назвать показатели качества переходного процесса.

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

## **7 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.

## 8 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Воронин П.А.** Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / Воронин П.А. — М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2001. — 364 с.

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

3 **Кобзев А.В., Коновалов Б.И., Семенов В.Д.** Энергетическая электроника: учеб. пособие / Кобзев А.В. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. — 164 с.