

УДК 620.314 (075.8)

UDC 620.314 (075.8)

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА****DC VOLTAGE STABILIZERS**

Григораш Олег Владимирович  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
grigorasch61@mail.ru  
РИНЦ SPIN-код 4729-2767

Grigorash Oleg Vladimirovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the  
chair, grigorasch61@mail.ru  
RSCI SPIN-code 4729-2767

Попучиева Мария Александровна  
студентка  
*Кубанский государственный аграрный  
университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар,  
Россия*

Popuchieva Maria Alexandrovna  
student  
*Kuban state agrarian University named after  
I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

В статье раскрывается основной принцип работы стабилизаторов напряжения постоянного тока, обеспечивающих автоматическое управление электротехническими устройствами и электрооборудованием, системы контроля, управления и защиты и т. п. Приводятся функциональные схемы (эксплуатируемые и перспективные) стабилизаторов напряжения постоянного тока с устройством стабилизации, включённом на входе и выходе силовой схемы выпрямителя, а также новое структурное решение функциональной схемы выпрямителя, выполненного на двух управляемых силовых электронных приборах и трансформаторе со средней точкой. Раскрываются особенности работы рассматриваемых схем стабилизаторов напряжения, а также основные их достоинства и недостатки. Рассмотренные функциональные схемы эксплуатируемых и новых решений стабилизаторов и особенности их работы повысят эффективность предпроектных работ по разработке стабилизаторов напряжения постоянного тока с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками. Изложенный в статье материал будет полезен для аспирантов и сотрудников НИИ, занимающихся разработкой стабилизаторов напряжения постоянного тока

The article reveals the basic principle of stabilizing the DC voltage, providing automatic control of electrical devices and electrical equipment, control systems, control and protection, etc. There are functional diagrams (operated and promising) of DC voltage stabilization with a device included in the input and output power circuits of the rectifier, and a new structural solution to a functional circuit of the rectifier made of two controllable power electronic devices and transformer with midpoint. The article lists peculiarities of the circuits of the voltage regulators and their main advantages and disadvantages. We have reviewed functional diagrams of existing and new solutions of the stabilizers and the characteristics of their work; it will increase the effectiveness of pre-project works on the development of stabilizers of the DC voltage with improved performance characteristics. This article might be useful for post-graduates and research workers who are involved in the development of DC voltage stabilizers

Ключевые слова: ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ИМПУЛЬСНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Keywords: SECONDARY POWER SOURCES, STABILIZERS OF DC VOLTAGE, CONTROL SYSTEM, IMPULSE VOLTAGE STABILIZERS

**Doi: 10.21515/1990-4665-129-074**

Источниками питания систем управления (СУ) статическими преобразователями (выпрямители, инверторы, конверторы,

преобразователи частоты), стабилизаторами параметров электроэнергии, автоматическими системами управления технологическими процессами и тому подобными устройствами являются вторичные источники электроэнергии (ВИЭ). ВИЭ выполняются, как правило, на базе выпрямителей [1, 2].

Для стабилизации любого электрического параметра необходимы устройства, контролирующие значение этого параметра и преобразующие его в ведущий сигнал, формирующие эталонный (опорный) сигнал. Кроме того, требуется устройство сравнения, которое формирует сигнал рассогласования и направляет его в схему управления, содержащую устройство стабилизации напряжения (УСН) и силовую схему преобразователя (рисунок 1).

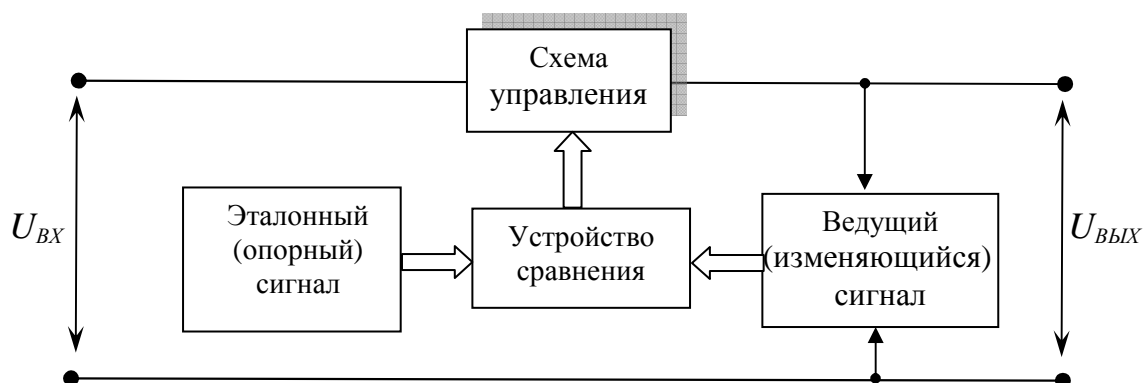


Рисунок 1 – Структурная схема стабилизатора напряжения

Если в ходе сравнения оказывается, что параметр больше эталонного значения, то устройство сравнения формирует сигнал, который даёт команду схеме управления на уменьшение значения параметра. Если же параметр оказывается меньше эталонного значения, то это устройство даёт команду схеме управления на увеличение значения параметра. На этом принципе работают схемы автоматического управления всех устройств и систем, разница состоит лишь в способе контроля и управления

параметром. На этом принципе также построена работа стабилизаторов напряжения постоянного тока [3].

Стабильность выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  при изменениях входного  $U_{\text{ВХ}}$  характеризуется коэффициентом стабилизации по напряжению, который определяется по формуле

$$K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}} U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВХ}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ВХ}}$  и  $U_{\text{ВЫХ}}$  – установленные (номинальные) значения входного и выходного напряжения;

$\Delta U_{\text{ВХ}}$  и  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  – отклонения входного и выходного напряжений.

Как правило, значения коэффициента стабилизации определяют для номинального или статического (установившегося) режима работы.

Стабилизаторы напряжения должны поддерживать стабильную величину выходного напряжения. Когда в качестве ВИЭ применяется выпрямитель, то на значение его выходного напряжения оказывают влияние два фактора: изменение параметров электроэнергии питающей сети  $U_{\text{С}}$ ; изменение величины тока нагрузки  $I_{\text{Н}}$ .

Выпрямители, обеспечивающие стабилизацию напряжения постоянного тока, могут быть выполнены по различным структурным схемам, которые отличаются между собой местом размещения устройства стабилизации напряжения  $УСН$ : на входе выпрямителя (рисунок 2 а) или на выходе (рисунок 2 б). Кроме того, в качестве  $УСН$  могут применяться управляемые полупроводниковые приборы силовой схемы выпрямителя (рисунок 2, в) [4].

### ***Устройства стабилизации напряжения, включённые на входе выпрямителя***

Стабилизатор напряжения выполняется на базе магнитного усилителя. Данный тип устройства является стабилизатором

непрерывного действия. Стабилизация напряжения выпрямителя осуществляется за счёт изменения величины переменного напряжения, подаваемого на вход выпрямителя, путём изменения величины падения напряжения на рабочей обмотке  $W_p$  магнитного усилителя (МУ) (рисунок 3).

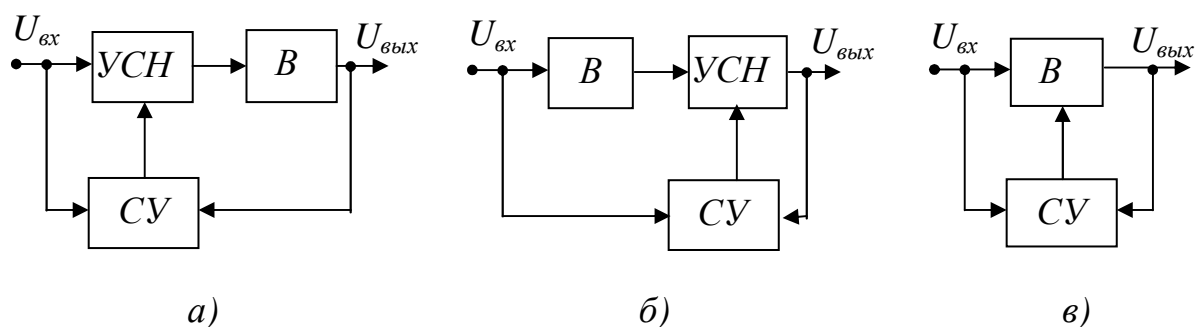


Рисунок 2 – Структурные схемы стабилизирующих выпрямителей:  
 B – выпрямитель, содержащий трансформатор и силовую схему полупроводниковых приборов; UCH – устройство стабилизации напряжения; CY – система управления

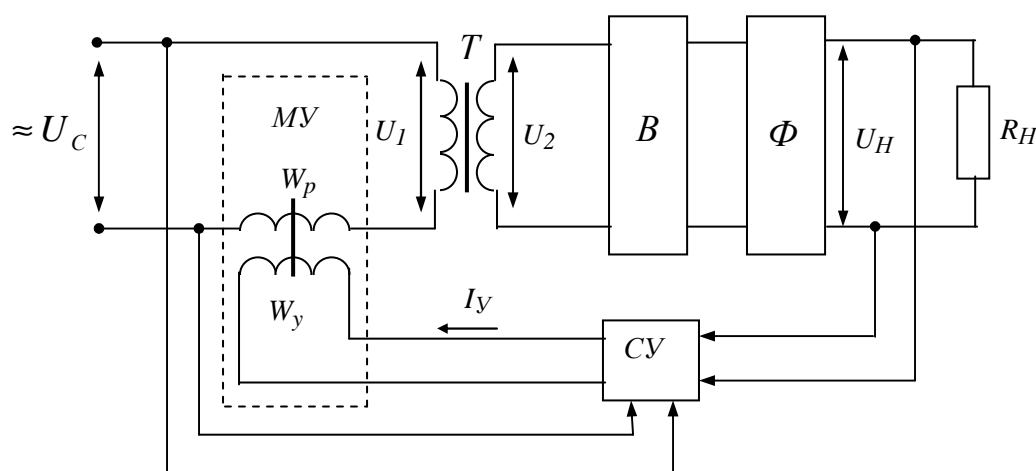


Рисунок 3 – Функциональная схема выпрямителя с стабилизатором, включенном на входе выпрямителя:  
 МУ – магнитный усилитель; T – трансформатор; B – выпрямитель;  
 Φ – фильтр; CY – система управления

К примеру, если напряжение на нагрузке  $U_H$  или сети  $U_C$  уменьшится, то CY увеличит ток в обмотке управления  $I_y$ , а это приведёт к уменьшению реактивного сопротивления рабочей обмотки  $W_p$  магнитного

усилителя (рисунок 3). В результате уменьшится падение напряжения на рабочей обмотке МУ, увеличится напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора  $T$ , а это приведёт к увеличению напряжения на нагрузке  $U_H$ .

В общем случае напряжение на вторичных обмотках трансформатора определяется по формуле

$$U_2 = K_T (U_C - U_{wp}), \quad (2)$$

где  $K_T$  – коэффициент трансформации;

$U_C$  – напряжение сети;

$U_{wp}$  – напряжение рабочей обмотки МУ.

Недостатками рассмотренного стабилизатора напряжения являются большие габариты и масса, повышенные потери электроэнергии, что снижает его КПД.

Перспективным является направление применения в качестве стабилизатора напряжения трансформатора с вращающимся магнитным полем (ТВМП) [5, 6].

На рисунке 4 показан стабилизатор на ТВМП. Входное напряжение переменного тока  $U_{BX}$  поступает на первичные обмотки ТВМП. При протекании тока в первичных обмотках в магнитопроводе трансформатора наводится вращающееся магнитное поле, вызывающее действие ЭДС во вторичной его обмотке. Величина напряжения  $U_2$  регулируется СУ через блок коммутации (БК) так, что при воздействии дестабилизирующих факторов выходное напряжение преобразователя  $U_{ВЫХ}$ , выпрямленное неуправляемым выпрямителем  $B$  и отфильтрованное фильтром  $\Phi$ , остается неизменным.

При необходимости увеличения выходного напряжения СУ уменьшает время открытого состояния транзисторов  $VT_1$  и  $VT_2$  (см. рисунок 4). Увеличивается значение емкостного тока, источником

которого является фазосдвигающий конденсатор  $C_\phi$ , что приводит к уменьшению угла сдвига фаз между векторами напряжений  $\underline{U}_{I1}$  и  $\underline{U}_{I2}$  и повышению соответственно напряжения на вторичной обмотке ТВМП  $\underline{U}_2$  [6].

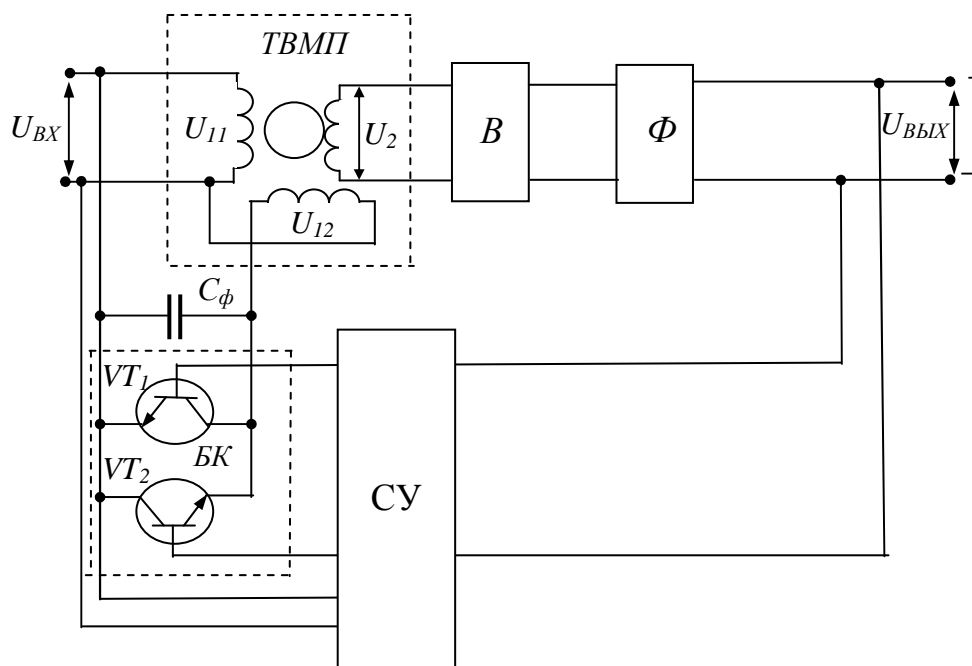


Рисунок 4 – Функциональная схема стабилизатора напряжения на ТВМП

### ***Устройства стабилизации напряжения, включённые на выходе выпрямителя***

Стабилизаторы напряжения, включённые на выходе выпрямителя называют импульсными стабилизаторами напряжения (ИСН). Они выполняются на полупроводниковых ключах и реактивных элементах (конденсаторах и дросселях), обеспечивающих накопление и порционную передачу энергии.

Схемы ИСН разнообразны, они классифицируются в основном по следующим признакам:

- типу применяемых полупроводниковых ключей (транзисторных или тиристорных);

- способу подключения нагрузки и источника (с общим источником, с общей нагрузкой, с общим источником и нагрузкой);
- уровню выходного напряжения относительно входного (с понижением или повышением выходного напряжения, универсальные).

Принципиальная электрическая схема ИСН с понижением выходного напряжения показана на рисунке 5 а. Диаграммы напряжений и токов, поясняющие принцип её работы, приведены на рисунке 5 б. ИСН с понижением выходного напряжения работает в двух режимах. При первом, когда транзистор  $VT$  открыт, интервал времени от  $t_1$  до  $t_2$  (рисунок 5 б). Ток от источника к нагрузке будет протекать по цепи: «+» $U_d$ ,  $VT_{ЭК}$ ,  $L$ ,  $R_H$ , «-» $U_d$ . Кроме того, в этот промежуток времени будет заряжаться конденсатор  $C$ , а дроссель  $L$  будет накапливать электроэнергию. Знаки на элементах схемы показаны без скобок (рисунок 5 а). Напряжение на нагрузке будет определяться по формуле

$$U_H = U_d - U_L. \quad (3)$$

При втором режиме работы схемы транзистор  $VT$  закрыт, интервал времени от  $t_2$  до  $t_3$  (рисунок 5 б). При запираии транзистора ток в дросселе  $L$  мгновенно измениться не может. В нем возникает ЭДС самоиндукции с обратным знаком, и напряжение на дросселе изменяет свою полярность (знаки в скобках рисунок 5 а). Это напряжение прикладывается к диоду  $VD$  и отпирает его. Таким образом, на интервале времени от  $t_2$  до  $t_3$  энергия, накопленная дросселем  $L$  и конденсатором  $C$ , отдается в нагрузку, т. е. дроссель и конденсатор являются источником питания для нагрузки. Когда энергия в дросселе израсходуется, закроется диод  $VD$ , и конденсатор  $C$  будет разряжаться на нагрузку, т. е. станет её источником питания.

Непрерывность протекания тока через нагрузку достигается подбором параметров конденсатора и дросселя. Очевидно, что при уменьшении напряжения на нагрузке для его стабилизации необходимо

увеличивать время открытого состояния транзистора  $VT$ , а при уменьшении напряжения на нагрузке – наоборот.

Напряжение на нагрузке имеет максимальное значение при включенном транзисторе, при его отключении напряжение на нагрузке уменьшается. Таким образом, рассмотренная схема импульсного преобразователя может регулировать среднее значение напряжения источника в сторону его уменьшения.

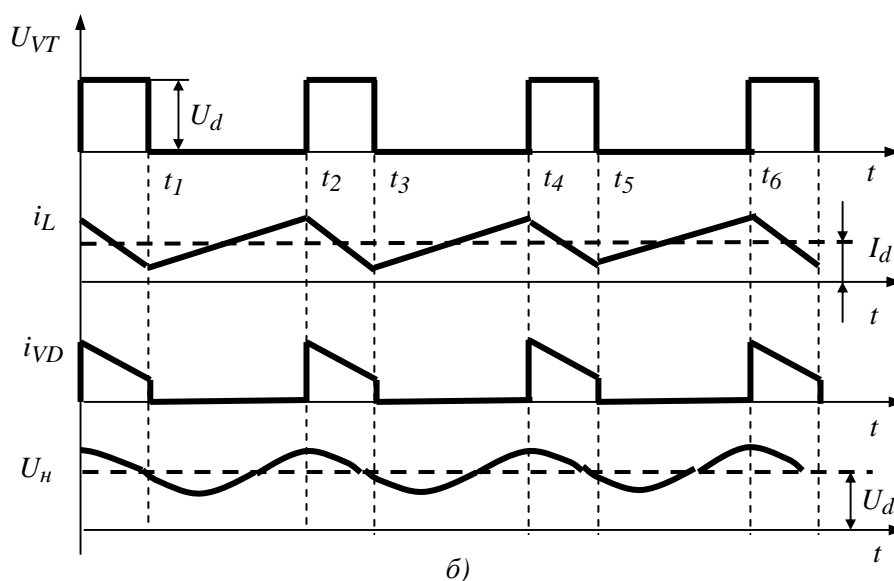
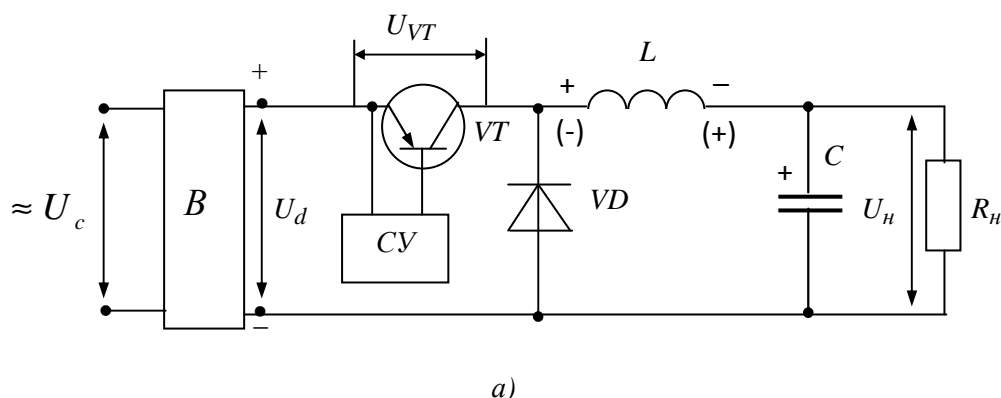


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема (а) и диаграммы напряжений и токов (б) импульсного стабилизатора напряжения с понижением напряжения

Изменив в схеме ИСН место расположения дросселя  $L$ , транзистора  $VT$  и диода  $VD$ , чтобы после отключения транзистора запасенная в дросселе энергия добавлялась к источнику регулируемого



напряжения  $U_d$ , можно добиться повышения выходного напряжения (рисунок 6).

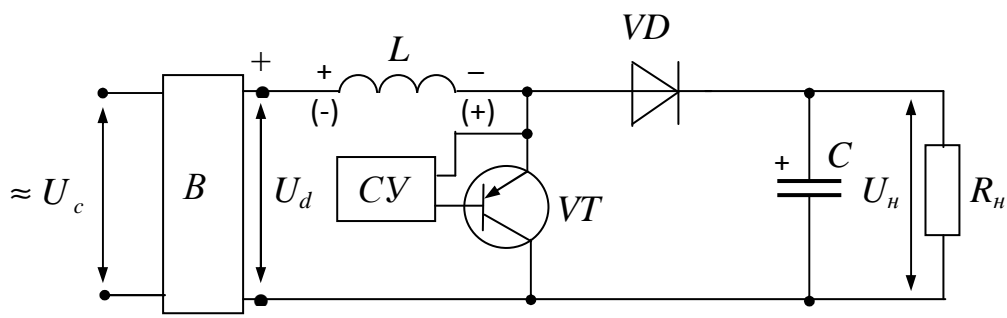


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема импульсного стабилизатора напряжения с повышением напряжения

Схема ИСН с повышением напряжения также работает в двух режимах. При первом режиме работы транзистор  $VT$  открыт. Ток от источника питания через транзистор протекает по цепи: «+» $U_d$ ,  $L$ ,  $VT_{ЭК}$ , «-» $U_d$ .

На дросселе  $L$  напряжение имеет полярность, которая указана рисунке 6 знаками без скобок. Диод  $VD$  в этом режиме работы закрыт. Питание нагрузки  $R_n$  осуществляется энергией, запасённой конденсатором  $C$ , напряжение которого с течением времени уменьшается.

При втором режиме работы схемы система управления ИСН закрывает транзистор  $VT$ . Ток от источника питания к нагрузке будет протекать по цепи: «+» $U_d$ ,  $L$ ,  $VD$ ,  $R_n$ , «-» $U_d$ . При этом к источнику  $U_d$  подключается последовательно дроссель  $L$ . Конденсатор  $C$  в этом режиме заряжается. Ток в дросселе уменьшается, что вызывает изменение полярности напряжения на дросселе (знаки в скобках). В результате питание нагрузки осуществляется от двух источников, включенных согласно т. е.

$$U_H = U_d + U_L. \quad (4)$$

Таким образом, импульсный регулятор работает на повышение напряжения.

Посредством структурных преобразований рассмотренных схем ИСН можно получить схему универсального импульсного стабилизатора (рисунок 7), выполненную на одном транзисторе и позволяющую уменьшить пульсации токов  $i_1$  и  $i_2$ , а при определенных значениях магнитной связи свести пульсации тока  $i_2$  практически до нуля.

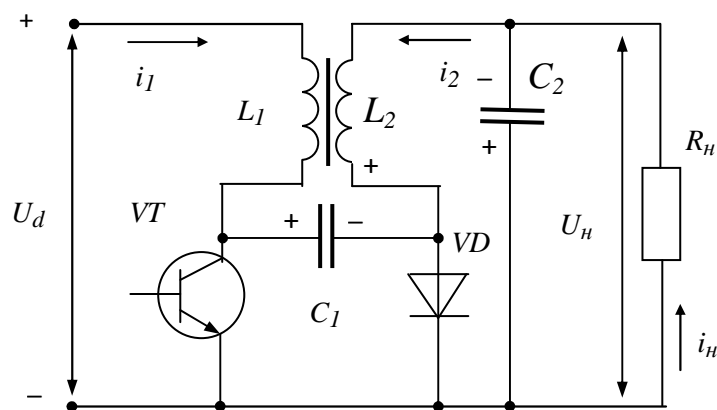


Рисунок 7 – Принципиальная электрическая схема универсального импульсного стабилизатора напряжения

Когда транзистор  $VT$  закрыт (см. рисунок 7), источник питания подключается к нагрузке, и реактивные элементы схемы накапливают энергию, при этом в схеме будут протекать токи  $i_1$  и  $i_2$ , при этом ток  $i_1$  будет протекать по цепи: «+» $U_d$ ,  $L_1$ ,  $C_1$ ,  $VD$ , «-» $U_d$ .

В это время в дросселе  $L_2$  будет индуцироваться ЭДС, так как дроссели  $L_1$  и  $L_2$  выполнены на одном магнитопроводе и практически выполняют функцию трансформатора. Поэтому через дроссель  $L_2$  будет протекать ток  $i_2$  по цепи: «+»  $L_2$ ,  $VD$ ,  $R_n$ , «-» $L_2$ . При этом конденсатор  $C_2$  будет заряжаться с полярностью, указанной на рисунке б.

Когда транзистор  $VT$  открывается, ток разряда конденсатора  $C_1$  закроет диод  $VD$ , и источником питания для нагрузки будет энергия, запасённая конденсатором  $C_2$ .

Достоинством рассмотренной схемы ИСН является то, что объединение дросселей позволяет улучшить массогабаритные показатели стабилизатора, уменьшить уровень электромагнитных помех, создаваемых полупроводниковыми приборами, и повысить его КПД [7, 8].

***Стабилизатор напряжения на управляемых полупроводниковых приборах выпрямителя***

Функциональная схема управляемого выпрямителя приведена на рисунке 8. Схема работает в трёх режимах.

При первом режиме транзистор  $VT_1$  открыт, а  $VT_2$  – закрыт. Источником питания для нагрузки является напряжение вторичной обмотки  $U_{W21}$ . В этом режиме ток от источника к нагрузке протекает по цепи: «+» $U_{W21}$ ,  $VT_{1ЭК}$ ,  $L$ ,  $R_H$ , «-» $U_{W21}$ .

При втором режиме закрыт транзистор  $VT_1$ , а  $VT_2$  – открыт. Источником питания для нагрузки является напряжение вторичной обмотки  $U_{W22}$ . В этом режиме ток от источника к нагрузке протекает по цепи: «+» $U_{W22}$ ,  $VT_{2ЭК}$ ,  $L$ ,  $R_H$ , «-» $U_{W22}$ .

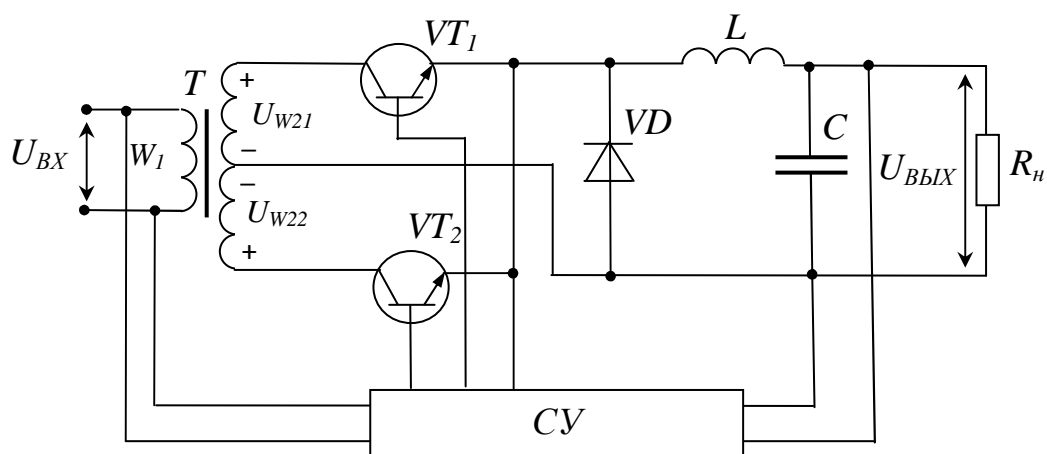


Рисунок 8 – Функциональная схема стабилизатора напряжения на управляемых полупроводниковых приборах

При этих режимах работы реактивные элементы дроссель  $L$  и конденсатор  $C$  накапливают энергию.

В третьем режиме оба транзисторы закрыты, и источником питания для нагрузки в первый момент времени является дроссель. В этом случае ток будет протекать по замкнутому контуру:  $L$ ,  $R_H$ ,  $VD$ . Далее, при увеличении длительности паузы в работе транзисторов, источником питания для нагрузки становится конденсатор  $C$ .

Стабилизация напряжения на нагрузке обеспечивается изменением времени открытого и закрытого состояния транзисторов. Реактивные элементы (дроссель и конденсатор) кроме функции накопителей электроэнергии выполняют функцию сглаживающего фильтра, обеспечивающего требуемое качество выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$ .

Основными достоинствами рассматриваемой схемы стабилизатора напряжения являются высокие показатели её надёжности и высокое качество выходного напряжения благодаря применению двух силовых электронных приборов.

Для улучшения характеристик стабилизаторов напряжения постоянного тока необходимо на этапе проектирования использовать современный математический аппарат для моделирования физических процессов протекающих в силовых схемах стабилизаторов, и на основе полученных результатов разрабатывать новые технические решения стабилизаторов [8, 9]. Важным является также вопрос на этапе проектирования новых устройств выполнять методологию теоретических и экспериментальных исследований, предложенную в [10, 11].

Рассмотренные в статье функциональные схемы эксплуатируемых и новых решений и особенности работы стабилизаторов повысят эффективность предпроектных работ по разработке стабилизаторов напряжения постоянного тока с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками.

### Список литературы

1. Атрощенко В. А. Современное состояние и перспективы развития систем автономного электроснабжения [Текст] В. А. Атрощенко, О. В. Григораш, В. В. Ланчу // Промышленная энергетика. – 1994. – № 5. – С.33–36.
2. Богатырев Н. И., Григораш О. В., Курзин Н. Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования [Текст] / Н. И. Богатырев, О. В. Григораш, Н. Н. Курзин и др. – Краснодар, 2002. – 358 с.
3. Григораш О. В. Статические преобразователи электроэнергии [Текст] / О. В. Григораш, О. В. Новокрещенов, А. А. Хамула и др. – Краснодар. – 2006. – 264 с.
4. Григораш О. В. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков. – Краснодар. – 2011. – 188 с.
5. Григораш О. В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш // Промышленная энергетика. – 1997. – № 7. – С.21–25.
6. Григораш О. В. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии [Текст] / О. В. Григораш, Ю. А. Кабанков // Электротехника. – 2002. – № 3. – С.22–26.
7. Григораш О. В. К вопросу электромагнитной совместимости основных узлов систем автономного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, А. В. Дацко, С. В. Мелехов // Промышленная энергетика. – 2001. – № 2. – С.44–47.
8. Григораш О. В. Математический аппарат для оценки эффективности систем гарантированного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, Н. И. Богатырев, Н. Н. Курзин, Д. А. Казаков. – Краснодар : Б/И. – 2002. – 285 с.
9. Григораш О. В. Электрические аппараты низкого напряжения [Текст] / О. В. Григораш, Н. И. Богатырев, Н. Н. Курзин, Г. В. Тельнов. – Краснодар: КубГАУ. – 2000. – 313 с.
10. Григораш О.В. Научно-исследовательские коллективы кафедры / О.В. Григораш // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – № 02(126). С. 808–830.
11. Григораш О.В. Методология экспериментальных исследований / О. В. Григораш // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – № 03(127). С. 849–864.

### References

1. Atroshhenko V. A. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] V. A. Atroshhenko, O. V. Grigorash, V. V. Lanclu // Promyshlennaja jenergetika. – 1994. – № 5. – S.33–36.
2. Bogatyrev N. I., Grigorash O. V., Kurzin N. N. i dr. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии: osnovy teorii, rascheta i proektirovanija [Tekst] / N. I. Bogatyrev, O. V. Grigorash, N. N. Kurzin i dr. – Krasnodar, 2002. – 358 s.

3. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii [Tekst] / O. V. Grigorash, O. V. Novokrekshhenov, A. A. Hamula i dr. – Krasnodar. – 2006. – 264 s.
4. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. P. Stepura, A. E. Uskov. – Krasnodar. – 2011. – 188 s.
5. Grigorash O. V. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash // Promyshlennaja jenergetika. – 1997. – № 7. – S.21– 25.
6. Grigorash O. V. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. A. Kabankov // Jelektrotehnika. – 2002. – № 3. – S.22–26.
7. Grigorash O. V. K voprosu jelektromagnitnoj sovместимости osnovnyh uzlov sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, A. V. Dacko, S. V. Melehov // Promyshlennaja jenergetika. – 2001. – № 2. – S.44– 47.
8. Grigorash O. V. Matematicheskij apparat dlja ocenki jeffektivnosti sistem garantirovannogo jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, N. I. Bogatyrev, N. N. Kurzin, D. A. Kazakov. – Krasnodar : B/I. – 2002. – 285 s.
9. Grigorash O. V. Jelektricheskie apparaty nizkogo naprjazhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, N. I. Bogatyrev, N. N. Kurzin, G. V. Tel'nov. – Krasnodar: KubGAU. – 2000. – 313 s.
10. Grigorash O.V. Nauchno-issledovatel'skie kollektivy kafedry / O.V. Grigorash // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – № 02 (126). S. 808–830.
11. Grigorash O.V. Metodologija jeksperimental'nyh issledovanij / O. V. Grigorash // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – № 03 (127). S. 849–864.