

УДК 621.314

UDC 621.3124

**ИСТОЧНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**DC VOLTAGE SOURCES WITH IMPROVED OPERATIONAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS**

Григораш Олег Владимирович  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,  
[grigorasch61@mail.ru](mailto:grigorasch61@mail.ru)

Grigorash Oleg Vladimirovich  
Doctor of Engineering Sciences, professor, head of the chair,  
[grigorasch61@mail.ru](mailto:grigorasch61@mail.ru)

Отмахов Георгий Сергеевич  
студент  
*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

Otmakhov Georgiy Sergeevich  
student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье рассматриваются новые структурно-схемные решения и особенности работы источников напряжения постоянного тока с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками

The article discusses the new structural schematics and features of the DC voltage source with improved operational and technical characteristics

Ключевые слова: АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ВЫПРЯМИТЕЛЬ, ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Keywords: AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS, RECTIFIER, DC VOLTAGE SOURCE

Широкое распространение в автономных системах электроснабжения (АСЭ), в том числе в бесперебойных системах, которые в своей структуре содержат несколько независимых источника электроэнергии, получили источники напряжения постоянного тока – выпрямители [1, 2]. Выпрямители нашли применение и в АСЭ, где используются возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ) [3].

Выпрямители в основном являются источниками электроэнергии компьютерных систем, автоматических систем управления, систем стабилизации и преобразования параметров электроэнергии, устройств защиты и т. п. Кроме того, они являются источниками электроэнергии для заряда аккумуляторные батареи. Как известно, аккумуляторные батареи являются резервными (аварийными) источниками электроэнергии [2, 4].

Таким образом, от эксплуатационно-технических характеристик выпрямителей зависит надёжность работы компьютерных систем связи и обработки информации, автоматических системы управления технологиче-

скими процессами и производственными комплексами, а также резервных (аварийных) источников электроэнергии.

В статье рассматриваются новые структурно-схемные решения и особенности работы источников напряжения постоянного тока с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками, новизна которых подтверждена патентами РФ.

На рисунке 1 представлена функциональная схема источника напряжения постоянного тока выполняется на трансформаторе со средней точкой, а на рисунке 2 – диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы системы его управления [5].

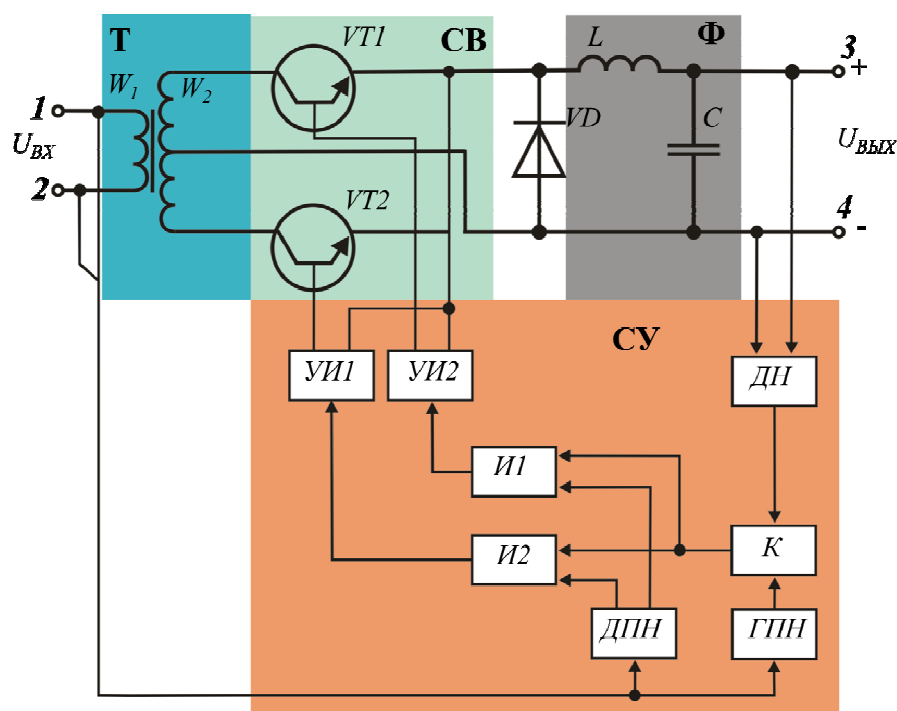


Рисунок 1 – Функциональная схема источника напряжения постоянного тока на трансформаторе со средней точкой

Выпрямитель содержит однофазный трансформатор  $T$  с первичной обмоткой  $W_1$  и вторичной обмоткой со средней точкой  $W_2$ , схему выпрямления  $CB$ , выполненную на транзисторах  $VT_1$  и  $VT_2$ , диод  $VD$ , фильтр  $\Phi$ , содержащий дроссель  $L$  и конденсатор  $C$ , систему управления  $СУ$ . В состав  $СУ$  входят: делитель напряжения  $ДН$ , генератор пилообразного напряже-

ния ГПН, датчик полярности напряжения ДПН, компаратор К, первый и второй логические элементы И И1 и И2 соответственно, первый и второй усилители импульсов УИ1 и УИ2 соответственно. На рисунке 1 показаны входные выходы выпрямителя 1 и 2 для подключения источника питания и выходные выходы 3 и 4 для подключения нагрузки.

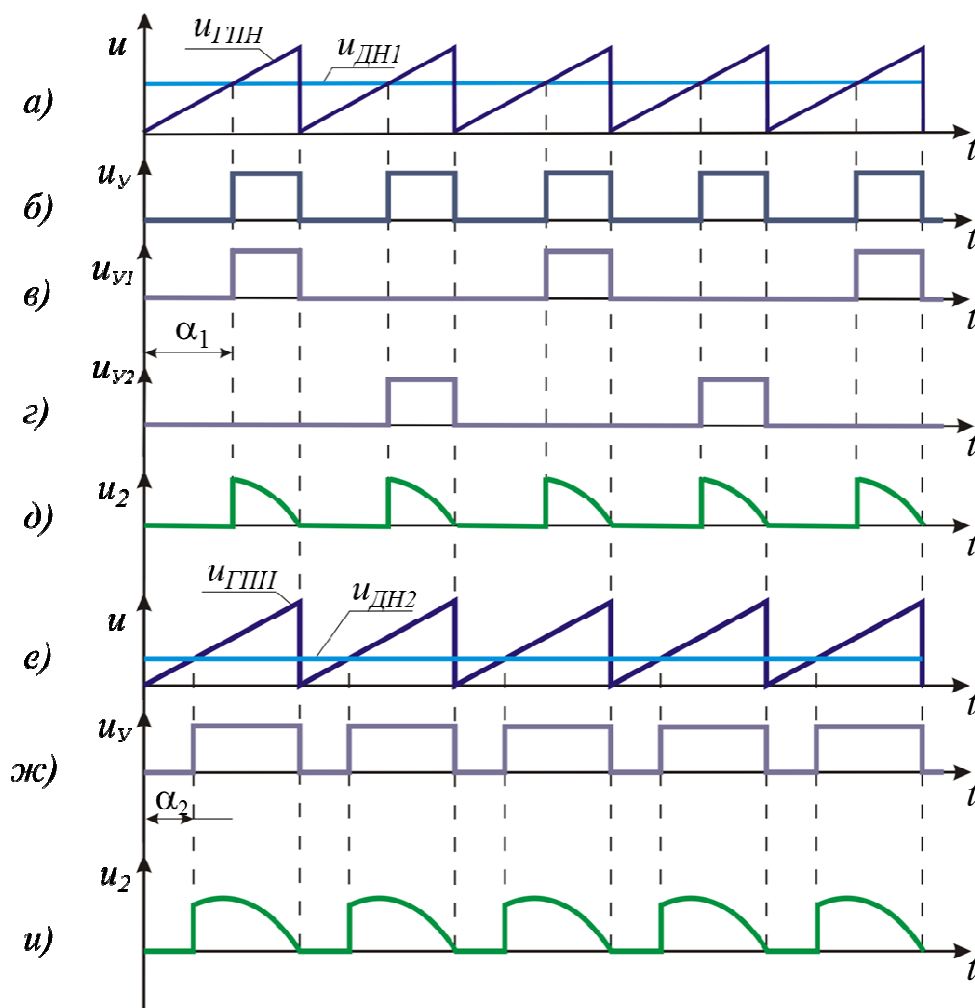


Рисунок 2 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы системы управления источником напряжения постоянного тока на трансформаторе со средней точкой

Работа силовой части схемы выпрямителя. Входное однофазное напряжение переменного тока  $U_{ВХ}$  прикладывается к первичной обмотке  $W1$  трансформатора  $T$ , который преобразует его до требуемого уровня для нагрузки. Схема выпрямления  $СВ$  преобразует напряжение переменного

тока в напряжение постоянного тока, а фильтр  $\Phi$  сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, обеспечивая требуемое качество выходного напряжения постоянного тока  $U_{ВЫХ}$  на выводах 3 и 4.

Кроме того, Г-образный LC-фильтр  $\Phi$  выполняет функции накопителя электроэнергии и в момент времени, когда существует пауза между работой транзисторов  $VT1$  и  $VT2$ , фильтр накопленную электроэнергию отдает в нагрузку, что уменьшает крутизну тока на выходе выпрямителя и улучшается тем самым его качество. Контур для протекания тока от фильтра в нагрузку создается диодом  $VD$  [5].

Работа системы управления СУ (рисунок 1) по стабилизации выходного напряжения постоянного тока. С выходных выводов 3 и 4 сигнал пропорциональный величине выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$ , являющийся ведущим для системы управления, через делитель напряжения  $ДН$  (сигнал  $u_{ДН1}$ ) поступает на первый вход компаратора  $K$  (рисунок 2, а). На второй вход компаратора  $K$  поступает сигнал  $u_{ГПН}$  от источника опорного сигнала – генератора пилообразного напряжения  $ГПН$  (рисунок 2, а). Когда  $u_{ГПН} > u_{ДН1}$  компаратор формирует управляющие импульсы  $u_V$  (рисунок 2, б), которые поступают на первые входы логических элементов И ( $И1$  и  $И2$ , рисунок 1). На вторые входы логических элементов И ( $И1$  и  $И2$ ) поступает сигнал от датчика полярности напряжения  $ДПН$ . При положительной полуволне входного напряжения  $U_{ВХ}$  (рисунок 1) срабатывает логический элемент  $И1$  и с его выхода управляющий сигнал  $u_{V1}$  (рисунок 2, в) через усилитель импульсов  $УИ1$  поступает на управляющий вход транзистора  $VT1$ , при отрицательной полуволне входного напряжения  $U_{ВХ}$  срабатывает логический элемент  $И2$  и с его выхода управляющий сигнал  $u_{V2}$  (рисунок 2, г), через усилитель импульсов  $УИ2$  поступает на управляющий вход транзистора  $VT2$ . Угол управления транзисторами  $\alpha_1$  (рисунок 2, в) соответствует номинальному режиму работы. При поочередной работе транзисторов  $VT1$  и  $VT2$  на выходе схемы выпрямления  $СВ$  формируется напря-

жение  $u_2$  (рисунок 2, д). К примеру, напряжение  $U_{ВЫХ}$ , уменьшится, тогда уменьшится напряжение  $u_{ДН2}$  на выходе делителя напряжения ДН (рисунок 2, е), уменьшится угол управления транзисторами  $\alpha_2 < \alpha_1$  (рисунок 2, ж) и увеличится напряжение  $u_2$  (рисунок 2, и), что приведет к увеличению напряжения на выходе источника электроэнергии.

На рисунке 3 приведена функциональная схема трехфазного выпрямителя выполненного на двух однофазных выпрямителях, на рисунке 4 – векторная диаграмма напряжений, а на рисунке 5 – диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы выпрямителя [6].

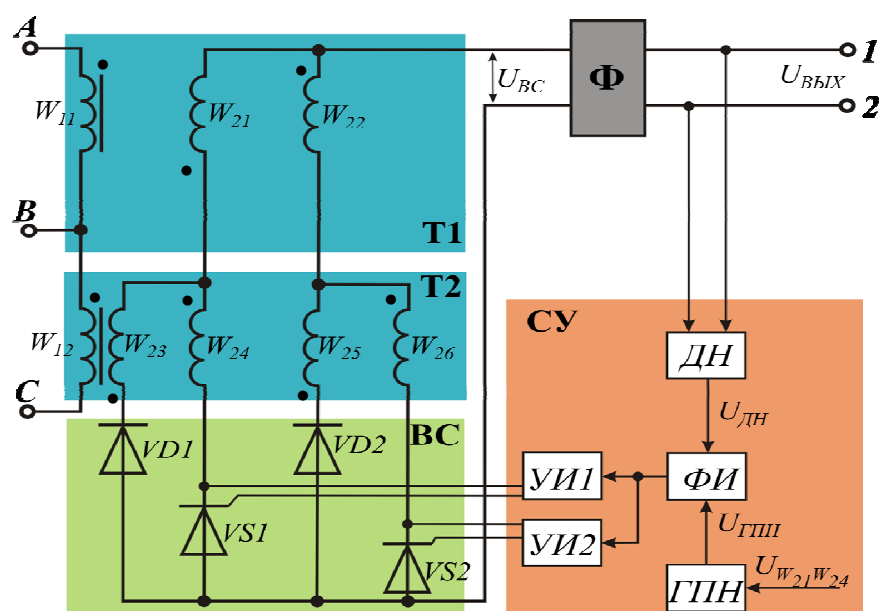


Рисунок 3 – Функциональная схема трехфазного выпрямителя, выполненного на двух однофазных трансформаторах

Трехфазный выпрямитель (рисунок 3) содержит два однофазных трансформатора  $T1$  и  $T2$ , первичные обмотки которых  $W_{11}$  и  $W_{12}$  включены между собой согласно, а их выводы и общая точка соединены с выводами  $A$ ,  $B$  и  $C$  к которым подключается трехфазный источник напряжения, выпрямительную схему  $BC$ , фильтр  $\Phi$  и систему управления  $СУ$ , обеспечивающую стабилизацию напряжения. На рисунке 3 показаны выводы 1 и 2 для подключения нагрузки постоянного тока.

Трехфазный выпрямитель работает следующим образом. При подключении первичных обмоток  $W_{11}$  и  $W_{12}$  (рисунок 3) однофазных трансформаторов  $T1$  и  $T2$  к трехфазному источнику питания через выводы  $A$ ,  $B$  и  $C$  во вторичных обмотках  $W_{21}$  и  $W_{22}$  трансформатора  $T1$  наводятся напряжения  $U_{W21}$  и  $U_{W22}$  соответственно, во вторичных обмотках  $W_{23} - W_{26}$  трансформатора  $T2$  наводятся напряжения  $U_{W23} - U_{W26}$  соответственно. С учетом напряжений источника питания  $U_{AB}$  и  $U_{BC}$  (рисунок 4), при геометрическом сложении во вторичных обмотках трансформаторов  $T1$  и  $T2$ , образуются напряжения  $U_{W22-W25}$ ,  $U_{W22-W26}$ ,  $U_{W21-W24}$  и  $U_{W21-W23}$  сдвинутых друг относительно друга на угол  $120^\circ$ .

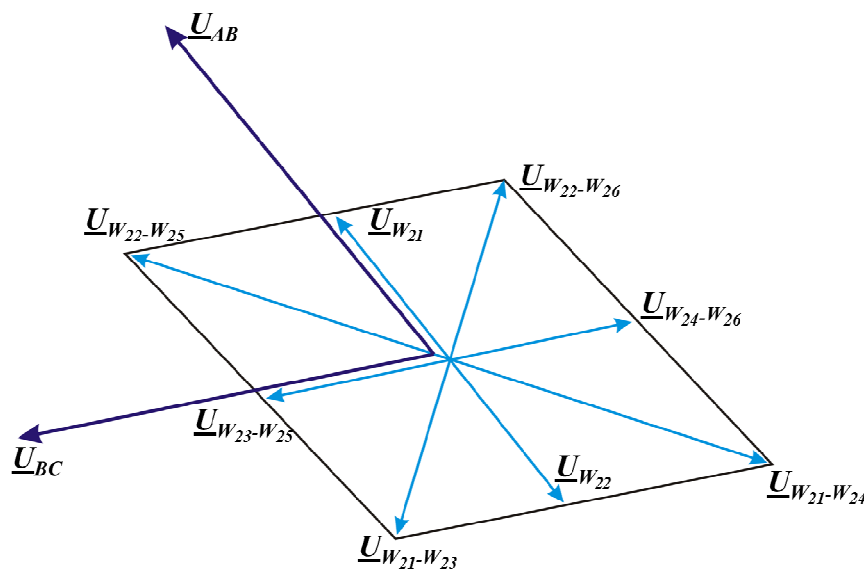


Рисунок 4 – Векторная диаграмма напряжений однофазных выпрямителей

К примеру, при сложении векторов напряжений  $U_{W22}$  и  $U_{W25}$  образуется вектор напряжения  $U_{W22-W25}$  (рисунок 4), остальные вектора получены аналогично. Напряжения вторичных обмоток выпрямляется выпрямительной схемой  $BC$ . Далее полученное пульсирующее напряжение  $U_{BC}$  сглаживается фильтром  $\Phi$  и прикладывается к выходным выводам выпрямителя  $1$  и  $2$ .

Система управления выпрямителем работает следующим образом. С выхода фильтра  $\Phi$  сигнал постоянного тока пропорциональный выходному напряжению выпрямителя  $U_{ВЫХ}$  (рисунок 3), являющийся ведущим для системы управления СУ, через делитель напряжения ДН поступает на первый вход формирователя импульсов управления ФИ (рисунок 5, а,  $U_{ДН1}$ ). На второй вход формирователя импульсов ФИ поступает сигнал  $U_{ГПН}$  (рисунок 5, а) от генератора пилообразного напряжения ГПН являющийся опорным сигналом системы управления СУ, и синхронизированным с напряжением вторичных обмоток  $U_{W21-W24}$  (рисунок 3).

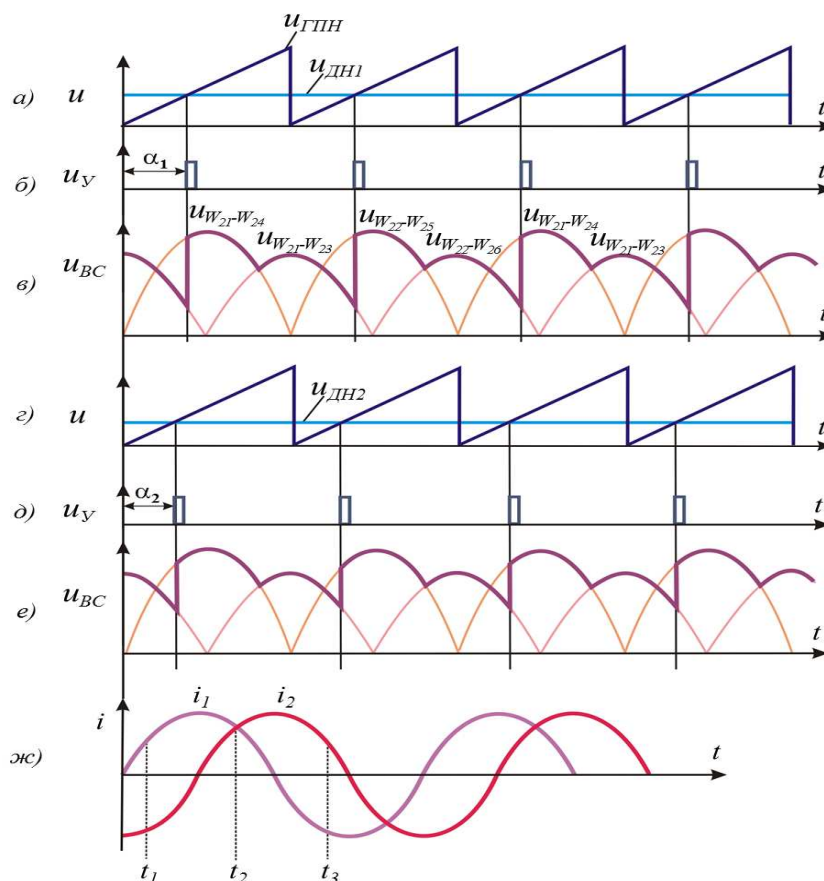


Рисунок 5 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы выпрямителя

Когда  $U_{ГПН} > U_{ДН1}$  формирователь импульсов ФИ формирует управляющий сигнал  $U_{У}$  с углом управления  $\alpha_1$  (рисунок 5, б) для тиристоров  $VS1$  и  $VS2$  выпрямительной схемы  $BC$  (рисунок 3), который через усилители импульсов  $УИ1$  и  $УИ2$  поступают на управляющие электроды тиристо-

ров  $VS1$  и  $VS2$ . Тиристоры  $VS1$ ,  $VS2$  и диоды  $VD1$ ,  $VD2$  открываются в последовательности  $VS1 - VD1 - VS2 - VD2$ , закрываются обратными напряжениями и при этом на выходе выпрямительной схемы формируется пульсирующее напряжение  $U_{BC}$  (рисунок 5, в). К примеру, напряжение  $U_{ВЫХ}$  (рисунок 3) уменьшится, тогда уменьшится угол управления тиристорами  $\alpha_2 < \alpha_1$  (рисунок 5, г, д) и увеличится напряжение на выходе выпрямительной схемы  $U_{BC}$  (рисунок 5, е), что приведет к увеличению напряжения  $U_{ВЫХ}$  на выходных выводах выпрямителя 1 и 2 (рисунок 3).

На рисунке 6 приведена функциональная схема выпрямителя, где стабилизация напряжения осуществляется за счёт применения дросселя с обмоткой управления на входе выпрямителя [7].

Источник напряжения постоянного тока содержит управляющий дроссель  $УД$  с рабочей обмоткой  $PO$  и обмоткой управления  $OU$ , трансформатор со средней точкой  $T$ , с первичной обмоткой  $W_{11}$  и вторичной обмоткой  $W_{21}$  и  $W_{22}$ , имеющую среднюю точку, схему выпрямления  $B$ , выполненную на диодах  $VD1$  и  $VD2$ , фильтр  $\Phi$ , транзистор  $VT$  и систему стабилизации напряжения  $ССН$ . На рисунке 6 показаны выводы 1 и 2 для подключения источника напряжения постоянного тока и выводы 3 и 4 для подключения нагрузки.

Источник напряжения постоянного тока работает следующим образом (рисунок 6). Входное однофазное напряжение источника питания переменного тока через выводы 1 и 2 прикладывается к рабочей обмотке  $PO$  управляющего дросселя  $УД$  и к первичной обмотке  $W_{11}$  трансформатора со средней точкой  $T$ , что вызывает действие переменных ЭДС во вторичной обмотке  $W_{21}$  и  $W_{22}$ . Напряжение переменного тока преобразуется схемой выпрямления  $B$  с помощью диодов  $VD1$  и  $VD2$  в напряжение постоянного тока и после его сглаживания фильтром  $\Phi$  подключается к нагрузке через выводы 3 и 4.



Система стабилизации напряжения *ССН* работает следующим образом. С выхода напряжение постоянного тока поступает на второй вход системы стабилизации, на первый вход которой, поступает напряжение источника переменного тока, являющееся источником опорного сигнала. При сравнении сигналов система стабилизации формирует управляющий сигнал для транзистора *VT*. К примеру, если уменьшится напряжение постоянного тока, то увеличится длительность управляющего сигнала и увеличится время открытого состояния транзистора *VT*, что приведет к увеличению тока в обмотке управления *OU* управляющего дросселя *УД*, являющегося током подмагничивания, и уменьшению сопротивления рабочей обмотки *PO* и соответственно уменьшению падения напряжения на этой обмотке. Поскольку рабочая обмотка *PO* управляющего дросселя *УД* включена последовательно с первичной обмоткой  $W_{11}$  трансформатора со средней точкой *T*, то это приведет к увеличению напряжения на первичной обмотке трансформатора, а значит увеличению напряжения на его вторичных обмотках и на выходе источника электроэнергии постоянного тока.

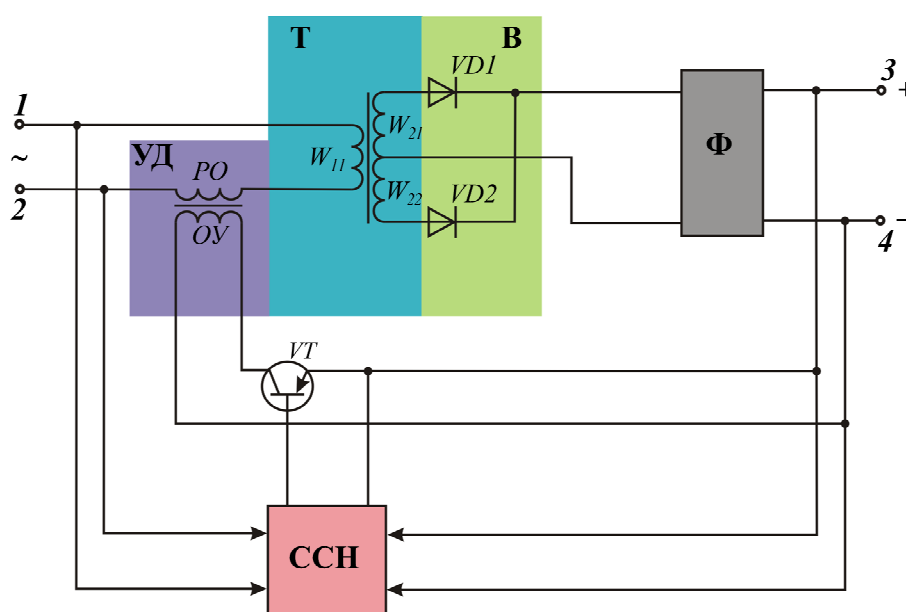


Рисунок 6 – Функциональная схема выпрямителя, с дросселем управления

Применение в составе АСЭ предложенных структурно-схемных решений источников напряжения постоянного, позволит улучшить эксплуатационно-технические характеристики ветроэлектрических станций в комплексе.

### Список литературы

1. Григораш О.В. Системы автономного электроснабжения / О.В. Григораш, Н. И. Богатырёв, Н. Н. Курзин. – Краснодар: Б/И. – 2001.
2. Григораш О.В. Модульные системы гарантированного электроснабжения / О.В. Григораш, С.В. Божко, Д.А. Нормов и др. – Краснодар: КВВАУЛ. – 2005.
3. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов. – Краснодар, 2012.
4. Богатырев Н.И. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования / Н.И. Богатырев, О.В. Григораш, Н.Н. Курзин и др. – Краснодар, 2002.
5. Григораш О.В. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, А.Е. Усков. – Краснодар, 2011.
6. Трехфазный стабилизированный выпрямитель. Григораш О.В., Усков А.Е., Энгватова В.В. и др. Патент на изобретение RUS 2337463, 27.10.2008.
7. Источник напряжения постоянного тока Григораш О.В., Божко С.В., Хамула А.А. и др. Полезная модель RUS 80033, 20.01.2009.

### References

1. Grigorash O.V. Sistemy avtonomnogo jelektrosnabzhenija / O.V. Grigorash, N. I. Bogatyryov, N. N. Kurzin. – Krasnodar: B/I. – 2001.
2. Grigorash O.V. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija / O.V. Grigorash, S.V. Bozhko, D.A. Normov i dr. – Krasnodar: KVVAUL. – 2005.
3. Grigorash O.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii / O.V. Grigorash, Ju.P. Stepura, R.A. Sulejmanov, E.A. Vlasenko, A.G. Vlasov. – Krasnodar, 2012.
4. Bogatyrev N.I. Preobrazovateli jelektricheskoy jenergii: osnovy teorii, ras-cheta i proektirovanija / N.I. Bogatyrev, O.V. Grigorash, N.N. Kurzin i dr. – Krasnodar, 2002.
5. Grigorash O.V. Statische preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija / O.V. Grigorash, Ju.P. Stepura, A.E. Uskov. – Krasnodar, 2011.
6. Trehfaznyj stabilizirovannyj vyprjamitel'. Grigorash O.V., Uskov A.E., Jengovatova V.V. i dr. Patent na izobretenie RUS 2337463, 27.10.2008.
7. Istochnik naprjazhenija postojannogo toka Grigorash O.V., Bozhko S.V., Hamula A.A. i dr. Poleznaja model' RUS 80033, 20.01.2009.