

## ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

*А.О. Копнов, И.В. Никитин студенты гр. 5Г4Б*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
Тел. 8-962-782-1851*

E-mail: chisamba188@mail.ru / aokopnov96@gmail.com

*Научный руководитель: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент кафедры  
ЭПЭО ИШЭ ТПУ*

**Актуальность.** Для современного производства актуален вопрос улучшения технико-экономических показателей статических преобразовательных устройств, предназначенных для преобразования энергии постоянного тока одного напряжения в энергию постоянного тока другого напряжения [1].

В горнодобывающей промышленности для повышения безопасности и производительности труда используют огромное количество электрического оборудования и машин. Особенностью данной промышленности является использование электрических машин и оборудования на удалении от источника питания, вследствие этого может происходить опасное снижение питающего напряжения.

На сегодняшний день актуальна задача по созданию устройства, компенсирующего просадку напряжения, путем добавления необходимого количества «недостающих вольт». Пример такого устройства будет рассмотрен в данном докладе.

**Вольтодобавочное устройство.** Для перевозки материалов и работников в горизонтальных горных выработках, безопасных по взрыву угольной пыли используют специальную технику. Например, контактный напеченный локомотив TLP90F, представленный на рисунке 1. Данный локомотив передвигается по рельсовому пути и приводится в движение двумя асинхронными электродвигателями суммарной мощностью 110 кВт (2×55 кВт). Основные технические характеристики данного локомотива представлены в таблице 1. [2]

Таблица 1. Технические характеристики локомотива TLP90F

Мощность	110 кВт (2×55 кВт)
Максимальное тяговое усилие	40 кН
Скорость	0-20 км/ч
Ширина колеи	750-900 мм
Общая масса	14,5 т
Максимальный угол наклона пути	50 %

При работе транспорта в глубине шахты или рудника, он удаляется от источника питания постоянного тока 250В на несколько километров, что приводит к просадке напряжения. В случае просадки напряжения на 30% от номинального значения напряжения, то есть напряжение в этом случае будет составлять всего 175В, локомотив с полностью нагруженным составом не сможет тронуться, так как момент частотно-управляемого асинхронного двигателя будет много меньше пускового – это подкрепляется общеизвестным правилом, что электромагнитный момент тягового асинхронного двигателя прямо пропорционален

квадрату напряжения питания. В данном случае возникает необходимость увеличить пониженное напряжение питания с целью частотного пуска тягового асинхронного электродвигателя при максимальной нагрузке. Для решения этой задачи, можно применить вольтодобавочные устройства.



Рис. 1. Подземный локомотив TLP90F с троллейным токосъемом

**Вольтодобавочное устройство.** В общем случае вольтодобавочное устройство – это силовое преобразовательное устройство, включаемое последовательно с нагрузкой и создающее добавочное напряжение, складывающееся с напряжением основного источника питания, в случае его просадки, или вычитаемое из него, при его возрастании в процессе рекуперации энергии торможения. Наиболее просто, экономично и доступно это осуществляется с помощью двухобмоточного трансформатора, первичная обмотка которого питается от высокочастотного инвертора. Вторичная обмотка трансформатора подключается последовательно с нагрузкой через высокочастотный выпрямитель. С помощью этого трансформатора можно повысить или понизить напряжение на нагрузке на величину  $\pm \Delta U_{\text{доб}}$ . Другими словами, необходимая величина вольтодобавочного устройства определяется величиной напряжения вторичной обмотки обычного понижающего трансформатора.

Особенностью схемы вольтодобавочного устройства является наличие шунтирующего ключа. После того, как устройство произведет добавку напряжения, необходимого для создания момента трогания локомотива, и состав начнет свое движение, вольтодобавочное устройство необходимо шунтировать, дабы избежать нагревания силовых ключей обратным током рекуперации при торможении локомотива.

Обобщенная схема повышающего преобразователя для компенсации отклонения напряжения контактной сети для облегчения пуска локомотива TLP90F с полностью загруженным составом представлена на рисунке 2.

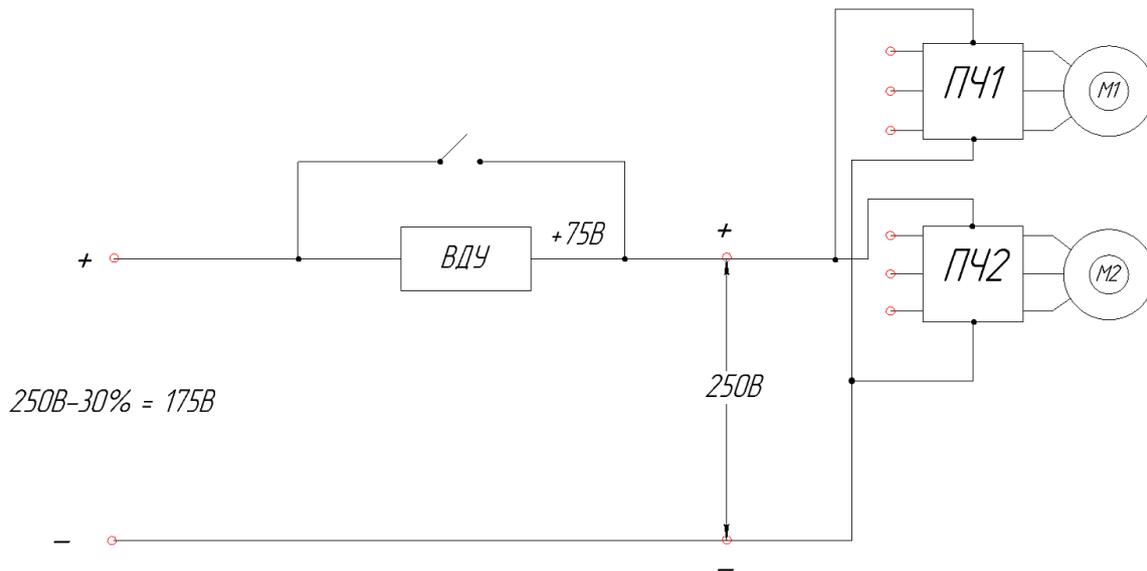


Рис. 2. Обобщенная схема повышающего преобразователя для компенсации отклонения напряжения контактной сети: ВДУ – вольтодобавочное устройство; ПЧ1 и ПЧ2 – преобразователь частоты 1 и 2; М1 и М2 – тяговый трехфазный асинхронный электродвигатель

**Расчет вольтодобавочного устройства.** Чтобы получить дополнительные 75В в троллейной линии постоянного тока необходимо разработать принципиальную схему повышающего силового преобразователя и выбрать ее элементы. На рис. 3 представлена принципиальная электрическая схема вольтодобавочного устройства. Данный преобразователь постоянного тока состоит из высокочастотного инвертора, выполненного по однофазной мостовой схеме, высокочастотного трансформатора и высокочастотного однофазного мостового неуправляемого выпрямителя. Отметим, что их частота  $f = 48\text{кГц}$ .

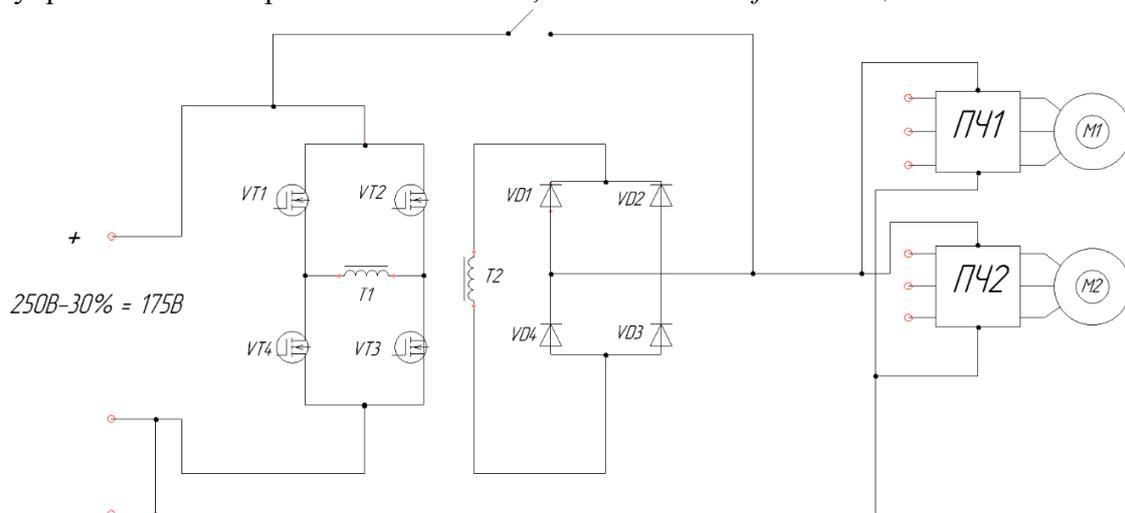


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема вольтодобавки

Так как выходная мощность последовательно включенного с нагрузкой преобразователя требуется порядка 33кВт, и его ток, имеет, значение 440А, следовательно, сечение обмоток согласующего высокочастотного трансформатора получается достаточно большим, и физически выполнить обмотку трансформатора с необходимым количеством витков при доступном размере магнитопровода не представляется возможным. Кроме того необходимо решить вопрос охлаждения полупроводниковых приборов при прохождении через них номинального тока в прямом направлении (от сети к исполнительным тяговым двигателям). При этом размеры охладителей будут достаточно большими.

Поэтому принято решение разбить силовую часть нашего преобразователя на параллельно включенные модули, каждый из которых имеет общий охладитель с размещенными на нем ключами высокочастотного инвертора, выпрямителя и согласующий трансформатор. Предварительный расчет показывает, что количество модулей преобразователя должно быть не менее двенадцати, тогда мощность каждого параллельно включенного модуля составит 2750Вт.

Также необходимо сказать, что решение разбить устройство на 12 модулей, позволяет снизить пульсации напряжения и получить равномерное распределение напряжения постоянного тока.

Схема блочного устройства с вольтодобавкой представлена на рис.4.

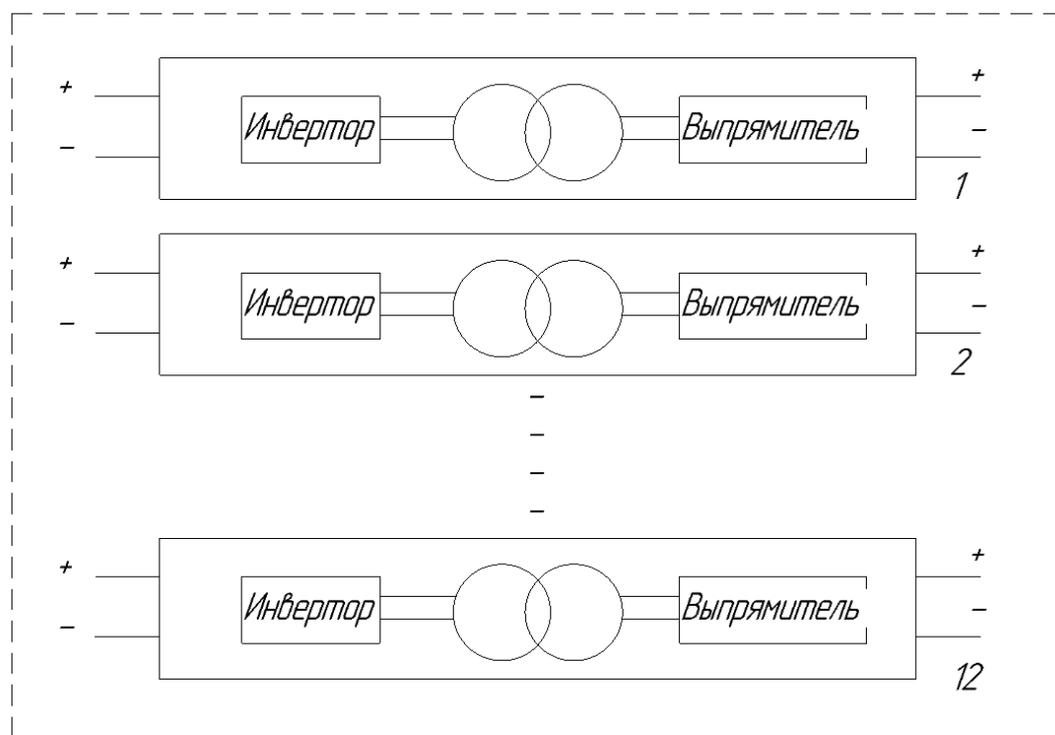


Рис. 4. Схема устройства вольтодобавки с 12 параллельными модулями

**Расчет одного модуля устройства последовательной вольтодобавки.** В результате расчета одного модуля, получаются следующие параметры вольтодобавочного устройства:

Высокочастотный трансформатор изготавливается из магнитопровода ГМ 503А ОЛ28/45-10, кольцевой из аморфного железа, коэффициент трансформации

которого  $K_{тр} = 2,3$ , имеет вид представленный на рисунке 5. Ток, протекающий в первичной обмотке  $I_1 = 15,7\text{A}$ , при этом число витков первичной обмотки – 6. Диаметр провода первичной обмотки в таком случае  $d_{пр1} = 2,55\text{мм}$ , однако диаметр провода не должен превышать 1мм, поэтому используем провод ПЭВТЛ диаметром  $d_{пр1*} = 0,8\text{мм}$  и скручиваем в литцендрат из 4 проводников, а площадь сечения в этом случае  $S_{M1} = 0,31\text{ см}^2$ . Ток, протекающий во вторичной обмотке  $I_2 = 36,7\text{A}$ , при этом число витков вторичной обмотки – 3. Диаметр провода вторичной обмотки в таком случае  $d_{пр2} = 3,94\text{мм}$ , однако диаметр провода не должен превышать 1мм, поэтому используем провод ПЭВТЛ диаметром  $d_{пр2*} = 0,8\text{мм}$  и скручиваем в литцендрат из 5 проводников, при этом площадь сечения  $S_{M2} = 0,68\text{ см}^2$ .

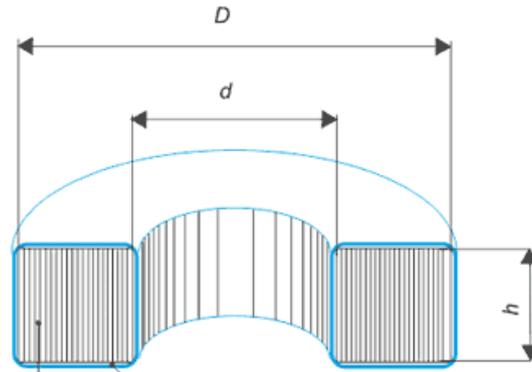


Рис. 5. Сечение выбранного магнитопровода:  $D = 45\text{мм}$ ,  $d = 28\text{мм}$ ,  $h = 10\text{мм}$ .

Высокочастотный инвертор высокочастотный изготавливаем на базе МОП-транзисторов, исходя из напряжения пробоя сток-исток  $U_{ds} = 369\text{В}$  и непрерывного тока утечки  $I_d = 15,7\text{A}$ , при этом необходимо делать запас по току и напряжению в 2-3 раза. В итоге выбираем МОП-транзистор *IXFK44N80P*, фирмы *IXYS*, изображенный на рисунке 6, характеристики которого:  $I_d = 44\text{A}$ ,  $U_{ds} = 800\text{В}$ . Всего используем 4 транзистора.

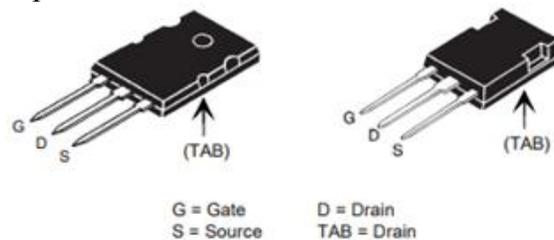


Рис. 6. МОП-транзистор *IXFK44N80P*, фирмы *IXYS*

Высокочастотный неуправляемый выпрямитель представлен однофазной мостовой схемой. Выбор диодов необходимо осуществлять по среднему прямому току и обратному напряжению. Обратное напряжение  $U_{обр} = 106\text{В}$ , а средний прямой ток  $I_{dcp} = 18\text{A}$ . Выбираем диод Шотки типа *VS-60APH03-N-S1*, изображенный на рисунке 7, фирмы *Vishay* с  $U_{обр} = 200\text{В}$ ,  $I_{dcp} = 60\text{A}$  параметры которых превышают рассчитанные значения.

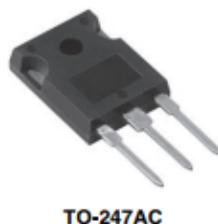


Рис. 7. Диод Шотки типа *VS-60APH03-N-S1*, фирмы *Vishay*

После такого деления устройства на 12 модулей, его можно расположить компактной платформе, на которую также устанавливается вентилятор для охлаждения устройства.

**Выводы:** Данное устройство проводит ток в одном направлении, для увеличения напряжения в точке токосъема с целью повысить тяговый момент асинхронных двигателей при пуске локомотива с полностью загруженным составом. После начала движения устройство вольтодобавки следует шунтировать. В тормозных рекуперативных режимах работы тяговый электропривод локомотива сбрасывает энергию в контактную сеть через ключ, который шунтирует вольтодобавочное устройство. Таким образом, компенсирование отклонения напряжения постоянного тока троллейной линии позволит обеспечить гарантированное трогание с места локомотива с нагруженным составом. Вольтодобавочное устройство реализовано на базе автономного инвертора, высокочастотного трансформатора и выпрямителя и позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели тягового электропривода по сравнению с аналогичными устройствами предыдущего поколения.

#### **Список литературы:**

1. Петрович В.П. Преобразователи постоянного тока / В.П. Петрович, А.В. Глазачев // Силовая электроника, – ТПУ, 2014. – с. 143-167.
2. FerritGlobalMiningSolutions [электронный ресурс] : - CzechRepublic, – Режим доступа: <http://ferrit.cz/ru/produkty/narocsvennyj-transport>, свободный. – FerritRail (дата обращения: 15.11.2017).