



РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

в сетях 0,4 кВ

ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Проблемы качества электроэнергии

Проблема низкого уровня напряжения в электрической сети знакома многим потребителям. Основное её проявление – некачественная работа электрических приборов их повторяющиеся сбои и отключения, а в худшем случае – выход приборов из строя. Наиболее выражено данную проблему ощущают потребители, подключённые к участкам линии электропередач существенно удалённым от трансформаторных подстанций. И даже несмотря на то, что ГОСТ 32144-2013 устанавливает в точке передачи электрической энергии потребителям допустимое отклонения напряжение от номинального значения 220 В в диапазоне не более $\pm 10\%$ ($198 \div 242$ В), требования данного ГОСТ очень часто не выполняются.

Причин возникновения данной проблемы две:

- непрерывное возрастание мощности электрических нагрузок потребителей за счёт появления новых типов мощных нагрузок и увеличения общего количества нагрузок;
- запаздывание темпов модернизации электрических сетей, в частности, линий электропередачи, пропускная способность которых не соответствуют реальной мощности, потребляемой современными нагрузками.

Варианты решения проблемы

- Реконструкция старых линий электропередачи с заменой существующих проводов проводами большего сечения, соответствующего передаваемой по сети мощности.
- Установка в электрическую сеть специализированных устройств – вольтодобавочных трансформаторов (бустеров), поддерживающих нормируемый ГОСТ уровень напряжения в электрической сети. Первый вариант требует значительных капитальных затрат, длительного времени реализации и крайне редко реализуется электроснабжающими компаниями.



➤ БУСТЕР ЭЛЕКТРОАППАРАТ

Устройство повышения уровня напряжения удаленных потребителей 0,4 кВ – вольтодобавочный трансформатор-бустер ТТРН-Б.

Решения от «ЭЛЕКТРОАППАРАТ»

Бустеры ТТРН-Б производства АО ВО «Электроаппарат» являются эффективным решением проблемы низкого напряжения в электрических сетях. В основе бустеров вольтодобавочные трансформаторы обеспечивающие дискретное регулирование напряжения посредством быстродействующих тиристорных ключей. В отличие от механических реле, часто используемых в устройствах регулирования напряжения, тиристорные ключи надёжны, не имеют ограничений по ресурсу переключений, их работа бесшумна. Конструкция бустера позволяет осуществлять раздельное регулирование напряжений в фазах трёхфазной электрической сети. Такое решение избавляет от необходимости использования вместе с бустером дополнительных устройств симметрирования фазных токов.

Минимальное напряжение на входе бустера – 160 В. Даже при таком низком входном напряжении бустер обеспечит на своём выходе напряжение величиной 220 В. Бустеры обладают высокой дискретностью и уменьшенным шагом регулирования напряжения, не превышающем 9 В. Таким образом, переключения ступеней бустера не сопровождаются мерцаниями света и остаются незаметными для потребителей.

Важной особенностью устройств является их устойчивость к коротким замыканиям в электрической сети. При возникновении коротких замыканий бустер переходит в защитный режим и исключается из работы посредством защитной автоматики. При устранении аварийного процесса бустер автоматически включается в работу.

Устройства снабжены средствами защиты от грозовых перенапряжений.

Система управления и диагностики бустера осуществляет непрерывный мониторинг режима работы устройства и состояния его оборудования и посредством GSM – передатчика осуществляет пересылку диагностической информации на диспетчерский пульт управления.

Бустеры предназначены для установки на существующих опорах ЛЭП и поставляются с комплектом необходимого для установки оборудования.



БУСТЕР ЭЛЕКТРОАППАРАТ - УСТРОЙСТВО ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Просто

- Возможность установки на любые типы стоек
- Для выполнения работ по установке требуется всего два человека
- Возможность применения как с воздушными, так и с кабельными линиями электропередачи
- Возможна установка на существующие стойки, не требуется отвод земли

Быстро

- Быстрый монтаж – перерыв в электроснабжении всего на несколько часов
- Малая масса и габариты - не требуется замена опор и применение спецтехники
- Ввод в эксплуатацию не требует дополнительной пусконаладки

Эффективно

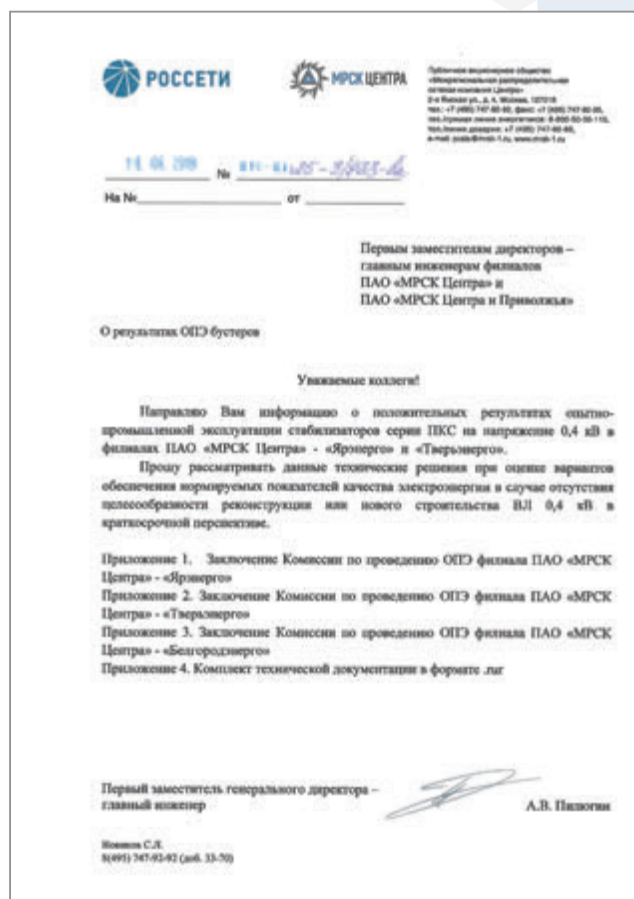
- Использование всего потенциала существующих сетей
- Длительный срок эксплуатации
- Высокий КПД
- Низкий уровень потерь холостого хода
- Легкий демонтаж и возможность повторного применения
- Не требует применения симметрирующих трансформаторов

Надежно

Бустер ТТРН-Б прошел опытно-промышленную эксплуатацию и зарекомендовал себя как надежное оборудование, соответствующие всем техническим характеристикам, позволяющим обеспечить качество электроэнергии в точки установки согласно ГОСТ 32144-2013 и показать эффективную альтернативу реконструкции сети в сетях низкого напряжения 0,4 кВ.

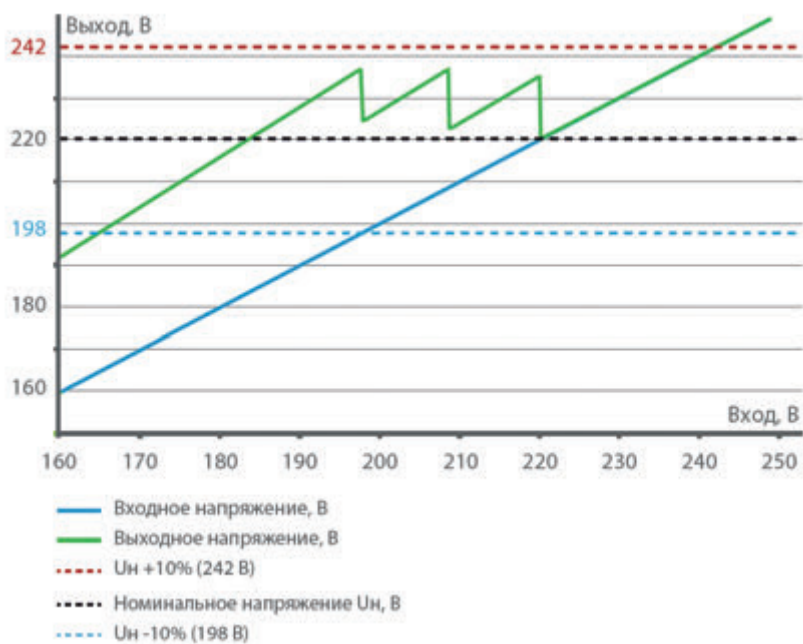
Автоматическое ругулирование

Электронный блок управления измеряет входное и выходное напряжение на каждой фазе и вводит в работу нужное количество обмоток либо переключает устройство в режим байпас. Регулирование каждой фазы осуществляется независимо. Отличительной особенностью бустера ТТРН-Б является отсутствие подвижных механических частей, все коммутации осуществляются полупроводниковыми ключами. Во избежание повторяющихся скачкообразных изменений выходного напряжения бустера прямая и обратная характеристики регулирования имеют разную форму.



⚡ БУСТЕР ЭЛЕКТРОАППАРАТ - ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

График зависимости выходного напряжения:



Индикатор режима работы

Индикатор показывает текущий режим работы (степень повышения/режим байпас) отдельно для каждой фазы. В случае обнаружения неисправности, верхний светодиод будет мигать красным светом, а само устройство перейдет в режим байпас.



Режим байпас

Это режим, при котором электроснабжение потребителя осуществляется в обход основной схемы бустера.

Режим байпас активизируется:

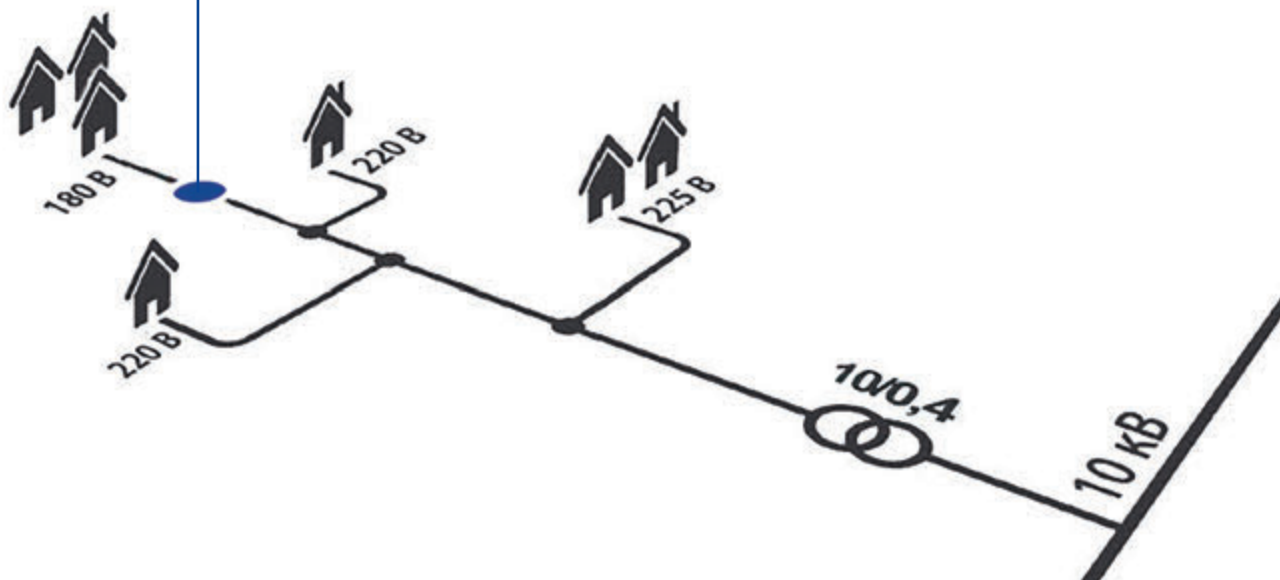
1. При напряжении сети выше 222 В;
2. При напряжении сети ниже 160 В.

⚡ БУСТЕР ЭЛЕКТРОАППАРАТ - ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Общие рекомендации по выбору места установки

Устанавливается как можно ближе к потребителям с низким уровнем напряжения.

- В точке установки уровень напряжения всегда должен быть выше 160 В. Как правило, оптимальный диапазон 170-200 В.
- Выбор мощности устройства осуществляется по рабочему току линии в часы пиковых нагрузок.
- Последовательное включение бустеров не рекомендуется.



➤ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БУСТЕРА ТТРН-Б

№п/п	Наименование параметра	Значение параметра	
1	2	3	
1	Типоисполнение	ТТРН-Б-50/0,4-3 УХЛ1	ТТРН-Б-100/0,4-3 УХЛ1
2	Номинальное напряжение (трехфазное), кВ	0,4	
3	Номинальное входное фазное напряжение, В	220	
4	Номинальная частота, Гц	50	
5	Допустимый диапазон изменения входного фазного напряжения, В	160 ÷ 270	
6	Диапазон регулировки напряжения, %	- 25...+25	
7	Номинальное выходное фазное напряжение, В	230	
8	Номинальный ток по фазе, А	75	152
9	Номинальная мощность, кВА	51,7	100
10	Количество фаз	3	
11	Быстродействие регулирования, мс	10	
12	Потери холостого хода, Вт	10	
13	Тип управления фазами	независимое раздельное	
14	Тип регулирования напряжения	пофазное	
15	Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69	УХЛ	
16	Категория размещения по ГОСТ 15150-69	1	
17	Дистанционный мониторинг уровней напряжений фаз	GSM	
18	Габаритные размеры, мм	1850*1100*390	1200*2200*350
19	Масса, кг	200	300
20	Алгоритмы функционирования	Автономное; внешнее управление	
21	Тип применяемых трансформаторов	сухие	

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ (БУСТЕРОВ)

Проблема провалов напряжения в сетях 0,4 кВ

Электропитание бытовых потребителей электроэнергии осуществляется от электрической сети класса 0,4 кВ. Сеть данного класса формируется на трансформаторных подстанциях 6-10/0,4 кВ (далее – ТП). Питающие ТП, как правило, располагаются в непосредственной близости к потребителям с целью уменьшения протяженности ЛЭП 0,4 кВ. Длина ЛЭП 0,4 кВ в зависимости от структуры сети может быть разной: от нескольких сот метров до нескольких километров. В большинстве случаев к каждой фазе электрической сети подключается группа потребителей, распределённых на всём протяжении линии электропередачи (ЛЭП).

Схема замещения одной фазы ЛЭП 0,4 кВ представлена на рисунке 1. На данной схеме фаза трансформатора со стороны 0,4 кВ представлена источником ЭДС – E и эквивалентным сопротивлением трансформатора R_T , приведенным к стороне низкого напряжения. Сеть разделена на несколько участков, отображаемых на схеме сосредоточенными сопротивлениями: $R_{п0-1}$, $R_{п1-2}$, $R_{п2-3}$ и т.д. (сопротивления проводов между столбами). В точках 1 – N (столбы) к сети подключаются потребители электрической энергии, отображаемые сопротивлениями $R_{н1}$ – $R_{нN}$.

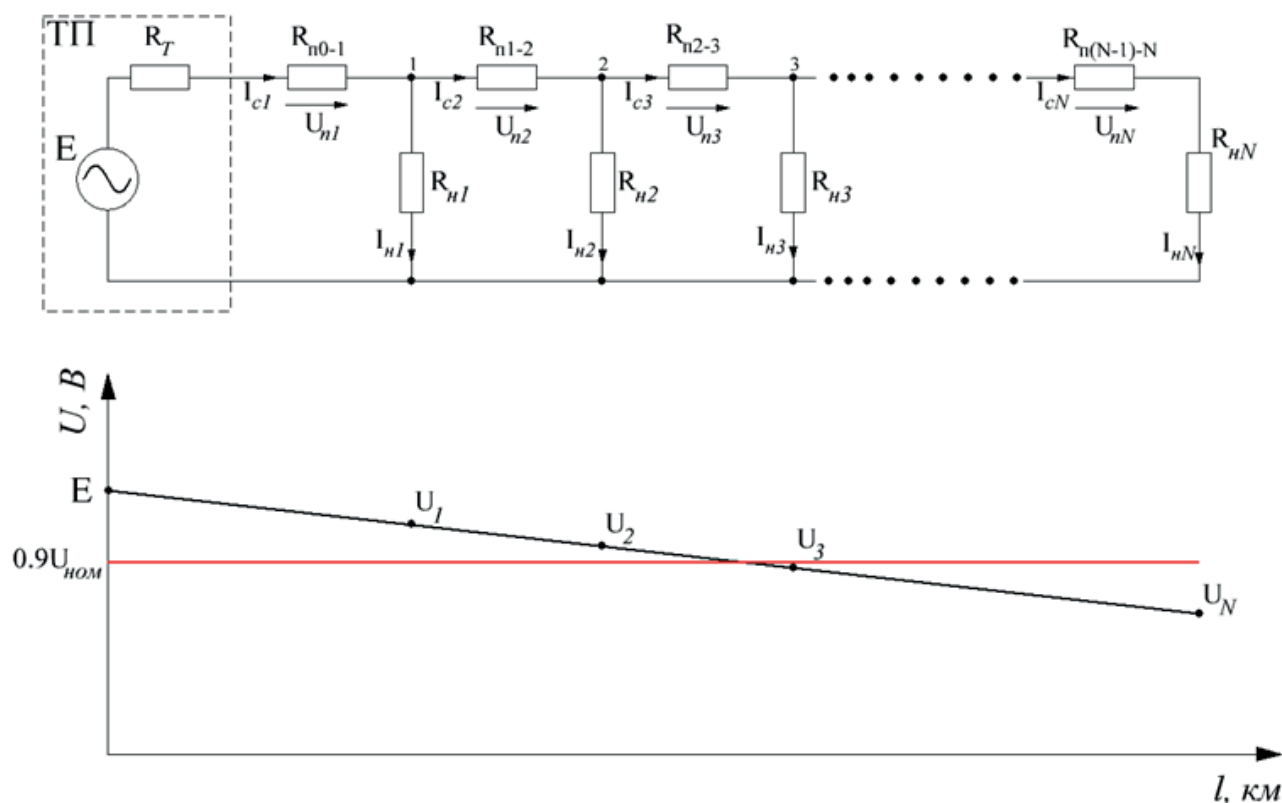


Рисунок 1 - Схема замещения одной фазы ЛЭП 0,4 кВ и типовая эпюра убывания напряжения вдоль ЛЭП

Протекающие по проводам токи электрических нагрузок потребителей вызывают падение напряжения на проводах ЛЭП. Падение напряжения на каждом участке сети в соответствии с законом Ома определяется как произведение сопротивления участка провода на протекающий по этому участку ток. Так, например, падение напряжения на участке 0-1 будет определяться выражением:

$$U_{0-1} = I_{0-1} \cdot R_{П\ 0-1},$$

где $R_{П\ 0-1}$ – сопротивление соответствующего участка ЛЭП, I_{0-1} – ток, протекающий по данному участку ЛЭП.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа напряжение на столбе в точке 1 будет равно уже не напряжению на выходе трансформаторной подстанции – УТП, а определится как разность:

$$U_1 = U_{ТП} - U_{0-1}.$$

При движении по ЛЭП в сторону удаления от трансформаторной подстанции напряжение от столба к столбу будет уменьшаться:

$$\begin{aligned} U_2 &= U_{ТП} - U_{0-1} - U_{1-2}, \\ U_3 &= U_{ТП} - U_{0-1} - U_{1-2} - U_{2-3} \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Типовая эпюра убывания напряжения вдоль ЛЭП представлена также на рис.1.

В определённой точке ЛЭП напряжение может выйти за допустимый диапазон отклонений, нормируемый ГОСТ 32144-2013 ($\pm 10\%$ от номинального значения напряжения сети) (далее – ГОСТ). В этой ситуации потребителям, расположенным на рис.1 правее данной точки, будет поставляться электроэнергия, показатели качества которой не соответствуют требованиям нормативных документов. В терминологии ГОСТ такая ситуация определена как провал напряжения. Потребитель имеет право требовать от электроснабжающей компании устранения данного нарушения.

Варианты обеспечения нормированных величин напряжения

Важно отметить, что причина возникновения описанных выше провалов напряжения в ЛЭП – это результат взаимного влияния совокупности факторов. С одной стороны, негативное влияние оказывает наличие у проводов ЛЭП сопротивления, на котором происходит падение напряжения, с другой стороны – это непрерывно возрастающий рост энергопотребления, проявляющийся в увеличении токов, протекающих в ЛЭП и также проводящий к росту потерь напряжения.

Среди мер, направленных на решение вышеописанной проблемы, наиболее неэффективными являются мероприятия по модернизации оборудования трансформаторной подстанции, такие как увеличение мощности трансформаторов, поскольку в основе проблемы лежат процессы, протекающие в проводах ЛЭП, а не процессы в трансформаторах ТП. Для полноты картины стоит отметить, что напряжение на выходе ТП также имеет тенденцию уменьшения с ростом тока ЛЭП, текущего через низковольтную обмотку трансформатора, поскольку на эквивалентном сопротивлении трансформатора R_t происходит падение напряжения, обусловленное этим током. Однако данное явление может только дополнительно усугублять описанную выше проблему и не является её первопричиной.

Частично эффективным вариантом решения проблемы является преднамеренное увеличение напряжения на выходе ТП. Однако возможности данного увеличения ограничены тем же ГОСТ, в соответствии с которым верхняя граница величины напряжения сети не должна превышать 110% от номинального значения.

Самыми **эффективными** решениями в этой ситуации являются два варианта:

1. Реконструкция ЛЭП с использованием проводов, имеющих сечение, соответствующее сложившимся на присоединении условиям электрического режима в отношении величин протекающих токов нагрузок;
2. Применение вольтодобавочных трансформаторов – бустеров для изменения естественного распределения напряжения вдоль ЛЭП.

Первый вариант решения проблемы является финансово затратным для сетевых компаний и реализуется достаточно сложно. Применение бустеров – менее затратная альтернатива, обладающая при этом рядом ограничений и особенностей.

Принцип действия бустеров

Схема бустера, проясняющая принцип его действия, приведена на рисунке 2. В основе бустера лежит вольтодобавочный трансформатор (ВДТ). Сетевая (вольтодобавочная) обмотка $w1$ вольтодобавочного трансформатора включается последовательно в ЛЭП, осуществляя вольтодобавку. Т.е. на сопротивлениях проводов напряжение падает (теряется), а вольтодобавочная обмотка включается в ЛЭП для того, чтобы напряжение добавить. Чтобы на сетевой обмотке ВДТ возникло вольтодобавочное напряжение, необходимо подать напряжение на его шунтовую обмотку $w2$. Данная обмотка, как и все электрические нагрузки потребителей, подключается в ЛЭП параллельно.

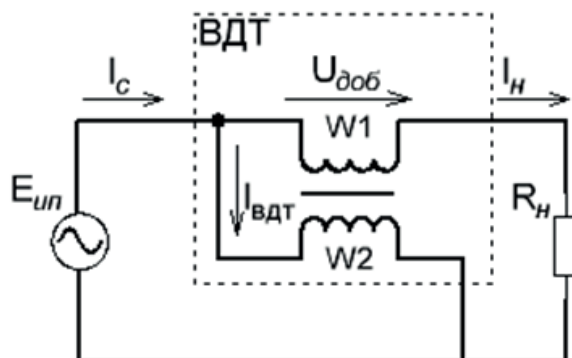


Рисунок 2 - Схема бустера

Рассмотрим пример:

Если напряжение сети снизилось до величины 200 В, то для обеспечения напряжения величиной 220 В необходимо добавить к напряжению сети 20 В, т.е. сформировать на вольтодобавочной обмотке ВДТ напряжение величиной 20 В. Поскольку шунтовая обмотка будет подключена к узлу с напряжением 200 В, то для формирования на вольтодобавочной обмотке напряжения 20 В необходимо использовать понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 10.

Рассмотрим теперь механизм увеличения бустером напряжения:

На рисунке 3 а представлена схема, в которой к источнику ЕИП = 200 В подключена нагрузка 10 Ом. Ток, текущий в сети и нагрузке составляет 20 А. Мощность, потребляемая нагрузкой (произведение тока на напряжение) – 4000 Вт.

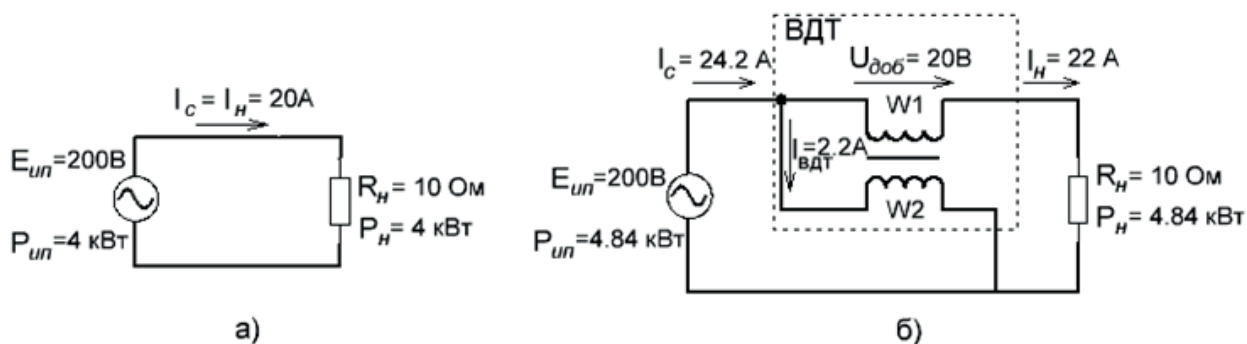


Рисунок 3 - Питание нагрузки: а) БЕЗ использования Бустера, б) С использованием Бустера

Для увеличения напряжения на нагрузке до 220 В используем вольтодобавочный трансформатор, включение которого показано на схеме рис. 3 б. Если напряжение на нагрузке за счёт использования ВДТ увеличено до уровня 220 В, то ток, протекающий в нагрузке, теперь составляет 22 А. Мощность нагрузки возросла до 4840 Вт. Однако ток, протекающий в сетевой обмотке ВДТ, вызывает появление тока и в его шунтовой обмотке, подключённой к сети параллельно. Поскольку ток сетевой обмотки равен 22 А, а коэффициент трансформации трансформатора равен 10, ток шунтовой обмотки будет равен 2,2 А. По первому закону Кирхгофа ток сети теперь будет определяться суммой токов:

$$I_C = I_N + I_{ВДТ} = 24,2 \text{ А.}$$

Мощность, потребляемая от источника 200 В:

$$P_{ИП} = E_{ИП} \cdot I_C = 200 \text{ В} \cdot 24,2 \text{ А} = 4840 \text{ Вт,}$$

что равно мощности нагрузки и подтверждает обоснованность проведённых расчётов.

Таким образом, важной особенностью работы ВДТ является то, что **увеличение напряжения вольтодобавочным трансформатором** и, как следствие, мощности нагрузок, подключённых к выходу ВДТ, **обеспечивается за счёт дополнительного увеличения тока ЛЭП** (тока, отбираемого от источника питания), обусловленного соблюдением баланса мощностей нагрузок и источника питания.

На рисунке 4 показаны 3 схемы, соответствующие случаям:

- электропитания нагрузки от источника питания с нормальным напряжением – 220 В;
- электропитания нагрузки от источника питания с пониженным напряжением – 200 В;
- электропитания нагрузки от источника питания с пониженным напряжением 200 В через ВДТ, увеличивающий напряжение на нагрузке до 220 В.

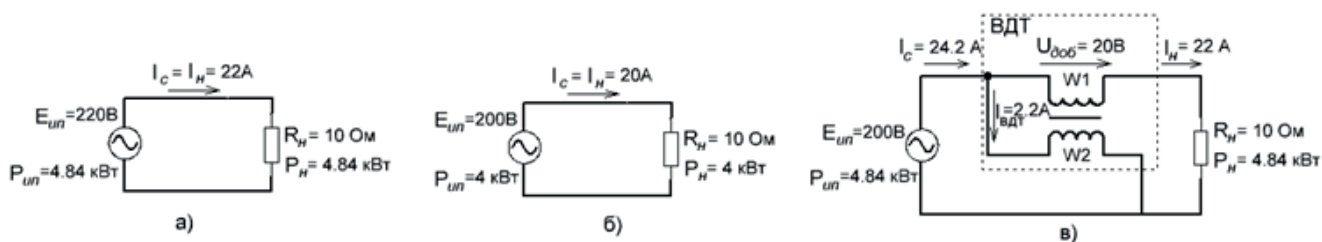


Рисунок 4 – Примеры вариантов электропитания нагрузки

Как видно из рисунка, мощности, отдаваемые от источника питания и потребляемые нагрузкой в случаях а) и в) абсолютно идентичны. Однако ток, текущий через источник питания (ток сети) в случае, если напряжение источника питания пониженное и применяется бустер, оказывается выше.

В представленном примере рассматривался идеальный случай, когда сопротивление проводов, соединяющих источник питания и нагрузку, было равно нулю.

Теперь оценим влияние работы бустера на работу реальной ЛЭП, провода которой обладают сопротивлением. Для простоты расчета зададимся током ЛЭП: примем, что в нормальном режиме ток, текущий в линии, равен 22 А, как в случае рис. 4 а, а при использовании ВДТ ток в линии равен 24,2 А, как в случае рис. 4 в. Пусть сопротивление ЛЭП – РЛЭП на протяжении от ТП до точки установки бустера равно 0,5 Ом.

Тогда в нормальном режиме при номинальном напряжении сети 220 В падение напряжения на проводе от протекающего тока нагрузки будет равно:

$$0,5 \text{ Ом} \cdot 22 \text{ А} = 11 \text{ В (рис. 5а).}$$

В случае использования ВДТ для повышения напряжения падение напряжения на проводе от протекающего тока нагрузки и тока ВДТ будет равно:

$$0.5 \text{ Ом} * 24.2 \text{ А} = 12,1 \text{ В (рис. 5б).}$$

Т.е. при установке бустера за счет увеличения тока ЛЭП происходит незначительное увеличение падения напряжения на проводах ЛЭП. Данное явление необходимо учитывать при определении места установки устройства в ЛЭП.

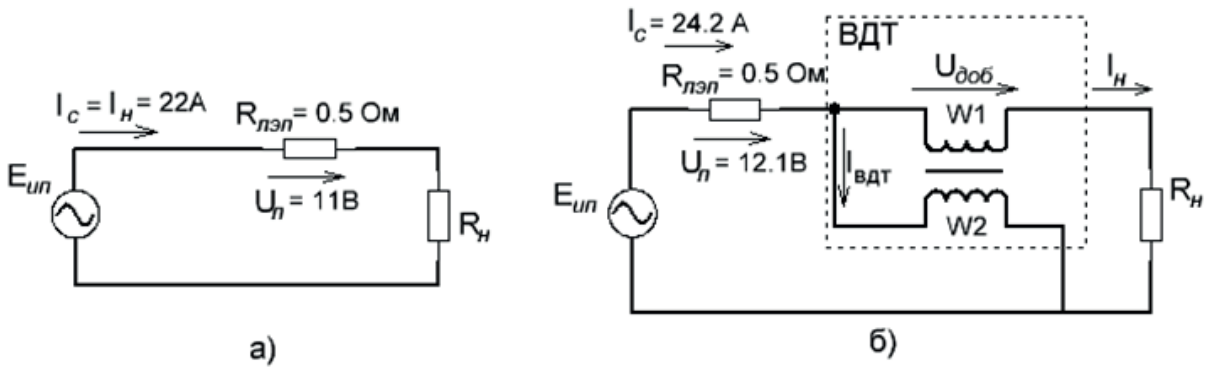


Рисунок 5 – Влияние сопротивления проводов ЛЭП на электропитание нагрузки

Эюра изменения напряжения в ЛЭП при использовании бустера, в основе которого лежит ВДТ, показана на рис. 6.

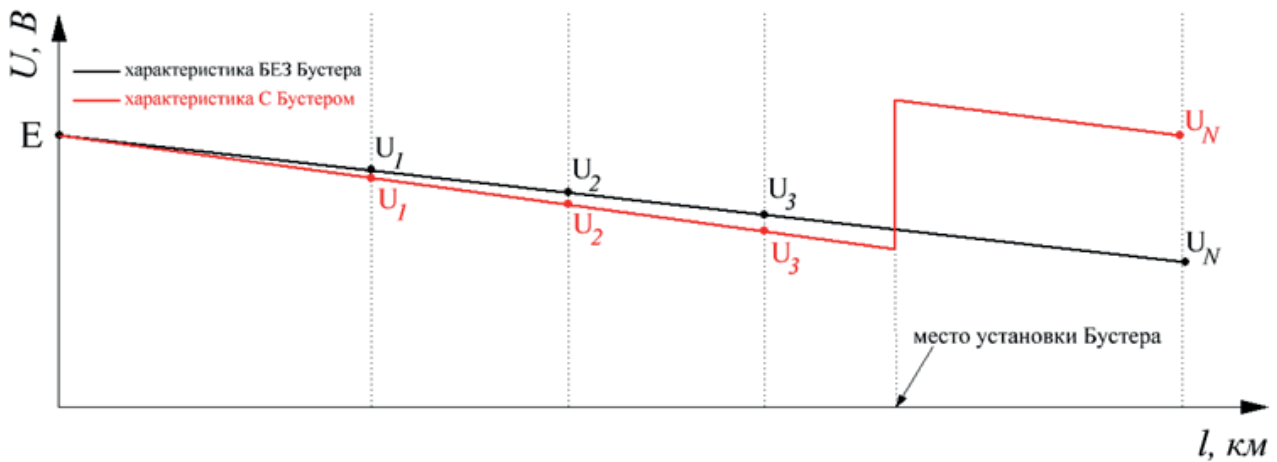


Рисунок 6 - Эюра изменения напряжения в ЛЭП при отсутствии и наличии Бустера

Поскольку напряжение сети и электрические нагрузки, подключённые к ней, непрерывно изменяются, бустер должен иметь возможность регулирования и стабилизации напряжения на своём выходе. Это достигается изменением коэффициента трансформации ВДТ. В решениях АО ВО «Электроаппарат» коэффициент трансформации ВДТ регулируется путём переключения отпаек шунтовой обмотки ВДТ с помощью коммутатора на основе двунаправленных тиристорных ключей. В отличие от решений, использующих механические реле, применение тиристоров позволяет существенно повысить быстродействие регулирования, надёжность и срок службы устройства.

Бустеры АО ВО «Электроаппарат» серии ТТРН-Б имеют трёхфазное исполнение, однако каждая фаза бустера регулируется независимо, что позволяет симметризовать напряжения фаз сети и исключает необходимость применения вместе с бустером устройств симметрирования фазных токов.

Выбор места установки

Правильный выбор места установки бустера является основой его надёжного функционирования. Бустеры серии ТТРН-Б АО ВО «Электроаппарат» обеспечивают возможность повышения напряжения до номинального значения 220 В при напряжении на входе устройства 160 В. Однако в реальных условиях эксплуатации нужно учитывать, что бустер включается не в начале ЛЭП, и на участке между ТП и точкой включения бустера в ЛЭП также подключены электрические нагрузки потребителей (рис. 6). В соответствии с ГОСТ все электроприёмники на протяжении всей ЛЭП, как до, так и после точки установки бустера должны получать напряжение, лежащее в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального значения напряжения сети. Если за номинальное значение напряжения сети принята 220 В (ГОСТ), то минимально допустимое напряжение сети будет составлять 198 В.

Как было отмечено выше, бустер при своей работе создаёт дополнительное падение напряжения в ЛЭП за счёт увеличения её тока. В среднем, дополнительное падение напряжения, вызываемое установкой бустера, составляет 3-5%. Таким образом, в худшем случае в точке установки бустера напряжение уменьшится на 5%. В соответствии с ГОСТ потребители, подключённые к сети до входа бустера должны иметь на своих зажимах напряжение не ниже 198 В.

Для выбора точки установки бустера необходимо провести мониторинг напряжений в различных узлах ЛЭП без установки бустера и определить точку, напряжение в которой больше или равно величине, определяемой формулой:

$$U_{\text{мин}} = U_{\text{с мин доп}} / (1 - 0,05),$$

где $U_{\text{с мин доп}}$ – минимально допустимое напряжение сети в соответствии с ГОСТ.

$$\text{При } U_{\text{с мин доп}} = 198 \text{ В, } U_{\text{мин}} = 208 \text{ В.}$$

Для эффективного решения проблемы провалов напряжения в ЛЭП целесообразно поддерживать напряжение на выходе бустера на верхней границе допуска по напряжению – 242 В.

Для заметок

Для заметок



199106, Санкт-Петербург,
24-я линия В.О., д.3-7 литер И, офис 1
+7 (812) 677-83-83
www.elektroapparat.ru