

Зарядно-подзарядные агрегаты: устройство, принципы действия, применение

В статье рассматриваются режимы работы, особенности конструкций, принципы действия и области применения промышленных зарядно-подзарядных агрегатов различных типов: на основе тиристорных регулируемых выпрямителей, с промежуточным звеном высокой частоты, феррорезонансных.

Владимир Гуревич, к. т. н.

Назначение и режимы работы ЗПА

Если исходить только из названия — «зарядно-подзарядные агрегаты» (ЗПА), то можно сделать ошибочный вывод о том, что эти устройства предназначены только для зарядки аккумуляторных батарей (АБ) и поддержания их в заряженном состоянии. Но это не так. В обычном нормальном режиме работы системы оперативного постоянного тока (СОПТ) на подстанции или электростанции именно ЗПА является основным источником их питания. Аккумуляторная батарея включается в работу лишь в том случае, когда ЗПА не может обеспечить энергией потребителей СОПТ. Это происходит в случае пропадания питания в оперативной цепи переменного тока, при повреждении ЗПА или в том случае, когда его мощности недостаточно для покрытия редких пиковых нагрузок СОПТ.

Характеристики ЗПА должны обеспечивать его работоспособность в разных режимах, с автоматическим переключением между ними. В соответствии с [1] основными режимами работы ЗПА являются:

- Поддерживающий заряд (float charging) — заряд аккумулятора небольшим током с целью компенсировать саморазряд и поддерживать его в полностью заряженном состоянии.
- Уравнительный заряд (equalize charging) — заряд аккумулятора с целью выравнивания напряжения на элементах батареи.

- Ускоренный заряд (boost charging). К сожалению, в [1] нет ни определения, ни объяснения этому режиму, но известно, что он используется для ускоренного возврата батареи в нормальное эксплуатационное состояние после полного разряда, а также для частичной очистки электродов от сульфатации.

В режиме поддерживающего заряда ЗПА должен обеспечивать стабильное выходное напряжение на батарее из расчета 2,15–2,23 В на один аккумулятор; в режиме уравнительного заряда — 2,3–2,4 В на один аккумулятор, а в режиме ускоренного заряда — до 2,7 В на один аккумулятор. Точные значения напряжений зависят от конкретного типа аккумуляторов и обычно указываются производителем в документации на АБ. Выбор стационарного режима зарядки батареи и переключение между ними в ЗПА может быть ручным или автоматическим (по таймеру), а переключение режимов работы в процессе зарядки разряженной батареи во всех типах современных ЗПА осуществляется только автоматически.

В соответствии с [1] ЗПА должны обеспечивать заряд АБ в трехступенчатом автоматическом режиме:

- I ступень — ограничение начального тока заряда на уровне $0,3 C_{10}$, где C_{10} — емкость АБ, эквивалентная десятичасовому циклу разряда;
- II ступень — ограничение напряжения заряда;
- III ступень — режим стабилизации напряжения.

На первой ступени ЗПА работает в режиме ограничения тока (рис. 1). Этот режим работы обеспечивается путем автоматического снижения выходного напряжения ЗПА до уровня, при котором ток не превышает заранее установленного значения. Ограничение максимального тока необходимо не только для АБ, но и для самого ЗПА, поскольку внутреннее сопротивление разряженной АБ очень мало и при отсутствии функции токоограничения ЗПА просто бы перегрузился и вышел из строя или мгновенно отключился бы его выходной защитный автомат. ЗПА различных типов для электроэнергетики имеют различные максимальные выходные токи: от 10–15 до 300–500 А. Именно на этом уровне и ограничивается обычно ток заряда АБ, хотя он может и регулироваться в некоторых пределах органами настройки ЗПА.

В этом режиме происходит ускоренный и наиболее интенсивный заряд АБ, сопровождающийся

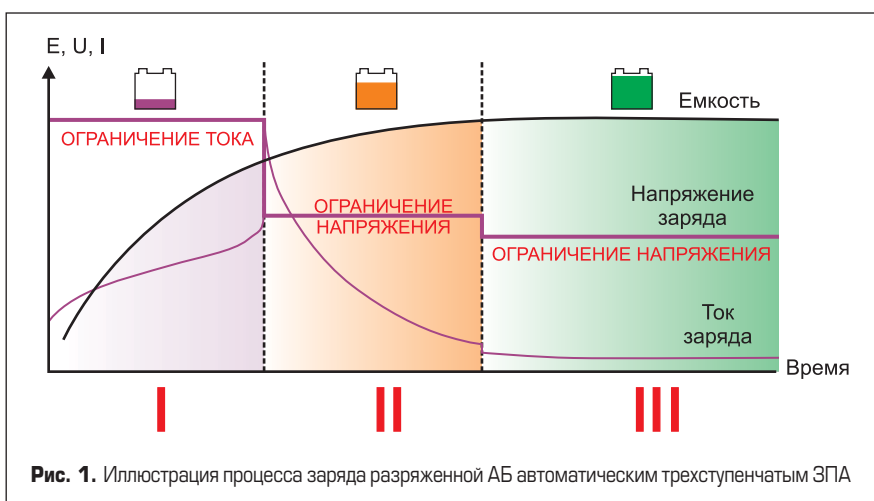


Рис. 1. Иллюстрация процесса заряда разряженной АБ автоматическим трехступенчатым ЗПА

бурными химическими реакциями и выделением газов, в частности взрывоопасного в смеси с воздухом водорода.

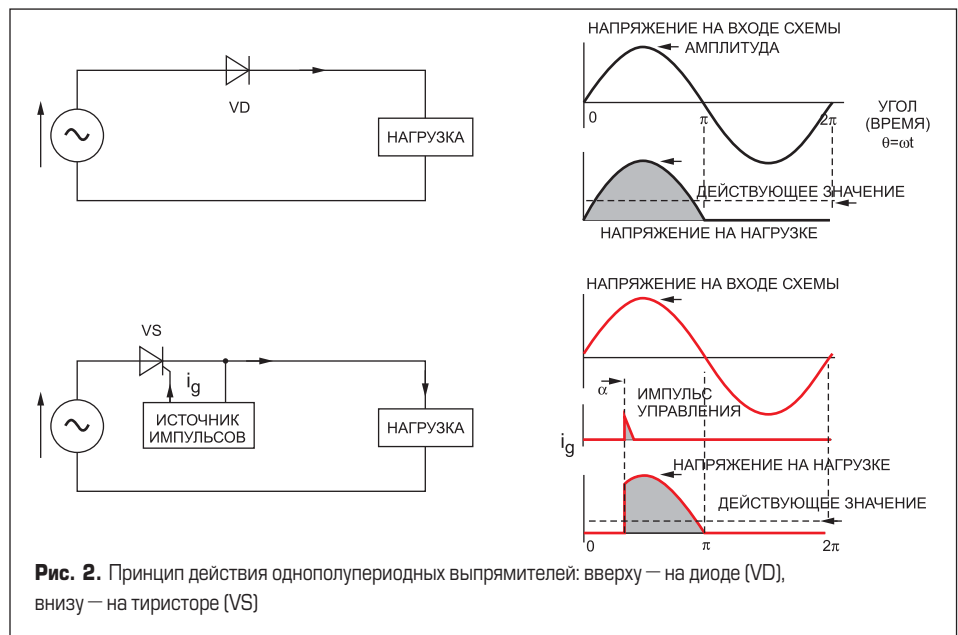
С какого-то момента времени, по мере зарядки АБ, напряжение на ней возрастает. Возрастающая противо-ЭДС АБ приводит к снижению тока, потребляемого от ЗПА, и в какой-то момент времени этот ток становится меньше установленного в ЗПА уровня максимального тока. ЗПА выходит из режима токоограничения и переходит в режим ограничения напряжения. В этом режиме происходит дозаряд АБ, сопровождающийся медленным возрастанием емкости и плавным уменьшением тока, потребляемого АБ. И наконец, при достижении некоторого минимального уровня тока ЗПА переключается на пониженное напряжение и переходит в режим стабилизации напряжения, при котором потребляемый АБ ток не превосходит десятков-сотен миллиампер, которые идут на компенсацию саморазряда батареи. Чтобы этот ток протекал, выходное напряжение ЗПА должно быть немного выше собственного напряжения АБ на холостом ходу. При потреблении нагрузкой СОПТ тока меньшего по величине, чем уставка по ограничению тока ЗПА, этот ток потребляется исключительно от ЗПА, а не от АБ. Последняя автоматически вступает в работу, как только ее напряжение станет больше выходного напряжения ЗПА. В дальнейшем распределение тока нагрузки между АБ и ЗПА происходит пропорционально уровням их напряжения.

Часто после I ступени ЗПА автоматически переключается сразу в III ступень и тогда такой ЗПА называют двухступенчатым. Принципиальной разницы в наличии или отсутствии II ступени нет, но процесс восстановления АБ после разряда происходит быстрее при ее наличии. Имеются на рынке и четырехступенчатые ЗПА, в которых зарядный ток в самом начале процесса заряда устанавливается не скачком, а возрастает небольшими порциями.

Устройство и принцип действия классического ЗПА на тиристорах

Как можно было понять из предыдущего раздела, ЗПА — это устройство, выполняющее функции выпрямителя, стабилизатора тока, регулятора и стабилизатора напряжения. К этому перечню можно еще добавить и функцию гальванического разделения цепей оперативного питания переменного и постоянного тока, а также изменения величины выходного напряжения по отношению ко входному. Часто ЗПА имеют пониженное (например, 125, 60, 48 В) по сравнению с входным напряжением или, наоборот, повышенное выходное напряжение (например, 400–800 В, применяемое для зарядки АБ в агрегатах бесперебойного питания).

Рассмотрим схему силовой части ЗПА на основе простого, но надежного агрегата, с выходным током 30 А и номинальным напряжением 230 В, выпускавшегося в 70–80-х гг. компанией Winterfeld, но до сих пор служащего верой и правдой на многих подстанциях. Эти устройства намного проще некоторых современных конструкций на базе микропро-



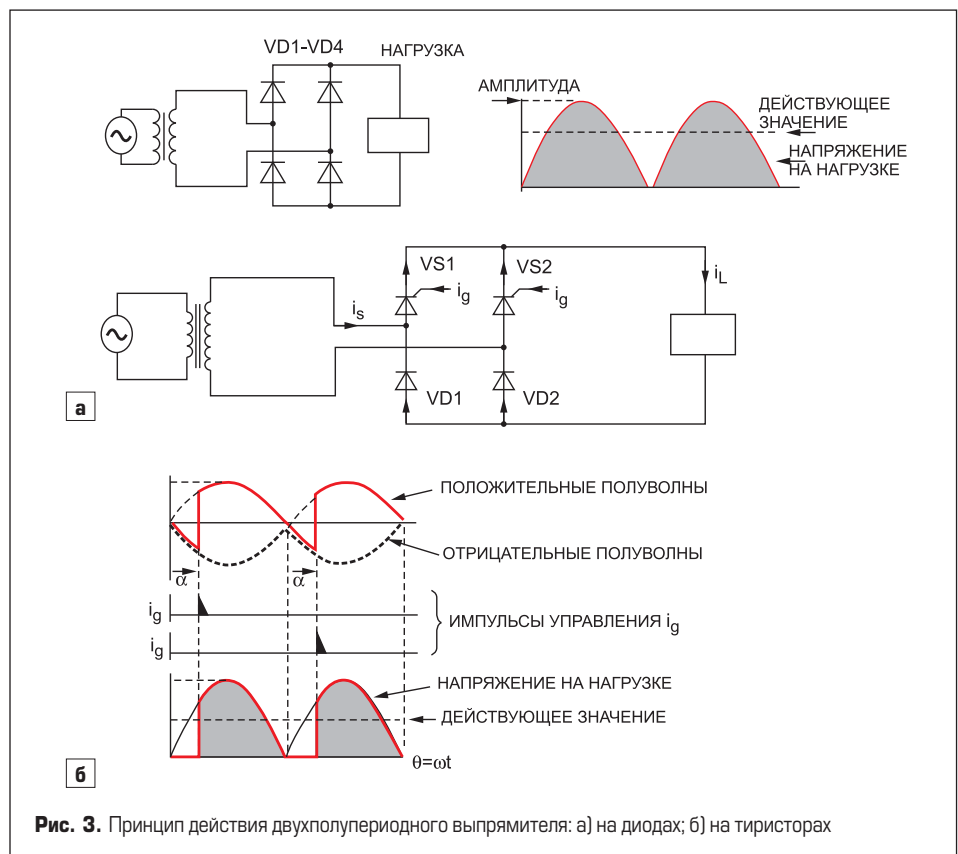
цессоров, и поэтому принцип действия ЗПА удобно рассмотреть именно на их основе.

Подавляющее большинство схем ЗПА выполняются на силовых тиристорах, работающих на промышленной частоте. Принцип действия однополупериодного однофазного тиристорного выпрямителя — регулятора напряжения показан на рис. 2.

Отличие выпрямителя на тиристоре от выпрямителя на диоде заключается в том, что на выходе диодного выпрямителя присутствует полная полуволна напряжения переменного тока, а на выходе тиристорного выпрямителя — только часть этой полуволны, поскольку тиристор, в отличие от диода, не пропускает ток до тех пор, пока не будет переведен в проводящее состояние

с помощью импульса управления, подаваемого на управляющий электрод тиристора (УЭ). Если этот импульс управления подается на УЭ со сдвигом (задержкой) по сравнению с фазой приложенного напряжения, то на выходе такого выпрямителя получим срезанную полуволну напряжения. Изменяя площадь полуволны выходного напряжения путем изменения фазы управляющего импульса, можно регулировать действующее значение выходного выпрямленного напряжения.

Использование мостовой схемы с четырьмя тиристорами (полный мост) или двумя тиристорами и двумя диодами (полумост) (рис. 3) позволяет получить в нагрузке двухполупериодное выпрямленное регулируемое напряжение.



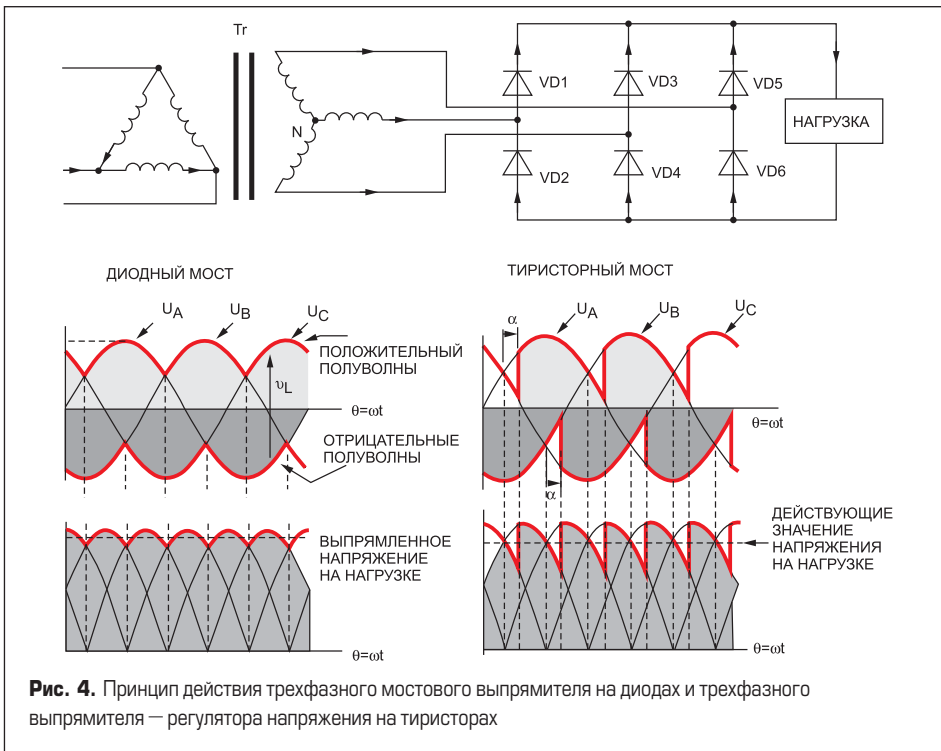


Рис. 4. Принцип действия трехфазного мостового выпрямителя на диодах и трехфазного выпрямителя — регулятора напряжения на тиристорах

Применение трехфазной мостовой схемы выпрямления (рис. 4) позволяет решить сразу несколько проблем:

- уменьшить несимметричную нагрузку фаз;
- значительно улучшить форму выходного напряжения, уменьшив его пульсации (переменная составляющая напряжения или тока на выходе выпрямителя);
- существенно снизить уровень гармоник, генерируемых выпрямителем в питающую сеть, за счет использования входного трансформатора с обмотками, соединенными по схеме «треугольник-звезда».

При использовании тиристоров вместо диодов VD1–VD6 получим трехфазный выпрямитель — регулятор напряжения (рис. 4).

Именно такие трехфазные выпрямители — регуляторы напряжения используются наиболее часто в мощных промышленных ЗПА на токи 30–100 А (рис. 5). А в устройствах с выходными токами 300–500 А можно встретить уже шести-фазные выпрямители-регуляторы на тиристорах или два отдельных силовых трансформатора: один со вторичной обмоткой по схеме «звезда», а второй со вторичной обмоткой по схеме «треугольник», каждый из которых работает на свой трехфазный тиристорный выпрямитель-регулятор, выходы которых включены параллельно. Таким приемом удастся снизить уровень пульсаций выпрямленного напряжения, когда другие приемы (например, использование сглаживающего конденсатора) являются неэффективными при больших токах нагрузки.

На рис. 5 в качестве примера приведена полная схема ЗПА компании Winterfeld, производимого в 70–80-х гг. Выбор в качестве примера этого относительно старого устройства обусловлен его относительной простотой и высокой надежностью. В этом устройстве трехфазное переменное напряжение сети поступает на силовой трансформатор Tr через вводной автомат СВ и контактор К. Со стороны низкого напряжения этого трансформатора установлены три трансформатора тока СТ и фильтр Ftr. Переменное напряжение со вторичной обмотки трансформатора поступает на полный трехфазный выпрямительный мост на тиристорах VS1–VS6.

Выпрямленное напряжение фильтруется с помощью дросселей L1, L2 и конденсатора большой емкости C. После фильтра включено нагрузочное сопротивление PR, предназначенное для создания небольшой нагрузки для тиристоров при работе ЗПА на холостом ходу или в режиме очень малых токов. Без такой нагрузки (то есть на холостом ходу) тиристорный регулятор работает неустойчиво. Далее в цепи постоянного тока установлен шунт SH, предназначенный для измерения выходного тока ЗПА, и выходной автомат DC СВ. Тиристоры защищены от коммутационных перенапряжений с помощью цепочек RC последовательно соединенных конденсаторов и резисторов. Управляющие электроды тиристоров соединены через импульсные трансформаторы IT с управляющим блоком CU2 (рис. 6), который, в свою очередь, соединен с управляющим блоком CU1 (рис. 7). Эти универсальные блоки управления были разработаны и выпускались компанией AEG специально для ЗПА различ-

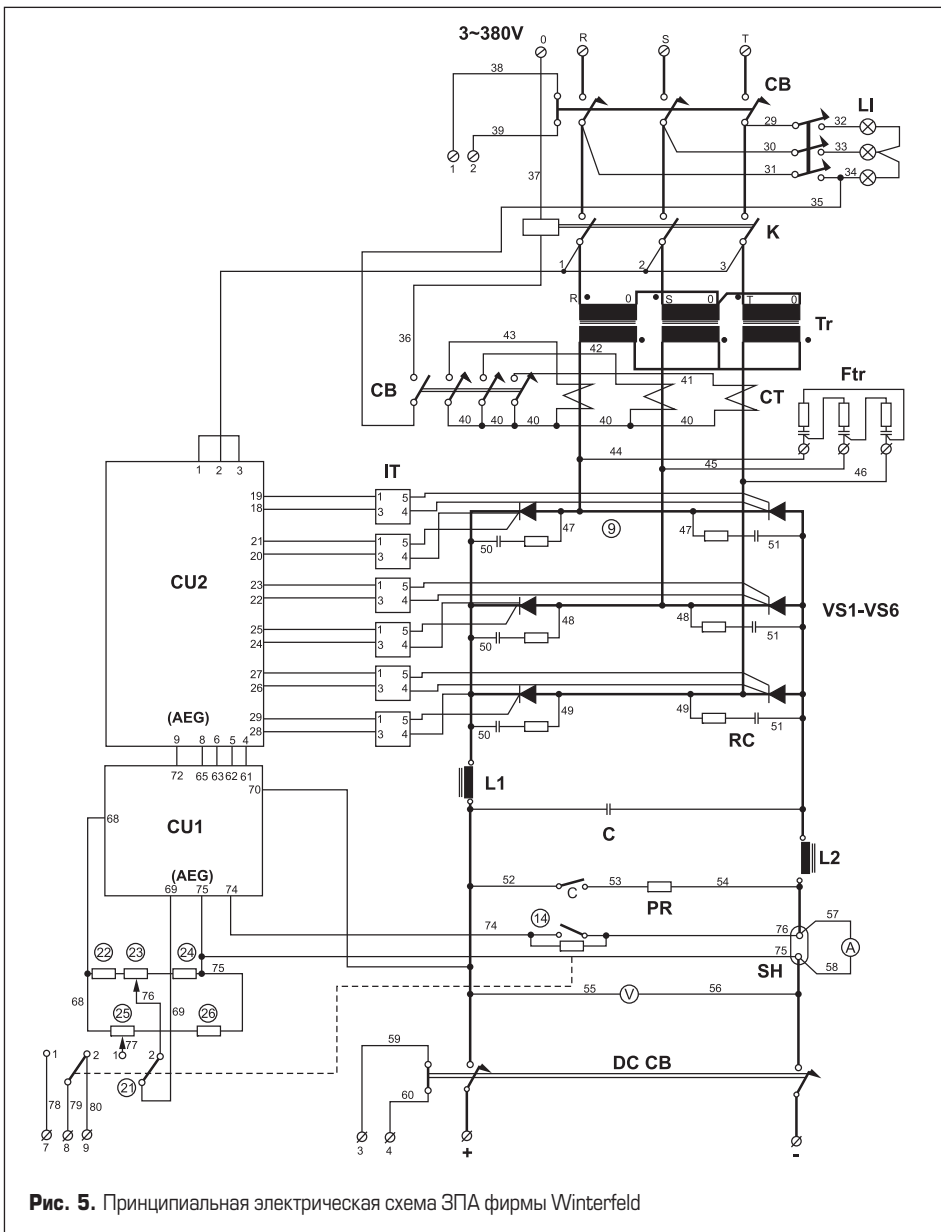


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема ЗПА фирмы Winterfeld

ных типов. Каким бы удивительным это ни показалось, но такие же блоки управления установлены в одной из новейших моделей ЗПА на ток 300 А производства компании Benping.

Ко входам аналогового блока управления CU1 подключены потенциометры, регулирующие уровень выходного напряжения в режимах поддерживающего и уравнивающего зарядов, а также выводы шунта, включенного в цепь выходного тока ЗПА. Этот блок построен на основе двух транзисторов VT7 и VT8 и трех операционных усилителей V9–V11 серии 741 и выдает некоторое результирующее напряжение, пропорциональное положению потенциометров и значению выходного тока, измеренного с помощью шунта. Этот результирующий сигнал поступает на вход импульсного блока управления CU2, где с помощью микросхем V5–V7 типа UAA145 генерируются импульсы управления тиристорами, которые усиливаются выходными транзисторами VT1–VT6 и поступают на входы импульсных трансформаторов ГТ, а отсюда на управляющие электроды тиристоров. Импульсы, генерируемые микросхемами V5–V7, привязаны по фазе к трехфазному напряжению питающей сети через трансформаторы 220/22 В. Выпрямительные мосты, подключенные к выходным обмоткам трансформаторов, вместе со стабилизатором напряжения V8 служат для питания элементов блока CU2. Аналоговый сигнал, поступающий с блока CU1, приводит к сдвигу фазы сигналов, генерируемых микросхемами V5–V7, относительно напряжения питающей сети, а такой сдвиг сигналов, поступающих на управляющие электроды тиристоров, как было рассмотрено выше, приводит к изменению действующего значения выходного напряжения ЗПА (и его выходного тока в режиме токоограничения).

ЗПА с функцией разряда аккумуляторных батарей

Правильная эксплуатация аккумуляторных батарей на подстанциях и электростанциях включает в себя не только правильный заряд, но и периодические разряды батарей. Полный разряд батареи — это, по сути, единственный абсолютно надежный способ определения реальной емкости батареи. Кроме того, при периодических полных

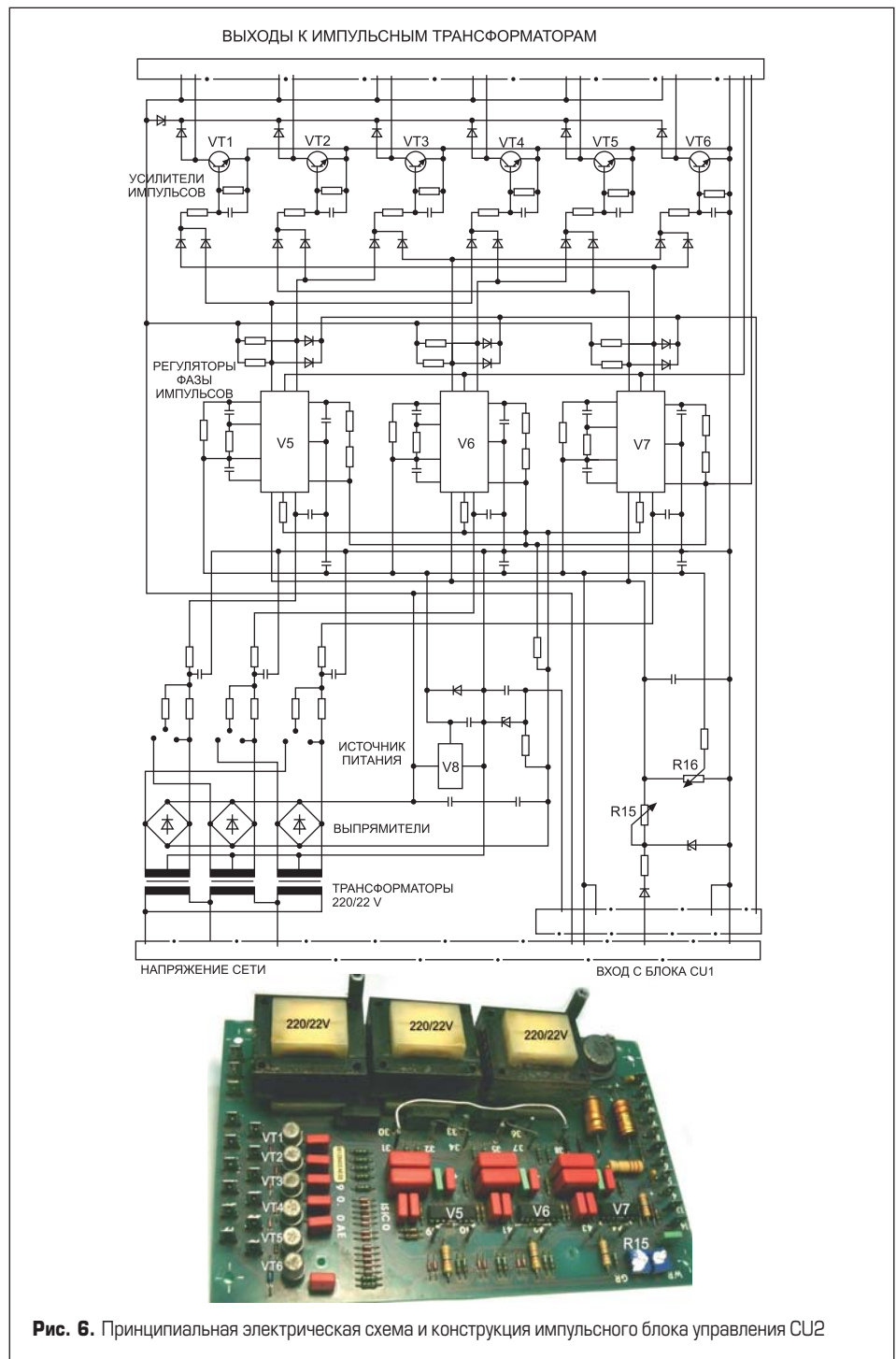


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема и конструкция импульсного блока управления CU2

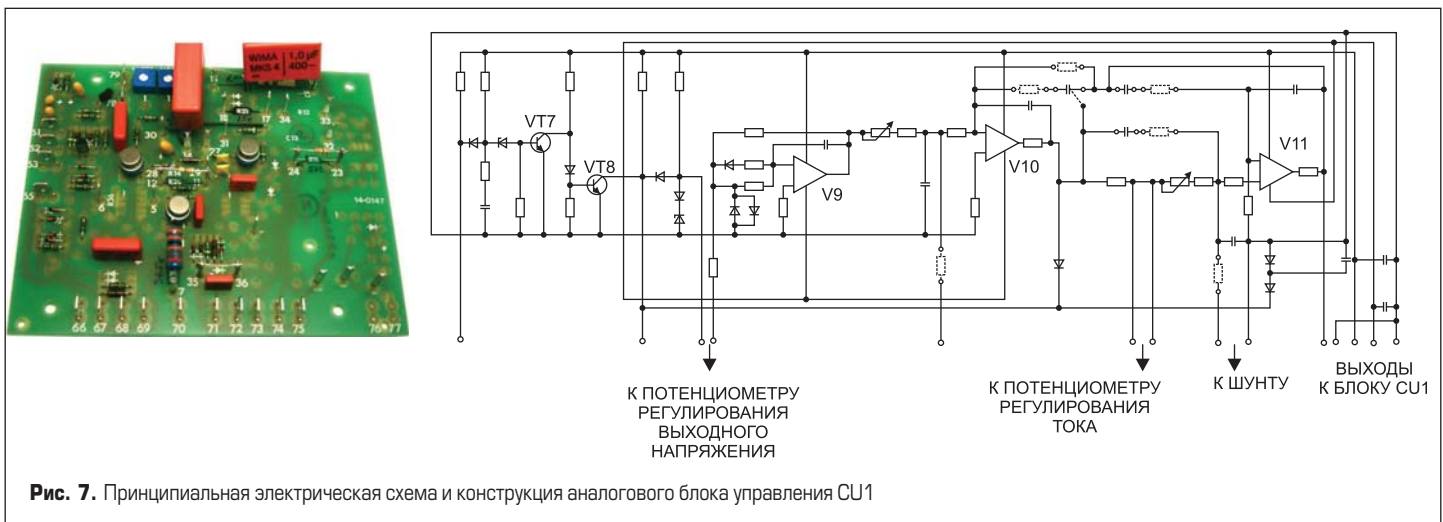


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема и конструкция аналогового блока управления CU1

разрядах батареи с последующим ее полным зарядом замедляется процесс естественного старения батареи. Это особенно важно для батарей, постоянно находящихся в режиме поддерживающего заряда. Поэтому многие конструкции ЗПА снабжены набором мощных резисторов, предназначенных для разряда батареи контролируемым током. Наиболее продвинутые модели обеспечивают разряд батареи на питающую сеть, то есть возвращают в сеть энергию, накопленную батареей (этот процесс называется «рекуперацией»). Основное отличие этих моделей от описанного выше простого ЗПА заключается в наличии дополнительных контакторов в выходной цепи (рис. 8), обеспечивающих изменение полярности подключения батареи к ЗПА при переключении его в режим разряда, а также в наличии дополнительного контроллера (рис. 9), обеспечивающего синхронизацию с сетью и поочередное управление каждым тиристором по специальному алгоритму.

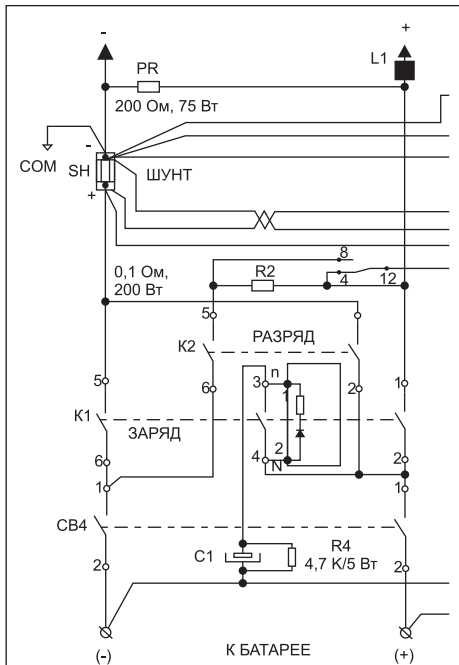


Рис. 8. Фрагмент схемы силовой части ЗПА с дополнительными контакторами K1 и K2, служащими для переключения из режима заряда батареи в режим разряда



Рис. 9. Контроллер типа SIMATIC S7-200 (Siemens), используемый в ЗПА компании ELCO для управления процессом разряда батареи на питающую сеть.

Тиристоры, как известно, не могут самостоятельно перейти в непроводящее состояние (запереться) при протекании через них постоянного тока, превышающего некоторое очень небольшое значение тока удержания. Однако в схеме ЗПА в режиме разряда батареи отпирание определенного тиристора приводит к приложению обратного по направлению напряжения к тиристорам, через который в данный момент протекает ток разряда батареи, вследствие чего этот проводящий тиристор запирается и переходит в непроводящее состояние. Таким образом, чередуя отпирание одних запертых тиристоров в определенной последовательности, удастся одновременно запирают другие открытые тиристоры. В результате тиристорной схемой формируются прямоугольные импульсы тока противоположной полярности (меандр), которые после прохождения через индуктивности дросселей и обмоток силового трансформатора (работающего в этом режиме как бы в «обратном направлении») приобретают форму синусоиды и уже в таком виде поступают в сеть.

Учитывая, что процесс разряда батареи должен производиться постоянным по величине током, становится понятным, что обеспечить нужный алгоритм работы ЗПА непросто, для этого нужен отдельный контроллер. В самых современных моделях ЗПА с микропроцессорным управлением отдельных контроллеров уже не требуется.

ЗПА с двумя выходными напряжениями

Специально для передвижной подстанции 160 кВ компанией ELCO выпускался оригинальный ЗПА на тиристорах, на выходе которого было два отдельных напряжения: одно для питания системы шин постоянного тока (60 В, 20 А), другое — для зарядки батареи (80 В, 24 А). Необходимость в двух выходных напряжениях обусловлена отсутствием места для большой стационарной батареи аккумуляторов.

В такой ситуации повышение энергоемкости батареи возможно за счет увеличения ее напряжения при последовательном соединении большего количества аккумуляторов. В данном случае батарея состоит из шести последовательно включенных 12-В необслуживаемых (типа автомобильных) аккумуляторов. Такая батарея, заряженная до напряжения около 80 В, способна снабжать энергией оперативные цепи с номинальным напряжением 60 В значительно дольше, чем батарея такой же емкости с меньшим количеством аккумуляторов и напряжением 60 В. Два выходных напряжения в этом устройстве обеспечиваются за счет применения оригинального нелинейного сопротивления, выполненного из большого количества последовательно включенных в прямом направлении диодов VD и шунтирующих их контакторов К (рис. 10).

В этом устройстве тиристорный выпрямитель-регулятор поддерживает на заданном уров-

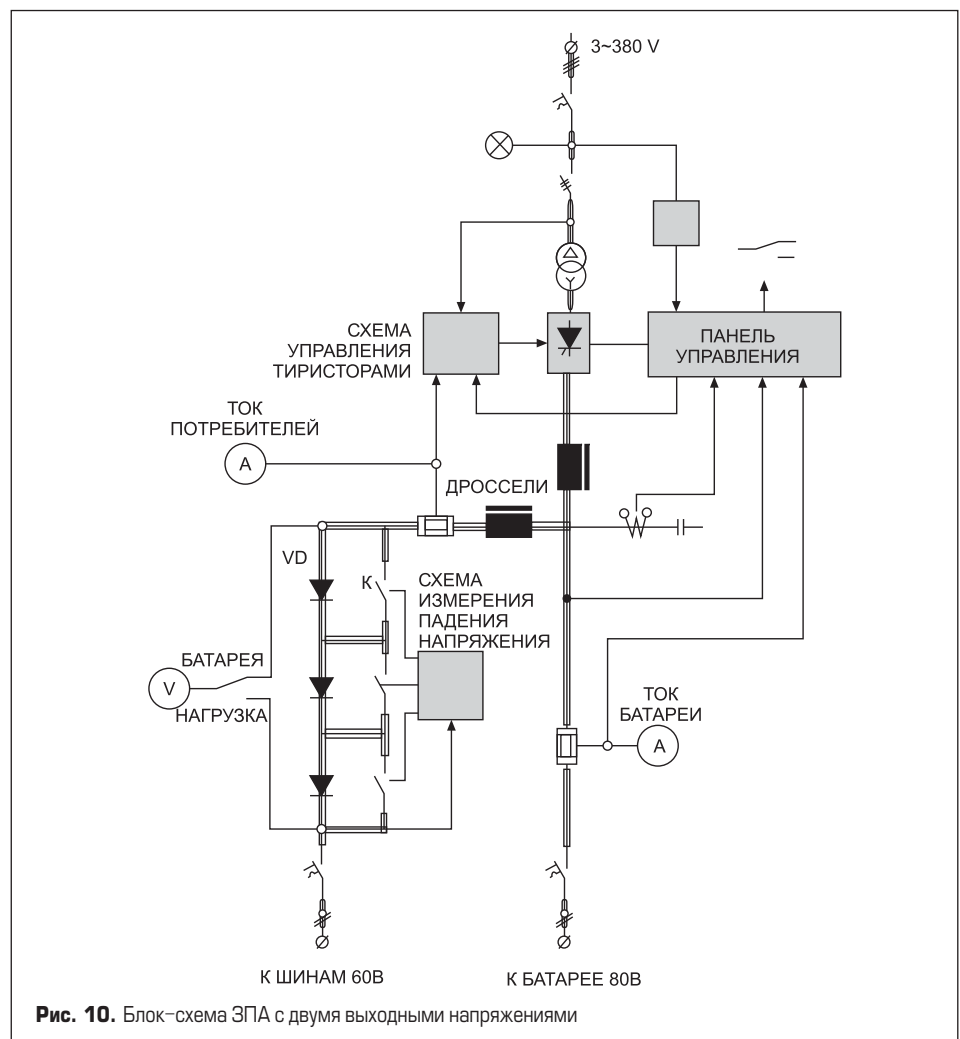


Рис. 10. Блок-схема ЗПА с двумя выходными напряжениями

БЛОК ДИОДОВ И КОНТАКТОРОВ

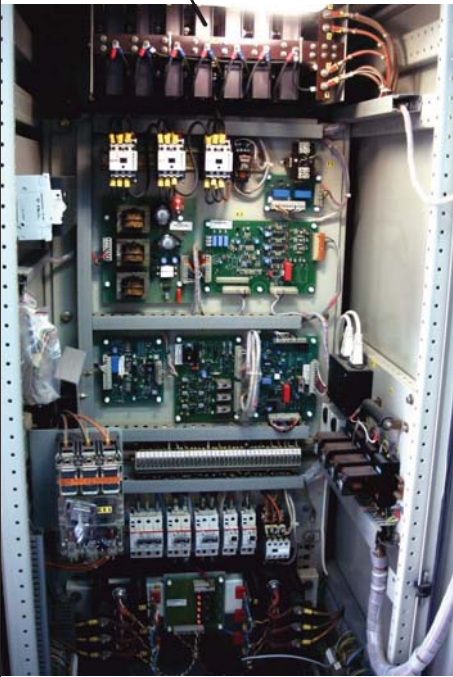


Рис. 11. Внешний вид ЗПА с двумя выходными напряжениями

не лишь выходное напряжение на батарее. Стабилизация напряжения на шинах 60 В при изменении тока нагрузки в широких пределах осуществляется с помощью нелинейного сопротивления на диодах VD.

Тонкая стабилизация выходного напряжения на шинах осуществляется за счет нелинейности вольт-амперной характеристики диодов, а грубая — путем шунтирования отдельных диодов с помощью контакторов К по сигналу схемы измерения падения напряжения на диодах (рис. 11).

Принцип действия ЗПА со звеном высокой частоты

В электроэнергетике широко применяются не только стационарные ЗПА шкафного типа, но и переносные. Они используются в основном в качестве резервных, например для поддержания заряда батареи при выходе из строя стационарного ЗПА или во время обслуживания отключенной от сети постоянного тока батареи, поскольку в этих случаях из-за больших массо-габаритных показателей стационарные ЗПА мало пригодны. В свое время различными компаниями предпринимались попытки выпуска малогабаритных переносимых ЗПА на токи

15–20 А и напряжение 230 В (рис. 12), но они оказались не очень удачными из-за веса, доходившего до 60–70 кг. Этот вес был обусловлен большими габаритами силового трансформатора и сглаживающего дросселя, работающих на частоте 50 Гц. Значительно уменьшить массо-габаритные показатели трансформатора и дросселей можно за счет перевода их на работу при повышенной частоте (десятки-сотни килогерц), тогда трансформатор той же мощности получается в десятки раз меньше. Именно этот технический прием и используется в современных переносных ЗПА (рис. 13).

Силовые конвертеры, преобразующие напряжение постоянного тока одного уровня в напряжение постоянного тока другого уровня, выполняют, как правило, на мощных полевых транзисторах или IGBT, работающих в ключевом режиме, то есть отпирающихся и запирающихся с частотой в десятки-сотни килогерц. Чаще всего применяются конвертеры, выполненные по схеме полумоста (рис. 14а) или полного моста (рис. 14б).

В схеме полумоста (рис. 14а) конденсаторы C1 и C2 заряжены до половины напряжения источника питания каждый ($U_{C1,C2} = 0,5E$). При отпирании транзистора 1 происходит разряд конденсатора C1 через



Рис. 12. Переносной ЗПА на ток 16 А и номинальное напряжение 230 В

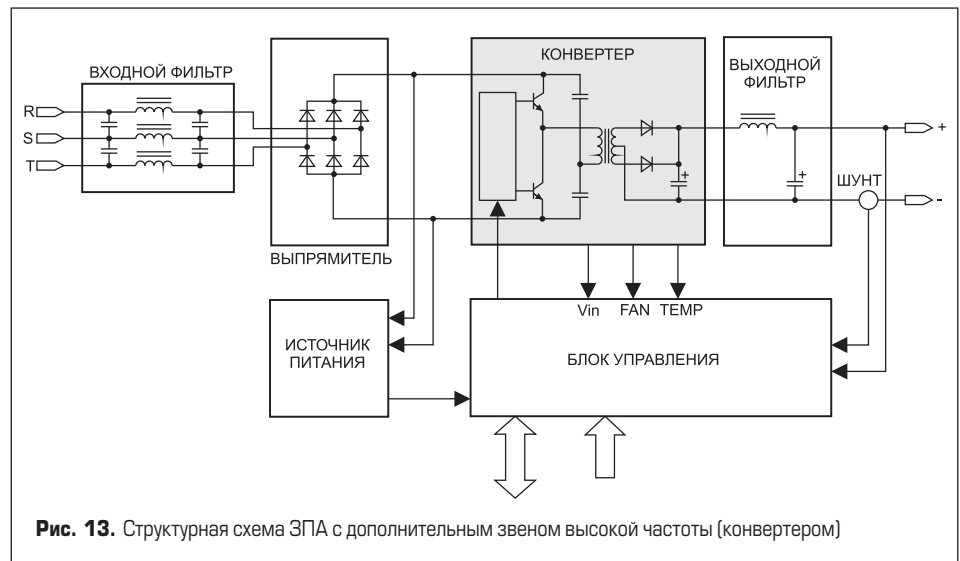


Рис. 13. Структурная схема ЗПА с дополнительным звеном высокой частоты (конвертером)

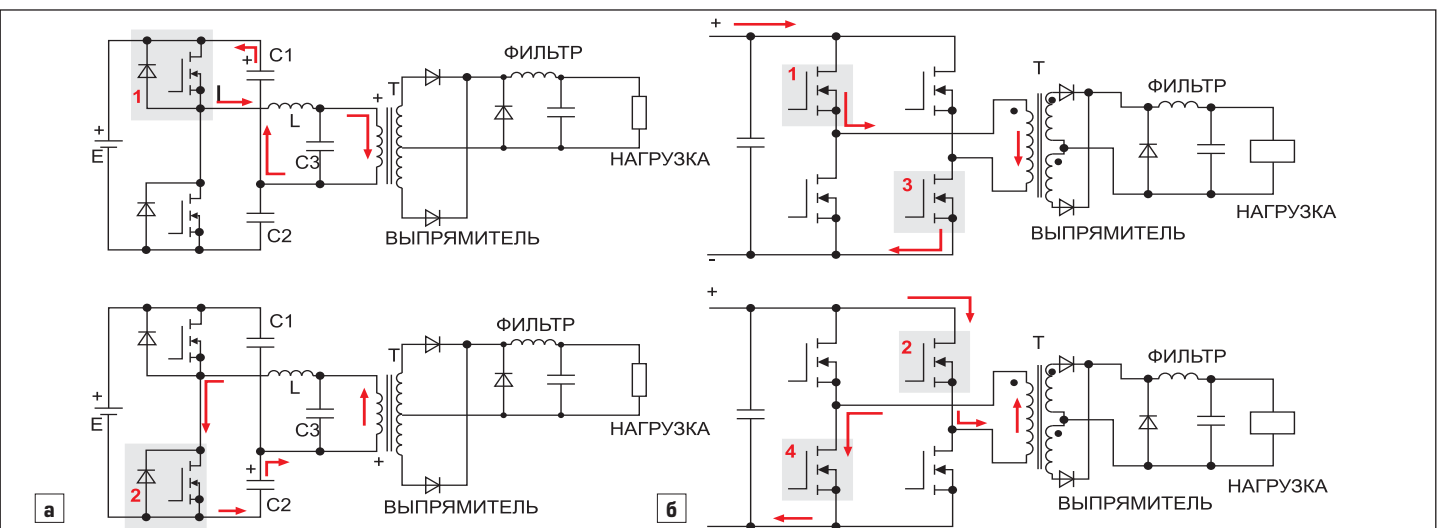


Рис. 14. Пояснение принципа работы конвертера по схеме: а) полумоста; б) полного моста

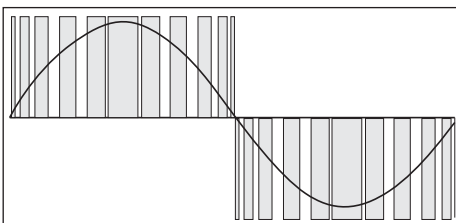


Рис. 15. Принцип широтно-импульсной модуляции

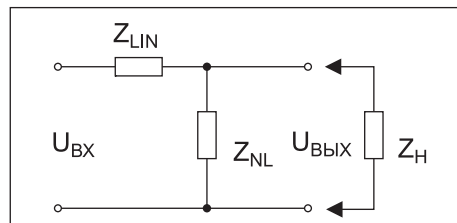


Рис. 16. Принцип построения параметрического стабилизатора напряжения

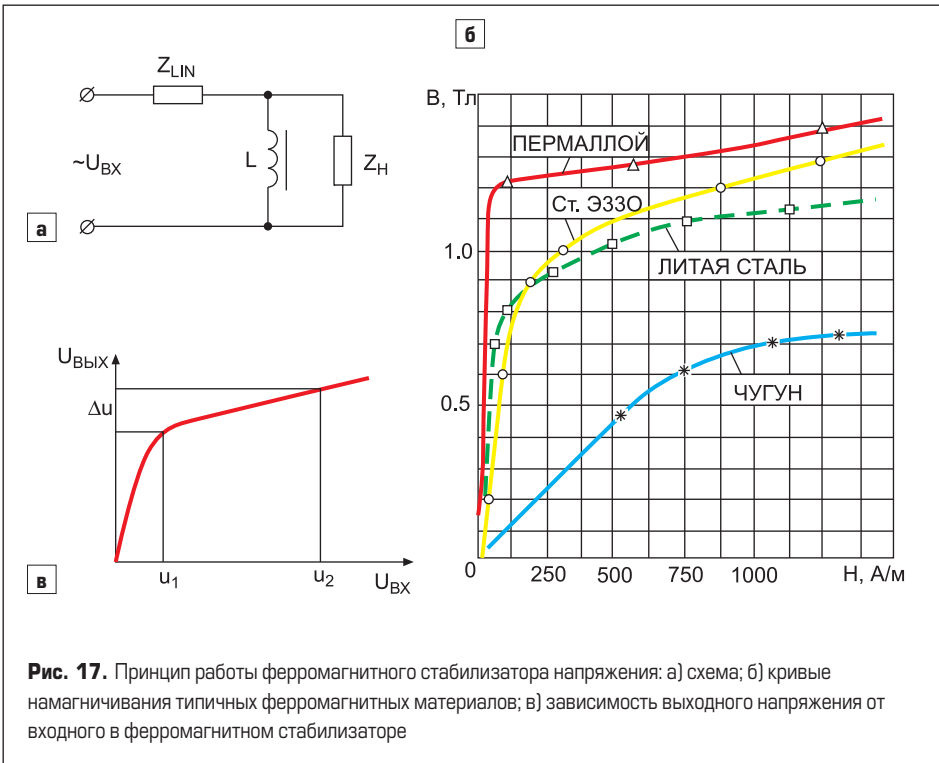


Рис. 17. Принцип работы ферромагнитного стабилизатора напряжения: а) схема; б) кривые намагничивания типичных ферромагнитных материалов; в) зависимость выходного напряжения от входного в ферромагнитном стабилизаторе

первичную обмотку трансформатора Т. Этот импульс разрядного тока протекает через первичную обмотку трансформатора и создает напряжение во вторичной обмотке. При запираии транзистора 1 и отпираии транзистора 2 через ту же обмотку трансформатора протекает в противоположном направлении импульс тока разряда конденсатора С2.

Таким образом, через первичную обмотку трансформатора Т протекают импульсы тока противоположной полярности (т. е. переменный ток). Строго говоря, транзисторы формируют не один, а целую пачку импульсов различной ширины. Регулирование уровня выходного напряжения осуществляется изменением ширины импульсов управления транзисторами, т. е. изменением времени нахождения транзисторов в проводящем состоянии. Такой принцип управления называется широтно-импульсной модуляцией (рис. 15). Благодаря индуктивности трансформатора пачки импульсов тока противоположной полярности, формируемые транзисторами, становятся похожими по форме на обычную синусоиду. Наведенное во вторичной обмотке трансформатора переменное напряжение выпрямляется, фильтруется и поступает в нагрузку (батарею).

В схеме полного моста (рис. 14б) вместо двух конденсаторов используются два дополнительных транзистора. В этой схеме серия последовательных отпирааний и запирааний пар транзисторов 1 и 3, а затем 2 и 4 приводит к формированию пачек двуполярных импульсов тока в первичной обмотке трансформатора Т. В остальном эта схема аналогична рассмотренной выше.

ЗПА феррорезонансного типа

Основным элементом ЗПА феррорезонансного типа является феррорезонансный стабилизатор напряжения, относящийся к стабили-

заторам параметрического типа. Любой такой стабилизатор содержит последовательно соединенные линейное балластное сопротивление Z_{LIN} и нелинейный элемент Z_{NL} , параллельно которому включена нагрузка Z_{H} (рис. 16).

В таком устройстве при увеличении входного напряжения $U_{ВХ}$ уменьшается сопротивление нелинейного элемента Z_{NL} и возрастает ток через него. В результате увеличивается и ток через балластный элемент Z_{LIN} , а следовательно, и падение напряжения на нем. Характеристика нелинейного элемента подбирается так, чтобы дополнительное падение напряжения на балластном сопротивлении компенсировало увеличение напряжения на входе схемы. В этом случае выходное напряжение останется неизменным.

Нелинейными свойствами обладают многие полупроводниковые приборы, а также катушки индуктивности с насыщающимися ферромагнитными сердечниками (рис. 17). Если при работе на переменном токе сердечник дросселя L будет периодически насыщаться, то изменение среднего за полупериод значения выходного напряжения Δu будет намного меньше, чем изменение напряжения на входе схемы $u_2 - u_1$ (рис. 17в).

Это происходит по той причине, что с увеличением входного напряжения и насыщением сердечника дросселя его индуктивное сопротивление уменьшается, протекающий через него ток увеличивается, что приводит к увеличению падения напряжения на балластном сопротивлении Z_{LIN} . При этом напряжение на нагрузке остается неизменным, то есть имеет место эффект стабилизации напряжения, как и в любом другом параметрическом стабилизаторе.

Как показано на рис. 17в, нелинейная рабочая часть характеристики такого стабилизатора далека от идеальной (горизонтальной), и устройство имеет довольно ограниченный рабочий диапазон входных напряжений, при которых обеспечивается требуемый уровень стабилизации. Кроме того, такая схема обладает невысокими КПД и коэффициентом мощности из-за больших реактивных токов.

С целью увеличения нелинейности схемы и уменьшения потерь параллельно нелинейному дросселю L включают емкость С, которая вместе с индуктивностью L образует резонансный контур, настроенный на частоту источника питания (рис. 18а). В такой схеме (получившей название схемы с феррорезо-

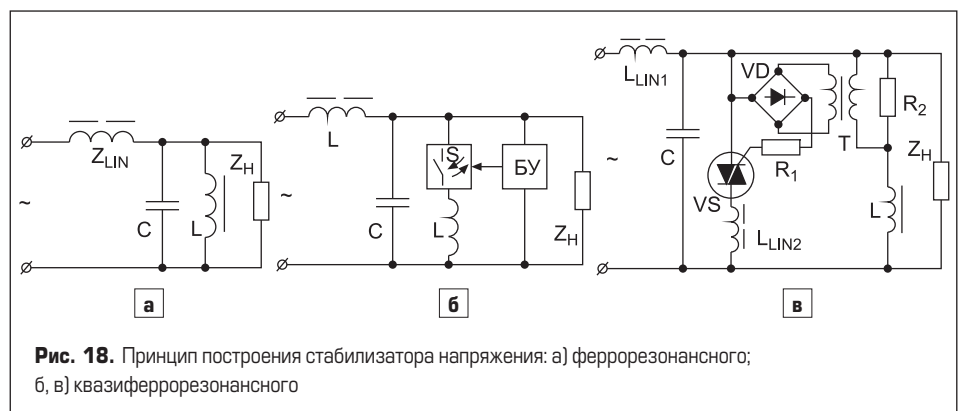


Рис. 18. Принцип построения стабилизатора напряжения: а) феррорезонансного; б, в) квазиферрорезонансного

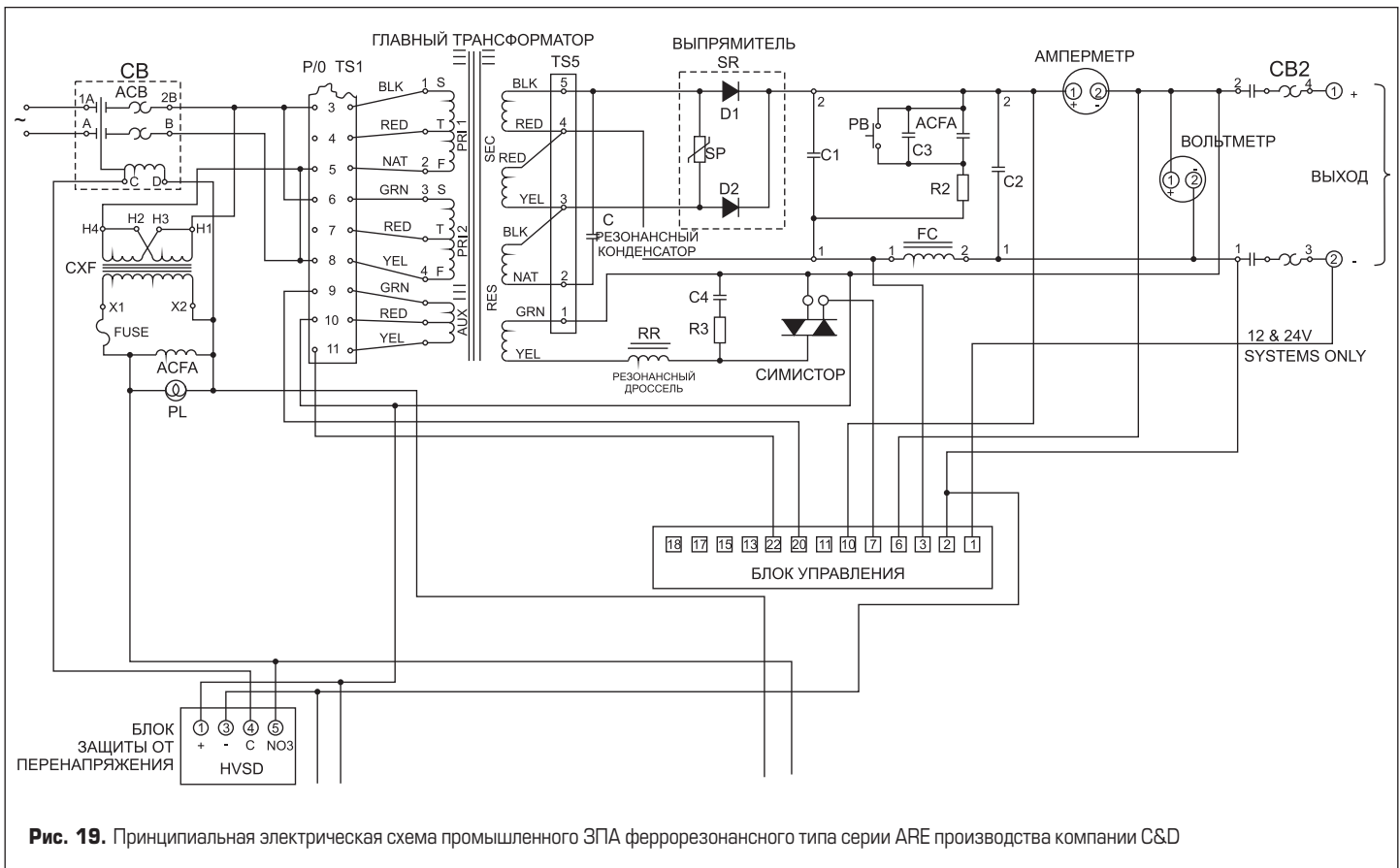


Рис. 19. Принципиальная электрическая схема промышленного ЗПА феррорезонансного типа серии ARE производства компании C&D

нансом токов) стабилизация напряжения начинается при меньших токах, чем при отсутствии феррорезонанса.

Намагничивающий ток дросселя L , замыкаясь в контуре LC , позволяет уменьшить реактивные токи, протекающие через Z_{LIN} , и улучшить энергетические показатели схемы. Как утверждается в [2], создать колебательный процесс в LC -контуре и эффективно использовать запасенную в емкости энергию можно и без феррорезонанса, а путем искусственной коммутации индуктивности L , которая может быть даже линейной и не содержать насыщающегося сердечника (рис. 18б). Для такой коммутации удобно использовать симистор VS (рис. 18в), угол отпирания которого автоматически изменяется с изменением входного напряжения, обеспечивая аналогию нелинейности насыщающегося ферромагнитного сердечника [2].

Введя дополнительное изменение угла отпирания симистора, можно регулировать действующее значение выходного напряжения такого стабилизатора. Фактически такое устройство аналогично по своим свойствам феррорезонансному стабилизатору, хотя таковым, по утверждению [2], уже не является, и поэтому его можно было бы, наверное, назвать «квазиферрорезонансным».

В практических схемах ЗПА резонансную емкость и резонансный дроссель с симистором включают обычно не параллельно нагрузке, а в цепи дополнительных обмоток силового трансформатора (рис. 19). Роль последовательного линейного сопротивления также выполняет часть его обмотки. При таком включении через симистор не протека-

ет полный ток нагрузки, как в тиристорных ЗПА, и его мощность значительно меньше мощности нагрузки. Фактически симистор в такой схеме включен в цепь управления, а не в силовую цепь.

То есть можно сказать, что ЗПА, построенный по такому принципу, не содержит полупроводниковых элементов в силовой цепи. Эта особенность ЗПА феррорезонансного типа (название «квазиферрорезонансного» было бы более уместно в данном случае, но оно не используется в технической литературе) отмечается в рекламных проспектах производителей как весьма

ценное обстоятельство, позволяющее существенно повысить надежность агрегата. Действительно, отсутствие полупроводниковых элементов в силовой части и простая схема управления способствуют повышению надежности ЗПА. Практика эксплуатации подтверждает это.

К недостаткам феррорезонансных ЗПА можно отнести очень большую металлоемкость и вес таких устройств, основу которых составляет магнитная цепь, выполненная на мощном многообмоточном трансформаторе (рис. 20). Например, ЗПА серии R производства компании АМТЕК (очень по-

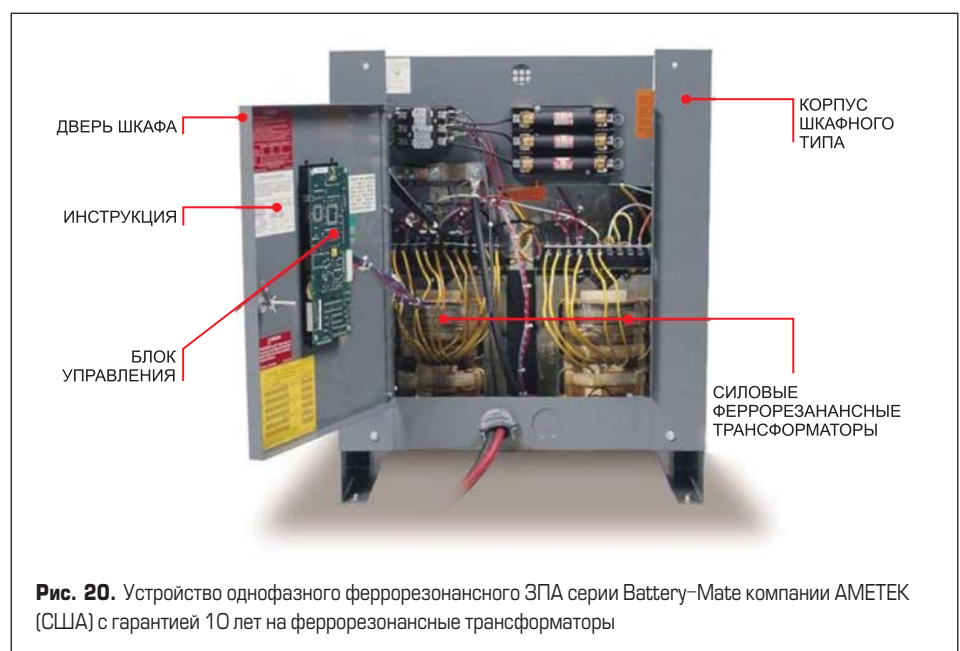


Рис. 20. Устройство однофазного феррорезонансного ЗПА серии Battery-Mate компании АМТЕК (США) с гарантией 10 лет на феррорезонансные трансформаторы

хожий на изображенный на рис. 20) в однофазном исполнении на ток 90 А весит 290 кг, а в трехфазном на тот же ток — 365 кг. Часто сравнительно небольшие размеры таких ЗПА трудно бывает ассоциировать с их реальным очень большим весом. Известен даже случай, когда при попытке демонтировать относительно небольшой по размерам шкаф (весом в несколько сотен килограммов!), подвешенный на мощном кронштейне, четверо рабочих обманулись его небольшими размерами

и уронили ЗПА после того, как он был снят с креплений.

Некоторые итоги

Заканчивая рассмотрение различных видов ЗПА, следует отметить, что наиболее распространенным их типом являются устройства на основе трехфазного тиристорного регулируемого выпрямителя. Переносные ЗПА облегченного типа выполняются со звеном высокой

частоты. Наиболее надежными и долговечными являются ЗПА феррорезонансного типа, но они же являются и самыми тяжелыми. ■

Литература

1. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. СТО 56947007-29.120.40.093-2011.
2. Богданов Д. И. Феррорезонансные стабилизаторы напряжения. М.: Энергия, 1972.