

**СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК
НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ВАНН ЭЛЕКТРОЛИТНОГО
НАГРЕВА ДЕТАЛЕЙ**

Э. Г. ЗАВАЦКИЙ, В. П. ОБРУСНИК, М. А. ЖИТКОВ

(Представлена научно-техническим семинаром
отдела статических преобразователей НИИ АЭМ при ТПИ)

Электролитный метод нагрева деталей последние годы находит все большее применение, особенно в автотракторной промышленности. Большие работы по созданию автоматизированных установок для термообработки деталей с использованием нагрева их в электролите проводятся Алтайским научно-исследовательским институтом технологии машиностроения.

До последнего времени в качестве источников питания таких установок обычно использовались системы двигатель—генератор, которые имеют ряд существенных недостатков. Эти системы требуют повышенных затрат на текущее обслуживание, имеют относительно низкий коэффициент полезного действия, повышенные весовые и габаритные данные, иногда требуют отдельных помещений для установки и, что особенно важно, сложных систем управления для стабилизации выходного напряжения и ограничения токов короткого замыкания. Кроме того, особенно неустойчивый характер нагрузки, характерный для установок электролитного нагрева, приводит к тому, что генераторы работают в тяжелых условиях, что вынуждает завышать их установленную мощность.

В научно-исследовательском институте автоматики и электромеханики три Томском политехническом институте для питания ванны электролитного нагрева разработан статический трехфазный источник стабилизированного, регулируемого в диапазоне 100–250 вольт напряжения постоянного тока мощностью 80 *кв*а.

Особенностью этого источника является то, что в качестве силового регулирующего элемента в нем применен трансформатор, регулируемый подмагничиванием магнитного шунта (ТРПШ), с полупроводниковым силовым выпрямителем выходного напряжения и сглаживающим фильтром.

С целью увеличения быстродействия системы, снижения ее габаритов и веса, увеличения коэффициента усиления по мощности принят импульсный способ подмагничивания трансформатора [1, 2], заключающийся в том, что в обмотку подмагничивания ТРПШ W_y (рис. 1), шунтированную обратным вентилем D , подаются узкие импульсы напряжения, расположенные в минимуме отрицательной полуволны э. д. с. нечетных гармоник. При этом от источника подмагничивания обмоткой W_y потребляется минимальный средний ток и через эту же обмотку осуществляется положительная обратная связь по токам гармоник, кратных трем. Такой способ управления обеспечивает трансформатору высокий коэффициент усиления по мощности, достигается выигрыш в весе и га-

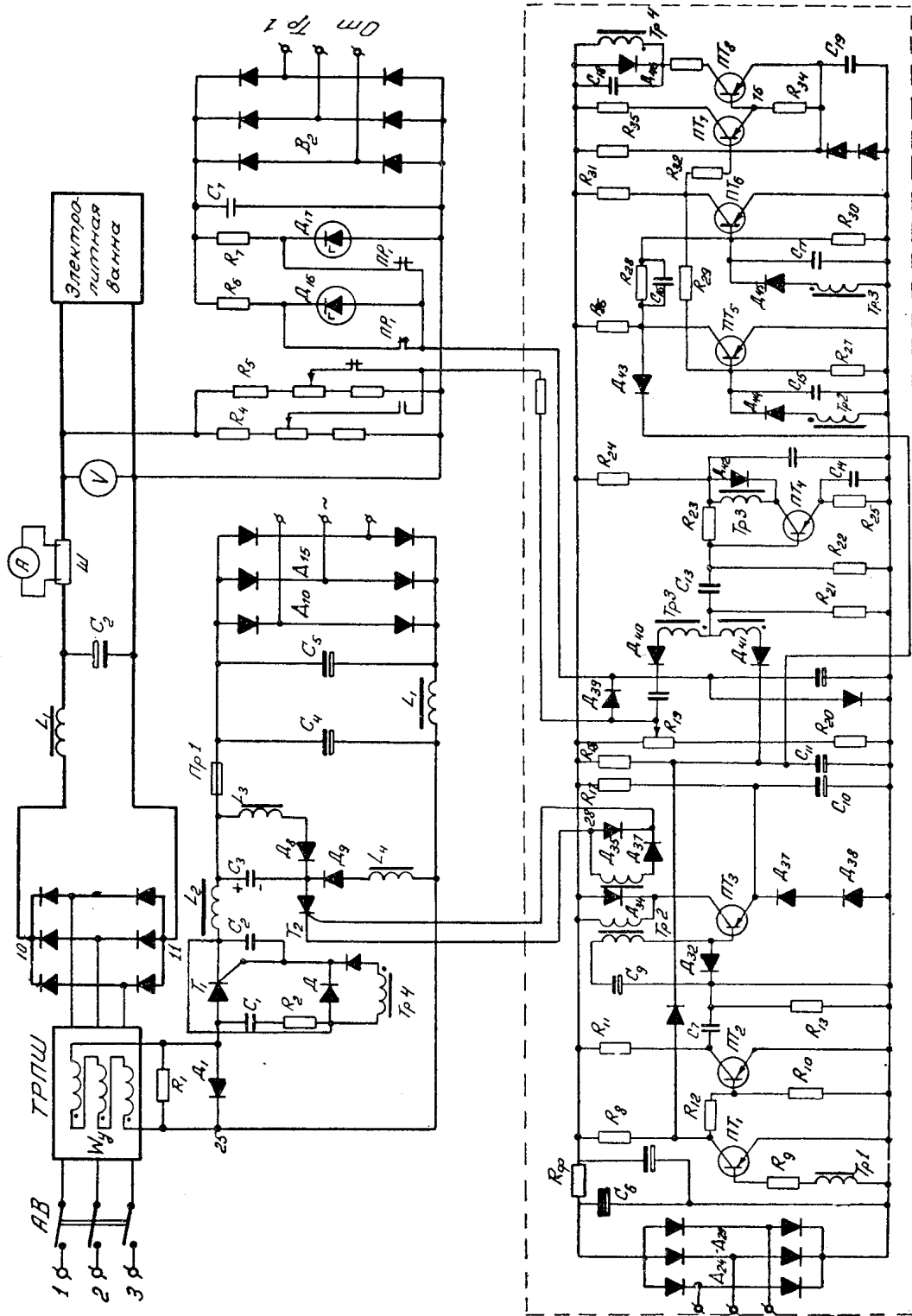


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизированного трех-
фазного источника напряжения для питания ванны электро-
литного нагрева

баритах, так как нет необходимости делать обмотки обратных связей, смещения и т. д. При этом у регулятора получаются внешние характеристики $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{нагр}})$ экскаваторного типа, что решает вопрос о защите источника питания от перегрузок и токов короткого замыкания простым ограничением ширины управляющих импульсов без введения дополнительных устройств отсечки, отключения и т. д.

Исполнительным элементом импульсного подмагничивания ТРПШ является полупроводниковый выпрямитель с тиристорным ключом. Тиристорный ключ на рис. 1 представляет собой систему, состоящую из силового тиристора T_1 , включенного последовательно с обмоткой подмагничивания W_{γ} ТРПШ, и узла принудительной коммутации этого тиристора. Автономная система для принудительной коммутации тиристора T_1 подробно описана в [3]. В схеме коммутирующего узла для уменьшения потерь энергии и разгрузки зарядной цепи при сохранении высокой отключающей способности применен непосредственный перезаряд конденсатора C_3 . Энергия из контура коммутации не отводится, а для устранения явления накопления ее на этапе заряда конденсатора создается дополнительная цепь, не включающая источник подмагничивания, по которой происходит перезаряд C_3 . Цепь перезаряда образована дросселем L_3 и диодом D_8 . Управляется ключ двумя командами, одна из которых включает силовой тиристор T_1 , а другая является командой на его выключение и подается на управляющий электрод тиристора T_2 . При отпирании тиристора T_2 конденсатор C_3 , имеющий напряжение порядка $2E$, разряжается в контуре L_2C_3 . Когда полярность напряжения на C_3 будет соответствовать указанной на рис. 1, диод D_8 открывается и происходит перезаряд конденсатора в контуре $L_3D_8C_3$. Тиристор T_2 закрывается, когда ток в контуре переходит через нуль. При этом C_3 продолжает перезаряжаться по цепи L_3D_8 и подзаряжается от источника питания по цепи $E-L_4-D_9-C_3$. Напряжение, до которого заряжается конденсатор C_3 к следующей коммутации, зависит от соотношения индуктивностей L_3/L_4 .

Команды для управления тиристорным ключом выдаются схемой управления, обведенной на рис. 1 пунктиром. Временные диаграммы, поясняющие ее работу, показаны на рис. 2.

Питание схемы управления осуществляется от трансформатора TP_1 через выпрямитель $D_{24} \div D_{29}$. В исходном состоянии транзистор PT_1 находится в закрытом состоянии, так как ток в цепи его базы равен нулю, PT_2 — насыщен. При поступлении отрицательной полуволны синусоидального напряжения рис. 2, а с обмотки управляющего трансформатора на базу транзистора PT_1 триод открывается. На выходе PT_1 при этом формируются прямоугольные импульсы напряжения (рис. 2, б), длительность которых определяется периодом управляющего напряжения. При полном открытии PT_1 ток базы PT_2 равен нулю и он закрыт. Таким образом, на коллекторе транзистора PT_2 получаются прямоугольные импульсы, равные по длительности половине периода управляющего напряжения рис. 2, б. Через дифференцирующую цепь C_7R_{13} импульсы от переднего фронта сигнала с PT_2 подаются на вход ждущего блокинг-генератора, выполненного на триоде PT_3 . С выхода импульсного трансформатора $Tr. 2$ снимается управляющий сигнал, который подается на управляющий электрод коммутирующего тиристора T_2 и открывает его. В то же время импульс с трансформатора $Tr. 2$ подается на левое плечо триггера PT_5 через диод D_{44} и опрокидывает его в первое устойчивое состояние. С момента закрытия триода PT_1 начинает заряжаться конденсатор C_{11} генератора пилообразного напряжения. Соответствующим выбором постоянной времени заряда удастся получить желаемый наклон «пилы» и ее линейность.

Заряд емкости C_{11} рис. 2, ж происходит до момента сравнения пи-

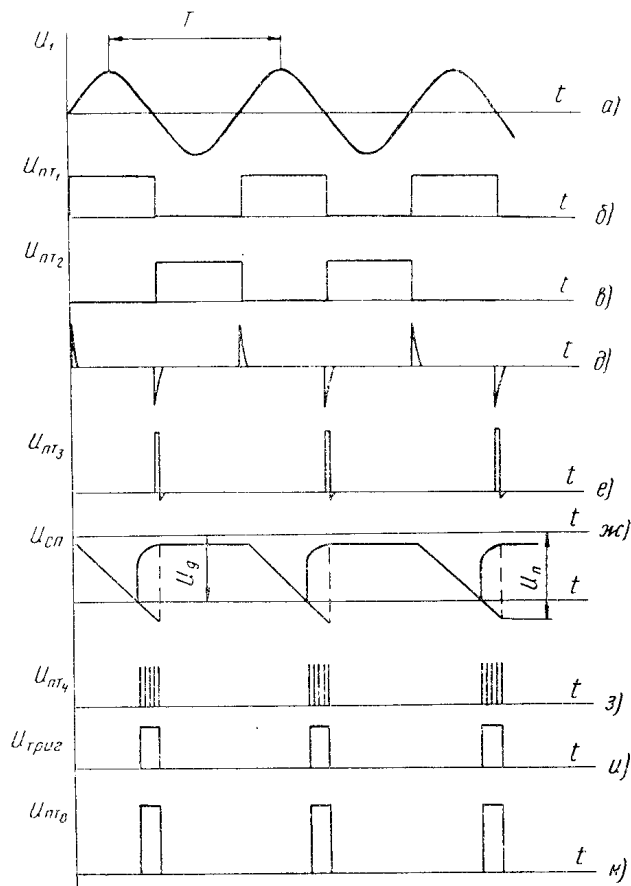


Рис. 2. Временные диаграммы

лообразного напряжения $U_{\text{пил.}}$ с эталонным $U_{\text{э}}$ на компораторе, выполненном на транзисторе $ПТ_4$. Эталонное напряжение, снимаемое с делителя $R_{19}R_{20}$, через диод D_{40} приложено к обмотке трансформатора $Тр. 3$, выполняющей функцию отрицательной обратной связи, а пилообразное напряжение $U_{\text{пил.}}$, снимаемое с C_{11} через диод D_{41} , приложено к обмотке $Тр. 3$, выполняющей функцию положительной обратной связи компоратора. До момента сравнения $U_{\text{пил.}}$ с $U_{\text{э}}$ диод D_{40} находится в проводящем состоянии, D_{41} — заперт, а компоратор не генерирует. В момент, когда $U_{\text{э}} = U_{\text{пил.}}$, диод D_{41} оказывается в проводящем состоянии, по обмотке положительной обратной связи протекает ток, компоратор возбуждается и на выходных обмотках появляется импульс напряжения, который через диод D_{45} прикладывается к базе триода $ПТ_6$ и переводит триггер во второе устойчивое состояние. При этом транзистор $ПТ_5$ открывается и через диод D_{43} шунтирует конденсатор C_{11} . Конденсатор быстро разряжается. Выходной импульс с триггера усиливается триодами $ПТ_7$ и $ПТ_8$ и с обмотки импульсного трансформатора $Тр. 4$ подается на управляющий электрод тиристора T_1 , открывая его. Таким образом, меняя напряжение $U_{\text{э}}$, мы меняем момент открытия силового тиристора и тем самым регулируем ток, протекающий в обмотке подмагничивания W_y от трансформатора управления. При ограничении $U_{\text{э}}$ на определенном уровне ограничивается и предельное значение тока короткого замыкания ТРИШ.

Регулирование выходного напряжения источника производится за счет изменения положения потенциометров R_4 или R_5 . При этом разность напряжения $U_{\text{зад}}$, снимаемого со стабилитрона D_{16} или D_{17} , и напряжения, пропорционального напряжению выхода источника, сравнивается с $U_{\text{э}}$ и определяет ток подмагничивания трансформатора.

При отклонении выходного напряжения источника от заданного меняется разность между U_3 и напряжением обратной связи

$$U_{ос} = U_{зад} - \alpha U_{источ.}$$

где $\alpha U_{источ}$ — напряжение, снимаемое с R_4 или R_5 .

Следовательно, меняется длительность открытого состояния силового тиристора T_1 , что ведет к изменению тока подмагничивания ТРПШ. Трансформатор переходит на работу с другой выходной характеристикой, которая соответствует ранее установленному выходному напряжению, то есть осуществляется стабилизация выходного напряжения источника.

В описанном источнике питания ванн электролитного нагрева мощностью 80 *кв*а при регулировании напряжения выхода от 100 до 250 *в* получена точность стабилизации $\pm 2\%$ $U_{вых}$ в диапазоне изменения тока нагрузки 100÷300 *а*. Ток короткого замыкания при номинальном подмагничивании не превышает 800*а*. Габариты источника в кожухе 750×1650×1420 *мм*, вес — 920 *кг*.

Описанный источник питания ванн электролитного нагрева успешно прошел производственные испытания и может быть рекомендован для широкого применения. При изменении обмоточных данных ТРПШ и узла обратной связи система может быть использована во многих электрохимических установках.

Приложение

Технические данные и параметры элементов системы (на случай изготовления)

Данные трансформатора, регулируемого подмагничиванием:

напряжение пит. сети 380 вольт;
коэффициент трансформации $K_T = 1,53$;
номинальный ток подмагничивания 20*а*;
напряжение постоянного тока 250÷100 вольт;
номинальный ток нагрузки 300 *а*.

Параметры узла принудительной коммутации:

напряжение источника 120 вольт.

| | |
|--|---|
| D_1 — диод ПВКЛ 100—10 | L_4 — индуктивность $L = 17$ <i>мгн</i> , |
| T_1 — тиристор ПТЛ-50—8, | C_1 — конденсатор МБ20-10,0—400 <i>в</i> , |
| T_2 — тиристор ВКУ-10—5, | C_2 — конденсатор К50-3Н — |
| D_8 — диод Д216Б | 500 <i>мкф</i> — 450 <i>в</i> . |
| D_9 — диод Д246Б | C_3 — конденсатор МБГО-10,0—400 <i>в</i> , |
| L_2 — индуктивность $L = 0,167$ <i>мгн</i> , | R_1 — резистор 100 <i>вт</i> , 40 <i>ом</i> , |
| L_3 — индуктивность $L = 3$ <i>мгн</i> , | R_2 — резистор ОМЛТ-2-470 <i>ом</i> . |

Параметры схемы управления:

напряжение питания 24 вольт.

| | |
|---|---|
| ПТ ₁ — транзистор МП25 | R_8 — резистор ОМЛТ-0,125—1,3 <i>к</i> , |
| ПТ ₂ — транзистор МП25 | R_9 — резистор ОМЛТ-0,5—240 <i>ом</i> , |
| ПТ ₃ — транзистор МП25 | R_{10} — резистор ОМЛТ-0,5—7,5 <i>к</i> , |
| ПТ ₄ — транзистор МП25 | R_{11} — резистор ОМЛТ-0,5—1,3 <i>к</i> , |
| ПТ ₅ — транзистор МП25 | R_{12} — резистор ОМЛТ-0,5—12 <i>к</i> , |
| ПТ ₆ — транзистор МП25 | R_{13} — резистор ОМЛТ-0,5—1,3 <i>к</i> , |
| ПТ ₇ — транзистор МП25 | R_{17} — резистор ОМЛТ-0,5—3,9 <i>к</i> , |
| ПТ ₈ — транзистор МП25 | R_{18} — резистор ОМЛТ-0,5—11 <i>к</i> , |
| C_6 — конденсатор ЭГЦ—1000-30. | R_{19} — резистор перем. ППЗ-3 <i>к</i> , |
| C_7 — конденсатор БМ2-0,0125—200 | |
| C_9 — конденсатор БМ2-0,125—200 | |
| C_{10} — конденсатор ЭТО 15×20 <i>в</i> | |

C_{11} — конденсатор ОМБГ-20—400,
 C_{13} — конденсатор БМ2-0,1—160в,
 C_{14} — конденсатор МБМ-1,0—160в,
 C_{15} — конденсатор БМ-3300—200в,
 C_{16} — конденсатор БМ2-0,05—160в,
 C_{17} — конденсатор БМ-3300—200в,
 C_{18} — конденсатор МБМ-0,025—150,
 C_{19} — конденсатор К50-3—200×50в,
 D_{24} — D_{29} — диоды Д7Ж,
 D_{32} — диод Д7Ж,
 D_{34} — D_{36} — диоды Д7Ж,
 D_{37} — D_{38} — диоды Д211,
 D_{39} — D_{46} — диоды Д7Ж.
 R_{20} — резистор ОМЛТ-1—910ом,
 R_{21} — резистор ОМЛТ-2—5,1к,
 R_{22} — резистор ОМЛТ-0,5—4,3к,
 R_{23} — резистор ОМЛТ-0,5—47к,
 R_{24} — резистор ОМЛТ-0,5—9,1к,
 R_{25} — резистор ОМЛТ-0,5—110ом,
 R_{26} — резистор ОМЛТ-0,5—4,3к,
 R_{27} — резистор ОМЛТ-0,5—4,3к,
 R_{28} — резистор ОМЛТ-0,5—12к,
 R_{29} — резистор ОМЛТ-0,5—12к,
 R_{30} — резистор ОМЛТ-0,5—4,3к,
 R_{31} — резистор ОМЛТ-0,5—4,3к,
 R_{32} — резистор ОМЛТ-0,5—7,5 к,
 R_{33} — резистор ОМЛТ-1—910ом,
 R_{34} — резистор ОМЛТ-0,5—240ом,
 R_{35} — резистор ОМЛТ-0,5—240ом.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Обрусник, А. В. Кобзев. Способ импульсного подмагничивания. Авторское свидетельство, № 245842, кл. 21a² 18/08, Бюллетень изобретений, № 20, 1969.
2. В. П. Обрусник, А. В. Кобзев. Режимы работы и характеристики однофазных ТРПШ при импульсном подмагничивании. Доклады VI научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства, т. 2. Издательство ТГУ, Томск, 1969.
3. А. И. Зайцев, М. А. Житков. Устройство принудительной коммутации тиристоров с непосредственным перезарядом коммутирующего конденсатора. Доклады VI научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства, том 5, Издательство ТГУ, Томск, 1969.