

## 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 ванн 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-

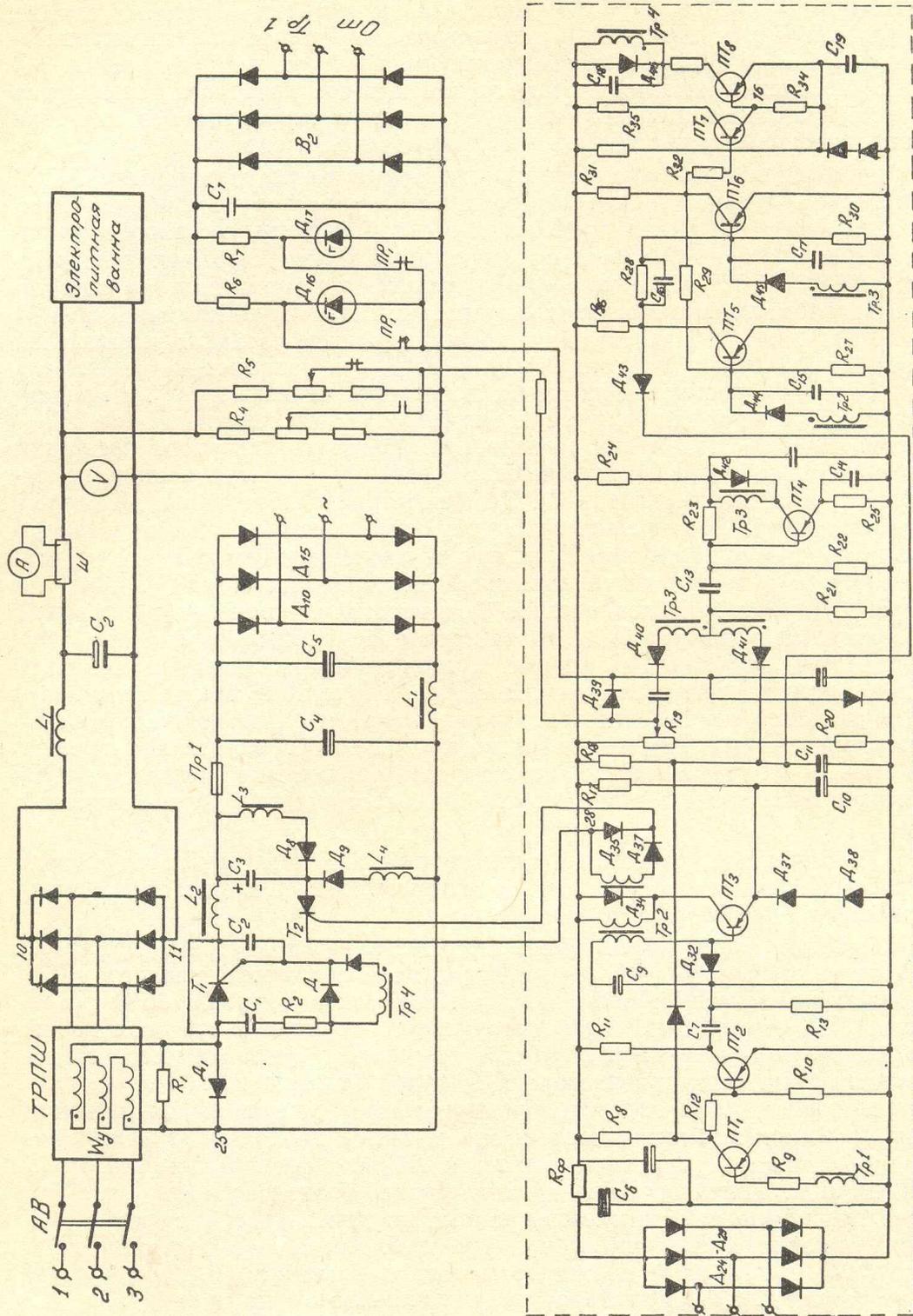


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизированного трехфазного источника напряжения для питания ванн электролитного нагрева

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  $W_y$  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  $TR_1$  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-

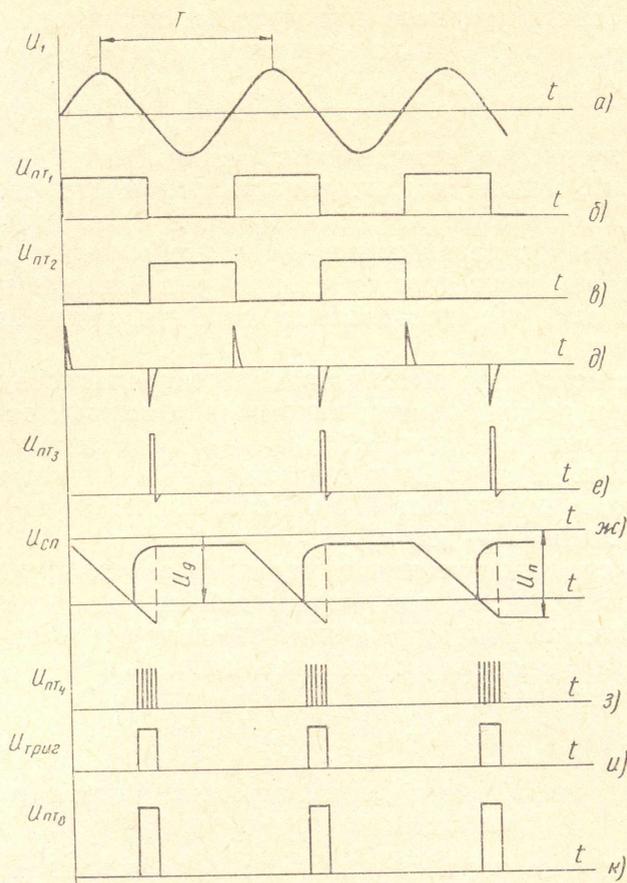


Рис. 2. Временные диаграммы

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 <sub>1</sub> — транзистор МП25	$R_8$ — резистор ОМЛТ-0,125—1,3 <i>к</i> ,
ПТ <sub>2</sub> — транзистор МП25	$R_9$ — резистор ОМЛТ-0,5—240 <i>ом</i> ,
ПТ <sub>3</sub> — транзистор МП25	$R_{10}$ — резистор ОМЛТ-0,5—7,5 <i>к</i> ,
ПТ <sub>4</sub> — транзистор МП25	$R_{11}$ — резистор ОМЛТ-0,5—1,3 <i>к</i> ,
ПТ <sub>5</sub> — транзистор МП25	$R_{12}$ — резистор ОМЛТ-0,5—12 <i>к</i> ,
ПТ <sub>6</sub> — транзистор МП25	$R_{13}$ — резистор ОМЛТ-0,5—1,3 <i>к</i> ,
ПТ <sub>7</sub> — транзистор МП25	$R_{17}$ — резистор ОМЛТ-0,5—3,9 <i>к</i> ,
ПТ <sub>8</sub> — 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. 21a<sup>2</sup> 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.