

Е. В. ЧЕРНЫШЕВА

ИСТОЧНИКИ
ПИТАНИЯ
СВАРОЧНОЙ
ДУГИ

МАШГИЗ

Е. В. ЧЕРНЫШЕВА

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

*Допущено Управлением средних
специальных учебных заведений
Министерства высшего образования СССР
в качестве учебного пособия для техникумов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1958

Книга „Источники питания сварочной дуги“ представляет учебное пособие, составленное применительно к программе курса „Технология и оборудование дуговой сварки“ (раздел „Машины и аппараты для дуговой сварки“) сварочной специальности машиностроительных техникумов. В книге излагаются условия устойчивого горения сварочной дуги, принцип работы и устройство источников электрической энергии сварочной дуги, вопросы рациональной эксплуатации электросварочного оборудования, кратко освещается опыт заводов в этой области.

Книга рассчитана на учащихся техникумов по сварочной специальности. Она может быть также использована работниками в области сварки.

Рецензенты: инж. К. П. Воцанов, инж. В. Л. Цегельский

Редактор. инж. К. В. Звегинцева

*Редакция литературы по тяжелому машиностроению
Зав. редакцией инж. С. Я. ГОЛОВИН*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данной книге описываются свойства системы—источник электрической энергии и сварочная дуга как потребитель электрической энергии, особенности источников постоянного и переменного тока для питания сварочных дуг; изложен принцип работы сварочных трансформаторов, генераторов и преобразователей, а также управляющих, регулирующих и вспомогательных устройств; рассматриваются вопросы выбора и эксплуатации сварочного электрооборудования.

История развития производства сварочного электрооборудования в СССР тесно связана с историей развития дуговой электро-сварки.

Н. Н. Бенардос впервые исследовал и осуществил на практике электрическую дуговую сварку, применяя для питания дуги изобретенный им же аккумулятор (1882 г.), а Н. Г. Славянов, развивая дальше способ использования дуги Петрова для целей промышленного нагрева и сварки, впервые применил для питания дуги нормальный генератор постоянного тока, включая реостат последовательно с дугой [1], [2].

В нашей стране электродуговая сварка начала широко применяться в промышленности после Великой Октябрьской социалистической революции. Внедрение электродуговой сварки в промышленности шло параллельно с развитием советского электро-сварочного машиностроения.

В 1924 г. на заводе «Электрик» была выпущена первая советская специальная сварочная машина постоянного тока СМ-1 [1]. В 1925 г. там же, наряду с выпуском сварочных трансформаторов с отдельной реактивной катушкой, был выпущен первый однокорпусный сварочный трансформатор конструкции В. П. Никитина (патент № 3140 за 1927 г.) [1], [2].

В области исследования и усовершенствования сварочных генераторов и трансформаторов советские ученые и инженеры проделали большую работу. Советский инженер и ученый В. П. Никитин возглавил научную школу в этой области. Была разработана теория сварочных генераторов постоянного тока и трансформаторов и созданы новые оригинальные сварочные трансформаторы.

Еще перед Великой Отечественной войной сварка переменным током стала основным видом сварки в СССР.

В послевоенные годы развитие производства отечественного сварочного электрооборудования пошло по пути дальнейшего увеличения выпуска сварочных трансформаторов.

Лабораторией электрических сварочных машин АН СССР совместно с заводами электропромышленности была создана единая серия однокорпусных сварочных трансформаторов СТАН, СТН и ТСД для ручной и автоматической сварки, которые по своим технико-экономическим показателям превосходят зарубежные [2], [3]. Трансформаторы СТН и ТСД (по схеме В. П. Никитина) для токов 500 *a* и выше; трансформаторы СТАН для токов до 500 *a*. Разработаны конструкции и ряда других сварочных трансформаторов.

Сконструированы и выпускаются серийно (завод «Электрик») новые сварочные генераторы с независимым самовозбуждением, с размагничивающей последовательной обмоткой, а также сварочные генераторы на малые переменные токи высокой частоты.

Сварочные преобразователи, состоящие из трехфазного трансформатора, дросселей и выпрямляющего устройства из полупроводниковых германиевых или селеновых выпрямителей на 100 и 120 *a*, разработаны в последнее время и выпускаются Всесоюзным научно-исследовательским институтом электросварочного оборудования (ВНИИЭСО). Производится также работа по созданию серийных конструкций с селеновыми и германиевыми выпрямителями на токи 300 *a* и более [4].

Следует отметить, что аппараты, состоящие из трансформатора и выпрямителя, имеют уже широкое распространение за границей. Такие сварочные аппараты выпускаются на различные номинальные токи (до 800 *a*). Ряд фирм выпускает аппараты, пригодные для сварки как на переменном, так и на постоянном токе. В области сварочных преобразователей с полупроводниковыми выпрямителями наша сварочная техника еще отстает от наиболее развитых капиталистических стран.

В связи с дальнейшим расширением применения сварки во всех отраслях промышленности и строительстве, выпуск сварочного электрооборудования будет увеличиваться. Продолжается работа по усовершенствованию существующих источников питания сварочной дуги и созданию новых типов на базе использования последних достижений отечественной и мировой сварочной техники.

Существующие источники питания сварочной дуги обладают значительными недостатками по сравнению с нормальными электрическими машинами: большие габариты и вес, меньший коэффициент полезного действия и коэффициент мощности. Кроме того, невозможно управление в широких пределах формой внешней характеристики: напряжением холостого хода, крутизной

характеристики в рабочей части, величиной тока короткого замыкания.

В последние годы разработаны способы сварки, для которых необходимы источники с жесткими и возрастающими внешними характеристиками в рабочей части, а нашей отечественной электропромышленностью выпускаются источники для питания сварочной дуги только с падающими внешними характеристиками.

Проводится работа по созданию источников питания сварочной дуги с применением новейших материалов и современной автоматической аппаратуры, а также аппаратов для питания сварочной дуги постоянным и переменным током с применением полупроводниковых выпрямителей. В частности, разрабатываются источники питания сварочной дуги, в которых можно будет в широких пределах управлять формой внешней характеристики. Новые источники питания сварочной дуги будут иметь более высокие технико-экономические показатели, лучшие статические характеристики и динамические качества [2].

Данная работа поможет не только учащимся техникумов, но также техникам, мастерам и сварщикам разобраться в устройстве источников питания сварочной дуги, правильно и рационально их эксплуатировать.

При создании книги автор консультировался по ряду вопросов у канд. техн. наук доцента О. Н. Братковой.

ГЛАВА I

ОСОБЕННОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

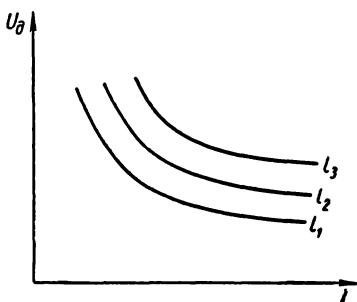
§ 1. ЗАВИСИМОСТЬ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ДУГИ ОТ ХАРАКТЕРА ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА

Физико-химические процессы, протекающие в дуге постоянного тока, изучаются в разделе «Технология сварки» и поэтому не рассматриваются в данном пособии. Зависимость между напряжением U_d , необходимым для поддержания горения дуги, и током I дуги при медленном изменении последнего называется статической вольтамперной характеристикой дуги или просто вольтамперной характеристикой. Группа вольтамперных характеристик для дуг длиной l_1 , l_2 и l_3 изображена на фиг. 1 [5]. Такие характеристики называются падающими или отрицательными (с увеличением тока I напряжение U_d уменьшается) и соответствуют дугам с относительно небольшими плотностями тока в электроде. Рядом исследований, в том числе проводимыми за последнее годы АН СССР и УССР, установлено, что при больших плотностях тока в электроде вольтамперные характеристики становятся возрастающими или положительными (с увеличением тока I напряжение U_d увеличивается). Для длин дуг l_1 , l_2 и l_3 возрастающие характеристики приведены на фиг. 2 [6] — [11].

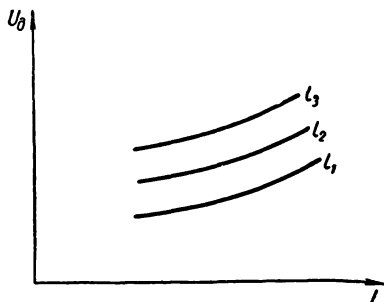
Падение напряжения в дуге U_d составляется из падения напряжения U_k в катодной области, падения напряжения U_a в анодной области и падения напряжения U_l в столбе дуги. Исследования Г. М. Тиходеева [11] показывают следующее: U_k почти не зависит от тока и длины дуги; с достаточной для практики точностью U_k можно принять равным потенциалу ионизации железа; U_a и U_l увеличиваются с увеличением градиента потенциала E (напряженности электрического поля) и длины дуги l , E , в свою очередь, увеличивается с увеличением плотности тока в столбе дуги и уменьшением длины дуги. На напряжение U_d , кроме того, влияют эффективный к. п. д. дуги, работа выхода и еще ряд факторов.

Важно отметить, что U_d зависит от плотности тока в столбе дуги и длины дуги. Плотность тока в столбе дуги по мере роста

тока уменьшается только в том случае, если сечение столба дуги возрастает быстрее, чем ток. Соответственно, по мере роста тока уменьшаются E , U_a , U_l , U_∂ , и вольтамперная характеристика в этом случае становится падающей. Плотность тока в столбе дуги по мере роста тока, наоборот, увеличивается, если сечение столба дуги не может больше увеличиваться. Соответственно, по мере роста тока увеличиваются E , U_a , U_l , U_∂ , и вольтамперная характеристика в этом случае возрастающая. Каждому определенному размеру электрода соответствует определенная предельная



Фиг. 1. Падающие (отрицательные) вольтамперные характеристики для дуг длиной l_1 , l_2 , и l_3 ($l_1 < l_2 < l_3$).



Фиг. 2. Возрастающие (положительные) вольтамперные характеристики для дуг длиной l_1 , l_2 , l_3 ($l_1 < l_2 < l_3$).

площадь катодного пятна. Увеличение сечения столба дуги не происходит, если невозможно возрастание площади катодного пятна. Существуют и другие факторы, которые ограничивают рост сечения столба дуги.

Возрастающие вольтамперные характеристики бывают при автоматической сварке под флюсом большими токами, при сварке в среде защитных газов, при сварке угольным электродом большими токами. С уменьшением диаметра электродной проволоки вольтамперная характеристика становится возрастающей и при меньших токах [9]. При сварке в среде защитных газов вольтамперные характеристики, возрастающие при относительно более низких плотностях тока в электроде [10].

Статические внешние характеристики источников электрической энергии будем называть в дальнейшем внешними характеристиками. Внешняя характеристика источника—это зависимость напряжения на его выходных зажимах от величины тока его нагрузки.

Рассмотрим условия устойчивого горения сварочной дуги. На фиг. 3 изображены падающая внешняя характеристика источника $U = f_1(I)$ и падающая вольтамперная характеристика дуги $U_\partial = f_2(I)$. В точках a и b пересечения вольтамперной и внеш-

ней характеристик обеспечивается напряжение, необходимое для поддержания горения дуги. Выясним, устойчиво ли будет горение дуги в этих точках. Горение дуги будет устойчивым, если при случайном отклонении от установившегося состояния (изменение величины тока) равновесие будет быстро восстанавливаться. Сварочная цепь обладает некоторой индуктивностью и при изменении тока в ней индуктируется э. д. с. самоиндукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

где L — индуктивность.

Напряжение на дуге будет

$$U_\partial = U + e_L = U - L \frac{di}{dt}, \quad (2)$$

где U — напряжение источника.

Из выражения (2):

$$L \frac{di}{dt} = U - U_\partial. \quad (3)$$

Предположим, что режим горения дуги соответствует точке a (фиг. 3). Если ток уменьшится под действием тех или иных причин, то напряжение U источника станет больше напряжения U_∂ дуги, и, согласно выражению (3),

$$L \frac{di}{dt} > 0; \quad \frac{di}{dt} > 0$$

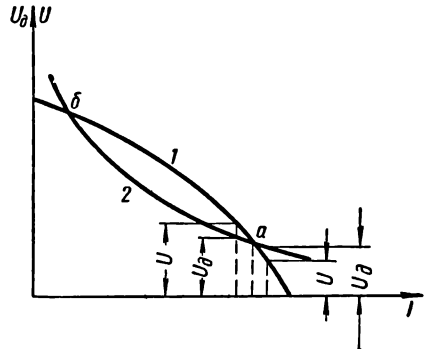
(L — всегда положительна). Следовательно, ток будет увеличиваться пока не достигнет прежнего установившегося значения. Если ток увеличится, напряжение U станет меньше U_∂ и согласно выражению (3)

$$\frac{di}{dt} < 0.$$

Ток будет уменьшаться, пока не достигнет прежнего установившегося значения.

При режиме горения, соответствующем точке a , вследствие действия э. д. с. самоиндукции, происходит саморегулирование дуги и дуга горит устойчиво.

В точке b при увеличении тока $\frac{di}{dt} > 0$; ток будет продолжать увеличиваться до значения, соответствующего точке a . При уменьшении тока $\frac{di}{dt} < 0$; ток будет продолжать уменьшаться, дуга

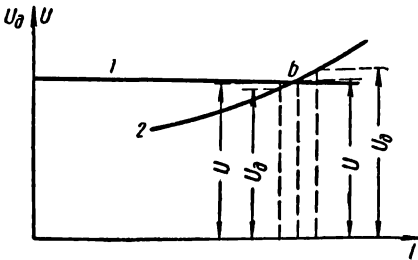


Фиг. 3. К доказательству условий устойчивого горения дуги:

1 — внешняя характеристика источника
2 — вольт-амперная характеристика дуги.

прервется. В точке *b* дуга не будет гореть устойчиво. На фиг. 4 изображены жесткая внешняя характеристика источника и возрастающая вольтамперная характеристика дуги.

Точка *b* (фиг. 4) — это точка устойчивого горения дуги. При уменьшении тока $\frac{di}{dt} > 0$; ток будет увеличиваться, пока не достигнет установившегося значения. При увеличении тока $\frac{di}{dt} < 0$; ток будет уменьшаться, пока не достигнет установившегося значения.



Фиг. 4. К доказательству условий устойчивого горения дуги:

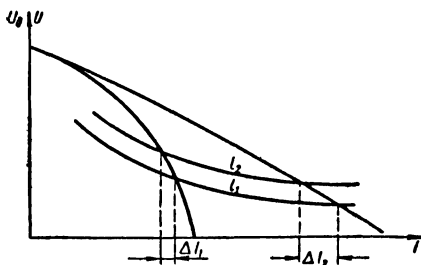
1 — внешняя характеристика источника;
2 — вольтамперная характеристика дуги.

При падающей вольтамперной характеристике дуги процесс сварки устойчив, если источник имеет падающую внешнюю характеристику. При возрастающей вольтамперной характеристике процесс сварки будет устойчивым при жесткой и возрастающей внешней характеристике источника.

При более крутопадающей внешней характеристике ток мало изменяется при изменении длины дуги, и величина отношения тока короткого замыкания $I_{к.з}$ к сварочному току I становится меньшей. Желательно поэтому для обеспечения постоянства теплового режима сварки и ограничения тока короткого замыкания применять при ручной сварке источники с крутопадающими внешними характеристиками. При ручной сварке плавящимися электродами часто происходит короткое замыкание — переход капли расплавленного металла с электрода на изделие. Поэтому необходимо, чтобы ток короткого замыкания не был много больше рабочего тока. При больших значениях $\frac{I_{к.з}}{I}$ возможны прожоги, прилипание электрода, угар и разбрызгивание расплавленного металла.

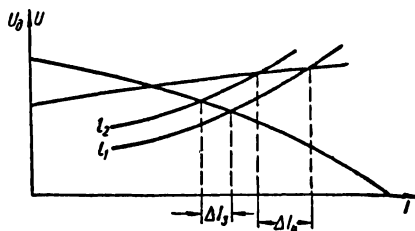
При автоматической сварке с постоянной скоростью подачи электрода необходима более пологая внешняя характеристика, если даже вольтамперная характеристика падающая. Отклонение тока дуги от установившегося состояния с изменением длины дуги будет больше при пологой внешней характеристике, чем при крутопадающей характеристике (при одинаковом изменении длины дуги), более резко увеличится или уменьшится скорость плавления электродной проволоки и быстрее восстановится режим сварки [2], [9], [12]. На фиг. 5 изображены падающие вольтамперные характеристики при длинах дуг l_1 и l_2 и внешние характеристики: крутопадающая и пологая.

Если вольтамперная характеристика дуги возрастающая, то при автоматической сварке с постоянной скоростью подачи электрода необходима жесткая или возрастающая внешняя характеристика. Отклонение тока дуги от установившегося состояния при жесткой или возрастающей внешней характеристике будет больше, чем при падающей внешней характеристике (при одинаковом изменении длины дуги), и режим сварки восстановится быстрее [2], [9], [10], [12].



Фиг. 5. К доказательству условий более быстрого срабатывания системы регулирования при постоянной скорости подачи электрода:

ΔI_2 — изменение тока при крутопадающей внешней характеристике; ΔI_1 — изменение тока при пологой внешней характеристике.



Фиг. 6. К доказательству условий более быстрого срабатывания системы регулирования при постоянной скорости подачи электрода:

ΔI_2 — изменение тока при падающей внешней характеристике; ΔI_1 — изменение тока при возрастающей внешней характеристике.

На фиг. 6 изображены возрастающие вольтамперные характеристики при длинах дуг l_1, l_2 и внешние характеристики: падающая и возрастающая.

При автоматической сварке с принудительным регулированием напряжения дуги желательно применять источники с крутопадающей внешней характеристикой, так как изменение тока в этом случае будет минимальным [2].

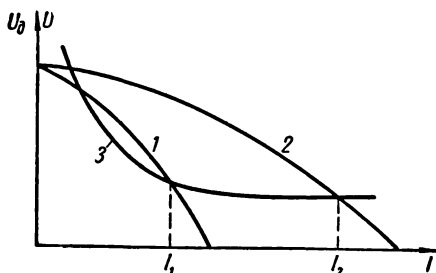
При автоматической сварке под флюсом применяют источники с пологими и жесткими внешними характеристиками. При автоматической сварке с постоянной скоростью подачи электрода в среде защитных газов применяют источники с жесткими и возрастающими внешними характеристиками. При сварке в среде защитных газов градиент потенциала в столбе дуги в 3—4 раза меньше, чем при сварке под флюсом. Вследствие этого с меньшей скоростью восстанавливается режим. Режим восстанавливается быстрее при жесткой, а тем более возрастающей, внешних характеристиках источника [10].

В настоящее время в СССР однополюсные источники с жесткими и возрастающими внешними характеристиками не выпускаются серийно. Могут быть использованы низковольтные электрические машины нормального типа или сварочные с некоторой незначительной их переделкой (будет рассмотрено в следующих главах).

§ 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ СВАРКИ В ИСТОЧНИКАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

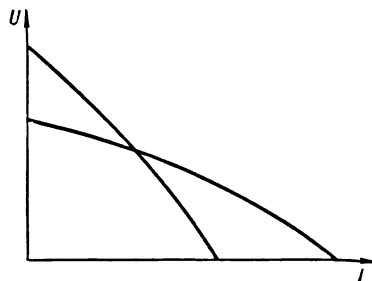
Источник должен иметь регулирующее устройство, позволяющее получать ряд внешних характеристик.

При ручной сварке изменение теми или иными методами внешних характеристик источника приводит в основном к изменению тока, к некоторому незначительному изменению напряжения на дуге и, в ряде случаев, к изменению напряжения U_0 холостого хода источника. На фиг. 7 изображены две внешние харак-



Фиг. 7. К доказательству влияния изменения внешней характеристики на величину тока:

I_1 — ток при внешней характеристике 1; I_2 — ток при внешней характеристике 2.



Фиг. 8. Внешние характеристики с напряжением холостого хода, благоприятно изменяющимся при регулировании.

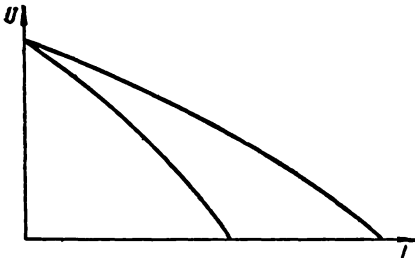
теристики 1; 2 и вольтамперная характеристика 3 дуги. При ручной сварке регулирование тока осуществляется только путем изменения внешних характеристик источника.

При автоматической сварке с постоянной скоростью подачи электрода регулирование тока производится в основном изменением скорости подачи электрода, а необходимое напряжение дуги устанавливается изменением внешней характеристики источника [3].

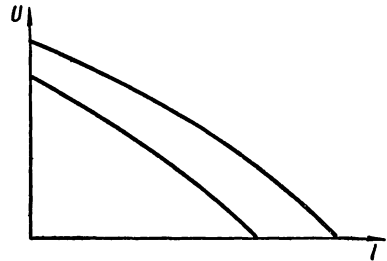
При автоматической сварке с принудительным регулированием напряжения дуги изменение тока осуществляется в основном изменением внешних характеристик источника, а необходимое напряжение дуги устанавливается за счет настройки системы регулирования [3].

Желательно, чтобы при меньших токах напряжение холостого хода источника было несколько больше по величине, чем при больших токах [13]. Наиболее благоприятными поэтому являются внешние характеристики источника, изображенные на фиг. 8. Удовлетворительными являются внешние характеристики источника, изображенные на фиг. 9. Менее благоприятны внешние характеристики, изображенные на фиг. 10.

В выпускаемых в настоящее время отечественной электропромышленностью сварочных генераторах с падающей внешней характеристикой есть намагничивающие и размагничивающие ампер-витки. Размагничивающие ампер-витки равны нулю при холостом ходе и увеличиваются по мере возрастания тока нагрузки генератора. За счет действия размагничивающих ампер-витков магнитный поток и э. д. с. генератора уменьшаются с увеличением его нагрузки, и внешняя характеристика генератора получается падающей.



Фиг. 9. Внешние характеристики с напряжением холостого хода, не изменяющимся при регулировании.



Фиг. 10. Внешние характеристики с неблагоприятно изменяющимся напряжением холостого хода.

Изменяя реостатом величину тока в основной обмотке возбуждения, воздействуем на намагничивающие ампер-витки и получаем характеристики, приведенные на фиг. 10. Увеличение тока в основной обмотке возбуждения приводит к увеличению сварочного тока, но наряду с этим и к неизбежному увеличению напряжения холостого хода генератора (увеличивается магнитный поток генератора при холостом ходе). Такой способ регулирования имеет, однако, широкое распространение, так как он прост в эксплуатации и обеспечивает плавное регулирование.

Воздействуя каким-либо способом на размагничивающие ампер-витки, получаем характеристики, приведенные на фиг. 9. При этом способе регулирования напряжение холостого хода генератора не изменяется (размагничивающие ампер-витки не участвуют в создании магнитного потока при холостом ходе). Регулирование изменением величины размагничивающих ампер-витков также имеет широкое применение в сварочных генераторах. Характеристики, приведенные на фиг. 8 и 9, могут быть получены в сварочных преобразователях с полупроводниковыми выпрямителями при регулирующих устройствах, воздействующих непосредственно на величины вторичных токов трансформаторов преобразователей. Методы регулирования в сварочных трансформаторах будут рассмотрены в главе III.

Изменение характера внешних характеристик в широких пределах может быть получено в системах с автоматической аппаратурой.

§ 3. ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ИСТОЧНИКОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРЕНИЯ ДУГИ

Дуга постоянного тока представляет собой не статическую нагрузку для источника, а динамическую. Источник работает в условиях частых изменений режима потребителя-дуги. Изменение режима связано с изменением длины и сопротивления дуги в процессе сварки. В случае частых коротких замыканий при сплавлении неоторвавшихся от электрода капель с основным металлом режимы дуги еще более резко изменяются. Происходит следующий цикл явлений в течение сотых долей секунды: горение дуги (нагрузочный режим источника), капля соединяет электрод и изделие (короткое замыкание источника), капля обрывается (холостой ход источника), повторное зажигание дуги.

Процессы изменения напряжения и тока дуги должны происходить чрезвычайно быстро. Источник должен иметь хорошие динамические качества, обеспечивать быстрое изменение напряжения и тока дуги при изменении ее режимов.

На фиг. 11 приведена типовая осциллограмма u_d, i при переходе от холостого хода к короткому замыканию и горению дуги [13], [14], [15].

Динамические качества источника характеризуются [14] следующими параметрами (фиг. 11):

1. Временем восстановления напряжения на дуге τ .
2. Динамическим коэффициентом короткого замыкания

$$\frac{I_{к. з. пик}}{I_{к. з. уст}},$$

где $I_{к. з. пик}$ — максимальный ток короткого замыкания;
 $I_{к. з. уст}$ — установившийся ток короткого замыкания.

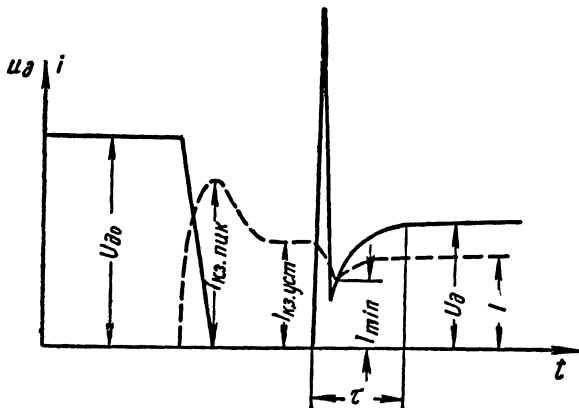
3. Коэффициентом восстановления тока $\frac{I_{min}}{I}$,

где I_{min} — минимальное мгновенное значение тока по прекращении короткого замыкания;

I — установившееся значение сварочного тока.

Кратковременный резкий скачок напряжения при переходе от короткого замыкания к режиму горения дуги объясняется возникновением э. д. с. самоиндукции в сварочной цепи, которая индуцируется при уменьшении тока. Этот скачок напряжения на электродах вызывает пробой воздушного промежутка и зажигание дуги. Затем напряжение на электродах резко снижается и успешность зажигания дуги зависит от быстроты нарастания

напряжения источника. Нарастание напряжения генератора постоянного тока до установившейся величины происходит за время τ . Величина τ зависит от скорости возрастания э. д. с., индуктирующейся в якоре генератора. Скорость возрастания последней зависит от скорости увеличения магнитного потока генератора. Магнитный поток не может изменяться мгновенно вследствие магнитной инерции генератора.



Фиг. 11. Типовая осциллограмма u_d, i (холостой ход, короткое замыкание, горение дуги).

При переходе от холостого хода к короткому замыканию в первый момент ток равен приближенно

$$I_{к. з. пик} \approx \frac{E_0}{r},$$

где E_0 — э. д. с. генератора при холостом ходе;

r — сопротивление внутренней цепи генератора и соединительных проводов.

Это объясняется также магнитной инерцией генератора — замедленным изменением э. д. с.

По мере уменьшения э. д. с. генератора ток короткого замыкания уменьшается, пока не достигнет своего установившегося значения $I_{к. з. уст.}$

Магнитная инерция генератора, т. е. замедленное изменение его магнитного потока при изменении режимов его работы, объясняется действием э. д. с. самоиндукции в обмотках возбуждения генератора (замедленным изменением тока в последних).

Желательно, чтобы магнитная инерция генератора была как можно меньшей. В этом случае динамические качества лучше.

Постоянная времени обмоток возбуждения ($T_s = \frac{L_s}{r_s}$) должна

быть как можно меньше. При малой магнитной инерции τ меньше и горение дуги устойчивее. При большом τ дуга, возникнув после отрыва электрода, угаснет. Динамические качества генераторов считаются удовлетворительными, если $\tau \leq 0,05$ сек. (при восстановлении напряжения на электродах от нуля до 25 в). При значительной магнитной инерции динамический коэффициент короткого замыкания большой, дуга горит беспокойно, с характерными взрывами и «бормотанием», увеличиваются угар и разбрызгивание, возможно примерзание электрода. У наших отечественных генераторов последних выпусков динамический коэффициент короткого замыкания имеет величину 2—3 [15]. Чем ближе к единице величина коэффициента восстановления тока, тем выше стабильность сварочного режима [14].

Динамические качества преобразователей с выпрямителями в настоящее время изучаются. Приводимые в иностранной периодической литературе осциллограммы показывают, что преобразователи, состоящие из трехфазных трансформаторов и выпрямляющих устройств из полупроводниковых селеновых выпрямителей (выпускаемые американскими и английскими фирмами) имеют вполне удовлетворительные динамические качества [16].

Чтобы горение дуги постоянного тока было устойчивым нужно иметь источник с необходимыми внешними характеристиками и хорошими динамическими качествами на всем диапазоне регулирования сварочного тока.

ГЛАВА II

СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 4. ОДНОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБМОТКОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Сварочные генераторы постоянного тока с последовательной обмоткой встречного включения бывают двух типов: с намагничивающей независимой обмоткой возбуждения и с намагничивающей обмоткой возбуждения, подключенной к главной и дополнительной щетке. Последние в дальнейшем будем называть генераторами с независимым самовозбуждением. Принципиальные электрические схемы генераторов обоих типов изображены на фиг. 12.

При анализе работы генератора рассматриваемого типа и генераторов с расщепленными полюсами (§ 5) применяем метод В. П. Никитина [2], [5]. Для упрощения анализа пренебрегаем влиянием реакции якоря на напряжение на главных щетках генератора. При холостом ходе магнитный поток генератора Φ создается ампер-витками одной намагничивающей обмотки возбуждения. Напряжение на дуге при холостом ходе определяется выражением

$$U_{\partial_0} = E_0 = Cn\Phi_s = \frac{Cn}{R_{\mu}} I_s W_s, \quad (4)$$

где C — постоянная машины $\left(C = \frac{N}{a} \frac{p}{60}\right)$;

n — число оборотов якоря генератора;

R_{μ} — магнитное сопротивление;

I_s — ток в намагничивающей обмотке возбуждения;

W_s — число витков намагничивающей обмотки возбуждения.

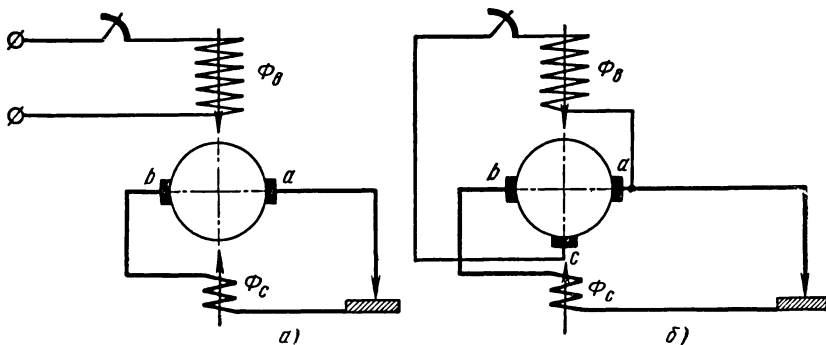
Напряжение при холостом ходе U_{∂_0} изменяется с изменением тока в намагничивающей обмотке возбуждения I_s [выражение (4)].

При нагрузке (горение дуги) сварочный ток I создает размагничивающие ампер-витки последовательной обмотки, которые увеличиваются по мере возрастания тока I . В генераторах обоих типов к намагничивающей обмотке возбуждения подводится почти постоянное напряжение, и намагничивающие ампер-витки

$I_a W_a$ не изменяются при изменении нагрузки. Напряжение на дуге при нагрузке

$$U_d = E - Ir = \frac{Cn}{R_m} (I_a W_a - I W_c) - Ir, \quad (5)$$

где W_c — число витков последовательной обмотки возбуждения; r — сопротивление внутренней цепи генератора (якоря, последовательной обмотки возбуждения, обмотки возбуждения дополнительных полюсов и соединительных проводов).



Фиг. 12. Принципиальные схемы:

a — генератора с независимой обмоткой возбуждения; *б* — генератора с независимым самовозбуждением.

Падающая внешняя характеристика генератора получается за счет действия размагничивающих ампер-витков последовательной обмотки возбуждения. Внешние характеристики генератора в преобразователе ПС-500 с размагничивающей последовательной обмоткой изображены на фиг. 13.

При коротком замыкании выражение (5) примет вид

$$0 = \frac{Cn}{R_m} (I_a W_a - I_{к.з} W_c) - I_{к.з} r. \quad (6)$$

Э. д. с. генератора при коротком замыкании

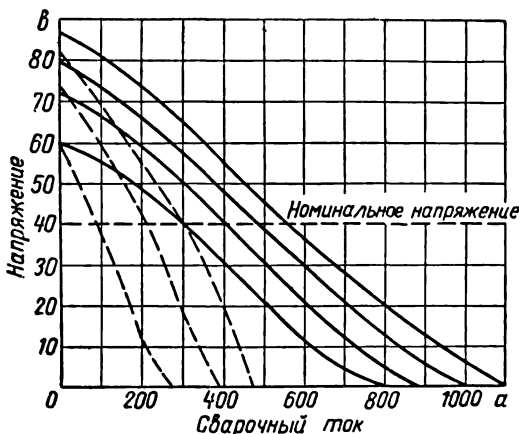
$$E_{к.з} = \frac{Cn}{R_m} (I_a W_a - I_{к.з} W_c),$$

незначительная по величине, компенсирует потерю напряжения $I_{к.з} r$.

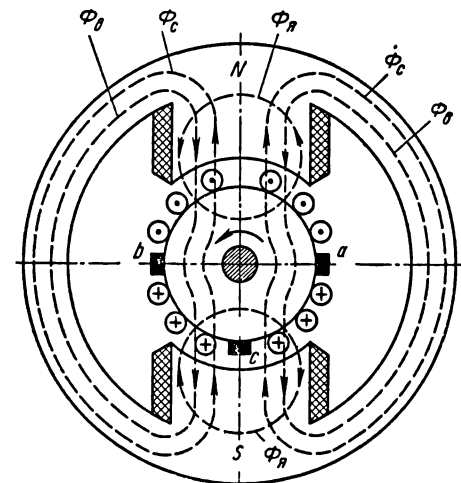
Из выражения (6) определяется ток короткого замыкания

$$I_{к.з} = \frac{\frac{Cn}{R_m} I_a W_a}{\frac{Cn}{R_m} W_c + r}. \quad (7)$$

Распределение силовых линий магнитных потоков при нагрузке намагничивающей обмотки, размагничивающей последовательной обмотки и реакции якоря в генераторах с независимым самовозбуждением показано на фиг. 14. Под левым краем северного и правым краем южного полюсов магнитные потоки последовательной обмотки возбуждения и реакции якоря имеют встречное направление (фиг. 14). Оба эти потока увеличиваются по мере возрастания сварочного тока и почти взаимно компенсируются. Поток под левым краем северного полюса не изменяется при нагрузке и равен потоку намагничивающей обмотки возбуждения. То же самое под правым краем южного полюса. Сумма э. д. с. проводников якоря, расположенных между щетками a и c (фиг. 14), также постоянна по величине. На щетках a и c при нагрузке напряжение почти не изменяется. Поэтому намагничивающая обмотка возбуждения может быть подключена к щеткам a и c .



Фиг. 13. Внешние характеристики генератора в преобразователе ПС-500.



Фиг. 14. Распределение силовых линий магнитных потоков обмоток возбуждения и реакции якоря.

Генераторы с независимым самовозбуждением (фиг. 12, б) должны иметь определенное направление вращения. При изменении направления вращения на щетках a и c не будет постоянного напряжения (поток реакции якоря изменит направление).

По схеме, изображенной на фиг. 12, а, выпускаются отечественной электропромышленностью генераторы, которыми комплектуются агрегаты ПАС-1000 с двигателями внутреннего сго-

агрегатах ПАС-400, АСД-3 генераторы четырехполюсные. Генераторы имеют четыре главных щетки и пятую дополнительную, четыре дополнительных полюса для улучшения коммутации. Агрегаты АСД-3 и преобразователи ПС-500 предназначены для дуговых сварочных автоматов и полуавтоматов, но могут быть использованы и для ручной сварки.

Преобразователи ПС-500 выпускаются серийно. Монтажная схема генератора в преобразователе ПС-500 изображена на фиг. 15, общий вид преобразователя ПС-500 приведен на фиг. 16, а его внешний вид—на фиг. 17.

В генераторе преобразователя ПС-500 катушки намагничивающей обмотки возбуждения на двух полюсах состоят из 180 витков, на двух других — из 30 витков, катушки соединены между собой последовательно. Катушки последовательной обмотки возбуждения состоят из шести витков и помещаются на двух полюсах (с меньшим числом витков намагничивающей обмотки). На дополнительных полюсах катушки состоят из восьми витков. Катушки намагничивающей обмотки выполнены из провода ПВД диаметром 3,53 мм, катушки последовательной обмотки и обмотки дополнительных полюсов — из провода сечением $4,7 \times 16,8$ мм.

Каждая из четырех главных щеток состоит из пяти щеток марки ЭГ-4 размерами 18×20 мм, дополнительная щетка состоит из трех щеток марки ЭГ-83-2 размерами 7×20 мм.

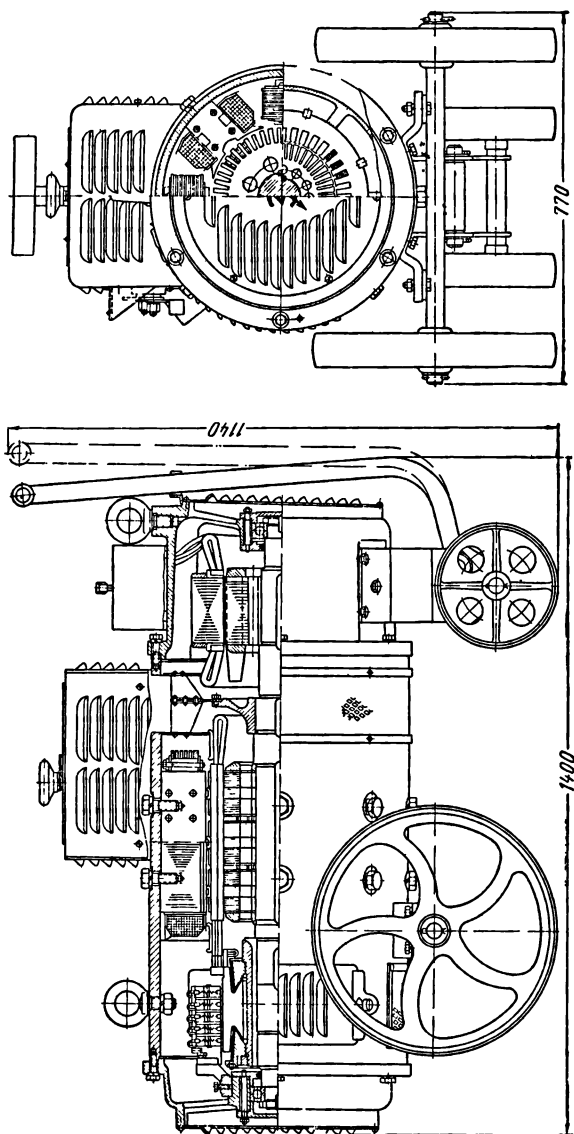
Двигатель преобразователя ПС-500-трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором и рассчитан на непосредственный пуск от сети напряжением 380 или 220 в. Пуск двигателя в преобразователях ПС-500 последних выпусков осуществляется пакетным выключателем, смонтированным на корпусе преобразователя. Преобразователь выпускается с соединением обмоток звездой для подключения в сеть с напряжением 380 в. Если напряжение сети равно 220 в, то требуется разъединить звезду и произвести нужные пересоединения на выключателе — переключить на треугольник. Ранее выпускались преобразователи ПС-500, пуск которых осуществляется магнитным пускателем К-12 кнопками «Пуск» и «Стоп». Магнитный пускатель поставлялся вместе с преобразователем.

В преобразователе ПС-500 установлены шарикоподшипники № 311, смазка—консистентная марки УТВ по ГОСТу 1631-52.

Подробно устройство преобразователя ПС-500 описано в проспекте завода-изготовителя «Сварочные преобразователи ПС-500».

Серийно выпускаются также агрегаты ПАС-400. Монтажная схема генератора в агрегате ПАС-400 изображена на фиг. 18, а общий вид на фиг. 19.

В генераторе агрегата ПАС-400 катушки намагничивающей обмотки возбуждения на двух полюсах состоят из 180 витков, на двух других, в отличие от генератора преобразователя ПС-500,

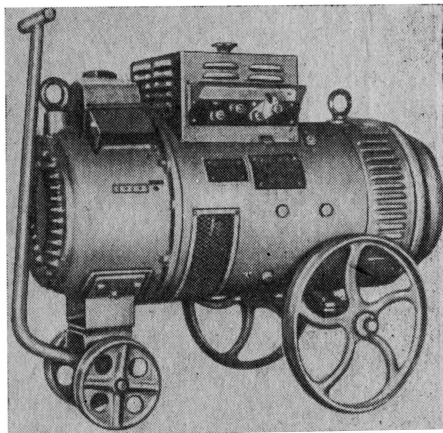


Фиг. 16. Общий вид преобразователя ПС-500.

состоят из 60 витков. Соединение обмоток возбуждения и их сечение такое же, как в генераторе преобразователя ПС-500.

Каждая из четырех главных щеток состоит из пяти щеток марки ЭГ-4. Дополнительная щетка состоит из трех щеток марки ЭГ-8.

Двигатель агрегата ПАС-400— автомобильный марки ЗИС-120. Топливо— бензин автомобильный А-66. Число оборотов поддерживается автоматически центробежным регулятором оборотов. Для работы на малых оборотах применяется ручная регулировка. Охлаждение двигателя — водяное. Подшипники двигателя — скользящие со сталебабитовыми вкладышами. Вкладыши тонкостенные, взаимозаменяемые. Система зажигания—от батарей напряжением 12 в. Освещение — электрическое: переносной лампой и двумя лампами на щитке управления, питающимися от аккумулятора с выходным напряжением 12 в. Двигатель оборудован заряд-

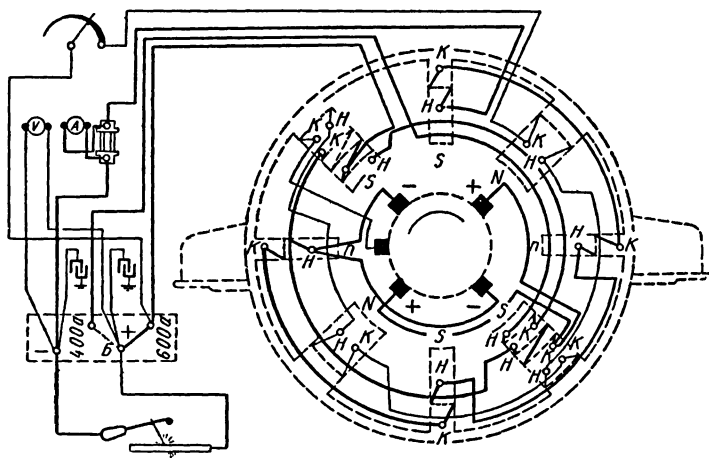


Фиг. 17. Внешний вид преобразователя ПС-500.

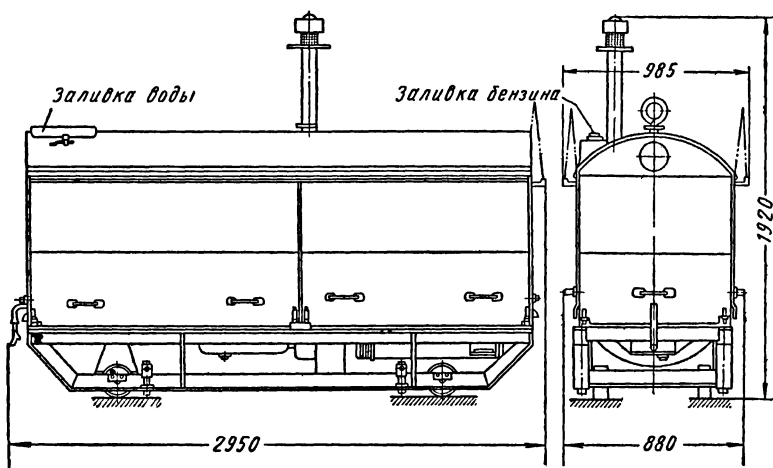
ным генератором напряжением 12 в, мощностью 150 квт.

Подробное устройство агрегата ПАС-400 и его двигателя приводится в проспекте «Агрегат типа ПАС-400».

Ранее завод «Электрик» выпускал по схеме, приведенной на фиг. 12, б, генераторы СМП-3. Они отличаются от генераторов в агрегатах ПАС-400 только формой главных полюсов. В полюсах сделаны вырезы несколько глубже высоты полюса с небольшим сдвигом в направлении вращения якоря. В узкой части сердечника полюса для получения большого насыщения имеется еще один дополнительный вырез снаружи. На двух полюсах размещена намагничивающая обмотка возбуждения, а на двух других полюсах вокруг более толстых частей сердечников размещена последовательная обмотка. Вследствие насыщения более тонких частей полюсов при холостом ходе, при нагрузке поток в них за счет реакции якоря почти не увеличивается. В более толстых частях полюсов при нагрузке размагничивание происходит за счет действия реакции якоря и ампер-витков последовательной обмотки. Падающая внешняя характеристика в генераторах СМП-3 получается за счет размагничивающего действия последовательной обмотки и реакции якоря.



Фиг. 18. Монтажная схема генератора в агрегате ПАС-400 (вид со стороны коллектора).



Фиг. 19. Общий вид агрегата ПАС-400.

Отечественной электропромышленностью выпускались по схеме, изображенной на фиг. 12, а, генераторы СМ-32. Это четырехполюсные генераторы, у которых обмотка независимого возбуждения размещена на двух полюсах, а последовательная — на двух других. Кроме того, выпускались генераторы СМ-1; СМ-2; СМ-3; СМК-3 и СМ-12 с добавлением параллельной обмотки возбуждения (питаемой от главных щеток), включенной согласно с независимой обмоткой. Вследствие наличия параллельной обмотки генераторы имеют более крутопадающую внешнюю характеристику. В генераторах СМК-3 последовательную обмотку можно отключать и генератор будет иметь жесткую внешнюю характеристику.

Генераторы с последовательной размагничивающей обмоткой возбуждения (за исключением генераторов с тремя обмотками возбуждения) имеют удовлетворительные динамические качества, τ (см. фиг. 11) порядка 0,01 сек., при верхних пределах тока, а время восстановления напряжения до $0,9 U_a$, около 1,1 сек. [14]. При уменьшении сварочного тока τ возрастает, становясь больше 0,05 сек. при малых токах. Динамический коэффициент короткого замыкания имеет величину 2—2,5 при верхних пределах тока и несколько увеличивается при уменьшении сварочного тока [14], [15]. Горение дуги при нижних пределах тока неустойчивое. При размещении намагничивающей и размагничивающей обмоток на разных полюсах динамические качества становятся лучшими (уменьшается взаимдукция между обмотками).

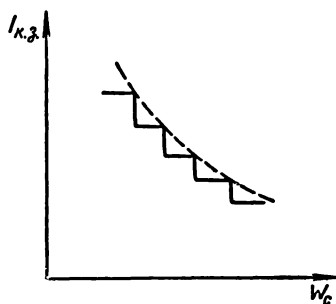
Генераторы с тремя обмотками возбуждения имеют плохие динамические качества: τ десятые доли секунды. Это объясняется тем, что величина τ в большой мере зависит от скорости возрастания магнитного потока параллельной обмотки, величина которого равна нулю при коротком замыкании (равно нулю напряжение на главных щетках). Магнитный поток параллельной обмотки, обладающей значительной постоянной времени, не может изменяться быстро на значительную величину.

Наличие возбудителя увеличивает вес и стоимость машин, усложняет их эксплуатацию. Генераторы с независимой намагничивающей обмоткой возбуждения имеют большое распространение за границей.

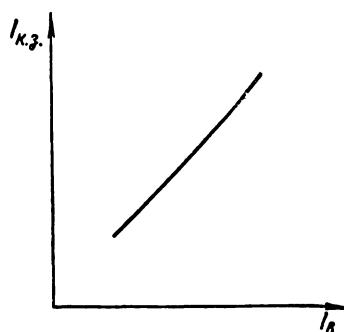
В некоторых генераторах, выпускаемых зарубежной промышленностью, намагничивающие и размагничивающие обмотки возбуждения размещаются на разных полюсах (например, в генераторах КВ завода Кьельберг в Германской Демократической Республике).

В генераторах с последовательной размагничивающей обмоткой ряд внешних характеристик получается за счет изменения числа витков последовательной обмотки возбуждения — изменением размагничивающих ампер-витков. Как следует из выражения (7), с увеличением W_c ток $I_{к.з}$ уменьшается.

На фиг. 20 изображена регулировочная характеристика при изменении W_c $I_{к.з} = f(W_c)$. Внешние характеристики при регулировании изменением W_c приведены на фиг. 9 (глава I, §2). Генераторы агрегатов ПАС-1000, ПС-400, АСД-3 и преобразователей САМ-400, ПС-500 имеют две ступени регулирования за счет изменения числа витков последовательной обмотки возбуждения. На клеммной доске генератора размещено две клеммы со знаком «+». Одна клемма со знаком «+» (левая)—для меньших сварочных



Фиг. 20. Регулировочная характеристика при изменении числа витков последовательной обмотки.



Фиг. 21. Регулировочная характеристика при изменении тока возбуждения намагничивающей обмотки.

токов (включены все витки последовательной обмотки); другая клемма со знаком «+» (правая) — для больших токов (включена часть витков последовательной обмотки). В генераторах преобразователей ПСО, в генераторах с независимым возбуждением фирмы «Hobart Brothers Company» (США), в генераторах с независимым возбуждением от полупроводникового выпрямителя КВ-375 (Франция) имеется ряд ступеней регулирования, получаемых изменением числа витков последовательной обмотки возбуждения. Переключение витков производится поворотом рукоятки, стрелка указателя перемещается по круглой шкале токов.

Плавное регулирование во всех генераторах с размагничивающей последовательной обмоткой возбуждения осуществляется реостатом в цепи намагничивающей обмотки (фиг. 12, 15, 18), изменяющим число намагничивающих ампер-витков. Согласно выражению (7), с увеличением I_a ток $I_{к.з}$ увеличивается. Регулировочная характеристика изображена на фиг. 21. Внешние характеристики при регулировании изменением величины тока I_a приведены на фиг. 10 (глава I, § 2). Регулирование производится поворотом круглой рукоятки регулировочного реостата, вмонтированного в корпус генератора. Вращение маховичка реостата

Таблица 1

Характеристики (основные данные), однопостовых сварочных агрегатов и преобразователей (генераторы с размагничивающей обмоткой возбуждения)

Показатели	Агрегаты и преобразователи					
	ПАС-100	ПАС-400	АСД-3	ПС-500	САМ-400	САМ-400
Номинальное рабочее напряжение в в	45	40	40	40	40	40
Номинальный режим работы	65	65	65	65	65	65
Допустимый рабочий ток в а	1000	500	500	500	500	500
Пределы регулирования тока в а	300—1200	120—600	120—600	120—600	120—600	120—600
Тип двигателя	Дизель	Бензиновый	Дизель	Асинхронный	Постоянного тока	Асинхронный
Мощность двигателя: в л. с.	150	65	60	28	42	32
Исполнение	Защищенное			Однокорпусное	Двухкорпусное	
Габариты агрегата (преобразователя) в мм:						
длина	3920	2 950	2820	1 400	1 980	1 760
ширина	1500	985	1100	770	650	740
высота	2100	1 920	1860	1 140	940	940
Вес в кг	4000	1 900	2500	950	1 630	1 450
Стоимость в руб.	—	13 000	—	6 400	18 500	17 500

Примечание. Данные взяты из проспектов и прейскуранта.

по часовой стрелке приводит к увеличению тока. На кожухе реостата укреплен указатель величины сварочного тока. Указатель тока имеет две шкалы, соответствующие двум ступеням грубого регулирования. Градуировка реостата произведена для номинального напряжения 40 в. В преобразователях фирмы «Hobart Brothers Company» (США) стрелка указателя при повороте рукоятки регулирующего реостата перемещается по круглой шкале напряжений холостого хода. Как указывалось в главе I, § 2, последнее неизбежно изменяется при изменении тока J_s . Регулировочные реостаты в преобразователях ПС-500 и агрегатах ПАС-

400 выполнены из константановой проволоки. Общее сопротивление реостата 5 *ом*. Максимальный ток 21 *а*. Комбинация двух способов позволяет получить более широкий диапазон регулирования без значительного изменения напряжения холостого хода (фиг. 13). (Сплошные характеристики соответствуют ступени больших токов, а пунктирные — ступени малых токов за счет изменения W_c).

В генераторах с тремя обмотками возбуждения, после регулирования тока реостатом в цепи независимой обмотки, реостатом в цепи параллельной обмотки устанавливается необходимое напряжение холостого хода (изменение числа витков последовательной обмотки не применяется).

У генераторов с последовательной размагничивающей обмоткой путем некоторой переделки могут быть получены жесткие и возрастающие внешние характеристики. В практике такая переделка производится, например, у генератора преобразователя ПС-500: в первом случае отключают всю последовательную обмотку, а во втором — четыре витка (из шести на полюс) последовательной обмотки, включая два витка согласно с намагничивающей обмоткой. При этом намагничивающую обмотку подключают к полупроводниковому выпрямителю с выходным напряжением 24 *в*.

Основные данные выпускаемых в настоящее время отечественных однопостовых агрегатов и преобразователей, укомплектованных генераторами с размагничивающей последовательной обмоткой возбуждения (за исключением ПСО), приведены в табл 1.

§ 5. ОДНОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С РАСЩЕПЛЕННЫМИ ПОЛЮСАМИ

Генератор с расщепленными полюсами — четырехполюсный. Чередование полюсов не соответствует чередованию в обычных электрических генераторах. Два соседних полюса — северные и представляют собой как бы один расщепленный полюс. Два других полюса — южные, так же представляют собой один расщепленный полюс. Поэтому генераторы и получили название генераторов с расщепленными полюсами. Несмотря на наличие четырех полюсов, генераторы в сущности двухполюсные.

Два противоположно расположенных полюса называются главными, они имеют вырезы, их обмотка состоит из большого числа витков. Между главными полюсами и якорем есть большой зазор. Вследствие всего этого главные полюсы сильно насыщены. Два других полюса, называемые поперечными, не насыщены.

Принципиальная электрическая схема генератора с расщепленными полюсами изображена на фиг. 22. Два главных щетки *a* и *b* расположены на нейтральной линии, перпендикулярной к оси результирующего потока. Два дополнительных полюса для улучшения коммутации также расположены на нейтральной

линии (на принципиальной электрической схеме—фиг. 22, для упрощения обмотка возбуждения дополнительных полюсов не показана).

Обмотка возбуждения главных полюсов (нерегулируемая) и поперечных полюсов (регулируемая) подключены к главной щетке a и дополнительной c . На щетках a и c напряжение при нагрузке мало изменяется, и они могут быть использованы для питания намагничивающих обмоток возбуждения. Генераторы с расщепленными полюсами — это генераторы с самовозбуждением.

Для удобства анализа явлений, происходящих при работе генератора, будем разлагать единый магнитный поток на два потока: главный Φ_z , создаваемый главными полюсами, и поперечный Φ_n , создаваемый поперечными полюсами. При холостом ходе магнитные потоки Φ_z и Φ_n создаются соответствующими ампервитками обмоток возбуждения. Напряжение U_{∂_0} на дуге при холостом ходе можно считать складывающимся из э. д. с. E_{ac_0} и э. д. с. E_{cb_0} :

$$U_{\partial_0} = E_{ac_0} + E_{cb_0} = Cn\Phi_z + Cn\Phi_n$$

или

$$U_{\partial_0} = \frac{Cn}{R_{м.з}} I_{нерег} W_z + \frac{Cn}{R_{м.п}} I_{рег} W_n, \quad (8)$$

где $R_{м.з}$ — магнитное сопротивление для потока Φ_z ;

$R_{м.п}$ — магнитное сопротивление для потока Φ_n ;

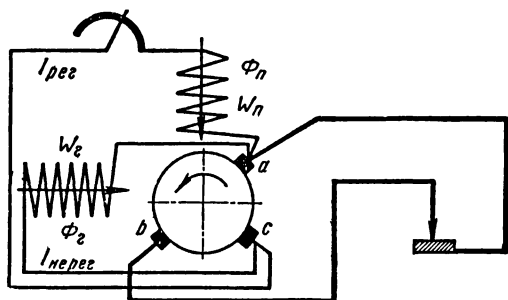
$I_{нерег}$ — ток в обмотке возбуждения главных полюсов;

$I_{рег}$ — ток в обмотке возбуждения поперечных полюсов;

W_z — число витков обмотки возбуждения главных полюсов;

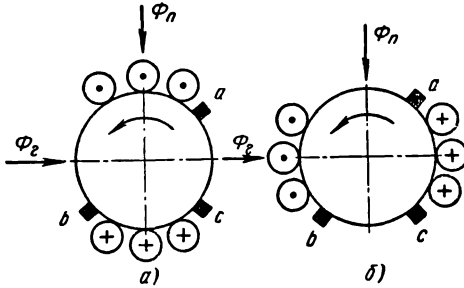
W_n — число витков обмотки возбуждения поперечных полюсов.

При нагрузке (горение дуги) ток в проводниках якоря создает поток реакции якоря. Ампер-витки реакции якоря можно расчленить на ампер-витки $IW_{я.подм}$, подмагничивающие главные полюсы, и ампер-витки $IW_{я.разм}$, размагничивающие поперечные полюсы (фиг. 23). Подмагничивающие ампер-витки $IW_{я.подм}$ при самостоятельном действии, согласно правилу буравчика, создали бы поток того же направления, что и поток главных



Фиг. 22. Принципиальная схема генератора с расщепленными полюсами.

полюсов (фиг. 23, а). В самом деле, поток главных полюсов при нагрузке увеличивается незначительно вследствие их насыщения при холостом ходе. Этим объясняется незначительное изменение напряжения на щетках *a* и *c*. Размагничивающие ампер-витки якоря $I W_{я. разм}$ при самостоятельном действии, согласно правилу буравчика, создали бы поток, направленный противоположно потоку поперечных полюсов (фиг. 23, б). В самом деле, ампер-витки $I_{я. разм}$ производят размагничивающее действие.



Фиг. 23. Ампер-витки реакции якоря:

а — подмагничивающие; б — размагничивающие.

Поток поперечных полюсов Φ по мере увеличения сварочного тока уменьшается до нуля, а затем изменяет направление. Соответственно э. д. с. E_{cb} уменьшается до нуля, а затем изменяет направление. Э. д. с. E_{ab} уменьшается при нагрузке по мере увеличения сварочного тока:

$$E_{ab} = E_{ac} + E_{cb}$$

или

$$E_{ab} = \frac{Cn}{R_{м. з}} (I_{нерег} W_z + I W_{я. подм}) + \frac{Cn}{R_{м. н}} (I_{рег} W_n - I W_{я. разм}).$$

Напряжение на дуге при нагрузке:

$$U_{\partial} = \frac{Cn}{R_{м. з}} (I_{нерег} W_z + I W_{я. подм}) + \frac{Cn}{R_{м. н}} (I_{рег} W_n - I W_{я. разм}) - I r, \quad (9)$$

где r — сопротивление якоря и соединительных проводов.

Падающая внешняя характеристика в генераторах с расщепленными полюсами получается за счет размагничивающего действия части ампер-витков реакции якоря (увеличения $I W_{я. разм}$). При коротком замыкании выражение (9) примет вид

$$0 = \frac{Cn}{R_{м. з}} (I_{нерег} W_z + I_{к. з} W_{я. подм}) + \frac{Cn}{R_{м. н}} (I_{рег} W_n - I_{к. з} W_{я. разм}) - I_{к. з} r. \quad (10)$$

Из выражения (10) определяется ток короткого замыкания

$$I_{к. з} = \frac{\frac{Cn}{R_{м. з}} I_{нерег} W_z + \frac{Cn}{R_{м. н}} I_{рег} W_n}{\frac{Cn}{R_{м. н}} W_{я. разм} - \frac{Cn}{R_{м. з}} W_{я. подм} + r}. \quad (11)$$

Необходимо, чтобы генератор вращался в определенном направлении (согласно стрелке, выбитой со стороны коллектора). При изменении направления вращения ампер-витки реакции якоря будут размагничивать главные полюсы и подмагничивать поперечные. Подмагничивающее и размагничивающее действия реакции якоря будут примерно взаимно компенсироваться. Внешняя характеристика будет жесткой. Для получения несколько возрастающей внешней характеристики нужно изменить направление вращения и обмотки возбуждения подключить к постороннему источнику, например к выпрямителю с выходным напряжением 24 в.

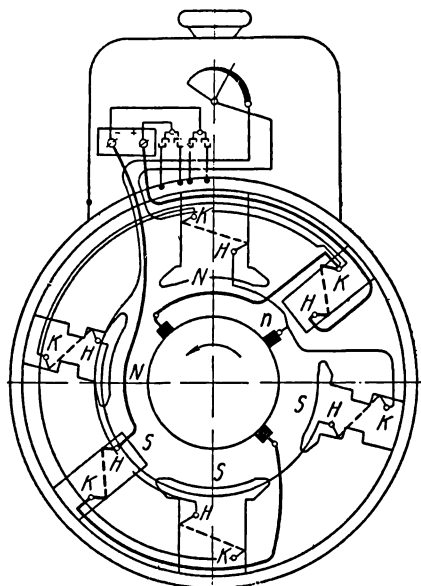
По схеме, изображенной на фиг. 22, отечественной электропромышленностью выпускаются генераторы, которыми комплектуются агрегаты САК-2М, АСБ-300 с двигателями внутреннего сгорания и однокорпусные преобразователи ПС-300-М.

Преобразователи ПС-300-М выпускаются серийно. Монтажная схема генератора в преобразователе ПС-300-М изображена на фиг. 24, оси главных и поперечных полюсов сдвинуты между собой на 78° .

В генераторе преобразователя ПС-300-М катушки нерегулируемой обмотки возбуждения главных полюсов состоят из 400 витков (провод ПЭЛБО или ПБД диаметром 1,56 мм), катушки регулируемой обмотки возбуждения на поперечных полюсах состоят из 320 витков (провод ПБД диаметром 1,81 мм). Катушки обмотки дополнительных полюсов состоят из 21 витка (провод сечения $3,05 \times 15,6$ мм).

Каждая из двух главных щеток состоит из пяти щеток марки ЭГ-4 размерами 20×20 мм. Дополнительная щетка состоит из двух щеток марки Г-2 размерами 10×20 мм.

Двигатель преобразователя ПС-300-М трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором, рассчитан на непосредственный пуск от сети напряжением 380 или 220 в. Пуск двигателя осуществляется пакетным выключателем, смонтированным на корпусе преобразователя. Преобразователи ПС-300-М выпускаются с соединением обмоток звездой для подключения в сеть с напряжением

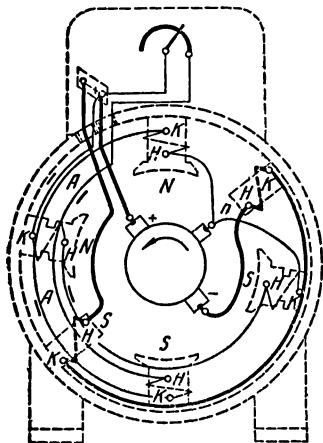


Фиг. 24. Монтажная схема генератора в преобразователе ПС-300-М (вид со стороны коллектора).

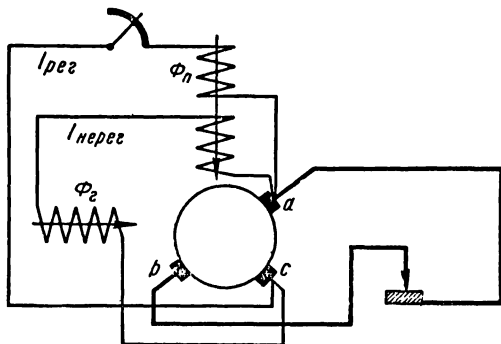
380 в. Для включения в сеть напряжением 220 в необходимо разъединить звезду и произвести нужные пересоединения на выключателе — переключить на треугольник.

Устройство преобразователя ПС-300-М подробно описано в проспекте «Сварочный преобразователь типа ПС-300-М».

Серийно выпускаются агрегаты САК-2М. Монтажная схема генератора в агрегате САК-2М изображена на фиг. 25. В генераторе агрегата САК-2М катушки нерегулируемой обмотки возбуждения главных полюсов состоят из 330



Фиг. 25. Монтажная схема генератора в агрегате САК-2М (вид со стороны коллектора).



Фиг. 26. Схема генератора с нерегулируемой обмоткой возбуждения, размещенной на четырех полюсах.

витков (провод ПЭЛБО диаметром 1,56 мм), катушки регулируемой обмотки возбуждения поперечных полюсов состоят из 300 витков (провод ПБ диаметром 1,81 мм). Катушки обмотки дополнительных полюсов и щетки такие же, как в генераторе преобразователя ПС-300-М.

В агрегате САК-2М установлен двигатель типа ГАЗ-МК. Топливо-автомобильный бензин с октановым числом на менее 57. Постоянство числа оборотов поддерживается автоматически центробежным регулятором оборотов. Охлаждение двигателя водяное. Подробное описание устройства двигателя дано в инструкции завода ГАЗ.

Нашей отечественной электропромышленностью выпускаются еще генераторы с расщепленными полюсами, у которых нерегулируемая обмотка возбуждения размещена на всех четырех полюсах (главных и поперечных), а регулируемая обмотка возбуждения — на поперечных полюсах.

Принципиальная электрическая схема такого генератора изображена на фиг. 26. Генераторами, выполненными по этой схеме, укомплектованы агрегаты САК-2, однокорпусные преобразователи

ПС-300, преобразователи САМ-250 (состоящие из генератора и двигателя постоянного тока, соединенных эластичной муфтой). Выпускались агрегаты САК-2 и преобразователи СУГ-2б, СУГ-2р, укомплектованные генераторами, выполненными по этой схеме.

Ранее выпускались генераторы с расщепленными полюсами СМГ-2 и СМГ-2а, у которых нерегулируемая обмотка возбуждения главных полюсов и регулируемая обмотка возбуждения поперечных полюсов подключены к щеткам *a* и *c*, а нерегулируемая обмотка поперечных полюсов подключена к щеткам *a* и *b*. Внешние характеристики генераторов СМГ-2 и СМГ-2а более крутопадающие за счет параллельной обмотки возбуждения. Генераторы с расщепленными полюсами первых выпусков назывались СМГ-1. Они имели только нерегулируемую обмотку возбуждения, расположенную на всех четырех основных полюсах, а главные полюсы не имели вырезов, насыщение главных полюсов достигалось за счет большого числа витков в их обмотке возбуждения.

Динамические качества генераторов с расщепленными полюсами, за исключением генераторов СМГ-2 и СМГ-2а, вполне удовлетворительные: τ около 0,01 сек. при верхних пределах токов, а время восстановления напряжения до $0,9 U_0$ приблизительно 0,6 сек. При уменьшении сварочного тока τ возрастает, становясь примерно 0,02 сек. при малых токах [2]. Динамический коэффициент короткого замыкания равен 1,5—2 (мало изменяется при изменении тока) [2], [14], [15]. Вследствие отсутствия возбуждителя генераторы с расщепленными полюсами имеют меньшие вес и стоимость, их обслуживание при эксплуатации проще, чем генераторов с независимой намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками возбуждения при равной мощности генераторов.

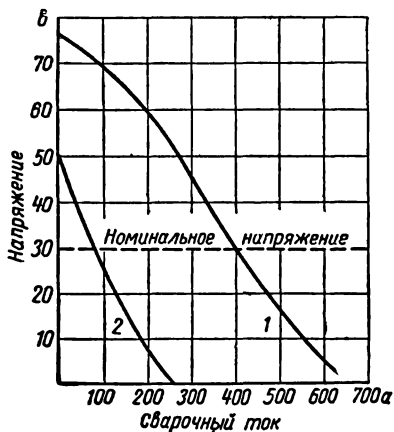
Генераторы с расщепленными полюсами распространены также за границей (Англия и другие страны).

Плавное регулирование сварочного тока во всех генераторах с расщепленными полюсами осуществляется изменением тока $I_{рег}$ с помощью реостата (фиг. 22, 24—26) в регулируемой обмотке возбуждения поперечных полюсов, т. е. изменением намагничивающих ампер-витков. Согласно выражению (11) с увеличением тока $I_{рег}$ ток $I_{к.с}$ увеличивается.

Регулировочная характеристика $I = f(I_{рег})$ имеет вид, аналогичный характеристике, изображенной на фиг. 21.

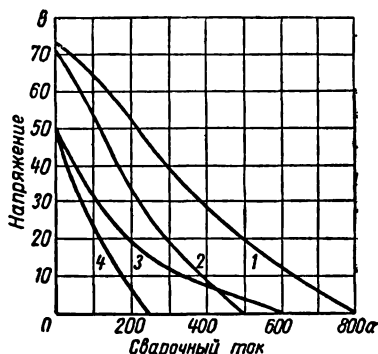
Внешние характеристики генератора в преобразователе ПС-300-М при регулировании изменением величины тока $I_{рег}$ изображены на фиг. 27. Напряжение холостого хода, как указывалось в главе I (§ 2), при таком регулировании изменяется неблагоприятно. В корпусе преобразователя или генератора вмонтирован реостат, который включен в цепь регулируемой

обмотки возбуждения поперечных полюсов. Регулирование производится поворотом круглой рукоятки регулировочного реостата. Поворачивание маховичка реостата по часовой стрелке приводит к увеличению тока. На кожухе реостата укреплена шкала с делениями в амперах. Градуировка шкалы соответствует номинальному напряжению 30 в.



Фиг. 27. Внешние характеристики генератора в преобразователе ПС-300-М:

1 — максимальный ток $I_{рег}$; 2 — минимальный ток $I_{рег}$.



Фиг. 28. Внешние характеристики генератора в преобразователе ПС-300:

1 — максимальный ток $I_{рег}$, щетки сдвинуты против вращения; 2 — максимальный ток $I_{рег}$, щетки сдвинуты по вращению; 3 — минимальный ток $I_{рег}$, щетки сдвинуты против вращения; 4 — минимальный ток $I_{рег}$, щетки сдвинуты по вращению.

В некоторых генераторах дополнительно производится регулирование сдвигом щеток по коллектору — изменением размагничивающих ампер-витков. При сдвиге траверсы со щетками по направлению вращения (ось главных щеток смещается от нейтральной линии на небольшой угол) число витков $W_{я. разм}$ станет больше, а число витков $W_{я. подм}$ меньше. Согласно выражению (11), при сдвиге щеток по вращению ток $I_{к.с}$ уменьшится. При сдвиге щеток против вращения число витков $W_{я. разм}$ станет меньше, а число витков $W_{я. подм}$ больше и ток увеличится. Внешние характеристики генератора в преобразователе ПС-300 при регулировании током $I_{рег}$ и сдвигом щеток приведены на фиг. 28. Напряжение холостого хода при регулировании сдвигом щеток не изменяется.

Сдвиг траверсы со щетками осуществляется при помощи рычажной передачи. В крышке со стороны коллектора сделаны три отверстия для болта рычага и два упора. Траверса со щетками может быть установлена в трех положениях (три ступени регулирования). Упоры препятствуют значительному сдвигу щеток от

нейтральной линии. Сдвиг ухудшает коммутацию, создает усиленное искрение. Частое передвижение щеток расшатывает щеточный механизм, вызывает неплотное прилегание щеток к коллектору, приводит к искрению под щетками и обгоранию пластин коллектора.

В генераторах, которыми комплектуются преобразователи ПС-300-М, агрегаты САК-2М и АСБ-300, отказались от регулирования сдвигом щеток. Применяют регулирование только остатком в цепи регулируемой обмотки возбуждения попереч-

Таблица 2

Характеристики (основные данные) однопостовых агрегатов и преобразователей, укомплектованных генераторами с расщепленными полюсами

Показатели	Агрегаты и преобразователи					
	САК-2М	САК-2Г	АСБ-300	ПС-300-М	ПС-300	САМ-250
Номинальное рабочее напряжение в <i>в</i>	30	30	30	30—35	30—35	30
Номинальный режим работы ПР в %	65	65	65	65	65	50
Допустимый рабочий ток в <i>а</i>	300	300	300	340	340	320
Пределы регулирования тока в <i>а</i>	75—340	45—320	75—340	80—380	80—400	45—320
Тип двигателя	Бензиновый			Асинхронный		Постоянного тока
Мощность двигателя: в л. с.	30	30	30	14	14	
Исполнение	Защищенное			Однокорпусное		Двухкорпусное
Габариты агрегата (преобразователя) в мм:						
длина	2080	2120	2100	1200	1285	1610
ширина	810	820	900	755	700	550
высота	1730	1750	1730	1180	1180	920
Вес в кг	900	900	—	570	620	860
Стоимость в руб.	3925	3925	—	3000	3000	11100

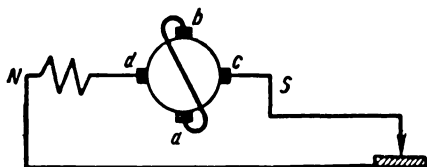
Примечание. Данные взяты из проспектов и прейскуранта.

ных полюсов, допуская изменение напряжения холостого хода в пределах 50—80 в. Реостат состоит из трех роликов, обмотанных константановым проводом. Общее сопротивление реостата 13,9 ом. Максимальный ток в реостате 12 а.

Основные данные отечественных однопостовых агрегатов и преобразователей, укомплектованных генераторами с расщепленными полюсами, приведены в табл. 2.

§ 6. ОДНОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ

Система с поперечным полем была применена в первом сварочном генераторе специальной конструкции [5]. Магнитная система генератора поперечного поля значительно отличается от магнитной системы обычных электрических генераторов. Это — генератор двухполюсный, сердечники полюсов и станина небольшого сечения, полюсные башмаки охватывают почти весь якорь, дополнительные полюсы для улучшения коммутации главных щеток размещены в центре главных полюсов.



Фиг. 29. Принципиальная электрическая схема генератора поперечного поля.

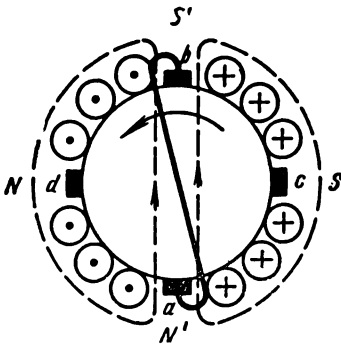
На фиг. 29 изображена принципиальная электрическая схема генератора поперечного поля. Щетки *a* и *b* замкнуты между собой. Щетки *c* и *d*

главные, от них подается питание к сварочной дуге. Генератор имеет только последовательную обмотку возбуждения. Генератор возбуждается за счет остаточного магнетизма, который в генераторах поперечного поля довольно значителен. При нагрузке последовательная обмотка возбуждения увеличивает магнитный поток полюсов (включена согласно). Через якорь замыкается продольный поток, который при вращении якоря индуцирует в его проводниках э. д. с.

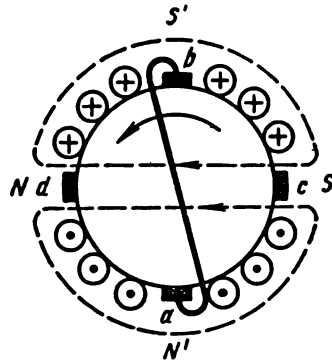
Направления э. д. с. определяются по правилу правой руки (фиг. 30). Обозначим через E_{ab} сумму э. д. с. параллельной ветви обмотки якоря (E_{ab} может быть замерена на щетках *a* и *b* при снятом проводнике, соединяющем эти щетки). Проводник, соединяя щетки *a* и *b*, замыкает цепь якоря как при нагрузке, так и при холостом ходе. Вследствие этого ток I_{ab} в проводниках якоря создает магнитное поле, направление силовых линий которого определяются по правилу буравчика (фиг. 30). Это поле называют поперечными $\Phi_{я. попер}$. Оно неподвижно в пространстве и значительно больше продольного, так как создается довольно большим током I_{ab} и замыкается через якорь и массивные

полюсные башмаки. Образуются как бы поперечные полюса N' и S' . По правилу правой руки определяются направления э. д. с., которые индуцируются в проводниках якоря поперечным полем (фиг. 31).

Обозначим через E_{cd} сумму э. д. с. в параллельной ветви обмотки якоря (E_{cd} может быть замерена на щетках c и d при разомкнутой внешней цепи генератора). E_{cd} значительно больше E_{ab} . Если снять проводник, соединяющий между собой щетки a и b , то не будет поперечного поля и E_{cd} будет равна нулю.



Фиг. 30. Распределение силовых линий поперечного магнитного потока.



Фиг. 31. Распределение силовых линий продольного магнитного потока реакции якоря.

При замыкании главной цепи генератора ток нагрузки I создаст магнитное поле, направление силовых линий которого определяется по правилу буравчика (фиг. 31). Это поле называют продольным полем реакции якоря $\Phi_{я. прод}$. Как видно из фиг. 31, направление $\Phi_{я. прод}$ в якоре противоположно потоку полюсов. Результирующий продольный поток в якоре при нагрузке будет равен $\Phi_{прод} = \Phi - \Phi_{я. прод}$, где Φ — поток полюсов, замыкающийся через якорь. Часть потока полюсов ответвляется через массивные полюсные башмаки, минуя якорь.

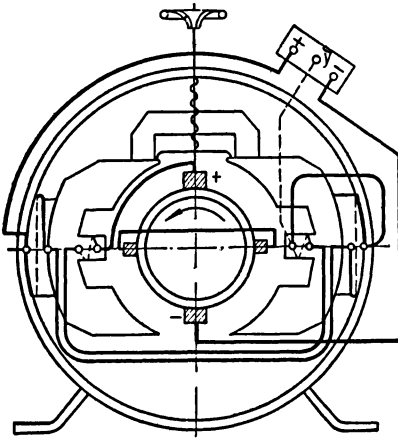
E_{cd} индуцируется потоком $\Phi_{я. попер}$, но в конечном счете величина E_{cd} зависит от величины потока $\Phi_{прод}$. Следовательно, напряжение на дуге U_d также, в конечном счете, зависит от величины $\Phi_{прод}$.

Потоки Φ и $\Phi_{я. прод}$ увеличиваются по мере возрастания сварочного тока. Ампер-витки последовательной обмотки возбуждения больше ампер-витков якоря, вследствие этого сначала $\Phi > \Phi_{я. прод}$ и напряжение U_d увеличивается. Однако полюса быстро насыщаются (вследствие их малого сечения) и поток Φ больше не увеличивается. Поток $\Phi_{я. прод}$ с дальнейшим возрастанием сварочного тока продолжает увеличиваться ($\Phi_{я. прод}$ замыкается

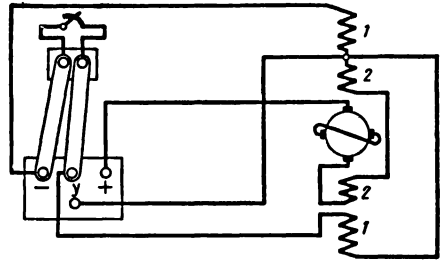
через якорь и массивные полюсные башмаки, в которых насыщение не наступает), $\Phi_{\text{прод}}$ уменьшается и напряжение U_d начинает резко падать.

Внешняя характеристика этого генератора крутопадающая вследствие размагничивающего действия продольного потока реакции якоря. Некоторое увеличение напряжения при переходе от холостого хода к горению дуги благоприятно для зажигания дуги.

При холостом ходе поток, замыкающийся через якорь, создается остаточным магнетизмом полюсов.



Фиг. 32. Магнитная система и электрическая схема генератора в преобразователе СУП-1.



Фиг. 33. Электрическая схема генератора «Praga 500»:

1 — последовательная обмотка возбуждения;
2 — обмотка возбуждения дополнительных полюсов.

Якорь генератора поперечного поля можно вращать в любую сторону. При изменении направления вращения изменяется направление поперечного потока. Одновременное изменение направления вращения и поперечного потока приводит к тому, что поток $\Phi_{\text{я.прод}}$ сохраняет прежнее направление.

Нашей отечественной электропромышленностью выпускались однокорпусные преобразователи СУП-0, СУП-1 и СУП-2, укомплектованные генераторами поперечного поля на 100, 185 и 300 а. На фиг. 32 изображена магнитная система и электрическая схема генератора в преобразователе СУП-1.

Генераторы поперечного поля выпускались и выпускаются за границей. Например, в Чехословакии выпускаются генераторы поперечного поля «Praga 500», имеющие электрическую схему, изображенную на фиг. 33.

Генераторы поперечного поля обладают хорошими динамическими качествами вследствие отсутствия обмоток возбуждения с большими постоянными времени [2], [17]: τ около 0,02 сек., мало изменяется при изменении нагрузки, динамический

коэффициент короткого замыкания примерно 1,2 при верхних пределах тока и повышается до 1,5 при нижних пределах тока.

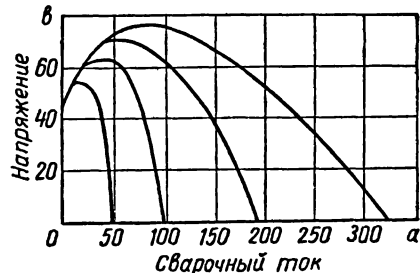
Недостатком генераторов поперечного поля является их склонность к размагничиванию, последнее происходит при перегрузке и длительном замыкании. Поток $\Phi_{\text{я.прод}}$ может стать равным потоку полюсов Φ , в этом случае произойдет полная ликвидация остаточного магнетизма и генератор не будет возбуждаться вновь. Чтобы не происходило размагничивания, число намагничивающих ампер-витков должно быть всегда больше, чем размагничивающих [17].

В практике применяются следующие меры для создания потока остаточного магнетизма. При неполном размагничивании кратковременное замыкание после холостого хода приведет к появлению небольшого тока в последовательной обмотке возбуждения и намагничиванию полюсов. При полном размагничивании необходимо к последовательной обмотке временно подвести напряжение от постороннего источника таким образом, чтобы обеспечивалось создание той же полярности.

Ступенчатое регулирование у генераторов поперечного поля осуществляется изменением числа витков последовательной обмотки возбуждения W_c . При большем числе витков W_c большие потоки Φ и $\Phi_{\text{прод}}$ и больше ток $I_{\text{к.з.}}$. Внешние характеристики при изменении числа витков последовательной обмотки возбуждения изображены на фиг. 34.

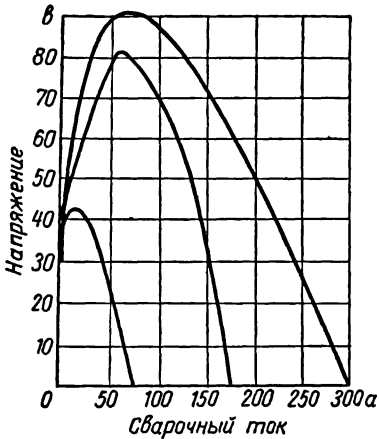
Преобразователь СУП-2 имеет две ступени регулирования за счет изменения числа витков W_c . На клеммной доске генератора имеется две клеммы со знаками «+». Одна клемма — для меньших сварочных токов (включена часть витков W_c), другая клемма — для больших сварочных токов (включены все витки W_c). Регулирование изменением числа витков W_c применяется в генераторах поперечного поля некоторых иностранных фирм.

Один из способов плавного регулирования в генераторах поперечного поля — изменение магнитного сопротивления. В преобразователях СУП-1 и СУП-2 изменение магнитного сопротивления производится передвижкой магнитного шунта с помощью рукоятки, выведенной наружу корпуса (фиг. 32). При увеличении зазора между магнитным шунтом и полюсами меньшая часть потока полюсов ответвляется в магнитный шунт и большая его



Фиг. 34. Внешние характеристики генератора при изменении числа витков последовательной обмотки.

часть замыкается через якорь. Поток Φ увеличивается. Одновременно поток $\Phi_{я. прод}$ уменьшается (так как на его пути увеличивается магнитное сопротивление). Поток $\Phi_{прод}$ и ток $I_{к.э}$ увеличиваются. Внешние характеристики при регулировании магнитным шунтом изображены на фиг. 35.



Фиг. 35. Внешние характеристики генератора в преобразователе СУП-1 при регулировании магнитным шунтом.

Регулирование изменением магнитного сопротивления полюсов производится в генераторах поперечного поля некоторых иностранных фирм и в преобразователях СУП-0.

В некоторых генераторах поперечного поля иностранных фирм регулирование осуществляется изменением активного сопротивления цепи якоря. Такое регулирование, например, в генераторах «Praga 500». Последовательная обмотка возбуждения этих генераторов выполняется в виде двух параллельных ветвей, в одну из ветвей включается регулировочный реостат (фиг. 33).

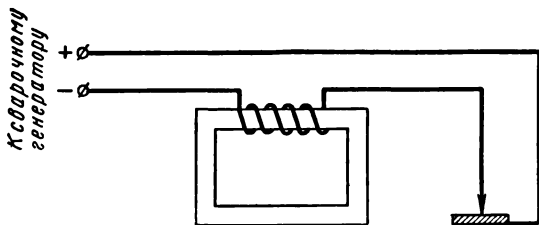
Этот способ регулирования сварочного тока неэкономичен, так как вследствие больших тепловых потерь в реостате снижается коэффициент полезного действия генератора.

§ 7. СТАБИЛИЗАТОРЫ

В цепь генераторов постоянного тока, обладающих плохими динамическими качествами, включаются стабилизаторы. Их назначение заключается в повышении устойчивости горения дуги постоянного тока [2], [5]. Стабилизатор — это индуктивная катушка из толстого медного провода со стальным замкнутым сердечником. Схема стабилизатора изображена на фиг. 36. Включается стабилизатор последовательно со сварочной дугой.

При включении стабилизатора увеличивается индуктивность и постоянная времени сварочного контура ($T_{св} = \frac{L_{св}}{r_{св}}$) и замедляется изменение тока в сварочной цепи. Например, при переходе от холостого хода к короткому замыканию нарастание тока настолько замедляется, что к моменту нарастания тока до величины $I_{к.э. макс}$ (глава I, § 3) э. д. с. генератора успевает значительно уменьшиться по сравнению с ее значением при холостом ходе. Динамический коэффициент короткого замыкания при включенном стабилизаторе имеет меньшую величину. При переходе от короткого

замыкания к горению дуги, вследствие увеличенной индуктивности сварочного контура, э. д. с. самоиндукции последнего значительно больше. Обеспечивается быстрое возникновение дуги и ее поддержание во время нарастания напряжения до необходимого значения (глава I, § 3).



Фиг. 36. Схема стабилизатора.

Сварочная дуга постоянного тока при включенном стабилизаторе горит более устойчиво. Однако стабилизатор не уменьшает величины τ , и при очень плохих динамических качествах генератора горение дуги все же неустойчиво.

§ 8. МНОГОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И ПИТАНИЕ ГРУППЫ СВАРОЧНЫХ ПОСТОВ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ОТ ОБЩИХ ШИН

Многопостовые генераторы постоянного тока имеют две обмотки возбуждения: параллельную и последовательную согласного включения. От многопостового сварочного генератора напряжение подводится к шинам, к которым подключается группа сварочных постов.

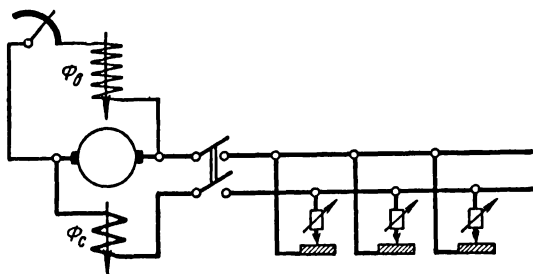
Многопостовой генератор обладает жесткой внешней характеристикой. Напряжение на шинах можно считать постоянным, не зависящим от нагрузки. Для получения падающих внешних характеристик на сварочных постах последовательно с дугой включаются балластные реостаты.

Схема питания группы сварочных постов от многопостового генератора изображена на фиг. 37.

При холостом ходе напряжение на электродах U_{∂} равно напряжению на шинах U . При нагрузке напряжение U , подводимое к посту, распределяется между дугой и омическим сопротивлением балластного реостата. Внешние характеристики $U=f_1(I)$ и $U_{\partial}=f_2(I)$ на зажимах сварочного поста изображены на фиг. 38. При токе I_1 отрезок $\overline{ab} = U_{\partial}$, отрезок $\overline{b\delta} = Ir_{\delta.p}$ и отрезок $\overline{a\delta} = U$.

$$U = U_{\partial} + Ir_{\delta.p}, \quad (12)$$

где $r_{\delta.p}$ — омическое сопротивление балластного реостата.



Фиг. 37. Схема многопостовой установки постоянного тока.

Из выражения (12):

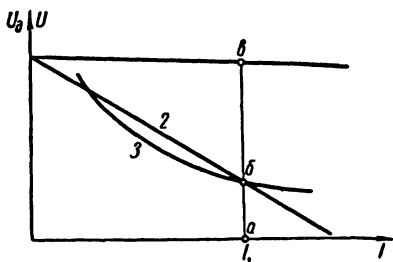
$$U_{\theta} = U - I r_{\theta. p}; \quad (13)$$

при коротком замыкании выражение (13) примет вид

$$0 = U - I_{к.з} r_{\theta. p}. \quad (14)$$

При коротком замыкании потеря напряжения в балластном реостате равна напряжению на шинах. Из выражения (14)

$$I_{к.з} = \frac{U}{r_{\theta. p}} \quad (15)$$



Фиг. 38. К доказательству получения падающей внешней характеристики:

1 — $U = f(I)$ для многопостового генератора; 2 — внешняя характеристика поста; 3 — вольтамперная характеристика дуги.

Продолжительный ток, допустимый из условий нагрева для многопостового генератора [2], [18], равен

$$I_n = knI_n, \quad (16)$$

где I_n — номинальный ток генератора;

n — количество постов, подключенных к генератору;

I_n — средний ток поста;

k — коэффициент одновременности работы постов.

Коэффициент k учитывает, что никогда время горения дуг и пауз на разных постах не совпадает. В. П. Никитин рекомендует принимать $k = 0,6$ [2].

Из выражения (16) количество постов, которое можно подключить к многопостовому генератору, определяется так:

$$n = \frac{I_n}{I_n k}. \quad (17)$$

Коэффициент полезного действия многопостовой установки постоянного тока может быть представлен в следующем виде:

$$\eta = \eta_z \eta_d \eta_n, \quad (18)$$

где η_z — к. п. д. генератора;
 η_d — к. п. д. двигателя;
 η_n — к. п. д. поста.

Многопостовая система питания на постоянном токе по сравнению с однопостовой имеет ряд преимуществ.

1. Уменьшается установленная мощность оборудования и единовременные затраты на оборудование в расчете на один пост. Единовременные затраты на оборудование на один пост при многопостовой системе питания составляют 50—75% по сравнению с системой питания постов от однопостового оборудования [19].

2. Уменьшаются расходы на амортизацию, текущее обслуживание и ремонт оборудования в расчете на один пост.

3. Оборудование при правильном его выборе и эксплуатации используется на полную мощность и не работает вхолостую. Средняя же загрузка однопостового оборудования 0,5 — 0,75 от его номинальной мощности [19], и часто оно работает вхолостую.

4. Уменьшается производственная площадь, занятая оборудованием.

Недостатком многопостовой системы питания постов постоянным током по сравнению с однопостовой является значительный расход энергии в балластных реостатах и связанное с этим снижение к. п. д. установки. Коэффициент полезного действия многопостовой установки имеет величину 0,25—0,43, а однопостовых преобразователей 0,3—0,6.

Все же многопостовая система питания постов постоянным током становится экономичнее однопостовой при большом количестве постов, малом ПР и недогрузке однопостового оборудования [18], [20]. К общим шинам могут быть подключены один или несколько многопостовых генераторов, соединенных параллельно. Следует учесть, что при однопостовом оборудовании, удельный расход электроэнергии на килограмм наплавленного металла возрастает с уменьшением ПР%, а при многопостовой установке не зависит от ПР% [18]. Кроме того, нужно иметь в виду, что средневзвешенный (годовой) к. п. д. многопостовой установки

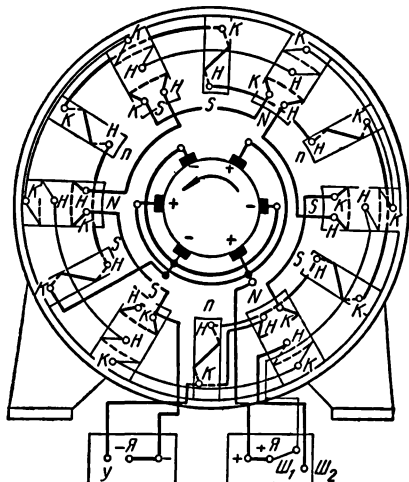
$$\eta_{\text{сод}} = \frac{\text{полезная энергия}}{\text{полезная энергия} + \text{потери энергии}}$$

при правильной эксплуатации установки немного меньше средневзвешенного к. п. д. однопостовой установки, учитывая недогрузку последней и ее работу вхолостую.

При понижении напряжения на шинах с 60 до 35—40 в удельный расход электроэнергии на килограмм наплавленного металла

и к. п. д. многопостовой установки и однопостовой становится соизмеримыми [18], [21], [22].

Применение питания постов постоянным током от общих шин при напряжении 35—40 в экономичнее питания постов от однопостовых генераторов. В промышленности США имеют широкое применение многопостовые сварочные генераторы постоянного тока с напряжением 40 в [18], [23].



Фиг. 39. Монтажная схема генератора в преобразователе ПСМ-1000.

образователи ПСМ-1000, состоящие из асинхронного двигателя и многопостового генератора защищенного типа с самовентиляцией. Воздух засасывается с двух сторон через окна в подшипниковых щитах и выбрасывается через вентиляционные отверстия в корпусе между генератором и двигателем. Генератор имеет шесть главных и шесть дополнительных полюсов. На клеммной доске генератора, кроме клемм со знаком «+» и «—», есть третья клемма, обозначенная *y* для присоединения уравнительного провода при параллельной работе (фиг. 39). Напряжение генератора регулируется реостатом в цепи параллельной обмотки.

Преобразователь ПСМ-1000 имеет следующие данные:

Номинальный ток генератора в а	10 00
Напряжение генератора в в	60
Габариты преобразователя в мм:	
длина	14 70
ширина	865
высота	910
Стоимость в руб.	13 250

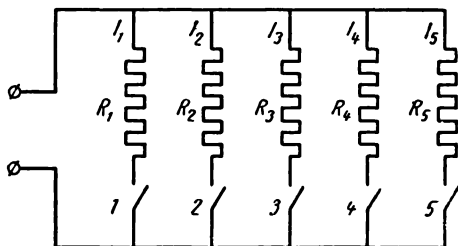
Для повышения устойчивости горения дуги при напряжении холостого хода 35—40 в включают на постах последовательно с дугой стабилизаторы [5], [21]. За границей для повышения устойчивости горения дуги при напряжении на шинах 35—40 в используются балластные реостаты, являющиеся одновременно стабилизаторами, а также применяется наложение переменного тока низкой или высокой частоты на дугу постоянного тока [5], [18], [21].

В настоящее время нашей электропромышленностью выпускаются однокорпусные пре-

Двигатель преобразователя ПСМ-1000 (трехфазный, асинхронный с короткозамкнутым ротором, мощностью 75 кВт, 1470 об/мин) рассчитан на непосредственный пуск от сети напряжением 380 или 220 в. Все шесть концов обмотки статора двигателя выведены на доску зажимов, что дает возможность включения обмотки звездой или треугольником, в зависимости от напряжения сети, а также пуска двигателя переключением со звезды на треугольник.

В комплект преобразователя ПСМ-1000 входят шесть балластных реостатов РБ-300.

Раньше нашей промышленностью выпускались многопостовые преобразователи СМГ-3, СМГ-4 и СМГ-5 на токи 500, 1000 и 1500 а в двухкорпусном исполнении с балластными реостатами ПНС-200.



Фиг. 40. Схема реостата РБ-300.

Многопостовые сварочные преобразователи имеют распространение за границей (ГДР; США и др.).

Регулирование сварочного тока на постах осуществляется изменением сопротивления балластного реостата [выражение (15)]. Балластные реостаты бывают с рубильниками и со скользящими контактами.

Наши отечественные реостаты с рубильниками.

На фиг. 40 изображена схема реостата РБ-300. Каждая из пяти параллельных ветвей реостата состоит из нескольких элементов в виде рамок, намотанных из константана или другого материала высокого сопротивления. В табл. 3 приведены значения сопротивлений ступеней и величины токов ступеней в балластном реостате РБ-300.

Таблица 3

Характеристика балластного реостата РБ-300

Ступени	Сопротивление в ом	Ток в а	Ступени	Сопротивление в ом	Ток в а
1	2	15	4	0,4	75
2	1	30	5	0,25	120
3	0,5	60			

Замыкая несколько рубильников, получаем ток, равный сумме токов соответствующих ступеней. При замыкании рубильника 1 (фиг. 40) получаем наименьший ток, а при замыкании всех рубильников — наибольший ток. Пределы регулирования тока поста

при напряжении на шинах 60 в и напряжении дуги 30 в составляют 15—300 а. Ток можно изменять через каждые 15 а.

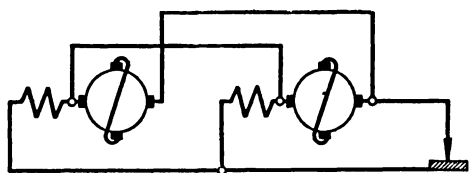
Реостат РБ-300 — переносного типа, для удобства переноски он снабжен ручками, вес реостата 35 кг, стоимость 425 руб.

Балластные реостаты со скользящими контактами имеют применение за границей.

В практике сварочные преобразователи ПС-500 используются с некоторой переделкой в качестве многопостовых на 3—4 поста при сварке малыми токами (глава II, § 4), генератор после переделки имеет жесткую внешнюю характеристику. На постах включаются балластные реостаты, данные о которых приводятся в статье С. П. Россиева [24].

§ 9. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СВАРОЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сварочные генераторы включаются на параллельную работу, если мощности одного генератора недостаточно. Для подключения генераторов на параллельную работу нужно выполнить следующие условия:



Фиг. 41. Схема параллельной работы двух генераторов поперечного поля.

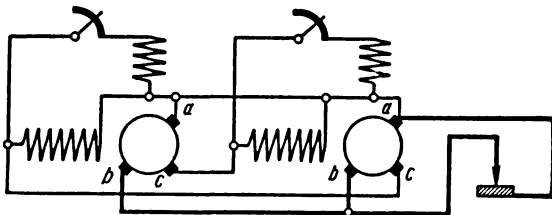
1. Во избежание появления уравнительного тока генераторы должны иметь одинаковые напряжения холостого хода и соединяться одноименными зажимами.

2. Чтобы обеспечить одинаковую загрузку генераторов следует подключать параллельно генераторы одинакового типа, мощности, с одинаковыми внешними характеристиками. Для этого генераторы нужно установить на одинаковые ступени регулирования. В процессе регулирования рукоятки регулирующих устройств нужно поворачивать на одинаковое число оборотов.

При параллельной работе генераторов с последовательными обмотками возбуждения согласного включения (многопостовых и поперечного поля) клеммы *у* на щитках генераторов соединяются между собой толстым «уравнительным» проводом (фиг. 41). Без уравнительного провода в случае возрастания скорости вращения одного из генераторов данный генератор будет все больше нагружаться, а другие разгружаться. Благодаря «уравнительному» проводу, соединяющему последовательные обмотки генераторов параллельно, в случае возрастания скорости вращения и э. д. с. одного из генераторов его увеличивающийся ток подмагнитит другие генераторы и нагрузки генераторов будут выравниваться.

При параллельной работе генераторов с последовательными обмотками возбуждения согласного включения (многопостовых и поперечного поля) клеммы *у* на щитках генераторов соединяются между собой толстым «уравнительным» проводом (фиг. 41). Без уравнительного провода в случае возрастания скорости вращения одного из генераторов данный генератор будет все больше нагружаться, а другие разгружаться. Благодаря «уравнительному» проводу, соединяющему последовательные обмотки генераторов параллельно, в случае возрастания скорости вращения и э. д. с. одного из генераторов его увеличивающийся ток подмагнитит другие генераторы и нагрузки генераторов будут выравниваться.

При последовательных обмотках возбуждения встречного включения уравнильный провод не нужен. Вследствие размагничивающего действия обмоток возбуждения нагрузка генераторов при колебаниях скорости вращения автоматически выравнивается.



Фиг. 42. Схема параллельной работы двух генераторов с расщепленными полюсами.

При параллельной работе двух генераторов с расщепленными полюсами и с независимым самовозбуждением для устойчивой работы применяется перекрестное питание их цепей возбуждения.

На фиг. 42 изображена схема параллельной работы двух генераторов с расщепленными полюсами.



ГЛАВА III

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ОСОБЕННОСТИ ИСТОЧНИКОВ ЕЕ ПИТАНИЯ

§ 10. УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОГО ГОРЕНИЯ ДУГИ

Для дуги переменного тока остаются в силе условия устойчивости, рассмотренные в главе I. Однако при питании дуги переменным током все явления в значительной мере усложняются. Применяем метод анализа, предложенный В. П. Никитиным [2], [5].

Типовая осциллограмма напряжения источника переменного тока, напряжения и тока дуги при активном сопротивлении, включенном последовательно с дугой, изображена на фиг. 43. При возрастании напряжения источника u (синусоидального) от нуля до некоторой определенной величины U_3 , достаточной для зажигания дуги, дуга еще не горит. В момент, когда u станет равным U_3 , дуга загорится. При дальнейшем увеличении напряжения источника u до наибольшего значения ток i также увеличивается. Затем напряжение источника и ток i уменьшаются. При напряжении источника $u < U_0$ (напряжения, необходимого для поддержания горения дуги) горение дуги прекращается. Во вторую половину периода дуга не горит до того момента, пока напряжение источника обратного знака не станет достаточным для зажигания дуги. Дуга загорается вновь при токе другого направления. Дальше процесс повторяется.

В течение времени $t_n = t_1 + t_3$ (фиг. 43) за каждый полупериод дуга не горит.

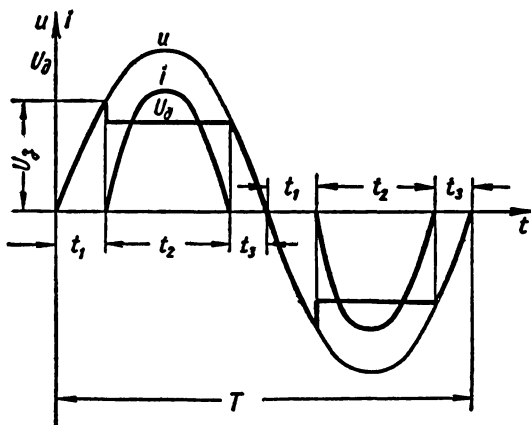
Напряжение на дуге U_0 во время ее горения мало изменяется и может быть принято постоянным. Однако в момент зажигания в каждом полупериоде имеется пик напряжения. Наличие пика напряжения подтверждается исследованиями последних лет, проведенными в Академии наук УССР [6], [8].

Для более устойчивого горения дуги желательно соблюдение следующих условий:

- 1) отсутствие интенсивного охлаждения газового промежутка между электродом и изделием;
- 2) легкость возникновения катодного пятна на детали;
- 3) интенсивная ионизация среды, в которой горит дуга;

4) минимальное или равное нулю время перерыва горения дуги.

При невыполнении этих условий дуга может погаснуть в момент перехода тока через нуль. Для выполнения первого и третьего условия применяются специальные обмазки для электродов и флюсы. Для выполнения второго условия необходимо, чтобы



Фиг. 43. Типовая осциллограмма напряжения источника, напряжения и тока дуги с активным сопротивлением.

деталь была хорошо зачищена. Выясним, отчего зависит уменьшение времени t_n . Напряжение источника u в любой момент времени равно сумме падений напряжения в активном сопротивлении ir и на дуге U_d :

$$u = U_{\max} \sin \omega t = ir + U_d. \quad (19)$$

В период времени t_1 тока нет

$$U_d = U_{\max} \cdot \sin \omega t.$$

Дуга зажигается при $t = t_1$, в этот момент

$$u = U_s = U_{\max} \cdot \sin \omega t_1. \quad (20)$$

Из выражения (20)

$$\sin \omega t_1 = \frac{U_s}{U_{\max}}. \quad (21)$$

Из выражения (21)

$$t_1 = \frac{\arcsin \frac{U_s}{U_{\max}}}{\omega} = \frac{\arcsin \frac{U_s}{U_{\max}}}{2\pi f}. \quad (22)$$

Принимаем $t_1 = t_2$, а $t_n = 2t_1$, тогда

$$t_n = \frac{\arcsin \frac{U_s}{U_{\max}}}{\pi f}. \quad (23)$$

Для выполнения четвертого условия — уменьшения времени перерыва в горении дуги t_n необходимо уменьшить $\frac{U_s}{U_{\max}}$ или увеличить частоту f .

На величину напряжения зажигания U_s (пика зажигания) оказывают существенное влияние следующие факторы [2], [5], [8]:

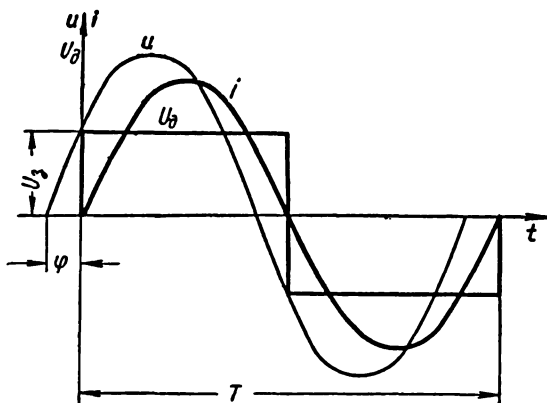
1) тепловое состояние газового промежутка между электродом и изделием, а также длина дуги;

2) состав электродной обмазки или флюса.

При более коротких дугах напряжение зажигания меньше. При достаточно мощных сварочных дугах высокие температуры обуславливают значительную термическую ионизацию газового промежутка. Ряд обмазок и флюсов также увеличивают ионизацию газового промежутка. При больших токах, при обмазках или флюсах, способствующих процессу ионизации газового промежутка, U_s значительно меньше. При больших значениях U_s должно быть повышено напряжение холостого хода источника. При малых токах, когда U_s особенно большое, для устойчивого горения дуги применяют источники переменного тока повышенной частоты или наложение тока высокой частоты на сварочную дугу переменного тока нормальной частоты. В этих случаях напряжение холостого хода источника может быть небольшим.

Вводя в цепь сварочной дуги индуктивность, можно сократить время перерыва в горении дуги t_n . Устойчивость горения дуги переменного тока, при наличии индуктивности в цепи дуги, повышается. При подобранной определенным образом индуктивности можно получить такой сдвиг фаз между напряжением источника и током, что кривая тока будет проходить через нуль в момент, когда $u = U_s$, и тогда перерывов в горении дуги не будет ($t_n = 0$). Осциллограмма напряжения источника, напряжения и тока дуги при наличии в цепи дуги таким образом подобранной индуктивности изображена на фиг. 44. Принято, что пики зажигания отсутствуют. Вследствие влияния индуктивности в сварочном контуре будет индуцироваться э. д. с. самоиндукции ($e_L = -L \frac{di}{dt}$), которая будет направлена против напряжения источника при возрастании тока ($\frac{di}{dt} > 0$) и согласно с напряжением источника при уменьшении тока ($\frac{di}{dt} < 0$). Напряжение на дуге U_d будет поддерживаться постоянным и достаточным для поддержания горения дуги, пока ток не станет равным нулю. При токе, равном нулю,

э. д. с. самоиндукции также равна нулю, дуга погаснет. Но к этому моменту напряжение источника обратного направления станет достаточным для зажигания дуги обратной полярности, и дуга загорится вновь. Время перерыва горения дуги t_n будет равно нулю. С увеличением тока обратного направления вновь индуктируется э. д. с., и процесс повторяется.



Фиг. 44. Типовая осциллограмма напряжения источника, напряжения и тока дуги с индуктивностью.

Условие непрерывности горения дуги переменного тока [2], [3]

$$\frac{U_{\partial_0}}{U_{\partial}} > 1,57 \quad \left(\frac{U_{\partial_0}}{U_s} = 1,57 \right).$$

Исходя из значений $\frac{U_{\partial_0}}{U_{\partial}}$ и необходимой величины U_{∂} , следует выбирать напряжение холостого хода источника для заданных режимов сварки.

При ручной сварке напряжение зажигания U_s увеличивается с уменьшением сварочного тока, а напряжение U_{∂} изменяется мало (дуга короткая). Поэтому желательно, чтобы $\frac{U_{\partial_0}}{U_{\partial}}$ увеличивалось с уменьшением сварочного тока. Для обеспечения непрерывности горения дуги и возможности некоторого ее удлинения у источников для ручной сварки (для токов от 100 до 500 а) U_{∂} должно быть равно 55—70 в [2].

При автоматической сварке под флюсом и в среде защитных газов, при больших плотностях тока в электроде, напряжение зажигания увеличивается в меньшей степени с уменьшением сварочных токов, а напряжение U_{∂} изменяется в значительных пределах. Кроме того, в целях обеспечения устойчивости процесса и правильного формирования сварного шва желательно, чтобы

напряжение дуги повышалось с увеличением сварочных токов. Вследствие всего этого напряжение холостого хода источника должно быть не менее 70—90 в [2].

При отсутствии перерывов в горении дуги переменного тока сдвиг фаз будет равен [2], [5]

$$\cos \varphi = 1,11 \frac{U_{\partial}}{U_{\partial_0}} \quad (24)$$

Отечественные сварочные трансформаторы имеют при номинальной нагрузке $\cos \varphi = 0,5 \div 0,66$. При недогрузке $\cos \varphi$ уменьшается.

Для устойчивого горения дуги переменного тока в ее цепь должна быть включена значительная индуктивность, особенно при небольших токах и больших пиках зажигания, когда $\frac{U_{\partial}}{U_{\partial_0}}$ должно быть меньше.

Обычно падающая внешняя характеристика получается благодаря значительному падению напряжения в индуктивности.

§ 11. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ СВАРКИ В ИСТОЧНИКАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Регулирование — изменение внешних характеристик в источниках переменного тока осуществляют изменением индуктивности. Иногда, кроме того, применяется изменение коэффициента трансформации трансформатора. Последнее приводит к ступенчатому изменению напряжения холостого хода трансформатора. Коэффициент трансформации выбирается таким, чтобы на ступени меньших токов получить большее напряжение холостого хода (при комбинированном регулировании). В сварочных трансформаторах могут быть получены внешние характеристики, изображенные на фиг. 8 (глава I, § 2).

Источники для сварки переменным током с падающими внешними характеристиками бывают трех типов.

1. Трансформатор с небольшим внутренним индуктивным сопротивлением, имеющий реактивную катушку на стальном замкнутом сердечнике (отдельном или общем с трансформатором).

2. Трансформатор с увеличенным внутренним индуктивным сопротивлением.

3. Генератор переменного тока повышенной частоты с реактивной катушкой на стальном замкнутом сердечнике.

При наличии реактивных катушек изменение их индуктивности не влияет или почти не влияет на величину напряжения холостого хода. В этом случае получают характеристики, изображенные на фиг. 9 (глава I, § 2). Применяя в источниках с реактивными катушками регулирование только изменением индуктивности,

выбирают вторичное напряжение трансформатора (напряжение холостого хода) таким, чтобы устойчивое горение дуги обеспечивалось не только при верхних и средних, но также и при нижних пределах сварочных токов [3]. Если U_0 подобрано так, чтобы обеспечивалось устойчивое горение дуги на широком диапазоне регулирования, то ухудшаются технико-экономические показатели источника — увеличивается его расчетная мощность и вес [3], [21]. Желательно уменьшить диапазон регулирования или, как указывалось выше, применить регулирование изменением индуктивности и коэффициента трансформации.

В наших отечественных сварочных трансформаторах с реактивными катушками для ручной сварки не применяется изменение коэффициента трансформации. Они имеют достаточно большой диапазон регулирования сварочного тока за счет изменения индуктивности. В трансформаторах с реактивными катушками для автоматической сварки коэффициент трансформации изменяется в небольших пределах. В некоторых трансформаторах с реактивными катушками, выпускаемых за рубежом, применяется изменение коэффициента трансформации.

Как будет выяснено далее (в главе IV, § 14), ступенчатое изменение индуктивности трансформаторов с увеличенным внутренним индуктивным сопротивлением может быть совмещено с изменением их коэффициента трансформации. Такое ступенчатое регулирование применяется в комбинации с плавным регулированием как в наших отечественных, так и в трансформаторах иностранных фирм с увеличенным внутренним индуктивным сопротивлением.

Сварочные трансформаторы для ручной сварки в СССР выпускаются на номинальные токи 100, 350, 500 и 700 *a*, с диапазоном регулирования сварочного тока 4:1. Источники питания для автоматической сварки выпускаются на номинальные токи 500, 1000 и 2000 *a* с диапазоном регулирования сварочного тока 3:1 при изменении U_0 от 30 до 50 *в*.

Напряжение холостого хода сварочных трансформаторов для ручной сварки по условиям техники безопасности должно быть не выше 70 *в* при номинальном токе 350 *a* и более и не выше 75 *в* при номинальном токе 100 *a*. Некоторые иностранные фирмы применяют для повышения устойчивости горения дуги более высокие напряжения холостого хода на ступенях меньших токов — до 95, 100 и даже 110 *в*. Например, трансформатор Medià Transformers (Англия) на ступени токов 20—175 *a* имеет $U_0 = 110$ *в*, а на ступени токов 40—350 *a* имеет $U_0 = 65$ *в*.

У трансформаторов для автоматической сварки, как указывалось выше, допускаются более высокие напряжения холостого хода.

Технико-экономические показатели сварочных трансформаторов могут быть улучшены, т. е. может быть уменьшен их вес и

габариты не только за счет уменьшения пределов их регулирования и применения комбинированного регулирования, но также за счет применения новых марок стали с пониженными потерями, повышенной магнитной проницаемостью [25] и за счет применения обдува вентилятором [26].

§ 12. КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАЖУЩЕЙСЯ МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА И МОЩНОСТЬ ДУГИ

Коэффициент использования кажущейся мощности определяется так:

$$C = \eta \cdot \cos \varphi = \frac{P_{\partial}}{U_1 I_1 \cos \varphi} \cos \varphi = \frac{P_{\partial}}{S}, \quad (25)$$

где $S = U_1 I_1$ — кажущаяся мощность, потребляемая из сети источником переменного тока;

P_{∂} — мощность, потребляемая дугой.

Желательно, чтобы коэффициент C был больше. Тогда технико-экономические показатели источника лучше.

Кривые мгновенных значений u_{∂} и i зачастую значительно отличаются от синусоидальной формы. Вследствие этого формула для определения мощности дуги

$$P_{\partial} = U_{\partial} I$$

не дает точного результата, хотя дуга и представляет собой активную нагрузку. Поэтому применяется формула

$$P_{\partial} = U_{\partial} I \delta, \quad (26)$$

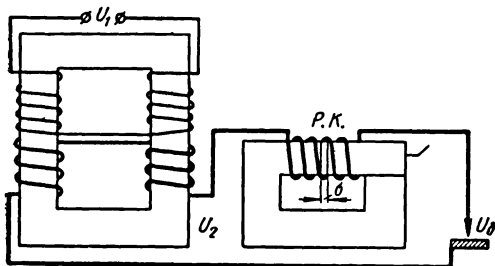
где δ — коэффициент мощности дуги, учитывающий несинусоидальность формы кривых тока и напряжения дуги. Величина δ равна 0,97 — 0,99 при ненасыщенном магнитопроводе индуктивности, и 0,8 и ниже при насыщенном магнитопроводе индуктивности [2], [8]. Кроме того, при насыщенном магнитопроводе индуктивности резко снижается устойчивость горения дуги [8].

ГЛАВА IV

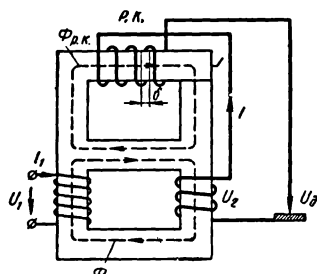
СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 13. ОДНОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ С РЕАКТИВНОЙ КАТУШКОЙ

Собственно трансформатор имеет небольшое внутреннее индуктивное сопротивление и жесткую внешнюю характеристику. Реактивная катушка на стальном замкнутом сердечнике (дроссель) включается последовательно с дугой. Магнитные системы и схемы трансформаторов с реактивными катушками приведены на фиг. 45



Фиг. 45. Электрическая схема аппарата СТЭ.



Фиг. 46. Электрическая схема трансформатора СТН.

и 46. На фиг. 45 изображена схема сварочного аппарата типа СТЭ с отдельной реактивной катушкой. На фиг. 46 изображена схема сварочного трансформатора типа СТН в комбинации с реактивной катушкой; трансформатор и реактивная катушка имеют общий магнитопровод. Трансформатор в комбинации с реактивной катушкой предложен впервые В. П. Никитиным в 1924 г., и поэтому наши отечественные трансформаторы в комбинации с реактивной катушкой названы СТН (сварочный трансформатор Никитина).

Падение напряжения внутри трансформатора незначительно и не превышает 5% при номинальном токе. Следовательно, вторичное

напряжение трансформатора U_2 мало изменяется с изменением его нагрузки и может быть принято постоянным, равным вторичному напряжению при холостом ходе.

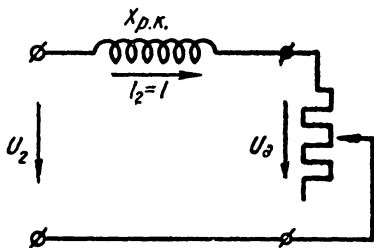
Коэффициент трансформации

$$k \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I}{I_1}, \quad (27)$$

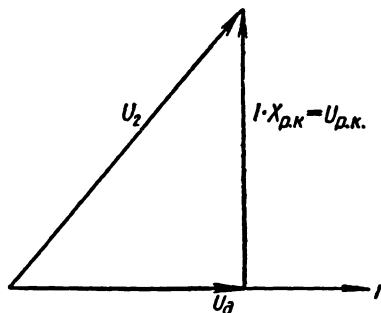
где I — сварочный ток, равный вторичному току трансформатора I_2 ;

I_1 — первичный ток трансформатора.

Дроссель, как и трансформатор, состоит из стального сердечника, набранного из листов трансформаторной стали, на котором



Фиг. 47. Схема внешней цепи трансформатора.



Фиг. 48. Векторная диаграмма внешней цепи трансформатора.

насажена катушка из толстого медного провода. При холостом ходе, когда сварочная цепь разомкнута ($I = 0$), напряжение на дуге $U_{\delta_0} = U_2$.

Схема внешней цепи трансформатора и соответствующая ей векторная диаграмма при нагрузке изображены на фиг. 47 и 48 (незначительным активным сопротивлением реактивной катушки пренебрегаем). Согласно векторной диаграмме

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_{\delta} + \bar{U}_{p.k.}; \quad (28)$$

падение напряжения в реактивной катушке:

$$U_{p.k.} = IX_{p.k.}$$

где $X_{p.k.}$ — индуктивное сопротивление реактивной катушки.

Подставляя значение $U_{p.k.}$ в выражение (28), получим

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_{\delta} + \overline{IX}_{p.k.} \quad (29)$$

Из выражения (29)

$$\bar{U}_\partial = \bar{U}_2 - I\bar{X}_{p.\kappa} \quad (30)$$

Падающая внешняя характеристика получается за счет большого падения напряжения в индуктивном сопротивлении дросселя. При коротком замыкании выражение (30) примет вид

$$0 = \bar{U}_2 - \overline{I_{\kappa.s} X_{p.\kappa}} \quad (31)$$

Вторичное напряжение трансформатора целиком идет на компенсацию э. д. с. самоиндукции реактивной катушки.

Ток короткого замыкания определяется из выражения (31):

$$I_{\kappa.s} = \frac{U_2}{X_{p.\kappa}} = \frac{U_1}{X_{p.\kappa} \cdot k} = \frac{U_1 W_2}{X_{p.\kappa} W_1} \quad (32)$$

где U_1 — первичное напряжение трансформатора;
 W_1 — число витков первичной обмотки;
 W_2 — число витков вторичной обмотки.

Заменяем число вольт на виток в первичной обмотке $\frac{U_1}{W_1} = e_{w_1}$.

Индуктивное сопротивление реактивной катушки равно

$$X_{p.\kappa} = \omega L_{p.\kappa} = \omega \cdot \frac{W_{p.\kappa}^2}{R_m}$$

где ω — угловая частота;

L — индуктивность реактивной катушки;

$W_{p.\kappa}$ — число витков реактивной катушки;

R_m — магнитное сопротивление магнитопровода реактивной катушки.

Производя соответствующие подстановки, преобразуем выражение (32):

$$I_{\kappa.s} = \frac{W_2 e_{w_1} R_m}{\omega W_{p.\kappa}^2} \quad (33)$$

У трансформаторов в комбинации с реактивной катушкой (типа СТН) вторичная обмотка трансформатора и реактивная катушка включены встречно (фиг. 46), вследствие этого при нагрузке магнитные потоки трансформатора и реактивной катушки в среднем общем стержне направлены противоположно (фиг. 46). Все три стержня выполняются одинакового сечения.

По среднему стержню замыкается почти весь магнитный поток трансформатора. Лишь незначительная часть магнитного потока трансформатора ответвляется в верхний стержень. Это объясняется тем, что при любом положении подвижной части магнитопровода в верхнем стержне воздушный зазор имеет достаточно большую величину. Магнитное сопротивление верхнего стержня значи-

тельно больше магнитного сопротивления среднего стержня. Уменьшение величины воздушного зазора в дросселе приводит к вибрации подвижной части магнитопровода, насыщению магнитопровода индуктивной катушки и снижению устойчивости горения дуги (глава III, § 12). Система работает на режимах, близких к режимам систем с отдельной реактивной катушкой [2].

Э. д. с., которая индуцируется в реактивной катушке при холостом ходе, ввиду ее незначительной величины можно пренебречь и считать напряжение холостого хода равным вторичному напряжению, как и в трансформаторе с отдельной реактивной катушкой (в самом деле U_0 несколько меньше вторичного напряжения холостого хода трансформатора). Э. д. с., которая индуцируется в реактивной катушке при нагрузке, можно считать э. д. с. самоиндукции, пренебрегая незначительной частью потока трансформатора, ответвляющейся в верхний стержень.

Подмагничивающее действие ампер-витков реактивной катушки на магнитопровод трансформатора приводит к некоторому уменьшению первичного тока и мощности, потребляемой трансформатором из сети, по сравнению с аппаратом с отдельной реактивной катушкой, при одинаковом сварочном токе (уменьшается намагничивающая составляющая первичного тока).

Трансформаторы в комбинации с реактивной катушкой имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с аппаратами с отдельной реактивной катушкой:

1) вес меньше на 15—16% за счет экономии в стали,

2) несколько выше коэффициент полезного действия и коэффициент мощности.

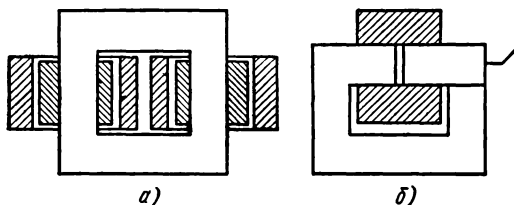
При согласном включении вторичной и реактивной обмоток сечение среднего стержня должно быть вдвое больше (потоки трансформатора и реактивной катушки в среднем стержне при нагрузке складываются). Кроме того, вследствие размагничивающего действия ампер-витков реактивной катушки первичный ток и мощность, потребляемая трансформатором из сети при нагрузке, несколько больше, чем в аппаратах с отдельной реактивной катушкой. Никакими преимуществами ни в отношении веса, ни в отношении коэффициента полезного действия и коэффициента мощности комбинированный с реактивной катушкой трансформатор с согласным включением обмоток не обладает по сравнению с аппаратом, имеющим отдельную реактивную катушку. Поэтому от согласного включения обмоток отказались.

Аппараты с отдельной реактивной катушкой СТЭ-24, СТЭ-34 в двухкорпусном исполнении и однокорпусные трансформаторы в комбинации с реактивной катушкой СТН-500, СТН-700, ТСД-500, ТСД-1000, ТСД-2000 (по схеме В. П. Никитина) выпускаются серийно отечественной электропромышленностью. В последнее

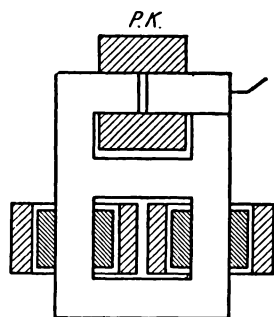
время выпущены трансформаторы ТСОК-700-П, отличающиеся от СТН-700 наличием устройства для компенсации реактивной мощности, помещенного в корпусе трансформатора.

Магнитная система и расположение обмоток аппарата типа СТЭ и трансформатора типа СТН показаны на фиг. 49, 50, а общий вид на фиг. 51, 52. Электрические схемы и общий вид трансформаторов типа ТСД изображены на фиг. 53 и 54.

Как и в обычных силовых однофазных трансформаторах, в аппаратах СТЭ, СТН и ТСД для уменьшения потока рассеяния, на каждом из стержней трансформатора помещается по половине первичной и вторичной обмоток. Катушки первичной обмотки из двух или трех слоев



Фиг. 49. Магнитная система аппарата СТЭ:
а — трансформатор; б — дроссель.



Фиг. 50. Магнитная система трансформатора СТН.

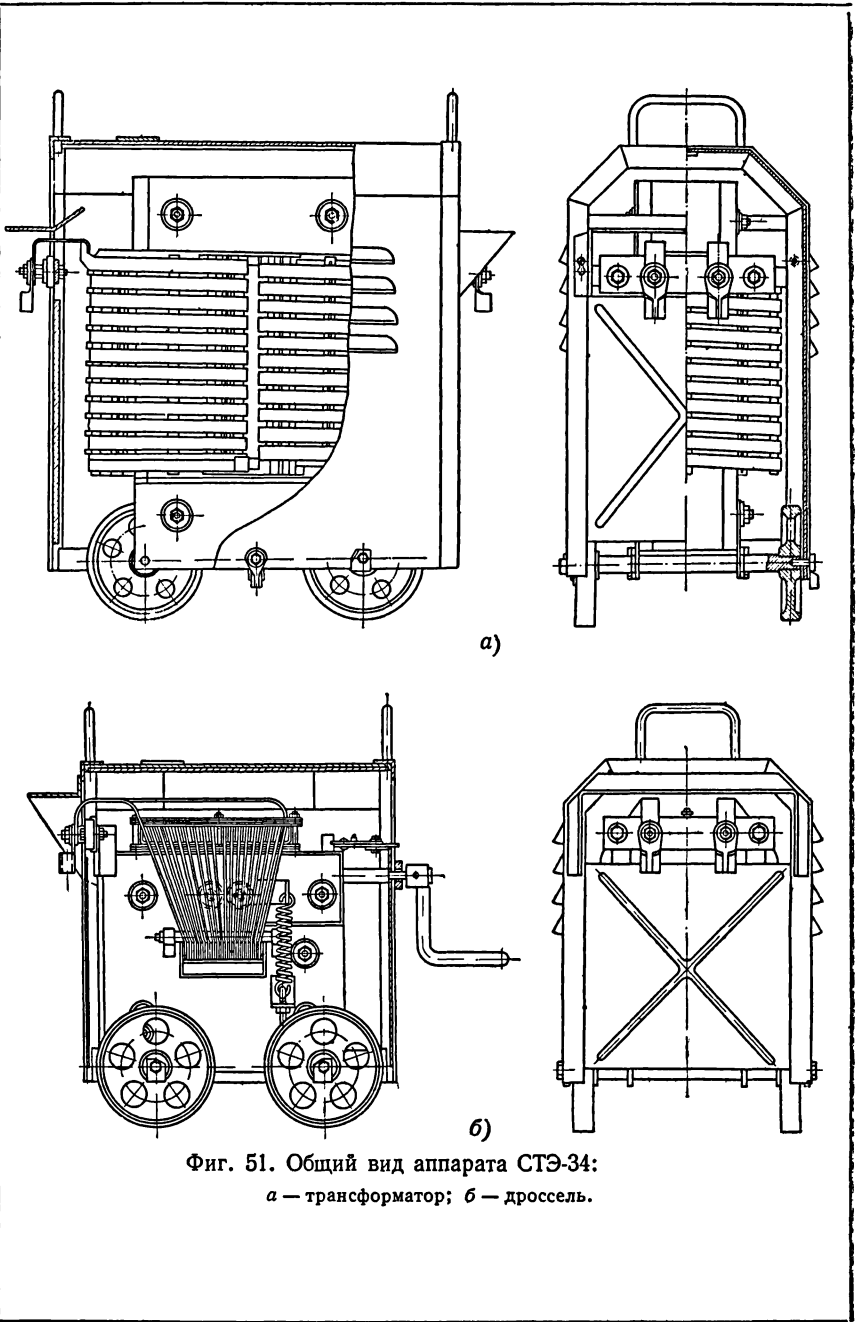
и выполнены из изолированного обмоточного провода. Катушки вторичной и реактивной обмоток из одного слоя и выполнены из шинной меди. Между слоями первичной и вторичной обмоток трансформатора проложены деревянные рейки для лучшего охлаждения обмоток.

Реактивная обмотка выполнена из голой шинной меди с асбестовыми прокладками, пропитанными лаками. Вследствие этого реактивная обмотка допускает более значительные превышения температуры, чем обмотки трансформатора.

Соединение обмоток аппаратов показано на их электрических схемах (фиг. 45, 46, 53). Подробное устройство аппаратов дается в проспектах: «Однопостовой сварочный трансформатор типа СТЭ-34», «Трансформатор сварочный типа СТН-500», «Трансформатор сварочный СТН-700», «Сварочный трансформатор с дистанционным регулированием сварочного тока типа ТСД-500», «Трансформатор ТСД-1000-3».

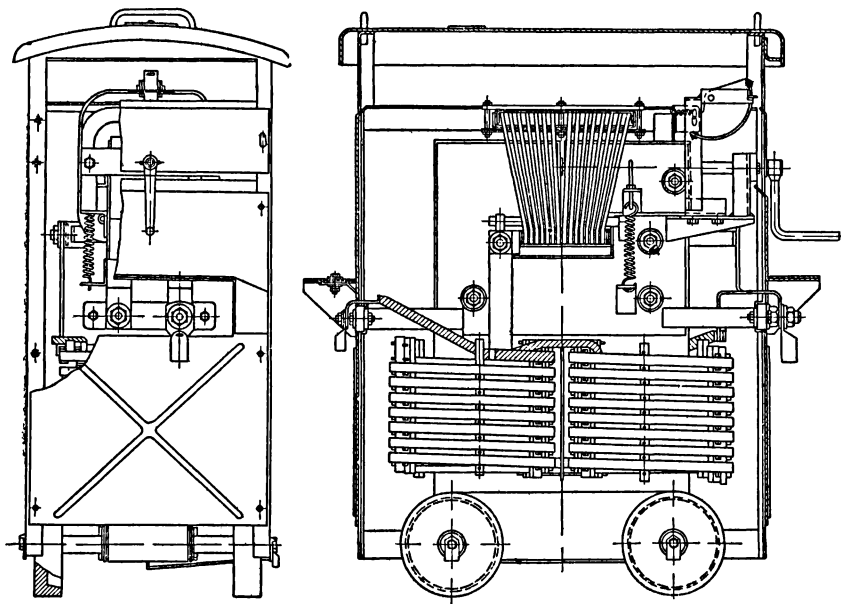
Трансформаторы типа ТСД используются для автоматов дуговой сварки: ТСД-500 используется для питания переменным током автоматов АДШ-500 и полуавтоматов ПДШ-500; ТСД-1000-3 используется для питания переменным током автоматов АДС-1000-2.

У трансформаторов типа ТСД-1000-3 первичная обмотка секционирована на две ступени включения: основную и дополни-



Фиг. 51. Общий вид аппарата СТЭ-34:
а — трансформатор; б — дроссель.

тельную. На клеммной доске первичной стороны шесть клемм (фиг. 53, б). Клеммы 78 и 76 подключаются к сети. При соединении пластинкой левой пары клемм 81 и 80 получается основная ступень с меньшим напряжением холостого хода. При переносе пластинки на две правые клеммы 79 и 82 получается дополнительная ступень с более высоким напряжением холостого хода. Включение транс-

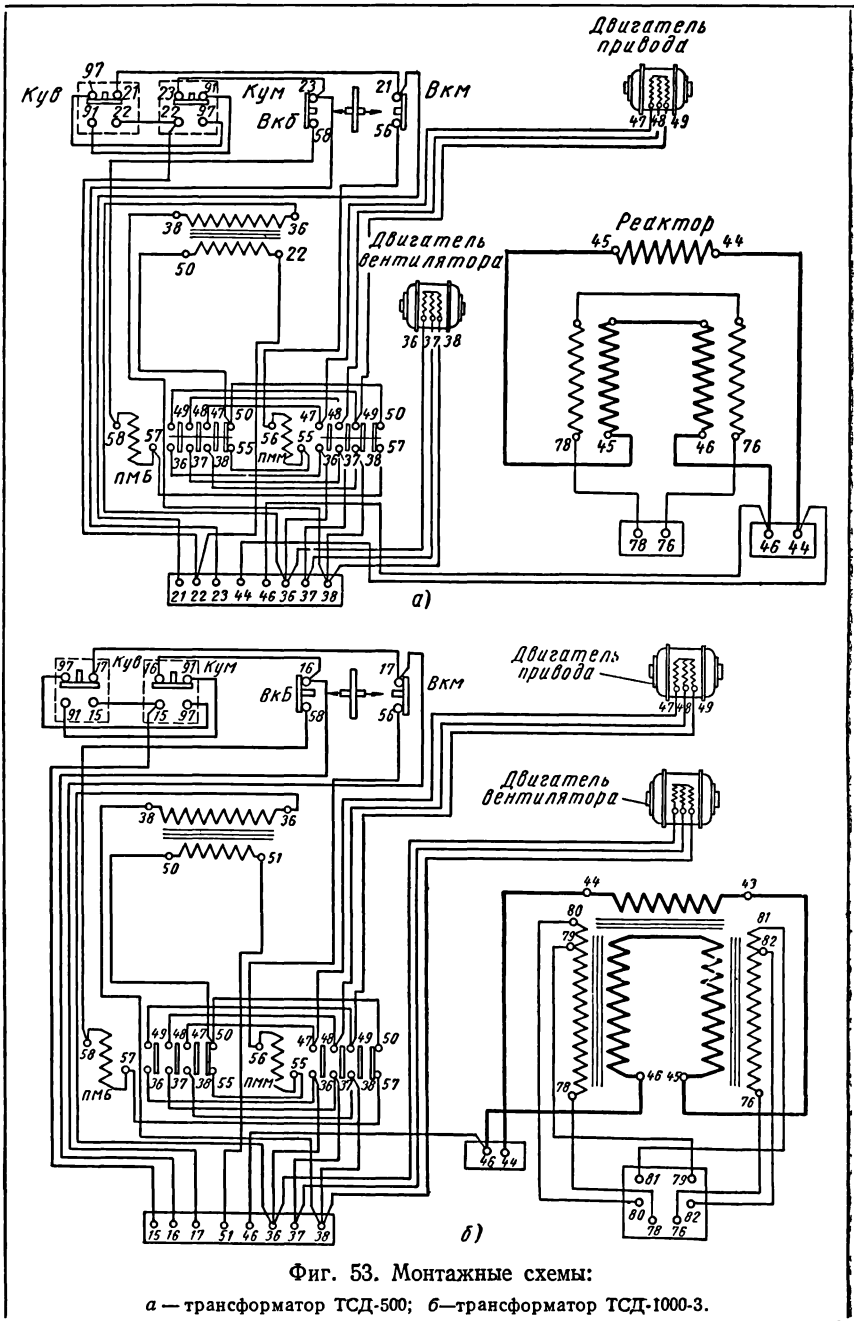


Фиг. 52. Общий вид трансформатора СТН-500.

форматоров ТСД-1000-3 на дополнительную ступень с повышенным напряжением холостого хода применяется в случае значительного снижения напряжения первичной сети, при больших потерях напряжения в соединительных проводах сварочной цепи, а также для повышения устойчивости горения дуги при сварке на токах, соответствующих нижнему пределу регулирования.

Кроме того, выпускаются специальные однокорпусные сварочные трансформаторы ТСДА-300 и ТСДА-500 для комплектования установок УРСА для ручной аргоно-дуговой сварки.

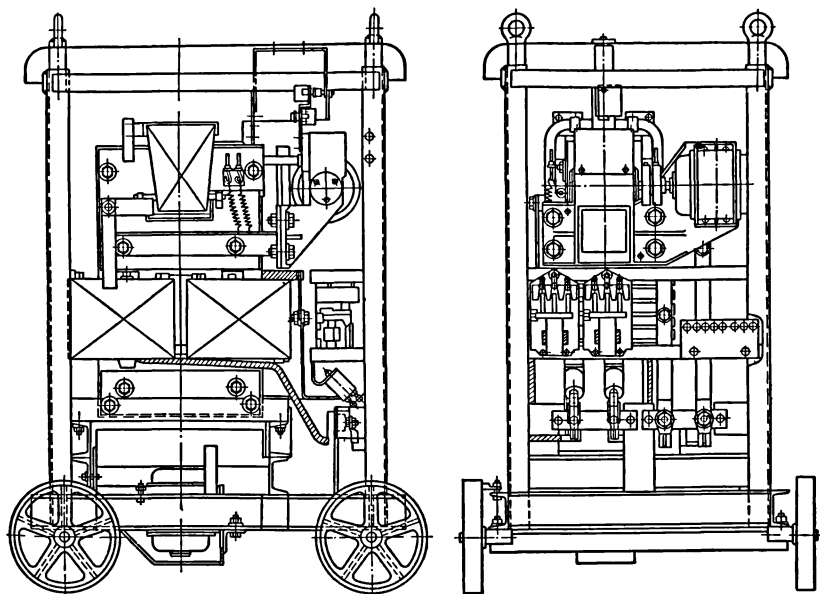
Охлаждение обмоток и сердечника в трансформаторах типа ТСД осуществляется с помощью вентилятора, монтируемого под сердечником (фиг. 54). Вентилятор приводится в движение трехфазным асинхронным двигателем. Корпус вентилятора прикрепляется с помощью болтов к нижней раме станины. Воздух, засасываемый снизу, направляется кверху и обдувает сердечник обмотки трансформатора и реактивную катушку.



Фиг. 53. Монтажные схемы:

а — трансформатор ТСД-500; б — трансформатор ТСД-1000-3.

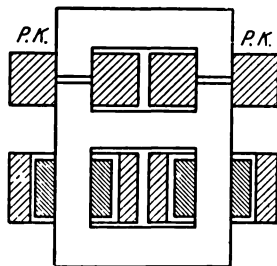
К трансформаторам в комбинации с реактивной катушкой относится трансформатор СТ-1000, разработанный институтом электро-сварки АН УССР [27]. Магнитная система и расположение обмо-



Фиг. 54. Общий вид трансформатора ТСД.

ток трансформатора СТ-1000 изображены на фиг. 55, а электрическая схема на фиг. 56. Катушки дросселя в трансформаторе СТ-1000 соединены между собой параллельно. С помощью двух пластинок можно производить переключение секций вторичной обмотки, изменяя тем самым коэффициент трансформации и напряжение холостого хода U_0 . Расположение пластинок на щитках Π_1 и Π_2 для получения пяти различных напряжений U_0 показаны на фиг. 57. Трансформаторы СТ-1000 подключаются к сети с помощью силового контактора, который смонтирован на трансформаторе.

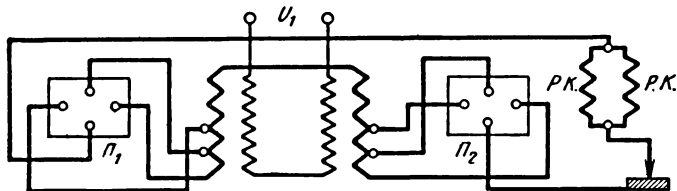
Однокорпусные трансформаторы в комбинации с реактивной катушкой получили широкое распространение и за границей. В настоящее время они выпускаются рядом фирм как для ручной, так и для автоматической сварки под флюсом [1], [2], [28]. Однако за границей продолжают выпускать и трансформаторы с отдельной реактивной



Фиг. 55. Магнитная система трансформатора СТ-1000.

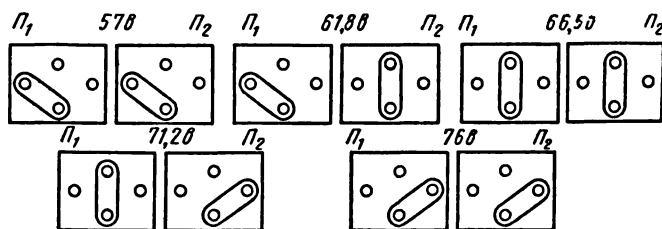
катушкой. Например, аппараты фирмы «English Electric» (Англия) состоят из смонтированных в одном корпусе трансформатора и дросселя.

Наиболее распространенный способ регулирования — изменение величины воздушного зазора в магнитопроводе реактивной



Фиг. 56. Электрическая схема трансформатора СТ-1000.

катушки. Он применяется в серийно выпускаемых трансформаторах типов СТЭ, СТН, ТСОК, ТСД. Этот способ имеет преимущественное распространение и в иностранных трансформаторах с дросселями [28]. Увеличивая воздушный зазор δ в магнитопроводе реактивной катушки, увеличиваем магнитное сопротивление R_M и, согласно выражению (33), ток короткого замыкания. Регулировочная характеристика $I_{к.з.} = f(\delta)$ изображена на фиг. 58.



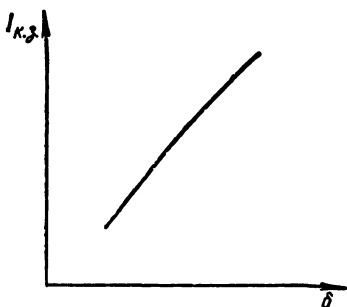
Фиг. 57. Расположение пластинок на разных ступенях регулирования трансформатора СТ-1000.

Внешние характеристики трансформатора СТН-500 при регулировании изменением величины воздушного зазора изображены на фиг. 59. Как указывалось в главе III (§ 11), при этом напряжение холостого хода U_0 , не изменяется по величине. Регулирование изменением величины воздушного зазора происходит плавно.

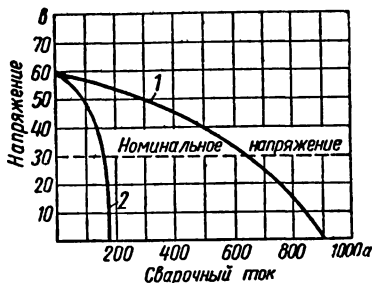
В аппаратах СТЭ-24, СТЭ-34 и трансформаторах СТН-500, СТН-700, ТСОК-700-П перемещение подвижного пакета для регулирования сварочного тока производится вручную. В подвижной пакет вмонтирована гайка, в которую входит лагунный ходовой винт; рукоятка винта выведена наружу. Подвижной пакет прижимается книзу с помощью двух спиральных пружин, что обеспе-

чивает отсутствие значительных вибраций и гудения. Вращение по часовой стрелке приводит к увеличению зазора и сварочного тока. Вращение против часовой стрелки приводит к уменьшению зазора и сварочного тока.

Трансформаторы ТСД имеют дистанционное управление и снабжены механизмом перемещения подвижного пакета в магнитопроводе дросселя. На консоль ходового винта насажена червячная шестерня, сцепленная с червяком, вращающимся в двух шарико-



Фиг. 58. Регулировочная характеристика при изменении величины воздушного зазора.



Фиг. 59. Внешние характеристики трансформатора СТН-500:

1 — наибольший зазор δ ; 2 — наименьший зазор δ .

подшипниках. Червяк с помощью эластичной муфты соединен с валом трехфазного асинхронного двигателя (фиг. 54).

Для питания электродвигателя привода подвижного пакета, цепи управления двигателя привода и двигателя вентилятора к сети подключаются клеммы 36, 37 и 38 на вспомогательном щитке, помещенном внизу внутри корпуса трансформатора (фиг. 53, а, б). На нижней раме станины установлен вспомогательный трансформатор, первичная обмотка которого подключена к клеммам 36 и 38. Вторичное напряжение вспомогательного трансформатора равно 36 в. Цепь управления двигателя привода подключена к вторичным зажимам вспомогательного трансформатора. В цепи управления включены катушки ПМБ и ПММ реверсивного магнитного пускателя двигателя привода, пусковые кнопки Кув и Кум, а также конечные выключатели Вкб и Вкм. Клеммы 21, 22, 23 и 44 вспомогательного щитка в трансформаторе ТСД-500 (фиг. 53, а) необходимы для подключения шланговых автоматов дуговой сварки АДШ-500 и ПДШ-500, которые комплектуются трансформатором ТСД-500. Клеммы 15, 16, 17, 51 и 46 вспомогательного щитка трансформатора ТСД-1000-3 (фиг. 53, б) необходимы для подключения автомата дуговой сварки АДС-1000-2, который комплектуется трансформатором ТСД-1000-3.

Когда трансформатор ТСД-1000-3 используется не с автоматом АДС-1000-2 клеммы 15 и 51 должны быть соединены между

собой. В противном случае цепь управления двигателя привода будет разорвана даже при нажатии одной из пусковых кнопок.

Пуск электродвигателя осуществляется с помощью реверсивного магнитного пускателя. Обеспечивается перемещение подвижного пакета в ту и другую сторону и изменение величины воздушного зазора. При нажатии кнопки Кув (фиг. 53, *a* и *б*) замыкается цепь катушки ПМБ магнитного пускателя; замыкаются его контакты, и двигатель привода начинает вращаться. Подвижной пакет магнитопровода перемещается таким образом, что воздушный зазор увеличивается. При отпуске кнопки Кув цепь катушки ПМБ магнитного пускателя размыкается — перемещение подвижного пакета прекращается. При нажатии кнопки Кум замыкается цепь катушки ПММ другого магнитного пускателя; замыкаются его контакты, и двигатель привода начинает вращаться в другую сторону — воздушный зазор уменьшается. При отпуске кнопки Кум перемещение подвижного пакета прекращается.

Двигатель автоматически отключается при достижении пакетом его крайних положений с помощью конечных выключателей Вкб и Вкм.

Электродвигатель подвижной части магнитопровода в трансформаторах СТ-1000, аналогично трансформаторам ТСД, приводится в движение двумя кнопками с надписями «больше» и «меньше». В трансформаторах иностранных фирм для автоматической сварки также применяется дистанционное управление с моторным приводом подвижного пакета [28].

В трансформаторах для ручной сварки рабочее вторичное номинальное напряжение $U_{дн}$ принимается в аппаратах СТЭ-24, СТЭ-34 и трансформаторах СТН-500 равным 30 в, в трансформаторах СТН-700—35 в.

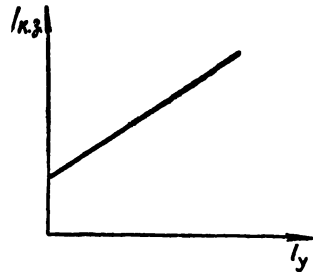
В трансформаторах, предназначенных для питания дуговых автоматов ТСД-500, ТСД-1000 и ТСД-2000, рабочее вторичное номинальное напряжение не принимается постоянным (глава III, § 10). Зависимость рабочего вторичного номинального напряжения $U_{дн}$ от сварочного тока I при автоматической сварке принята заводом «Электрик» равной:

$$\begin{array}{ll} \text{для трансформаторов ТСД-500} & \dots \dots U_{дн} = 25 + 0,04I; \\ \text{„ „ ТСД-1000-3} & \dots \dots U_{дн} = 22 + 0,02I; \\ \text{„ „ ТСД-2000} & \dots \dots U_{дн} = 25 + 0,0125I. \end{array}$$

Значение величины тока, указываемое шкалой трансформатора, соответствует вполне определенным значениям подводимого к трансформатору сетевого напряжения $U_{1н}$, напряжения $U_{дн}$ и сопротивления соединительных проводов, составляющих вторичную цепь трансформатора. Кроме того, точность показаний шкалы составляет 10%.

Второй способ регулирования в трансформаторах с реактивными катушками — изменение числа витков реактивной катушки. Этот способ не получил широкого распространения. Согласно выражению (33) с увеличением числа витков реактивной катушки ток короткого замыкания уменьшается. Регулирование этим способом ступенчатое. Внешние характеристики при регулировании изменением числа витков дросселя аналогичны характеристикам, приведенным на фиг. 59. Регулирование изменением числа витков дросселя применяется в некоторых иностранных трансформаторах [28]. В частности, применяется в трансформаторах фирмы «Rockweld» (Англия) фирмы «Elgasvets A. B.» (Швеция) и в аппаратах КТД-2000 (ГДР).

Получили применение также дроссели насыщения. Магнитопровод такого дросселя не имеет воздушных зазоров, на нем расположены две обмотки: одна, из толстого медного провода, включена в цепь сварочного переменного тока, другая, из тонкого медного провода, питается постоянным током от выпрямительного устройства из полупроводниковых выпрямителей. Для регулирования в цепь постоянного тока (тока управления) включен реостат. Увеличение реостатом тока I_y приводит к изменению постоянной составляющей магнитного потока дросселя, к большому насыщению его магнитопровода, уменьшению магнитной проницаемости ($\mu = \frac{B}{H}$), увеличению магнитного сопротивления



Фиг. 60. Регулировочная характеристика дросселя насыщения.

R_{μ} . Согласно выражению (33) ток короткого замыкания возрастет. Регулирование в дросселях насыщения плавное, бесшумное. Регулировочная характеристика дросселя насыщения изображена на фиг. 60. Главным достоинством дросселей насыщения является отсутствие подвижных частей в их магнитопроводах, а недостатком — большой вес и габариты по сравнению с дросселями с переменным воздушным зазором. Дроссели насыщения применяются в некоторых иностранных трансформаторах. Например, в аппаратах с отдельной реактивной катушкой КТД-2000 (ГДР).

Схема аппарата КТД-2000 приведена на фиг. 61. Как указывалось выше, в трансформаторах КТД-2000, кроме плавного регулирования током I_y , имеется ступенчатое регулирование изменением числа витков реактивной катушки дросселя.

Изменение величины $e_{\psi 1}$ применяется в трансформаторах ТСД, а числа вторичных витков трансформатора — в трансформаторах

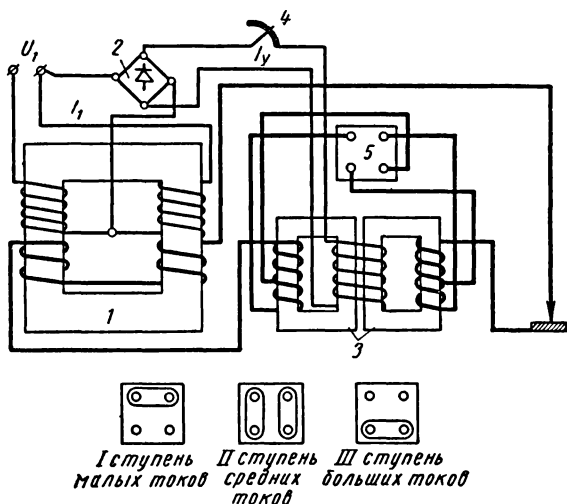
Таблица 4

Характеристики (основные данные) однополюстных трансформаторов с реактивными катушками

Показатели	Типы трансформаторов							
	СТЭ-24	СТЭ-34	СТН-500	СТН-700	ТСД-500	ТСД-1000	ТСД-2000	СТ-1000
Напряжение холостого хода в в	65	60	60	60	80	69 и 78	72 и 80	57—76
Номинальное рабочее напряжение в в	30	30	30	35	45	42	50	30
Номинальный режим работы ПР в %	65	65	65	60	60	60	50	65
Допустимый рабочий ток в а	350	500	500	700	500	1000	2000	1000
Пределы регулирования тока в а	70—500	150—700	150—700	200—900	200—600	400—1200	800—2200	300—1200
Коэффициент полезного действия	0,83	0,86	0,86	0,85	0,87	0,9	0,9	—
Коэффициент мощности	0,52	0,53	0,54	0,66	0,62	0,62	0,65	—
Исполнение	Двухкорпусное							
Однокорпусное								
Габариты трансформатора								
длина	646	690	772	796	950	950	1050	1115
ширина	594	669						
высота	314	370	379	429	818	818	900	1015
	320	320						
	660	660	840	840	1215	1215	1300	1765
	545	545						
Вес трансформатора	140	180	260	380	450	534	—	700
дросселя	90	100						
Стоимость в руб.	1320	1585	1130	1490	2050	2600	4600	—

Примечания: 1. Данные для аппаратов типов СТЭ, СТН и ТСД взяты из проспектов и прейскуранта.
2. Данные для трансформатора СТ-1000 взяты из "Справочника электросварщика" [27].

СТ-1000, в основном для изменения напряжения холостого хода (рассмотрено выше).



Фиг. 61. Схема аппарата КТД-2000:

1 — трансформатор; 2 — выпрямитель; 3 — дроссель насыщения; 4 — реостат; 5 — клеммный щиток для ступенчатого регулирования.

Основные данные отечественных однопостовых трансформаторов с реактивными катушками приведены в табл. 4.

§ 14. ОДНОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ С УВЕЛИЧЕННЫМ РАССЕЯНИЕМ

Увеличенное индуктивное сопротивление обмоток трансформатора создается путем искусственного увеличения его потоков рассеяния. Поток рассеяния — это часть потока трансформатора, которая сцепляется не со всеми витками первичной и вторичной обмоток и замыкается в основном не по стальному магнитопроводу трансформатора. Э. д. с. E_1 и E_2 обмоток индуцируются основным магнитным потоком Φ_1 , который замыкается по стальному магнитопроводу трансформатора. Поток рассеяния индуцирует в первичной и вторичной обмотках трансформатора э. д. с. рассеяния E_{p1} и E_{p2} :

$$I_1 X_1 = -E_{p1};$$

$$I_2 X_2 = -E_{p2},$$

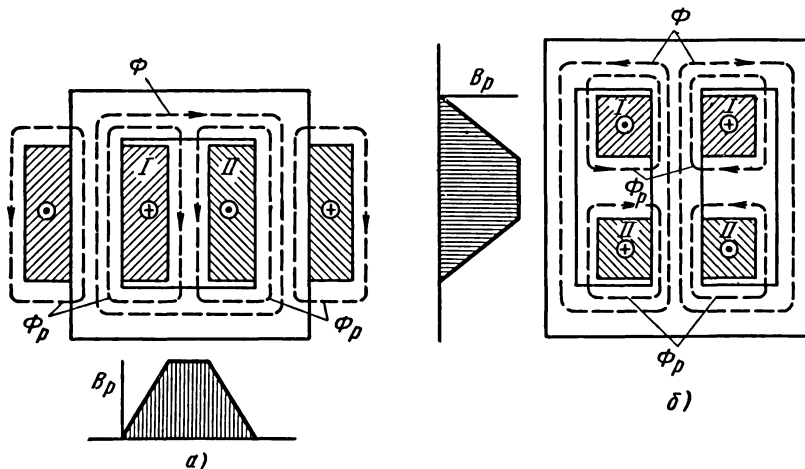
где $I_1 X_1$ и $I_2 X_2$ — индуктивные падения напряжения в первичной и вторичной обмотках. Если поток рассеяния трансфор-

матора значителен, то велико и его внутреннее индуктивное сопротивление

$$X = X_1 + X_2'$$

Величина потока рассеяния трансформатора зависит от расположения его обмоток.

На фиг. 62 показана упрощенная схема распределения силовых линий основного потока Φ и потока рассеяния Φ_p при обмот-



Фиг. 62. Распределение силовых линий основного потока и потока рассеяния:
 а — обмотки на разных стержнях; б — обмотки на одном стержне.

ках, расположенных на разных стержнях трансформатора, и обмотках, расположенных на одном стержне, но удаленных друг от друга, а также приведены кривые распределения магнитной индукции потока рассеяния [2], [5]. Большая часть потока рассеяния находится в пространстве между обмотками. Поток рассеяния трансформатора тем больше, чем больше расстояние между обмотками.

В трансформаторах обычного типа для уменьшения потока рассеяния стараются расположить первичную и вторичную обмотки как можно ближе друг к другу. В сварочных трансформаторах с увеличенным индуктивным сопротивлением первичную и вторичную обмотки располагают на разных стержнях полностью или частично, или, располагая их на одном стержне, удаляют друг от друга. Кроме того, иногда на пути потока рассеяния, в пространстве между обмотками помещают магнитные шунты — пакеты, набранные из листов трансформаторной стали. Магнитные шунты увеличивают магнитную проницаемость пространства между об-

мотками, уменьшают магнитное сопротивление на пути потока рассеяния. Вследствие этого поток рассеяния трансформатора увеличивается.

При холостом ходе поток рассеяния создается первичным током холостого хода и имеет небольшую величину. Однако, вследствие удаления обмоток друг от друга влияние потока рассеяния следует учитывать. Поток, сцепляющийся с витками вторичной обмотки, удаленными от первичной обмотки, несколько меньше потока, сцепляющегося с витками первичной обмотки. Часть потока (поток рассеяния), созданного ампер-витками первичной обмотки, замыкается в пространстве между обмотками, минуя вторичную обмотку. Число вольт на виток во вторичной обмотке несколько меньше, чем в первичной. Коэффициент трансформации трансформатора с увеличенным рассеянием и полностью разобщенными обмотками равен

$$k = \frac{W_1}{mW_2}, \quad (34)$$

где m — коэффициент (меньше единицы), учитывающий влияние потока рассеяния при холостом ходе.

Если часть вторичной обмотки W_2' помещается на одном стержне с первичной обмоткой, причем близко от нее, а другая часть W_2'' на другом стержне, (фиг. 65), то коэффициент трансформации будет равен

$$k = \frac{W_1}{W_2' + mW_2''}. \quad (35)$$

Такой трансформатор называется трансформатором с частично разобщенными обмотками.

В трансформаторах с первичной и вторичной обмотками, расположенными на одном стержне, с увеличением расстояния между обмотками m уменьшается. В трансформаторах с обмотками на разных стержнях m уменьшается при введении магнитного шунта. Кроме того, k изменяется, если изменяются числа витков W_2' и W_2'' . Без магнитного шунта $m = 0,95 \div 0,97$ [8]. С магнитным шунтом, полностью заполняющим пространство между обмотками, m снижается приблизительно до 0,92.

Схема замещения и векторная диаграмма трансформатора с увеличенным рассеянием изображены на фиг. 63 и 64 (незначительными активными сопротивлениями первичной и вторичной обмоток пренебрегаем).

Согласно векторной диаграмме

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_0 + \bar{I}'(\overline{X_1 + X_2}), \quad (36)$$

где $I' = I_1 = I_2$ — приведенный сварочный ток.

Из выражения (36)

$$\bar{U}'_{\partial} = \bar{U}_1 - \overline{I'(X_1 + X_2')}; \tag{37}$$

приведенные величины подставляем в выражение (37):

$$\bar{U}_{\partial} k = \bar{U}_1 - \frac{I}{k} \cdot \overline{(X_1 + X_2 \cdot k^2)}. \tag{38}$$

Напряжение на дуге выразится как

$$\bar{U}_{\partial} = \frac{\bar{U}_1}{k} - \frac{\overline{IX_1}}{k^2} - \overline{IX_2}. \tag{39}$$

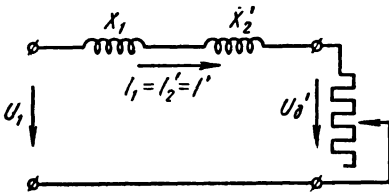
При коротком замыкании выражение (39) примет вид

$$0 = \frac{\bar{U}_1}{k} - \frac{\overline{I_{к.з} X_1}}{k^2} - \overline{I_{к.з} X_2}. \tag{40}$$

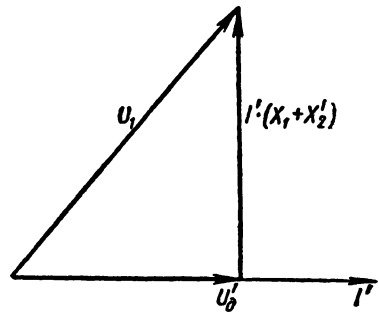
Из выражения (40):

$$I_{к.з} = \frac{U_1}{\frac{X_1}{k} + X_2 k}. \tag{41}$$

Отечественной электропромышленностью освоены и серийно выпускаются сварочные трансформаторы с увеличенным рассеянием СТАН-0 и СТАН-1. Трансформаторы типа СТАН разработаны в годы после Великой Отечественной войны в секции электросварки



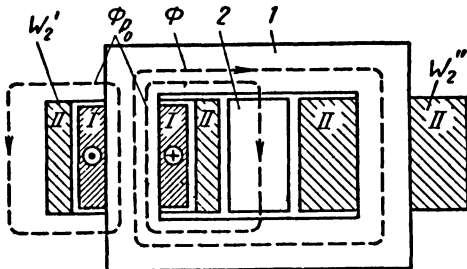
Фиг. 63. Схема замещения трансформатора с увеличенным рассеянием.



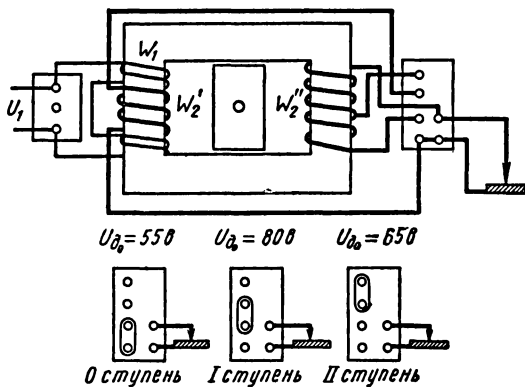
Фиг. 64. Векторная диаграмма трансформатора с увеличенным рассеянием.

и электротермии Академии наук СССР под руководством В. П. Никитина.

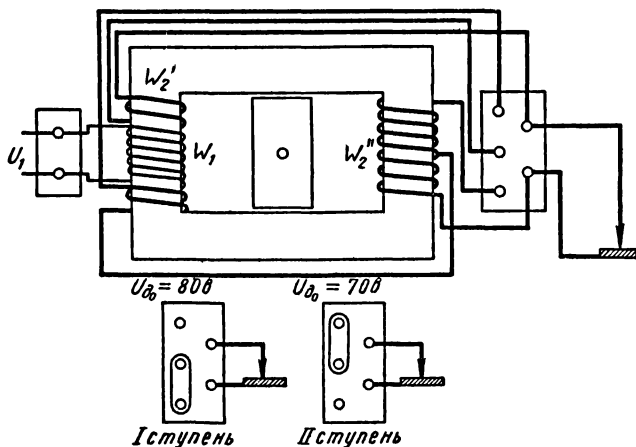
Магнитная система и расположение обмоток трансформатора СТАН приведены на фиг. 65, трансформаторы этого типа имеют частично разобщенные обмотки. Монтажные схемы трансформаторов СТАН-0 и СТАН-1 изображены на фиг. 66 и 67. В трансформаторе СТАН-0 на клеммной доске первичной стороны дополнительная третья клемма соединена с отпайкой на первичной обмотке. Эта клемма используется при пониженном напряжении в сети или большом падении напряжения в проводах сварочной цепи.



Фиг. 65. Магнитная система трансформатора СТАН:
1 — магнитопровод трансформатора; 2 — магнитный шунт.



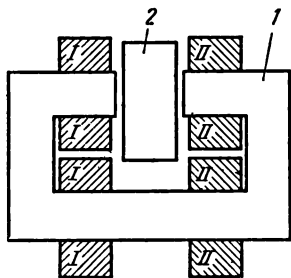
Фиг. 66. Монтажная схема трансформатора СТАН-0.



Фиг. 67. Монтажная схема трансформатора СТАН-1.

Трансформаторы с обмотками на разных стержнях и магнитными шунтами имеют меньшие вес и габаритные размеры, чем трансформаторы с реактивными катушками, так как на них расходуется меньше меди и стали.

Трансформаторы с разобщенными обмотками и магнитными шунтами начали выпускать в последние годы некоторые иностранные фирмы. Трансформаторы с полностью разобщенными обмотками и магнитными шунтами выпускает, например, фирма «National Cylinder Gas Company» (США) на токи 180 и 295 а. Магнитная система и расположение обмоток трансформатора приведены на фиг. 68.



Фиг. 68. Магнитная система трансформатора N. G. С.:

1 — магнитопровод трансформатора; 2 — магнитный шунт.

За границей большое распространение получили трансформаторы броневого типа с увеличенным рассеянием. Первичная и вторичная обмотки такого трансформатора расположены на одном и том же среднем стержне (фиг. 62, б), вторичная обмотка расположена внизу. Первичная обмотка подвижная и может быть значительно удалена от вторичной. Это трансформаторы с полностью разобщенными обмотками. Трансформаторы броневого типа с подвижной обмоткой выпускают ряд фирм.

Трансформаторы с подвижной обмоткой имеют большие габариты и вес, чем трансформаторы с обмотками на разных стержнях и магнитными шунтами.

В институте электросварки АН УССР разработаны трансформаторы с подвижной обмоткой для автоматической сварки под флюсом СТР-1000 и СТР-1000-П [2], [8]. Эти трансформаторы имеют больший вес, чем трансформаторы ТСД-1000.

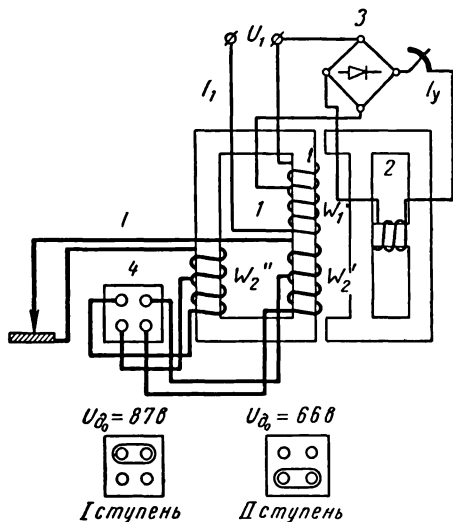
В Уральском политехническом институте под руководством проф. Н. С. Сиунова разработан аппарат [29], который состоит из трансформатора (с увеличенным рассеянием за счет частичного разобращения обмоток) и дросселя насыщения, помещенных в общий корпус. Магнитная система и электрическая схема аппарата УПИ изображены на фиг. 69.

Аппарат УПИ имеет вес и коэффициент мощности примерно одинаковые с трансформатором СТАН-1, а коэффициент полезного действия выше (к. п. д. определен с учетом расхода электроэнергии в цепи управления). Аппарат УПИ не имеет подвижных частей, что устраняет вибрацию, шум, делает работу трансформатора более надежной в процессе эксплуатации.

К трансформаторам с несколько увеличенным потоком рассеяния и отдельным дросселем уменьшенной индуктивности, а следовательно уменьшенными весом и габаритами, относится аппарат,

предложенный С. М. Тазьба [30]. Аппарат состоит из трансформатора, у которого на одном стержне размещены большая часть первичной обмотки и меньшая часть вторичной обмотки, а на другом стержне — меньшая часть первичной обмотки и большая часть вторичной обмотки; и дросселя с регулируемым воздушным зазором.

В трансформаторах с увеличенным рассеянием типа СТАН несколько ступеней регулирования осуществляется изменением числа витков W_2' и W_2'' . В СТАН-0 три ступени регулирования, переключение ступеней производится пластинкой на клеммном щитке вторичной стороны. На фиг. 66 показаны положения пластины на ступенях 0; I и II. На ступени 0 включаются только витки W_2'' ; индуктивные сопротивления X_1 и X_2 на этой ступени самые большие. Согласно выражению (41), ток короткого замыкания на ступени 0 наименьший. Коэффициент трансформации на ступени 0 самый большой, а напряжение холостого хода самое малое. На ступени I включаются витки W_2'' и W_2' . Индуктивное сопротивление X_1 становится малым (поток рассеяния первичной обмотки компенсируется потоком рассеяния витков W_2'). Это ступень средних токов. Коэффициент трансформации на ступени I уменьшается, а напряжение холостого хода возрастает (увеличивается общее число витков вторичной обмотки). На ступени II включаются часть витков W_2'' и витки W_2' . Уменьшается индуктивное сопротивление X_2 (уменьшается поток рассеяния витков W_2''). Это ступень больших токов. Коэффициент трансформации увеличивается, а напряжение холостого хода уменьшается (уменьшается общее число витков вторичной обмотки).



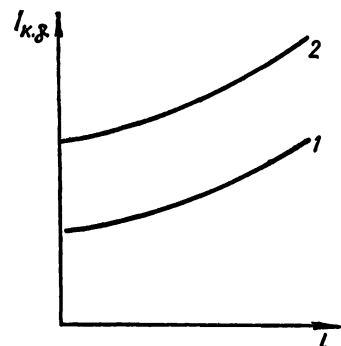
Фиг. 69. Электрическая схема аппарата УПИ:

1 — трансформатор; 2 — дроссель насыщения; 3 — выпрямитель; 4 — клеммный щиток для ступенчатого регулирования.

СТАН-1 имеет две ступени регулирования. Переключение ступеней производится также пластинкой на клеммном щитке вторичной стороны. На фиг. 67 показаны положения пластинки на ступенях I и II. На ступени I включаются витки W_2'' и часть витков W_2' .

Индуктивное сопротивление достаточно большое. Ступень I — ступень малых токов. На ступени II включается часть витков W_2'' и все витки W_2' , уменьшаются индуктивные сопротивления X_1 и X_2 . Это ступень больших токов. Общее число вторичных витков на ступени II меньше, чем на ступени I, вследствие этого напряжение холостого хода на ступени II меньше, чем на ступени I.

Рассмотренный способ ступенчатого регулирования в трансформаторах типа СТАН представляет собой сочетание изменения коэффициента трансформации и индуктивного сопротивления трансформатора.



Фиг. 70. Регулировочные характеристики трансформатора СТАН-1:

1 — на первой ступени; 2 — на второй ступени; l — расстояние, на которое выдвигается магнитный шунт.

У аппаратов УПИ [29] ступенчатое регулирование осуществляется переключением пластинки (фиг. 69) аналогично регулированию в трансформаторах СТАН-1. Если пластинка соединяет две верхние клеммы, то включаются все витки W_2'' и часть витков W_2' , — ступень малых токов. Если пластинка соединяет две нижние клеммы, то включается часть витков W_2'' и все витки W_2' , — ступень больших токов.

В некоторых трансформаторах иностранных фирм броневое типа с подвижной обмоткой применяется ступенчатое регулирование изменением коэффициента трансформации — осуществляются две, иногда три ступени регулирования. Переключение ступеней производится рукояткой, размещенной на передней стенке трансформатора.

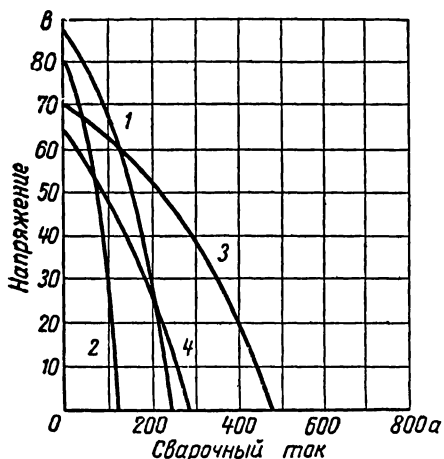
Плавное регулирование передвижкой магнитного шунта осуществляется в трансформаторах типа СТАН, в трансформаторах фирмы «National Cylinder Gas Company» (США) и других. При выдвигании магнитного шунта из магнитной системы наружу поток рассеяния трансформатора и индуктивное сопротивление уменьшаются. Согласно выражению (41) при этом ток короткого замыкания увеличивается. Регулировочные характеристики при выдвигании шунта наружу на обеих ступенях трансформатора СТАН-1 приведены на фиг. 70.

При комбинации двух способов регулирования в трансформаторах типа СТАН получается достаточно большой диапазон регулирования.

На фиг. 71 приведены внешние характеристики трансформатора СТАН-1 для обеих ступеней при крайних положениях магнитного шунта.

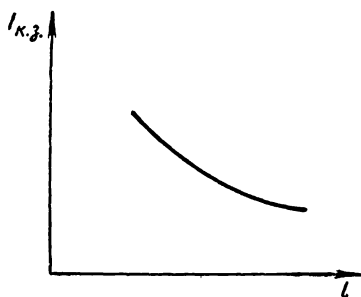
В трансформаторах типа СТАН перемещение магнитного шунта производится вручную. В подвижной пакет (шунт) вмонтирована гайка, в которую входит латунный ходовой винт. Рукоятка винта выведена снаружи кожуха. Вращение по часовой стрелке приводит к увеличению сварочного тока. Недостатком регулирования передвижкой магнитного шунта является нагрев части шунта, находящейся внутри магнитопровода, что объясняется значительным возрастанием магнитной индукции

в этой части шунта. Вследствие этого магнитный шунт не выдвигается на большое расстояние.



Фиг. 71. Внешние характеристики трансформатора СТАН-1:

1—первая ступень, сердечник выдвинут; 2—первая ступень, сердечник вдвинут; 3—вторая ступень, сердечник выдвинут; 4—вторая ступень, сердечник вдвинут.



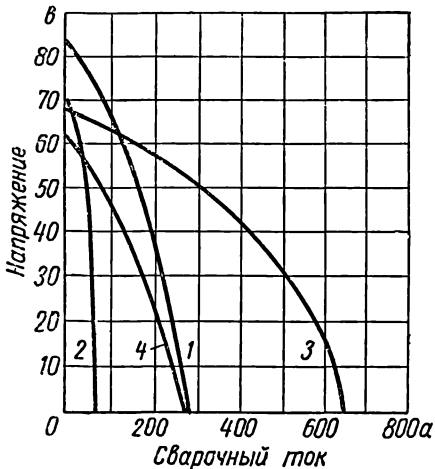
Фиг. 72. Регулировочная характеристика трансформатора с подвижной обмоткой:

l—расстояние между обмотками.

В трансформаторах с подвижной обмоткой плавное регулирование производится перемещением первичной обмотки. При увеличении расстояния l между обмотками увеличивается поток рассеяния и индуктивные сопротивления X_1 и X_2 . Согласно выражению (41) ток короткого замыкания уменьшается. Регулировочная характеристика при перемещении первичной обмотки на определенной ступени регулирования изображена на фиг. 72. При наличии двух или трех ступеней регулирования трансформатор с подвижной обмоткой имеет соответственно две или три шкалы токов.

В трансформаторах с подвижной обмоткой ряда иностранных фирм перемещение первичной обмотки производится вручную маховиком, размещенным сверху корпуса или вверху на передней стенке. Вращение маховика по часовой стрелке приводит к увеличению расстояния l и уменьшению сварочного тока.

Трансформаторы СТР-1000 имеют дистанционное управление. Включение электродвигателя осуществляется с помощью реверсивного магнитного пускателя. Первичная обмотка перемещается вниз или вверх. В трансформаторе СТР-1000-П первичная обмотка жестко не закреплена и перемещается вверх под действием электромагнитной силы, а вниз — под действием веса подвижной системы. Сварочный ток требуемой величины поддерживается автоматически при изменении напряжения сети.



Фиг. 73. Внешние характеристики аппарата УПИ:

1 — первая ступень, максимальный I_y ; 2 — первая ступень минимальный I_y ; 3 — вторая ступень, максимальный I_y ; 4 — вторая ступень, минимальный I_y .

электромагнитных клапанов, управляемых кнопками. Изменение объема воздуха в поплавке приводит к изменению веса подвижной системы и перемещению первичной обмотки. Бак заполнен водой, поверхность которой покрыта слоем масла толщиной в несколько миллиметров (во избежание испарения воды) [2], [8].

В аппаратах УПИ плавное регулирование осуществляется изменением величины тока управления (постоянного) в дросселе насыщения (фиг. 69). Внешние характеристики на двух ступенях при наибольшем и наименьшем значении тока управления изображены на фиг. 73 [29].

Основные данные отечественных однопостовых трансформаторов с увеличенным рассеянием приведены в табл. 5.

Регулирование осуществляется изменением веса подвижной системы. Вес подвижной системы уравнивает электромагнитное усилие, действующее на катушку.

Первичная обмотка трансформатора прикреплена к трубчатой штанге, которая имеет возможность свободно перемещаться в осевом направлении. К нижней части штанги прикреплено поплавковое устройство — колокол. Колокол погружен в бак с жидкостью, который находится в нижней части корпуса под трансформатором. Колокол сообщается с атмосферой и сетью сжатого воздуха при помощи электродвигателя.

Таблица 5

Характеристика (основные данные) однопостовых трансформаторов с увеличенным рассеянием

Показатели	Типы трансформаторов				
	СТАН-0	СТАН-1	СТР-1000	СТР-1000П	УПИ
Напряжение холостого хода в \bar{v}	55; 80; 65	70; 60	80	80	87; 66
Номинальное рабочее напряжение в \bar{v}	30	30	38	38	30
Номинальный режим работы ПР в %	65	65	60	60	65
Допустимый рабочий ток в a	120	350	1000	1000	330
Пределы регулирования тока в a	20—150	60—480	450—1200	450—1200	90—400
Коэффициент полезного действия	0,83	0,83	0,93	0,93	0,87
Коэффициент мощности	0,51	0,52	0,575	0,575	0,53
Исполнение	Однокорпусное				
Габаритные размеры в мм:					
длина	698	870	—	—	—
ширина	420	520	—	—	—
высота	485	800	—	—	—
Вес в кг	85	185	900	1080	195
Стоимость в руб.	—	790	—	—	—

Примечания: 1. Данные для трансформатора УПИ взяты из статьи Н. С. Сиунова и В. П. Сивцева [29].
2. Данные для трансформаторов СТР-1000 и СТР-1000П взяты из книг В. П. Никитина [2], Б. Е. Патона и В. К. Лебедева [8].
3. Данные для трансформатора СТАН-0 и СТАН-1 взяты из проспектов и прейскуранта.

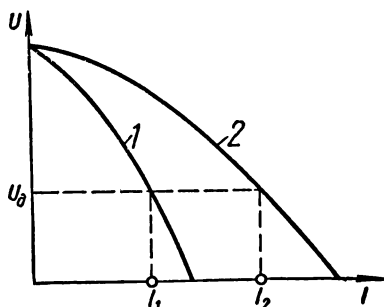
§ 15. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ОДНОПОСТОВЫХ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сварочные трансформаторы включаются параллельно для работы на одну дугу, если мощности одного сварочного трансформатора недостаточно. При включении двух сварочных трансформаторов на параллельную работу нужно выполнить следующие условия:

1. Во избежание возникновения уравнительного тока первичные обмотки трансформаторов следует подключить к одной и той же фазе сети, соединить трансформаторы одноименными зажимами, установить одинаковые напряжения холостого хода.

2. Для обеспечения одинаковой нагрузки трансформаторов отрегулировать их на одинаковые внешние характеристики.

Для проверки правильности соединения одноименными зажимами в контур вторичных обмоток включить последовательно вольтметр. При правильном соединении показание вольтметра равно нулю. Проверять соединение следует при работе вхолостую.



Фиг. 74. Внешние характеристики 1 и 2 двух трансформаторов, работающих параллельно.

На фиг. 74 показаны токи I_1 и I_2 параллельно работающих трансформаторов при различных внешних характеристиках. Чтобы внешние характеристики двух трансформаторов одинакового типа и мощности были одинаковыми, трансформаторы устанавливаются на одинаковые ступени регулирования и рукоятки плавного регулирования поворачиваются на одинаковое число оборотов.

За границей ряд фирм выпускает мощные сварочные трансформаторы, которые состоят из нескольких (до четырех) маломощных трансформаторов, соединенных параллельно и помещенных в один корпус [2], [28].

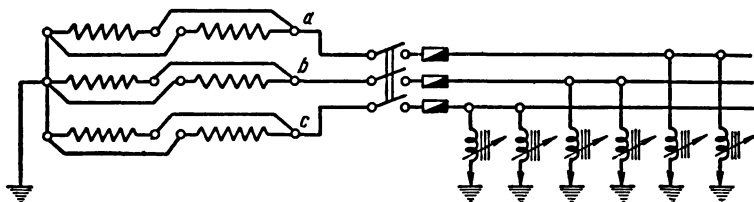
§ 16. ПИТАНИЕ ГРУППЫ СВАРОЧНЫХ ПОСТОВ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ ОТ ОБЩИХ ШИН

Группа постов может быть подключена к общим шинам с постоянным напряжением 60—70 в. Для обеспечения падающих внешних характеристик и регулирования на постах устанавливаются реактивные катушки-дрессели. Внешние характеристики поста аналогичны внешним характеристикам трансформатора с реактивной катушкой (фиг. 59). Регулирование с помощью реактивной катушки было рассмотрено в главе IV, § 13.

В СССР специальные многопостовые сварочные трансформаторы для питания группы постов не изготавливаются. Для группового питания используются трансформаторы, вторичное напряжение холостого хода которых соответствует напряжению холостого хода сварочной установки, или нормальные силовые трехфазные трансформаторы со вторичной обмоткой, соединенной звездой, и со вторичным линейным напряжением 230 в [21], [22], [31]. При напряжении 230 в требуется пересоединение вторичной обмотки, обеспечивающее вторичное фазовое напряжение, равное 65 в.

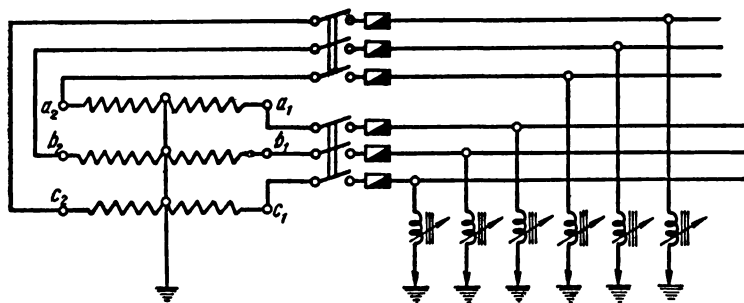
Схемы питания группы постов от силовых трехфазных трансформаторов со вторичным линейным напряжением 230 в изображены на фиг. 75 и 76 [21]. В первом случае (фиг. 75) вторичные токи трансформатора увеличиваются в 2 раза. Необходимо поста-

вить усиленные проходные изоляторы или устроить шинные выводы. Во втором случае (фиг. 76) вторичные токи трансформатора не увеличиваются. Переделка трансформатора (разборка, переключение низковольтной обмотки, переделка крышки, сборка) может быть выполнена электромонтажными цехами крупных пред-



Фиг. 75. Схема подключения группы постов к трехфазному трансформатору с разьединенными пополам вторичными обмотками.

приятий. Чтобы избежать двойной трансформации, целесообразно применять силовые трехфазные трансформаторы с первичным напряжением 6 кв [21], [22], [23]. Можно применять силовые трансформаторы ТМ 20/6 (20 ква, 1400 руб), ТМ 30/6 (30 ква, 1500 руб), ТМ 50/6 (50 ква, 1800 руб.), ТМ 100/6 (180 ква, 3850 руб), ТМ 180/6 (180 ква, 3850 руб.), ТМ 320/6 (320 ква, 5100 руб.).



Фиг. 76. Схема подключения группы постов к трехфазному трансформатору с вторичной обмоткой, соединенной шестифазной звездой.

За границей выпускают сварочные многопостовые трехфазные трансформаторы с комплектом дросселей (Англия, ГДР и др.) [18].

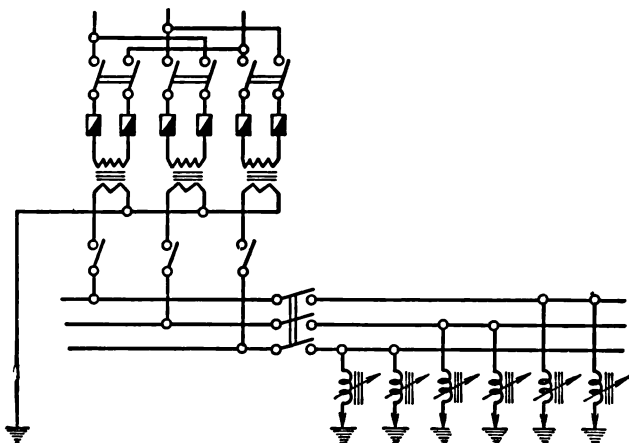
Получил применение ряд схем подключения группы трансформаторов типа СТЭ к общим шинам. На фиг. 77 изображена схема подключения к общим шинам групп, состоящих из трех трансформаторов СТЭ. При такой схеме равномерно загружаются фазы сети.

В многопостовых установках переменного тока может быть применено автоматическое регулирование мощности — автома-

тическое включение и отключение питающих шины трансформаторов по мере изменения нагрузки [33].

При сварке малыми токами применяется питание двух и трех постов от одного трансформатора типа СТЭ [3], [23]. На каждом посту должна быть своя реактивная катушка.

Достоинства схем питания группы постов переменным током от общих шин по сравнению с питанием постов от однопостового оборудования перечислены ниже.



Фиг. 77 Схема подключения к общим шинам групп, состоящих из трех трансформаторов СТЭ.

1. Уменьшается установленная мощность оборудования на 50—75%, снижается его стоимость и требуется меньшая площадь для его размещения.

2. Более полно используется установленная мощность оборудования — не менее чем на 80—90% и оборудование не работает вхолостую. В результате повышаются средневзвешенные коэффициенты полезного действия и коэффициент мощности, снижается расход электроэнергии с 3,5—3,8 до 2,5—2,8 *квт-ч* на 1 кг наплавленного металла [21].

3. Облегчается компенсация угла сдвига фаз.

Как показала практика заводов переход к многопостовой системе питания дает большой экономический эффект, особенно при большом количестве постов, близко расположенных друг от друга. Наиболее эффективно применение мощных трехфазных трансформаторов с первичным напряжением 6 кв. Применение схемы, изображенной на фиг. 77, на Челябинском заводе имени Орджоникидзе дало заводу годовую экономию 66300 руб. [32]. А. А. Горьков [33], [34] рекомендует определять общую

установленную мощность трансформаторов, подключенных к общим шинам и питающих группу постов, следующим образом:

$$P = k_c \cdot \sum P_n, \quad (42)$$

где k_c — коэффициент спроса;

P_n — установленная мощность однопостового трансформатора;

$\sum P_n$ — сумма установленных мощностей однопостовых трансформаторов.

$$k_c = k_s k_m k,$$

где k_s — коэффициент использования однопостового трансформатора по времени;

k_m — коэффициент использования однопостового трансформатора по мощности;

k — коэффициент одновременности работы сварочных постов.

А. А. Горьков принимает $k_s = 0,3$; $k_m = 0,8$, а $k = 1$ (учитывая необходимость создания известного резерва по мощности). В этом случае $k_c = 0,24$. Установленная мощность трансформаторов составит 24% от суммы установленных мощностей однопостовых трансформаторов.

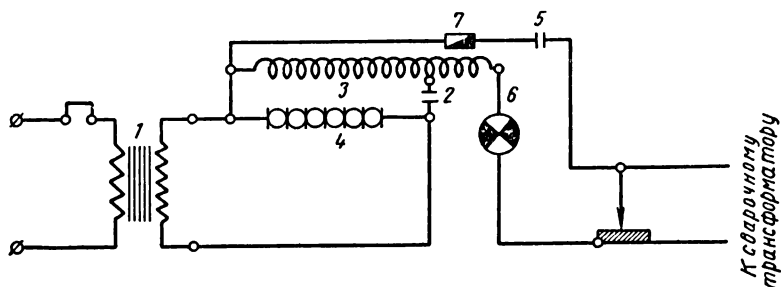
Переход к многопостовой установке связан с монтажом главной магистрали, подводящей большой ток к постам. Если посты расположены далеко друг от друга, провода магистрали будут иметь значительное индуктивное сопротивление и в них будет происходить большое падение напряжения.

§ 17. ОСЦИЛЛЯТОРЫ

При сварке переменным током малой величины наложение на дугу тока высокой частоты повышает устойчивость горения дуги (глава III, § 10), и можно производить сварку от трансформаторов со сравнительно низким напряжением холостого хода. Качество сварки при наложении тока высокой частоты не уступает качеству сварки постоянным током. Как показал опыт работы в сельскохозяйственном машиностроении, в этом случае стоимость оборудования по сравнению с двигатель-генераторными установками уменьшается в 3—5 раз и упрощается его обслуживание, а расход электроэнергии уменьшается примерно в 2 раза [23].

Осциллятор — искровой генератор токов высокой частоты. Схема осциллятора ОСЦВ-2 опытного завода Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения приведена на фиг. 78 [35]. При включении в сеть трансформатора 1, повышающего напряжение до 2300 в, заряжается

конденсатор 2 колебательного контура. Под влиянием высокого напряжения между пластинами разрядников 4 возникают искровые разряды, колебательный контур замыкается. Конденсатор колебательного контура разряжается на индуктивную катушку 3. Энергия, запасенная в электрическом поле конденсатора, переходит в энергию магнитного поля катушки. Затем происходит обратное явление — энергия, запасенная в магнитном поле катушки, переходит в энергию электрического поля конденсатора, ток меняют направление. Далее процесс повторяется. Происходят колебания с частотой $f = 260\ 000$ гц. Емкость конденсатора 2



Фиг. 78. Схема осциллятора ОСЦВ-2:

1 — повышающий трансформатор; 2 — конденсатор; 3 — индуктивная катушка; 4 — разрядники; 5 — блокировочный конденсатор; 6 — неоновая лампочка; 7 — предохранитель

и индуктивность катушки 3 колебательного контура подбираются из условия резонанса при данной частоте.

К сварочной дуге подводится ток высокой частоты. Трансформатор 1 возмещает потерю энергии в колебательном контуре — энергию, переходящую в тепловую в активных сопротивлениях колебательного контура, и препятствует затуханию колебаний.

Блокировочный конденсатор 5 (фиг. 78) представляет собой ничтожно малое сопротивление для тока высокой частоты ($X_c = \frac{1}{2\pi f c}$) и свободно пропускает ток высокой частоты к сварочной дуге. Ток высокой частоты небольшой величины не опасен для жизни человека. В случае аварии в колебательном контуре (разрыв в цепи разрядников) блокировочный конденсатор обеспечивает безопасность сварщика, так как представляет очень большое сопротивление для тока низкой частоты. Кроме того, блокировочный конденсатор препятствует прохождению тока низкой частоты от сварочного трансформатора в осциллятор. В случае пробоя блокировочного конденсатора сгорит плавкий предохранитель 7 и осциллятор автоматически отключится от сварочной цепи. Исправность работы разрядников 4 и наличие тока высокой частоты контролируется неоновой лампочкой 6. При исправной работе осциллятора неоновая лампочка горит ярко, не мигая.

Осциллятор потребляет весьма малое количество электрической энергии (примерно 80 *вт*) [35]. Трансформатор осциллятора работает в режиме короткого замыкания, имеет падающую внешнюю характеристику. Обмотки трансформатора размещены на разных стержнях его сердечника и между ними помещен магнитный шунт. Трансформатор укреплен на панели, с верхней стороны которой смонтированы детали колебательного контура и другие элементы осциллятора. Регулирование воздушных зазоров разрядника в процессе эксплуатации производится с помощью специального винта с изолированной головкой, выведенной за пределы корпуса.

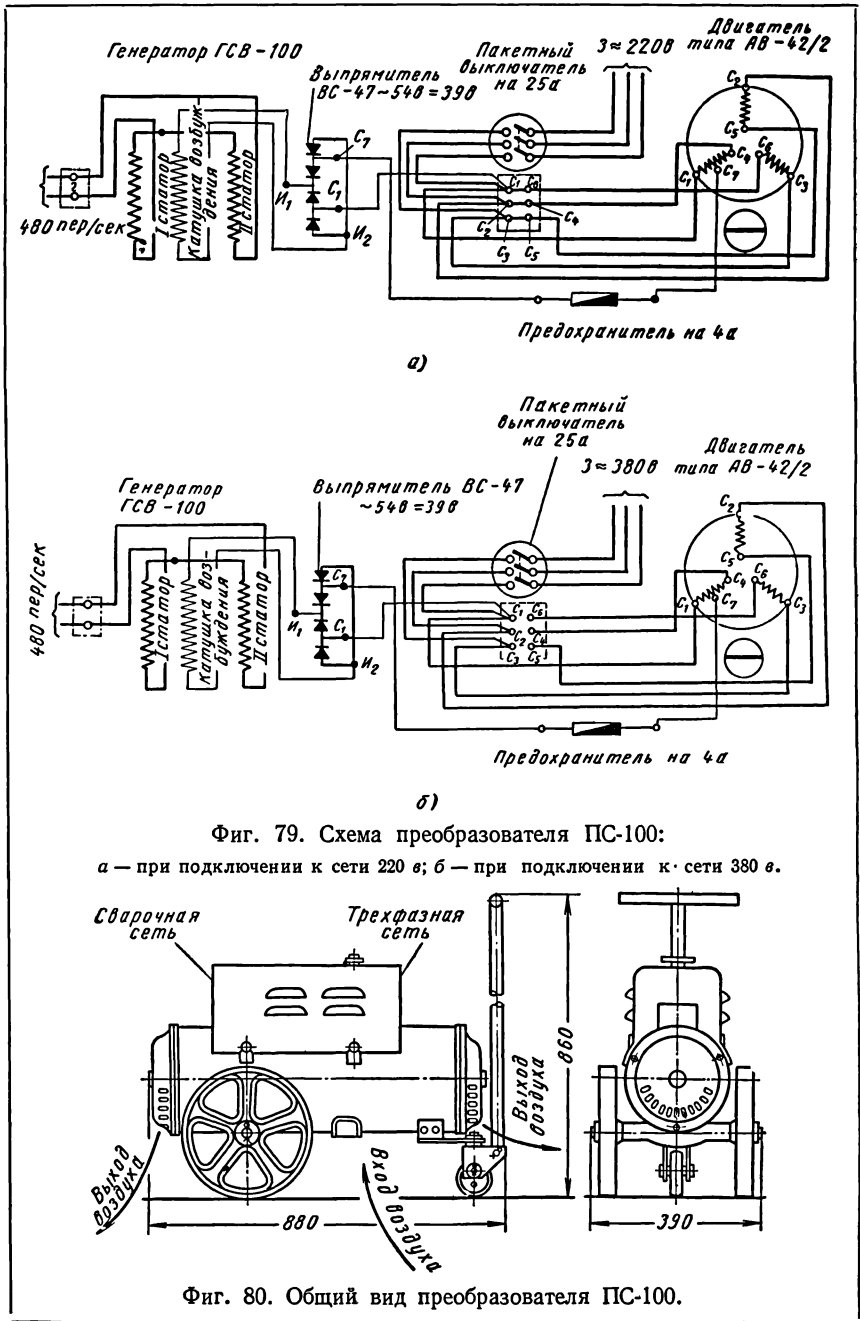
Подключение осциллятора в сеть осуществляется проводами ПРД сечением 1,5 *мм*², а подключение к сварочному посту — одножильным высоковольтным проводом ПВЭЛ-3ф сечением 1,5 *мм*² с металлической оплеткой (экраном) для уменьшения помех при радиоприеме [35]. С этой же целью корпус осциллятора сделан металлическим. Корпус снабжен болтом для заземления и имеет на трех боковых поверхностях жалюзи для охлаждения. Вес осциллятора ОСЦВ-2 16 *кг*.

Вследствие широкого применения в настоящее время ионизирующих обмазок область применения осцилляторов значительно сократилась.

§ 18. ОДНОПОСТВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

При сварке переменными токами малой величины от источников с повышенной частотой повышается устойчивость горения дуги и напряжение холостого хода может быть понижено (глава III, § 10). В последние годы наша электропромышленность выпускает передвижные однокорпусные преобразователи ПС-100, состоящие из генератора однофазного переменного тока высокой частоты (480 *Гц*) и трехфазного асинхронного двигателя на 220/380 *в* (50 *Гц*). Обмотка возбуждения синхронного генератора питается постоянным током от мостика из селеновых выпрямителей. Схемы преобразователя изображены на фиг. 79, а общий вид — на фиг. 80.

В комплект преобразователя входит регулятор-дроссель. Ступенчатое регулирование осуществляется изменением числа витков дросселя (глава IV, § 13). На магнитопроводе дросселя расположено две катушки. Для малых токов катушки включаются последовательно, для средних токов включается одна катушка, для больших токов дроссель отключается. Плавное регулирование на ступенях малых и средних токов производится изменением величины воздушного зазора в магнитопроводе дросселя. Общий вид дросселя изображен на фиг. 81.

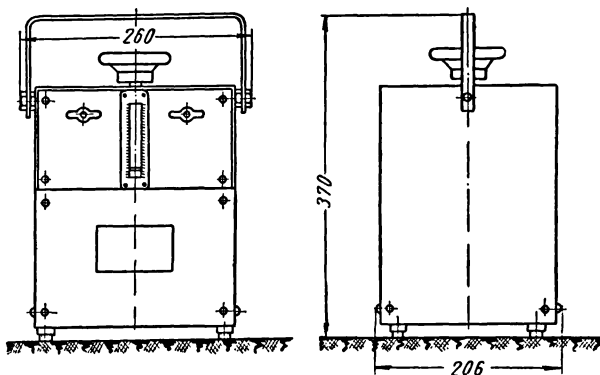


Фиг. 79. Схема преобразователя ПС-100:

а — при подключении к сети 220 в; б — при подключении к сети 380 в.

Фиг. 80. Общий вид преобразователя ПС-100.

Сверху на корпусе преобразователя установлены селеновый выпрямитель и пакетный выключатель. Пуск в ход и остановка преобразователя производится пакетным выключателем



Фиг. 81. Общий вид дросселя к преобразователю ПС-100.

Основные данные преобразователя ПС-100

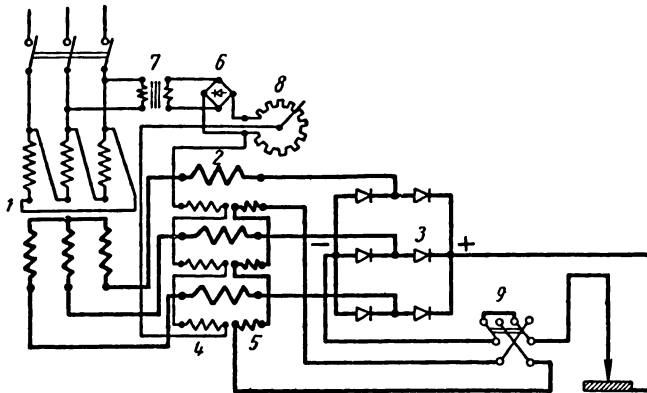
Напряжение холостого хода в <i>в</i>	80—90
Номинальное рабочее напряжение в <i>в</i>	25
Номинальный режим работы ПР в %	65
Допустимый рабочий ток в <i>а</i>	100
Пределы регулирования тока в <i>а</i>	20—120
Мощность двигателя в <i>квт</i>	4
Тип выпрямителя	ВС-47
Напряжение, подводимое к выпрямителю, в <i>в</i>	54
Выпрямленное напряжение в <i>в</i>	39
Выпрямленный ток в <i>а</i>	3
Габаритные размеры в <i>мм</i> :	
<u>преобразователя</u>	
регулятора	
	880
длина	238
	390
ширина	206
	860
высота	370
	160
Вес в <i>кг</i> <u>преобразователя</u>	21
регулятора	

§ 19. СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ В КОМБИНАЦИИ С ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

В связи с достижениями выпрямительной техники в последние годы (уменьшение габаритов полупроводниковых выпрямителей больших мощностей) получили распространение аппараты, состоящие из трансформатора и полупроводникового выпрямителя.

Применяются большей частью селеновые выпрямители, которые допускают большие кратковременные перегрузки по току [16].

Аппараты с селеновыми выпрямителями выпускаются многими иностранными фирмами на различные токи — до 800 *a*. Аппараты на 800 *a* выпускает фирма «General Electric» (США). Некоторые из этих аппаратов пригодны для сварки как переменным, так и



Фиг. 82. Принципиальная электрическая схема преобразователей СПГ-100 и СПС-100:

1 — трансформатор; 2 — дроссельные обмотки; 3 — германиевый или селеновый выпрямитель; 4 — обмотки подмагничивания; 5 — обмотки обратной связи; 6 — выпрямитель подмагничивания; 7 — вспомогательный трансформатор; 8 — регулировочный реостат; 9 — переключатель для включения обмоток обратной связи дросселя насыщения.

постоянным током: аппараты фирм «Miller Electric Manufacturing Co» «The Lincoln Electric Company», «General Electric Co» (США).

В ГДР выпускаются аппараты на 300 *a* и разрабатываются аппараты на 1000 *a* [36].

Большинство аппаратов состоят из трехфазного трансформатора (с увеличенным рассеянием и подвижными первичными обмотками) и выпрямительного устройства, собранного по схеме трехфазного моста. Трансформатор и выпрямительное устройство помещены в общем корпусе. Регулирование сварочного тока производится перемещением всех трех первичных обмоток трансформатора.

Выпускаются аппараты, состоящие из трехфазного трансформатора, дросселя (на магнитопроводе которого помещаются три реактивных катушки) и выпрямительного устройства. Применяются дроссели насыщения и дроссели с регулируемыми воздушными зазорами.

В аппаратах с жесткими внешними характеристиками осуществляется ступенчатое регулирование изменением числа витков вторичной обмотки трансформатора.

ВНИИЭСО разработал и выпускает сварочные преобразователи СПГ-100 с германиевыми выпрямителями и СПС-100, ВСС-120 с селеновыми выпрямителями для сварки постоянным током малой величины. Они состоят из трехфазного трансформатора, трех дросселей насыщения, трехфазного моста из селеновых или германиевых выпрямителей, вспомогательного однофазного трансформатора, вспомогательного выпрямителя для питания цепи управления дросселей насыщения, регулировочного реостата и вентилятора для обдува выпрямителей, смонтированных в общем корпусе. Обмотки трансформатора и реактивные обмотки дросселей выполнены из алюминия. Дроссели размещены выше трансформатора, над дросселями установлены вспомогательный трансформатор, выпрямители и вентилятор.

На фиг. 82 изображена принципиальная электрическая схема преобразователей ВНИИЭСО [37], [38] и на фиг. 83 внешний вид преобразователя СПГ-100.

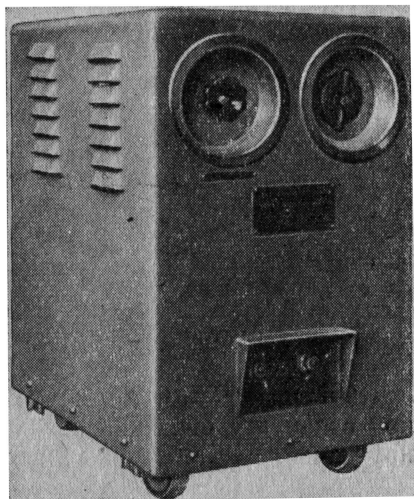
При напряжении 220 в первичная обмотка трансформатора соединяется треугольником, а при напряжении 380 в — звездой. Вторичная обмотка в обоих случаях остается соединенной звездой. Включается преобразователь рукояткой, помещенной на фасаде справа.

Регулирование производится поворотом рукоятки реостата δ , включенного в цепь управления дросселя насыщения (фиг. 82). При увеличении тока управления (изменяется от 0 до 3,5 а), увеличиваются вторичные токи трансформатора, а следовательно увеличивается и выпрямленный сварочный ток. Рукоятка регулировочного реостата находится на фасаде слева.

Система управления потребляет мощность 100 ватт.

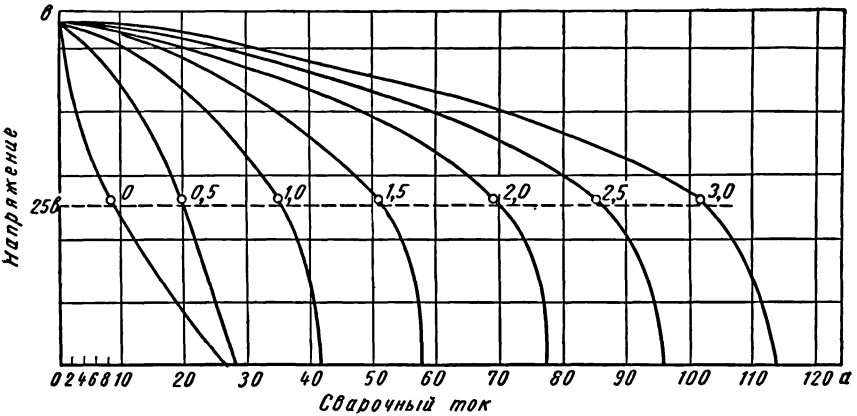
На фиг. 84 приведены внешние характеристики преобразователя СПГ-100, а на фиг. 85 — преобразователя СПС-100.

Использование обмоток 5 (фиг. 82) обратной отрицательной связи по току (ампер-витки этих обмоток оказывают размагни-



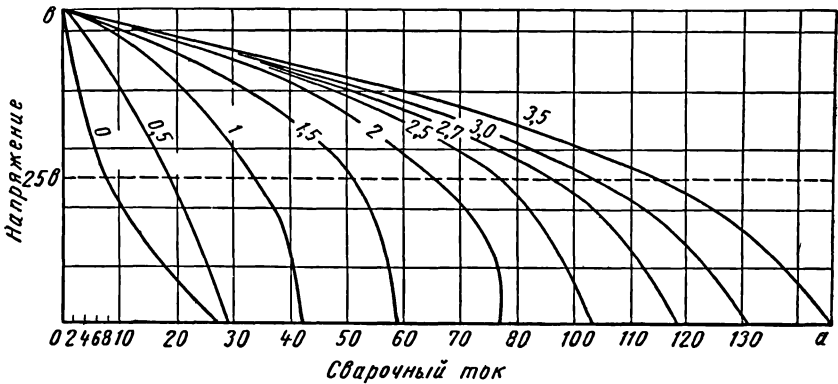
Фиг. 83. Внешний вид преобразователя СПГ-100.

чивающее действие) позволяет получать внешние характеристики, отличающиеся по форме от характеристик, снятых без обратной связи [39]. На фиг. 86 изображены внешние характеристики,



Фиг. 84. Внешние характеристики преобразователя СПГ-100.

снятые при одном и том же токе управления дросселя без обратной связи и с обратной связью. Возможность такого изменения крутизны характеристики имеет значение при использовании пре-



Фиг. 85. Внешние характеристики преобразователя СПС-100

образователей в качестве источников питания в автоматах для дуговой сварки.

Основные данные преобразователя СПГ-100:

Напряжение питания в <i>в</i>	220 или 380
Напряжение холостого хода в <i>в</i>	60—65
Допустимый рабочий ток в <i>а</i>	100
Пределы регулирования тока в <i>а</i>	20—100

Габаритные размеры в мм:

длина	950
ширина	450
высота	620
Вес в кг	150

Преобразователи, состоящие из трансформатора и полупроводникового выпрямителя, имеют следующие преимущества по сравнению с двигатель-генераторными установками:

1. Отсутствие вращающихся частей и коллектора, что упрощает их обслуживание в процессе эксплуатации.

2. Меньшие вес, габариты и стоимость (особенно при применении обдува).

3. Более высокий коэффициент полезного действия (на 10—15% для преобразователей с селеновыми выпрямителями и на 30—35% для преобразователей с германиевыми выпрямителями [37].

4. Как показывают осциллограммы, аппараты с трехфазными трансформаторами обладают хорошими динамическими качествами [16], [28].

5. Напряжение холостого хода при плавном регулировании меняется незначительно или совсем не меняется.

6. Аппараты с трехфазными трансформаторами равномерно загружают фазы сети.

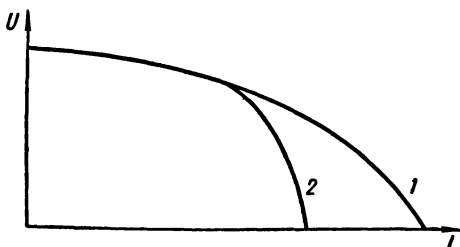
Некоторые иностранные фирмы выпускают одно- и трехфазные трансформаторы в комбинации с ламповыми выпрямителями для сварки тонколистовых материалов [28].

§ 20. СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГИ

С 1956 г. Свердловский электромеханический завод выпускает аппараты З-СТ для ручной сварки трехфазной дугой. Эти аппараты разработаны Уральским политехническим институтом совместно с Свердловским электромеханическим заводом под руководством проф. Н. С. Сиунова [40], [41], [42].

Аппарат З-СТ состоит из трехфазного трансформатора, регулятора сварочного тока, электромагнитного контактора и двухфазного электрододержателя.

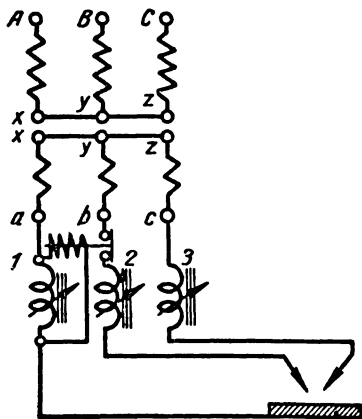
Схема аппарата З-СТ изображена на фиг. 87. На первичных обмотках трансформатора сделаны отпайки (10% витков) на слу-



Фиг. 86. Внешние характеристики преобразователя с полупроводниковыми выпрямителями:

1 — без обратной связи; 2 — с обратной связью.

чай понижения напряжения в сети. Поэтому на клеммной доске первичной стороны имеется шесть клемм. При напряжении сети 380 в первичная обмотка трансформатора соединяется звездой, а при напряжении сети 220 в — треугольником. Реактивные катушки 2 и 3 помещаются на общем магнитопроводе с регулируемым воздушным зазором (одна в одной) и включены встречно. При регулировании устанавливаются одинаковые линейные токи I_2 и I_3 . Реактивная катушка 1 помещается на другом магнитопроводе



Фиг. 87. Схема аппарата З-СТ.

с регулируемым воздушным зазором. Линейный ток I_1 регулируется отдельно. Оба магнитопровода регулятора помещаются в общем кожухе. Две рукоятки для регулирования токов размещены на передней стенке, а рукоятка двух стопорных болтов — на крышке кожуха. Болты служат для закрепления подвижных частей сердечников регулятора во избежание дребезжания. При замыкании электродов с деталью в первый момент появляются линейные токи I_1 , I_3 и ток в катушке контактора. Контакт замыкает цепь линейного тока I_2 . При отрыве электродов от изделия загораются все три дуги. Величина напряжения на реактивной катушке 1 во время горения дуги достаточна, чтобы держать контакты контактора в замкнутом состоянии. При отводе электродов от изделия, катушка контактора обесточивается. Контакты в цепи линейного тока I_2 размыкаются. Дуга между электродами прерывается. Основное назначение контактора — прерывать дугу между электродами при отводе электродов от изделия.

Аппарат З-СТ равномерно загружает фазы сети.

Основные данные аппарата З-СТ

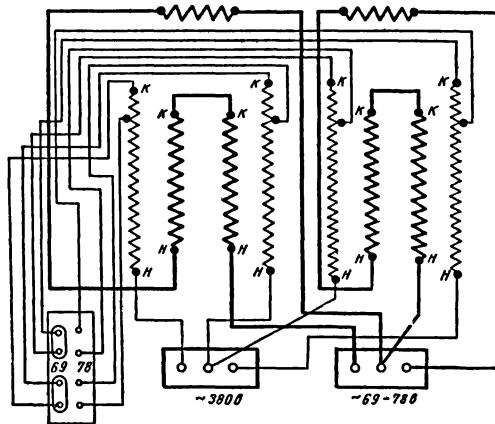
Напряжение холостого хода в в	59—68
Номинальный режим работы ПР в %	60
Допустимый рабочий ток в а	590
Коэффициент полезного действия	0,9
Коэффициент мощности	0,79

Завод «Электрик» в Ленинграде выпускает для ручной сварки трехфазной дугой трансформаторы ТТС-400. Трансформатор ТТС-400 выполнен из двух однофазных трансформаторов СТН-350, помещенный в общий кожух и соединенных по схеме открытого треугольника [2], [3]. Для автоматической сварки трехфазной

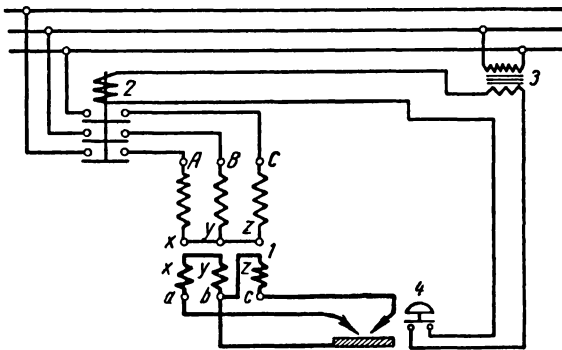
дугой завод «Электрик» выпускает трансформатор ТТСД-1000, выполненный из двух однофазных трансформаторов ТСД-1000, помещенных в общий кожух и также соединенных между собой по схеме открытого треугольника [2], [3]. Монтажная схема трансформатора ТТСД-1000 приведена на фиг. 88.

Для сварки трехфазной дугой применяются два одинаковых трансформатора типов СТЭ, СТН или ТСД и соединяются по схеме открытого треугольника.

Трансформаторы для сварки трехфазной дугой выпускаются и за границей. В ГДР выпускаются трансформаторы для ручной сварки трехфазной дугой и разрабатывается трансформатор с дистанционным регулированием для автоматической сварки трехфазной дугой под флюсом на большие токи



Фиг. 88. Схема трансформатора ТТСД-1000.



Фиг. 89. Схема трансформатора Кьельберг:

1 — трансформатор; 2 — контактор; 3 — вспомогательный трансформатор; 4 — кнопка включения.

[36]. Схема трансформатора Кьельберг (ГДР) для сварки трехфазной дугой под флюсом изображена на фиг. 89. Трансформатор Кьельберг не имеет дросселей. Это трансформатор с увеличенным рассеянием. Трансформатор 1 включается контактором

при нажатии кнопки 4, катушка контактора 2 питается от вторичной обмотки вспомогательного трансформатора 3.

Регулирование трехфазной дуги сложнее, чем однофазной. Токи в проводах, идущих к электродам и изделию, — линейные, а в дугах — фазовые. Две зависимые дуги (между электродами и изделием) и независимая дуга (между электродами) образуют треугольник. Замерить токи в дугах невозможно. Раздельная регулировка тока в электродах и изделии по существу приводит к раздельному регулированию токов зависимых и независимой дуг и позволяет регулировать расплавление металла изделия и электродов [3], [40], [42], [43].

Например, если осуществлять регулировку дросселями при неизменных длинах дуг, то:

1) уменьшение индуктивного сопротивления в цепи детали приводит к увеличению линейного тока в детали, токов зависимых дуг и проплавления металла изделия;

2) уменьшение индуктивных сопротивлений в цепи электродов приводит к увеличению линейных токов в электродах, тока независимой дуги и расплавления электродного металла.

При автоматической сварке трехфазной дугой применяется изменение длины независимой дуги, что также влияет на токи в дугах и позволяет регулировать расплавление основного и электродного металла. Например, при неизменных линейных токах, удлинение независимой дуги приводит к уменьшению тока в дуге и к увеличению токов зависимых дуг, следствием чего является увеличение расплавления металла изделия.

При автоматической сварке с постоянной скоростью подачи электрода автоматический регулятор, поддерживающий режим трехфазной дуги в процессе сварки, состоит из механизма изменения расстояния между электродами и механизма изменения воздушных зазоров регуляторов, на которые воздействует сигнал от тока в изделии. Как и при однофазной сварке величина тока в электродах зависит от скорости подачи электродной проволоки. Вследствие этого регулирование тока в электродах осуществляется установкой определенной скорости подачи электродной проволоки.

При сварке трехфазной дугой от трансформаторов ТТС-400, ТТСД-1000 или двух однофазных трансформаторов, в линии, подключенной к изделию, дроссель отсутствует. Токи в электродах меньше тока в изделии. Если необходимо уменьшить ток в изделии, подключается дроссель в линию, присоединенную к изделию [2], [3], [40], [42]. К трансформатору ТТСД-1000 рекомендуется подключать два дросселя от трансформаторов СТЭ-34, соединяя их между собой параллельно.

ГЛАВА V

ВЫБОР И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 21. ВЫБОР ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Выбор электросварочного оборудования и системы питания сварочных постов зависит от технологических особенностей сварочных работ и условий данного производства. Система питания сварочных постов и установленная мощность электрооборудования должны быть такими, чтобы в процессе эксплуатации оборудование наиболее полно использовалось по мощности. Холодная работа оборудования должна быть сведена до минимума. В этом случае среднезвешенные коэффициент полезного действия и коэффициент мощности будут выше, а расход электроэнергии меньше.

Прежде всего, исходя из технологических особенностей сварочных работ, следует решить вопрос, возможна ли сварка переменным током или обязательно необходим постоянный ток. Применение переменного тока значительно экономичнее постоянного. Расход электроэнергии (в *квт-ч*) на килограмм наплавленного металла характеризуется в различных случаях следующими данными:

1) при сварке от однопостового оборудования:

однофазным переменным током	3,5—3,8
постоянным током	5—6,5
трехфазным током	2,65—3

2) при питании группы постов от общих шин:

однофазным переменным током	2,5—2,8
постоянным током при 60 в	8—9
постоянным током при 40 в	5—5,5

(данные относятся к двигатель-генераторным установкам постоянного тока).

Установленная мощность и стоимость оборудования переменного тока меньше и уход за ним в процессе эксплуатации проще, по сравнению со сварочными преобразователями, особенно по сравнению с двигатель-генераторами.

Затем следует решить вопрос о системе питания сварочных постов. Наиболее экономичной при сварке переменным током является система питания группы постов от общих шин (глава II, § 8 и IV, § 16). Особенно экономично применение последней в заводских сварочных цехах при массовом производстве. Электрооборудование (многопостовые трехфазные трансформаторы или группы однофазных трансформаторов) может быть установлено в отдельном помещении, что улучшает условия работы трансформаторов.

При сварке постоянным током в заводских сварочных цехах с большим количеством постов и малым ПР% при серийном производстве целесообразно применять систему питания группы постов от многопостового сварочного преобразователя (глава II, § 8). Экономичность многопостовой установки постоянного тока еще больше возрастет при применении преобразователей без вращающихся частей (например, ртутных выпрямителей). При малом числе постов, при монтажных работах и работах полевого типа, на строительстве применяется однопостовое оборудование.

Однопостовое оборудование устанавливается непосредственно у поста. Однопостовые двигатель-генераторы в двухкорпусном исполнении (двигатель и генератор, соединенные эластичной муфтой на раме) устанавливаются на фундаменте и применяются как стационарные установки. Агрегаты (двигатель внутреннего сгорания и генератор, соединенные эластичной муфтой и установленные на раме и защищенные навесом) применяются в полевых условиях при отсутствии электрической сети — перевозятся на грузовых автомашинах. Трансформаторы, аппараты и однокорпусные преобразователи на колесах на токи 500 а и более применяются преимущественно как стационарные установки, а на токи менее 500 а — как стационарные и как передвижные (при работах, связанных с частым перемещением оборудования, — монтажных, ремонтных, строительных). При работах, требующих частых перемещений оборудования, удобны аппараты (на токи до 500 а) с отдельной реактивной катушкой, при этом меньше вес перемещаемого оборудования.

Далее следует решить вопрос о мощности оборудования. Однопостовое оборудование работает в повторно-кратковременном режиме. В каталогах, проспектах и паспортах оборудования указывается допустимый ток нагрузки I_n при принятом для данного оборудования номинальном ПР_n%. Этот ток больше тока, допустимого при длительном режиме работы оборудования. При указанных I_n и ПР_n% электрооборудование не будет нагреваться выше допустимой для него температуры. Легко сделать пересчет на другой режим ПР%, отличный от номинального, исходя из условий равного нагрева оборудования при различных ПР%:

$$I_n^2 \text{ПР}_n \% = I^2 \text{ПР} \%_0$$

отсюда допустимый ток нагрузки при $PR\%$ будет равен

$$I = I_n \cdot \sqrt{\frac{PR_n^0 / I_0}{PR^0 / I_0}}. \quad (43)$$

При $PR\% > PR_n\%$ $I < I_n$; при $PR\% < PR_n\%$ $I > I_n$.

По мощности однопостовое оборудование выбирается с учетом действительного $PR\%$, которое устанавливается по технологическому процессу.

Например, по технологическому процессу установлено, что сварка будет производиться вручную переменным током до 300 а в две смены. В цехе будет 12 сварочных постов, работающих с $PR = 80\%$.

Первый вариант расчета. Выбираем аппараты СТЭ-24 (табл. 4). Их можно нагружать при $PR_n = 65\%$ током 350 а. При $PR = 80\%$ их можно нагружать током:

$$I = 350 \cdot \sqrt{\frac{65}{80}} = 315 \text{ а.}$$

Стоимость 12 аппаратов СТЭ-24: $1320 \text{ руб.} \cdot 12 = 15\,840 \text{ руб.}$

Второй вариант расчета. Выбираем трансформаторы СТАН-1 (табл. 5). Их можно нагружать при $PR_n = 65\%$ током 350 а. При $PR = 80\%$ их также можно нагружать током 315 а. Стоимость 12 трансформаторов СТАН-1: $790 \text{ руб.} \cdot 12 = 9480 \text{ руб.}$

Третий вариант расчета. Выбираем многопостовую установку с многопостовым трансформатором. Установленная мощность аппаратов СТЭ-24 или СТАН-1 равна 24 ква. По методу А. А. Горькова (глава IV, § 16), принимая $k_a = 0,3$; $k_n = \frac{300}{350} = 0,86$; $k = 0,7$; $k_c = 0,18$, установленная мощность многопостового трансформатора: $0,18 \cdot 12 \cdot 24 = 52 \text{ ква}$. Выбираем силовой трехфазный трансформатор ТМ 50/6 на 50 ква. Стоимость трансформатора 1800 руб. (глава IV, § 16). Стоимость 12 дросселей (по 500 руб. за дроссель) составит 6000 руб., а трансформатора и дросселей с учетом переделки трансформатора и монтажа магистралей: $1,1 \cdot (1800 + 6000) = 8580 \text{ руб.}$

Из сравнения вариантов расчетов можно сделать вывод, что следует остановиться на втором или третьем варианте. Стоимость резервного оборудования по второму варианту $790 \cdot 3 = 2370 \text{ руб.}$ (достаточно иметь в резерве три трансформатора СТАН-1), а по третьему варианту $1800 + 3 \cdot 500 = 3300 \text{ руб.}$ (нужно иметь в резерве один многопостовый трансформатор и три дросселя). С учетом резервного оборудования первоначальные затраты составят: по второму варианту $9480 + 2370 = 11\,850 \text{ руб.}$ и по третьему варианту $8580 + 3300 = 11\,880 \text{ руб.}$ В эксплуатации экономичнее третий вариант (глава IV, § 16).

Допустимый перегрев оборудования исходит из определенного срока службы оборудования при его трехсменной работе. При работе оборудования в две и одну смену можно допускать ток нагрузки несколько больше величины, подсчитанной по выражению (43). Коэффициент α_x представляет собой отношение тока, допустимого для данных условий к допустимому току при длительной нагрузке и может быть определен по кривым зависимости $\alpha_x = f$ (числа часов фактической работы трансформатора при его односменной работе), полученным Г. И. Глаголевым [26]. По паспортным данным при $ПР_n\% = 65$ для различных типов трансформаторов:

$\alpha_x = 1,21 \div 1,25$, а по упомянутым кривым при односменной работе и $ПР_n\% = 65$:

$\alpha_x = 1,31$ — при фактической работе в смену 6 час.,

$\alpha_x = 1,33$ — при фактической работе в смену 5 час.

При обдуве трансформатора с помощью вентилятора, установленного под трансформатором, допустимый ток при длительной нагрузке может быть увеличен на 43%. Соответственно может быть увеличен допустимый ток при различных режимах повторно-кратковременной работы. Кроме того, при обдуве уменьшается неравномерность нагрева и за счет этого α_x дополнительно увеличивается на 10% [26], [44].

Например, допустимый ток нагрузки при односменной фактической работе в течение 5 час. с $ПР_n\% = 65$ трансформатора СТН-500 без обдува определится следующим образом:

$$I = 500 \sqrt{\frac{65}{100}} \cdot 1,33 = 532 \text{ а,}$$

а с обдувом допустимый ток будет равен:

$$I = 500 \sqrt{\frac{65}{100}} \cdot 1,33 \cdot 1,43 \cdot 1,1 = 835 \text{ а.}$$

§ 22. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Стационарное электросварочное оборудование устанавливается на бетонный или кирпичный фундамент на цементном растворе. В фундамент заливаются болты диаметром 16—20 мм на глубину 450—600 мм для крепления фундаментной плиты. При установке стационарного оборудования на фундамент следует:

- 1) проверить горизонтальность фундамента по уровню,
- 2) сцентрировать валы двигателя и генератора, проверить горизонтальность валов по уровню и их расстояние от фундамента по отвесу.

Желательно, чтобы стационарное оборудование было помещено в отдельном помещении. В этом случае условия работы машин улучшаются, упрощается уход, возможно централизованное пи-

тание постов от общего щита. Однако для такого размещения требуется дополнительная площадь и увеличивается расход проводов. В отдельном помещении целесообразно устанавливать многопостовые трансформаторы, группы трансформаторов, питающих общие шины, многопостовые генераторы, стационарные однопостовые генераторы.

Передвижное оборудование устанавливается на полу цеха около колонн (желательно устанавливать его на деревянном настиле).

Нужно ограждать машины во избежание их повреждений и для предупреждения несчастных случаев. Уход за оборудованием, установленным в цехе, должен быть особенно тщательным, ввиду большей возможности загрязнения.

Каждый преобразователь или трансформатор должен иметь на щите рубильник с изолированной ручкой и предохранители. Рубильник, предохранители, зажимы вводов и выводов закрываются кожухом. Рукоятка крепится к траверсе, связанной с ножами рубильника, и выводится наружу сбоку кожуха. Движение подвижных частей рубильника должно происходить плавно, без заедания. К зажимным контактам присоединяются провода, с припаянными наконечниками [45].

Подвод тока к сварочным постам осуществляется проводами с резиновой изоляцией марок ПРН или ПРГН, а к электрододержателю особо гибкими многожильными проводами марок ПРГН или ПРГД (помещаются в резиновые шланги или брезент) [27], [46].

Подключение сварочных преобразователей и трансформаторов к сети должно выполняться исключительно электромонтерами. Подключение сварочных проводов может производиться электро-сварщиками.

После установки как стационарного, так и передвижного оборудования, следует проверить, произведены ли установка оборудования, проводка и заземление согласно действующим правилам и нормам, утвержденным Государственной инспекцией по промышленной энергетике и электронадзору.

Перед пуском, после установки или ремонта оборудования следует произвести осмотр.

1. Проверить надежность заземления корпуса, механических креплений и контактных соединений.

2. Тщательно очистить оборудование от пыли и грязи, произвести, если необходимо, обдувание сжатым воздухом или азотом.

3. Проверить сопротивление изоляции обмоток, измерение сопротивления производится с помощью меггера на 500 в, между обмотками, а также между каждой из обмоток и корпусом. Сопротивление должно быть не меньше 0,5 мгом. В случае пониженного сопротивления из-за отсырения обмотки следует просушить.

4. Проверить все обмотки на обрыв меггером, индуктором или лампой.

5. Проверить, правильно ли подобраны предохранители.

6. В агрегатах и двигатель-генераторах проверить состояние колец, щеточного устройства и коллектора, залито ли масло в подшипники, легко ли проворачивается ротор, правильно ли направление вращения генератора (последнее проверяется при холостом ходе).

Коллектор генератора постоянного тока должен быть коричневого цвета с синеватым отливом и не иметь царапин и нагара. Слюда не должна выступать из канавок. Щетки должны быть одинаково прижаты, притерты и исправны.

7. У трансформаторов проверить исправность емкостного фильтра от радиопомех.

8. У трансформаторов с дистанционным управлением проверить подключение к трехфазной сети электродвигателей. Включение двигателя подвижной части магнитопровода должно быть таким, чтобы при нажатии кнопки, соответствующей увеличению тока, ток действительно увеличивался. Включение двигателя вентилятора должно быть таким, чтобы воздух выходил из верхних щелей кожуха.

В процессе эксплуатации оборудования следует соблюдать следующие правила:

1. Периодически протирать и продувать.

2. Следить за нагревом, общий или местный сильный нагрев указывают на неисправность оборудования.

3. Периодически проверять сопротивление изоляции между обмотками, а также между обмотками и корпусом.

4. Следить за надлежащим состоянием механических креплений контактов, смазки, коллектора, щеточного устройства, колец, подшипников, фильтра от радиопомех.

За коллектором следует систематически наблюдать и ухаживать. Для удаления пыли необходимо систематически протирать коллектор чистой тряпочкой, смоченной в бензине.

В проспектах оборудования подробно описывается, как необходимо следить в процессе эксплуатации за тем или иным трансформатором, аппаратом, преобразователем, агрегатом.

Признаки, по которым устанавливаются те или иные неисправности двигатель-генераторов и причины этих неисправностей, могут быть следующими:

1. Ротор двигателя не вращается и сильно гудит из-за обрыва в одном из подводящих проводов или одной из фаз обмотки статора.

2. Статор двигателя сильно нагревается вследствие перегрузки.

3. Статор двигателя сильно нагревается, причем перегрев сопровождается сильным запахом горелой изоляции, так как произошло замыкание в обмотке статора.

4. Генератор не дает напряжения вследствие обрыва в цепи возбуждения или размагничивания (при самовозбуждении).

5. Генератор сильно нагревается из-за перегрузки.

6. Коллектор перегревается, щетки искрят ввиду загрязнения или неисправности коллектора, щеток.

7. Щетки искрят при значительном нагаре в одном месте на коллекторе вследствие обрыва в обмотке якоря или плохой припайки проводника к коллектору.

8. Щетки искрят при значительном нагаре в одном месте на коллекторе с одновременным нагревом обмотки якоря вследствие виткового замыкания в обмотке якоря.

Те или иные неисправности трансформаторов и причины этих неисправностей можно установить по следующим признакам [3]:

1. Сильно нагревается часть обмотки трансформатора вследствие виткового замыкания. При замыкании в первичной обмотке, кроме того, трансформатор сильно гудит и увеличивается ток, потребляемый из сети при холостом ходе.

2. Сильно нагревается сердечник трансформатора и скрепляющие его шпильки из-за порчи изоляции сердечника и изоляции шпилек.

3. Сильно нагреваются соединения в местах неплотных контактов.

4. Сильно гудит сердечник вследствие неисправности механических креплений. При наличии подвижного пакета гудение происходит также вследствие ослабления натяга пружин и растяжения винтового привода.

5. Проверкой меггером обнаруживается повреждение изоляции между обмоткой и корпусом или между обмотками. Повреждение изоляции может привести к поражению током при отсутствии заземления трансформатора.

6. Путем поверхностного осмотра фильтра от радиопомех устанавливаются механические повреждения, а проверкой меггером обнаруживается пробой в конденсаторах фильтра. Последнее, при отсутствии заземления трансформатора, может быть опасным для жизни обслуживающего персонала.

7. Сильно нагревается корпус в трансформаторах типа СТАН вследствие порчи изоляции между торцовыми стенками и основной частью корпуса. Изоляция между торцовыми стенками и основной частью корпуса в трансформаторах СТАН прокладывается для уменьшения нагрева кожуха индуктированными токами, наводимыми значительным потоком рассеяния трансформатора.

Замеченные неисправности оборудования должны быть немедленно устранены, что в большинстве случаев требует разборки оборудования. Порядок разборки оборудования и сборки его после устранения неисправностей указывается в проспектах оборудования. Ремонт и наблюдение за электросварочным оборуду-

дованием должны выполнять электромонтеры, строго соблюдая правила безопасности для электротехнических сооружений сильных токов.

§ 23. УЛУЧШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ И СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Переход к многопостовой системе питания сварочных постов часто приводит к повышению средневзвешенных коэффициента полезного действия, коэффициента мощности и к снижению расхода электроэнергии (см. главы II, § 8 и IV, § 16). Однако не всегда возможен и целесообразен переход к многопостовой системе питания постов. В целях повышения $\cos \varphi$ и экономии электроэнергии необходимо:

- 1) не допускать работы оборудования вхолостую,
- 2) добиваться наиболее полной загрузки оборудования по мощности (как при выборе оборудования, так и в процессе его эксплуатации),
- 3) добиваться снижения потерь электроэнергии в распределительной силовой сети.

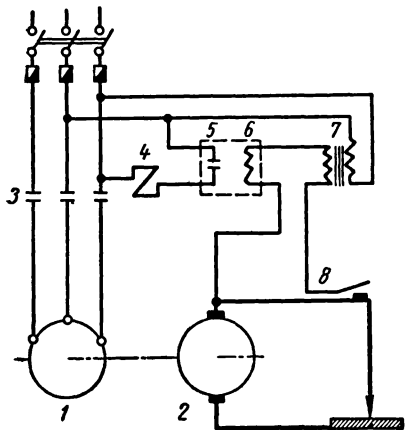
Устранение холостой работы оборудования сокращает расход электроэнергии на 25—40%. Чтобы облегчить сварщику отключение сварочного трансформатора, сварочного аппарата или электродвигателя преобразователя при прекращении процесса сварки, применяют чрезвычайно простые схемы, которые позволяют производить включение и отключение кнопкой, помещенной на электрододержателе или около сварочного стола.

А. М. Огородников [47] описывает одно из таких устройств (фиг. 90). Первичная обмотка трансформатора или обмотка статора асинхронного двигателя *1* включаются в сеть замыканием нормально открытых контактов *3* магнитного пускателя. Цепь катушки *4* магнитного пускателя подключается к сети напряжением 380 или 220 в и замыкается контактом *5* промежуточного реле. Катушка *6* промежуточного реле питается от вспомогательного трансформатора *7* (380, 220/12, 36 в). Эта цепь замыкается кнопкой *8*, установленной на электрододержателе. В процессе сварки сварщик держит кнопку *8* нажатой — аппарат, трансформатор или преобразователь включены в сеть. Прекращая сварку, сварщик отпускает кнопку — аппарат, трансформатор или преобразователь отключаются от сети.

Еще более простое устройство для отключения трансформаторов при холостой работе предложил Н. Ф. Дагаев [48] (фиг. 91). Первичная обмотка трансформатора *1* включается в сеть замыканием контактов *2* магнитного пускателя, катушка *3* которого включена во вторичную цепь вспомогательного трансформатора *4* (380, 220/65 в). Как и в предыдущем случае эта цепь замыкается кнопкой *5*, размещенной на электрододержателе.

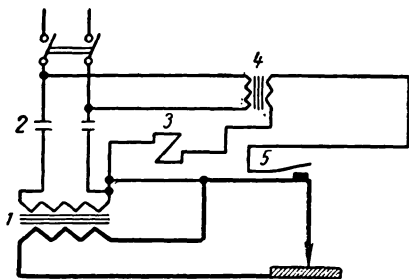
Применяется ряд схем автоматического отключения оборудования от сети при холостой работе. Проще и дешевле те схемы, в которых не предусматривается выдержка времени при отключении. Однако недостатком таких схем является то, что аппарат, трансформатор или преобразователь отключаются от сети даже при кратковременном (на несколько секунд) обрыве дуги, что затрудняет работу сварщика.

На Харьковском тракторном заводе применяется чрезвычайно простая схема К. А. Канапышева [49]. Эта схема при-



Фиг. 90. Схема ограничителя холостого хода А. М. Огородникова:

1 — асинхронный двигатель; 2 — генератор; 3 — контакты магнитного пускателя; 4 — катушка магнитного пускателя; 5 — контакт промежуточного реле; 6 — катушка промежуточного реле; 7 — вспомогательный трансформатор; 8 — включающая кнопка.



Фиг. 91. Схема ограничителя холостого хода Н. Ф. Дагаева:

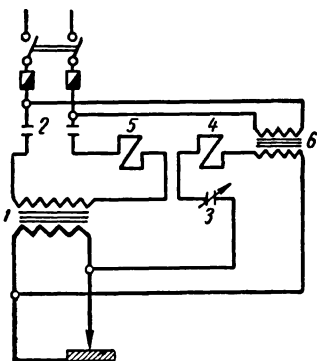
1 — сварочный трансформатор; 2 — контакты магнитного пускателя; 3 — катушка магнитного пускателя; 4 — вспомогательный трансформатор; 5 — включающая кнопка.

годна для трансформаторов с реактивными катушками и с увеличенным рассеянием. Схема ограничителя холостого хода К. А. Канапышева изображена на фиг. 92.

Включением рубильника напряжение подводится к вспомогательному трансформатору 6. При холостом ходе ток в катушке 4 небольшой, и магнитный пускатель не срабатывает. Нормально открытые контакты 2 разомкнуты. При соприкосновении электрода с изделием вторичная обмотка трансформатора 1 закорачивается. Ток в катушке 4 магнитного пускателя увеличивается. Магнитный пускатель срабатывает, и замыкаются контакты 2. Сварочный трансформатор подключается к сети. Одновременно нормально закрытый контакт 3 магнитного пускателя размыкается и катушка 4 обесточивается. Однако ток в катушке 5 магнитного пускателя, появившийся после замыкания контактов 2 таков, что магнитный пускатель удерживает замкнутыми контакты 2 и разомкнутым контакт 3. По прекращении сварки ток в катушке 5 значительно уменьшается, контакты 2 размыкаются,

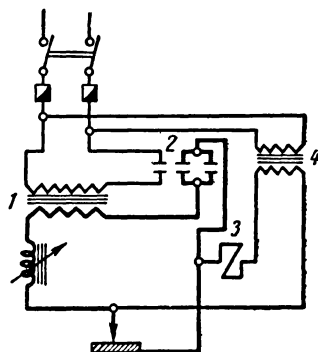
а контакт 3 замыкается. Сварочный трансформатор 1 отключается от сети — схема приходит в исходное состояние.

Простая схема ограничителя холостого хода сварочных трансформаторов А. А. Тайца и А. С. Румянцева [50] изображена фиг. 93. Она так же, как и предыдущая схема, пригодна для трансформаторов с реактивными катушками и с увеличенным рассеянием. При замыкании рубильника напряжение подводится к вспомо-



Фиг. 92. Схема ограничителя холостого хода К. А. Канапышева:

1 — сварочный трансформатор; 2 — нормально открытые контакты; 3 — нормально закрытый контакт; 4 — включающая катушка; 5 — удерживающая катушка; 6 — вспомогательный трансформатор.



Фиг. 93. Схема ограничителя холостого хода А. А. Тайца и А. С. Румянцева:

1 — сварочный трансформатор; 2 — нормально открытые контакты; 3 — катушка магнитного пускателя; 4 — вспомогательный трансформатор.

гательному трансформатору 4. При соприкосновении электрода с изделием замыкается цепь катушки 3 магнитного пускателя. Магнитный пускатель срабатывает и замыкаются нормально открытые контакты 2, которые замыкают цепи первичной и вторичной обмоток сварочного трансформатора 1. В процессе сварки величина тока в катушке 3 достаточна, чтобы магнитный пускатель удерживал контакты 2 замкнутыми. По прекращении сварки ток в катушке 3 значительно уменьшается, контакты 2 размыкаются. Сварочный трансформатор 1 отключается от сети, и схема приходит в исходное состояние.

Более сложные схемы ограничителей холостого хода, которые отключают аппараты, трансформаторы и преобразователи с некоторой выдержкой времени. В этом случае не происходит срабатывания схемы при случайных кратковременных обрывах дуги.

Одна из наиболее удачных схем (фиг. 94) разработана Центральным проектно-экспериментальным бюро Центральноэлектромонтажа [3]. Она пригодна только для трансформаторов с реак-

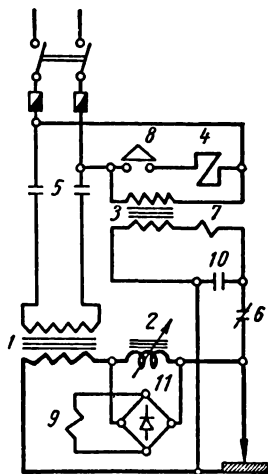
тивными катушками. Включением рубильника напряжение подводится к вспомогательному трансформатору 3. При соприкосновении электрода с изделием замыкается цепь вторичной обмотки этого трансформатора. Ток в катушке 7 вызывает срабатывание пневматического реле времени — замыкается его контакт 8 в цепи катушки 4 магнитного пускателя. При срабатывании магнитного пускателя замыкаются контакты 5, и сварочный трансформатор 1 подключается к сети. На входе селенового выпрямителя 11 появляется напряжение. Ток в катушке 9, подключенной к выходным зажимам выпрямителя, приведет к срабатыванию промежуточного реле-замыканию его контакта 10, который в процессе сварки держит замкнутой вторичную цепь трансформатора 3, несмотря на то, что размыкается нормально закрытый контакт 6 магнитного пускателя. Следовательно, реле времени держит замкнутой цепь катушки магнитного пускателя.

По прекращению сварки напряжение на входных зажимах выпрямителя 11 становится равным нулю, контакт 10 промежуточного реле размыкается. Обесточивается катушка 7 реле времени и с некоторой выдержкой времени (зависящей от настройки) размыкается контакт 8 реле времени в цепи катушки 4 магнитного пускателя. Размыкаются контакты 5 и замыкается контакт 6. Сварочный трансформатор отключается от сети — схема приходит в исходное состояние.

Применяется еще ряд схем ограничителей холостого хода как с выдержкой времени при отключении, так и без выдержки времени, но они сложнее и дороже. В большинстве схем применяется стандартная аппаратура.

Применение ограничителей холостого хода в некоторой мере является средством защиты сварщика от поражения электрическим током, что важно, если сварщик находится на свариваемой детали или металлической конструкции. Сварочные трансформаторы, у которых напряжение холостого хода более 70 в, должны снабжаться автоматическими ограничителями холостого хода.

Во многих трансформаторах иностранных фирм и в трансформаторах ТСОК-700-П смонтированы и включены параллельно



Фиг. 94. Схема ограничителя холостого хода ЦЭМ:

1 — сварочный трансформатор; 2 — дроссель; 3 — вспомогательный трансформатор; 4 — катушка магнитного пускателя; 5 — нормально открытые контакты; 6 — нормально закрытый контакт; 7 — катушка пневматического реле времени; 8 — контакт реле времени; 9 — катушка промежуточного реле; 10 — контакт промежуточного реле; 11 — селеновый выпрямитель.

первичной обмотке конденсаторы для повышения коэффициента мощности сварочной установки [18], [28]. Применение конденсаторов для повышения коэффициента мощности сварочных цехов дает большой экономический эффект. Так, трансформатор ТСОК-700-П имеет коэффициент мощности 0,86, а аналогичный трансформатор без конденсаторов СТН-700 — 0,66. Рекомендуется [18] принимать реактивную мощность конденсаторов для однопостового трансформатора равной примерно половине его кажущейся номинальной мощности, а для многопостового трансформатора — не более его реактивной мощности при номинальной нагрузке. Большая реактивная мощность конденсаторов приводит к значительному увеличению первоначальных затрат на компенсацию (при существующей стоимости конденсаторов).

Г. М. Каспржак и М. Ш. Добрушин (51) подсчитали экономию электроэнергии в случае применения схемы, изображенной на фиг. 94, при односменной работе трансформатора СТЭ-34 с ПР-50%. Экономия составляет 15 руб. в год, при двухсменной работе она составит 30 руб. в год. Стоимость аппаратуры с монтажом около 400 руб. Этот подсчет показывает нецелесообразность применения в целях экономии электроэнергии при ручной сварке ограничителей холостой работы с выдержкой времени. Кроме того, вышеуказанные авторы подсчитали стоимость статических конденсаторов для индивидуальной компенсации угла сдвига фаз трансформатора СТЭ-34, она составляет 34 руб. При расчете реактивная мощность конденсаторов была принята равной половине реактивной мощности трансформатора при холостом ходе (последняя равна 1,1 квар), а стоимость затрат на 1 квар реактивной мощности конденсаторов — 51 руб., стоимость монтажа учтена коэффициентом 1,2. Этот подсчет показывает нецелесообразность применения ограничителей холостой работы с выдержкой времени при отключении и в целях компенсации угла сдвига фаз.

Снижение потерь мощности на нагрев проводов и контактов приводит к значительной экономии электроэнергии. Недопустимо применение проводов уменьшенного сечения и большой длины. Резко увеличиваются потери при использовании вместо проводов различных железных прутков и т. п. Потеря энергии на 1 м провода в среднем составляет 20—40 *вт* (доходит до 50 *вт*). Нерациональное расположение оборудования и постов приводит к удлинению проводов. Исходя из условий повторно-кратковременной работы, наибольшие допустимые токи для проводов сварочных установок приведены в табл. 6, а для проводов к электрододержателю — в табл. 7.

Если длина провода более 30 м, необходимо проверить его сечение по допустимой потере напряжения.

В целях упорядочения электросварочных цепей и лучшей эксплуатации оборудования на некоторых заводах осуществляется

Таблица 6

Наибольший допустимый ток для проводов сварочных установок

Сечение провода в мм ²	Наибольший допустимый ток в а	Сечение провода в мм ²	Наибольший допустимый ток в а	Сечение провода в мм ²	Наибольший допустимый ток в а
10	60	50	225	150	460
16	100	70	280	185	530
25	140	95	335	240	630
35	175	120	400	310	730
				400	900

Таблица 7

Наибольший допустимый ток для проводов электрододержателей

Сечение провода в мм ²		Наибольший допустимый ток в а	Сечение провода в мм ²		Наибольший допустимый ток в а
одинарного	двойного		одинарного	двойного	
25	—	200	70	2×25	450
50	2×16	300	95	2×35	600

централизованная канализация сварочного тока [31]. На Воронежском и Полтавском паровозоремонтных заводах от общего щита питаются сварочные однопостовые преобразователи. От всех преобразователей провода подводятся также к общему щиту, а от последнего к щиткам постов. Режим работы каждого из преобразователей контролируется дежурным по измерительным приборам, установленным на общем щите. Если дежурный устанавливает, что преобразователь работает вхолостую более 8—10 мин., он отключает данную машину.

Отсутствие контроля за состоянием контактов приводит к их сильному нагреву и большим потерям электроэнергии. Потеря напряжения в неплотном контакте равна примерно 0,5—0,7 в, а в плотном контакте примерно 0,05—0,2 в. Особенно велики потери при набрасывании конца сварочного провода на контактный болт, при скручивании концов проводов, что иногда допускается по небрежности работающих. Необходимо систематически контролировать надежность заземления, проверять падение напряжения в заземляющей проводке.

Борьба за повышение коэффициента мощности сварочных цехов и снижение расхода электроэнергии должна быть в центре внимания всех работников в области сварки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н и к и т и н В. П., Русское изобретение — электрическая дуговая сварка. Изд. АН СССР, 1952.
2. Н и к и т и н В. П., Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. Изд. АН СССР, 1956.
3. Р а б и н о в и ч И. Я., Применение сварочных трансформаторов в строительстве. Гос. изд. по строительству и архитектуре, 1954.
4. К о ч а н о в с к и й Н. Я., Новое оборудование для электросварки, «Сварочное производство» № 8, 1956.
5. Н и к и т и н В. П., Электрические машины и трансформаторы для дуговой сварки. ОНТИ, 1937.
6. Сборник «Автоматическая электродуговая сварка» под редакцией Е. О. Патона. Машгиз, 1953.
7. Т и х о д е е в Г. М., Электрические характеристики сварочной дуги под флюсом. «Известия АН СССР, отделение технических наук» № 7, 1955.
8. П а т о н Б. Е., Л е б е д е в В. К., Элементы расчетов цепей и аппаратов переменного тока для дуговой сварки. Изд. АН УССР, 1953.
9. З а р у б а И. И., Минимальное напряжение холостого хода генераторов постоянного тока для автоматической сварки под флюсом, «Автоматическая сварка» № 3 (12), 1950.
10. Р а б и н о в и ч И. Я., Некоторые особенности работы электрооборудования для автоматической сварки в среде защитных газов, «Сварочное производство» № 4, 1957.
11. Т и х о д е е в Г. М., Энергетические свойства электрической дуги большой мощности, типа сварочной. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, АН СССР, Институт металлургии имени А. А. Байкова, Москва 1955.
12. П а т о н Б. Е., Выбор рационального типа сварочной головки. Труды Всесоюзной конференции по автоматической сварке под флюсом, Киев 1948.
13. Р а б и н о в и ч И. Я., Машины и аппараты для дуговой сварки. ОНТИ, 1937.
14. З а р е ц к и й И. С., Динамические качества сварочных генераторов постоянного тока. «Известия Ленинградского электротехнического института имени В. И. Ульянова (Ленина)», вып. 27, 1955.
15. Е р м о л и н Н. П., Расчет тока короткого замыкания сварочного генератора постоянного тока. «Известия Ленинградского электротехнического института имени В. И. Ульянова (Ленина)», вып. 27, 1955.
16. Щ и т о в а В. М., Применение полупроводниковых выпрямителей в сварочной технике, «Электричество» № 8, 1956.
17. Б р а т к о в а О. Н. Динамические свойства сварочного генератора поперечного поля, Машгиз, 1938.
18. Т и х о д е е в Г. М., Вопросы экономии электроэнергии при дуговой сварке «Промышленная энергетика» № 10—12, 1946.
19. Ц е г е л ь с к и й В. Л., Электродуговая сварка, Трудрезервиздат, 1954.

20. Фаерман А. И., Выбор системы питания постов ручной дуговой сварки постоянным током. Труды ЛПИ «Сварочное производство» № 183, Машгиз, 1956.

21. Экономия электроэнергии в промышленности. Под редакцией В. И. Вейца. Госэнергоиздат, 1947.

22. Осокин М. Н., Экономия электроэнергии при электросварочных работах. Информационные материалы по экономии электроэнергии и эксплуатации, ВНИТОЭ, 1953.

23. Блитштейн А. З., Резервы использования электросварочного оборудования, «Сельхозмашина» № 9, 1955.

24. Росснев С. П., Использование сварочного преобразователя типа ПС-500 для многопостовой сварки. Информационные материалы по экономии электроэнергии и эксплуатации электрооборудования, ВНИТОЭ, Куйбышев 1955.

25. Сучу Я., Трансформатор для дуговой сварки с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Ленинградский политехнический институт, 1954.

26. Глаголев Г. И., К вопросу о нагреве и допустимых нагрузках однопостовых трансформаторов для ручной дуговой сварки в зависимости от условий их эксплуатации. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, 1955.

27. Справочник электросварщика. Издание 2-е, перераб. Киев 1954.

28. Эмдина С. М., Некоторые особенности трансформаторов иностранных фирм, «Сварочное производство» № 4, 1956.

29. Сиунов Н. С., Сивцов В. П., Комбинированный трансформатор с дросселем насыщения, «Сварочное производство» № 2, 1956.

30. Сборник рационализаторских предложений. ЦБТИ МЭП СССР, вып. 36, 1954.

31. Экономия электроэнергии при сварочных работах. Информационное письмо по обмену передовым опытом, Главное управление локомотиворемонтными и паровозоремонтными заводами, вып. 28 (271), 1955.

32. Рационализаторские и изобретательские предложения в строительстве, вып. 100, 1954.

33. Горьков А. А., Об улучшении использования сварочных трансформаторов, «Электричество» № 8, 1954.

34. Горьков А. А., О схеме работы сварочных трансформаторов, «Электричество», № 2, 1956.

35. Осциллятор ОСЦВ-2. Описание. Технические данные. Опытный завод Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения. ЦБТИ Министерства машиностроения СССР, 1954.

36. Рыкалин Н. Н., Сварочная техника в Германской Демократической Республике, «Сварочное производство» № 12, 1955.

37. Быховский Д. Г., Сварочные преобразователи с полупроводниковыми выпрямителями. Информационно-технический сборник МЭП СССР, вып. 2 (107), Подготовлен ВНИИЭСО ЦБТИ, 1957.

38. Быховский Д. Г., Применение селеновых выпрямителей для дуговой сварки постоянным током, «Вестник электропромышленности» № 9, 1956.

39. Быховский Д. Г., Каплан М. И., Новые схемы сварочных выпрямителей, «Сварочное производство» № 1, 1957.

40. Грохольский Н. Ф., Ручная сварка трехфазной дугой. Машгиз, 1954.

41. Степанов В. В., Кириллов А. А., Руководящие материалы по сварке трехфазной дугой. Машгиз, 1954.

42. Сиунов Н. С., Азамасцев Д. А., Основы проектирования регуляторов для ручной сварки трехфазной дугой, «Автоматическая сварка» № 1, 1955.

43. Тимофеев К. И., Режим трехфазной дуги и его поддержание, «Автоматическая сварка» № 6, 1953.

44. Г л а г о л е в Г. И., Нагрев сварочных трансформаторов и применение обдува, «Электричество» № 5, 1956.
 45. К о н с т а н т и н о в Б. А., Л у к ь я н о в Г. П., Эксплуатация электроустановок промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1955.
 46. Г р о х о л ь с к и й Н. Ф., Техника безопасности при сварочных работах. Профиздат, 1952.
 47. Обработка давлением, литейное дело и сварка. Материалы по обмену производственно-техническим опытом, Оборонгиз, 1954.
 48. Сборник рационализаторских предложений. ЦБТИ Министерства электростанций и электропромышленности СССР, вып. 23, 1953.
 49. Обмен опытом в машиностроении. ЦБТИ Министерства автомобильного тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР, № 6, 1954.
 50. Т а й ц А. А., Р у м я н ц е в А. С., Экономия электроэнергии в машиностроении. Госэнергоиздат, 1946.
 51. К а с п р ж а к Г. М., Д о б р у ш и н М. Ш., К вопросу об отключении сварочных трансформаторов при холостом ходе, «Сварочное производство» № 6, 1957.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Особенности источников питания сварочной дуги постоянного тока	7
§ 1. Зависимость устойчивости горения дуги от характера внешней характеристики источника	7
§ 2. Общие принципы регулирования режимов сварки в источниках постоянного тока	12
§ 3. Влияние динамических качеств источников постоянного тока на устойчивость горения дуги	14
Глава II. Сварочные генераторы постоянного тока	17
§ 4. Однопостовые сварочные генераторы с размагничивающей последовательной обмоткой возбуждения	17
§ 5. Однопостовые сварочные генераторы с расщепленными полюсами	28
§ 6. Однопостовые сварочные генераторы поперечного поля	36
§ 7. Стабилизаторы	40
§ 8. Многопостовые сварочные генераторы и питание группы сварочных постов постоянным током от общих шин	41
§ 9. Параллельная работа сварочных генераторов постоянного тока	46
Глава III. Электрическая сварочная дуга переменного тока и особенности источников ее питания	48
§ 10. Условия устойчивого горения дуги	48
§ 11. Общие принципы регулирования режимов сварки в источниках переменного тока	52
§ 12. Коэффициент использования кажущейся мощности трансформатора и мощность дуги	54
Глава IV. Сварочные трансформаторы и генераторы переменного тока	55
§ 13. Однопостовые сварочные трансформаторы с реактивной катушкой	55
§ 14. Однопостовые сварочные трансформаторы с увеличенным рассеянием	69
§ 15. Параллельная работа однопостовых сварочных трансформаторов	79
§ 16. Питание группы сварочных постов переменным током от общих шин	80
§ 17. Осцилляторы	83
§ 18. Однопостовые сварочные генераторы высокой частоты	85
§ 19. Сварочные трансформаторы в комбинации с выпрямителями	87
§ 20. Сварочные трансформаторы для питания трехфазной дуги	91

<i>Глава V. Выбор и эксплуатация электросварочного оборудования</i>	95
§ 21. Выбор электросварочного оборудования	95
§ 22. Эксплуатация электросварочного оборудования	98
§ 23. Улучшение коэффициента мощности оборудования сварочных цехов и снижение расхода электроэнергии	102
<i>Литература</i>	108

Елена Васильевна Чернышева
ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Редактор издательства Н. С. Степанченко
Технический редактор В. Д. Элькинд *Корректор В. П. Кухарчик*

Сдано в производство 17/II 1958 г. Подписано к печати 4/VI 1958 г. Т-04865.
Тираж 8500 экз. Печ. листов 7. Уч.-изд. листов 6,6 Бум. л. 3,5 Формат 60×92/16. Зак. 60.

3 р. 30 к.



МАШГИЗ

Москва, Третьяковский проезд, 1