

УДК 621.31.03

UDC 621.31.03

**АСИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ****ASYNCHRONOUS OSCILLATORS FOR A WELDING ARC POWER SUPPLY**Богатырев Николай Иванович  
к.т.н., профессорBogatyryov Nikolai Ivanovich  
Cand.Tech.Sci., professorКреймер Алексей Семенович  
к.т.н., доцентKreimer Aleksey Semyonovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professorБаракин Николай Сергеевич  
ассистент  
*Кубанский государственный аграрный университет, г.Краснодар, Россия*Barakin Nikolay Sergeevich  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Рассмотрены требования к источникам питания сварочной дуги и результаты разработки таких источников

Demands to power sources of a welding arc and the results of development of such supplies are considered

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, СВАРОЧНАЯ ДУГА, СХЕМА

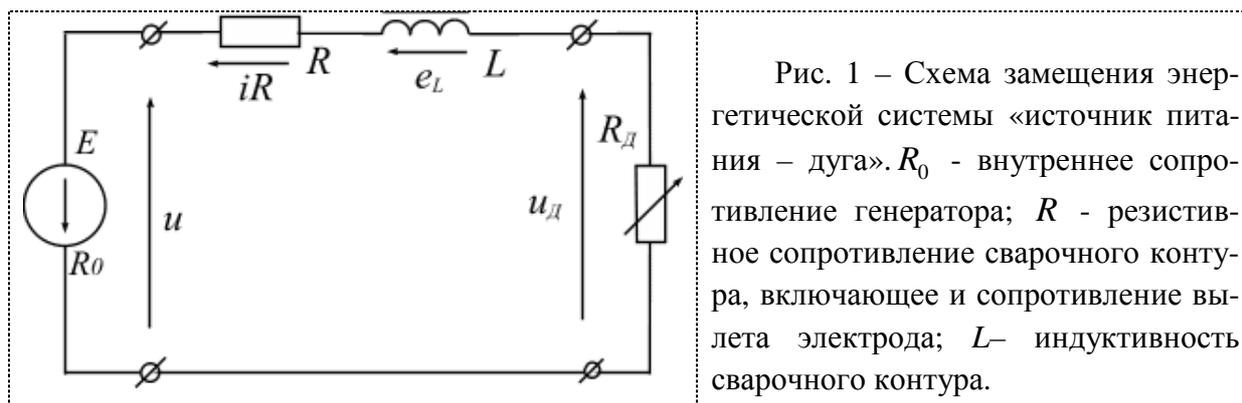
Keywords: ASYNCHRONOUS OSCILLATOR, WELDING ARC, PLAN

Одним из направлений применений электротехнологий является процесс сварки. Сварочные работы в сельскохозяйственном производстве используются при ремонте и эксплуатации техники во всех отраслях. Наибольшее применение имеет открытая дуговая сварка штучными электродами на постоянном и переменном токе. Для выполнения качественных работ необходимы специальные источники питания, обладающие свойствами, удовлетворяющими требованиям технологии процесса дуговой сварки. Их выбор из существующих и разработка новых требует рассмотрения процессов происходящих при сварке открытой дуговой сваркой.

Работа энергетической системы «источник питания - сварочная дуга – ванна» протекает устойчиво, если источник доставляет достаточное количество энергии для процесса сварки и покрытия потерь в системе. Возникающие при горении дуги возмущения нарушают устойчивое состояние системы и вызывают переходные процессы, характер и скорость протекания которых связаны с энергией, накопленной в магнитных и электрических полях системы, а также энергией, переходящей в тепло. Если после прекращения действия возмущения система возвращается в исходное равновесие, то равновесие является устойчивым, если не возвращается – не-

устойчивым.

Кроме формы внешней статической характеристики источника питания и формы статической вольтамперной характеристики дуги, на устойчивость горения влияют и другие факторы. Считается, что вольтамперная характеристика дуги падающая. Обе характеристики являются нелинейными зависимостями напряжений от тока сварки. Для сварочного генератора это  $U = f(I)$ , а для дуги  $U_d = f(I)$ . Сделано предположение, что сварка производится плавящимся электродом, что дуга горит стационарно и замыканий дугового промежутка каплей не происходит. На рис. 1 приведена электрическая схема замещения энергетической системы «источник питания - дуга». Источник питания не имеет корректирующих обратных связей. Дуга замещена нелинейным резистивным сопротивлением  $R_d$  [1].



На рис. 2 приведены внешняя статическая характеристика генератора  $U = f(I)$  и вольтамперная статическая характеристика дуги  $U_d = f(I)$ . Они имеют две точки пересечения  $B$  и  $A$ , которые являются точками равновесия энергетической системы, когда при данном значении сварочного тока  $U_d = U_{д.р.}$ .

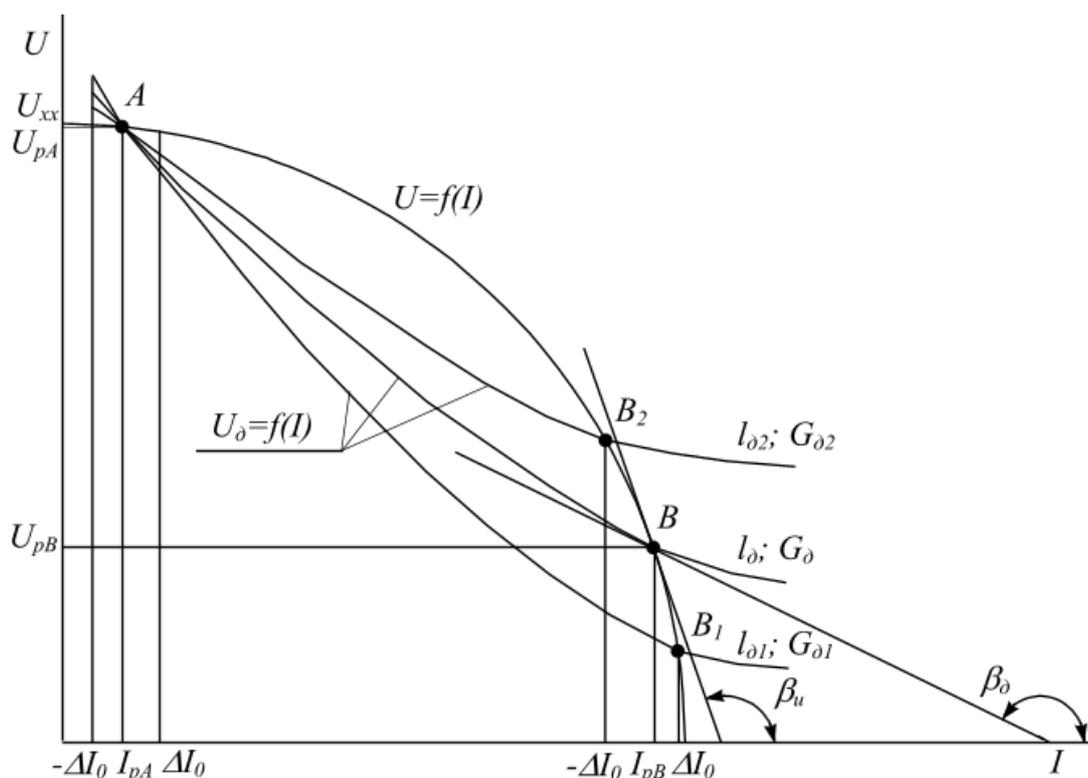


Рис. 2 – Внешняя статическая характеристика генератора  $U = f(I)$  и вольтамперная статическая характеристика дуги  $U_d = f(I)$

Для сварочного контура:  $e_L = iR - u + u_d$ .

Если учесть, что  $|iR| \ll e_L$ , а  $e_L = -Ldi/(dt)$ , то:  $u = u_d + Ldi/(dt)$ .

Из этого следует, что:  $di/(dt) = (u - u_d)/L$ .

Следовательно, скорость изменения сварочного тока во время переходных процессов в энергетической системе тем меньше, чем больше индуктивность сварочного контура. Положим, что в некоторый начальный момент времени  $t = 0$  (в точке  $B$  пересечения характеристик), возникло возмущение по длине дуги. Длина дуги стала  $l_{d2}$ , причем  $l_{d2} > l_d$ . Длине дуги  $l_{d2}$  соответствует уже другая вольтамперная характеристика и проводимости разрядного промежутка  $G$ . Выражая напряжение генератора  $U = f(I)$  и дуги  $U_d = f(I)$  через их значения при равенстве  $U_p$  и  $U_{dp}$  и приращении тока  $DI$ , разлагая функции  $U = f(I_p + DI)$  и  $U_d = f(I_p + DI)$  по степеням  $DI$  получаем выражение для напряжения дуги и генератора

вблизи точки равновесия  $B$ :

$$U_{д} = U_{дР} + DU_{дР} = U_{дР} + \left( \frac{\mathcal{I}U_{д}}{\mathcal{I}I} \right)_{I=I_p} \cdot DI = U_{дР} + R_{диф.д} DI, \quad (1)$$

$$U = U_p + DU = U_p + \left( \frac{\mathcal{I}U}{\mathcal{I}I} \right)_{I=I_p} \cdot DI = U_p + R_{диф.} DI, \quad (2)$$

где  $R_{диф.д}$  и  $R_{диф.}$  - дифференциальные сопротивления соответственно нелинейного участка электрической цепи с дугой и генератора при  $I = I_{д}$ .

Для получения закона изменения приращения тока  $DI = f(t)$  подставим вместо  $u$  и  $u_{д}$  их значения, соответствующие равновесному состоянию энергетической системы и преобразовав получим:

$$L \frac{dDI}{dt} + (R_{диф.д} - R_{диф.}) DI = 0. \quad (3)$$

При некоторых допущениях можно получить дифференциальное уравнение первого порядка, описывающее переходный процесс изменения  $DI = f(t)$ :

$$\frac{dDI}{dt} + \frac{R_{диф.с}}{L} DI = 0, \quad (4)$$

где  $R_{диф.с} = R_{диф.д} - R_{диф.}$  - дифференциальное сопротивление системы «генератор – дуга».

Корень характеристического уравнения:  $p = -R_{диф.с} / L = -1/t$ ,

где  $t = L / R_{диф.с}$  - постоянная времени цепи.

В этом случае закон изменения  $DI = f(t)$ :  $DI = DI_0 e^{-t/t}$ . (5)

В реальных условиях величина индуктивности цепи сварочного тока  $L < 0$ . Для того, чтобы при  $t \rightarrow \infty$  приращение тока затухало ( $DI \rightarrow 0$ ), необходимо, чтобы  $R_{диф.с}$  было больше нуля. Возникшее приращение  $DI_0$  затухает, если  $p < 0$ .

Дифференциальное сопротивление энергетической системы источ-

ник питания - дуга является коэффициентом устойчивости:

$$k_y = R_{диф.с} = R_{диф.д} - R_{диф.} = \left( \frac{\mathcal{U}U_{д}}{\mathcal{U}I} - \frac{\mathcal{U}U}{\mathcal{U}I} \right)_{I=I_p}. \quad (6)$$

Условием устойчивости горения сварочной дуги без корректирующих обратных связей является неравенство:  $k_y > 0$  (7)

Для точки *B* (рис. 2) дифференциальное сопротивление дуги  $(\mathcal{U}U_{д} / \mathcal{U}I)_{I=I_p} = tg b_{д} < 0$ , а дифференциальное сопротивление источника  $(\mathcal{U}U / \mathcal{U}I) = tg b_{и} < 0$  также меньше нуля, при этом дифференциальное сопротивление системы положительное. Следовательно, в точке пересечения характеристик дуги и источника питания коэффициент устойчивости по-

ложителен  $k_y > 0$ , а  $\frac{dDI}{dt} = -\frac{DI_0}{L} k_y \cdot e^{-\frac{k_y t}{L}}$ . (8)

С физической точки зрения это можно объяснить следующим образом. Допустим, что при горении дуги, когда  $U_p$  было равно  $U_{др}$  произошло отклонение сварочного тока  $I$  от значения  $I_p$  до  $(I_{pB} - DI_0)$ . Изменение тока вызывает появление электродвижущей силы самоиндукции в индуктивности  $L$ , включенной в сварочный контур генератора. Электродвижущая сила самоиндукции складывается с напряжением генератора. Напряжение на разрядном промежутке возрастает, что вызывает увеличение напряженности электрического поля в разрядном промежутке. Ток вследствие этого, возрастает до значения  $I_{pB}$ . Горение дуги устойчиво. Для точки *B* коэффициент  $k_y > 0$ .

Определим коэффициент устойчивости для точки *A*. Из рис. 2 следует:

$$\left( \frac{\mathcal{U}U_{д}}{\mathcal{U}I} \right)_{I=I_{pA}} < 0; \quad \left( \frac{\mathcal{U}U}{\mathcal{U}I} \right)_{I=I_{pA}} < 0. \quad (9)$$

Коэффициент устойчивости  $k_y$  для точки *A* меньше нуля, и равнове-

ное состояние энергетической системы неустойчивое. Для устойчивого горения дуги значение имеет ее эластичность. Дуга считается эластичной, если дуговой разряд продолжает существовать при относительно значительном увеличении длины дуги, вызванном технологическими причинами. Если электромагнитная инерция источника энергии незначительна, а его динамические свойства высоки, то при уменьшении тока и увеличении длины дуги  $l_0$  быстро возрастает электродвижущая сила источника. Благодаря чему увеличивается его выходное напряжение, напряжение на разрядном промежутке и напряженность электрического поля в нем. Поэтому и сохраняются условия для поддержания дугового разряда.

Кроме того, при крутопадающей внешней характеристике ограничивается сила тока короткого замыкания, которая по отношению к рабочему току сварки должна быть в пределах:  $1,25 < I_{кз} / I_{д} < 1,6$ .

Таким образом, для источника в режиме питания сварочной дуги могут быть сформулированы основные требования:

1. Напряжение холостого хода источника должно быть достаточным для легкого возбуждения дуги и безопасным для человека.
2. После возникновения дуги напряжение источника должно уменьшаться до значений, соответствующих напряжению горения дуги 25 – 36 В.
3. При изменении длины дуги не должно происходить значительного изменения сварочного тока.
4. При коротком замыкании ток в цепи не должен превышать ток сварки более чем на 20 – 60 % .
5. Источник тока должен обеспечивать возможность легкого и плавного регулирования сварочного тока.
6. Источник должен обладать хорошими динамическими свойствами. Время восстановления напряжения от нуля до величины напряжения горения дуги не должно превышать 0,02 с.

Другим требованием для источников питания сварочной дуги явля-

ется обеспечение надежного зажигания и устойчивого горения дуги. Дуговой разряд возникает тем легче, чем выше напряжение между электродом и изделием. Однако, по требованиям техники безопасности, это напряжение ограничивается на уровне 80 – 90 В, а для надежного зажигания не может быть ниже 55 В.

В случае сварки под слоем флюса или в среде защитных газов источники должны иметь жесткие или возрастающие внешние характеристики. В любом случае важно, чтобы во время сварки происходило меньшее разбрызгивание и угар расплавленного металла. Это свойство наилучшим образом реализуется при индуктивности сварочной цепи более 2 – 2,5 мГн и скорости изменения тока не более 10-15 кА/с.

Для реализации указанных положений в КубГАУ разработаны и исследованы источники питания сварочной дуги с асинхронными генераторами [1-14].

*Источник питания сварочной дуги с крутопадающей внешней характеристикой* [2] (рис. 3).

Приводной двигатель внутреннего сгорания DVS жестко соединен с валом ротора АГ GA. Емкость С1–С3 конденсаторной батареи подключена к статору GA через нормально замкнутые контакты контактора КМ1.1 и служит для возбуждения АГ на холостом ходу. Емкость С4–С6 подключена к статору GA через первичную обмотку W1 трансформатора TU и необходима для компенсации реактивной мощности трансформатора. Напряжение генератора GA, пониженное трансформатором, снимается с его вторичной обмотки W2 и через выпрямитель VD1–VD6 подается на сварочные электроды XA.

На холостом ходу GA, когда не замкнуты электроды XA, индуктивное сопротивление первичной обмотки W1 трансформатора велико и емкостной ток от емкости С4–С6 батареи конденсаторов не поступает на генератор GA. При замыкании электродов XA через выпрямительный мост

VD1–VD6 замыкается вторичная обмотка трансформатора. Тем самым уменьшается индуктивное сопротивление первичной обмотки W1 трансформатора, что влечет за собой возрастание емкостного тока от емкости C4–C6 батареи конденсаторов, который поступает на статор GA, это вызывает возрастание напряжения на генераторе, контактор KM1 срабатывает и переключает емкость C1–C3 параллельно емкости C4–C6 батареи конденсаторов. Это дает возможность использовать всю емкость конденсаторной батареи непосредственно для компенсации нагрузки трансформатора.

При увеличении расстояния между электродами возникает электрическая дуга, происходит процесс сварки. Так как нагрузка электрической дуги носит активно – индуктивный характер, то за счет насыщения GA (при K3) происходит стабилизация сварочного тока при изменении напряжения на дуге (изменение расстояния между электродами), это очень важно для сварочных аппаратов.

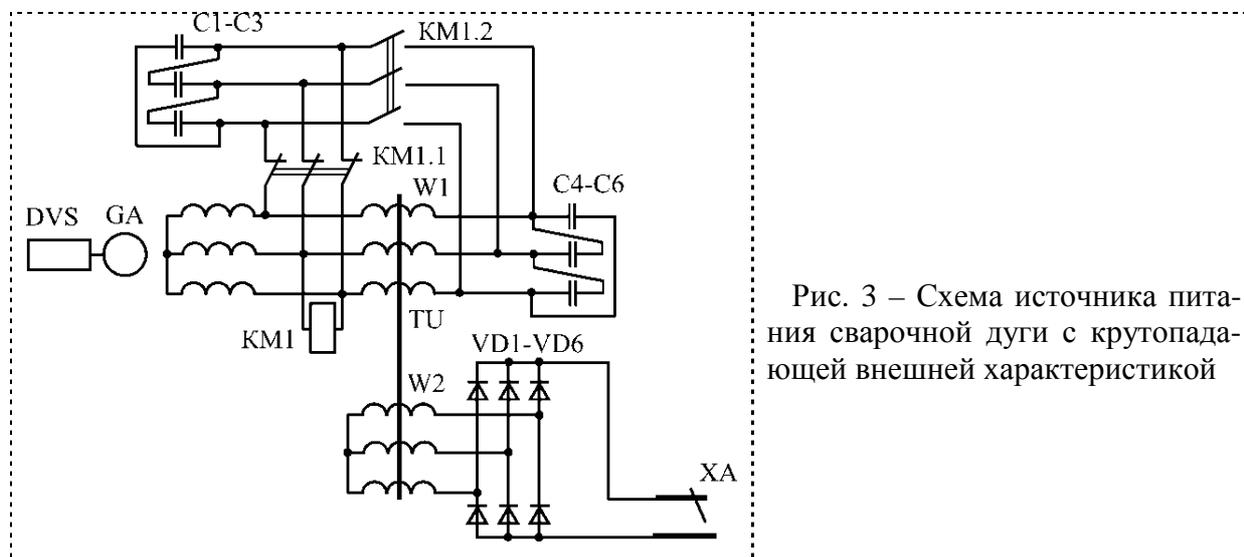


Рис. 3 – Схема источника питания сварочной дуги с крутопадающей внешней характеристикой

При изменении диаметра электрода необходимо изменять емкость C4–C6 конденсаторной батареи: при увеличении диаметра сварочного электрода емкость увеличивают, а при уменьшении – уменьшают.

Когда процесс сварки прекращается, напряжение на GA уменьшается, и контактор KM1 возвращается в первоначальное состояние, т. е. ем-

кость С1–С3 батареи конденсаторов подключается параллельно обмотке статора, и генератор работает на холостом ходу.

Внешние и энергетические характеристики опытного образца источника питания с АГ мощностью 6 кВА представлены на рис. 4.

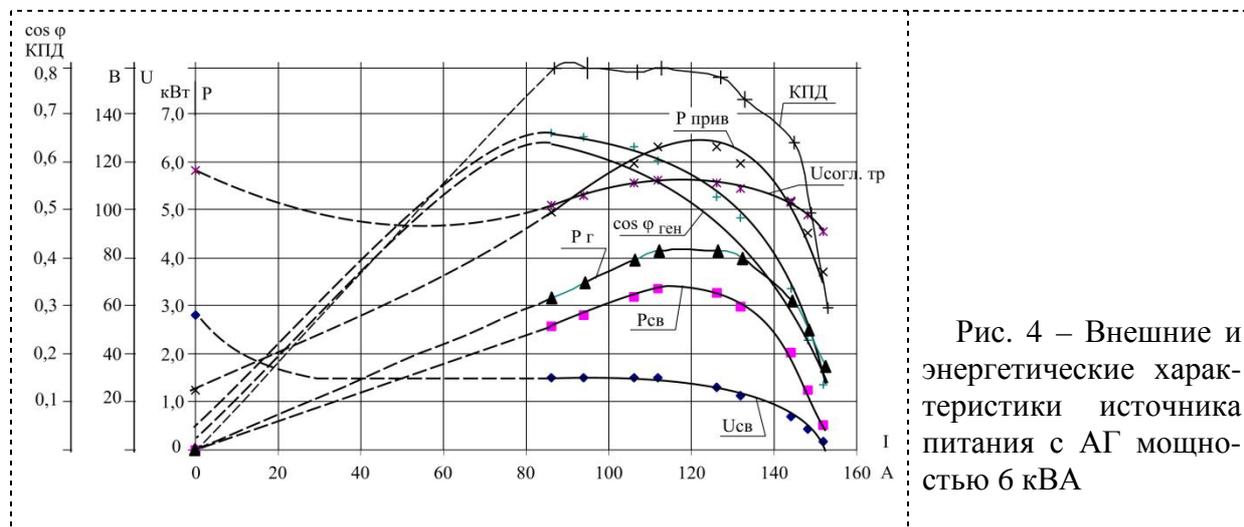


Рис. 4 – Внешние и энергетические характеристики источника питания с АГ мощностью 6 кВА

Динамические свойства источника определялись с помощью светолучевого осциллографа. При этом контролировались ток сварки и напряжение на дуге (рис. 5).

Применение АГ на повышенную частоту тока в источнике питания для дуговой сварки постоянным током совместно с понижающим трансформатором и выпрямителем дает следующие преимущества.

Стоимость АГ по сравнению с другими источниками тока мала. АГ не имеют щеточных контактов, что повышает надежность всего агрегата и упрощает его эксплуатацию, применение АГ на повышенную частоту тока в качестве источника тока позволит получать в 3–4 раза большую мощность, чем могут дать генераторы того же габарита на стандартную частоту (50 Гц) или генераторы постоянного тока. Применение параллельно – продольной системы емкостного возбуждения АГ совместно с понижающим трансформатором решает задачу получения динамической характеристики сварочного агрегата, обеспечивающей качественный процесс сварки.

Просто решается вопрос регулирования сварочного тока – переключением емкости конденсаторной батареи.

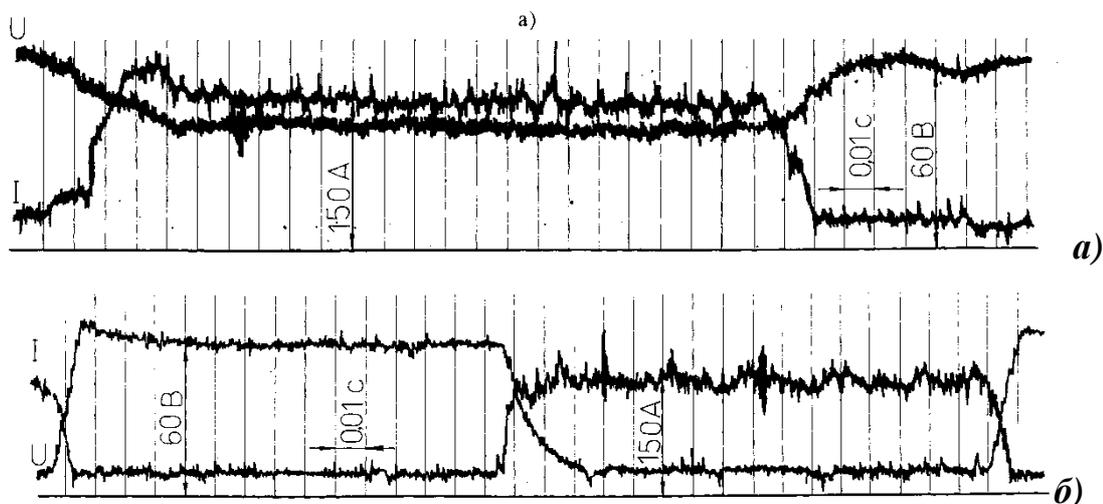


Рис. 5 – Фрагмент осциллограммы в режиме сварки: *а)* сварка электродом АНО-4 при токе 150 А горизонтального шва; *б)* переход от холостого хода к короткому замыканию при токе 150 А

Все эти преимущества позволяют создавать компактные автономные источники питания для дуговой сварки постоянным током малой мощности и передвижные – средней и большой мощности.

*Источник питания сварочной дуги, имеющий жесткую или падающую внешнюю характеристику*, показан на рис. 6 [3,4].

Асинхронный генератор повышенной частоты тока GA вращается приводным двигателем внутреннего сгорания DVS и возбуждается от конденсаторов C1-C3. Напряжение генератора GA подается на обмотки W1, W2 трансформатора TV. Эти обмотки соединены в «звезду». В нулевой точке обмотки W2 включены конденсаторы регулирования C4-C6, выход которых через выпрямитель VD1-VD6 соединяется с регулятором емкостного тока UZ. Понижающая обмотка W3 через трансформатор тока ТА соединен с силовым выпрямителем VD7-VD12, а последний – со сварочными электродами. Выход трансформатора тока через потенциометр R1 соединен со входом регулятора UZ. В качестве регулятора UZ используется ШИР с силовым регулирующим транзистором. В зависимости от положе-

ния потенциометра R1 возможны следующие режимы: ползунок R1 находится в крайнем правом положении – в этом случае максимальный ток; ползунок R1 находится в левом положении, что соответствует режиму минимального сварочного тока. В другом положении R1 ток можно менять от максимального до минимального. Значение пределов тока определяется конструктивными данными генератора, двигателя, трансформатора.

В режиме максимального тока (когда через UZ проходит максимальный ток) при возникновении дуги мощность генератора передается через обмотки W1-W3 трансформатора TV. За счет того, что одна обмотка W1 подключена параллельно генератору GA, а он находится в режиме насыщения, то при изменении сопротивления дуги напряжение остается неизменным или незначительно уменьшается, т.е. внешняя характеристика источника жесткая или падающая.

В режиме сварки малым током срабатывает обратная связь по току и ШИР уменьшает скважность импульсов, уменьшается емкостной ток C4-C6, генератор уменьшает напряжение и в конечном итоге уменьшается и автоматически поддерживается на заданном уровне сварочный ток.

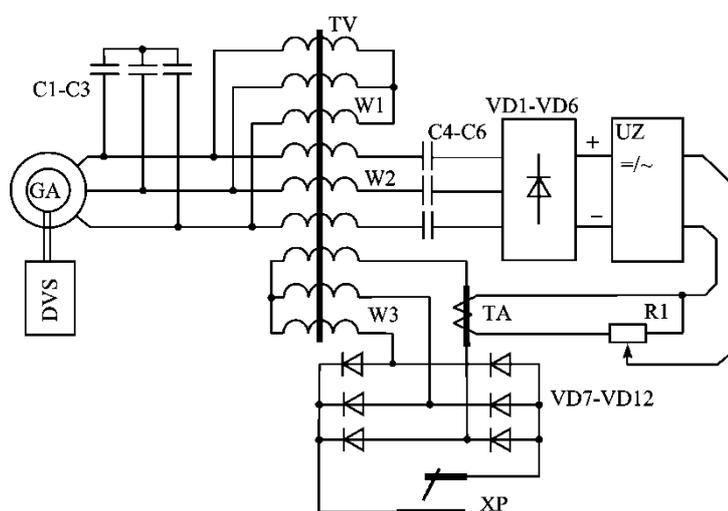


Рис. 6 – Источник питания с жесткой или падающей внешними характеристиками

Степень жесткости внешней характеристики зависит от параметров схемы и, в частности, от соотношения витков обмоток W1 и W2. Чем больше число витков обмотки W1, тем мягче характеристика и наоборот.

Современные ведущие фирмы по производству сварочных агрегатов предлагают универсальные источники питания, которые работают в режиме источника сварочного тока и как источник питания электроинструмента. Обычно используются на одном агрегате два генератора: сварочный и небольшой генератор для питания электроинструмента. Такая конструкция с двумя генераторами оправдана на больших мощностях.

*Источник питания с универсальной внешней характеристикой* и одним генератором [5] приведен на рис. 7.

Источник состоит из приводного двигателя DVS, соединенного с ГА, который возбуждается от конденсаторов С1-С3. К статору ГА присоединена обмотка трансформатора TV, в нулевой точке которой имеются конденсаторы С4-С6. Выход С4-С6 через выпрямитель VD1-VD6 соединен с широтно-импульсным регулятором (ШИР) UZ. Управление ШИР осуществляется от резисторов R1 и R2, которые реализуют обратную связь по напряжению и току. На зажимах первичной обмотки трансформатора TV установлен переключатель SB, позволяющий переключать обмотку Y/Δ и соединять разъем XS1 со статором ГА.

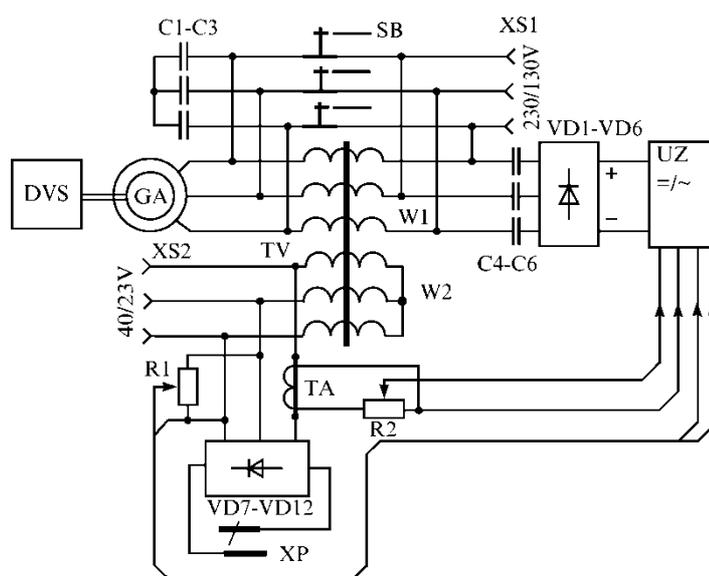


Рис. 7 – Источник питания с универсальной внешней характеристикой

Возможны два режима работы источника. В режиме сварки пере-

ключатель SB ставится в верхнее по схеме положение. При этом первичная обмотка трансформатора W1 соединена в «звезду» и последовательно с генератором GA и конденсаторами C4-C6, что позволяет получить крутопадающую характеристику. Потенциометром R2 задается сварочный ток. В левом положении – минимальный, в правом – максимальный.

При замыкании электрода XP с изделием изменяется ток трансформатора TV и емкостной ток от C4-C6 поступает на статор GA, последний переходит в режим насыщения. При размыкании XP возникает электрическая дуга, происходит процесс сварки. За счет обратной связи от GA происходит изменение емкостного тока C4-C6 блоком ШИР, что позволяет стабильно поддерживать заданный параметр сварочного тока.

В режиме питания осветительной или двигательной нагрузки ее подключают к разъему XS1 (если двигатель инструмента или лампа имеют параметры 220 В) или к разъему XS2 (если параметры токоприемников рассчитаны на напряжение 40 В). Переключатель SB ставят в положение по схеме – нижнее, при этом первичная обмотка соединяется в «треугольник», одновременно к зажимам GA подключается разъем XS1 и конденсаторы C4-C6, что приводит к увеличению жесткости внешней характеристики. Потенциометром R1 устанавливают необходимое напряжение (обычно это делается один раз при настройке схемы). При включении ручного инструмента напряжение уменьшается. Соответственно, уменьшается и сигнал обратной связи с потенциометра R1, UZ увеличивает скважность импульсов, возрастает действующее значение тока VD1-VD6, возрастает емкостной ток C4-C6, который компенсирует реактивную составляющую тока нагрузки и реакцию ротора GA, что позволяет увеличить напряжение на зажимах GA до заданного на XX при некотором статизме характеристики.

В предлагаемом источнике питания используются асинхронный генератор, рассчитанный на частоту тока 200 Гц, с короткозамкнутым ротором, который имеет большую надежность и прост в эксплуатации. Пони-

жающий трансформатор TV также рассчитан на частоту тока 200 Гц и имеет практически в 4 раза меньшие массогабаритные показатели, чем на частоте тока 50 Гц.

При известных достоинствах асинхронных генераторов, они имеют свойственный для всех асинхронных машин недостаток. Это связано с тем, что асинхронный генератор самовозбуждается от конденсаторов, а ток возбуждения может достигать (30-60) % от номинального и его необходимо регулировать в трех фазах. Поэтому ток и мощность регулирующих элементов становятся соизмеримы с мощностью генератора, а это снижает КПД всего устройства.

Для устранения указанных недостатков предложено несколько технических решений [6 -8].

*Регулирование тока сварки по схеме электромеханического каскада* с асинхронным генератором дано на рис. 8. Схема содержит приводной двигатель внутреннего сгорания DVS, генератор GA, двигатель постоянного тока MM, конденсаторы возбуждения C1-C3, понижающий трансформатор TU, силовой выпрямитель VD1-VD6, конденсаторы регулирования сварочного тока C4-C6, выпрямитель управления VD7-VD12.

Приводной двигатель DVS, генератор GA и двигатель постоянного тока (ДПТ) MM жестко соединены между собой. После запуска DVS, GA возбуждается от емкости конденсаторов C1-C3. Напряжение GA понижается трансформатором TU и после выпрямителя VD1-VD6 подается на сварочные электроды XP. Одновременно через первичную обмотку TU и конденсаторы C4-C6 это напряжение выпрямляется VD7-VD12 и подается на якорь MM ДПТ. Обмотка возбуждения LM через реостат R1 и преобразователь напряжения UZ1 соединена со статором генератора GA. На холостом ходу (когда электроды XP не замкнуты) индуктивное сопротивление первичной обмотки TU велико и по якорю MM проходит небольшой ток, ДПТ работает на ХХ. В процессе сварки индуктивное сопротивление об-

моток ТУ уменьшается и за счет емкостного тока от С4-С6 напряжение GA увеличивается, следовательно, будет увеличиваться и сварочный ток. Емкостной ток будет ограничиваться величиной тока, потребляемого ДПТ ММ, а величина последнего зависит от момента. Учитывая, что ДПТ механически связан с GA и DVS, скорость вращения у них постоянная, то при изменении величины тока возбуждения в обмотке LM будет изменяться и потребляемый якорем ММ сварочный ток. Это следует из уравнений электромеханической характеристики. При увеличении тока возбуждения ММ сварочный ток уменьшается и наоборот. С другой стороны, электрическая энергия, передаваемая через конденсаторы С4-С6, возвращается ДПТ на вал DVS, тем самым, повышая КПД всей системы и экономя топливо. Момент ДПТ пропорционален току якоря, на больших токах сварки он будет преобразовывать больше электрической энергии в механическую.

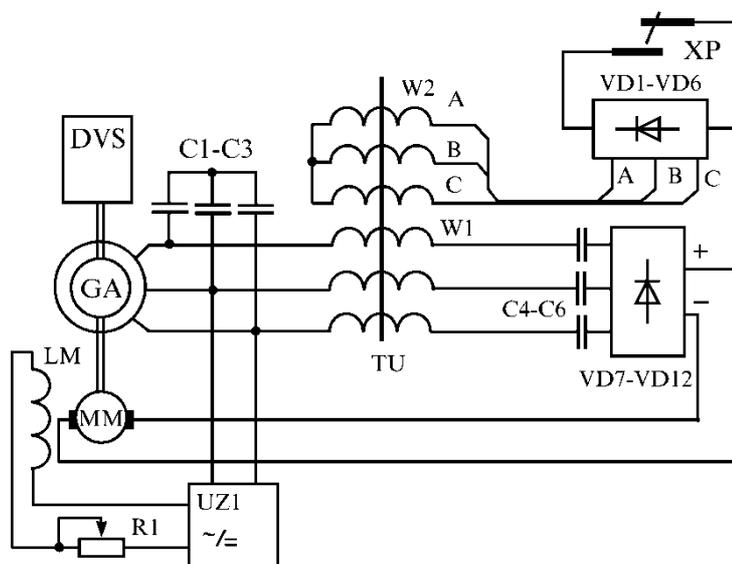


Рис. 8 – Регулирование тока сварки по схеме электромеханического каскада

При практической реализации схемы необходимо учитывать следующие рекомендации. Силовой выпрямитель VD1-VD6 рассчитываются из условия номинального тока сварки, ДПТ выбирается из условия, что его номинальная мощность должна соответствовать 30-40 % от мощности генератора, скорость вращения – соответствовать скорости DVS или превы-

шать ее, номинальное напряжение соответствовать напряжению ГА с учетом выпрямителя VD7-VD12.

Другой способ и устройство регулирования сварочного тока основаны на изменении скорости вращения приводного двигателя за счет регулирования подачи топлива [7].

**Схема регулирования сварочного тока изменением подачи топлива** показана на рис. 9, а на рис. 10 – чертеж устройства подачи топлива.

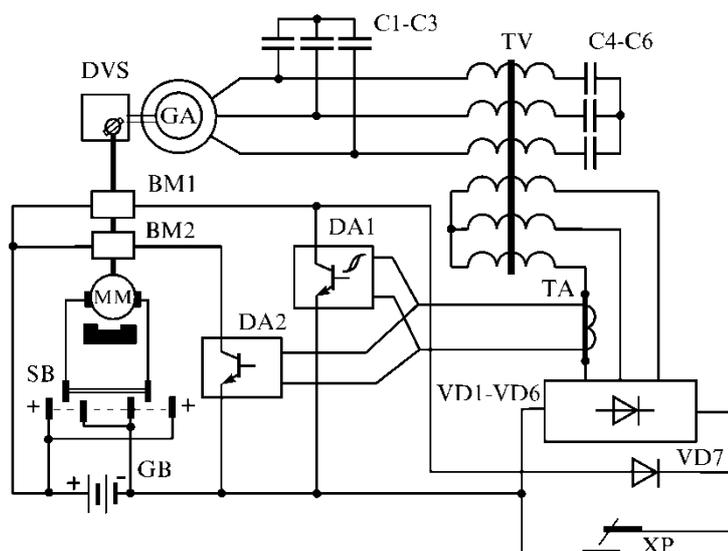


Рис. 9 – Схема регулирования сварочного тока изменением подачи топлива DVS

Схема содержит приводной двигатель DVS с устройством подачи топлива, асинхронный генератор GA, конденсаторы возбуждения C1-C3, понижающий трансформатор TV, конденсаторы регулирования сварочного тока C4-C6, силовой выпрямитель VD1-VD6, два электромагнита BM1, BM2 серводвигатель MM, аккумулятор GB, два усилителя: DA1 с задержкой на отключение, DA2 – без задержки, трансформатор тока ТА. Устройство подачи топлива (рис. 10) содержит серводвигатель 1, на валу которого закреплена шестерня 2, входящая в зацепление с рейкой 3, катушка электромагнитов 4 и 5 (BM1 и BM2) подвижные якоря этих магнитов 8 и 9, перемещающиеся в корпусе 7, возвратную пружину 6, карбюратор или топливный насос 11 и заслонку 10.

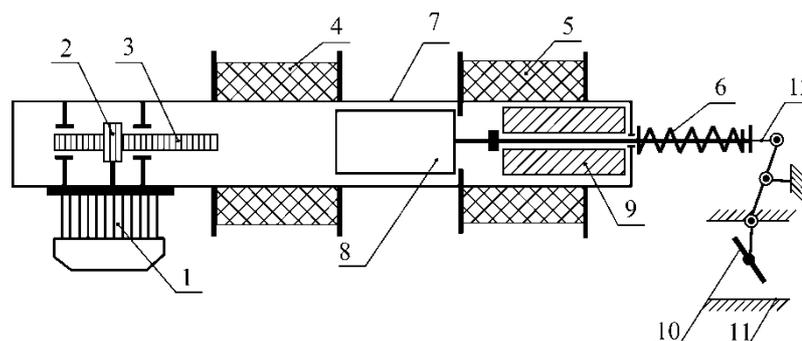


Рис. 10 – Устройство для регулирования подачи топлива двигателя внутреннего сгорания

Схема работает следующим образом. После запуска DVS он работает на минимально возможных оборотах. Генератор не возбужден, и агрегат потребляет мало топлива. При замыкании электродов ХР катушка 5 (ВМ1) через диод VD7 получает питание от GB. Якорь 9 втягивается в катушку 5 и открывает заслонку 10 на такой угол, при котором DVS развивает номинальные обороты. При номинальных оборотах генератор GA возбуждается, и во второй обмотке TV появляется ток, трансформатор тока ТА выдает сигнал на усилитель DA1 и DA2. DA1 через свой силовой элемент (транзистор) удерживает электромагнит 5 (ВМ1), одновременно DA2 включает катушку 4 электромагнита ВМ2. Якорь 8 перемещает шток 12 через якорь 9 до упора с рейкой 3. Заслонка 10 поворачивается на некоторый угол, увеличивается подача топлива и, следовательно, сварочный ток. Если необходимо увеличить ток сварки, замыкают контакт SB, и серводвигатель перемещает рейку влево. Для уменьшения сварочного тока контакт SB замыкают в другое положение, и ММ перемещает рейку 3 вправо, уменьшается подача топлива и, как следствие, сварочный ток. На выбранной величине сварочного тока переводят контакт SB в нейтральное положение.

При обрыве сварочной дуги прекращается сигнал от трансформатора тока ТА, электромагнит 4 (ВМ1) обесточивается, якорь 8 возвращается в положение, при котором скорость двигателя будет номинальной, а катушка 5 остается под напряжением некоторое время, т.к. DA1 имеет задержку

на отключение 1-3 мин., т.е. время на замену электрода. Если процесс сварки не будет продолжаться, DA1 отключит катушку 5 (BM1) и DVS перейдет в режим холостого хода под воздействием пружины б.

Таким образом, предлагаемая схема позволяет регулировать сварочный ток, изменяя подачу топлива, автоматически переходить от режима холостого хода к номинальному режиму и наоборот. Все это, кроме удобства в эксплуатации, позволяет экономить топливо при проведении сварочных работ.

Дальнейшее развитие способов регулирования возбуждения АГ и в частных случаях сварочного тока реализовано в следующих технических решениях.

*Схема источника питания сварочной дуги с электронным коммутатором* [10] представлена на рис. 11.

Ротор асинхронного генератора GA соединен с валом приводного двигателя DVS. Возбуждается генератор от емкости конденсаторной батареи С1-С3. Первичная обмотка W1 трансформатора TU с одной стороны подключена статору GA, а с другой присоединена к дополнительной батарее конденсатора С4-С6, к которой подключены резисторы R1-R3 и электронный ключ VS1-VS3 со схемой управления UZ. Вторичная обмотка W2 трансформатора TU включена на выпрямитель VD1-VD6 с датчиком сварочного тока RS и сварочными электродами XP.

Приводной двигатель DVS вращает ротор GA, который возбуждается от емкости С1-С3. Напряжение GA подается на схему управления и первичную обмотку W1 трансформатора TU1, проходит эту обмотку и через конденсаторы С4-С6 замыкается на активном сопротивлении резисторов R1-R3. Напряжение вторичной обмотки W2 выпрямляется VD1-VD6 и через датчик сварочного тока RS подается на сварочные электроды XP.

На холостом ходу, когда сварочные электроды не замкнуты, сопротивление обмоток W1 и W2 трансформатора TU велико и емкость конден-

саторов С4-С6 не оказывает влияния на режим работы генератора.

Схема позволяет регулировать ток от минимального до максимального. Допустим, в схеме управления регулятор тока установлен на отметке 20А (минимально допустимый ток). При замыкании ХР замыкается цепь выпрямителя, соответственно, и вторичная обмотка W2 трансформатора ТУ. Полное сопротивление трансформатора ТУ уменьшается, поэтому возрастает ток от емкости С4-С6, который ограничивается резисторами R1-R3. Генератор при этом увеличивает свое напряжение. При размыкании электродов ХР возникает электрическая дуга, идет процесс сварки. Электронный ключ VS1-VS3 при этом в работе не участвует.

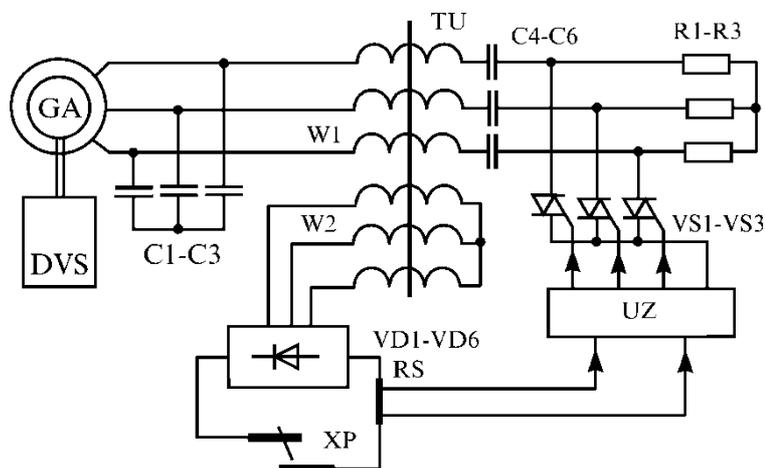


Рис. 11 – Схема регулирования тока сварки электронным коммутатором

Допустим, регулятор тока (указатель) в схеме управления UZ установлен на отметке 300А (максимальный ток для определенной конструкции). Электронный ключ VS1-VS3 замыкается и шунтирует резисторы R1-R3. При замыкании сварочных электродов ХР замыкается цепь выпрямителя VD1- VD6, соответственно и вторичная обмотка W2 трансформатора ТУ, при этом увеличивается емкостной ток конденсаторной батареи С4-С6, и генератор работает в режиме насыщения. При размыкании электродов ХР происходит процесс сварки. За счет первоначального насыщения магнитной системы генератора (при К3) дуга горит устойчиво и стабильно. Электронный ключ VS1-VS3 находится во включенном состоянии.

Таким образом, электронный ключ постоянно включается и отключается в момент перехода синусоиды в каждой фазе через ноль. За счет инерционности всей системы происходит поддержание тока на заданном уровне (150 А). При размыкании электродов сопротивление трансформатора ТУ увеличивается, происходит процесс сварки, при этом электронный ключ продолжает включаться, поддерживая ток сварки 150 А. Точность поддержания тока зависит от чувствительности схемы управления и составляет 3-5 % от заданного.

Предлагаемый источник питания сварочной дуги позволяет плавно регулировать сварочный ток в широком диапазоне, а также производить дистанционную его регулировку. Кроме того, предлагаемый источник питания сварочной дуги устраняет резонансные явления при переходных процессах, т.к. присутствует активное сопротивление в цепи емкости.

*Ступенчатое регулирование возбуждения и тока сварки* можно осуществить по схеме (рис. 12) [11].

Автономный источник содержит приводной двигатель DVS типа УД-25 или аналогичный (может использоваться и вал отбора мощности транспортного средства), АГ с короткозамкнутым ротором GA, конденсаторы возбуждения C1-C3 и регулируемые конденсаторы C4-C21, согласующий трансформатор ТУ, силовой выпрямитель VD1-VD6, электроды XP, бесконтактные коммутирующие устройства VS1-VS15, источник собственных нужд UZ2, дешифратор UZ1, многопозиционный выключатель SB.

В качестве АГ может использоваться любой асинхронный двигатель, рассчитанный на частоту тока 50-400 Гц. Лучше использовать генератор на повышенную частоту, при этом снижается масса и габариты конденсаторов, так как емкостная реактивная мощность конденсаторов пропорциональна частоте тока.

Для генератора мощностью 6,0 кВА, частотой тока 200 Гц элементы схемы имеют следующие данные: конденсаторы возбуждения: C1-C3 – 24

мкФ на фазу; конденсаторы регулирования: C4-C6 – 1,0 мкФ; C7-C9 – 2,0 мкФ; C10-C12 – 4 мкФ; C13-C15 – 8 мкФ; C16-C18 – 16 мкФ; C19-C21 – 8 мкФ.

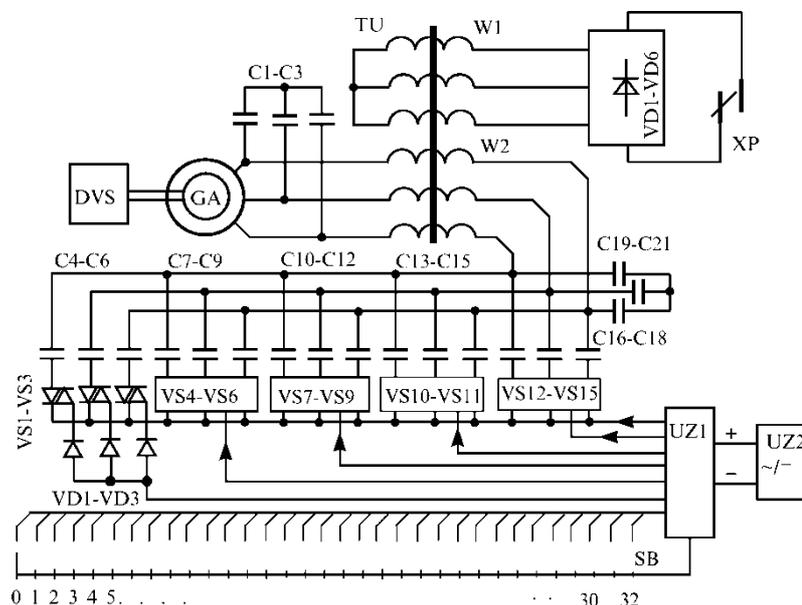


Рис. 12 – Схема дискретного регулирования тока сварки

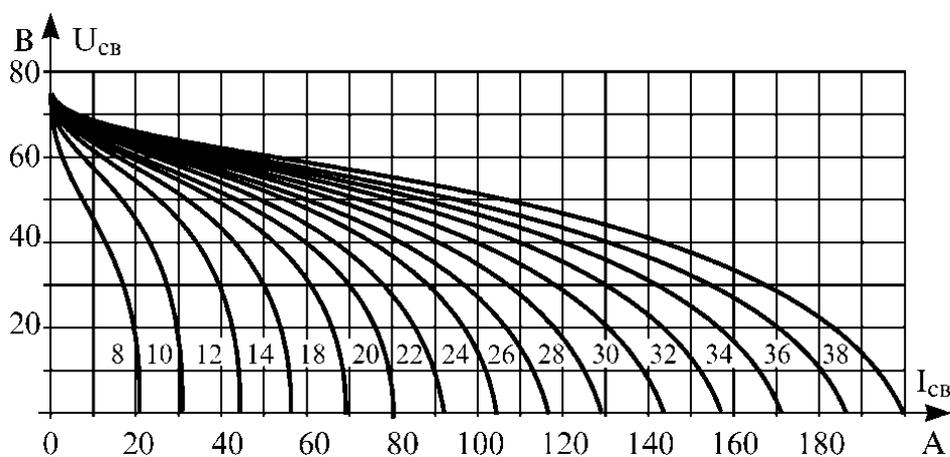


Рис. 13 – Внешние характеристики источника питания сварочной дуги при различных емкостях C4 – C21

Коммутирующие устройства состоят из симистров ТС2-10-5 и диодов КД105. Дешифратор UZ1 и многопозиционный переключатель SB специальной конструкции. Изменяя положение переключателя SB можно изменять емкость с дискретностью 1 мкФ и получать семейство внешних характеристик. Внешние характеристики для некоторых значений емкости приведены на рис. 13.

Для упрощения конструкции вместо бесконтактных элементов можно использовать реле. Опытный образец сварочного блока с реле показан на рис. 14, *а* (внешний вид), а на рис. 14, *б* монтаж блока (вид сверху).

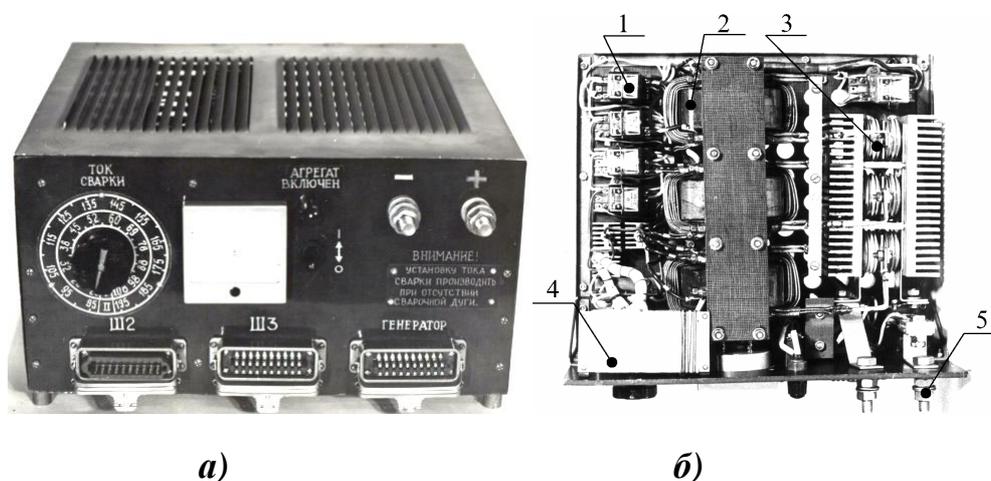


Рис. 14 – Внешний вид сварочного блока *а*), блок управления без кожуха *б*), 1 – реле; 2 – согласующие трансформаторы; 3 – силовой выпрямитель; 4 – дешифратор; 5 – выводы для подключения сварочных проводов

Агрегаты сварочные АДБ - 13.01 и АДБ - 13.02 с асинхронными генераторами на частоту тока 200 Гц показаны на рис. 15 и 16. Они имеют практически одинаковые параметры. Различие заключается в компоновке мультипликатора.

Сварочного агрегата имеет характеристики:

Номинальный сварочный ток, А.....	130
Предел регулирования сварочного тока, А	20-180
Номинальная продолжительность нагрузки, ПН%	60
Номинальное рабочее напряжение, В .....	25
Напряжение холостого хода, В .....	70
Генератор, тип.....	асинхронный трехфазный
Частота вращения генератора, мин <sup>-1</sup> .....	6000
Частота тока генератора, Гц .....	200
Напряжение генератора, В.....	230/130
Номинальная мощность генератора, кВА...	6,0
Приводной двигатель, тип .....	УД-25
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup> .....	3000
Номинальная мощность, кВт.....	5,88
Топливо.....	бензин А-72, А-76
Габаритные размеры, мм .....	1140×615×730

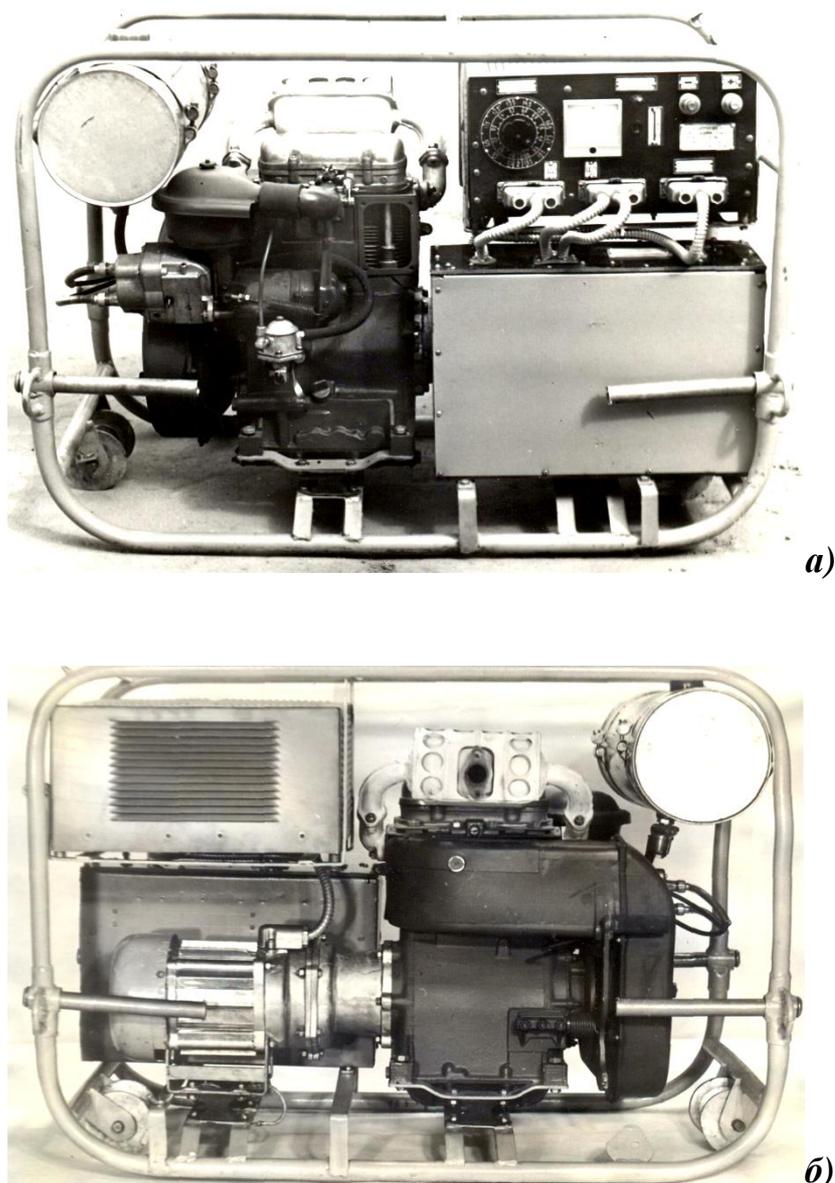
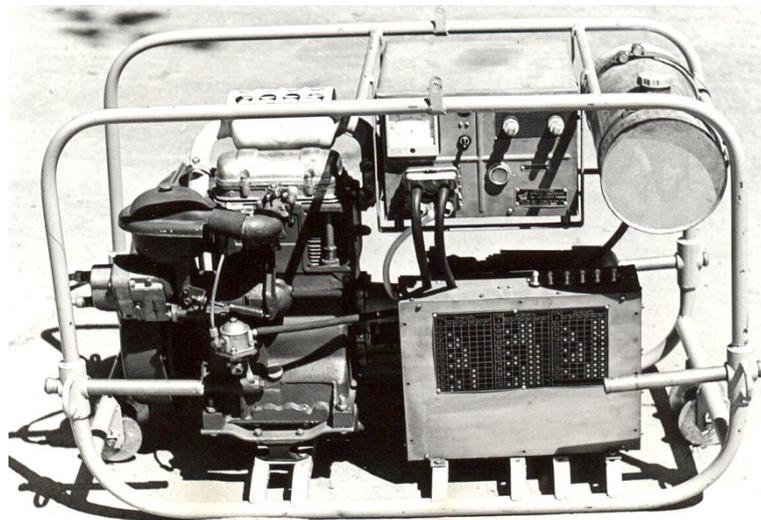


Рис. 15 – Агрегат сварочный АДБ 13.01 с плавным регулированием сварочного тока. Внешний вид *а*). Вид сзади *б*)

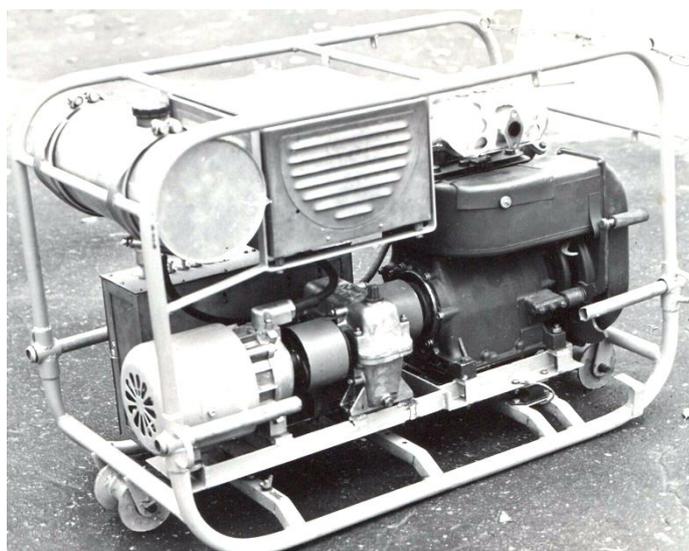
Качество сварочного шва зависит от частоты питающего тока. Увеличение частоты тока до 200 – 400 Гц, кроме снижения массы и габаритных показателей, улучшает условия горения дуги.

Разработаны два типа специальных сварочных асинхронных генераторов на повышенную частоту тока [12, 13]. Первый вариант сварочного асинхронного генератора (САГ) представлен на рис. 17. Схема содержит САГ GA с обмотками возбуждения W1 - W2 и рабочей обмоткой W3, согласующий трансформатор TU с первичной W4 и вторичной W5 обмотка-

ми, конденсаторы возбуждения С1 и С2, приводной двигатель DVS и сварочные электроды ХР.



*a)*



*б)*

Рис. 16 – Агрегат сварочный АДБ 13.02 со ступенчатым регулированием сварочного тока. Внешний вид *a)*. Вид сзади *б)*

САГ GA конструктивно выполнен трехфазным. Обмотки возбуждения САГ имеют большое число витков, рассчитаны на напряжение 400-600 В. Обмотка рабочая W3 имеет меньшее число витков и рассчитана на напряжение сварки, а сечение обмотки – на номинальный сварочный ток. Емкость конденсаторов возбуждения выбирается из расчета возбуждения

генератора и компенсации реактивной составляющей реакции ротора и нагрузки.

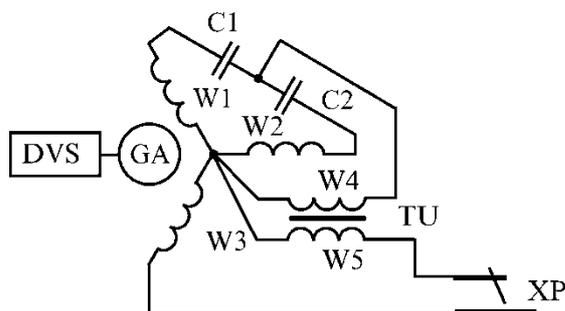


Рис. 17 – Схема источника питания сварочной дуги на частоту тока 200 – 400 Гц

Конструктивно опытный образец САГ изготовлен на базе АД. Статор АД был перемотан, и скорость вращения составила 6000 об/мин. При изменении емкости от 60 до 120 мкФ сварочный ток изменяется от 50 до 210 А при устойчивом горении дуги. Частота тока изменяется от 200 до 192 Гц (за счет скольжения) при постоянной скорости вращения ротора.

Автономный источник питания сварочной дуги (рис. 18) [13] содержит: приводной двигатель DVS, асинхронного генератора AG с обмоткой возбуждения  $w$ , на зажимы которой включен конденсатор возбуждения C1 и последовательно с ней первичная обмотка  $w1$  согласующего трансформатора TU, конденсатор C3, симистор VS1 со схемой управления DA/DS и задатчик тока R2. Регулирующий элемент VS1 и дополнительный конденсатор C3 зашунтированы активным R1 и емкостным C3 сопротивлениями. Вторичная обмотка  $w2$  трансформатора TU соединена со сварочными электродами SA через трансформатор тока ТА, выход которого соединен со схемой управления DA/DS. Работа схемы подробно описана в [12].

Многофункциональный источник питания (рис. 19)[14] содержит асинхронный генератор GA с выводами А,В,С для подключения нагрузки, конденсаторы возбуждения C1-C3, выпрямитель VD1-VD6, разделительный трансформатор TU с первичной W1 и вторичной обмоткой W2, W3 со средней точкой, электронный ключ (IGBT транзистор) VT1 со схемой

управления DA/DD, молекулярный накопитель энергии (конденсатор с двойным электрическим слоем) CE, дроссель LD, первый C4 и второй C5 дополнительные конденсаторы, выключатель SB, шунтирующий диод VD7, высокочастотные диоды VD8, сварочные электроды SK.

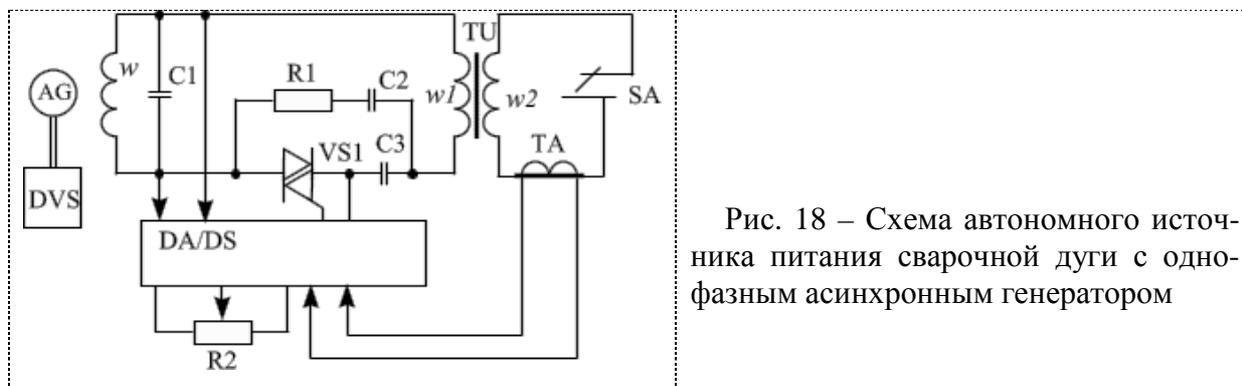


Рис. 18 – Схема автономного источника питания сварочной дуги с однофазным асинхронным генератором

Напряжение высокой частоты на обмотке W2 и W3 трансформатора TU выпрямляется высокочастотными диодами VD8, VD9 и с их выхода и среднего вывода поступает на сварочные электроды SK.

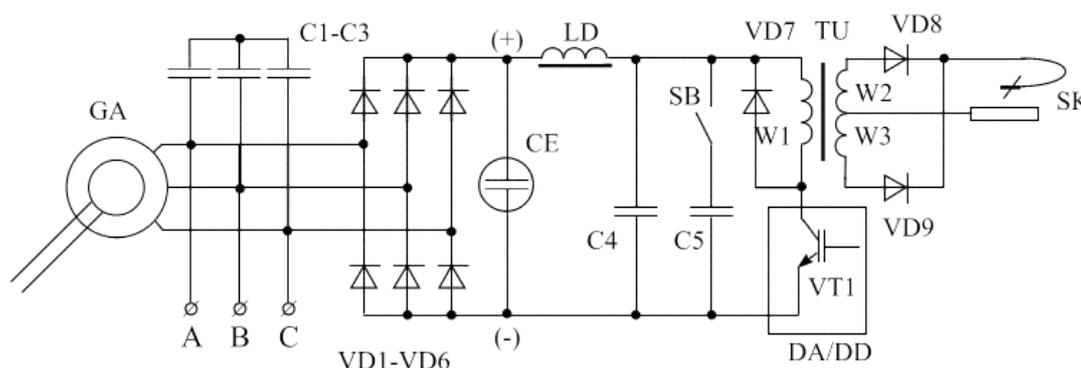


Рис. 19 - Схема автономного многофункционального источника

В момент закрытия транзистора VT1 шунтирующий диод VD7 способствует дальнейшему протеканию тока обмотки W1 трансформатора TU. Дроссель LD, первый C4 и второй C5 накопительные конденсаторы формируют крутопадающую внешнюю характеристику источника питания. Причём, при включении второго дополнительного конденсатора C5 выключателем SB сварочный ток возрастает. Таким образом, можно ступенчато регулировать сварочный ток.

Достоинствами предлагаемой схемы является: снижение массы разделительного трансформатора за счёт повышения промежуточной частоты

тока инвертора до  $30 \div 70$  кГц, устойчивая работа асинхронного генератора при коротких замыканиях сварочного электрода в процессе сварки благодаря подключению молекулярного накопителя, надёжность источника при высоких сварочных свойствах.

Внешние характеристики опытного образца многофункционального источника питания показаны на рис. 20.

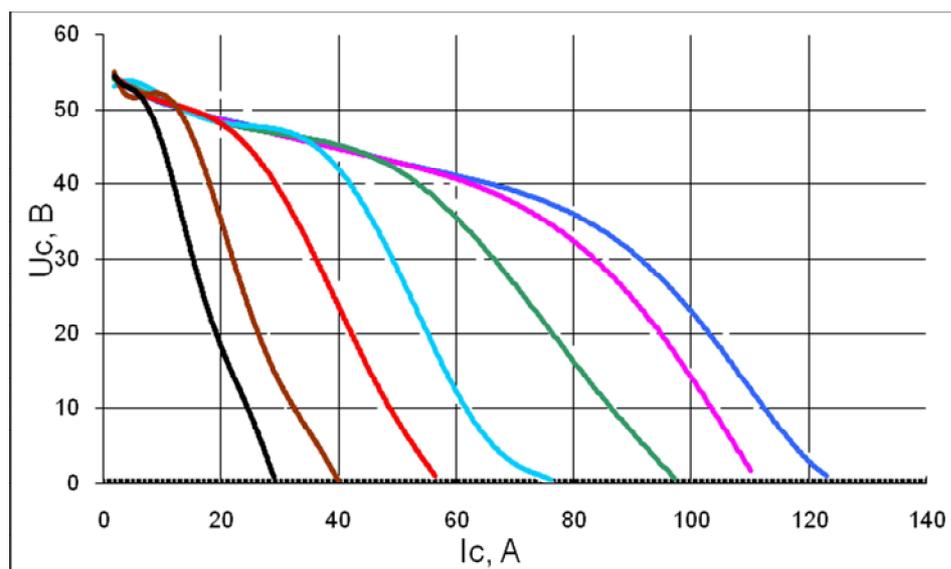


Рис. 20 - Внешние характеристики опытного образца

Разработанные нами источники питания сварочной дуги с асинхронными генераторами и инверторная сварочная приставка с высокочастотным промежуточным узлом позволяют создавать многофункциональные источники для питания различных токоприемников, и использовать их как сварочные аппараты. При этом повышается коэффициент использования оборудования и его эффективность.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, П.П. Екименко: - Краснодар, 2011 256 с.: ил.
2. А.с. № 727363 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст]/ Н.И. Богатырев, Л.Н. Горохов, В.С. Змитрович и др. (СССР). – № 2645325/25-27; Заявл. 17.07.78; Опубл. 15.04.80; Бюл. № 14 – 4 с.: ил.

3. А.с. № 957405 СССР, МКИ Н 02 Р 9/46. Устройство для стабилизации напряжения асинхронного генератора [Текст] / Н.И. Богатырев, Б.И. Жидков, В.С. Змитрович и др. (СССР). – № 3228796/24-07; Заявл. 04.01.81; Опубл. 07.09.82; Бюл. № 33 – 4 с.: ил.
4. А.с. № 975274 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания для дуговой сварки [Текст] / Н.И. Богатырев, Б.И. Жидков. (СССР). – № 3315660/25-27; Заявл. 13.07.81; Опубл. 23.11.82; Бюл. № 43 – 4 с.: ил.
5. А.с. № 1013161 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев. (СССР). – № 3380380/25-27; Заявл. 14.01.82; Опубл. 23.04.83; Бюл. № 15 – 4 с.: ил.
6. А.с. № 1107973 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев. (СССР). – № 3580706/25-27; Заявл. 20.04.83; Опубл. 15.08.84; Бюл. № 30 – 4 с.: ил.
7. А.с. № 1129040 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев, М.И. Богатырев, В.М. Исаенко(СССР). – № 3442531/25-27; Заявл. 24.05.82; Опубл.15.12.84; Бюл. № 46 – 4 с.: ил.
8. А.с. № 1159736 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев. (СССР). – № 3716478/25-27; Заявл. 29.03.84; Опубл. 07.06.85; Бюл. № 21 – 4 с.:ил.
9. А.с. № 1196189 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев. (СССР). – № 3776670/25-27; Заявл. 30.07.84; Опубл. 07.12.85; Бюл. № 45 – 2 с.: ил.
10. А.с. № 1199514 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев. (СССР). – № 3353974/25-27; Заявл. 11.11.81; Опубл. 23.12.85; Бюл. № 47 – 2 с.: ил.
11. А.с. № 1299726 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев, М.И. Богатырев, Ю.П. Бойко и др. (СССР). – № 3978322/25-27; Заявл. 20.11.85; Опубл.30.03.87; Бюл. № 12 – 4 с.: ил.
12. Пат. RU 2336151, МПК В23К 9/10 Автономный источник питания сварочной дуги [Текст] / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, Я.А. Ильченко и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2006146460/02 (050753); Заявл. 25.12.06; Опубл. 20.10.08; Бюл. № 29. – 3 с.: ил.
13. Пат. RU 2355529, МПК В23К 9/00, Н01F29/10, Н01F21/06, Н01F27/255, Устройство для питания сварочной дуги [Текст] / Б.Ф. Тарасенко, Н.И. Богатырев, А.И. Ачмиз и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007145701/02 (050085); Заявл. 10.12.07; Опубл. 18.12.08; Бюл. № 4. – 5 с.
14. Пат. 2356709, МПК В23К 9/10 Источник питания сварочной дуги / Богатырев Н.И., Баракин Н.С., Вронский О.В. и др. – № 2007142899/02; Заявл. 19.11.07; Опубл. 27.05.09; Бюл. № 15.