



УДК 621.791

Составитель Н.И. Иванов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
электрооборудования *Н.М. Гайдаш*

**Автоматизация сварочных процессов** [Текст]: методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т.; сост. Н.И. Иванов. Курск, 2017. 69 с., ил. 23, табл. 10, прилож. 1. Библиогр.: с. 67.

Содержат сведения по вопросам автоматизации сварочных процессов, необходимые при выполнении лабораторных работ. Указывается необходимое оборудование, материалы, порядок выполнения и оформления отчетов по лабораторным работам.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Работа предназначена для студентов дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *13.02.17*. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. *39*. Уч. - изд. л. *36*. Тираж *50* экз. Заказ *204*. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1. Принципы построения схем автоматического управления сварочным оборудованием	5
Лабораторная работа №2. Изучение динамики систем автоматического регулирования дуговой сварки методом математического моделирования	18
Лабораторная работа № 3. Особенности устройства и принципа работы контроллера для контактной сварки ККС-01	30
Лабораторная работа № 4. Особенности работы системы автоматического регулирования тока при точечной сварке	45
Лабораторная работа № 5. Система автоматической компенсации износа электрода при точечной сварке	51
Лабораторная работа № 6. Технологические особенности автоматического регулирования нагрева по скорости снижения усилия в зоне сварки Т-образных соединений малогабаритных деталей	58
Список использованных источников	67
ПРИЛОЖЕНИЕ	68

## ВВЕДЕНИЕ

«Автоматизация сварочных процессов» является обязательной дисциплиной вариативной части учебного плана направления подготовки 15.03.01 Машиностроение профиль «Оборудование и технология сварочного производства», изучаемой в заключительной стадии обучения будущих бакалавров. По данной дисциплине предусматривается чтение лекций и проведение цикла лабораторных работ.

Целью выполнения лабораторных работ является конкретизация и закрепление ряда разделов теоретической части дисциплины. Предлагаемые работы рассчитаны на студента, знакомого с основами промышленной электроники и электротехники, с технологией и оборудованием различных видов сварки, а также с соответствующими разделами теоретической части рассматриваемой дисциплины.

В методических указаниях даются необходимые теоретические пояснения, облегчающие выполнение работ. К выполнению работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности с соответствующей отметкой в журнале и тестовый опрос по теоретической части работы. Знание теории вопроса является обязательным при выполнении лабораторной работы.

Отчет по лабораторной работе составляется самостоятельно каждым студентом. Весь иллюстративный материал (схемы, рисунки, графики и т.п.) выполняется с применением средств вычислительной техники (ПЭВМ) или, допускается, аккуратно карандашом с помощью чертежных принадлежностей. Отчеты должны быть оформлены должным образом, в соответствии с требованиями методических указаний, на листах формата А4 (297×210 мм) и представлены преподавателю к следующему занятию. Отчет по каждой лабораторной работе должен обязательно заканчиваться выводами, сделанными на основании анализа полученных в экспериментах результатов, выполненных расчетов, составленных схем и т.п. Выводы, перечисляющие выполненные действия в работе, и небрежно оформленные отчеты к защите не принимаются.

Работа считается выполненной студентом после подписания и защиты отчета.

## Лабораторная работа № 1. Принципы построения схем автоматического управления сварочным оборудованием

### 1.1 Общие положения

Управление автоматическим сварочным оборудованием часто осуществляется с помощью различных релейных схем. Основными объектами управления такого оборудования являются:

- механизмы перемещения автомата (его электродной части) или свариваемого изделия;
- устройства подачи электродной проволоки и защитного газа;
- приводы сжатия свариваемых деталей;
- устройства автоматического включения источника питания и др.

Схемы электрического управления сварочными автоматами предназначены для осуществления строго определенной последовательности операций, автоматического или полуавтоматического оперативного регулирования, защиты от аварийных режимов и отключения оборудования.

В процессе эксплуатации автоматического оборудования обычно используются два режима работы:

- режим установочных операций или наладка (работа в ручном режиме);
- основной рабочий режим (работа в автоматическом режиме).

В соответствии с этим в схемах управления предусматриваются элементы основного и установочного режимов. Переход от основного режима к установочному может производиться без дополнительных переключений или с применением переключателя режима работ «СВАРКА»-«НАЛАДКА».

1.1.1 Основные принципы составления релейных схем управления. При составлении релейных схем управления к числу основных относятся следующие принципы:

- профилактики аварийных режимов;
- минимальной мощности дискретного управления;

- минимального количества проводных связей;
- минимального количества контактов и аппаратов.

**Профилактика аварийных режимов** сводится к тщательной проработке вопросов защиты, для практического осуществления которой необходимо соблюдение следующих правил:

- односторонней блокировки цепей автоматического и установочного режимов управления;
- разрешения пуска. Не должна допускаться продолжительная пауза между нажатием пусковой кнопки и началом движения рабочих органов установки, если неожиданность начала движения угрожает безопасности работающего;
- преимущественное использование замыкающих контактов электромагнитных аппаратов, как более надежных и снижающих аварийность.

Отношение количества замыкающих и размыкающих контактов должно быть не менее 3:1.

Цепи автоматического управления не должны размыкаться под действием органов установочного управления до полной остановки привода.

Цепи установочного управления во время действия автоматического управления должны быть разомкнуты.

**Принцип минимальной разрывной мощности выполняется:**

- применением усилительных устройств (электромагнитных, электромашинных и т.д.);
- использованием электронной аппаратуры в вспомогательных цепях и силовых цепях постоянного тока;
- включением контактов в цепи с меньшей мощностью;
- селективностью включения, т.е. каждый контакт должен отключать только минимально необходимое число цепей;
- переключением контактов без разрыва тока;
- использование низкого коэффициента возврата ( $K_v = 0,3 \div 0,4$ ), что позволяет вводить в цепи самоблокировки «экономические» сопротивления вместо замыкающего контакта реле как показано на рисунке 1.1. Электромагнитное реле *КА* срабатывает при замыкании пусковой кнопки *SB1*, при отпуске которой ка-

тушка реле не обесточивается. По ней проходит ток меньший тока срабатывания, но больший, чем ток отключения реле. Обесточивается катушка реле при нажатии на кнопку *SB2*. После отпускания этой кнопки по катушке реле проходит ток меньший, чем ток срабатывания реле *KA* и оно сработать вновь не может;

- переключением контактов без разрыва тока.

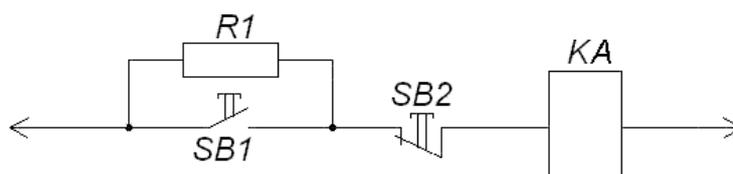


Рисунок 1.1 – Схема включения «экономического» сопротивления

**Принцип минимального количества проводных связей** повышает надежность схемы, снижает трудоемкость монтажа. Выполнение этого принципа достигается:

- применением подвесных и переносных пультов управления вместо дублирования стационарных пультов;
- размещением некоторых аппаратов и элементов схемы непосредственно на узлах установки;
- применением малогабаритной аппаратуры, позволяющей увеличивать емкость панели или блока управления.

**Принцип минимального количества аппаратов и контактов** заключается в уменьшении количества аппаратов, которое достигается применением распределительных систем управления не работающих агрегатов одновременно с общими аппаратами защиты. Сокращение количества контактов достигается тщательной проработкой схемы, а также применением бесконтактных элементов (например, полупроводниковых).

1.1.2 Основные правила составления релейных схем управления. При составлении релейных схем управления необходимо:

- тщательно изучив техническое задание, зафиксировать все операции управления, выполняемые по ходу технологического процесса;
- составление схемы управления начинать с разбивки ее на узлы. Для каждого узла разрабатывается схема, а затем разрабатываются связи между узлами;
- схема автоматического управления по возможности должна состояться из ряда простых электрических цепей. Это облегчает усвоение схемы, контроль и ее наладку;
- следует до предела сокращать количество аппаратов, находящихся под напряжением;
- для предотвращения возникновения «ложных цепей» следует избегать связывание цепей нескольких аппаратов общими контактами;
- для облегчения контроля и наладки, а также для предупреждения случайных коротких замыканий нужно стремиться к тому, чтобы аппараты одним концом подключались непосредственно к источнику их питания. Подключение различных контактов одних и тех же аппаратов к двум фазам (полюсам) **ЗАПРЕЩАЕТСЯ**;
- прекращение работы схемы управления должно производиться размыканием контактов. Применение стопового реле, действующего от замыкающего контакта кнопки «СТОП» также **ЗАПРЕЩАЕТСЯ**;
- необходимо помнить, что любая задача управления решается несколькими способами, поэтому при составлении схемы нельзя останавливаться на первом способе решения без рассмотрения других возможных способов, сравнивая их для выбора лучшего решения.

1.1.3 Сигнализация в системах автоматического управления. В схемах автоматического управления должны быть предусмотрены элементы сигнализации. Сигнализация облегчает наблюдение за состоянием протекающего процесса, а также служит для ускорения определения причин и мест различных неисправностей. Сигнализация по назначению может быть известительная, предназначенная

для наблюдения за состоянием протекающего процесса, и аварийно-предупредительная, сигнализирующая при срабатывании различных контрольных устройств.

Большой эффект дает мигание сигнальных ламп после срабатывания контрольных устройств. Для этого достаточно, чтобы при срабатывании контрольного устройства подавалось питание на схему, включающую световую сигнализацию.

На рисунке 1.2 показано устройство световой сигнализации, срабатывающей от пульс-пары (реле  $K1$  и  $K2$ ), которая включается при срабатывании контрольного устройства «КУ».

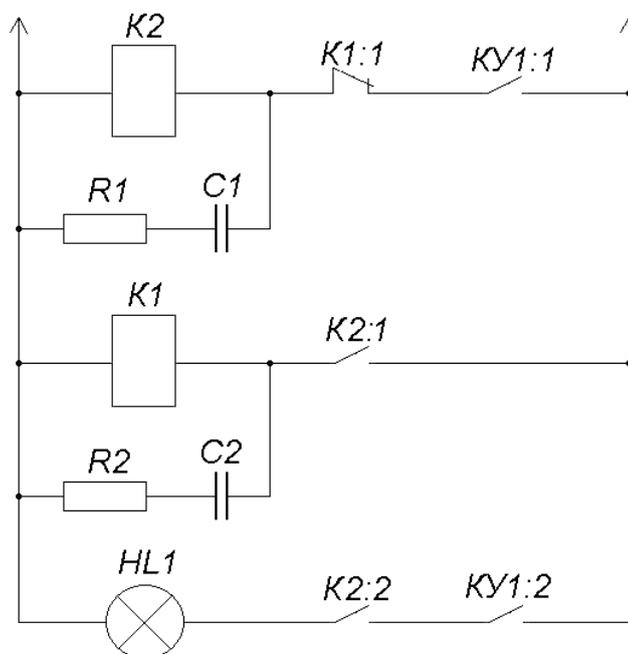


Рисунок 1.2 – Устройство мигающей световой сигнализации

Применение мигающего света расширяет возможности световой сигнализации. Для наилучшего восприятия и различимости мигающего света продолжительность вспышки должна составлять  $1,0$  с, а продолжительность паузы  $0,5$  с. Продолжительность вспышки и паузы подбирается параметрами резисторов  $R1$  и  $R2$ , а также емкостью конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , шунтирующих катушки реле пульс-пары.

1.1.4 Питание цепей управления и сигнализации в релейных схемах. В схемах автоматического релейного управления находят широкое применение узлы и элементы слаботочной техники. Это приводит к повышению надежности, долговечности, уменьшению потребляемой мощности и габаритных размеров систем автоматического управления. Наибольшее распространение находят слаботочные аппараты постоянного тока, которые в сочетании с элементами электроники позволяют реализовать рациональные системы управления.

Для коммутации силовых цепей переменного тока напряжением  $380\text{ В}$  применяются как аппараты слабого тока (промежуточные реле различного типа), так и силовые аппараты переменного тока (катушки контакторов, пускатели). Такие схемы управления разделяются на две отдельные схемы – постоянного и переменного тока, для каждой из которых предусматривается самостоятельный источник питания. Например, катушки контакторов, включающие сварочную цепь, питаются переменным напряжением  $220\text{ В}$ , а включаются они слаботочным аппаратом (обычно промежуточное реле) напряжением  $36\text{ В}$ .

Для питания схем управления обычно приняты постоянные напряжения  $24$ ,  $36$  и  $48\text{ В}$ . Дальнейшее понижение напряжения нежелательно, т.к. в этом случае ухудшается работа контактов многих аппаратов. Для надежности работы напряжение источников питания должно несколько превышать номинальное напряжение, используемое в схеме аппаратуры.

## 1.2 Цель работы

Ознакомиться с основными принципами и получить практические навыки построения схем управления автоматическим сварочным оборудованием.

### 1.3 Рабочее задание

В данной работе необходимо построить релейную схему управления автоматом для сварки в среде защитного газа, которая должна выполнять следующие функции:

- включение питания схемы управления автомата с самоблокировкой;
- включение подачи защитного газа;
- включение сварочного источника питания;
- включение подачи сварочной проволоки (вращение двигателя);
- выключение подачи сварочной проволоки и сварочного источника питания;
- прекращение подачи защитного газа;
- возвращение схемы управления в исходное состояние.

Перечисленные функции автомата должны выполняться в строго определенной последовательности, приведенной в таблице 1.1.

#### **Работа состоит из двух частей:**

- 1) изучения принципов построения релейных схем управления и знакомства с технологическим заданием (циклограммой работы автомата);
- 2) составления релейной схемы управления работой автомата по заданному технологическому циклу (с использованием типовых блоков) и сборки данной схемы.

### 1.4 Оборудование и материалы

При выполнении работы используются:

- источник постоянного тока напряжением до  $24 В$ ;
- элементы, необходимые для сборки отдельных блоков релейной схемы управления;
- панели для навесного монтажа и соединительные провода;
- паяльник и принадлежности для пайки;
- мультиметр.

Таблица 1.1 – Циклограмма операций управления автоматом для сварки в среде защитного газа

Последовательность работы	Включение		Работа в установленном режиме	Отключение		
	$t_1$	$t_2$		$t_3$	$t_4$	$t_5$
Включение схемы и самоблокировки	+	+	+			
Включение сварочного источника	+	+	+	+	+	
Включение подачи газа	+	+	+	+	+	+
Включение двигателя подачи проволоки		+	+	+		

**Примечание:** «плюс» в таблице соответствуют включенному состоянию блоков.

## 1.5 Порядок выполнения работы

1.5.1 Изучить основные принципы и правила построения релейных схем управления.

1.5.2 Собрать на отдельных монтажных панелях необходимые блоки релейной схемы управления сварочным автоматом:

а) блок самоблокировки;

Схема блока самоблокировки с промежуточным реле показана на рисунке 1.3. Промежуточное реле  $KL1$  срабатывает при нажатии на кнопку  $SB1$  («ПУСК»).

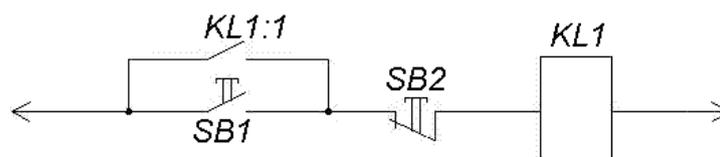


Рисунок 1.3 – Блок самоблокировки

Нормально разомкнутый контакт реле  $KL1:1$  осуществляет самоблокировку пусковой кнопки  $SB1$ .

Оставшиеся нормально разомкнутые и нормально замкнутые контакты промежуточного реле  $KL1$  можно использовать в других блоках для управления включением различных элементов сварочного электрооборудования, например, в блоках включения пусковой аппаратуры сварочного источника, подачи защитного газа (контактом  $KL1:2$  на рисунке 1.4) и в других электрических цепях (контактом  $KL1:3$  на рисунке 1.5).

б) блок включения промежуточного реле, управляющего электромагнитным контактором сварочного источника;

Выключение сварочного источника должно осуществляться после прекращения подачи проволоки. Этот блок собирается по схеме, приведенной на рисунке 1.4.

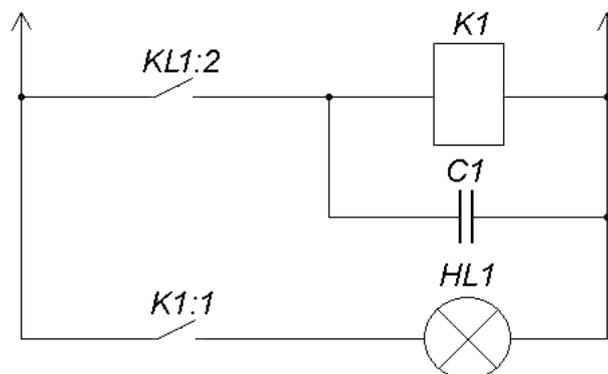


Рисунок 1.4 – Блок включения сварочного источника

Реле  $K1$ , включающееся при замыкании контакта  $KL1:2$  промежуточного реле  $KL1$ , включит контактор сварочного источника (на схеме он имитируется сигнальной лампой  $HL1$ ). Задержку времени на отключение контактора можно получить, зашунтировав катушку реле  $K1$  конденсатором  $C1$ . Требуемое время задержки обеспечивается выбором соответствующей емкости конденсатора  $C1$ .

в) блок включения промежуточного реле, управляющего электромагнитным клапаном подачи защитного газа;

Блок управления электромагнитным клапаном подачи защитного газа также может быть собран по схеме, показанной на рисунке 1.4. При этом сигнальная лампа HL1 будет имитировать включение электромагнитного клапана подачи защитного газа. По технологической циклограмме процесса прекращение подачи газа должно осуществляться с некоторой задержкой времени после выключения сварочного источника. Необходимое время задержки может быть так же получено подбором емкости конденсатора C1.

г) блок включения промежуточного реле, управляющего приводом подачи электродной проволоки.

Для включения промежуточного реле, управляющего приводом подачи электродной проволоки, с некоторой задержкой целесообразно использовать реле времени.

Если стабильность выдержки времени является определяющим фактором в технологическом процессе, то обычно применяют электронные реле времени. Такие реле времени имеют диапазон выдержек от сотых долей секунды до нескольких минут при достаточно высокой точности отсчета интервалов времени.

В схеме управления сварочным автоматом может использоваться схема простого полупроводникового реле времени (рисунок 1.5), позволяющего получить выдержку порядка нескольких секунд.

При замкнутом контакте  $KL1:3$  (роль которого может выполнять нормально замкнутый контакт промежуточного реле  $KL1$ , показанного на рисунке 1.1) транзистор  $VT1$  открыт, а транзистор  $VT2$  закрыт, конденсатор  $C1$  будет заряженным. При размыкании контакта  $KL1:3$  транзистор  $VT1$  закрывается, а транзистор  $VT2$  открывается не сразу, а после некоторого промежутка времени. Объясняется это тем, что при разряде конденсатора  $C1$  на резисторы  $R1$ ,  $R2$  и переход база-эмиттер транзистора  $VT1$  отрицательный потенциал на базе последнего убывает и становится равным нулю, а коллекторный ток транзистора  $VT2$  нарастает и через некоторое время достигает значения тока срабатывания реле  $K1$ . Оно срабатывает и своими контактами, включает другие исполнительные цепи (в данном случае по-

даст питание на двигатель привода подачи электродной проволоки).

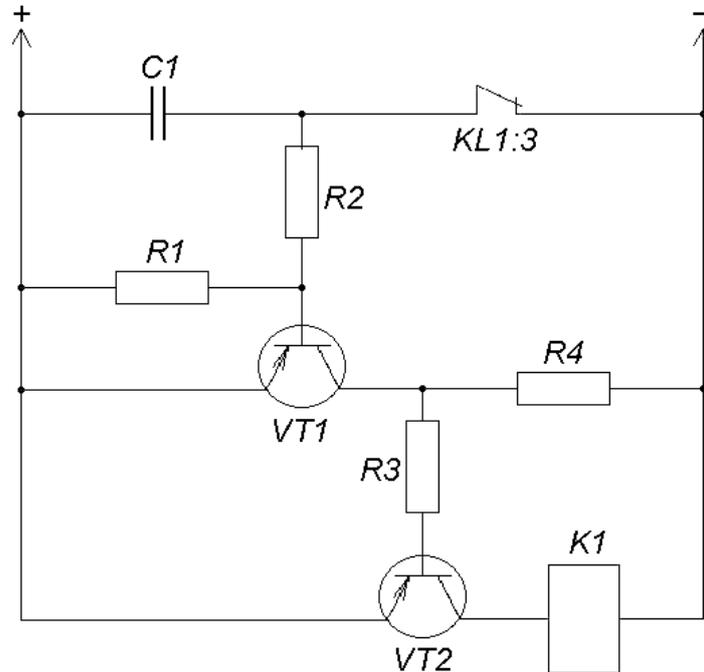


Рисунок – 1.5 – Полупроводниковое реле времени

При составлении полной релейной схемы управления на основе выполненных отдельных блоков необходимо предусмотреть промежуточное реле, имеющее задержку на отпусkanie. Замыкающий контакт этого реле завести в цепь управления двигателем подачи проволоки (чтобы получить задержку на отключение подачи проволоки после выключения схемы управления);

д) блок управления двигателем подачи проволоки.

При установке электродной проволоки в исходное положение перед сваркой двигатель привода подачи должен иметь реверсирование. Оно может осуществляться путем изменения направления тока, протекающего через якорь электродвигателя.

В данной работе блок управления двигателем привода подачи проволоки собирается по схеме, показанной на рисунке 1.6. Реверсирование двигателя постоянного тока  $M1$  осуществляется путем изменения направления тока якоря с помощью промежуточного реле  $KL1$  и выключателя  $SA1$ . В зависимости от того, какие контакты реле

*KL1* будут замкнуты, а какие разомкнуты, будет изменяться направление тока через якорь электродвигателя *M1*. Включение двигателя для подачи проволоки в процессе сварки осуществляется нормально разомкнутым контактом *K1:1* реле *K1*, показанного на рисунке 1.5.

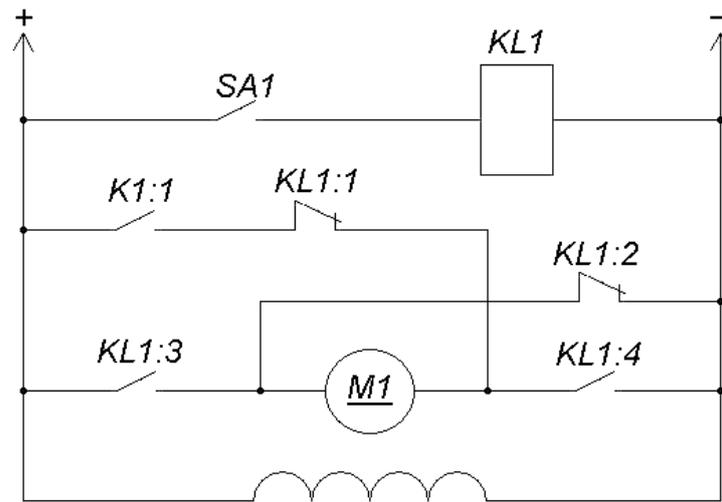


Рисунок 1.6 – Узел управления двигателем подачи проволоки

При составлении полной релейной схемы управления на основе выполненных отдельных блоков необходимо предусмотреть в разрабатываемой общей схеме управления тумблер, обеспечивающий возможность включения двигателя подачи проволоки, минуя все межблочные связи (пуско-наладочный режим).

**Внимание!** При составлении полной релейной схемы управления автоматом для сварки в среде защитного газа на основе выполненных отдельных блоков необходимо все блоки подключить к *общим шинам питания* источника постоянного тока напряжением 12 В.

1.5.3 Собрать разработанную схему управления и проверить соответствие ее работы с циклограммой, приведенной в таблице 1.1.

1.5.4 Сделать необходимые выводы по работе.

## 1.6. Содержание отчета

- Цель работы.

- Циклограмма работы автомата для сварки в среде защитного газа.
- Электрические схемы отдельных блоков, используемых для разработки принципиальной схемы управления сварочным автоматом для сварки в среде защитного газа.
- Принципиальная электрическая схема управления сварочным автоматом.
- Описание последовательности работы разработанной принципиальной электрической схемы управления сварочным автоматом.
- Выводы по работе

### 1.7 Контрольные вопросы.

- Какие режимы работы обычно используются в процессе эксплуатации автоматического сварочного оборудования?
- Назовите основные принципы, принимаемые во внимание при составлении релейных схем управления сварочным оборудованием.
- Особенности принципа профилактики аварийных режимов.
- В чем заключается принцип минимальной мощности дискретного управления?
- Чем достигается выполнение принципа минимального количества проводных связей?
- Назовите основные правила составления релейных схем управления сварочным оборудованием.
- Для чего необходима сигнализация в системах автоматического управления? Какая она может быть?
- Особенности питания цепей управления и сигнализации в релейных схемах управления сварочным оборудованием?
- Какие функции должна выполнять релейная схема управления автоматом для сварки в среде защитного газа?
- Порядок выполнения данной работы?

- Как обеспечивается самоблокировка в релейных схемах управления?
- Как можно осуществить задержку времени на отключение исполнительных органов в релейных схемах управления? Чем обеспечивается необходимое время задержки?
- С помощью чего осуществляется задержка времени включения исполнительного элемента в релейных схемах управления?

## Лабораторная работа № 2. Изучение динамики систем автоматического регулирования дуговой сварки методом математического моделирования

### 2.1 Общие сведения

Кривую переходного процесса (переходную характеристику)  $X_{\text{вых}}=f(t)$  можно построить, решив общее дифференциальное уравнение системы автоматического регулирования (САР).

С помощью математического моделирования можно довольно просто решать дифференциальные уравнения высоких порядков, описывающие работу САР. При математическом моделировании используется подобие дифференциальных уравнений, которые описывают процессы, происходящие в реальном элементе и в модели. Моделирование обычно осуществляется с помощью вычислительных машин непрерывного действия. Такие машины построены на основе операционных усилителей (рисунок 2.1).

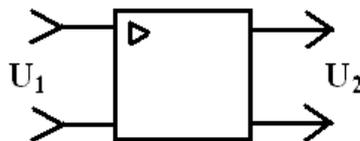


Рисунок 2.1 – Операционный усилитель

Реальные конструкции их сложны. Мы будем считать, что усилитель – это четырехполюсник, для которого

$$U_2 = -K U_1 \quad , \quad (2.1)$$

где  $K$  – коэффициент усиления, имеющий большую величину ( $10^4 \div 10^5$ ).

Кроме этого сопротивление между выходными зажимами равно бесконечности, а, следовательно, ток во входной цепи равен нулю. Знак минус является следствием особенностей конструкции усилителя (нечетность каскадов усиления).

Для выполнения математических операций к усилителю подключаются два сопротивления (рисунок 2.2, а): входное  $Z_{вх}$  и обратной связи  $Z_{oc}$ . В зависимости от вида сопротивлений (активное или индуктивное) операционный усилитель может выполнять операции, необходимые при решении дифференциальных уравнений, а именно – интегрирования, суммирования и умножения на постоянный коэффициент.

Рассмотрим три варианта.

1)  $Z_{вх}$  и  $Z_{oc}$  – активные сопротивления  $R_{вх}$  и  $R_{oc}$  (рисунок 2.2, б).

Из определения усилителя мы знаем, что ток в точке  $O$  должен быть равен нулю. Поэтому:

$$i_{вх} = -i_{oc} \quad ; \quad \frac{U_1}{R_{вх}} = \frac{U_2}{R_{oc}} \quad ; \quad U_2 = -\frac{R_{oc}}{R_{вх}} U_1 \quad .$$

Следовательно, при активных сопротивлениях операторный блок выполняет функцию умножения на постоянный коэффициент

$K = -\frac{R_{oc}}{R_{вх}}$ . При  $R_{вх} = R_{oc}$  такой блок выполняет функцию перемены

знака  $U_2 = -U_1$ . Обычно принимают  $R_{oc} = 1$ , поэтому  $K = -\frac{1}{R_{вх}}$ .

2) Пусть на входах 1, 2, ...,  $n$  блока, показанного на рисунок 2.2, г, относительно общей нулевой точки приложены напряжения

$U_{o1}, U_{o2}, U_{o3}, \dots, U_{on}$ , а на выходе действует напряжение  $U$ .

Для токов, текущих через сопротивления, получаем непосредственно:

$$i_1 = \frac{U_{o1}}{R_1} ; i_2 = \frac{U_{o2}}{R_2} ; i_n = \frac{U_{on}}{R_n} ; i_{oc} = \frac{U}{R_{oc}} .$$

Из условия равенства нулю суммы токов, протекающих в точке  $O$ , получим:

$$\frac{U}{R_{oc}} = - \left( \frac{U_{o1}}{R_1} + \frac{U_{o2}}{R_2} + \dots + \frac{U_{on}}{R_n} \right) ;$$

$$U = - \left( \frac{R_{oc}}{R_1} U_{o1} + \frac{R_{oc}}{R_2} U_{o2} + \dots + \frac{R_{oc}}{R_n} U_{on} \right) = \sum_{i=1}^n \frac{R_{oc}}{R_i} U_{oi} . \quad (2.2)$$

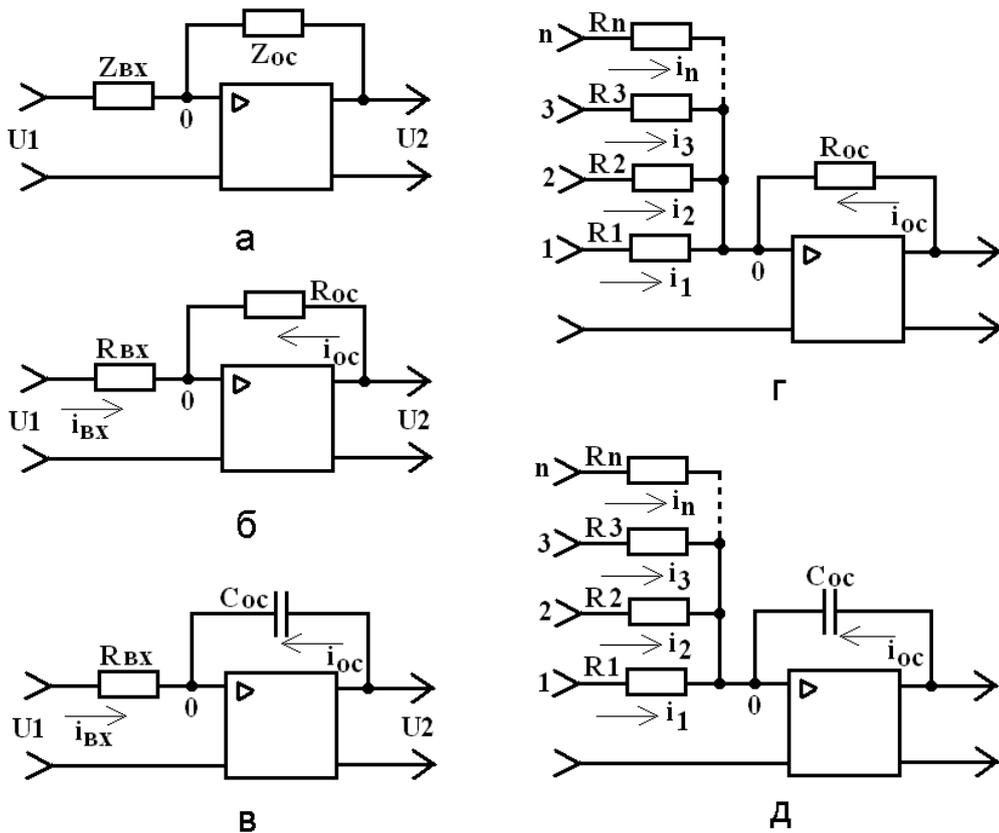


Рисунок 2.2 – Варианты включения операционных усилителей

Таким образом, данный блок выполняет функцию перемены знака и суммирования входных напряжений, каждое из которых умножено на постоянный коэффициент, величина которого зависит от соотношения  $R_{oc}$  и  $R_i$ . Такой блок называется сумматором.

3)  $Z_{ex}$  – активное сопротивление  $R_{ex}$ ;  $Z_{oc}$  – емкостное сопротивление. При емкости конденсатора  $C_{oc}$  имеем:

$$i_1 = \frac{U_1}{R_{ex}} \quad ; \quad i_{oc} = C \frac{dU_2}{dt} \quad ; \quad i_1 = -i_{oc} \quad ; \quad C \frac{dU_2}{dt} = -\frac{U_1}{R_{ex}} \quad ;$$

$$U_2 = U_o - \int_0^t \frac{U_1}{R_{ex} C_{oc}} dt \quad . \quad (2.3)$$

где  $U_o$  – значение переменной при  $t = 0$  (начальное условие).

Таким образом, блок, показанный на рисунке 2.2, в, выполняет операцию интегрирования и перемены знака. Если на вход данного блока подается несколько напряжений через входные сопротивления  $R_1, R_2, \dots, R_n$  (рисунок 2.2, д), то данный блок будет выполнять операцию интегрирования суммы, т.е. совмещать функции блоков суммирования и интегрирования в одном блоке.

Обычно в аналоговых машинах величина  $C_{oc}$  (как и  $R_{oc}$ ) принимается равной «1».

С помощью рассмотренных выше блоков можно моделировать типовые динамические звенья. Например, схему, показанную на рисунке 2.2, б, можно рассматривать как модель усилительного звена

с передаточной функцией  $W(p) = -K$ , где  $K = \frac{1}{R_{ex}}$ , а схему, показанную

на рис. 2.2, в – как модель интегрирующего звена с передаточной

функцией  $W(p) = -\frac{K}{p}$ , где  $K = \frac{1}{R_{ex}}$ . Аналогично можно

представить и модели других звеньев (таблица 2.1).

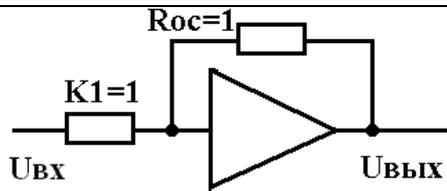
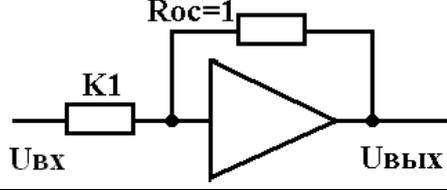
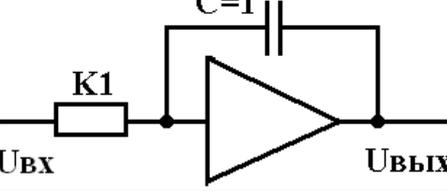
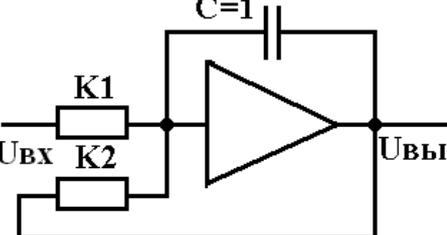
В таблице 2.1 операционные усилители изображены условно в виде треугольников. В дальнейшем будем пользоваться таким обозначением.

Таким образом, любую структурную схему САУ, состоящую из типовых динамических звеньев, можно представить моделью, заменив типовые звенья их моделями согласно таблицы 2.1.

В качестве примера составим упрощенную модель системы АРДС. Для этого составим вначале упрощенную структурную схему системы «источник питания - автомат - дуга (без сварного шва)».

Рассмотрим случай автоматической сварки под слоем флюса тонкой проволокой на автомате с постоянной скоростью подачи (например, АБС, ТС-17 и др.).

Таблица 2.1 – Математические модели различных звеньев

№ п/п	Машинная схема	Передаточная функция	Коэффициенты модели
1		$W(p) = -1$	$K_1 = 1$
2		$W(p) = -K$	$K_1 = K$
3		$W(p) = -\frac{K}{p}$	$K_1 = K$
4		$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}$	$K_1 = \frac{K}{T}$ $K_2 = \frac{1}{T}$

Для этого случая процесс плавления электрода можно считать безинерционным, а статическую характеристику дуги жесткой. Кроме этого не будем учитывать колебания длины дуги вследствие переноса металла и изменения вылета. Источником питания является выпрямитель с индуктивностью в цепи выпрямления тока.

При сделанных допущениях система саморегулирования описывается следующими уравнениями:

1) Считая процесс плавления электрода безинерционным, можем записать:

$$V_o = K_{cm} I_d - K_{cn} U_d \quad (2.4)$$

или в отклонениях:

$$\Delta V_3(p) = \Delta V_{3i} + \Delta V_{3u} = W_1(p) \Delta I(p) + W_2(p) \Delta U(p) , \quad (2.5)$$

где:  $V_3$  – скорость плавления электрода;

$K_{cm}$  – коэффициент саморегулирования по току;

$K_{cn}$  – коэффициент саморегулирования по напряжению.

2) Изменение скорости плавления электрода ( $\Delta V_3$ ) вызывает при постоянной скорости подачи изменение длины дуги ( $\Delta l$ ):

$$\Delta l = \int \Delta V_3 dt \quad (2.6)$$

или в операторной форме:

$$\Delta l \overset{\sim}{=} \frac{1}{p} \Delta V_3 = W_3 \overset{\sim}{=} \Delta V_3 \overset{\sim}{=} , \quad (2.7)$$

где  $W_3 \overset{\sim}{=} \frac{1}{p}$  .

3) Известна зависимость между изменением длины дуги и напряжением:

$$\Delta U = \beta \Delta l \quad (2.8)$$

или в операторной форме:

$$\Delta U(p) = W_4(p) \Delta l(p) , \quad (2.9)$$

где  $W_4(p) = \beta$  – градиент напряжения в столбе дуги.

4) Напряжение и ток связаны между собой зависимостью  $U_d = f(I)$ , которая зависит от свойств источника питания и в общем случае не является линейной. Кроме этого, источник питания вследствие наличия индуктивности  $L$  является инерционным звеном, которое после линеаризации внешней характеристики источника питания описывается дифференциальным уравнением:

$$-\frac{L}{\rho_u} \frac{d\Delta I}{dt} + \Delta I = K_{nc} \Delta U \quad , \quad (2.10)$$

где  $\rho_u = \frac{dU}{dI}$  – динамическое сопротивление источника питания;

$$K_{nc} = \frac{dI}{dU} = \frac{1}{\rho_u} \quad - \text{коэффициент питающей системы.}$$

В операторной форме уравнение (2.10) имеет вид:

$$-\left(\frac{L}{\rho_u} p + 1\right) \Delta I \llcorner \cong K_{nc} \Delta U \llcorner \quad (2.11)$$

или

$$\Delta I \llcorner \cong \frac{K_{nc}}{\left(-\frac{L}{\rho_u}\right) p + 1} \Delta U \llcorner \cong W_5 \llcorner \Delta U \llcorner \quad , \quad (2.12)$$

где

$$W_5 \llcorner \cong \frac{K_{nc}}{\left(-\frac{L}{\rho_u}\right) p + 1} \quad .$$

Составленная по формулам (2.5), (2.7), (2.9) и (2.12) структурная схема системы АРДС показана на рисунке 2.3.

Данную схему можно заменить математической моделью, заменив типовые звенья их моделями, согласно таблицы 2.1, и соединив их, как показано на рисунке 2.3.

Полученная таким образом машинная схема системы АРДС показана на рисунке 2.4.

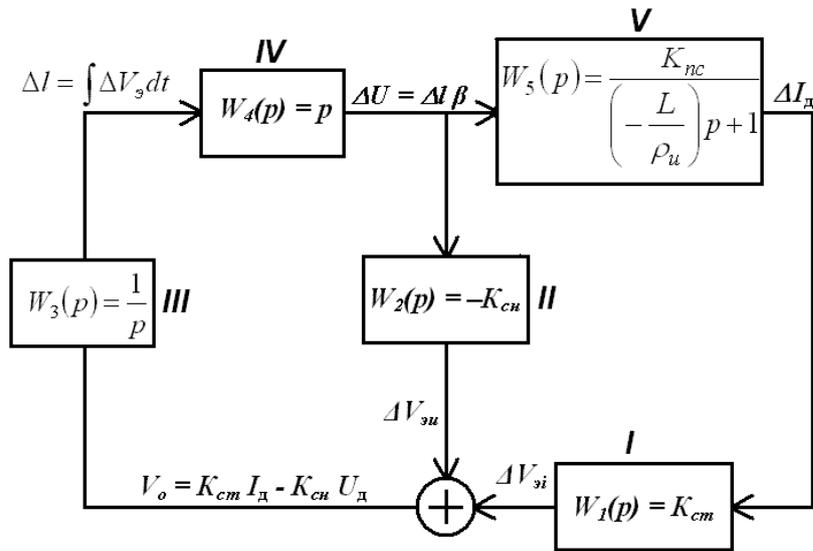


Рисунок 2.3 – Структурная схема системы АРДС

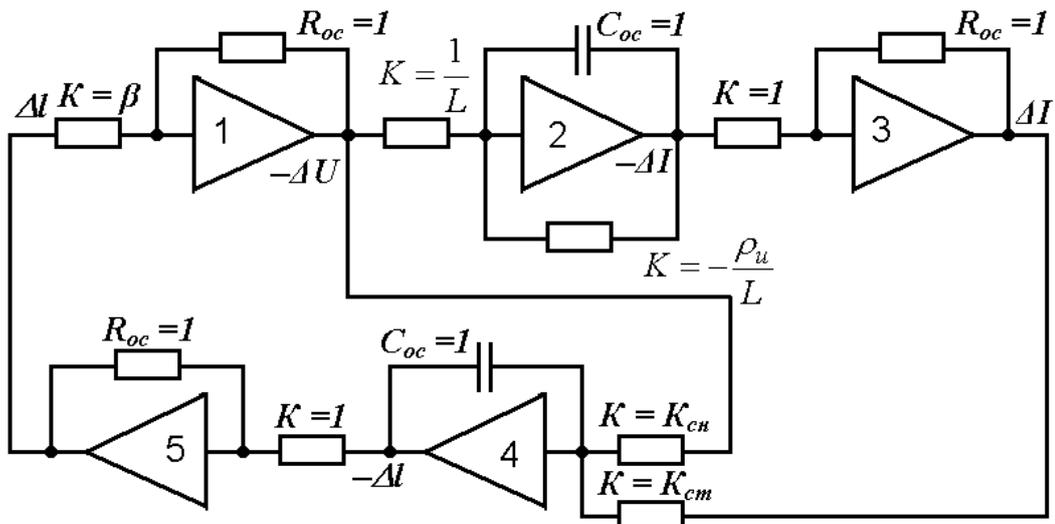


Рисунок 2.4 – Машинная схема системы АРДС

## 2.2. Цель работы

На примере математического моделирования системы саморегулирования (АРДС) построить математическую модель системы автоматического регулирования напряжения (АРНД) или тока (АРТД) дуги (структурную и машинную схемы).

## 2.3 Порядок выполнения работы

2.3.1 Изучить раздел «Общие сведения».

2.3.2 Составить структурную схему системы АРНД или АРТД.

В отличие от системы саморегулирования (АРДС) в системах АРНД и АРТД поддержание постоянства энергетических параметров осуществляется с помощью специальных регуляторов напряжения (в системе АРНД) и тока (в системе АРТД). Однако явление саморегулирования здесь также присутствует, поэтому системы АРНД и АРТД будут описываться теми же уравнениями, что и АРДС плюс уравнение работы регуляторов.

Принципиальная схема системы АРНД с воздействием на скорость подачи электрода ( $V_n$ ) показана на рисунке 2.5.

Напряжение на дуге  $U_d$  сравнивается в устройстве СУ с заданным напряжением  $U_3$ . Разность напряжений ( $U_d - U_3$ ) после усиления подается на якорь приводного двигателя. Таким образом, скорость подачи электрода является функцией напряжения на дуге:

$$V_n = k_{рн}(U_d - U_3) \quad , \quad (2.13)$$

где  $k_{рн} = \frac{dV_n}{dU_d}$  – коэффициент усиления регулятора напряжения.

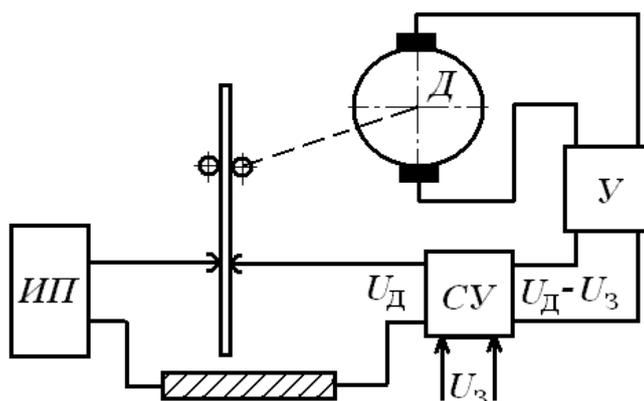


Рисунок 2.5 – Система АРНД с воздействием на скорость подачи электрода

При случайном увеличении длины дуги напряжение  $U_d$  увеличивается, скорость подачи согласно уравнения (2.13) возрастает, что

приводит к укорочению дуги и восстановлению ее начального значения.

Если пренебречь инерционностью регулятора, которая мала по сравнению с инерционностью тепловых процессов в сварочной ванне, то уравнение (2.13) в отклонениях запишется:

$$\Delta V_n = k_{pn} \Delta U_D . \quad (2.14)$$

Изменение скорости перемещения торца электрода относительно изделия  $\Delta V$ , вызывающее изменение длины дуги  $\Delta l$ , будет равно разности изменения скоростей плавления  $\Delta V_9$  и подачи  $\Delta V_n$  электрода.

$$\Delta V = \Delta V_9 - \Delta V_n = \Delta V_9 + (-\Delta V_n) = \Delta V_9 + (-k_{pn}) \Delta U_D . \quad (2.15)$$

Таким образом структурная схема системы АРНД будет отличаться от структурной схемы саморегулирования (рисунок 2.3) наличием звена VI с передаточной функцией  $W_5(p) = -k_{pn}$ , отражающего работу регулятора напряжения.

Звено VI включается параллельно звену II. Если объединить эти звенья, получим одно звено с передаточной функцией равной  $-(k_{cn} + k_{pn})$ . Поэтому систему АРНД можно рассматривать как систему АРДС с искусственно увеличенным саморегулированием по напряжению. Структурную схему системы АРНД можно получить заменив в структурной схеме АРДС (рисунок 2.3)  $k_{cn}$  суммой  $(k_{cn} + k_{pn})$ .

Принципиальная схема системы АРТД с воздействием на скорость подачи проволоки  $V_n$  приведена на рисунке 2.6.

Падение напряжения на сопротивлении  $R$ , пропорциональное величине сварочного тока, сравнивается в устройстве СУ с напряжением, характеризующим заданное значение тока  $I_3$ . Разность этих величин после усиления подается на якорь приводного двигателя. Таким образом, скорость подачи электрода является функцией тока:

$$V_n = k_{pm}(I_3 - I_D) . \quad (2.16)$$

где  $k_{pm} = \frac{dV_n}{dI_D}$  – коэффициент усилителя регулятора тока.

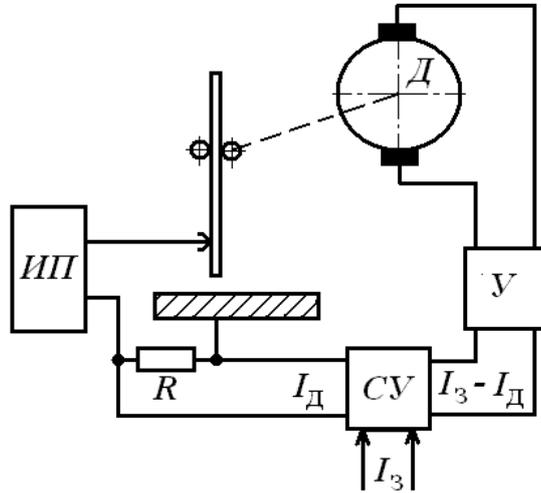


Рисунок 2.6 – Системы АРТД с воздействием на скорость подачи электрода

При случайном увеличении длины дуги ток  $I_D$  уменьшается, скорость подачи согласно уравнению (1.16) возрастает, что приводит к укорочению дуги и восстановлению ее начального значения.

Если пренебречь инерционностью регулятора, которая мала по сравнению с инерционностью тепловых процессов в сварочной ванне, то уравнение (1.16) в отклонениях запишется:

$$\Delta V_n = -k_{pm} \Delta I_D . \quad (2.17)$$

Изменение скорости перемещения торца электрода относительно изделия  $\Delta V$ , вызывавшее изменение длины дуги  $\Delta l$ , будет равно разности изменения скоростей плавления  $\Delta V_э$  и подачи  $\Delta V_n$  электрода

$$\Delta V = \Delta V_э - \Delta V_n = \Delta V_э + (-\Delta V_n) = \Delta V_э + k_{pm} \Delta I_D . \quad (2.18)$$

Таким образом, структурная схема системы АРТД будет отличаться от структурной схемы системы саморегулирования (рисунок 2.3) наличием звена УП с передаточной функцией  $W_7(p) = k_{pm}$ , отражающего работу регулятора тока.

Звено *VII* включается параллельно звену *I*. Если объединить эти звенья получим одно звено с передаточной функцией равной  $(k_{cm}+k_{pm})$ . Поэтому систему АРТД можно рассматривать как систему АРДС с искусственно увеличенным саморегулированием по току. Структурную схему системы АРТД можно получить заменив в структурной схеме АРДС (рисунок 2.3)  $k_{cm}$  суммой  $(k_{cm}+k_{pm})$ .

2.3.3 Составить машинную схему системы АРНД или АРТД (по заданию преподавателя).

Для математического моделирования системы АРНД можно воспользоваться машинной схемой системы АРДС (рисунок 2.4), заменив коэффициент  $k_{cn}$  суммой  $(k_{cn}+k_{pn})$ .

Аналогично для математического моделирования системы АРТД можно воспользоваться машинной схемой системы АРДС (рисунок 2.4), заменив коэффициент  $k_{cm}$  суммой  $(k_{cm}+k_{pm})$ .

## 2.4 Содержание отчета

- Цель и задачи работы.
- Принципиальная схема системы АРНД (или АРТД по указанию преподавателя) с воздействием на скорость подачи электрода ( $V_n$ )
- Структурная схема системы АРНД (АРТД).
- Описание структурной схемы системы АРНД (АРТД).
- Машинная схема системы АРНД (АРТД).
- Описание машинной схемы системы АРНД (АРТД).

## 2.5 Контрольные вопросы

- Почему для анализа переходных процессов в САР используется математическое моделирование?
- Какие математические действия можно выполнять с помощью операционного усилителя?
- Что необходимо сделать, чтобы операционный усилитель выполнял ту или иную математическую операцию?

- Что необходимо иметь для составления машинной схемы САР?
- На основании чего строится структурная схема САР?
- Какая система называется системой АРДС?
- Какие условия необходимы для работы системы АРДС?
- Как проводится анализ переходных процессов в САР с помощью машинной схемы?
- Чем отличается система АРНД от системы АРДС?
- Сравнительная оценка систем АРДС и АРНД;
- Принцип работы системы АРТД.

### **Лабораторная работа №3. Особенности устройства и принципа работы контроллера для контактной сварки ККС-01**

#### 3.1 Общие сведения

Перспективным является использование в схемах управления контактной сварочной машины микропроцессорных систем программного управления. Оно осуществляется с помощью контроллеров, выполненных на базе микропроцессоров. Контроллеры позволяют хранить в памяти несколько десятков программ режима сварки (включая последовательность и длительность операций); значения токов сварки, подогрева, отжига; сварочного и ковочного усилий сжатия и т. п. Требуемую программу режима может активизировать оператор, включая клавиши терминала в зависимости от марки материала и толщины свариваемого изделия. Согласно вызванной программе контроллер обеспечивает заданный цикл сварки.

Современные микропроцессорные средства управляющей вычислительной техники оперируют с 8- и 16-разрядными двоичными числами, время выполнения короткой операции типа регистр-регистр составляет 1 мкс, объем памяти не превышает нескольких десятков килобайт.

Повышение вычислительной мощности микропроцессорные средства управляющей вычислительной техники ведет к резкому возрастанию их стоимости и, как следствие, к сокращению сферы применения.

Противоречие между высоким уровнем требований, предъявляемых к системам управления электросварочным оборудованием (ЭСО), и ограниченными возможностями современных микропроцессорных средств управляющей вычислительной техники разрешается максимальным учетом специфики конкретного объекта управления в структуре и параметрах будущей системы управления.

*Классификация микропроцессорных средств управляющей вычислительной техники (МСУВТ).* Следуя традиционной классификации ЭСО, условно выделяют три уровня МСУВТ.

К *первому уровню* относятся МП-контроллеры, предназначенные для комплектования отдельных сварочных устройств, выпускаемых большими сериями (машины переменного тока для точечной сварки). Такие контроллеры должны непосредственно встраиваться в сварочную машину и обеспечивать ее функционирование, как при автономном использовании, так и в составе сборочно-сварочных линий. Существенные параметры в этом случае — надежность, технологичность изготовления, материалоемкость и цена. В качестве элементной базы для таких контроллеров используют однокристалльные микроЭВМ, дополняемые комплектами интерфейсных больших интегральных схем (БИС).

Ко *второму уровню* МСУВТ относят системы, предназначенные для управления сложными комплексами ЭСО, объем выпуска которых не превышает нескольких десятков (точечные контактные машины с выпрямлением во вторичном контуре, многоэлектродные машины, обрабатывающие центры типа VILLER со сварочными операциями и т.д.). На этом уровне существенно возрастают требования к вычислительной мощности МСУВТ, которые должны обеспечить параллельное ведение нескольких сварочных процессов;

- контроль качества соединения по заданному закону изменения параметров сварочного процесса;
- управление перемещением деталей и позиционированием сварочных головок;
- связь с устройствами отображения информации (дисплей, АЦПУ) и ЭВМ верхнего уровня;
- самоконтроль и контроль технологического оборудования и т.д.

В качестве элементной базы систем второго уровня используют серийно выпускаемые комплекты МСУВТ, включающие в себя одно-платную микроЭВМ; платы расширения памяти, ввода-вывода; пульта; блоки питания.

К *третьему уровню* относят управляющие вычислительные комплексы (УВК), предназначенные для управления линиями. Такие разработки носят единичный характер и требуют совокупности схемотехнических решений. Строят УВК по иерархической структуре с распределенной вычислительной мощностью. Такие УВК включают в себя элементы МСУВТ двух первых уровней. Связь между отдельными системами в составе комплекса осуществляется по последовательным каналам и (или) дистанционным магистралям.

3.1.1 Назначение микропроцессорного контроллера ККС-01. Контроллер ККС-01 является системой первого уровня. Он выполнен на базе однокристалльной микроЭВМ и предназначен для управления точечными контактными машинами переменного тока, снабженными тиристорным контактором и электропневмоклапанами постоянного тока. Контроллер обеспечивает выполнение следующих функций:

- ввод и вывод на пульт в цифровой форме параметров режима сварки;
- хранение в энергонезависимой памяти оперативного запоминающего устройства (при отключении питания) 16 режимов сварки с 6-позиционной циклограммой или четырех режимов с 13-позиционной циклограммой;
- фазовое управление тиристорным контактором, при котором угол включения тиристорov вычисляют в каждом периоде напряжения сети по сигналу рассогласования между заданным действующим значением сварочного тока и измеренными действующими значениями тока (с автоматической настройкой на текущее значение коэффициента мощности и сопротивления постоянному току сварочного контура);
- измерение действующего значения сварочного тока в каждом периоде напряжения сварочной сети, вычисление среднего действующего значения тока за время нагрева и индикацию этого значения на позиции «Проковка»;

- точная отработка разветвленной циклограммы сварочного процесса, включающей в себя 19 временных интервалов, из них четыре — токовых с возможностью отдельно регулировать значение и длительность импульса тока и повторять импульсы тока (0÷255 раз в каждом интервале). Длительность позиций циклограммы устанавливается в пределах 255 периодов напряжения сварочной сети и может быть сведена к нулю;

- компенсация износа электродов благодаря последовательному увеличению уставки тока через заданное число сварок;

- контроль состояния оборудования и сварочного процесса с выдачей на пульт диагностических сообщений;

- дистанционное управление от системы верхнего уровня, включая прием сигналов задания номера режима, запуска сварки, блокировки нагрева и выдачу сигналов «Отказ» и «Сварка».

По своим функциональным возможностям и технико-экономическим показателям контроллер не уступает современным зарубежным системам, таким, как PS-2000 фирмы BOSCH, CT-222A, CY-241A фирмы Miyachi и др.

Все основные функции контроллера реализуются программными средствами.

3.1.2 Устройство контроллера ККС-01. В состав контроллера (рисунки 3.1) входят три конструктивно законченных элемента: основной блок 7, датчик 2 тока, блок питания 3.

В состав *основного блока* входят три печатные платы:

- устройства связи с объектом (УСО);
- процессор;
- пульт.

Ядро платы процессора составляет БИС однокристалльной микроЭВМ K1816E48. Обмен информацией между платами проводится по 8-разрядной шине данных  $D0—D7$ , управляемой сигналами чтения  $RD$ , записи  $WR$  и выбора устройства  $CS$ . Ввод и вывод дискретных сигналов проводят через плату УСО. На этой плате формируют сигналы управления электропневмоклапанами  $K1$  и  $K2$  и тиристорным контактором. Сигнал с датчика 2 тока, пропорциональный производной сварочного

тока  $i'(t)$ , поступает на плату процессора.

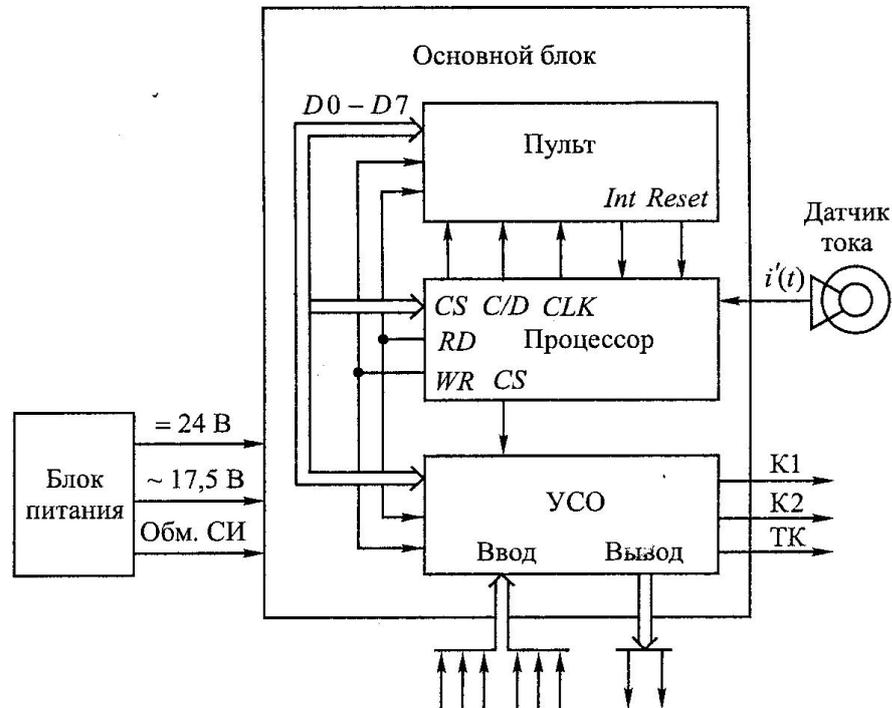


Рисунок 3.1 – Структурная схема МП-контроллера ККС-01: 1 — основной блок; 2 — датчик тока; 3 — блок питания;  $K1$ ,  $K2$  — электропневмоклапаны;  $TK$  — тиристорный контактор;  $СИ$  — синхронизирующий импульс;  $УСО$  — устройство связи с объектом

На плате пульта (рисунок 3.2) установлены псевдосенсорная клавиатура из 20 клавиш и линейка из семи цифровых 7-сегментных индикаторов. Обмен между процессором и пультом также проводится по шине данных  $D0 — D7$ . На плате пульта формируются сигналы начальной установки  $Reset$  и запроса на прерывание  $Int$ . С платы процессора на пульт поступают сигналы выбора режима  $C/D$  и тактовая частота  $CLK$ . Блок питания 3 непосредственно включается в сварочную сеть. На выходе блока питания формируют переменное напряжение 17,5 В и постоянное напряжение 24 В, подаваемые в основной блок 1. Помимо напряжений питания в основной блок 1 подают сигнал переменного тока «Обм. СИ», используемый для синхронизации с сетью.

Датчик тока выполнен в виде разъемного тороидального транс-

форматора на гибкой основе, устанавливается на неподвижную часть токоведущей шины вторичного контура сварочной машины. В состав датчика входит жгут с разъемом для подключения к основному блоку.

3.1.3 Особенности работы контроллера ККС-01. Контроллер управляет величиной сварочного тока, изменяя фазу импульсов управления, которые включают тиристорный контактор. Величину сварочного тока можно установить (в зависимости от мощности и ступени сварочного трансформатора конкретной машины) в пределах от 3 кА до 40 кА с дискретностью установки в 0,2 кА.

Контроллер обеспечивает стабилизацию действующего значения сварочного тока с погрешностью не более  $\pm 3\%$  для токов от 50 до 100% на каждой ступени машины, погрешность стабилизации будет находиться в указанных пределах при возмущениях тока до 10% в отсутствие стабилизации. Он также обеспечивает возможность прохождения сварочного цикла без тока, что используется при настройке сварочной машины.

Контроллер снабжен защитой цепей питания электропневмоклапанов, срабатывающих при трехкратных перегрузках по току. Индикация срабатывания защиты осуществляется светодиодом «+24В» на пульте контроллера.

ККС-01 обеспечивает два режима работы – «Одиночная сварка» и «Серия сварок». В режиме «Серия сварок» при замыкании цепи педали сварочной машины вызванная программа будет повторяться до тех пор, пока замкнута цепь педали. При этом первая позиция сварочного цикла «Предварительное сжатие» исключается после прохождения первого сварочного цикла.

Контроллер обеспечивает прохождение сварочного цикла до конца при размыкании цепи педали сварочной машины после окончания позиции «Сжатие» и его прерывание с возвратом в исходное состояние при размыкании цепи педали до указанного момента.

Контроллер обеспечивает диагностические сообщения в виде визуальной информации на пульте и логического сигнала с гальванической развязкой для внешней сети (коммутируемое напряжение до

25 В при токе до 10 мА) в случаях:

- перегрева тиристорного контактора;
- отсутствия сварочного тока после подачи импульса управления тиристорному контактору;
- неправильной установке датчика тока во вторичном контуре сварочной машины;
- задания сварочного тока больше допустимого уровня для данной машины;
- при достижении количества сварок, выполненных контроллером величины, заданной программой компенсации износа электродов;
- разряда батареи автономного питания.

В контроллере предусмотрена возможность компенсации износа электродов сварочной машины путем увеличения сварочного тока на заданную величину после заданного количества сварочных циклов, называемых шагом. При этом задается допустимое количество шагов, после чего контроллер останавливается и выдает сообщение о необходимости зачистки электродов.

Все операции по управлению сваркой в контроллере выполняются однокристалльной микроЭВМ, которая функционирует в соответствии с программой, хранящейся в БИС ПЗУ (постоянного запоминающего устройства). Программирование БИС ПЗУ производится в заводских условиях на этапе изготовления контроллера.

Параметры программы сварки задают с пульта контроллера, лицевая панель которого показана на рисунке 3.2.

Ввод и индикация значений параметров режима сварки производится путем набора соответствующих двузначных номеров – кодов параметров. Таблица с кодами параметров нанесена на лицевую панель пульта.

Перевод контроллера в режим готовности к сварке производится нажатием кнопки «Пуск», после чего контроллер переходит в режим опроса признака нажатия педали. По нажатию педали производится отработка циклограммы в соответствии с номером программы и параметрами режима сварки. Во время прохождения токовых позиций сигнал, пропорциональный производной сварочного тока, с дат-

чика тока поступает в основной блок на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). МикроЭВМ обрабатывает преобразованный сигнал и вычисляет действующее значение сварочного тока в каждом периоде позиции «Сварка». Вычисленное значение сравнивается с заданным и рассогласование вводится в закон фазового управления тиристорным контактором таким образом, чтобы свести рассогласование между измеренным и заданным значением тока к нулю. В процессе управления микроЭВМ контролирует мгновенные значения сигнала с датчика тока и при необходимости корректирует расчетные значения фазы включения тиристоров, предотвращая переход в режим однополупериодного выпрямления.



Рисунок 3.2 – Лицевая панель пульта контроллера ККС-01

3.1.4 Подготовка контроллера к работе. Передняя панель основного блока должна быть установлена в вертикальной плоскости, что необходимо для лучшего его охлаждения.

Датчик тока надевается на токопроводящую шину вторичного контура сварочной машины и закрепляется таким образом, чтобы не

было непосредственного контакта датчика с токопроводящей шиной, для чего используются прокладки, датчик располагается на максимальном удалении от больших ферромагнитных масс машины. Смещение центра датчика относительно центра токопроводящей шины не должно превышать 0,3 от среднего радиуса датчика. Плоскость разъединения замка датчика должна совпадать с плоскостью вторичного контура сварочной машины, замок должен находиться вне замкнутого вторичного контура машины. От пространственного положения датчика по отношению к вторичному контуру машины зависит точность измерения сварочного тока.

Запись всех параметров цикла сварки, а также выбор режима работы и вариантов программы производят с пульта контроллера (рисунок 3.2). Клавиши ввода занимают правую часть его лицевой панели.

Информация о режиме работы контроллера и значениях параметров сварочного тока высвечивается на индикаторах пульта, находящихся в верхнем углу лицевой панели.

Индикаторы разделены на три группы: «Режим», «Параметр» и «Значение». Номер и числовые значения параметров индицируются в группах «Параметр» и «Значение» при наборе их на клавишах пульта. Эти же индикаторы индицируют коды позиции в процессе сварки, приведенные в таблице 3.1, величину сварочного тока после прохождения каждого цикла сварки и типы отказов, которые расшифрованы слева внизу на лицевой панели.

Под индикаторами расположен светодиод «+24 В», погасание которого свидетельствует о перегрузке по току в цепях питания электроклапанов или о перегрузке в цепи импульсов управления тиристорным контактором.

Под светодиодом нанесена циклограмма сварочного импульса, таблица с номерами параметров четырех «импульсов», входящих в сложную программу и параметры коррекции износа электродов. Любой из четырех «импульс» задается семью параметрами: «Сжатие» – 1, «Модуляция» – 2, «Сварка» – 3, «Проковка» – 4, число повторений позиции «Сварка» и «Проковка» – 0, величина сварочного тока (задается в сотнях ампер с дискретой 200 А) – 5, время включения допол-

нительного усилия «Усилие» – 6. Числовые значения параметров и наличие повышенного усилия задаются трехзначным числом.

Таблица 3.1 – Индицируемые показания при различных состояниях индикаторов

№	Состояние	Действие	Индикаторы пульта				Значение
			Режим		Параметр		
			Л	П	Л	П	
1	Режимы сварки Одиночная сварка Серия сварок		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				
2	Состояния Пульт (ввод параметров) Готовность к сварке Сварка	команда "Ввод" команда "Пуск" нажатие педали		П Г С	,	,	, , , , , ,
3	Индикация по окончании протекания импульса сварочного тока					←	Высвечивается величина сварочного тока

При задании сварочного тока равным «000» обеспечивается прохождение сварочного цикла без сварочного тока. Максимальное значение сварочного тока, записываемое в контроллер, равно 400, что соответствует 40 кА.

Для исключения всех позиций данного «Импульса» из программы сварки достаточно задать «Число повторений Сварка + Прокровка» равным «000».

Клавиши пульта управления можно разделить на три группы: группа задания режима, группа задания параметров и группа управления. Нажатие на клавиши разрешается только при отключенной педали машины.

В группу режима входит клавиша переключателя «Одиночная сварка – Серия сварок». Для переключения режима сварки достаточно нажать данную клавишу. Состояние клавиши индицируется на крайнем левом индикаторе. Вторая клавиша этой группы – «Режим». Параметр «Режим» имеет восемь числовых значений, которые задают либо простой сварочный цикл, либо сложную программу, либо управление контроллером от ЭВМ. Расшифровка числовых значений

режима приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Числовые значения, задающие вид сварочного цикла

№	Циклограммы	Индикация в группе ПАРАМЕТР	Индикация в группе ЗНАЧЕНИЕ	Примечание
1	Режим работы с простыми программами выбирается с пульта	P	000	Выбираются простые программы с номерами 000...015
2	Режим работы с простыми программами выбирается дистанционно (от ЭВМ)	P	064	Можно выбирать простые программы с номерами 000...003
3	Режим работы со сложными программами выбираемыми с пульта	P	032	Можно выбирать сложные программы с номерами 000...003
4	Режим работы со сложными программами выбираемыми дистанционно (от ЭВМ)	P	096	То же

**Примечание:** увеличение параметра «Режим» на два по сравнению с указанными выше реализует аналогичные циклограммы с длительностью позиции "Предварительное" сжатие равной нулю.

В группу задания параметров входят следующие клавиши «N» – номер программы; «C» – сжатие; «I» – пауза; «B» – ввод параметров; клавиши с цифрами. Эти параметры и двузначные позиции «импульсов» индицируются на индикаторах «Параметр», а их числовые значения – на трех индикаторах «Значение». После набора каждого параметра и его значения необходимо нажимать на клавишу «B», чтобы записать значение параметра в память. После нажатия клавиши «B» на индикаторах появятся знаки, приведенные в таблице 3.2. Для корректировки числовых значений параметров на одну единицу имеются клавиши «+» и «-».

Клавиши «I» (пуск) и «II» составляют группу управления. После введения параметров, нажатием клавиши «I», контроллер переводится в режим «Готовность к сварке», при этом на индикаторе должны появиться знаки, приведенные в таблице 3.1. Клавиша «II» для прерывания сварочного цикла и приведения контроллера в состояние готовности с теми параметрами, которые были до нажатия на педаль машины. Для этого вначале необходимо разорвать элек-

трическую цепь педали машины.

Контроллер включается автоматически при подаче напряжения на сварочную машину. При первом включении на индикаторах высвечиваются знаки «□П , E 006». Запись расшифровывается следующим образом: контроллер включен в режиме «Одиночная сварка», находится в состоянии ввода параметров и все ячейки контроллера обнулены. Через 15...20 секунд включается светодиод «+24 В».

Ввод параметров начинают с набора режима работы (таблица 3.2) и номера программы.

Номер параметра и его числовое значение вводятся в память одновременно. Вызов параметров «P», «N», «C» и «I» осуществляется однократным нажатием соответствующей клавиши. Числовые номера параметров набираются обязательно двумя цифрами (ноли набираются обязательно). Значение параметра вводят вслед за его номером. Ввод начинают со старшего разряда. Набор всех 3-х цифр значения параметра также обязателен. Правильность набора контролируется по индикаторам. Любое отклонение от вышеизложенного порядка набора является ошибкой и сопровождается появлением на индикаторах пульта знаков «EE EEE». В этом случае необходимо повторить процедуру ввода данного параметра. Запись набранного параметра в память производится нажатием кнопки «B», что сопровождается появлением символов « , » на индикаторах.

Значение параметров длительностей позиций сварочного цикла задается в периодах питающей сети (один период равен 0,02 с), значение тока – в сотнях ампер, остальные параметры размерности не имеют.

Для проверки значения параметра, записанного в памяти контроллера необходимо набрать номер параметра. На индикаторах пульта в этом случае высветятся набранный номер параметра и его значение. Это значение можно увеличить (уменьшить) путем нажатия кнопки «+» («-») на пульте и автоматически, т.е. без нажатия кнопки «B», заносится в память контроллера. Для перехода к проверке следующего параметра следует нажать кнопку «B» или «I» и набрать номер следующего параметра.

В сложной программе контроллер запоминает величину тока в

«импульсе» и воспроизводит ее в первом периоде «Модуляции» или «Сварки» следующего импульса. Поэтому на позиции «Модуляция» может быть не только нарастание, но и убывание сварочного тока.

### 3.2 Цель работы

Изучить особенности устройства и принципа работы контроллера для контактной сварки ККС-01. Получить практические навыки записи программы параметров режима сварки в оперативную память контроллера и ее реализации на точечной машине.

### 3.3 Оборудование и материалы

3.3.1 Контактная машина МТ-1220.

3.3.2 Контроллер ККС-01.

3.3.3 Осциллограф С9-8.

3.3.4 Цифровой фотоаппарат.

3.3.5 Индукционный датчик тока с интегрирующей RC-цепочкой.

3.3.6 Медная пластина толщиной  $1,5 \div 2,0$  мм.

### 3.4 Порядок выполнения работы

3.4.1 Изучить теоретические сведения об особенностях устройства и принципа работы контроллера для контактной сварки ККС-01.

3.4.2 Записать программу простого цикла сварки со следующими параметрами режима №0: предварительное сжатие – 0,4 с; пауза – 0,6 с; количество импульсов – 1; сжатие – 0,32 с; модуляция – 5; время сварки – 0,14 с; проковка – 0,2 с; ток – 10,0 кА. Нарисовать циклограмму данного процесса сварки.

Пример записи сложной программы приведен в таблице А.1, а циклограмма процесса сварки, реализуемого по сложной программе, показана на рисунке А.1.

3.4.3 Установить первую ступень трансформатора, подать на машину воду и сжатый воздух, включить питающее напряжение.

**Внимание!** После включения машины контроллер также находится во включенном состоянии.

3.4.4 Включить осциллограф в режиме запоминания и подключить к нему датчик тока.

3.4.5 Набрать на наборном поле лицевой панели контроллера записанную программу простого цикла сварки.

3.4.6 Поместив между электродами медную пластину, нажать на педаль машины. Записать индицируемые показания на лицевой панели. Индикация ошибки E 002 говорит об отсутствии сварочного тока (в связи с чем требуется перевернуть датчик тока на хоботе вторичного контура машины), а индикация ошибки E 004 свидетельствует о превышении максимального тока, что означает недостаточную для реализации программы режима величину тока на первой ступени трансформатора.

3.4.7 Установить на машине восьмую (наибольшую) ступень трансформатора. **Внимание!** Перед перестановкой ступени трансформатора обязательно отключить питание машины.

3.4.8 Вновь, поместив между электродами медную пластину, нажать на педаль машины. Записать кривую тока на экране осциллографа и сфотографировать ее.

3.4.9 На лицевой панели контроллера снять показания индикатора величины прошедшего тока. При несовпадении его с заданной величиной, оценить величину отклонения и включить сварочный ток вновь. Снять показания индикатора.

3.4.10 На наборном поле лицевой панели изменить величину тока на 4 кА. Включить сварочный ток вновь. Снять показания индикатора. Записать кривую тока на экране осциллографа и сфотографировать ее.

3.4.11 Проанализировать результаты эксперимента и сделать необходимые выводы.

### 3.5 Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Запись программы режима сварки по простому циклу.

- Запись показаний индикаторов при выполнении пунктов 3.4.6, 3.4.8, 3.4.9 и 3.4.10.
- Осциллограммы кривых тока, полученные при выполнении пунктов 3.4.8 и 3.4.9.
- выводы по работе.

### 3.6 Контрольные вопросы

3.6.1 Достоинства применения в схемах управления контактной сварочной машины микропроцессорных систем программного управления?

3.6.2 Какова классификация микропроцессорных средств управляющей вычислительной техники, используемой в схемах управления сварочным оборудованием?

3.6.3 Какие функции выполняет контроллер ККС-01?

3.6.4 Чем реализуются все основные функции контроллера ККС-01?

3.6.5 Что входит в состав контроллера ККС-01?

3.6.6 Какие диагностические сообщения обеспечивает контроллер ККС-01?

3.3.7 Какие автоматические системы реализуются контроллером ККС-01?

3.3.8 Как устанавливается и закрепляется датчик тока контроллера ККС-01 на токопроводящую шину вторичного контура сварочной машины?

3.3.9 Что располагается на лицевой панели контроллера ККС-01?

3.3.10 Каков порядок ввода параметров программы режима сварки в оперативную память контроллера ККС-01?

## Лабораторная работа № 4. Особенности работы системы автоматического регулирования тока при точечной сварке

### 4.1 Общие сведения

Автоматическая стабилизация и программное регулирование электрических параметров при точечной, шовной и рельефной сварке осуществляется по одному принципу (рисунок 4.1).

Возмущения  $f(t)_i$ , появляющиеся в машине  $СМ$ , вызывает отклонения тока  $\Delta I$ , напряжения  $\Delta U_э$ , мощности  $\Delta N$  и энергии  $\Delta Q$ . Эти отклонения выявляются с помощью соответствующих датчиков  $Д$  и схем сравнения, включающих в себя программирующее  $ПУ$  и сравнивающее  $СУ$  устройства, а также усилитель  $У$ .

Сигнал от датчика  $Д$  о текущем значении регулируемого параметра после усиления сопоставляется в  $СУ$  с сигналом от  $ПУ$ , представляющим собой заданное неизменное напряжение стабилизирующих систем или заданное, программно-меняющееся, напряжение для систем программного регулирования. Сигнал рассогласования поступает в фазовращатель  $\Phi в$ , который через исполнительный орган  $ИО$  (на фазорегулируемых тиристорах) изменяет эффективный ток сварочной машины  $СМ$  в сторону подавления рассогласования, т.е. уничтожения отклонения регулируемого параметра.

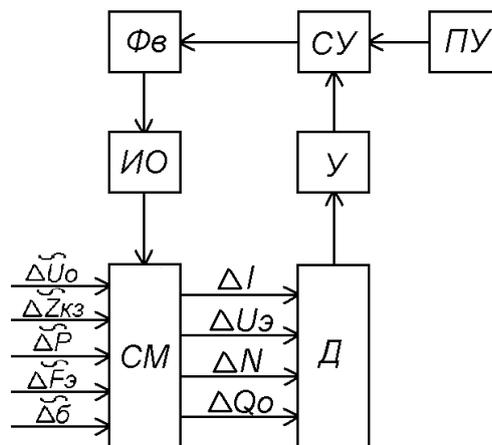


Рисунок 4.1 – Принцип регулирования электрических параметров при контактной сварке

Обычно системы автоматического регулирования (САР) тока в контактной сварке принято называть системами стабилизации тока ( $I = const$ ).

При неизменных значениях сопротивления зоны сварки  $R_{св}$ , коэффициента теплопотерь и объема нагреваемого металла мощность и нагрев всегда находятся в прямой и однозначной зависимости от возможных колебаний тока при действии возмущений по параметрам источника питания (от действия возмущений по напряжению холостого хода  $\sim \Delta U_0$  и полному сопротивлению короткого замыкания сварочной цепи  $\sim \Delta Z_{кз}$ ). При названных условиях стабилизация тока обеспечивает и стабилизацию нагрева. Когда же ток колеблется в результате изменения сопротивления зоны сварки  $\Delta R_{св}$ , то для обычного в контактной сварке соотношения  $R_{св} < Z_{кз}$  отклонения тока и мощности имеют различные знаки (рисунок 4.2).

Увеличение усилия  $P$  или диаметра электродов  $d_3$  (а следовательно рабочей поверхности  $F_3$ ) сопровождается снижением сопротивления  $R_{св}$ , ток несколько повышается, но мощность и нагрев будут падать. Принудительная стабилизация тока лишь увеличит недостаток мощности.

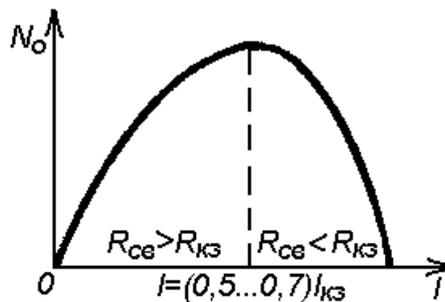


Рисунок 4.2 – Зависимость мощности от изменения тока (при  $U_0 = const$  и  $Z_{кз} = const$ )

В обратной зависимости находятся и нагрев с током, если последний колеблется в результате возмущению по шагу точек  $\sim \Delta a$ . С появлением отрицательного возмущения  $\sim \Delta a$  (с уменьшением шага  $a$ , сопротивления шунтирующей цепи  $R_{ш}$  и ростом отношения  $R_{св}/R_{ш}$ ) сварочный ток  $I_{св}$  снизится. Это снижение будет частично

компенсироваться приростом общего (контролируемого) тока  $I$  за счет снижения эквивалентного сопротивления между электродами. Компенсация эта будет тем сильнее, чем меньше  $Z_{кз}$  и может быть полной лишь в случае, когда  $Z_{кз} = 0$ .

Ограничение естественного роста тока при отрицательном возмущении  $\sim \Delta a$  стабилизатором тока, как и при положительных возмущениях усилия  $\sim \Delta P$  или рабочей поверхности электродов  $\sim \Delta F_э$ , искусственно увеличивает недостаток мощности и приводит лишь к еще большему уменьшению размеров ядра и прочности соединения.

Более удовлетворительно рассматриваемая система отрабатывает возмущения по толщине свариваемых деталей  $\sim \Delta \delta$ . Без обратной связи по току с ростом толщины деталей увеличиваются объем нагреваемого металла, а также величина постоянной времени процесса нагрева. При  $R_{св} = const$  нагрев снижается. При сварке деталей из металла с повышенным удельным сопротивлением  $\rho_T$  и жаропрочностью несколько возрастает  $R_{св}$  и вместе с этим снижается ток, и тем сильнее, чем меньше сопротивление сварочной цепи  $Z_{кз}$ , но мощность  $N$  с ростом толщины деталей  $\delta$  и сопротивления  $R_{св}$  будет несколько повышаться. Отсутствие надежных экспериментальных данных о функциональной зависимости  $R_{св} = f(\delta)$  не позволяет аналитически определить этот прирост мощности, но опыт показывает, что он недостаточен для покрытия потребности в ней. С введением стабилизации тока прирост мощности составит  $\Delta N = I^2 \Delta R_{св}$ , что существенно выше, чем при уменьшающемся токе.

В целом системы стабилизации тока полезны для обеспечения постоянства нагрева при действии возмущений по параметрам источника питания  $\sim \Delta U_0$ ,  $\sim \Delta Z_{кз}$ , а также (при высоком  $\rho_T$ ) в случаях возникновения возмущения по толщине свариваемых деталей  $\sim \Delta \delta$ .

## 4.2 Цель работы

Исследовать особенности работы системы автоматического регулирования тока при точечной сварке в условиях действия на процесс различных возмущений. Получить практические навыки работы с контроллером ККС-01.

### 4.3 Оборудование и материалы

4.3.1 Контактная машина МТ-1220, снабженная контроллером ККС-01 и регулятором цикла сварки РЦС-503.

4.3.2 Прибор для измерения тока АСУ-1М.

4.3.3 Переменная масса из ферромагнитного материала (комплект стальных колец с массой каждого кольца 3 кг).

4.3.4 Комплект пластин разной толщины из Ст3, Х18Н9Т и АМц.

4.3.5 Медная пластина толщиной  $1,5 \div 2$ , мм.

### 4.4 Порядок выполнения работы

4.4.1 Набрать на наборном поле лицевой панели контроллера программу простого цикла сварки со следующими параметрами режима №0: предварительное сжатие – 0,4 с; пауза – 0,6 с; количество импульсов – 0; сжатие – 0,32 с; модуляция – 0; время сварки – 0,14 с; проковка – 0,2 с; ток – 6,0 кА. Проверить работу машины с контроллером в режиме холостого хода.

4.4.2 Задав в программе режима «количество импульсов» - 1 и значения тока, в соответствии с данными, приведенными в таблице 4.1, произвести измерения действующего значения тока прибором АСУ-1М. При работе машины между электродами помещать медную пластину. По полученным в эксперименте данным построить график сопоставления значений тока, заданного контроллером ККС-01, и измеренного прибором АСУ-1М. **Внимание!** Этот график необходим для выполнения всех дальнейших экспериментов.

Таблица 4.1 – Сопоставление токов, заданных ККС-01 и измеренных по АСУ-1М

	Ток, кА			
<i>ККС-01</i>	3	6	9	12
<i>АСУ-1М</i>				

4.4.3 Выполнить эксперимент по данным приведенным в таблице 4,2, определить зависимость сварочного тока от напряжения холо-

стого хода трансформатора контактной машины при работе с регулятором РЦС-503 и ККС-01 (величина уставки для САР – 6,4 кА).

**Внимание!** При каждом переключении ступеней мощности контактную машину необходимо обесточивать.

Таблица 4.2 – Влияние напряжения  $U_0$  на стабильность вторичного тока

Ступень	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_0$ , В	2,08	2,25	2,42	2,66	2,9	3,25	3,6	4,16
Ток, кА	РЦС							
	САР							

4.4.4 Определить зависимость сварочного тока от количества ферромагнитной массы, внесенной в сварочный контур контактной машины при работе с регулятором ККС-01 и РЦС-503 (таблица 4.3, величина уставки для САР – 8,6 кА, ступень восьмая; необходимую ступень трансформатора при сварке с РЦС-503 для тока 8,6 кА определить по результатам опыта 4.4.3).

Таблица 4.3 – Влияние сопротивления  $Z_{кз}$  источника на стабильность вторичного тока

Количество ферромагнитной массы, кг	Ток, кА	
	РЦС	САР
0		
3		
6		
9		

4.4.5 Определить зависимость сварочного тока от толщины образцов, свариваемых на машине с регулятором ККС-01 и РЦС-503 (таблица 4.4, величина уставки для САР – 9,2 кА):

#### 4.5 Содержание отчета.

- Цель и задачи работы;
- Таблицы 4.1÷4.4 с результатами опытов.

- Графики зависимостей, построенные по результатам выполнения экспериментов (таблицы 4.1÷4.4);
  - программа компенсации износа рабочей поверхности электрода и результаты ее реализации;
- выводы по работе.

Таблица 4.4 – Влияние толщины образцов и материала а на ток при работе машины с РЦС и ККС-01

СтЗ	Толщина образца, мм		0,8	3	5	7,6	10,3	20,7	31,9
	Ток, кА	РЦС							
		САР							
АМц	Толщина образца, мм								
	Ток, кА	РЦС							
		САР							
Х18Н9Т	Толщина образца, мм								
	Ток, кА	РЦС							
		САР							

#### 4.6 Контрольные вопросы

4.6.1 Чем отличается при контактной сварке автоматическая стабилизация параметров от автоматического регулирования?

4.6.2 Особенности систем автоматического регулирования энергетических параметров;

4.6.3 Какие возмущения обрабатывает система  $I=const$ ?

4.6.4 При каких условиях мощность и нагрев находятся в прямой и однозначной зависимости от возможных колебаний тока при действии возмущений по параметрам источника питания?

4.6.5 Как соотносятся отклонения тока и мощности когда ток колеблется в результате изменения сопротивления зоны сварки  $\Delta R_{св}$ ?

4.6.6 Может ли обрабатывать САР тока возмущения по усилию, диаметру электродов  $d_3$  (а следовательно рабочей поверхности  $F_3$ ), по

шагу точек  $\Delta a$ ?

4.6.7 Какие возмущения может обрабатывать САР тока?

## Лабораторная работа № 5. Система автоматической компенсации износа электрода при точечной сварке

### 5.1 Общие положения

Во многих случаях анализ результатов и факторов реального процесса точечной, шовной и рельефной сварки позволяет выделить одно, реже два наиболее вероятных и сильных возмущения. Когда другие возмущения малозначительны, необходимого уровня надежности сварных соединений можно достичь с помощью систем компенсации, действующих по принципу регулирования по возмущению. Выделенный для компенсации фактор, например рабочая поверхность электрода  $F_э$  (рисунок 5.1), в блоке *ПО* оценивается тем или иным способом.

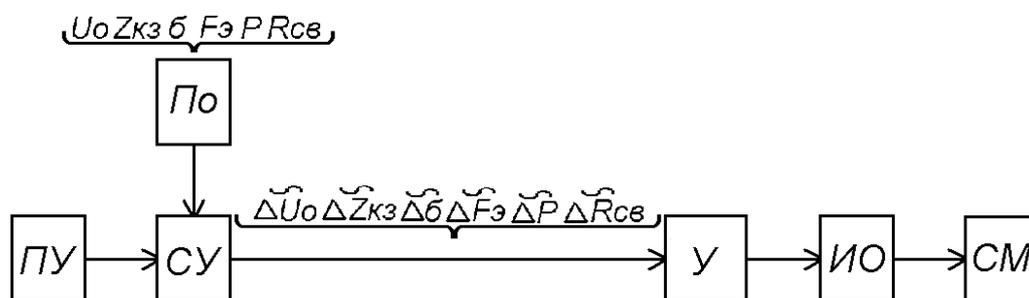


Рисунок 5.1 – Принцип работы системы компенсации

В сравниваемом устройстве *СУ* образуется сигнал рассогласования как разность программы, (от *ПУ*) и фактического значения  $F_э$ . Усиленный в *У* сигнал рассогласования через исполнительный орган *ИО* воздействует на сварочную машину *СМ*: компенсирует влияние возникшего возмущения. В качестве регулирующего воздействия обычно избирается изменение эффективного тока  $I$  или реже длительность нагрева  $t_{св}$  путем изменения момента выключения тока. Оценка величины факторов и возмущений может осуществляться

либо непосредственно (например, для  $U_o$ ), либо с помощью датчиков (например, для усилия  $P$ ). Практикуется также приближенное определение возмущений по косвенным показателям. Так, увеличение размеров рабочей площади электродов  $F_э$  возможно экспериментально установить по количеству сваренных точек или по длине выполненного шва. Сигнал на компенсацию (корректировку) режима в этих случаях вводится по программе – через известное количество сваренных точек или после сварки заданной длины шва, или при выполнении тех заранее известных точек, когда неизбежно появление возмущения. Роль датчиков в последних случаях выполняют счетчики количества точек, длины шва и другие устройства.

Коэффициент усиления в системах компенсации, т.е. интенсивность воздействия на исполнительный орган и на процесс в целом, устанавливается заранее. Он должен подбираться по условию

$$\Delta T_f = - \Delta T_k \quad , \quad (5.1)$$

где  $\Delta T_f$  – отклонение нагрева, которое имело бы место в результате действия некоторого возмущения  $f(t)$ ;

$\Delta T_k$  – отклонение нагрева в результате действия цепей компенсации.

При проектировании системы и ее настройке требуемый коэффициент усиления обычно находится экспериментально, однако с большей точностью и полнотой коэффициенты усиления можно находить расчетным путем, пользуясь формулами, выведенными для определения коэффициентов чувствительности нагрева к типовым возмущениям.

В отдельных случаях (ограниченность резервов мощности машин и др.) может оказаться целесообразной компенсация одного сильного возмущения и за счет тока  $I$  и за счет времени нагрева  $t_{св}$ . Тогда общим условием будет

$$\Delta T_f = - (\Delta T_{кI} + \Delta T_{тсв}) \quad , \quad (5.2)$$

где  $\Delta T_{кI}$  и  $\Delta T_{тсв}$  – отклонения нагрева, вызванные действием компенсации по каналам регулирования тока  $I$  и времени  $t_{св}$ .

В частности, такая коррекция двух параметров применяется в автоматических машинах, последовательно сваривающих участки

изделия с различной толщиной входящих деталей.

Системы компенсации сразу двух возмущений могут строиться с воздействием как на один, так и на два параметра режима. Так, система компенсации возмущения по напряжению холостого хода источника  $\sim \Delta U_0$  и за счет тока  $I$  может сочетаться с системой компенсации эксплуатационного роста рабочей поверхности электрода  $F_э$  с воздействием на время сварки  $t_{св}$  (при жестких режимах) и с дополнительной коррекцией тока  $I$ . В последнем случае на вход фазовращателя должна подаваться сумма сигналов, выражающих величину возмущения  $\sim \Delta U_0$  и изменения рабочей поверхности электрода  $\Delta F_э$  (количество сваренных точек). Здесь не исключается вероятность взаимной компенсации отдельных возмущений. В ряде случаев компенсация возмущений является очень полезным дополнением к системе регулирования. Исключение или существенное ограничение хотя бы одного из самых вероятных и сильных возмущений повышает надежность и точность работы основной системы.

*Системы компенсации рабочей поверхности электрода  $\sim \Delta F_э$ . С известным приближением постоянную времени  $\tau$  процесса нагрева можно считать независимой от рабочей поверхности электрода  $F_э$ . Тогда возмущение  $\sim \Delta F_э$  можно свести только к случаю изменения нагрева при колебаниях коэффициента теплопотерь при неизменных  $\tau$  и  $t_{св}$ . Увеличение  $F_э$  на величину  $\Delta F_э$  при  $t_{св} = const$  (рисунок 5.2) влечет за собой снижение температуры  $T_{пл}$  до  $T$ .*

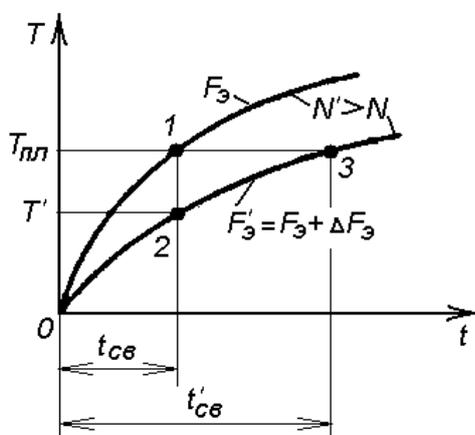


Рисунок 5.2 – Принцип стабилизации уровня нагрева при возмущении  $\sim \Delta F_э$

Восстановление уровня нагрева, т. е. повышение температуры с  $T$  до  $T_{пл}$  возможно двумя путями – изменением мощности с  $N$  до  $N'$  при  $t_{св}=const$  и возвращением точки 2 в исходную точку 1 или увеличением времени сварки  $t_{св}$  до  $t'_{св}$  при  $N=const$  с переходом точки 2 в точку 3.

Компенсация возмущения  $\sim \Delta F_3$  за счет коррекции времени  $t_{св}$  может быть применена, когда ограничены резервы мощности машины, а также в других частных случаях.

Коррекция  $t_{св}$  для заданного  $\sim \Delta F_3$  тем больше, чем мягче исходный режим, следовательно, приняты по технологическому процессу большое номинальное  $t_{св}$  и меньшая  $N$ . При мягких режимах компенсация за счет  $\Delta t_{св}$  не эффективна.

В принципе возможна совместная компенсация и за счет тока и за счет времени нагрева. Компенсация осуществляется ступенчато. Количество сварочных циклов до очередной коррекции устанавливается по нарастанию  $F_3$  ( $d_3$ ) при  $I=const$ ,  $t_{св}=const$  до такого критического значения  $F_{эк}$  ( $d_{эк}$ ), при котором снижение нагрева и прочности соединения выходит за пределы допуска.

Общее количество коррекций определяется такой степенью износа, при которой становится необходимым либо заточка электродов, либо их замена новыми.

Количество циклов между коррекциями находится непосредственными экспериментами. Требуемая коррекция тока рассчитывается и уточняется опытным путем. Упрощенная функциональная схема системы представлена на рисунке 5.3.

Датчик (счетчик) 2 подсчитывает количество импульсов тока, возникающих в первичной цепи сварочного трансформатора 1 при осуществлении каждого цикла сварки. Программа количества циклов в каждой коррекции устанавливается блоком 4. При выполнении заданного количества циклов (точек) в блоке 3 формируется сигнал, воздействующий на исполнительный орган 6. По сигналу от блока 3 изменяется угол включения тиристоров контактора, а значит, и сила сварочного тока. Блоком 5 задается число коррекций. После осуществления установленного количества коррекций формируется импульс, отключающий контактную машину и приводящий в действие

устройства сигнализации.

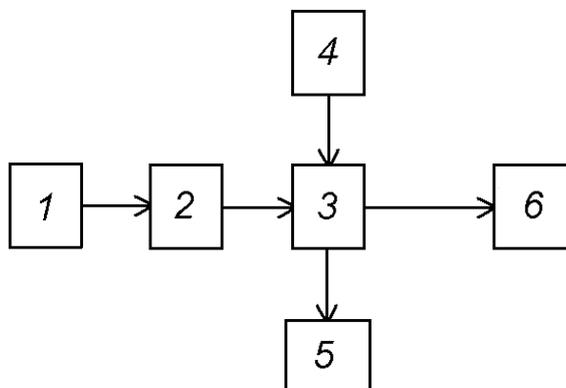


Рисунок 5.3 – Функциональная схема системы при компенсации  $\Delta F_3$ ,

Системы подобного рода позволяют без снижения качества существенно увеличить время между заточкой и сменой электродов, снизить простои машин, что особенно важно в поточно-массовом производстве.

*Особенности реализации программы компенсации износа электрода на контроллере ККС-01.* Программа позволяет сохранить стабильной плотность тока сварки при износе электродов, т.е. увеличить количество сварок без заточки электродов. Программа записывается только на программе №000. Записанная программа работает параллельно со всеми программами, которые вызываются из памяти ККС-01 для работы, поэтому после работы ее необходимо стереть из памяти.

Наброс тока (величину приращения заданного программой значения сварочного тока) задают параметром «07» в *относительных единицах, кратных 0,2 кА*. Наброс тока производится после нескольких отработок вызванной программы, задаваемых параметром «17» (шаг). Наброс тока производится для всех токов в программе одновременно. Количество набросов задается параметром «27». Конечная величина сварочного тока в используемой программе контроллера не должна достигать максимальной величины сварочного тока для данной ступени сварочной машины. Если ток по программе будет превышать максимальное значение для данной ступени, то контроллер ограничит величину сварочного тока с индикацией ошибки «E 004» в

цикле. После отработки заданного количества циклов происходит остановка сварочной машины, а на пульте контроллера высветится отказ «E 005». Для запуска машины необходимо нажать кнопку «Пуск» на контроллере. С нажатием на педаль повторится отработка программы с коррекцией износа электродов. При задании параметра «07» равным 000 программа компенсации износа электродов не работает.

## 5.2 Цель работы

Изучить особенности работы системы автоматической компенсации износа электрода при точечной сварке. Получить практические навыки реализации программы автоматической компенсации износа электрода при работе контактной машины с контроллером ККС-01.

## 5.3 Оборудование и материалы

5.3.1 Контактная машина МТ-1220, снабженная контроллером ККС-01.

5.3.2 Прибор для измерения тока АСУ-1М.

5.3.3 Пластина из меди толщиной  $1,5 \div 2,0$  мм.

## 5.4 Порядок выполнения работы

5.4.1 Установить восьмую ступень трансформатора. Включить машину.

5.4.1 Записать и набрать на наборном поле лицевой панели контроллера программу простого цикла сварки со следующими параметрами режима №0: предварительное сжатие – 0,3 с; пауза – 0,2 с; количество импульсов – 0; сжатие – 0,22 с; модуляция – 0; время сварки – 0,1 с; проковка – 0,2 с; ток – 7,0 кА. Проверить работу машины с контроллером в режиме холостого хода.

5.4.2 Дополнить набранную программу по пункту 5.4.1 данными для реализации программы компенсации износа электрода: наброс тока – 400 А; шаг – 10; количество шагов – 5.

5.4.3 Проследить на контроллере ККС-01 ход выполнения набранной программы, измеряя ток в каждом цикле сварки по АСУ-1М. Результаты заносить в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты опытов

№ цикла	Измеренный ток, кА		Примечание
	САР	АСУ-1М	
1			
2			
.....			
49			
50			

### 5.5 Содержание отчета.

- Цель и задачи работы;
- Программа компенсации износа рабочей поверхности электрода.
- Таблица с результатами эксперимента.
- График зависимости тока от количества выполненных циклов нагрева.
- Выводы по работе.

### 5.6 Контрольные вопросы

5.6.1 В каком случае целесообразно использовать систему автоматической компенсации?

5.6.2 Какой параметр обычно используется в качестве регулирующего воздействия в системах автоматической компенсации?

5.6.3 В чем отличие систем автоматической компенсации действия возмущения от систем автоматического регулирования?;

5.6.4 Как осуществляется компенсация износа рабочей поверхности электрода?

5.6.5 Как осуществляется оценка величины факторов и возмущений в случае применения системы автоматической компенсации?

5.6.6 Что выполняет роль датчика в системе автоматической компенсации износа электрода?

5.6.7 Как определяется общее количество коррекций для программы системы автоматической компенсации износа электрода?

## **Лабораторная работа № 6. Технологические особенности автоматического регулирования нагрева по скорости снижения усилия в зоне сварки Т-образных соединений малогабаритных деталей**

### 6.1 Общие сведения

Конденсаторная и однополупериодная стыковая сварка сопротивлением Т-образных соединений проволочных деталей из меди с корпусными деталями из томпака широко распространена в массовом производстве изделий промышленной электроники. Серийное автоматическое оборудование, реализующее цикл сварки с постоянным усилием пружинного привода механизма осадки, характеризуется узким диапазоном возможного изменения параметров режима и низким энергетическим КПД сварочного контура, ограничивающим рост производительности процесса.

Более эффективным является процесс сварки импульсом тока трапецеидальной формы с определенным соотношением его амплитудного и интегрального значений в сочетании с циклом сжатия деталей малым начальным и нарастающим в процессе сварки синхронно с током усилием осадки. Для этого используется комбинированный механизм осадки, в котором начальное усилие создается пружиной, а нарастающее – быстродействующим электромагнитным приводом, питаемым от автономной обмотки сварочного трансформатора. При таком цикле сварки, в результате повышенного тепловыделения и, соответственно, более высокой концентрации нагрева в стыке, обеспечивается благоприятная для формирования твердофазного соединения локализация пластической деформации прово-

лочной детали и более высокая прочность Т-образных соединений.

Как показала практика, в условиях массового производства реализация процесса сварки Т-образных соединений на высокопроизводительном автоматическом оборудовании (осуществляющем 150 и более сварок в минуту), снабженном комбинированным механизмом осадки, даже при использовании эффективных режимов, не гарантирует получение бездефектных соединений. Жесткое программирование импульса тока трапецеидальной формы, задаваемого с помощью конденсаторного или однополупериодного дозирования сварочной энергии, принципиально не может учесть влияния на процесс сварки действующих в условиях производства возмущений и трудно контролируемых технологических отклонений (по установочной длине проволоочной детали, по усилию механизма осадки, по току и др.). Это обуславливает нестабильность теплового состояния зоны нагрева от сварки к сварке и, как следствие, достаточно высокую дисперсию качества сварных соединений при работе автоматов.

Обеспечение требуемого качества и стабильности соединений возможно путем внедрения системы автоматического регулирования (САР) процесса контактной сварки, основанного на обратной связи по наиболее информативному параметру процесса. При сварке Т-образных соединений с переменным усилием механизма осадки такой параметр выбран на характерном участке кривой изменения мгновенных значений усилия, развиваемого в стыке при нагреве, тесно связанном с тепловым состоянием деталей и определяющим момент достижения максимальной температуры в зоне сварки.

Самым простым способом автоматического регулирования процесса сварки по параметрам усилия является отключение сварочного тока в момент достижения измеряемым параметром опорного напряжения, соответствующего заданному значению усилия, развиваемого в зоне сварки. Однако отключение тока по жестко фиксированному уровню усилия при сварке Т-образных соединений имеет существенный недостаток, поскольку при действии различных возмущений меняется скорость нагрева и, соответственно, скорость снижения усилия в контакте. Это, при естественной тепловой инерции металла и постоянном времени срабатывания устройства отклю-

чения тока, требует автоматической подстройки порогового значения опорного сигнала в каждом цикле сварки, что не приемлемо при высокоскоростной сварке на автоматах.

Учет изменения скорости нагрева, вызванное действием возмущений и технологических отклонений, позволяет САР, в которой момент отключения импульса сварочного тока определяется по скорости снижения усилия, развиваемого в стыке на стадии нагрева (А. с. 1743765 (СССР)). В качестве параметра обратной связи используется средняя скорость снижения усилия в стыке в интервале времени от момента включения тока до нагрева металла до сварочной температуры. По данному параметру автоматически определяется требуемый тепловым состоянием зоны сварки момент отключения тока в каждом цикле.

Для реализации САР процесса сварки по скорости снижения усилия разработано устройство (А. с. 1743765 (СССР)), блок-схема которого показана на рисунке 6.1.

Устройство работает следующим образом.

После сжатия свариваемых деталей между электродами статическим усилием пружинного привода *ПП* комбинированного механизма осадки подается сигнал от сварочного устройства на синхронизатор *ФСИ*, который устанавливает в исходное состояние измерительный усилитель *У*, реле времени *РВ*, триггер *Т*, вычитающий счетчик *СЧВ* и суммирующий счетчик *СЧС*. При этом на выходе *СЧС* устанавливается «нулевой» логический уровень, а на выходе *СЧВ* – «единичный». Сигналы установки в исходное состояние счетчиков *СЧВ* и *СЧС* запрещают их работу. Через несколько микросекунд синхронизатор *ФСИ* снимает сигнал запрета работы счетчиков, а триггер *Т* разрешает работу *СЧС*. Прямоугольные импульсы с генератора *ГПИ* начинают поступать на *СЧС* и увеличивать его содержимое. Последнее приводит к увеличению напряжения на выходе цифроаналогового преобразователя *ЦАП1*. Соответственно увеличивается напряжение и на выходе *ЦАП2*. Это напряжение поступает на один из входов схемы сравнения *СХС*, на второй вход которой через измерительный усилитель *У* поступает сигнал с датчика усилия *ДУ*. При достижении напряжением на выходе *ЦАП2* величини

ны достаточно близкой, но несколько меньшей, чем величина напряжения на выходе  $U$ , соответствующая начальному усилию привода  $ПП$ , срабатывает  $СХС$ , которая перебрасывает триггер  $T$  и открывает электронный ключ  $ЭК$ . Триггер  $T$  своими выходами запрещает работу  $СЧС$  и разрешает работу  $СЧВ$ . При этом  $СЧС$  становится на самоблокировку, а импульсы с генератора  $ГПИ$  через регулируемый делитель частоты  $РДЧ$  начинают поступать на  $СЧВ$  и уменьшать его содержимое в течение заданного времени  $t_y$ . Соответственно уменьшается уровень напряжения на выходе  $ЦАП2$ . Это напряжение снижается по линейному закону и является эталонным опорным сигналом.

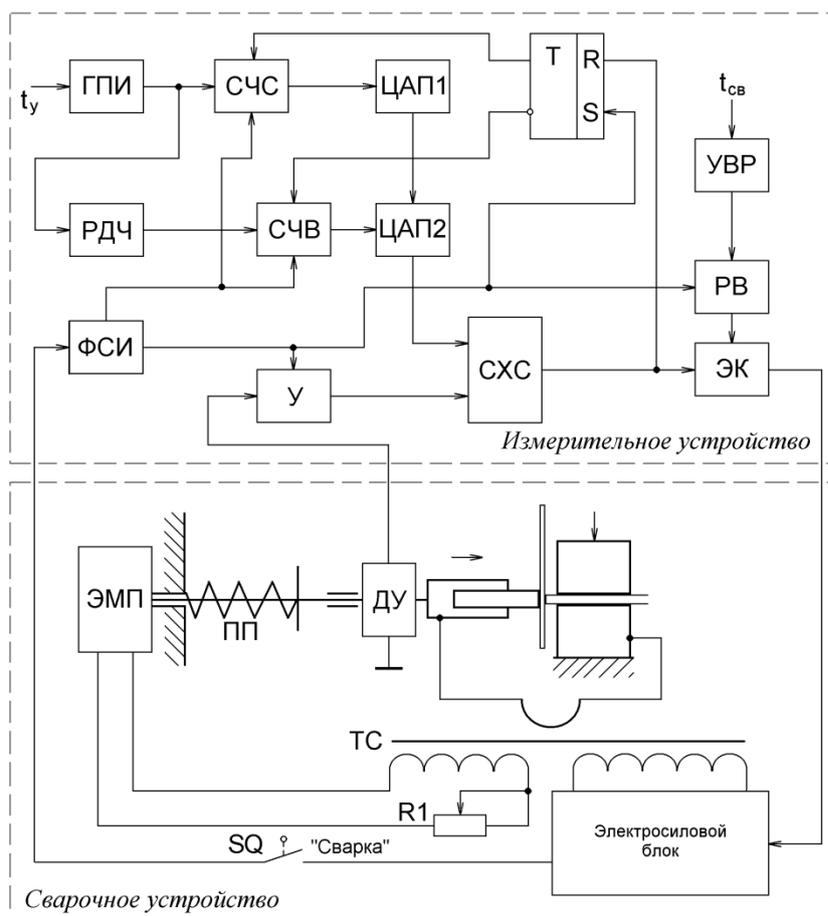


Рисунок 6.1 – Блок-схема устройства автоматического регулирования процесса сварки Т-образных соединений по средней скорости снижения усилия в стыке: ЭМП - электромагнитный привод комбинированного механизма осадки; ТС – трансформатор сварочный (остальные пояснения в тексте)

Одновременно с началом работы *СЧВ* электронный ключ *ЭК* разрешает работу электросилового блока сварочного устройства. По мере разогрева импульсом тока металла в зоне сварки до разупрочнения усилие в стыке свариваемых деталей начинает уменьшаться. При снижении сигнала с датчика *ДУ* до уровня, задаваемого опорным сигналом с выхода *ЦАП2*, срабатывает *СХС*, которая своим выходным сигналом перебрасывает триггер *T* и закрывает электронный ключ *ЭК*. Это приводит к запрещению работы *СЧВ* и сварочный ток отключается.

Суммирующий счетчик *СЧС* не начинает работать до тех пор, пока не будет сброшен с самоблокировки сигналом начальной установки от синхронизатора *ФСИ*. Если усилие в стыке свариваемых деталей не снизится за время  $t_y$  до опорного сигнала, то через время  $t_{св}$ , задаваемое схемой *УВР*, сработает реле времени *РВ* и своим сигналом закроет электронный ключ *ЭК*.

При используемом в измерительном устройстве принципе формирования опорного сигнала  $u_{оп}$ , его параметры определяются двумя значениями (рисунок 6.2): для верхней точки (*a*) – напряжением, соответствующим величине статического усилия сжатия деталей  $F_{ст}$  в момент включения сварочного тока  $i_{св}$ , а для нижней (*б*) – временем  $t_y$ , соответствующим времени снижения до нуля величины усилия в стыке  $f_{св}$  при нагреве. «Привязка» к величине статического усилия опорного сигнала позволяет осуществлять его автоматическую корректировку в каждом цикле сварки.

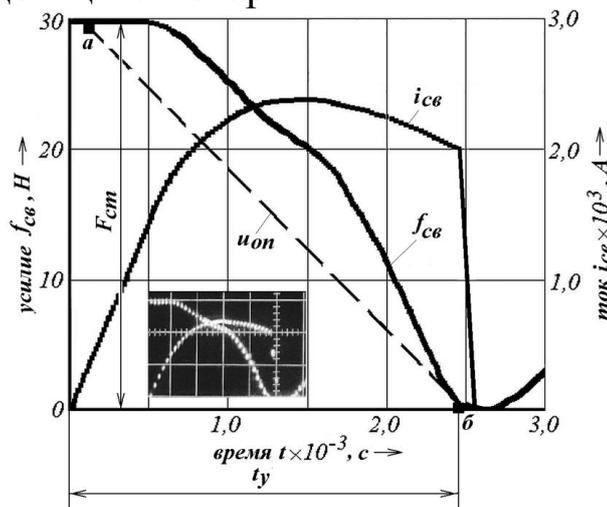


Рисунок 6.2 – Осциллограмма процесса к выбору параметров опорного сигнала

Для различных типоразмеров деталей Т-образных соединений параметр  $t_y$  опорного сигнала  $u_{on}$  определяется экспериментально *при неуправляемом процессе сварки* импульсом тока с минимально возможной амплитудой, обеспечивающим снижение усилия  $f_{ce}$  до нулевого уровня и гарантирующим получение качественного соединения.

Для реализации процесса сварки Т-образных соединений с САР нагрева по скорости снижения усилия в зоне сварки Т-образных соединений модернизирован серийный автомат 5303, показанный на рисунке 6.3.

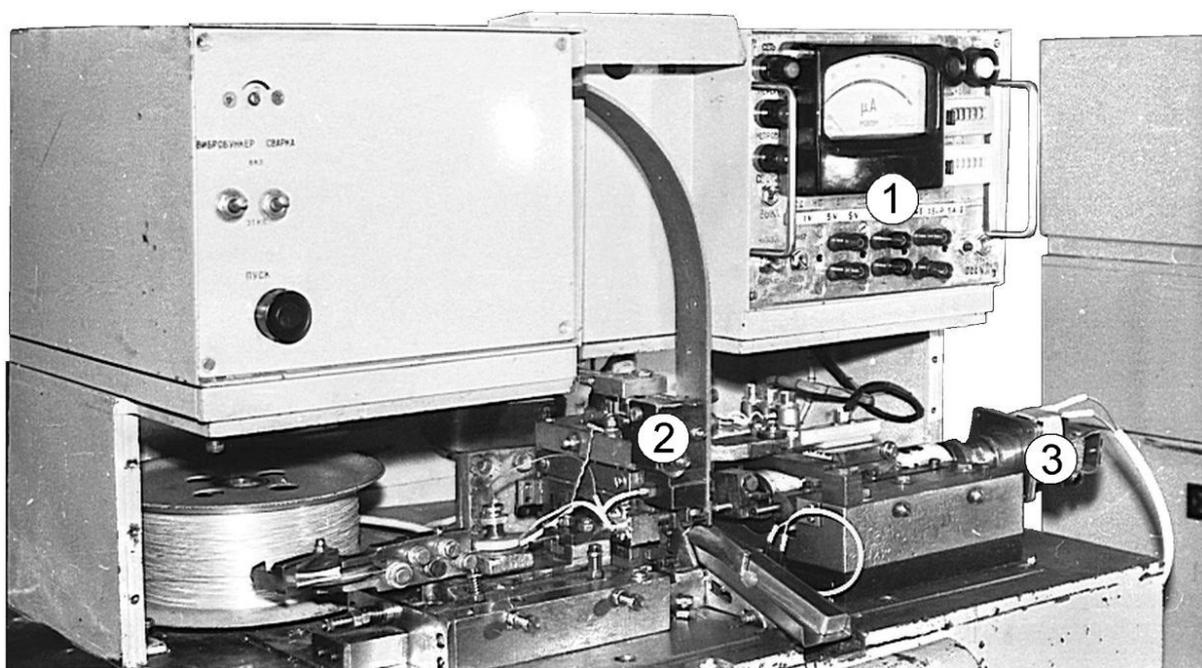


Рисунок 6.3 – Компонировка средств модернизации на автомате 5303: 1 – блок САР; 2 – электродное устройство с датчиком усилия; 3 – электромагнитный привод комбинированного механизма осадки

## 6.2 Цель работы

Исследовать технологические характеристики системы автоматического регулирования (САР) нагрева по скорости снижения усилия в зоне сварки Т-образных соединений. Сравнить диапазоны возможных изменений параметров режима при сварке с САР и без нее.

### 6.3 Оборудование и материалы

6.3.1 Модернизированный сварочный автомат 5305 с САР нагрева по скорости снижения усилия в зоне сварки Т-образных соединений.

6.3.2 Катушка с медной проволокой (М1) диаметром от 0,6 мм, покрытой олово-висмутовым сплавом.

6.3.3 Колпачки из томпака (Л90) с толщиной стенки 0,15 мм, имеющие никелевое (НП2) покрытие.

6.3.4 Цифровой двухканальный осциллограф с памятью С9-8.

6.3.5 Стенд для испытания сварных узлов на отрыв (рисунок 6.4).

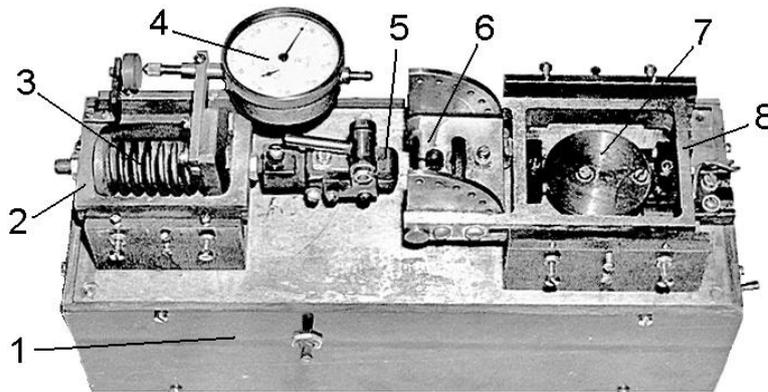


Рисунок 6.4 – Стенд для испытания сварных соединений: 1 – корпус; 2 – механизм нагружения; 3 – рабочая пружина; 4 – индикатор; 5 – зажим проволоки; 6 – механизм зажатия колпачка; 7 – эксцентрик; 8 – установочная каретка

6.3.6 Цифровой фотоаппарат.

6.4.6 Пинцет.

### 6.4 Порядок выполнения работы

6.4.1 Установить катушку с проволокой в автомате и подать проволоку в электродное устройство.

6.4.2 Засыпать необходимое количество колпачков в вибробункер автомата и настроить его работу.

6.4.3 Подключить осциллограф к выходам датчика тока и усилия на блоке САР.

6.4.4 Установить на блоке САР исходные параметры режима сварки:

- усилие электромагнитного привода (ЭМП) механизма осадки –  $F_{dm} = 80$  Н;
- время приложения усилия ЭМП по отношению к моменту начала протекания сварочного тока –  $t_F = 1,85$  мс;
- время действия опорного сигнала САР –  $t_y = 2,4$  мс;
- количество электричества, протекающего через сварочную цепь за время действия тока при нерегулируемом процессе –  $Q = 3,2$  Ас;
- статическое усилие пружинного привода механизма осадки –  $F_{cm} = 30$  Н;
- установочную длину проволочной детали –  $l_{ycm} = 0,6$  мм.

6.4.5 Работая рукояткой автомата в ручном режиме, при токах  $I_m = 2,4$  кА для регулируемого процесса и  $I_m = 2,2$  кА для нерегулируемого процесса сварить по 5 сварных узлов. С экрана осциллографа сфотографировать осциллограммы процессов.

6.4.6 Провести испытания сварных образцов на стенде, и результаты занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты экспериментов

№ п/п	Ток, кА	Усилие, Н	Прочность соединения, даН					Примечание
			1	2	3	4	5	
Не регулируемый процесс сварки								
1	2,2	20						
2	2,0	20						
3	2,4	20						
4	2,2	30						
5	2,2	10						
Процесс сварки с САР								
1	2,4	20						
2	2,2	20						
3	2,6	20						
4	2,4	30						
5	2,4	10						

6.4.7 Повторить пункты 6.4.5 и 6.4.6 при разных сочетаниях па-

раметров тока и усилия, указанных в таблице 6.1.

6.4.8 Построить графики зависимости прочности соединений от тока и усилия при регулируемом и нерегулируемом процессах.

6.4.9 По результатам проведенных экспериментов сделать выводы.

## 6.5 Содержание отчета

- Цель работы.
- Таблица с результатами экспериментов.
- Графики зависимости прочности соединений от тока и усилия сжатия для регулируемого и нерегулируемого процессов..
- Осциллограммы процессов сварки на каждом из режимов.
- Выводы по работе

## 6.6 Контрольные вопросы

6.6.1 Какие недостатки свойственны для процесса, реализуемого на серийном автоматическом оборудовании в массовом производстве малогабаритных изделий при сварке Т-образных соединений?

6.6.2 Какой процесс является более эффективным?

6.6.3 Почему даже при использовании эффективных режимов, не гарантирует получение бездефектных соединений в нерегулируемом процессе?

6.6.4 Какой параметр процесса сварки Т-образных соединений является наиболее информативным и почему?

6.6.5 Какой недостаток имеет САР с отключением тока по жестко фиксированному уровню усилия?

6.6.6 Какими параметрами определяется опорный сигнал САР нагрева по скорости снижения усилия в зоне сварки Т-образных соединений?

6.6.7 Почему важна «привязка» опорного сигнала к величине статического усилия?

6.6.8 Почему сварку с САР нагрева по скорости снижения усилия целесообразно выполнять с увеличенной амплитудой тока по

сравнению с нерегулируемым процессом на  $15 \div 20$  %?

### Список использованных источников

1 Гладков Э.А. Автоматизация сварочных процессов: учебник / Э.А. Гладков, В.Н. Бродягин, Р.А. Перковский. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 424 с.

2 Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 432 с.

3 Львов Н.С., Гладков Э.А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. Учебное пособие для вузов по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». – М.: Машиностроение, 1982. – 302 с.

4 Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В.К. Лебедева, В.П. Черныша. – К.: Вища шк., Головное изд-во, 1986. – 296 с.

3 Измерение электрических и неэлектрических величин: уч. пособие для вузов по спец. «Информ. -измерит. техника» / Я. А. Купершмидт, В. Ф. Папуловский и др.; Под общ. ред. Н. Н. Евтихиева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 349 с.

## Приложение А

Таблица А.1 – Пример записи сложной программы для отработки контроллером ККС-01

Наименование параметра циклограммы	Номер и его ин- дикация	Пример набора сложной программы	Примечание
1	2	3	4
<b>ПАРАМЕТРЫ</b>			
Номер программы	N, Н	Н 000 В	В - ввод параметра в память контроллера
Сжатие	С	С 050 В	Режим работы для сложной программы с «Предварит. сжат.»
Пауза	П	П 010 В	
Режим	Р	Р 032 В	
1) «ИМПУЛЬС 0»			
Число повторений позиций «Сварка 0» «Проковка 0»	00	00 002 В	
Длительность позиции «Сжатие 0»	01	01 030 В	
Длительность позиции «Модуляция0»	02	02 010 В	
Длительность позиции «Сварка 0»	03	03 040 В	
Длительность позиции «Проковка 0»	04	04 030 В	
Величина сварочного тока	05	05 100 В	Ток 10 кА
Признак включения повышенного уси- лия	06	06 001 В	
2) «ИМПУЛЬС 1»			
Число повторений позиций «Сварка 1» «Проковка 1»	10	10 002 В	
Длительность позиции «Сжатие1 »	11	11 028 В	
Длительность позиции «Модуляция 1»	12	12 007 В	
Длительность позиции «Сварка 1»	13	13 033 В	
Длительность позиции «Проковка 1»	14	14 025 В	
Величина сварочного тока	15	15 120 В	Ток 12 кА
Признак включения повышенного уси- лия	16	16 000 В	
3) «ИМПУЛЬС 2»			
Число повторений позиций «Сварка 0» «Проковка 0»	20	20 002 В	
Длительность позиции «Сжатие 0»	21	21 024 В	
Длительность позиции «Модуляция0»	22	22 013 В	
Длительность позиции «Сварка 0»	23	23 024 В	
Длительность позиции «Проковка 0»	24	24 035 В	

## Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
Величина сварочного тока	25	25 080 В	Ток 8 кА
Признак включения повышенного усилия	26	26 001 В	
1) «ИМПУЛЬС 3»			
Число повторений позиций «Сварка 1» «Прокровка 1»	30	30 002 В	
Длительность позиции «Сжатие1 »	31	31 039 В	
Длительность позиции «Модуляция 1»	32	32 018 В	
Длительность позиции «Сварка 1»	33	33 043 В	
Длительность позиции «Прокровка 1»	34	34 033 В	
Величина сварочного тока	35	35 060 В	Ток 6 кА
Признак включения повышенного усилия	36	36 001 В	
Приведение контроллера в состояние готовности к сварке	П (пуск)	П	Индикация: Г, , , , , ,

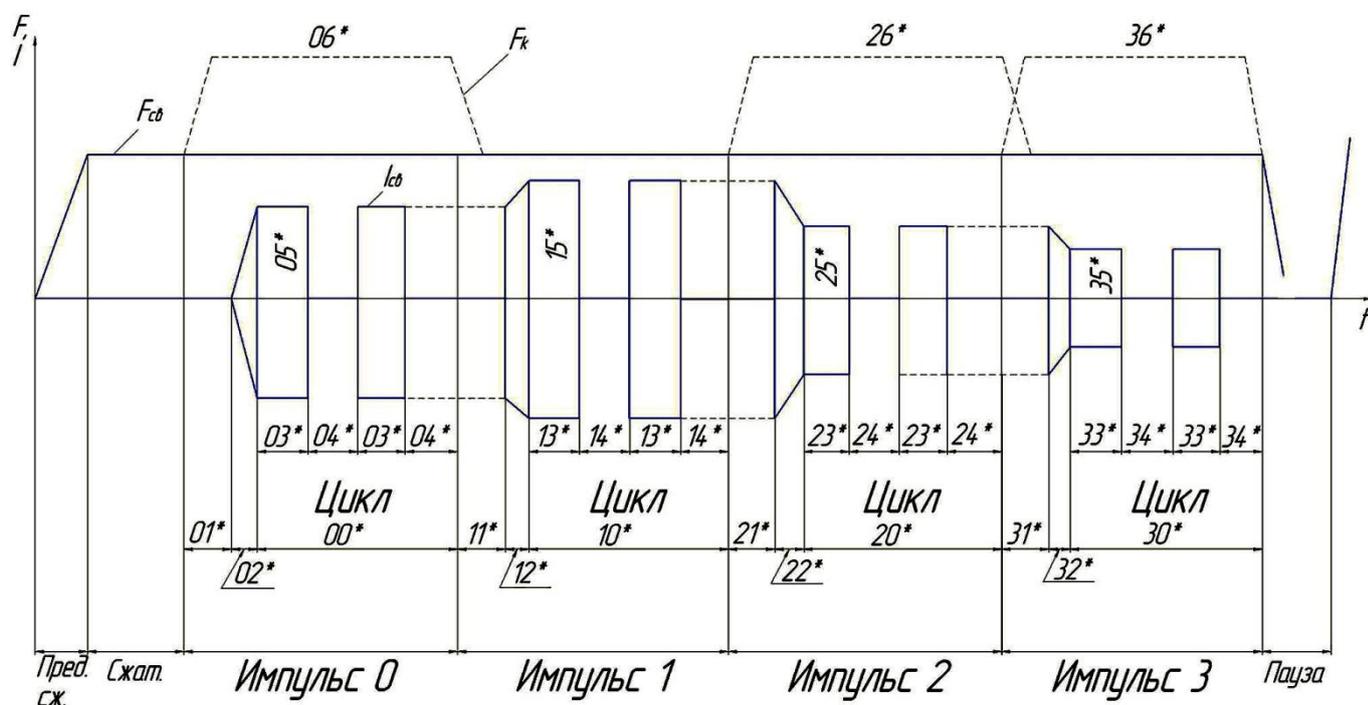


Рисунок А.1 – Циклограмма функционирования сложной программы, реализуемой контроллером ККС-01