

УДК 681.518.2

Н.И. Чичикало, Н.Г. Винниченко, Е.М. Томилин
Донецкий Национальный технический университет, г. Донецк
кафедра электронной техники

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЛОКОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНОВ
РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Abstract

Chichicalo N.I., Vinnichenko N.G., Tomilin E.M. Control law preform blocks design which use in control and monitoring devices of the manufacturing methods. Program which had been proposed in article was made to be use in a units which make laws of control in control equipment. It can make physical magnitude control in a law of control we need, make sensor interrogation and save magnitudes in databases.

Keywords: *welding, interface, block of adjusting law, arc.*

Анотація

Чичикало Н.І., Винниченко М.Г., Томілін Є.М. Проектування блоків формування законів регулювання для приладів контролю і управління технологічними процесами. У статті запропонована програма, що реалізовує необхідний закон управління локальним регулювальником. Програма забезпечує вибір закону в процесі наладки системи.

Ключові слова: *зварка, інтерфейс, блок закону регулювання, дуга.*

Аннотация

Чичикало Н.И., Винниченко Н.Г., Томилин Е.М. Проектирование блоков формирования законов регулирования для приборов контроля и управления технологическими процессами. В статье предложена программа, реализующая требуемый закон управления локальным регулятором. Программа обеспечивает выбор закона в процессе налажки системы.

Ключевые слова: *сварка, интерфейс, блок закона регулирования, дуга.*

Актуальность задачи. В связи с наступлением мирового кризиса и появлением острой необходимости в снижении себестоимости товаров, роль приборостроения и автоматизации в мировом промышленном производстве заметно возрастает. В частности, удешевление производства автомобилей возможно, например, при помощи автоматизации электросварочных работ. С этой целью, в данной статье, рассматривается проектирование блоков формирования законов регулирования для приборов контроля и управления технологическими процессами сварки.

Постановка задачи. На основании материалов (сварочная дуга, ПИД — регуляторы и электронной схемы) спроектировать программу, управляющую работой электронной схемы (Автоматизированное рабочее место оператора электронной системы).

В электронной системе автоматической наплавки образцов сварочных электродов необходимо поддерживать постоянным ток $\pm 5A$.

Цель. Целью данной статьи является разработка блоков формирования законов регулирования приборов контроля и управления технологическими процессами. В данном случае блоки должны содержать программу, способную управлять рабочим параметром (в данном случае это ток сварки) по одному из известных законов (П, ПИ, ПИД). Кроме того, она

должна содержать алгоритм опроса датчиков, интерфейс связи человек-машина и возможность сохранения информации в базах данных.

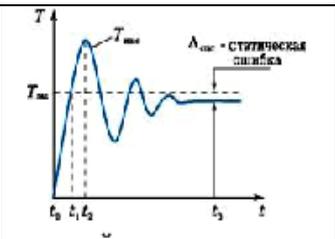
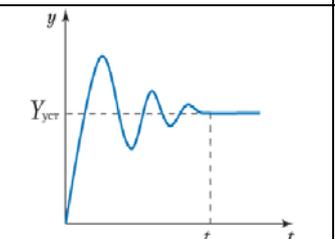
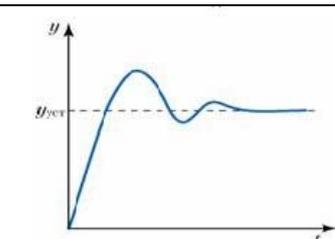
Анализ известных решений. Для поддержания напряжения в электронной системе автоматической наливки образцов сварочных электродов могут использоваться программно реализованные типовые законы регулирования (П, ПИ, ПИД).

В системах автоматического регулирования поддержание заданного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону обеспечивается аппаратными средствами, имеющими общее название — автоматические регуляторы. По виду регулируемого параметра автоматические регуляторы подразделяются на регуляторы температуры, давления, влажности, разряжения, расхода, состава и т.п. По характеру изменения регулирующего воздействия автоматические регуляторы подразделяются на регуляторы с линейными и нелинейными законами регулирования. Примером регуляторов с нелинейным законом регулирования могут служить двухпозиционные регуляторы температуры в холодильных машинах. В трехпозиционных дискретных системах выходной сигнал может принимать три значения: -1, 0, +1, т.е. “меньше”, “норма”, “больше”. Качество работы таких САР выше, хотя их надежность ниже. Регуляторы с линейным законом регулирования по математической зависимости между входными и выходными сигналами подразделяются на следующие основные виды (см. табл. 1):

- пропорциональный (П — регулятор));
- пропорционально — интегральный ((ПИ — регулятор));
- пропорционально — интегрально — дифференциальный (ПИД — регулятор)

В зависимости от вида используемой энергии регуляторы подразделяются на электрические (электромеханические, электронные), пневматические, гидравлические и комбинированные. В СКВ в основном применяются электрические регуляторы. Пневматические и гидравлические регуляторы, как правило, применяются во взрыво- и пожароопасных зонах. В зависимости от задающего воздействия и параметров объекта регулирования подбирают регулятор с определенной характеристикой W_p . Изменение W_p адекватно ведет к изменению коэффициентов дифференциального уравнения общего передаточного звена (регулятор-объект) и тем самым достигается необходимое качество регулирования. В промышленных регуляторах эти величины называются параметрами настройки. Параметрами настройки являются: коэффициент усиления, зона нечувствительности, постоянная времени интегрирования, постоянная времени дифференцирования и т.д. Для изменения параметров настройки в регуляторах имеются органы настройки (управления). Кроме органов настройки основных параметров, регуляторы имеют также органы настройки, косвенно влияющие на эти коэффициенты и режимы его работы, например, органы настройки, изменяющие чувствительность регулятора, демпфирование входного сигнала и др.

Таблица 1 — Наиболее распространённые законы регулирования

Закон регулирования	П	ПИ	ПИД
Формула регулирующего воздействия	$\mu = K_{\Pi} \cdot \varepsilon$	$\mu = K_{\Pi} \left(\varepsilon + \frac{1}{T_{\text{ИЗ}}} \int_0^t \varepsilon dt \right)$	$\mu = K_{\Pi} \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t \varepsilon dt + T_{\text{Д}} \frac{d\varepsilon}{dt}$
Вид кривой переходного процесса			

Изложение основного материала.

Регулирование тока сварки по П, ПИ, ПИД — закону. По техническому заданию в электронной системе автоматической наплавки образцов сварочных электродов необходимо поддерживать постоянным ток, таким образом задав ток дуги, приняв высоту столба (любая величина в диапазоне от 1 мм до 5 мм) мы получим напряжение дуги которое и будем поддерживать изменением высоты столба следовательно ток теоретически будет оставаться постоянным или колебаться в заданном пределе (по техническому заданию $\pm 5A$). Для работы программы потребуются данные измерения сварочного тока, которые она будет получать из микропроцессорного устройства по протоколу MODBUS. Регулирование подразумевает под собой изменение высоты столба дуги на расчётное управляющее воздействие полученной из формул ПИД — регулирования. Изменение высоты столба дуги производится при помощи шагового двигателя по оси Y, для этого в микропроцессорное устройство будет посылаться команда на увеличение числа шагов или их уменьшение. На рисунке 1 показана панель элементов «ПИД — регулятор». Описание элементов панели «ПИД — регулятор» представлено в таблице 2.

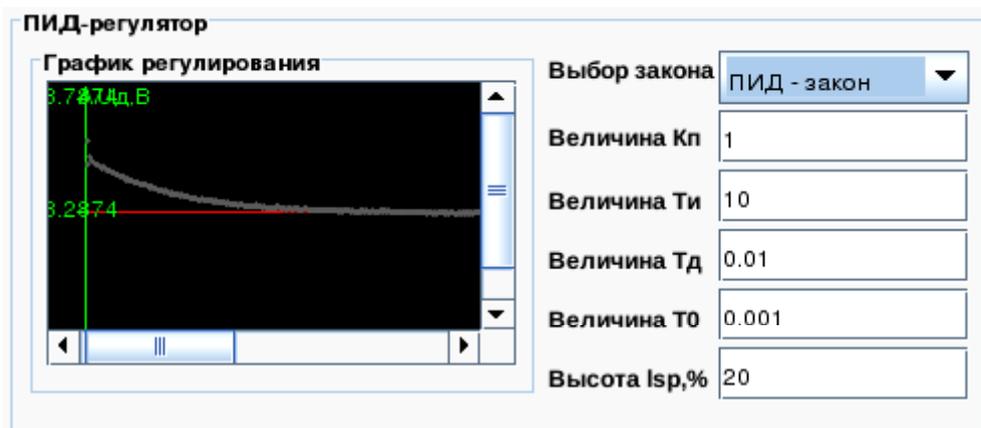


Рисунок 1 — Панель элементов «ПИД — регулятор»

Таблица 2 — Описание элементов панели «ПИД — регулятор»

Название элемента	Описание	Значение по умолчанию	Доступ
Выбор закона	В поле со списком выбирается закон по которому будет проходить регулирование	ПИД	Да
Коэффициент Кп	Коэффициент пропорциональности	1	Да
Коэффициент Ти	Постоянная времени интегрирования	0.01	Да
Коэффициент Тд	Постоянная времени дифференцирования	0.01	Да
Коэффициент Т0	Шаг квантования	0.001	Да
Высота Isp, %	Высота столба дуги, с которой начинается регулирование	40	Да

График регулирования строится в реальном времени.

Отображение процесса наплавки. Для того чтобы рассчитать заданное напряжение дуги необходимо знать такие параметры как падение напряжение на аноде, падение напряжение на катоде, диаметр электрода, ток дуги. Все эти параметры задаются и рассчитываются на панели элементов «Процесс», которая представлена на рисунке 2. В таблице 3 представлено описание элементов панели «Процесс».

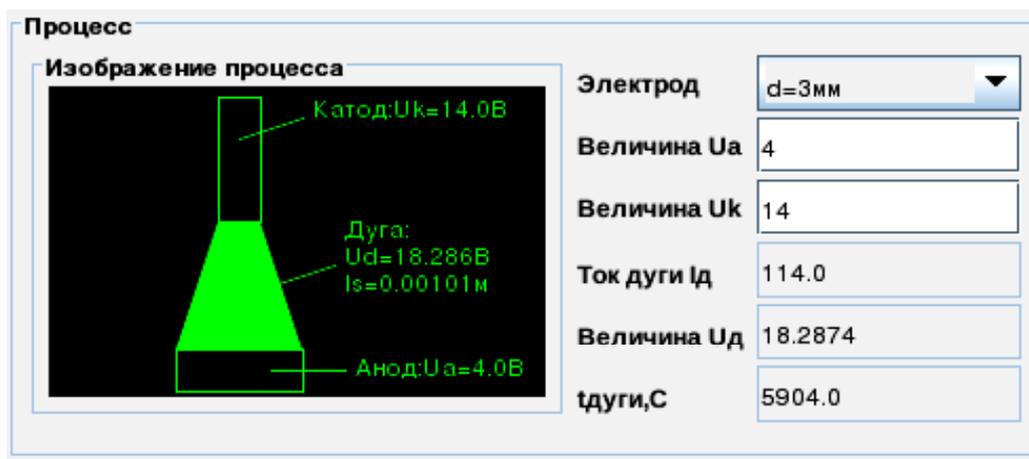


Рисунок 2 — Панель элементов «Процесс»

Таблица 3 — Описание элементов панели «Процесс»

Название элемента	Описание	Значение по умолчанию	Доступ
Электрод	В поле со списком выбирается диаметр электрода	3	Да
Величина U_a	Падение напряжения на аноде	4	Да
Величина U_k	Падение напряжения на катоде	14	Да
Ток дуги I_d	Ток дуги I_d рассчитывается в зависимости от диаметра электрода		Нет
Напряжение дуги U_d	Напряжение дуги U_d . Рассчитывается по следующим формулам: $U_d = U_k + U_a + E \cdot l_c$, где l_c — высота столба принята 1 мм, где U_i — потенциал ионизации в парах металла; G_e — сечение столкновения атомов с электронами;		Нет
tдуги,С	Температура дуги в парах металла, где U_i — потенциал ионизации в парах металла;		Нет
Отображение процесса (вывод величин U_d и I_d) ведётся в реальном времени			

Обмен данными программы с микропроцессорным устройством по протоколу MODBUS. Протокол MODBUS фирмы MODICON является необходимой частью работы системы. Он определяет как Master (MS) и Slave (SL) устанавливаются и прерывают контакт, как идентифицируются отправитель и получатель, каким образом происходит обмен сообщениями, как обнаруживаются ошибки. Протокол управляет циклом запроса и ответа, который происходит между устройствами MS и SL, как показано на рисунке 3.

Протокол подразумевает на общей шине один MS и до 247 SL. Хотя протокол и поддерживает до 247 SL, некоторые приборы ограничивают число SL, подключаемых к общей шине. Например, драйвер шины расходомера-счетчика УРСВ-10М позволяет подключить к одному сегменту двухпроводной линии RS485 максимум 32 прибора. Каждому SL присвоен уникальный адрес устройства в диапазоне от 1 до 247.

Только MS может инициировать транзакцию. Транзакции бывают либо типа запрос/ответ (адресуется только один SL), либо широковещательные/без ответа (адресуются

все SL). Транзакция содержит один кадр запроса и один кадр ответа, либо один кадр широковещательного запроса.

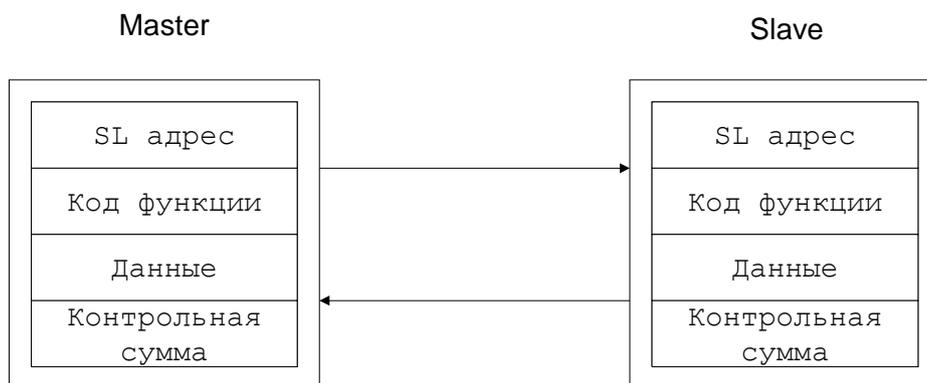


Рисунок 3 — Цикл запроса и ответа между устройствами MS и SL.

Некоторые характеристики протокола Modbus фиксированы. К ним относятся формат кадра, последовательность кадров, обработка ошибок коммуникации и исключительных ситуаций, и выполнение функций.

Другие характеристики выбираются пользователем. К ним относятся тип средства связи, скорость обмена, проверка на четность, число стоповых бит, и режим передачи (ASCII или RTU). Параметры, выбираемые пользователем, устанавливаются (аппаратно или программно) на каждой станции. Эти параметры не могут быть изменены во время работы системы.

При передаче по линиям данных, сообщения помещаются в «конверт». «Конверт» покидает устройство через «порт» и «пересылается» по линиям адресуемому устройству. Протокол Modbus описывает «конверт» в форме кадров сообщений. Информация в сообщении представляет адрес требуемого получателя, что получатель должен сделать, данные, необходимые для выполнения этого, и механизм контроля достоверности.

Когда сообщение достигает интерфейса SL, оно попадает в адресуемое устройство через похожий «порт». Адресуемое устройство вскрывает конверт, читает сообщение, и, если не возникло ошибок, выполняет требуемую задачу. Затем оно помещает в конверт ответное сообщение и посылает его «отправителю». Информация в ответном сообщении представляет собой адрес адресуемого устройства, выполненную задачу, данные, полученные в результате выполнения задачи, и механизм контроля достоверности. Если сообщение было широковещательным (сообщение для всех SL), на что указывает адрес 0, то ответное сообщение не передается.

В большинстве случаев, MS посылает следующее сообщение другому SL либо после приема корректного ответного сообщения, либо после прохождения определенного пользователем интервала времени, если ответное сообщение не было получено. Все сообщения могут рассматриваться как запросы, генерирующие ответные сообщения от SL. Широковещательные сообщения могут рассматриваться как запросы, не требующие ответных сообщений от SL.

Для настройки COM — порта и протокола MODBUS, а так же для отображения в реальном времени статуса связи предусмотрена панель элементов «Связь» представленная на рисунке 4. В таблице 4 представлено описание элементов панели «Связь».

Описание блок-схемы процесса регулирования напряжения дуги. Ниже, на рисунке 5, представлена блок-схема процесса регулирования напряжения дуги. Остановимся более подробно на описании её блоков:

Блок №1. Начало программы.

Блок №2. Ввод данных law (выбор закона регулирования), Kp (коэффициент пропорциональности), Ti (постоянная времени интегрирования), Td (постоянная времени дифференцирования), To (шаг квантования), d (диаметр электрода), Ua (падение напряжения на аноде), Uk (падения напряжения на катоде).

Таблица 4 — Описание элементов панели «Связь»

Название элемента	Описание	Значение по умолчанию	Доступ
Адрес	Адрес SL устройства	1	Да
Режим	Режим передачи	RTU	Да
Порт	Порт через который проходит подключение	COM1	Да
Скорость	Скорость подключения	2400	Да
Паритет	Паритет	Нечётный	Да

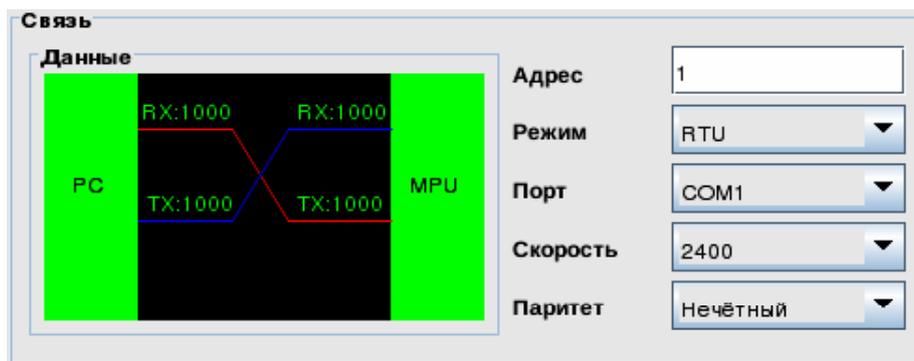


Рисунок 4 — Панель элементов «Связь»

Блок №3. Расчёт тока дуги (I_d) и принятие высоты столба $l_s=1$ мм.

Блок №4. Присваивание величинам G_e и U_i значений.

Блок №5. Расчёт напряжённости поля E .

Блок №6. Расчёт напряжения дуги U_d .

Блок №7. Присваивание начальных значений переменным ek , $ek1,ek2$ (отклонение), $mk,mk1$ (управляющее воздействие), lsp (высота столба дуги в процентах).

Блок №8. Расчёт множителей q_0,q_1,q_2 для ПИД регулятора.

Блок №9. Повторение блоков с 10 по 22 пока из файла не загружены все данные.

Блок №10. Загрузка из файла очередного значения тока дуги I_d .

Блок №11. Присваивание величинам G_e и U_i значений.

Блок №12. Расчёт напряжённости поля E .

Блок №13. Расчёт напряжения дуги U_{dr} и отклонения ek от заданного значения напряжения дуги U_d .

Блок №14,15. Если выбран закон П — регулирования ($law=2$) считаем по формуле П — регулятора.

Блок №16,17. Если выбран закон ПИ — регулирования ($law=1$) считаем по формуле ПИ — регулятора.

Блок №18,19. Если выбран закон ПИД — регулирования ($law=0$) считаем по формуле ПИД — регулятора.

Блок №20. Рассчитывает высоту столба в процентах (lsp).

Блок №21. Выводит на экран следующие данные: ток дуги считанный из файла (I_d), напряжение дуги рассчитанное (U_{dr}), высоту столба в метрах ($lsp*100/1000$), рассчитанное отклонение (ek), управляющее воздействие в процентах (mk).

Блок №22. Делаем смещение значений.

Вывод результатов. Для вывода результатов предусмотрена панель элементов «Результаты», представленная на рисунке 6.

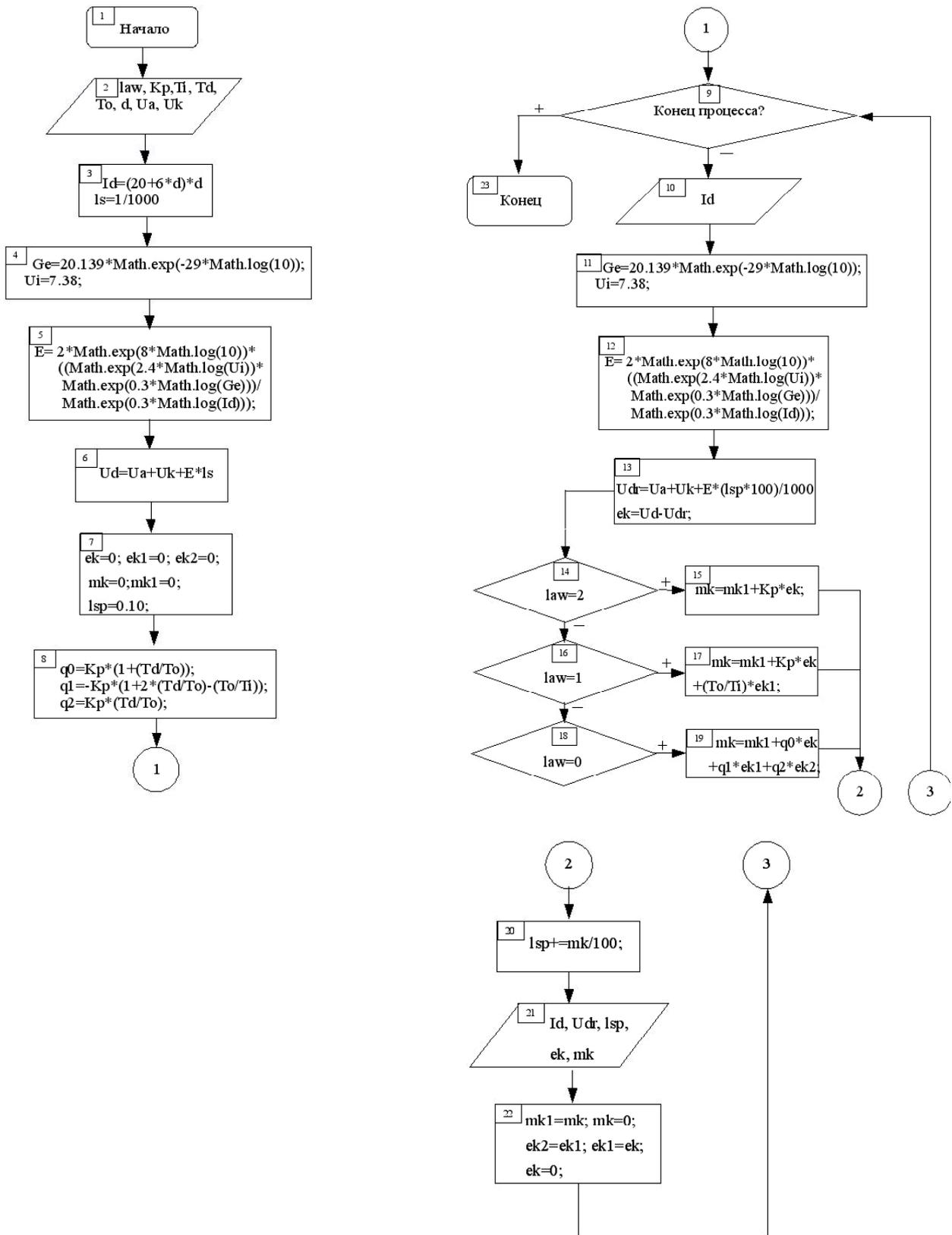


Рисунок 5 — Блок схема процесса регулирования напряжения дуги

Структурная схема блока регулирования. Ниже приведен пример реализации структурной схемы блока формирования законов регулирования прибора контроля и управления технологическими процессами (см. рис.7):

Результаты					
№ п/п	Величина Id,A	Величина Ud,B	Величина Is,M	Отклонение e	Воздействие тк,%
0	116.11	18.571670448569527	0.0016873025065735217	-0.28427044856952577	-3.1269749342647835
1	121.56	18.475699153795386	0.001764441043263639	-0.1882991537953842	0.7713853669011748
2	114.0	18.50712185889263	0.0017110414265811074	-0.21972185889262974	-0.5339961668253213
3	117.3	18.487582102209394	0.0017105560501287922	-0.2001821022093928	-0.004853764523149007
4	120.65	18.48334334811238	0.0016951915446789328	-0.19594334811237957	-0.15364505449859367
5	120.28	18.479443446125128	0.001679876217884558	-0.19204344612512614	-0.15315326794374995
6	122.5	18.472512269168057	0.0016682833633212464	-0.18511226916805512	-0.11592854563311539
7	120.86	18.471152691630067	0.001651253015969961	-0.18375269163006536	-0.1703034735128548

Рисунок 6 — Панель элементов «Результаты»

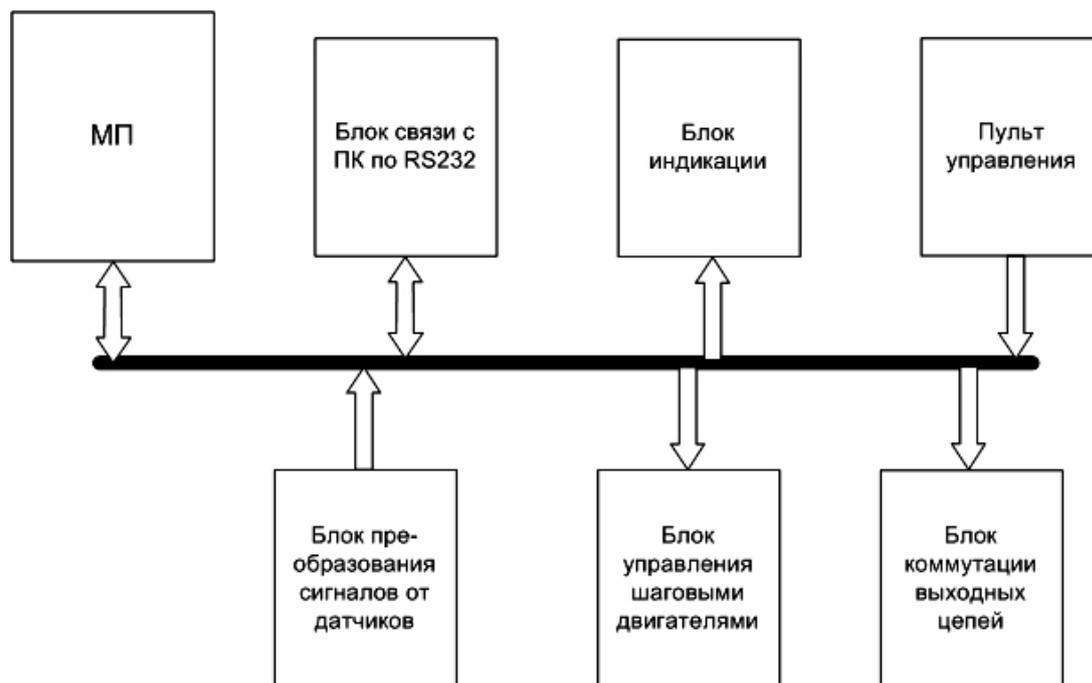


Рисунок 7 — Структурная схема блока регулирования напряжения дуги

1. Блок преобразования сигнала от датчиков — предназначен для преобразования дискретных сигналов от датчиков в цифровой код и дальнейшей его передачи на блок микропроцессора.

2. Пульт управления — предназначен для ввода информации в блок регулирования напряжения дуги с клавиатуры.

3. Блок индикации — предназначен для отображения служебной информации, а также помогает при вводе параметров электронной системы

4. Блок коммутации выходных цепей — предназначен для преобразования цифрового кода от микропроцессора в дискретный выходной сигнал и передачи его передачи на цепи управления.

5. Блок связи по последовательному порту — предназначен для связи с персональным компьютером. С помощью данного блока осуществляется передача данных персональному компьютеру о процессе наплавки, а так же возможна установка параметров электронной системы при помощи последнего.

6. Блок управления шаговыми двигателями — предназначен для управления тремя шаговыми двигателями. Они предназначены для перемещения рабочего органа (в данном случае сварочного электрода) вдоль осей X,Y,Z.

7. Микропроцессорное устройство — предназначено для контроля режимов работы электронной системы и управления исполнительными механизмами.

Выводы. На основании материалов (сварочная дуга, ПИД — регуляторы и электронной схемы) была спроектирована программа, управляющая работой электронной схемы АРМ.

В состав программы входят следующие функции:

1. Регулирование тока сварки по П, ПИ, ПИД — закону.
2. Оперативный обмен данными программы с микропроцессорным устройством по протоколу MODBUS.
3. Опрос датчика температуры.
4. Опрос датчика тока.
5. Опрос концевиков (датчики МПЗ).
6. Управление включением/выключением выпрямителя.
7. Управление включением/выключением осциллятора.
8. Управление шаговыми двигателями.
9. Отображение и масштабирование графика регулирования.
10. Отображение процесса наплавки.
11. Отображение камеры электронной системы.
12. Отображение статуса связи.
13. Вывод результатов.
14. Сохранение всех результатов в базе данных СУБД MySQL.
15. Загрузка данных из СУБД MySQL.
16. Сохранения результатов в формате PDF.
17. Сохранение графика регулирования в формате JPEG и PDF.
18. Возможность анализа процессов.

Программа написана на языке JAVA с использованием классов: JMI(классы управление изображениями), PDFBox(классы для работы с PDF файлами), MySQL — connector — JAVA (классы для работы с СУБД MySQL), RXTX (классы для работы с последовательным и параллельным портом).

Литература

1. Теория автоматического регулирования. Под ред. В. В. Солодовникова, книга 1-3.— М., 1967-69.
2. Основы теории автоматического управления. Воронов А. А. — Ч.1–3. — М.–Л., 1965-70.
3. Теория линейных систем. Метод пространства состояний. Заде Л., Дезоер Ч., пер. с англ. — М., 1970.
4. Теория систем автоматического регулирования. Бесекерский В. А., Попов Е. П. — М., 1972.
5. Современная теория автоматического управления и её применение. Сю Д., Мейер А., пер. с англ. — М., 1972.
6. Основы автоматического управления. Под ред. В. С. Пугачева, 3 изд. — М., 1974. А. А. Воронов.
7. Справочник молодого электросварщика. Э.С.Каракозов, Р.И.Мустафаев. — М.ВШ, 1992. — 302 с.
8. Основы сварки давлением. Гельман А.С. — М., “Машиностроение”, 1970. — 312 с.
9. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. Евсеев Г.Б., Глизмененко Д.А. — М., “Машгиз”, 1974. — 312 с.
10. Специальные методы сварки. Ольшанский Н.А. , Николаев Г.А. — М., “Машиностроение”, 1975. — 232 с.
11. Справочник по сварке. Т. I-IV. — М. “Машгиз”. 1961-1970. — 416 с.
12. Теоретические основы сварки. — М., “Высшая школа”, 1970. — 592 с.
13. Вопросы теории и технологии пайки. Лашко Н.С., Лашко С.В. — М.“Машгиз”, 1975. — 328 с.
14. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Modbus>.
15. http://212.113.105.10/dll/vpages.dll/Modbus/Modbus_Rus.Doc.

Здано в редакцію:
25.02.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.

