

## Памятка

Уважаемые студенты! Вам необходимо:

1. прочитайте данную практическую;
2. Выполнить все требования;
3. ответить на контрольные вопросы письменно в рабочей тетради.
4. Выполненную работу - прислать фото отчет на электронную почту преподавателю, (с 17.03.2023 по 20.03.2023).
5. В дальнейшем по окончании семестра принести для проверки.

С уважением **Андрощук Ольга Владимировна**, по вопросам к заданию, обращаться по номеру тел. +380721273299 или по электронной почте e-mail: [Olga8122@yandex.ru](mailto:Olga8122@yandex.ru)

## Практическая работа

**Тема: Программное управление процессом контактной сварки**

**Цель:** Ознакомиться с принципами построения систем программного управления процессами контактной сварки, законами изменения управляющего напряжения в зависимости от вида модулятора

**Задание:**

1. Изобразить графически и пояснить законы изменения управляющего напряжения в зависимости от вида модулятора (см. рисунок 1)

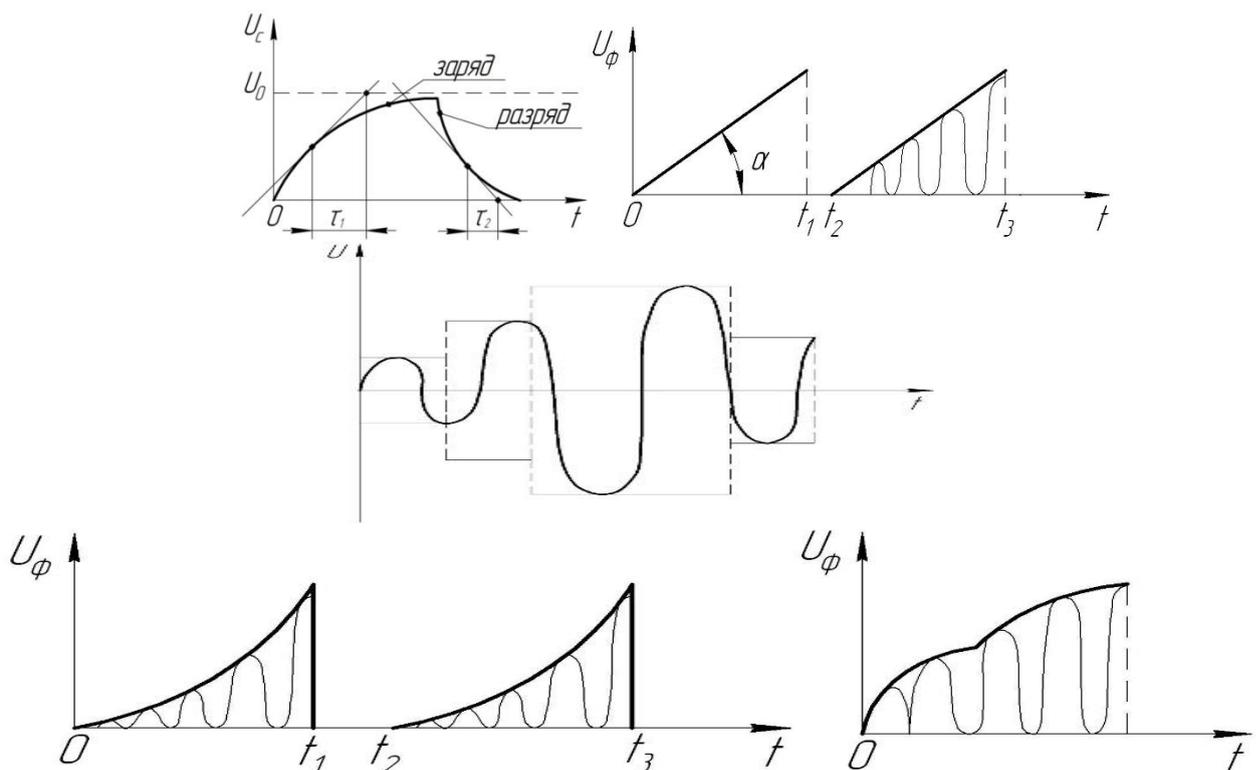


Рисунок 1 – Графики изменения управляющего напряжения

## 2. Ответить на контрольные вопросы

### Ход работы

**Основная часть.** Контактная точечная сварка характеризуется серьезным недостатком, связанным с наличием вмятин от электродов на лицевых поверхностях изделий. Величина их достигает 15...20%, а при нарушениях технологического процесса и выплесках от 30 до 40% от толщины детали. Деформации лицевых поверхностей изделий ухудшают их товарный вид и приводят к необходимости их шлифовки, покрытия пластмассой, пайки, газовой сварки, шпатлевки. Перечисленные технологические приемы повышают материальные затраты и снижают производительность труда.

Для уменьшения глубины вмятин от электродов на лицевых поверхностях изделий и устранения выплесков расплавленного металла эффективно применение контактной точечной сварки с обжатием периферийной зоны соединения кольцевым пуансоном.

**Основная методика.** Разработанная нами методика позволяет эффективно управлять процессом точечной сварки с обжатием, что выражается в обеспечении максимально жестких режимов сварки и максимальном снижении глубины вмятин на лицевых поверхностях свариваемых изделий за счет обеспечения стабилизации количества энергии, затраченной на образование сварного соединения.

Методика программного управления током в режиме реального времени рассмотрена нами на примере циклограммы процесса контактной точечной сварки с обжатием периферийной зоны соединения,

представленной на рисунке 2. Данная циклограмма может быть использована в случае, когда электродное устройство обеспечивает независимое усилие обжатия  $F_{\text{ОБЖ}}$  периферийной зоны.

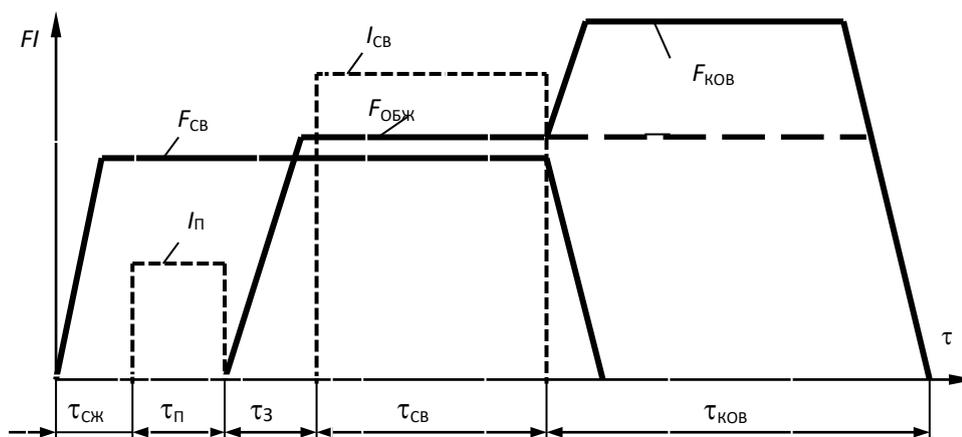


Рисунок 2 – Циклограмма процесса контактной точечной сварки с независимым обжатием периферийной зоны соединения и проковкой периферийной зоны кольцевым пуансоном

В начале цикла сварки свариваемые детали в течение некоторого времени  $t_{\text{СЖ}}$  сжимают сварочными электродами с целью образования начального контакта и стабилизации контактных сопротивлений. При сварке с дополнительным подогревом после окончания времени сжатия  $t_{\text{СЖ}}$  через детали про пускают импульс тока подогрева  $I_{\text{П}}$  в течение времени  $t_{\text{П}}$ . Усилие обжатия  $F_{\text{ОБЖ}}$  прикладывается сразу же после выключения тока  $I_{\text{П}}$ . Затем через промежуток времени задержки  $t_{\text{З}}$  включается сварочный ток  $I_{\text{СВ}}$ , который действует в течение времени  $t_{\text{СВ}}$ . Время задержки  $t_{\text{З}}$  учитывает инерционность привода сжатия и обеспечивает включение  $I_{\text{СВ}}$  сразу же после приложения усилия  $F_{\text{ОБЖ}}$ . Усилие сжатия с верхнего подвижного электрода  $F_{\text{СВ}}$  снимается одновременно с выключением сварочного тока  $I_{\text{СВ}}$  в момент образования литого ядра требуемых размеров. При этом проковка периферийной зоны осуществляется только кольцевым пуансоном, к которому прикладывается усилие  $F_{\text{КОВ}}$  в течение времени  $t_{\text{КОВ}}$ .

В качестве критерия управления процессом сварки нами выбрано сопротивление межэлектродного промежутка  $r_{\text{ЭЭ}}$ . Проведенные расчеты и результаты экспериментальных исследований показали, что нестабильность сопротивлений контактов в начале процесса сварки нельзя устранить какими-либо регулирующими устройствами.

На рисунке 3 показана временная зависимость сопротивления межэлектродного промежутка  $r_{\text{ЭЭ}}$ . На ней отмечены характерные этапы изменения сопротивления.

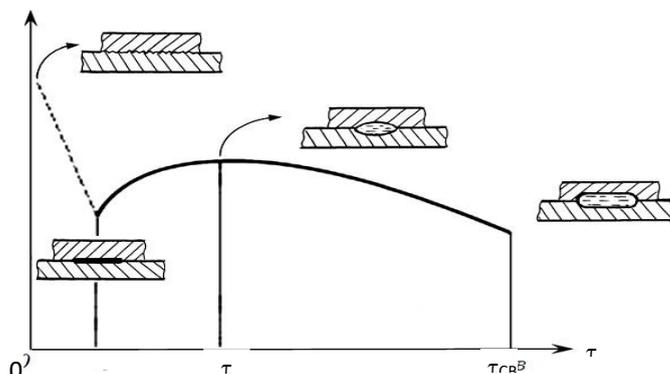


Рисунок 3. Изменение полного сопротивления контактов в процессе формирования сварной точки

Как видно, наибольшая неопределенность относится к начальному интервалу времени от  $t_0$  до  $t_1$ . В момент времени  $t_0$  сопротивление  $r_{\Sigma\Sigma}$  определяется собственным сопротивлением свариваемых деталей, микрогеометрией (шероховатостью) контактирующих поверхностей и геометрией линий электрического тока вокруг холодного контакта. В момент времени  $t_1$  в зоне контакта свариваемых деталей образуется горячий диск из смятых и расплавленных микро-выступов, поэтому сопротивление  $r_{\Sigma\Sigma}$  резко снижается и определяется уже в основном собственным сопротивлением деталей, сопротивлением горячего диска и геометрией линий тока у него. К моменту времени  $t_2$  диск превращается в расплавленное ядро, металл быстро нагревается, поэтому сопротивление  $r_{\Sigma\Sigma}$  растет. По мере дальнейшего протекания тока растет площадь контакта, и ко времени  $t_{\text{св}}$  формируется расплавленное ядро требуемого диаметра и глубины проплавления. Наибольшая стабильность сопротивления характерна именно для момента выключения сварочного тока  $t_{\text{св}}$ , поэтому это значение обычно принимается за расчетное.

Сущность способа управления заключается в следующем. При пропуске тока подогрева можно добиться определенной стабилизации сопротивления  $r_{\Sigma\Sigma}$  в момент времени  $t_1$ , на которое затем уже можно ориентироваться при расчете основного сварочного тока по закону Джоуля – Ленца:

где  $Q_{\Sigma\Sigma}$  – общее количество энергии, затраченной на образование сварного соединения;  $m_r$  – коэффициент, учитывающий изменение сопротивления  $r_{\Sigma\Sigma}$  в процессе сварки для различных свариваемых материалов. Согласно известной методике  $Q_{\Sigma\Sigma}$  определяется по уравнению теплового баланса:

$$Q_{\Sigma\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2)$$

где  $Q_1$  – энергия, затрачиваемая на нагрев до температуры плавления  $T_{\text{пл}}$  столбика металла высотой  $2d$  и площадью основания  $S = \pi d^2/4$ , где  $d_k$  – диаметр контакта верхнего подвижного электрода с деталью,  $d$  – толщина свариваемых деталей;  $Q_2$  – теплота, расходуемая на нагрев металла в виде кольца, окружающего ядро, среднюю температуру которого

принимают равной  $0,25T_{\text{пл}}$ ;  $Q_3$  – потери теплоты в электроды из бронзы, которые учитываются нагревом условного цилиндра металла до средней температуры  $T_{\text{пл}}/8$ .

Ток подогрева величиной 30...50% от номинального пропускается в течение 2...3 периодов сетевого напряжения. Этого времени достаточно, чтобы стабилизировать начальное контактное сопротивление. Применение дополнительного импульса тока подогрева  $I_{\text{п}}$  также определяет вероятный путь протекания сварочного тока, так как при его пропускании практически исчезает сопротивление контакта деталь – деталь в области формирования будущего литого ядра. В связи с этим при приложении усилия обжатия  $F_{\text{обж}}$  и резком увеличении площади контакта деталь – деталь плотность сварочного тока изменяется незначительно.

При дальнейшем изменении сопротивления  $r_{\text{ээ}}$  величина тока  $I_{\text{св}}$  корректируется по предложенной формуле таким образом, чтобы за время сварки  $t_{\text{св}}$  было введено требуемое количество энергии  $Q_{\text{ээ}}$ . Время сварки  $t_{\text{св}}$  выбирается из разработанной базы данных в зависимости от толщины и марки материала свариваемых деталей. При этом задаются максимально жесткие режимы сварки, т.е.  $t_{\text{св}}$  – минимальное,  $I_{\text{св}}$  – максимальное с учетом отсутствия выплесков. Обжатие периферийной зоны соединения способствует применению более жестких режимов сварки, чем при сварке без обжатия. При этом время

сварки  $t_{\text{св}}$  можно уменьшить на 20...30%, что неизбежно требует увеличения  $F_{\text{св}}$  и  $I_{\text{св}}$ .

Усилие  $F_{\text{св}}$  на стадии плавления при обычной точечной сварке должно быть наибольшим, так как оно контролирует устойчивость процесса против образования выплеска. При использовании предложенной циклограммы усилие  $F_{\text{обж}}$  препятствует возникновению пластического течения разогретого металла из области контакта деталь в направлении периферии сварной точки, снижает вероятность образования выплеска и уменьшает необходимое для качественной сварки усилие сжатия токоподводящих электродов.

Требуемое сварочное усилие  $F_{\text{св}}$  можно также уменьшить при применении дополнительного импульса тока подогрева  $I_{\text{п}}$  (см. рисунок 3). Предварительный подогрев металла в совокупности с обжатием периферийной зоны соединения позволяет практически исключить вероятность появления выплесков и снизить усилие сжатия электродов  $F_{\text{св}}$  за счет повышения пластичности свариваемых металлов.

При этом усилие  $F_{\text{св}}$  определяется из соотношения:

$$F_{\text{св}} = a \cdot F_{\text{св}}', \quad (3)$$

где  $F'$  – усилие сжатия электродов при сварке без тока подогрева;  
 $a$  – коэффициент, учитывающий СВ снижение усилия  $F_{\text{св}}'$  в связи с применением дополнительного тока подогрева,  $a = 0,85...0,9$ .

Время задержки  $t_3$  включения сварочного тока  $I_{\text{св}}$  после приложения  $F_{\text{обж}}$  для различных толщин металлов составляет 0,06...0,08с.

Длительность выдержки ковочного усилия  $t_{\text{КОВ}}$  также оказывает влияние на прочность сварных соединений. Если операция проковки осуществляется посредством приложения  $F_{\text{КОВ}}$  через электроды сварочной машины, то выдержке ковочного усилия будет сопутствовать отвод тепла от точки в бронзовые вода-охлаждаемые электроды. При приложении  $F_{\text{КОВ}}$  к периферийной зоне и снятии усилия с электродов остывание точки замедляется. С точки зрения затрат времени, а также исходя из эффективности применяемого механического воздействия ковочного усилия на циклическую прочность соединений нами рекомендуется не снимать ковочного усилия до момента достижения в зоне пластического пояска сварной точки температуры, равной 200...300°C.

На основании анализа расчетных данных для определения среднего значения  $t_{\text{КОВ}}$  при проковке периферийной зоны для различных толщин  $d$  свариваемых деталей нами была получена следующая зависимость:

$$t_{\text{КОВ}} = 0,192 + 0,158d - 0,212d + 0,0178d^2 \quad (4)$$

Для реализации предложенного способа управления нами использовалась установка, приведенная на рисунке 4.

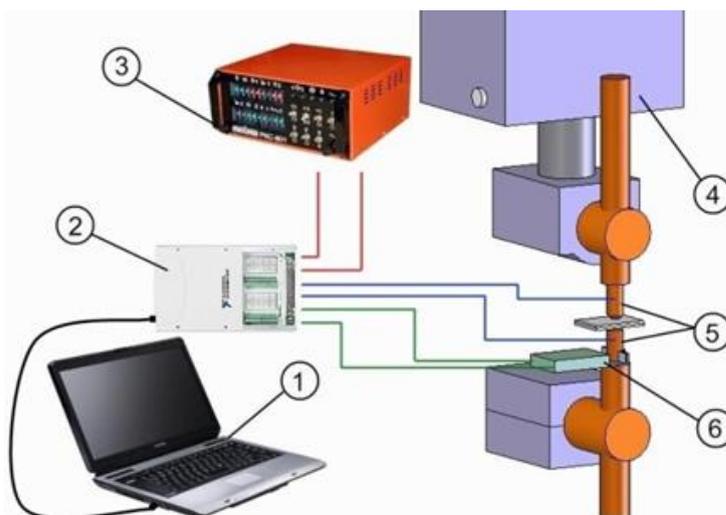


Рисунок 4 – Установка для автоматического управления процессом контактной точечной сварки: 1 – ЭВМ; 2 – универсальное устройство сбора данных National Instruments USB-6251; 3 – регулятор цикла сварки РКС-801; 4 – машина для контактной сварки МТ-3201; 5 – датчик напряжения электрод-электрод; 6 – датчик тока с источником питания

Сварка производится на однофазной машине МТ-3201 с регулятором цикла сварки РКС-801 на режимах, установленных в ходе теоретических исследований.

Широко используемый на производстве регулятор РКС-801 предназначен для работы совместно с различными системами автоматического регулирования и управления качеством сварных соединений. Данная возможность реализуется через введенный в состав регулятора разъем РШАВКУ-14, связанный с блоком изменения сварочного

тока и блоком выключения сварочного цикла. Уровень управляющего внешнего сигнала регулятора  $0...10\text{В}$  при токе потребления до  $15\text{ мА}$ , что позволяет изменять сварочный ток от номинального  $I_{\text{H}}$  до  $0,5 I_{\text{H}}$ .

Для согласования сигналов устройства сбора данных и регулятора разработан усилитель.

Для регистрации величины сварочного тока используется датчик тока ДТПХ-32000 на основе эффекта Холла с пределами измерения значения тока  $0...32\text{ кА}$ , погрешностью измерения в диапазоне рабочих температур не более  $5\%$ .

Устройство NI USB-6251 имеет 8 каналов аналоговых входов, 2 канала аналоговых выходов, частоту оцифровки  $48\text{ кГц}$ , максимальное входное напряжение  $\pm 20\text{ В}$ . Устройство сбора данных NI USB-6251 присоединяется к компьютеру посредством интерфейса full-speed USB.

Наравне с оборудованием, т.е. аппаратным обеспечением, неотъемлемой и важнейшей структурной единицей системы программного управления является программное обеспечение, включающее в себя программную среду LABVIEW, необходимую для создания и использования виртуальных приборов и драйверы DAQmx, позволяющие работать LABVIEW с устройствами сбора данных различных производителей. LabVIEW представляет собой среду графического программирования, которая широко используется в промышленности, образовании и научно-исследовательских лабораториях в качестве стандартного инструмента для сбора данных и управления приборами. Концепция LabVIEW сильно отличается от последовательной природы традиционных языков программирования, предоставляя разработчику графическую оболочку, которая включает в себя весь набор инструментов, необходимых для сбора данных, их анализа и представления полученных результатов.

С применением устройства NI USB-6251 в программной среде LabVIEW была разработана программа управления процессом контактной точечной сварки с воздействием на регулятор цикла сварки. Внешний вид программы приведен на рисунке 4.

Модуль «DAQ Assistant» позволяет считывать данные с аналоговых входов AI0 и AI1, подключенных к датчикам сварочного тока и напряжения между электродами. Для этого необходимо выбрать номера входных каналов, задать частоту оцифровки, диапазоны входных напряжений и количество точек (samples) записи. На основании проведенной тарировки датчика тока блоком «К тока» производится масштабирование величины сварочного тока.

Блоки «RMS» осуществляют выделение действующих значений напряжения электрод-электрод  $U_{\text{ЭЭ}}$  и сварочного тока  $I_{\text{СВ}}$  и с помощью блока деления осуществляется расчет сопротивления электрод-электрод  $r_{\text{ЭЭ}}$ . Значения  $I_{\text{СВ}}$  и  $r_{\text{ЭЭ}}$  отображаются в виде графиков.

Блок «Formula2» на основании введенных значений  $Q_{\text{ЭЭ}}$ ,  $m_{\text{r}}$ ,  $t_{\text{СВ}}$  производит вычисление сварочного тока для следующего полупериода питающего напряжения и с помощью блока «Formula» осуществляется формирование напряжения управления током.

Модуль «DAQ Assistant2» через аналоговый выход AO1 передает сигнал управления сварочным током на регулятор цикла сварки РКС-801, где формируется значение позиции «нагрев».

После формирования сигнала управления LabVIEW высвобождает ресурсы для задач операционной системы, что позволяет работать в режиме реального времени.

Возможна запись всех параметров процесса в файл с помощью блока «Write LabVIEW Measurement File».

Перед сваркой каждого типоразмера изделий из разработанной таблицы параметров выбираются значения (см. рис. 5):  $F_{CB}$ ,  $F_{OBJ}$ ,  $I_{CB}$ ,  $I_{П}$ ,  $\tau_{СЖ}$ ,  $\tau_{П}$ ,  $\tau_{З}$ ,  $t_{CB}$ ,  $\tau_{КОВ}$ . Данные позиции выставляются на манометрах и регуляторе цикла сварки.

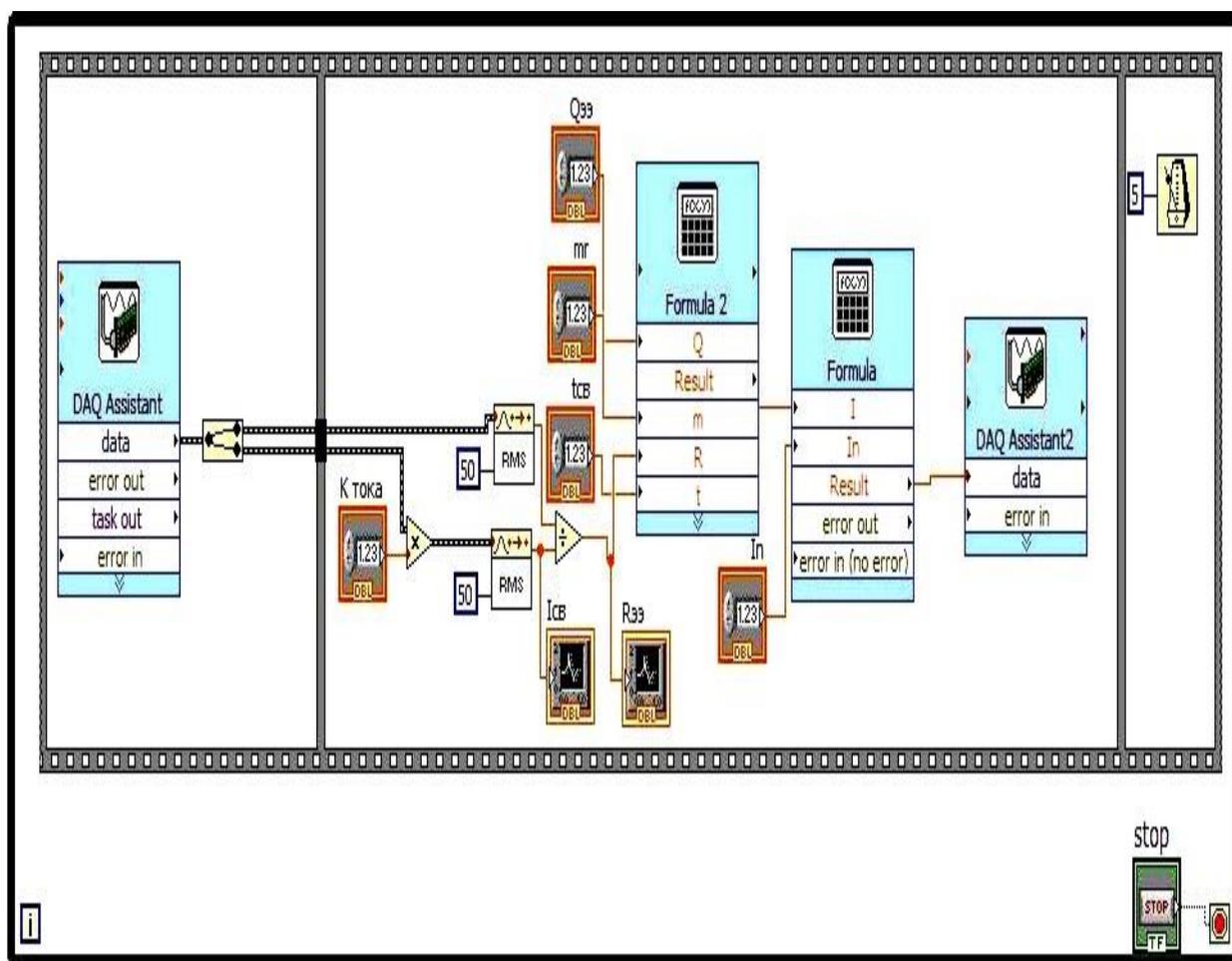


Рисунок 5 – Блок-диаграмма управляющей программы

Системой автоматического управления на основании сигналов датчика сварочного тока и напряжения электрод-электрод производится вычисление значения сопротивления межэлектродного промежутка  $r_{ЭЭ}$ . По истечении импульса подогрева текущее значение  $r_{ЭЭ}$  в совокупности с выбираемыми из таблицы и задающимися программой значениями  $Q_{ЭЭ}$ ,  $m_r$ ,  $t_{CB}$  позволяет программной среде рассчитать первоначальное значение напряжения управления сварочным током. Далее в течение каждого полупериода

сетевого напряжения в зависимости от значений измеряемых параметров напряжение управления автоматически корректируется в целях обеспечения требуемого значения энергии  $Q_{\text{ЭЭ}}$ .

**Заключение.** В результате проведенной работы получены следующие результаты:

1. разработана методика управления процессом контактной точечной сварки с воздействием на регулятор цикла сварки РКС-801 применительно к циклограмме с обжатием периферийной зоны соединения кольцевым пуансоном;

2. разработана программа управления эпюрой сварочного тока в программной среде Lab VIEW с применением системы сбора данных NI USB-6251 в режиме реального времени;

3. представленная методика позволяет эффективно управлять процессом точечной сварки с обжатием, что выражается в обеспечении максимально жестких режимов сварки и максимальном снижении глубины вмятин на лицевых поверхностях свариваемых изделий за счет обеспечения стабилизации энергии, затраченной на образование сварного соединения;

4. применение предварительного импульса тока подогрева позволяет снизить требуемое усилие сжатия токоподводящих электродов при сварке и обеспечить стабилизацию начального контактного сопротивления, используемого для автоматической настройки величины сварочного тока.

### **Контрольные вопросы**

1. Общая характеристика входных, выходных параметров сварочного процесса как объекта автоматизации?

2. Понятия управляемости и наблюдаемости многомерного линейного объекта, заданного системой уравнений первого порядка, в векторной форме записи?