

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.791.03, 621.314.2, 621.316.727

© Поднебенная С.К.¹, Бурлака В.В.², Гулаков С.В.³

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ МАШИНЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

В статье рассмотрены существующие способы стабилизации тепловыделения при контактной сварке, реализуемые в тиристорных источниках питания, достоинства и недостатки последних. Разработана система управления преобразователем, осуществляющая контроль энергии, выделяемой в сварочном контакте, причем электрические измерения проводятся только в первичной цепи трансформатора контактной машины. При этом учитываются реальные параметры трансформатора и сварочной цепи. Предложенная система позволяет обеспечить управление сварочным током, избежать влияния отклонений и колебаний питающего напряжения, изменения полного сопротивления сварочной цепи, вызванного внесением ферромагнитных масс в нее, изменения температуры во время сварочного процесса, и тем самым улучшить качество сварных соединений.

Ключевые слова: источник питания, машина контактной сварки, автоматизированная система управления, энергия.

Поднебенна С.К., Бурлака В.В., Гулаков С.В. Автоматизована система управління джерелом живлення машини контактної зварювання. У статті розглянуті існуючі способи стабілізації тепловиділення при контактному зварюванні, реалізовані в тиристорних джерелах живлення, достоїнства і недоліки останніх. Розроблено систему управління перетворювачем, яка здійснює контроль енергії, що виділяється в зварювальному контакті, причому виміри проводяться тільки у первинному колі трансформатора контактної машини. При цьому враховуються реальні параметри трансформатора і зварювального кола. Запропонована система управління дозволяє забезпечити управління зварювальним струмом, уникнути впливу відхилень та коливань напруги живлення, зміни повного опору зварювального кола, викликаного внесенням феромагнітних мас в нього, зміни температури під час зварювального процесу, і тим самим поліпшити якість зварних з'єднань.

Ключові слова: джерело живлення, машина контактної зварювання, автоматизована система управління, енергія.

S.K. Podnebennaya, V.V. Burlaka, S.V. Gulakov. Control system of power supply for resistance welding machine. This article describes the existing methods of heat energy stabilizing, which are realized in thyristor power supplies for resistance welding machines. The advantages and features of thyristor power supplies have been described. A control system of power supply for resistance welding machine with stabilization of heat energy in a welding spot has been developed. Measurements are performed in primary winding of a welding transformer. Weld spot heating energy is calculated as the difference between the energy, consumed from the mains, and the energy losses in the primary and secondary circuits of the welding transformer as well as the energy losses in the

¹ канд. техн. наук, доцент, докторант ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, podsvet@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, докторант ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, VladimirV.Burlaka@gmail.com

³ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, gulakov_s_v@pstu.edu

transformer core. Algorithms of digital signal processing of the developed control system are described in the article. All measurements and calculations are performed automatically in real-time. Input signals to the control system are: transformer primary voltage and current, temperature of the welding circuit. The designed control system ensures control of the welding heat energy and is not influenced by the supply voltage and impedance changes caused by insertion of the ferromagnetic mass in the welding circuit, the temperature change during the welding process. The developed control system for resistance welding machine makes it possible to improve the quality of welded joints, increase the efficiency of the resistance welding machine.

Keywords: *power supply, resistance welding machines, automatic control system, energy.*

Постановка проблеми. Качество соединений при контактной сварке зависит от стабильности тепловыделения в расплавленном ядре сварной точки, на которую имеет влияние целый ряд факторов. К таким факторам относятся отклонения, колебания, несинусоидальность напряжения питания, наличие окислов, загрязнений в сварном соединении, изменение полного сопротивления сварочной (вторичной) цепи за счет внесения в нее ферромагнитных масс, износ, окисление, изменение рабочей части электродов и т. д. [1]. Стабилизация тепловыделения в сварном контакте приведет к стабилизации процесса сварки, и, соответственно, к обеспечению качества сварного соединения.

Анализ последних исследований и публикаций. В большинстве находящихся в эксплуатации контактных машин в настоящее время не производится стабилизация тепловыделения в зоне контакта. Однако данная проблема известна, и еще с 70-х годов прошлого века предпринимаются попытки ее решения. В работах [1-7] описаны возможные способы стабилизации тепловыделения при контактной сварке. При этом наиболее распространенными являются системы управления (СУ), поддерживающие заданную энергию в сварочном контакте.

Основными недостатками существующих систем стабилизации тепловыделения в сварочном контакте являются:

- необходимость измерения сварочного (вторичного) тока и напряжения в сварочном контакте [2, 3, 6, 7], что вызывает ряд сложностей;
- при измерениях в первичной цепи контролируемые параметры, например, коэффициент мощности, определяются по открытию углов тиристоров [1, 4, 5], что снижает точность измерений, а наличие громоздких эмпирических формул снижает точность;
- в большинстве случаев – невозможность учета изменения полного сопротивления сварочной цепи, в том числе вызванного внесением в нее ферромагнитных масс.

Цель статьи заключается в создании автоматизированной системы управления источником питания машины контактной сварки (МКС), что позволит обеспечить заданное качество сварочного процесса путем стабилизации тепловыделения в сварочном контакте при наличии внешних возмущающих воздействий.

Изложение основного материала. Энергия, которая выделяется в зоне сварки, в общем случае, рассчитывается как:

$$W_{cv} = \int u_k(t) \cdot i_2(t) dt, \quad (1)$$

где $u_k(t)$ – мгновенное напряжение на сварочном контакте (рис. 1, а), В; $i_2(t)$ – мгновенный сварочный ток, А.

Такое определение обуславливает необходимость измерения напряжения на сварочном контакте $u_k(t)$ (рис. 1, а), что является достаточно сложным, и сварочного тока, для чего обычно используется датчик на основе катушки Роговского, стоимость которого на порядок выше датчиков, которые можно установить в первичную цепь (например, трансформаторов тока).

Таким образом, возникает задача разработки способа стабилизации тепловыделения в сварочном контакте, позволяющего стабилизировать сварочный процесс, используя измерения только в первичной цепи сварочного трансформатора.

В соответствии с законом сохранения энергии, можно записать выражение для нахождения энергии, которая выделяется в зоне сварки:

$$W_{cv} = W_m - \Delta W_1 - \Delta W_{нам} - \Delta W_2, \quad (2)$$

где W_m – энергия, потребляемая трансформатором, Дж; ΔW_1 – потери энергии в первичной цепи трансформатора, Дж; $\Delta W_{нам}$ – потери энергии в цепи намагничивания трансформатора (потери в стали), Дж; ΔW_2 – энергия, выделяемая в сварочной цепи за исключением энергии, выделяемой в зоне контакта, Дж.

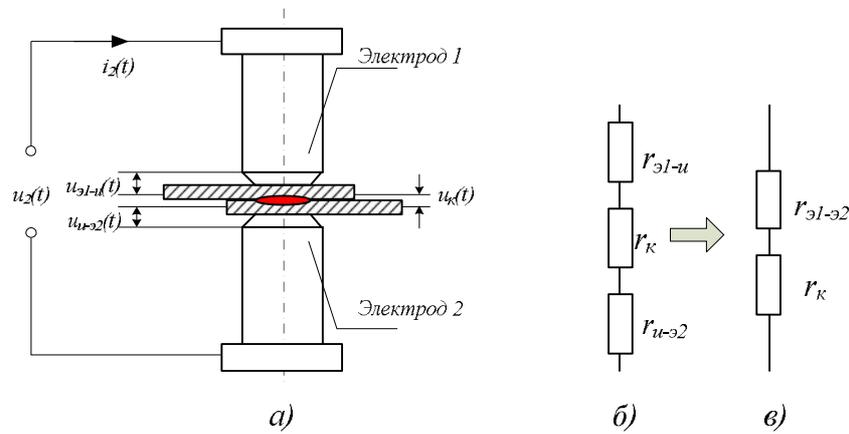


Рис. 1 – Структурная схема сварочного контура

Для расчета энергии, которая выделяется в зоне сварки, необходимо определять параметры трансформатора и сварочной цепи в режиме реального времени, поскольку они могут с течением времени изменяться в зависимости от многих факторов, например, от температуры сварочного контура, от влияния внесенных в сварочный контур ферромагнитных масс, от износа электродов, и т. д.

Примем допущение, в соответствии с которым суммарное сопротивление участков «электрод 1 – изделие» и «изделие – электрод 2» равно сопротивлению участка «электрод 1 – электрод 2», полученное при смыкании электродов без изделия (рис. 1, б, в). Данное допущение не противоречит описанному в [8] способу измерения сопротивления сварочного контакта.

На рис. 2 приведена схема замещения трансформатора, ко вторичной обмотке которого подключена сварочная цепь. Сопротивление первичной цепи представлено активной r_1 и реактивной x_1 составляющими. Сопротивление цепи намагничивания также представлено активной r_μ и реактивной x_μ составляющими. Сопротивление вторичной цепи, приведенное к первичной обмотке, состоит из активной компоненты $r'_2 = r'_{2T} + r'_{св}$ и включает в себя сопротивление вторичной обмотки трансформатора r'_{2T} и сопротивление сварочной цепи за исключением сопротивления изделия (в зоне контакта) $r'_{св}$; и реактивной компоненты x'_2 . Сопротивление изделия (в зоне контакта) представлено приведенным к первичной обмотке сопротивлением $r'_к$.

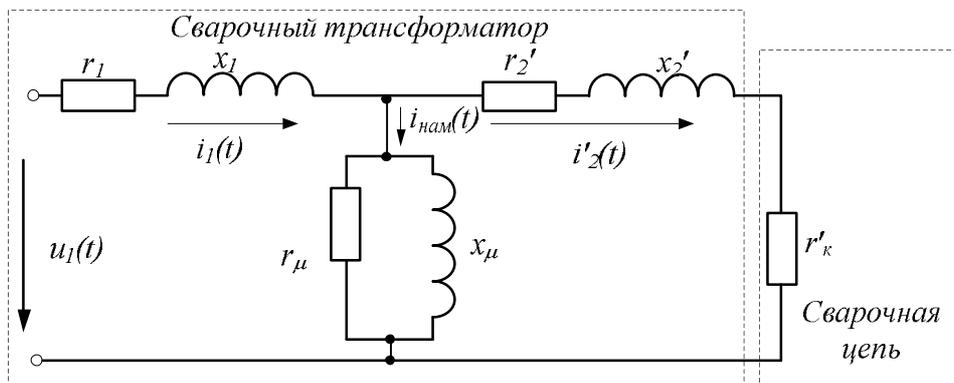


Рис. 2 – Схема замещения сварочного трансформатора

Энергия, потребляемая трансформатором, может быть найдена по выражению:

$$W_m = \int u_1(t) i_1(t) dt, \quad (3)$$

где $u_1(t)$ – мгновенное первичное напряжение трансформатора, В; $i_1(t)$ – мгновенный ток первичной цепи трансформатора, А.

Потери энергии в первичной цепи трансформатора могут быть вычислены в соответствии со следующим выражением:

$$\Delta W_1 = \int i_1^2(t) r_1 dt. \quad (4)$$

Потери энергии в цепи намагничивания трансформатора (потери в стали) рассчитываются с учетом падения напряжения на сопротивлении первичной цепи:

$$\Delta W_{нам} = \int (u_1(t) - i_1(t) r_1) \cdot i_{нам}(t) dt, \quad (5)$$

где $i_{нам}(t)$ – ток намагничивания трансформатора, А.

Потери энергии во вторичной цепи трансформатора, включая потери в сварочном контуре (за исключением сопротивления изделия), можно найти как:

$$\Delta W_2 = \int i_2^2(t) \cdot (r'_{2T} + r'_{св}) dt, \quad (6)$$

где $i_2(t) = i_1(t) - i_{нам}(t)$ – вторичный ток трансформатора (сварочный ток), приведенный к первичной обмотке; $r'_{2T} + r'_{св}$ – суммарное сопротивление сварочной цепи (без сопротивления изделия), приведенное к первичной обмотке.

Видно, что для определения энергии, выделяемой в сварочном контакте, достаточно осуществлять измерения тока и напряжения в первичной цепи сварочного трансформатора.

В процессе сварки активное сопротивление элементов сварочной цепи изменяется под влиянием температуры. Это влияние можно учесть, осуществляя измерение температуры элементов сварочной цепи и коррекцию их сопротивления с учетом температурного коэффициента по выражению:

$$(r'_{2T} + r'_{св})_{скор} = (r'_{2T} + r'_{св}) \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0)), \quad (7)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, для меди $\alpha_{св} = 4,3 \cdot 10^{-3}, K^{-1}$, T_0 – начальная температура, при которой состоялось измерение активного сопротивления сварочной цепи, К; T – измеряемая температура, К.

На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма, позволяющего обеспечить стабилизацию тепловыделения в сварочном контакте по величине заданной энергии. Контролируемыми сигналами являются ток и напряжение первичной цепи трансформатора и температура элементов сварочной цепи. Данный алгоритм реализован в блоке управления, и может быть интегрирован в системы управления источников питания машин контактной сварки, позволяющих формировать выходное напряжение с заданными параметрами, например, с тиристорным прерывателем в первичной цепи.

При подаче питания на контактную машину оператором устанавливаются параметры сварки, которые зависят от вида и толщины изделия: заданные энергию и максимальное время сварочного цикла. После этого оператор нажатием педали включает машину. Проверка нажатия педали осуществляется автоматически после каждого цикла сварки (после каждой точки).

Далее система автоматически переходит в режим подготовки к сварке. Если нажата кнопка «Настройка», система переходит в одноименный режим. В режиме настройки осуществляется исследование трансформатора при подаче на него постоянного напряжения, а также проведение опытов холостого хода и короткого замыкания. Данные исследования позволяют осуществлять контроль параметров трансформатора и сварочной цепи в режиме реального времени. Весь процесс настройки проходит в автоматическом режиме и занимает не более 10 секунд.

Рассмотрим последовательность операций, автоматически выполняемых в режиме настройки. Режим «Исследование трансформатора при подаче на него постоянного напряжения» служит для определения активного сопротивления первичной обмотки трансформатора. Для этого на первичную обмотку трансформатора подается такое постоянное напряжение U_{DC} , чтобы ток I_{DC} был равен действующему значению номинального тока трансформатора $I_{ном}$.

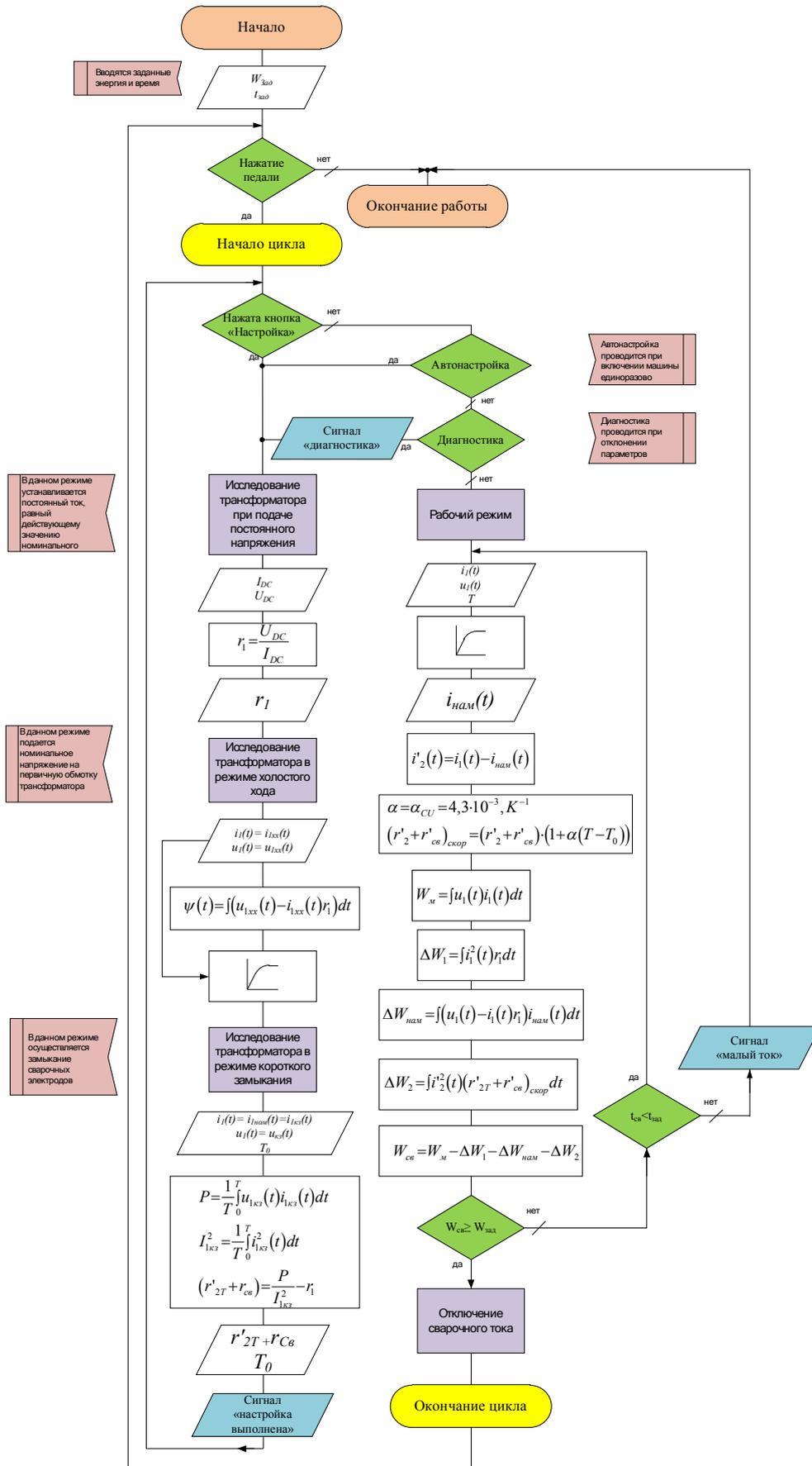


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма управления сварочным процессом

В течение этого опыта электроды машины контактной сварки не соединяются. Если источник питания МКС состоит из тиристорного прерывателя, через который к сети подключается сварочный трансформатор, СУ устанавливает углы открытия тиристорov так, чтобы в выходном напряжении преобразователя присутствовала постоянная составляющая. При этом осуществляется измерение тока и напряжения в первичной цепи. Сигналы поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), после чего производится выделение постоянной составляющей с помощью программного фильтра нижних частот (ФНЧ), частота среза которого выбрана ниже частоты сети. Частота дискретизации АЦП выбирается не меньше двукратной максимальной частоты, присутствующей в спектре входного сигнала, с другой стороны она ограничивается возможностями микроконтроллера.

СУ производит расчет активного сопротивления первичной обмотки трансформатора, которое будет в дальнейшем использоваться в расчетах. Алгоритм цифровой обработки сигнала для данного режима приведен на рис. 4. Здесь и далее n – номер отсчета, T_s – период дискретизации.

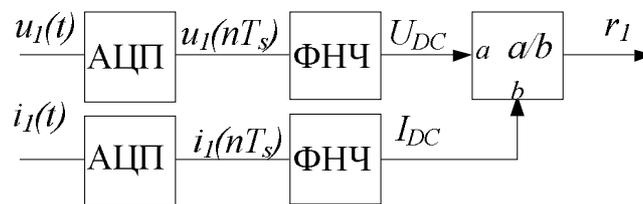


Рис. 4 – Система цифровой обработки сигнала в режиме «Исследование трансформатора при подаче на него постоянного напряжения»

Следующий опыт – «Исследование трансформатора в режиме холостого хода» – выполняется для получения его вебер-амперной характеристики. В режиме холостого хода СУ подает на трансформатор с выхода преобразователя напряжение, которое измеряется в течение опыта. При этом электроды МКС не соединяются.

СУ осуществляет снятие вебер-амперной характеристики трансформатора (характеристики намагничивания). Алгоритм цифровой обработки сигнала для данного режима приведен на рис. 5.

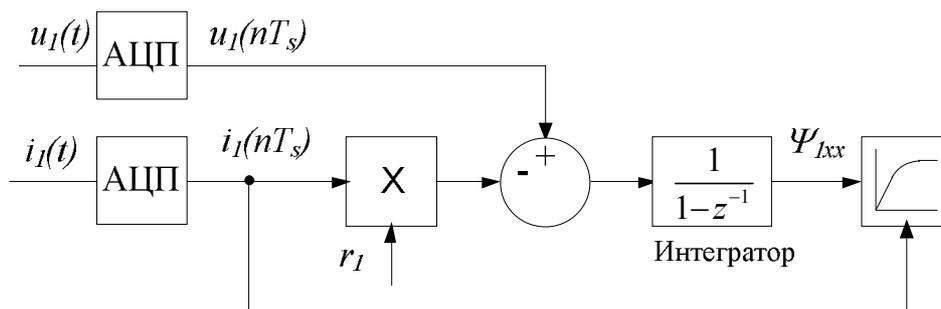


Рис. 5 – Система цифровой обработки сигнала в режиме «Исследование трансформатора в режиме холостого хода»

Для определения сопротивления сварочной цепи СУ переходит в режим «Исследование трансформатора в режиме короткого замыкания», подавая на трансформатор такое напряжение, чтобы первичный ток был равен номинальному значению, в течение которого фиксирует напряжение и ток первичной цепи. При этом СУ подает сигнал на замыкание сварочных электродов.

По результатам измерений в СУ рассчитываются активная мощность и приведенное к первичной обмотке активное сопротивление сварочной цепи, которое включает в себя сопротивление вторичной обмотки трансформатора, сопротивление сварочной цепи и сопротивление участка «электрод-электрод» за исключением сопротивления первичной цепи, рассчитанного ранее. Алгоритм цифровой обработки сигнала для данного режима приведен на рис. 6.

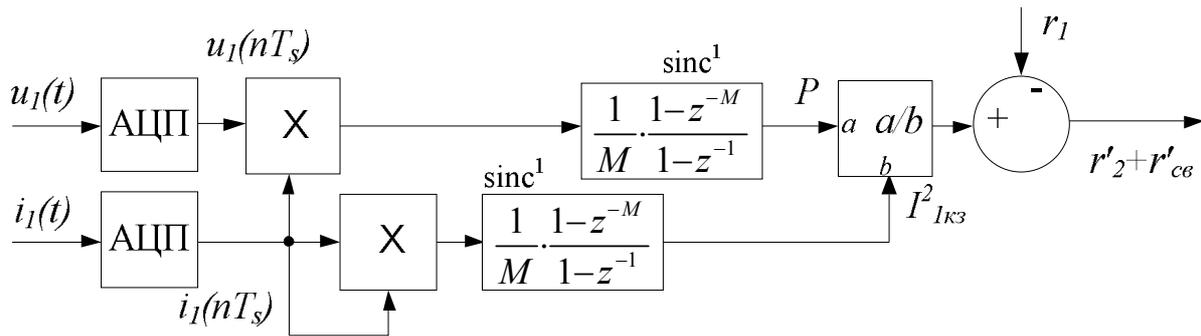


Рис. 6 – Система цифровой обработки сигнала в режиме «Исследование трансформатора в режиме короткого замыкания»

Усреднение входных отсчетов для нахождения активной мощности и квадрата действующего значения тока осуществляется посредством программного sinc-фильтра первого порядка, осуществляющего операцию нахождения среднего арифметического в окне шириной M отсчетов.

Также в данном режиме СУ осуществляет измерение начальной температуры токоподводящих элементов сварочной цепи T_0 .

По окончании режима настроек СУ выдает сигнал «Настройка выполнена», после чего осуществляется проверка условий «Автонастройка» и «Диагностика».

Условие «Автонастройка» будет истинно при подаче питания в момент включения машины. При последующих циклах сварки автонастройка не проводится. Если условие «Автонастройка» истинно, система переходит в режим настройки, как уже было описано выше.

Условие «Диагностика» будет истинно в том случае, если СУ регистрирует значительное отклонение параметров трансформатора и сварочной цепи. При этом выдается сигнал «Диагностика», и система переходит в режим настройки, как было описано выше.

Если диагностика не требуется, СУ автоматически переходит в рабочий режим, во время которого постоянно происходит измерение первичных напряжения и тока и температуры сварочной цепи.

Во время работы машины контактной сварки СУ осуществляет коррекцию активного сопротивления сварочной цепи с учетом температурного коэффициента сопротивления.

В режиме реального времени в течение сварочного цикла СУ контролирует величину токосцепления и по характеристике намагничивания определяет ток намагничивания $i_{нам}(t)$, после чего определяет величину вторичного тока, приведенного к первичной цепи $i'_2(t)$.

Далее СУ осуществляет в реальном времени расчет энергии, потребляемой трансформатором от преобразователя в течение формирования сварной точки. Система цифровой обработки сигналов для расчета энергии приведена на рис. 7.

Отключение сварочного тока осуществляется при достижении рассчитанной энергией заданной величины, в противном случае подача сварочного тока продолжается. При этом также осуществляется контроль времени подачи сварочного тока. При превышении им заданной величины выдается сигнал «малый ток», и работа сварочной машины прекращается. Наиболее вероятной причиной уменьшения сварочного тока является увеличение сопротивления электродов, вызванное ухудшением состояния их поверхностей. При появлении сигнала «малый ток» оператор выполняет ревизию электродов, после чего осуществляется повторное включение сварочной машины и работа возобновляется в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 3.

Рассмотренная СУ нечувствительна к изменению реактивного сопротивления, вызванному внесением ферромагнитных масс в сварочный контур, поскольку расчет энергии, требуемой для сварочного процесса, осуществляется по балансу активной мощности.

Экспериментальная проверка рассмотренного способа была проведена в лабораторных условиях. На рис. 8 приведена упрощенная структурная схема подключения исследуемой машины контактной сварки МТ-810 к сети с интегрированным в СУ источником питания блоком управления.

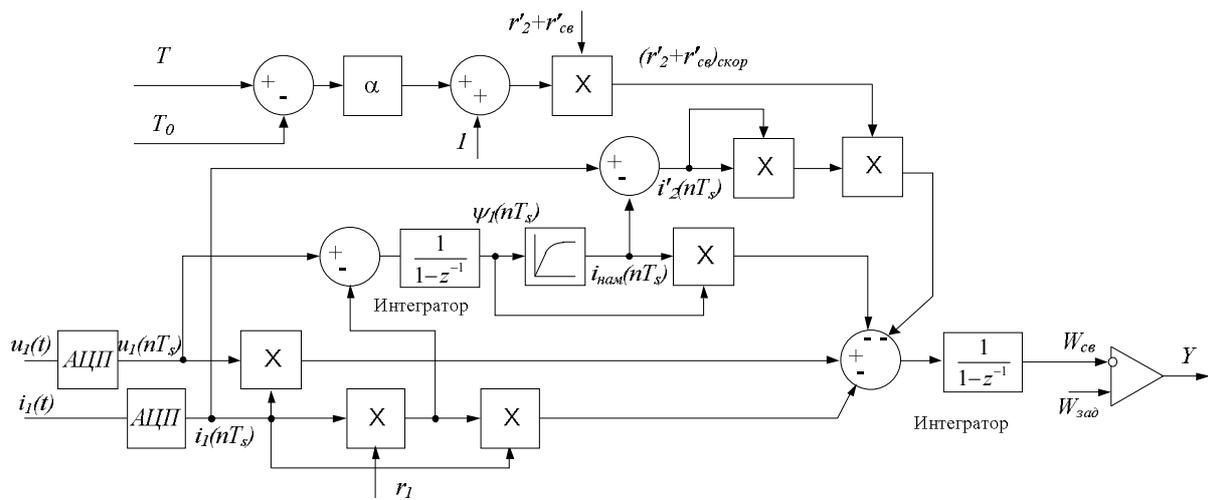


Рис. 7 – Система цифровой обработки сигнала в рабочем режиме

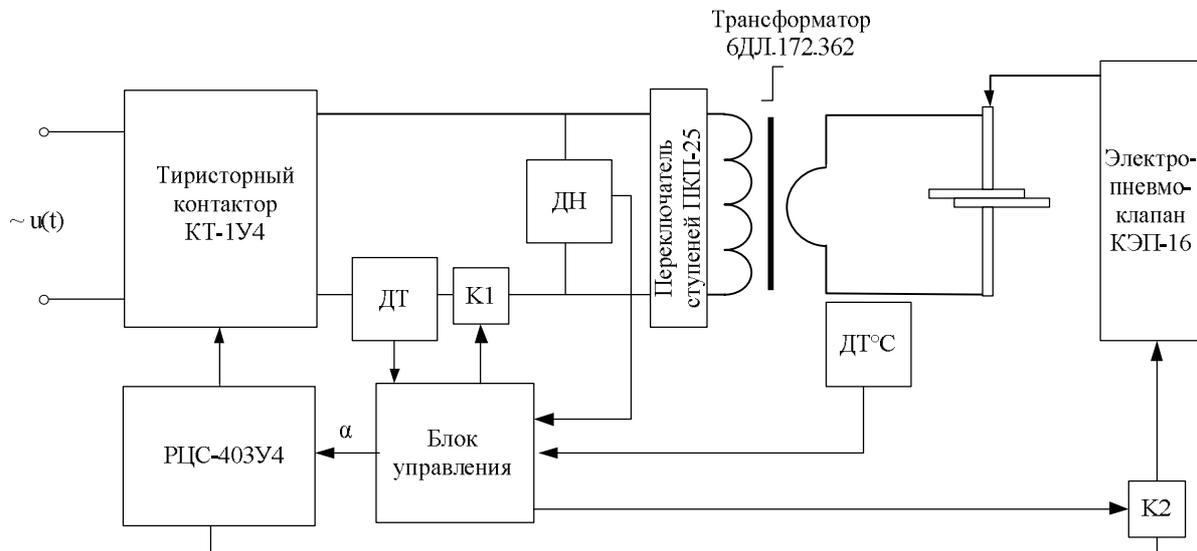


Рис. 8 – Структурная схема подключения исследуемой машины контактной сварки к сети

Исследуемый источник питания машины контактной сварки МТ-810 состоит из сварочного трансформатора, подключаемого к электрической сети посредством тиристорного контактора КТ-1У4, с переключателем ступеней ПКП-25. Управление сварочным процессом осуществляется с помощью регулятора цикла сварки РЦС-403У4.

В существующую систему интегрирован разработанный блок управления, выполненный на однокристальном микроконтроллере STM32F100C6T6B. Частота дискретизации АЦП – 20 кГц на канал. Измерение токов в первичной цепи трансформатора осуществлено с помощью токовых клещей МТ87, в которых реализована активная компенсация сопротивлений вторичных обмоток трансформатора тока, что позволяет на порядок снизить фазовую погрешность при 50 Гц [9]. Измерение напряжения выполнено с помощью резистивного делителя напряжения. Измерение температуры осуществлялось при помощи цифрового датчика температуры DS18B20.

На рис. 9 изображена экспериментальная установка с разработанным блоком управления в момент снятия характеристики намагничивания трансформатора в режиме холостого хода. При этом осуществляется передача данных на ПК. Полученная при этом вебер-амперная характеристика трансформатора приведена на рис. 10.



Рис. 9 – Экспериментальная установка

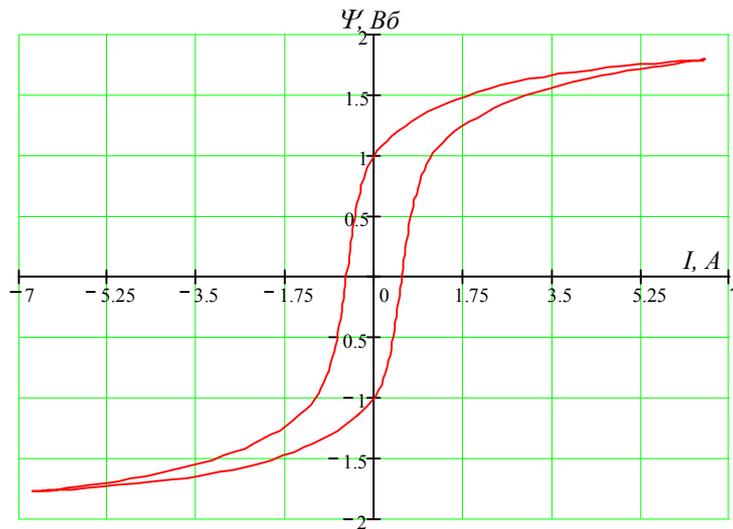


Рис. 10 – Характеристика намагничивания трансформатора

Выходным сигналом блока управления в рабочем режиме является сигнал на отключение сварочного тока, для реализации чего в первичную цепь дополнительно введен ключ К1, замыкающий первичную цепь до срабатывания реле времени цикла «Сварка» регулятора РЦС-403У4, уставка которого выставляется максимально возможной. Остальные циклы сварки не изменяются.

Для работы в режиме настройки, которая выполняется при включении машины в сеть (единоразово), в цепь питания электропневмоклапана введен дополнительный ключ К2, разрывающий цепь при работе системы в режимах, где не требуется сведение электродов (исследование трансформатора при подаче на него постоянного напряжения и холостого хода). При этом углы управления тиристоров устанавливаются в соответствии с вышеописанными рекомендациями посредством регулятора «Нагрев» блока РЦС-403У4. В режиме короткого замыкания электроды соединяются между собой, при этом углы управления тиристорами устанавливаются таким образом, чтобы напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора, не превышало 10% от номинального.

В результате экспериментальных исследований удалось добиться высокого качества сварных соединений при наличии внешних возмущений, таких как загрязнение и износ электродов, наличие отклонений напряжения сети.

Выводы:

1. Использование предлагаемого способа стабилизации тепловыделения при контактной сварке позволяет обеспечить управление сварочным током, избежать влияния изменения полного сопротивления сварочной цепи, вызванного внесением ферромагнитных масс в него, изменением температуры во время сварочного процесса, наличием отклонений, колебаний питающего напряжения.

2. Разработанная система управления позволяет производить диагностику состояния сварочного трансформатора и электродов в режиме реального времени, что позволяет избежать ухудшения качества сварки в процессе работы.

3. Оснащение находящихся в эксплуатации и вновь разрабатываемых машин контактной сварки устройствами управления, реализующими описанный способ стабилизации тепловыделения при контактной сварке, позволит в существенной степени повысить качество сварных соединений.

4. Экспериментальная проверка в лабораторных условиях показала эффективность предложенного способа стабилизации тепловыделения в сварочном контакте, благодаря чему удалось добиться повышения качества сварки.

Список использованных источников:

1. Климов А.С. Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества / А.С. Климов // М. : Физматлит. – 2011. – 216 с.
2. Поляков А.Ю. Система автоматического управления процессом контактной рельефной сварки / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик // Вестник Белорусско-Российского университета. – № 4 (41). – 2013. – С. 75-84.
3. Руденко П.М. Система автоматического управления и контроля процесса контактной точечной сварки КСУ КС 02 / П.М. Руденко, В.С. Гавриш // Автоматическая сварка. – 2007. – № 11. – С. 43-45.
4. Климов В.С. Стабилизация тока контактной сварки в условиях износа электродов / В.С. Климов, А.С. Климов, А.К. Кудинов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Технические науки. – № 10 (19). – 2015. – С. 72-74.
5. Пат. 2424097 Россия, МПК В 23 К 11/24. Способ стабилизации тепловыделения при контактной точечной сварке / А.С. Климов, А.В. Комиренко, В.С. Климов, А.Н. Анциборов. – № 2009141025/02; заявл. 05.11.09; опубл. 20.07.11, Бюл. № 20.
6. А. с. 662297 СССР, МПК В 23 К 11/24. Способ регулирования процесса электронагрева при точечной и шовной сварке / А.С. Васильев, А.И. Комарчев, В.П. Стрельников, О.В. Белых. – № 2581907; заявл. 26.12.77; опубл. 15.05.79, Бюл. № 18.
7. А. с. 285737 СССР, МПК В 23 К 11/24. Способ регулирования процесса электронагрева / Н.П. Помухин, Г.М. Кузьмин, Ю.М. Чернявский. – № 1291783; заявл. 23.12.68; опубл. 12.10.73, Бюл. № 41.
8. Пат. 2457497 Россия, МПК G 01 R 27/00. Способ измерения сопротивления сварочного контакта / А.С. Климов, А.В. Комиренко, В.С. Климов, А.Н. Анциборов. – № 2011113596/28; заявл. 04.07.11; опубл. 27.07.12, Бюл. № 21.
9. Бурлака В.В. К вопросу разработки средств контроля показателей качества электроэнергии и регистрации аварийных режимов / В.В. Бурлака, С.К. Поднебенная, С.В. Гулаков // Международная научно-техническая конференция «Университетская наука-2016» : Сб. тезисов докладов в 3-х томах. – Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2016. – Т. 1. – С. 206.

References:

1. Klimov AS. *Kontaktnaia svarka. Voprosy upravleniia i povysheniia stabil'nosti kachestva* [Resistance welding. Management issues and improve quality stability]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2011. 216 p. (Rus.)
2. Poliakov A.Iu., Furmanov S.M., Bendik T.I. Sistema avtomaticheskogo upravleniia protsessom kontaknoi rel'efnoi svarki [The automatic control system of the contact projection welding process]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta – Bulletin of Belarusian-Russian University*, 2013, vol. 4, no. 41, pp. 75-84. (Rus.)
3. Rudenko P.M. Gavrish V.S. Sistema avtomaticheskogo upravleniia i kontrolia protsessa kontaknoi tochechnoi svarki KSU KS 02 [The automatic control system of the resistance spot welding process KSU KS 02]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 2007, no. 11, pp. 43-45. (Rus.)

4. Klimov V.S., Klimov A.S., Kudinov, A.A. Stabilizatsiia toka kontaktnoi svarki v usloviakh iznosa elektrodov [Stabilization of current of resistance welding in electrodes wearing conditions]. *Evrasiiskii Soiuz Uchenykh (ESU). Tekhnicheskie nauki – Eurasian Union of Scientists (ESU). Technical science*, 2015, vol. 10, no. 19, pp. 72-74. (Rus.)
5. Klimov A.S., Komirenko A.V., Klimov V.S., Antsiborov A.N. *Sposob stabilizatsii teplovydeleniia pri kontaktnoi tochechnoi svarke* [The method of heat stabilizing at resistance spot welding]. Patent USSR, no. 2424097, 2011. (Rus.)
6. Vasil'yev A.S., Komarov A.I., Strel'nikov V.P., Belakhov O.V. *Sposob regulirovaniia protsessa elektronagreva pri tochechnoi i shovnoi svarke* [A method for controlling electrical heating process in spot and seam welding]. Patent USSR, no. 662297, 1979. (Rus.)
7. Pomukhin N.P., Kuz'min G.M., Chernyavskiy Y.M. *Sposob regulirovaniia protsessa elektronagreva* [A method for controlling electrical heating process]. Patent USSR, no. 285737, 1973. (Rus.)
8. Klimov A.S., Komirenko A.V., Klimov V.S., Antsiborov A.N. *Sposob izmereniia soprotivleniia svarochnogo kontakta* [Method of measurement of contact resistance welding]. Patent RU, no. 2457497, 2011. (Rus.)
9. Burlaka V.V., Podnebennaya S.K., Gulakov S.V. *K voprosu razrabotki sredstv kontrolya pokazatelei kachestva elektroenergii i registratsii avariinykh rezhimov. Anotatsii dopovidei Mezhn. nauk.-tekhn. konf. «Universitetskaya nauka-2016»* [Issue of development tools monitoring power quality and recording of emergency modes. Abstracts of International scientific-technical conference «University Science-2016»]. Mariupol, 2016, vol. 1, p. 206. (Rus.)

Рецензент: В.Н. Матвиенко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 05.10.2016

УДК 622.83

© Добровольская Л.А.¹, Черевко Е.А.²

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ НИЗКОВОЛЬТНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В статье рассмотрена возможность использования предложенной функциональной схемы контроля состояния изоляции с помощью дополнительного высокочастотного сигнала, вводимого в силовую сеть. Для контроля состояния изоляции принято решение контролировать токи утечки. Для этого разработан специализированный вариант устройства контроля токов на основе селективного усилителя синусоидальных токов утечки.

Ключевые слова: изоляция, устройство контроля токов, селективный усилитель, пробный сигнал, токи утечки.

Добровольська Л.О., Черевко О.О. Автоматичний контроль стану ізоляції при моніторингу низьковольтної розподільчої мережі. У статті розглянута можливість використання запропонованої функціональної схеми контролю стану ізоляції за допомогою додаткового високочастотного сигналу, що вводиться в силову мережу. Для контролю стану ізоляції прийнято рішення контролювати струми витoku. Для цього розроблено спеціалізований варіант пристрою контролю струмів на основі селективного підсилювача синусоїдальних струмів витoku.

Ключові слова: ізоляція, пристрій контролю струмів, селективний підсилювач, пробний сигнал, струми витoku.

¹ канд. техн. наук, доцент ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

² канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, ludmila_dobrovolskaya@mail.ru