

СТАБИЛИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ТОКА КОНТАКТНЫХ ТОЧЕЧНЫХ МАШИН ПРИ КОЛЕБАНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Ю. Н. ЛАНКИН, В. Ф. СЕМИКИН, Е. Н. БАЙШТРУК

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены подходы к созданию разомкнутых систем стабилизации сварочного тока контактных точечных машин при колебаниях напряжения питающей сети. Описан микроконтроллерный регулятор контактной сварки, обеспечивающий автоматическое определение начального угла между полнофазным током и напряжением машины, а также стабилизацию сварочного тока при колебаниях напряжения сети. Система определения угла и стабилизации тока выполнена в виде конечного автомата с цифровой моделью объекта управления, представленной в табличной форме. Это позволило использовать для регулятора простой восьмибитовый микроконтроллер широкого применения. Библиогр. 7, рис. 1.

Ключевые слова: стабилизация, сварочный ток, напряжение сети, контактная сварка

В производственных условиях на процесс контактной точечной сварки действуют многочисленные возмущения, приводящие к появлению дефектных соединений. Основными возмущающими воздействиями являются:

- колебания напряжения питающей сети;
- увеличение контактной поверхности электродов при их износе в процессе эксплуатации;
- увеличение полного сопротивления сварочного контура машины вследствие внесения в него значительных ферромагнитных масс при сварке деталей больших габаритов;
- шунтирование сварочного тока и приложенного к электродам усилия через ранее сваренные точки, расположенные в непосредственной близости от места сварки.

Более или менее значительные колебания напряжения питающей сети реально всегда имеют место при выполнении контактной сварки и поэтому в первую очередь требуется устранение их влияния на качество сварного соединения. Регулируемой переменной при контактной сварке обычно является действующее значение сварочного тока и гораздо реже напряжение между электродами или мощность, выделяющаяся в свариваемой точке.

Для исключения влияния внешних возмущающих воздействий используются разомкнутые системы автоматического управления (САУ) с регулированием по возмущению, либо с замкнутой отрицательной обратной связью по регулируемой переменной, либо комбинированные. Для контактной сварки исторически первыми стали разрабатываться разомкнутые САУ с управлением по возмущению, стабилизирующие сварочный ток только при колебаниях напряжения сети, а затем САУ с отрицательной обратной связью, стабилизирующие сварочный ток независимо от вида возмущений.

Разомкнутые САУ проще и надежнее замкнутых. Поэтому они нашли преимущественное распространение. Уже ранние, еще игнитронные, прерыватели сварочного тока типа ПИТ и ПИШ (з-д Электрик, г. Ленинград) со схемами управления на электронных лампах обеспечивали автоматическую стабилизацию напряжения сварочного трансформатора при колебаниях напряжения сети. Схема стабилизации была довольно сложна и требовалась тщательная наладка при изменениях $\cos \phi$ контактной машины. Наличие фильтра в цепи управляющего напряжения приводило к некоторой инерционности стабилизатора, вследствие чего при жестких режимах сварки кратковременные колебания сети не могли быть скомпенсированы.

Первые транзисторные схемы управления током контактных машин, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР в 60-х годах, обеспечивали практически безынерционную стабилизацию тока при колебаниях напряжения сети [1], стабилизацию среднего значения напряжения на сварочном трансформаторе при колебаниях напряжения сети и $\cos \phi$ машины [2]. Тогда же сотрудниками Института кибернетики АН УССР (В. Н. Никулин, В. И. Скурихин) совместно с ИЭС была разработана полностью цифровая система программного управления мощностью, выделяемой в зоне сварки, с регулированием по возмущениям — колебаниям напряжения сети, активного и реактивного сопротивления сварочного контура машины [3, 4]. Впервые были разработаны общие принципы построения таких устройств, решен ряд вопросов построения цифровых управляющих, измерительных и преобразующих устройств для аппаратуры управления контактными сварочными машинами.

Система была построена в виде автомата с конечным числом внутренних состояний. Все состояния представлены в виде таблиц, содержащих матрицу обратной модели объекта и измерительно-вычислительную матрицу, из которых считывается величина угла включения силовых вентилях контактора для каждого периода напряжения сети в зависимости от заданного значения мощности, напряжения сети и сопротивления нагрузки. Эта система на десятки лет опередила свое время. Только после появления микроконтроллеров были разработаны цифровые системы управления контактной сваркой, как правило, функционально уступающие ей.

Все современные микроконтроллерные регуляторы контактной сварки снабжены функцией «параметрической» стабилизации сварочного тока при колебаниях напряжения сети. Заявляется изменение действующего значения тока не более $\pm 3\%$ при колебаниях напряжения сети от 0,9 до 1,05 номинального значения. Для обеспечения точности стабилизации в некоторых регуляторах, например, РКС-601, РКС-14, РКС-22, необходимо вручную ввести значение коэффициента мощности машины $\cos \varphi$. В большинстве же регуляторов, например, РКМ-511, РКМ-812, РКМ-1501, РКС-502, РКС-801(К155), РКС-807, РКС-901, осуществляется автоматическая настройка на коэффициент мощности. В наиболее совершенных регуляторах РКМ-802, РКМ-804, РКМ-805, РКМ-806, КСУ КС 02 реализуется комбинированный принцип регулирования. Они содержат одновременно замкнутый контур регулирования по отклонению сварочного тока от заданного значения и разомкнутый — по внешнему возмущению (напряжению питающей сети).

По-видимому, наиболее популярный алгоритм стабилизации тока при колебаниях напряжения сети для микропроцессорных регуляторов контактной сварки разработан специалистами ВНИИЭСО [5]. Согласно ему стабилизация тока производится в каждом полупериоде, начиная со второго, путем установления угла включения тиристоров α в соответствии с выражением $\alpha = IU/b_1 - b_0/b_1$, где I — заданное значение тока, отнесенное к току однофазного включения при номинальном напряжении сети; U — измеренное напряжение сети, отнесенное к номинальному напряжению; b_0, b_1 — параметры регулировочной характеристики, представленные полиномами второй степени от коэффициента мощности однофазного включения сварочной цепи. Необходимое для расчета b_0 и b_1 значение $\cos \varphi$ автоматически определяется в первом полупериоде по измеренному значению угла проводимости λ при некотором угле α_0 , заведомо меньшем φ , из выражения $\cos \varphi = C_0(\alpha_0) + C_1(\alpha_0)\lambda$, где $C_0(\alpha_0)$ — полином второй степени α_0 , $C_1(\alpha_0)$ — полином третьей степени α_0 [6].

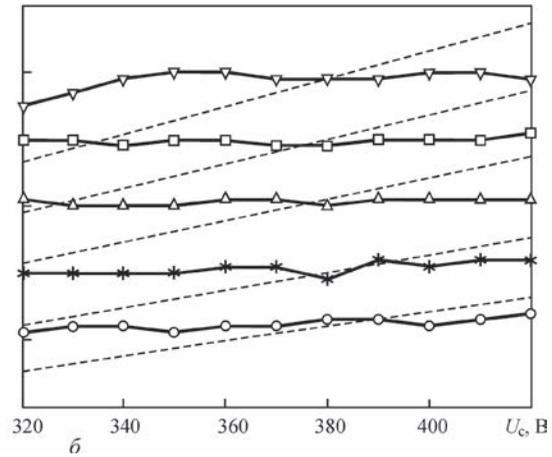
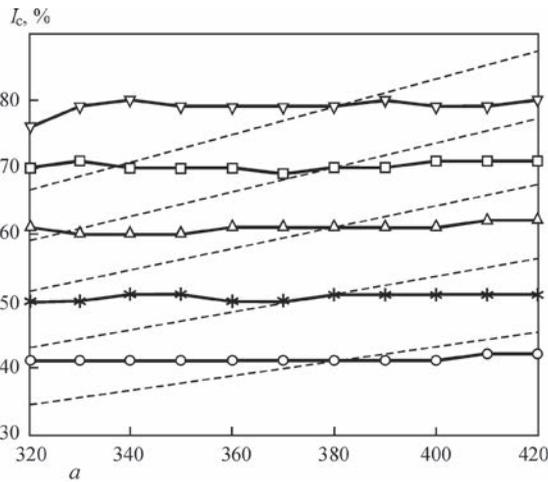
Автоматическое определение $\cos \varphi$, используемого для стабилизации тока при колебаниях напряжения сети, еще более необходимо для автоматического ограничения минимального угла включения тиристоров во всех без исключения регуляторах контактной сварки. Дело в том, что если установить угол включения тиристоров меньше угла φ , то сварочный контактор будет проводить ток полуволны только одной полярности и сварочный трансформатор перейдет в аварийный режим работы с подмагничиванием постоянным током. Для выполнения условия $\alpha > \varphi$ удобнее измерять не $\cos \varphi$, а φ [7]. Там для φ используется выражение $\varphi = a_0 + a_1\lambda + a_2\alpha + a_3\alpha^2$, где a_1, a_2, a_3 — постоянные коэффициенты.

В описанных выше и в большинстве других цифровых регуляторах тока при колебаниях напряжения сети используются довольно громоздкие аналитические модели объекта управления, требующие математических вычислений с плавающей запятой в реальном масштабе времени. Они предъявляют неоправданно высокие требования к мощности микроконтроллеров регуляторов. По нашему мнению, наиболее целесообразно использовать цифровые автоматы с конечным числом внутренних состояний, представленных в табличной форме. Такие автоматы не требуют математических вычислений по сложным формулам, что позволяет использовать для их реализации самые простые и дешевые микроконтроллеры.

Макет регулятора контактной сварки реализован на простом восьмиразрядном микроконтроллере PIC16F886. Регулятор обеспечивает регулирование длительности стандартного набора позиций сварочного цикла: сжатие, проковка, ток-импульс, пауза от 1 до 99 в периодах сети, а также задание тока сварки $I_{\text{зад}}$ в диапазоне 25...90 % от однофазного тока.

Система стабилизации тока при изменении напряжения сети построена по схеме конечного автомата табличного типа. Угол φ сдвига однофазного тока относительно напряжения, приложенного к контактной машине, определяется при пропуске тока в первом периоде сварочного импульса. Для этого устанавливается фиксированный угол включения тиристоров $\alpha_0 = 0,7\pi$, достаточно большой, чтобы соответствующий ток был заведомо меньше заданного сварочного. По измеренным λ из таблицы $\varphi-\lambda$ для α_0 определяется значение φ .

В памяти микроконтроллера регулятора для различных значений φ , для которых $\cos \varphi$ находится в диапазоне 0,2...0,8, заложено 7 таблиц зависимости $I_{\text{ном}}$ от α , при номинальном напряжении сети $U_{\text{ном}}$. Из этих таблиц можно выбирать α для получения заданного значения сварочного тока. Однако при напряжении сети $U_c \neq U_{\text{ном}}$ необхо-



Статические характеристики $I_c = f(U_c)$ при изменении напряжения сети: а — $\varphi = 0,2\pi$; б — $\varphi = 0,35\pi$

можно использовать другую таблицу, рассчитываемую по выражению $I_c(\alpha) = I_{ном}(\alpha)U_c/U_{ном}$. С целью сокращения используемой памяти микроконтроллера рассчитывается лишь минимально необходимая часть этой таблицы для α , изменяющихся через $\Delta\alpha = \pi/200$ от α_1 , для которого $I_{ном}(\alpha_1) = I_{зад}$, до α_2 , для которого $I_c(\alpha_2) = I_{зад}$. Поскольку при этом используются быстрые операции программного умножения однобайтовых чисел и побитовых сдвигов вычисления даже на маломощных микроконтроллерах занимают достаточно мало времени. Таким образом, угол включения тиристорov, необходимый для получения заданного тока при номинальном напряжении сети, корректируется в соответствии с колебаниями напряжения сети, что обеспечивает стабилизацию тока.

На рисунке приведены экспериментальные статические характеристики регулятора при изменении напряжения сети для различных значений заданного тока и коэффициентов мощности нагрузки. Здесь же пунктиром показаны зависимости $I_c = f(U_c)$ при отсутствии стабилизации. Из этого рисунка следует, что при колебаниях напряжения сети от 320 до 420 В действующее значение тока изменяется не более, чем на $\pm 2\%$ от заданного. Лишь для тока, заданного на уровне 80 % от однофазного, стабилизация тока ограничена минимальным напряжением сети 325 В для $\varphi = 0,2\pi$ и 334 В для $\varphi = 0,35\pi$. Это связано с тем, что для надежности минимальный угол α был программно ограничен значением $\varphi - \pi/18$.

Список литературы

1. Ланкин Ю. Н. (1961) Схема управления инвентронным прерывателем с автоматической стабилизацией тока. *Автоматическая сварка*, 4, 25–27.
2. Ланкин Ю. Н., Масалов Ю. А. (1972) *Схема управления вентиляльным прерывателем*. СССР, А. с. 349523, МПК В 23к 11/24. № 1421859.

3. Никулин В. Н. (1963) Системы программного управления с автокоррекцией, построенные на базе цифровой техники. *Автоматическая сварка*, 5, 28–33.
4. Никулин В. Н. (1967) *Разработка и исследование системы программного управления с автокоррекцией для автоматизации процесса точечной контактной электросварки*: автореф. дис. ... канд. техн. наук, Киев, ИЭС.
5. Аксельрод Ф. А., Ибрагимов У. У., Иоффе Ю. Е. и др. (1987) *Способ стабилизации сварочного тока при контактной сварке с тиристорным управлением*. СССР, А. с. 1355409, МПК В 23 К 11/24. № 4038170/24-27.
6. Аксельрод Ф. А., Ибрагимов У. У., Иоффе Ю. Е. и др. (1987) *Способ определения коэффициента мощности полнофазного включения тока при контактной точечной сварке однофазным током*. СССР, А. с. 1281358, МПК В 23 К 11/24. № 3877475/25-27.
7. Подола Н. В., Руденко П. М., Гавриш В. С. и др. (1986) *Способ измерения коэффициента мощности однофазной контактной сварочной машины*. СССР, А. с. 1310149 МПК В 23 К 11/24. № 4006698/31-27.

Ю. М. Ланкин, В. Ф. Семикин, Є. М. Байштрук

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

СТАБІЛІЗАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТРУМУ КОНТАКТНИХ ТОЧКОВИХ МАШИН ПРИ КОЛИВАННЯХ НАПРУГИ МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ

Розглянуто підходи до створення розімкнених систем стабілізації зварювального струму контактних точкових машин при коливанні напруги мережі живлення. Описано мікроконтроллерний регулятор контактної зварювання, що забезпечує автоматичне визначення початкового кута між однофазним струмом і напругою машини, а також стабілізацію зварювального струму при коливаннях напруги мережі. Система визначення кута і стабілізації струму виконана у вигляді кінцевого автомата з цифровою моделлю об'єкта управління, представлена в табличній формі. Це дозволило використовувати для регулятора простий восьмибітовий мікроконтролер широкого застосування. Бібліогр. 7, рис. 1.

Ключові слова: стабілізація, зварювальний струм, напруга мережі, контактне зварювання

Поступила в редакцію 26.04.2017