

Автоматизированная система управления технологическим процессом изготовления бескаркасных катушек

В. П. Кирик, С. Н. Рева

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина

The article is devoted to the problem of technology of manufacturing of unframed coils for secondary winding high-voltage transformers as well as the system of automatic control the process of polymerization of gluing composition. In the present work a structure chart was developed and the principle of function of the polymerizer based on microcontroller was described. The article also presents the results of implementing the method at the experimental area of the electronics and control systems department of Karazin Kharkov National University University.

1. Введение

Использование современных технологий получения высоких напряжений с помощью высокочастотных преобразователей требует применения новых конструктивных решений при проектировании и изготовлении высоковольтных трансформаторов. Для уменьшения паразитной емкости и повышения коэффициента полезного действия, вторичные обмотки таких трансформаторов, содержащие большое количество витков, секционируют [1]. С целью уменьшения габаритов высоковольтных устройств и снижения их стоимости часто применяются бескаркасные катушки, намотка которых выполняется с использованием клеящих составов. Клей обеспечивает сохранение формы катушки и требуемую механическую прочность. Как правило, применяются термополимеризующиеся составы, которые позволяют не ограничивать время намотки катушки и затвердевают в течении нескольких минут при повышении температуры. Намотка бескаркасных катушек выполняется на специальном оборудовании. Обмоточный провод проходит через кювету с клеящим составом, затем с помощью специальных губок с провода удаляется избыток клея, и провод поступает в намоточное устройство, с помощью которого укладывается в разъемный каркас — оправку. Оправка изготавливается из материала, имеющего малую степень адгезии с клеящим составом, и после высыхания клея разделяется на две части и легко отделяется от сформированной таким образом катушки. В качестве клеящего состава чаще всего применяются лаки и клеи на основе шеллака или бутилфталатной смолы. Сушка и полимеризация осуществляется в термических шкафах при температуре 120..200°C в зависимости от состава клея. Процесс полимеризации проходит два этапа. На первом этапе выполняется сушка катушки. В это время из клеевого состава удаляется органический растворитель. На втором этапе температура повышается до температуры полимеризации и выдерживается в течение необходимого времени. Оба этапа должны проходить при непрерывном контроле температуры и длительности процессов.

Такая технология достаточно трудоемка, требует много времени для изготовления одной катушки и крайне неэффективна при массовом производстве. Из-за большой теплоемкости и большого теплового сопротивления оснастки время разогрева, а затем и остывания оправки с уложенным проводом во много раз превосходит время, необходимое для намотки. Существенно повысить эффективность производства может применение автоматизированной системы, управляющей процессом сушки и полимеризации клеящего состава.

Авторами была разработана технология, оборудование и необходимое для его работы программное обеспечение, которые позволили заметно сократить время тепловой обработки, а следовательно повысить производительность труда оператора и снизить себестоимость изготавливаемых катушек.

2. Принцип построения и состав системы управления

В процессе разработки автоматизированной системы управления авторам удалось разработать метод, который при наименьшей сложности аппаратуры позволяет получить достаточно высокую точность измерения и управления температурой, и как следствие, — высокое качество изготавливаемых образцов. Метод основан на том, что объект управления одновременно является источником теплового воздействия, а также преобразователем, позволяющим получить информацию о текущей температуре объекта. Такой подход позволяет некоторые функциональные задачи, которые как правило решаются с помощью аппаратных средств, например, измерение температуры, возложить на программное обеспечение и решить алгоритмически.

Система автоматического управления технологическим процессом включает в себя несколько микропроцессорных устройств (полимеризаторов), выполняющих функции управления температурой по заданному закону, а также персональный компьютер со специальным программным обеспечением, предназначенным для мониторинга технологического процесса и управления полимеризаторами.

3. Анализ факторов, определяющих структуру системы управления и требования к программному обеспечению

При экспериментальном подборе режимов сушки и полимеризации клея были определены уровни мощности, необходимые для обеспечения соответствующих температурных режимов. Они составляют:

не более 8 Вт в режиме сушки (при температуре около 40°C);

не более 30 ватт в режиме полимеризации (при температуре около 120°C).

Требуемую тепловую мощность можно получить пропуская через катушку с сопротивлением около 3 Ом постоянный или переменный ток с действующим значением около 3 А. Напряжение на катушке при этом составит около 10 В. То есть, требуемый тепловой режим можно обеспечить используя катушку — объект нагрева, как сам нагревательный элемент.

Сопротивление катушки, учитывая физические свойства меди, из которой она изготовлена, будет заметно изменяться в рабочем диапазоне температур [2]. Следовательно, объект нагрева можно использовать одновременно как датчик

температуры. Значительным преимуществом такого технического решения является тот факт, что в системе отсутствует механизм возникновения погрешности измерения, обусловленной из-за теплового сопротивления перехода объект-датчик [3].

Описанные выше методы управления могут быть реализованы с помощью устройства, структурная схема которого показана на рис. 1.

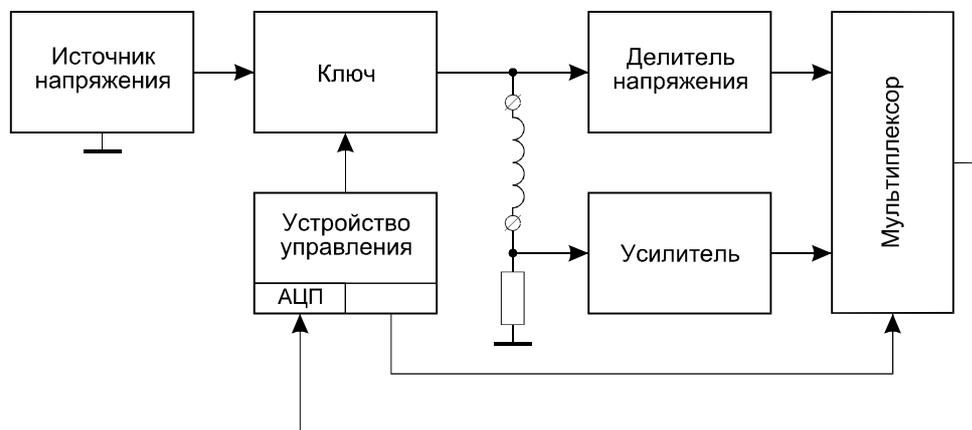


Рис.1. Структурная схема устройства для полимеризации катушек

Тепловая мощность выделяется непосредственно в самой катушке за счет протекания через нее тока от источника напряжения +12В при открытом электронном ключе. В качестве ключа используется полевой транзистор с соответствующей схемой управления, которая усиливает ТТЛ-уровень управляющего сигнала до необходимого напряжения.

Для согласования динамического диапазона напряжения на катушке с динамическим диапазоном измерительного канала применен резистивный делитель напряжения. Измерение тока, протекающего через катушку, можно осуществить с помощью резистивного шунта. Сопротивление шунта должно быть достаточно малым, чтобы тепловая мощность, выделяемая на нем, не приводила к заметному его разогреву. В этом случае уровень сигнала с шунта является достаточно низким, и требуется дополнительный усилитель для согласования его с динамическим диапазоном измерительного канала.

Управляет работой устройства микроконтроллер, который обеспечивает выполнение заданной программы изменения температуры, а также контроль электрических параметров схемы с целью своевременного обнаружения аварийных ситуаций. Программа управления может быть реализована на ассемблере, поскольку именно этот язык позволяет создать программное обеспечение, работающее в реальном масштабе времени, с минимальным объемом объектного кода, а также наиболее эффективно использовать аппаратные возможности самого микроконтроллера [4].

4. Описание программы управления

Структура управляющей программы показана на рис.2. Помимо главной программы, выполняющей основные расчетные и управляющие функции, в состав программного обеспечения микроконтроллера входит подпрограмма обработки прерываний по таймеру, которая содержит процедуры аппаратного контроля и управления. Драйвер последовательного обмена обеспечивает возможность внешнего управления с персонального компьютера оператора и взаимодействует с главной программой через другие виды прерываний.

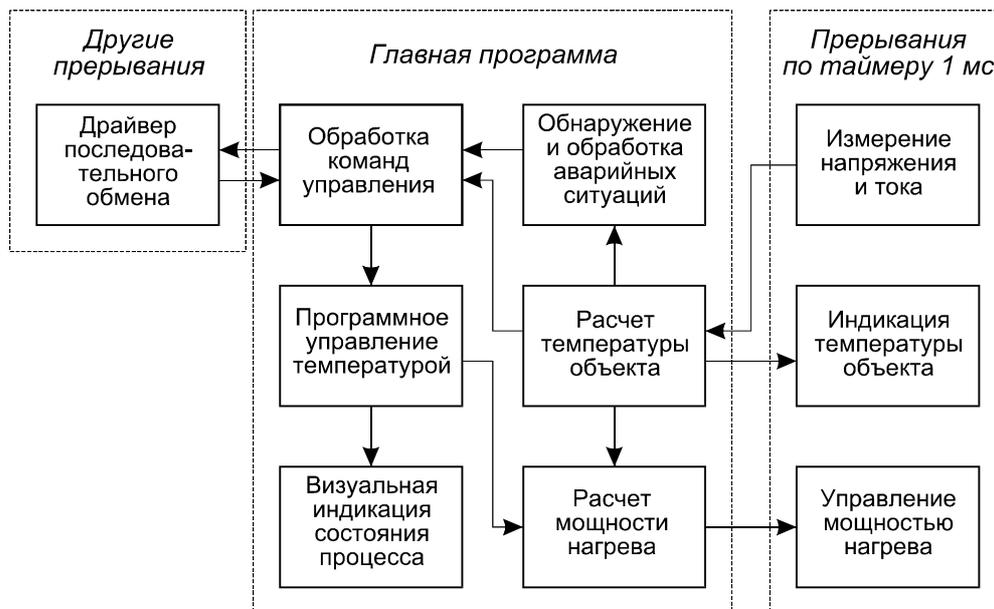


Рис.2. Структурная схема программы управления полимеризатором.

Все процессы, требующие периодического контроля в реальном масштабе времени, а также постоянного обновления значений некоторых параметров, реализованы в подпрограмме обработки прерываний по таймеру.

При запуске программы термической обработки выполняется периодическое включение и выключение напряжения на катушке и производится измерение электрических параметров схемы. Основной цикл работы программы в виде временной последовательности событий показан на рис.3. Он длится 256 мс и контролируется в прерываниях по таймеру с периодом одна миллисекунда. В начале цикла микроконтроллер открывает электронный ключ на одну миллисекунду. В течение первой половины этого временного интервала после завершения переходных процессов измеряется напряжение на катушке (период А на рис. 3), а затем — ток в катушке (период В). В зависимости от текущего значения параметра мощности нагрева напряжение на катушке может быть выключено либо сразу после измерения тока, либо через некоторое время τ , величина которого может изменяться от 0 до 255 мс. Таким образом реализован принцип широтно-импульсного управления мощностью нагрева.

По результатам измерений напряжения и тока микроконтроллер пересчитывает сопротивление катушки, а на основе сопротивления вычисляет температуру, которую индицирует на дисплее устройства. Разница в значениях измеренной и требуемой температуры представляет собой параметр рассогласования, который используется для работы программной процедуры стабилизации температуры. Процедура реализует принцип интегрально-пропорционального управления и вычисляет новое значение параметра мощности, который будет использован программой в следующем цикле работы устройства.

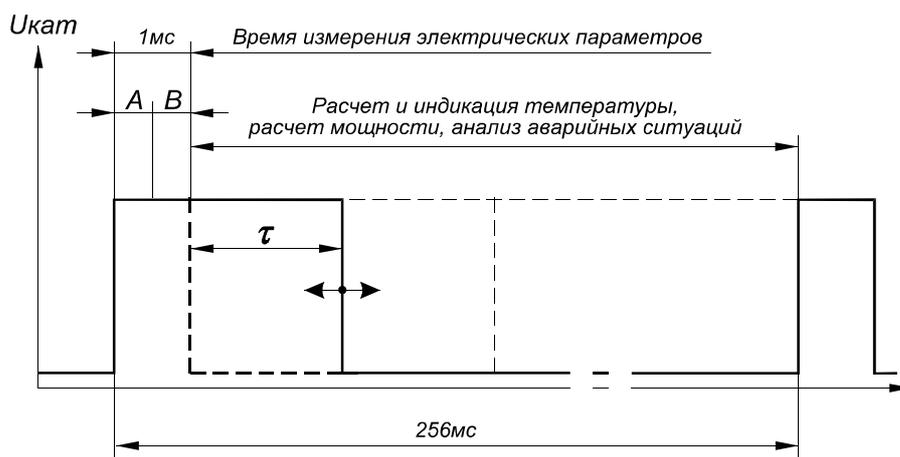


Рис.3. Временная диаграмма основного цикла работы программы.

Закон изменения температуры записан в памяти микроконтроллера в виде таблицы специального формата. Каждая строка таблицы содержит параметр требуемой температуры, время ее удержания, а также байт индикации, который выводится на дополнительный светодиодный индикатор для отображения стадии выполнения программы полимеризации. О завершении программы устройство оповещает с помощью звуковой сигнализации.

Полимеризатор допускает работу, как в автономном режиме, так и под управлением персонального компьютера. Обмен информацией с компьютером осуществляется по магистральной линии связи в стандарте RS232.

Программное обеспечение для персонального компьютера позволяет проводить непрерывный мониторинг состояния до шестнадцати устройств и выводить для оператора на экран подробную информацию о работе системы. С помощью этой программы можно также выполнять настройку режимов полимеризации и изменять контрольные параметры работы периферийных устройств. Программа реализована на языке Delphi и снабжена удобным пользовательским интерфейсом. Данный выбор среды программирования позволил существенно сократить затраты времени для написания, отладки и тестирования программы мониторинга, обеспечивая при этом высокое качество и эргономику графического пользовательского интерфейса.

5. Заключение

Разработанная система управления технологическим процессом сушки и полимеризации клея при изготовлении бескаркасных катушек испытана на экспериментальном участке кафедры электроники и управляющих систем Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Она внедрена в производство и используется для изготовления современных источников питания для медицинских рентгеновских аппаратов.

Созданное программное обеспечение позволяет легко адаптировать аппаратуру для изготовления катушек с различными электрическими характеристиками и конструктивными параметрами. Благодаря этому данная технология применима при производстве как высокочастотных, так и низкочастотных трансформаторов. Образцы изготавливаемых катушек показаны на рис. 4.



Рис.4. Катушки низкочастотных и высокочастотных трансформаторов, изготовленные с помощью автоматизированной системы управления.

Разработанная технология применяется для изготовления высоковольтных трансформаторов, входящих в состав рентгеновских питающих устройств ИЕС-F3, ИЕС-F6 и ИЕС-F7. Эти устройства используются в составе стационарных и передвижных флюорографических аппаратов, серийно выпускаемых производственным предприятием «Квант», г. Харьков [5, 6]. Опыт эксплуатации десятков аппаратов на протяжении последних лет дает основания рекомендовать данную технологию для широкого применения в новых разработках высоковольтных устройств питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эраносян С.А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями, Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 177 с.
2. Яровский Б.М., Детлоф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов, — Оникс, 2008. — 940 с.
3. Клаассен К.Б. Основы измерения. Электронные методы и приборы в измерительной технике, М.: Постмаркет, 2000.
4. Евстифеев А.В., Микроконтроллеры AVR семейств Тіпу и Мега фирмы «АТМЕL», М.: Додеко-XXI, 2004.
5. Свідотство про державну реєстрацію № 4833/2006 от 24.02.2006. Флюорограф з цифровою обробкою зображення «Індіарс», ТУ У33.1-25461966-003-2001.
6. Свідотство про державну реєстрацію № 5629/2006 от 02.11.2006. Апарат рентгено-флюорографічний перевозний «Індіарс-П», ТУ У33.1-25461966-004-2001.