Рисунок 2 – Энергетический спектр  $^{55}\text{Fe}$ 

Источник  $^{55}\text{Fe}$  имеет две линии с энергиями 5,9 и 6,49 кэВ и выходом 24,9% и 3,4% соответственно. Из рисунка следует, что площади под пиками согласуются с величинами соответствующих выходов и энергетическое разрешение спектрометра, измеренное по линии 5,9 кэВ, составляет 151 эВ (паспортное значение разрешения детектора – 150 эВ). На рисунке 3 приведен спектр ХРИ возбужденный протонами с энергией 1 МэВ в материале держателя мишеней. Ток ионного пучка составлял 3 нА.

Видно, что приповерхностный слой мишеней держателя состоит из десяти элементов. Следует отметить, что такие элементы как хлор, ка-

УДК 621.384

## ПИРОМЕТР С FRAM-ПАМЯТЬЮ

Корогод А.С., Протасов А.Г.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Киев, Украина*

Для диагностики промышленного оборудования используется большое количество измерительных приборов, в том числе и пирометры – приборы для бесконтактного измерения температуры. Эти приборы применяются для измерения температуры непрозрачных тел в процессе контроля технологических процессов, отличающихся высокой температурой. Как правило, каждый пирометр применяется для диагностики того оборудования, на которое он ориентирован. Это позволяет еще на ранней стадии выявить скорый выход из строя оборудования и не допустить его остановки в процессе работы. Сегодня широко используются пирометры различных типов, среди них наиболее популярны приборы, работающие в яркостном и радиационном спектральных диапазонах. Схемы современных пирометров построены на микроконтроллерах, имеющих Flash – память, которая имеет ряд недостатков, а

именно – низкую надежность и ограниченный объем.

именно – низкую надежность и ограниченный объем.

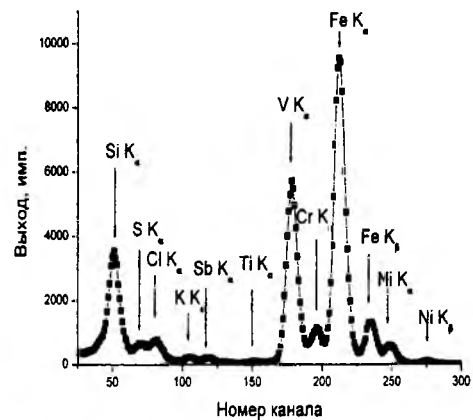


Рисунок 3 – Энергетический спектр ХРИ мишеней держателя

Таким образом, на базе электростатического ускорителя ионов AN-2500 создан спектрометр ионноиндуцированного ХРИ, позволяющий регистрировать рентгеновское излучение с энергетическим разрешением  $(151 \pm 5)$  эВ в диапазоне энергий от 1,5 до 60 кэВ.

именно – низкую надежность и ограниченный объем.

В статье предлагается разработанная схема пирометра, которая базируется на микроконтроллере с ферромагнитной (FRAM) памятью, являющейся более эффективной и надежной по сравнению с Flash – памятью. FRAM - память выдерживает астрономическое количество перезаписи информации, что на несколько порядков превышает аналогичный показатель для технологии Flash. Например, для FRAM - памяти количество перезаписи информации может превышать девять триллионов раз.

Для реализации прибора были определены основные блоки функциональной схемы. Предлагается функциональная схема, состоящая из следующих основных блоков: датчик температуры, работающий в инфракрасном диапазоне, усилитель, схема компенсации погрешности,

блок цифровой обработки сигналов, микроконтроллер и дисплей (рис. 1).

В качестве главного датчика температуры в предлагаемом приборе используется термоэлектрический болометр фирмы Melexis - MLX90614. Он удовлетворяет следующим критериям: высокая чувствительность, малое энергопотребление, малые габариты и низкая цена. Основные технические характеристики этого датчика: диапазон измеряемых температур от  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+380\text{ }^{\circ}\text{C}$ , погрешность измерения температуры -  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Преимуществом данного датчика так же является возможность уменьшения методической погрешности программным путем и, при необходимости, легкая замена на другой тип из этой серии, имеющий иные технические характеристики.

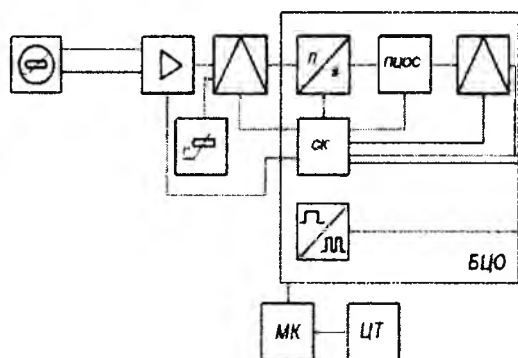


Рисунок 1 – Функциональная схема пирометра с FRAM – памятью

Для компенсации погрешности измерения, вызванной собственной температурой прибора, в состав схемы включен вспомогательный датчик, который отслеживает изменения этой температуры.

Основным элементом прибора является микроконтроллер MSP430FR5728IRGER фирмы Texas Instruments. Отличительной чертой микроконтроллера серии FR57xx является, как уже отмечалось, наличие в нем энергонезависимой ферромагнитной памяти (FRAM) для осуществления программных операций и хранения данных вместо традиционной Flash – памяти. Запись в память может производиться при низком напряжении питания (вплоть до  $1,5\text{В}$ ) и информация может сохраняться в ней десятки лет.

Микроконтроллер имеет 10-и разрядное АЦП с частотой дискретизации 500 Гц.

Все процессы, вызванные изменениями температуры, контролируются схемой управления (СУ), которая в свою очередь управляет процессом снятия показаний и расчета собственной температуры пирометра и температуры объекта контроля.

Сигнал с выхода термоэлектрического болометра усиливается усилителем, имеющим

низкий уровень шумов и определенный коэффициент усиления. После этого данный сигнал конвертируется в битовый поток с помощью сигма-дельта модулятора и подвергается цифровой обработке. После обработки сигнала информация записывается в память СУ, где в первой ячейке хранится информация о собственной температуре пирометра, а во 2-й и 3-й ячейках памяти находятся информация о температуре объекта. Информация о собственной температуре пирометра подвергается тем же операциям, что и сигнал от контролируемого объекта.

Далее данные из памяти СУ поступают в микроконтроллер который и выводит результаты измерения на экран прибора.

В предлагаемой схеме предусмотрен стабилизатор напряжения для поддержания питания на постоянном уровне, что позволяет избежать ненужных пульсаций напряжения в схеме пирометра. В качестве такого стабилизатора используется схема TPS61070, которая относится к классу импульсных стабилизаторов напряжения. Преимуществом данной схемы является способность синхронизации всех элементов пирометра, а особенно микроконтроллера, высокий КПД, малые размеры и низкая стоимость.

Преобразователь напряжения в данной схеме поддерживает напряжение питания на постоянном уровне и устраняет все возможные помехи. Питание прибора осуществляется от одной батареи, размером AAA. С помощью импульсного преобразователя TPS61070 напряжение батареи повышается до 3В при разрядке батареи до  $0,9\text{В}$ . Отличительной чертой данного преобразователя является высокая эффективность работы при малых нагрузках и полное отключение нагрузки в неактивном режиме. При этом преобразователь потребляет (как и вся схема прибора)  $1\text{-}2$  микроампера, что меньше тока саморазряда батареи.

При включении прибора (кнопка On/Off) напряжение от батареи подается на вход EN микросхемы TPS61070, преобразователь запускается и активизирует микроконтроллер. Последний выдает напряжение в 3В на свой вывод 1 и тем самым поддерживает работу преобразователя после отпускания кнопки On/Off. При последующем нажатии упомянутой кнопки напряжение на выходе микроконтроллера 15 становится равным 0. Изменение напряжения на 15 выводе приводит к аппаратному прерыванию программы микроконтроллера и переводу вывода 1 в высоко импедансное состояние. При отпуске кнопки On/Off напряжение на выводе EN преобразователя TPS61070 приближается к 0 и преобразователь отключается. Аналогично происходит самоотключение всего прибора.

Объем памяти данного пирометра составляет 16КБ. Этого вполне достаточно для

работы прибора, так как после записи в память микроконтроллера программы управления работой пирометра остается свободное место для записи значений измеренной температуры на 5400 значений. Отсюда следует, что каждое измерение занимает 2 байта в памяти.

Так же в данном пирометре было реализовано 3 режима работы, а именно: первый режим – дает возможность проводить измерения температуры в заданном временном интервале от 1 секунды до 1 минуты. Вторым режимом отвечает за измерения температуры объекта контроля без задания временного интервала работы пирометра. Это означает, что пирометр будет работать до тех пор, пока не будет заполнена полностью память прибора. Третий режим позволяет произвести просмотр измеренных значений температуры на дисплее с определенным шагом 1/10, 1/100 или 1/1000 и осуществить передачу измерений на компьютер с помощью внешнего USB/UART конвертора.

В качестве индикаторного устройства предлагаемого пирометра был выбран жидкокристаллический дисплей типа DOGS102W-6 фирмы производителя Electronic Assembly. Данное устройство имеет низкие энергозатраты

(ток потребления 250 мкА), малые размеры и обладает функцией подсветки. К преимуществам этого дисплея можно так же отнести наличие съёмной панели подсветки, которая имеет собственное питание.

Основными источниками погрешности измерения температуры являются: датчик температуры, АЦП и флуктуации коэффициента теплового излучения.

После проведенного сравнительного анализа разработанного пирометра с аналогами, которые сегодня представлены на рынке измерительной техники, можно сделать следующие выводы. Разработанный на базе микроконтроллера MSP430FR57281RGER пирометр превосходит свои аналоги по количеству занесенных в память прибора значений измеренной температуры. Пирометр так же имеет низкое энергопотребление, высокую надёжность, широкий диапазон измеряемых температур и малую погрешность измерения.

Прибор прост в употреблении и может использоваться как в виде портативной модели, так и в виде стационарной пирометрической системы с полным программным обеспечением.

УДК 620.179.14

## ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИМПУЛЬСНОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ-ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ

Короткевич З.М., Матюк В.Ф., Цукерман В.Л., Осипов А.А.

*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси*

*Минск, Республика Беларусь*

Для контроля качества термообработки малогабаритных изделий из некоторых марок сталей успешно применяется измерение максимального и остаточного магнитного потока, создаваемого изделием при пробрасывании его через соленоид с постоянным током [1]. Изделия из среднеуглеродистых сталей контролируют по остаточному магнитному потоку после намагничивания и после частичного размагничивания [2]. Однако для контроля качества термообработки высокоуглеродистых сталей двух магнитных параметров недостаточно [3].

Для расширения номенклатуры контролируемых сталей нами было предложено измерять магнитную индукцию изделия в процессе импульсного намагничивания и перемагничивания, что позволяет получить петлю магнитного гистерезиса, характеристики которой могут служить в качестве информативных параметров контроля.

На этой основе разработан измеритель магнитной индукции в импульсном режиме намагничивания-перемагничивания.

Импульсное магнитное поле в приборе

формируется посредством заряда конденсатора, последующего его разряда через соленоид проходного преобразователя, повторного заряда конденсатора и его последующего разряда в противоположном направлении.

Измерение магнитной индукции образца осуществляется интегрированием сигнала с измерительной обмотки преобразователя.

Для ослабления влияния вихревых токов на форму петли гистерезиса параметры разрядной цепи выбраны таким образом, чтобы длительность переднего фронта импульса составляла 30 мс, а заднего – 80 мс.

Амплитуда обоих импульсов может устанавливаться ступенчато от  $17 \cdot 10^3$  А/м до  $214 \cdot 10^3$  А/м с шагом  $0,85 \cdot 10^3$  А/м.

Для обеспечения требуемой точности измерения магнитной индукции в диапазоне 0,05 – 2 Тл постоянные интегрирования каждого из трех поддиапазонов отличаются на порядок и составляют 0,57; 6,4; 64 мс.

Структурная схема прибора представлена на рисунке 1. Прибор состоит из блока заряда 1, блока управления 2, блока индикации и управле-