

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ИНДИКАТОРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ ЧУГУНА

А. А. Чеплюков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

cheplucov32@gmail.com;

науч. рук. – С.Н. Семенович, канд. тех. наук, зав. НИЛ ИИС

Предложены схемотехнические и алгоритмические решения для разработки индикаторного устройства для технологического ультразвукового контроля структуры чугуновых отливок. Разработан электронный макет индикаторного устройства, в котором реализована измерительная схема на основе цифровых счетчиков заполнения временных интервалов, пользовательский интерфейс ввода-вывода и алгоритм определения структуры чугуна.

Ключевые слова: преобразователь временных интервалов, неразрушающий контроль, микропроцессорное устройство, структура чугуна.

В большинстве случаев на предприятиях машиностроения контроль структуры чугуна осуществляется разрушающими методами, но при высокой информативности эти методы трудоемки и длительны. Основные методы неразрушающего контроля структуры материала при производстве чугуновых отливок можно разделить на акустические и магнитные методы. Магнитные методы основаны на анализе кривой намагничивания, не позволяют оценить структуру материала на большой глубине и не используются на изделиях сложной формы. Лабораторные методы с использованием относительно дорогостоящих ультразвуковых дефектоскопов основываются на корреляции между свойствами чугуна, степенью поглощения и рассеивания упругой волны [1, 2]. С учетом успешного опыта применения подобных устройств [3], в данной работе представлен электронный макет бюджетного микропроцессорного индикаторного устройства, в котором для оценки параметров металла используется анализ скорости распространения ультразвуковой волны.

В качестве основной схемы измерений для технологического контроля структуры металла (серый или высокопрочный чугун) используется теневой метод УЗ-дефектоскопии [1], в котором анализируемая область материала известной толщины (предварительно измеренные линейные размеры) располагается между ультразвуковым излучателем и приёмником. Далее рассчитывается время прохождения ультразвуковой волны методом заполнения временного интервала (см. рисунок 1) и на основании исходных данных о скорости распространения ультразвуковой волны для разных марок чугуна и

заданной толщине объекта, структура материала объекта может быть классифицирована [1-2].

Для измерения интервала времени между двумя событиями – время распространения упругой волны от излучателя до приёмника – используется классический метод заполнения временного интервала. Данный метод основан на использовании аппаратных счетчиков-таймеров микроконтроллера. При настройке параметров счетчика используется максимально возможная для него частота тактирования. Каждое внешнее событие (первое событие – это запуск ультразвукового излучателя, второе событие момент приема эхо-сигнала) вызывает программный обработчик прерывания, фиксирующий текущее значение счета N для счетчика-таймера. Результат измерения интервала времени $t_{\text{и}}$ между двумя событиями рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{и}} = T_{\text{таймера}} \cdot (N_2 - N_1),$$

где $T_{\text{таймера}}$ – период тактов счётчика; N_1 и N_2 – значения счетчика-таймера для первого и второго события соответственно; t_1, t_2 – моменты времени в которые происходит обработка прерываний; Δ_1, Δ_2 – погрешность детектирования первого и второго события соответственно; U_0 – амплитуда прямоугольных импульсов на входе.

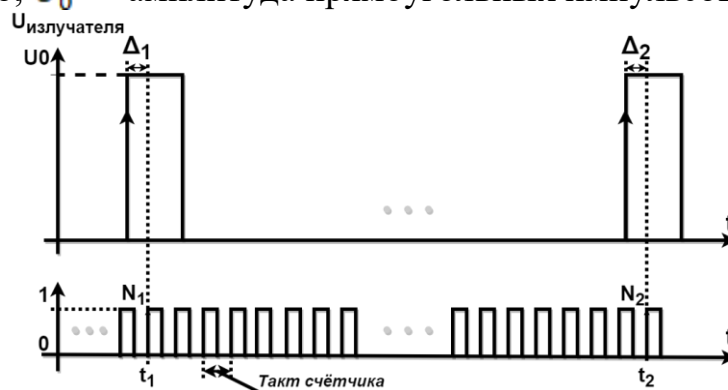


Рис. 1. Метод измерения с помощью заполнения временного интервала

Относительная погрешность измерения интервала $\delta_{\text{и}}$ зависит от трёх компонент: $\delta_{\text{ТГ}}$ – относительная погрешность тактового генератора, δ_N – относительная погрешность дискретности счета (зависит от количества счетных импульсов заполнивших интервал и от погрешности детектирования положения импульсов Δ_1, Δ_2), $\delta_{\text{д}}$ – погрешность дискриминатора (фазовая ошибка компаратора уровня). Итоговая погрешность рассчитывается по формуле:

$$\delta_n = \pm(\delta_{\text{ТГ}} + \delta_N + \delta_d).$$

Наибольший вклад создаёт компонента δ_N , обусловленная дискретностью счёта таймера, $\delta_{\text{ТГ}}$ – очень мала и зависит от стабильности используемого тактового генератора. Типичный кварцевый генератор обеспечивает стабильность в пределах $\pm 0.01\%$, а компонента δ_d для прямоугольных импульсов, поступающих на цифровые входы микроконтроллера, находится в пределах $\pm 0.01\%$. Применение режима синхронного запуска ультразвукового излучателя с привязкой к тактовой серии таймера позволяет минимизировать вклад компоненты Δ_1 , вклад компоненты Δ_2 при этом не превышает длительности одного счетного такта таймера.

Анализ исходных данных позволяют оценить необходимую частоту тактирования счетчика. Диапазон типичных толщин отливок (от 20 до 300 мм) и величина максимальная скорости распространения ультразвуковой волны (до 5500 м/с) определяют диапазон исследуемых интервалов – от единиц до сотни микросекунд. Типичная дискретность измерения линейных размеров (100 мкм) определяет минимальные требования к выбору $T_{\text{таймера}}$ – за 20нс продольная волна проходит расстояние порядка 100 мкм в высокопрочном чугуна[1-3].

В разработанном электронном макете индикаторного устройства (см. рисунок 2) реализована измерительная схема на основе цифровых счетчиков микроконтроллера STM32F401, ядро ARM Cortex-M4 с частотой тактирования 84 МГц обеспечивает дискретность счёта порядка 12 нс. Индикаторное микропроцессорное устройство включает в себя устройства ввода-вывода для управления процессом измерения, внешние схемы ультразвукового излучателя, приёмника и дискриминатора.

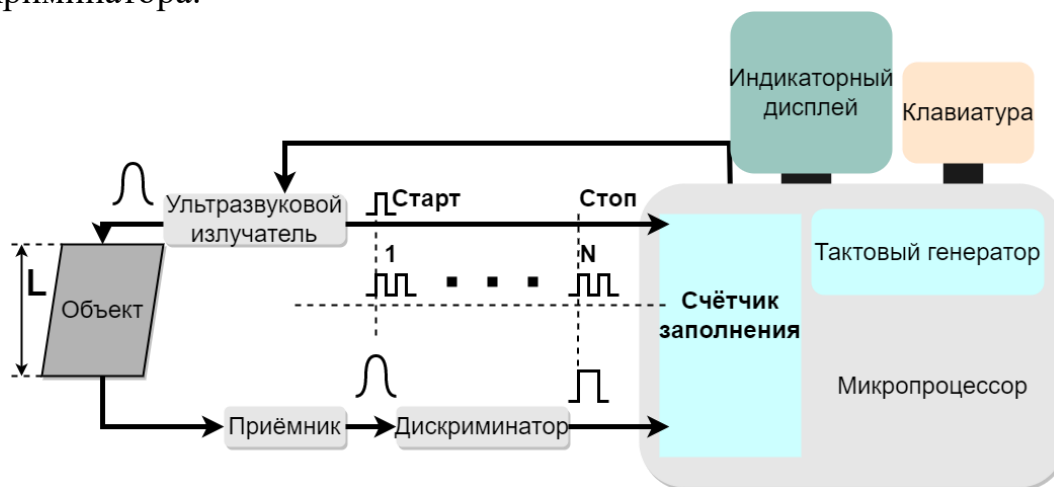


Рис. 2. Структурно-функциональная схема индикатора чугуна

В макете были реализованы и протестированы два основных способа контроля. Первый – количественное определение толщины объекта для случая, когда известны типичные скорости распространения ультразвукового сигнала для серого и высокопрочного чугуна – метод измерения с переменной толщиной объекта. Оператор сможет сравнить два расчётных значения толщины с реальными размерами объекта. Второй – метод измерения с постоянной толщиной – качественная классификация чугуна с заданным линейным размером для известных значений скорости распространения продольной волны.

Для поддержки одновременной работы нескольких функциональных процессов (измерение, индикация, отображение) в разработке программного обеспечения для макета была использована многозадачная система для встраиваемых операционных систем FREERTOS. Для работы с пользовательским меню была использована библиотека с открытым исходным кодом MENU [4]. Для взаимодействия с дисплеем была использована библиотека U8G2 [5]. В качестве основных электронных компонент были выбраны: микроконтроллер STM32F401, модуль кнопочной клавиатуры и ЖКИ дисплей с пассивной матрицей, который обладает малым энергопотреблением.

Предложенное в работе решение позволяет создать бюджетное, портативное устройство для индикации параметров и технологического контроля структуры чугуна.

ВЫВОДЫ

Предложено бюджетное портативное микропроцессорное устройство для контроля структуры чугунных отливок. На едином управляющем микроконтроллере реализован классический метод заполнения временного интервала на основе цифрового внутреннего счётчика совместно с пользовательским интерфейсом ввода-вывода и алгоритмом расчета параметров объекта. Тактовая частота счетных таймеров процессора обеспечивает дискретность счета порядка 12 нс и дискретность измерения линейных размеров на уровне 100 мкм. Данная разработка позволит осуществлять оперативный контроль структуры чугуна. Работоспособность макета протестирована с использованием прецизионного генератора прямоугольных импульсов и гармонических сигналов.

Библиографические ссылки

1. Семеренко А.В., Богомолов И.А. Контроль структуры чугуна с применением ультразвукового толщиномера Microgage III [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sonatest.ru/publications_7.html. – Дата доступа 22.05.2022.
2. Воронкова Л.В. Контроль чугунных отливок ультразвуком. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 25 с.
3. Майоров А.Л., Баяев А.Р., Коновалов Г.Е., Гиль Н.Н. Результаты использования индикаторов структуры высокопрочного чугуна типа ИЧ в условиях производства //Литье и металлургия, № 2 (36), 2006. – С. 102–105.
4. Light library for simple interaction with user interface in stm32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/kapitanArsen/Menu> – Дата доступа 23.05.2022
5. U8g2: Library for monochrome displays, version 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/olikraus/u8g2> – Дата доступа 23.05.2022.