

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 681.518.5

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛЯ МАГНИТОВ

© 2012 г. В. Н. Алферов, Ю. В. Бордановский, Д. А. Васильев, А. В. Лутчев, В. А. Соловьев,
В. Н. Федорченко, А. Н. Холкин

Поступила в редакцию 26.03.2012 г.

После доработки 18.04.2012 г.

Система предназначена для измерения гармонических коэффициентов поля магнитов ускорителей. В состав измерительного стенда входят источник питания магнита постоянным или импульсным током, индукционный датчик – штанга с вмонтированными в нее измерительными рамками, измерительная система. Штанга с рамками приводится во вращение в обоих направлениях шаговым двигателем с редуктором. При вращении рамок в магнитном поле в них возбуждается э.д.с. Сигналы с рамок поступают в измерительные каналы системы.

Традиционно сигнал с рамок, возникающий при изменении магнитного потока при их повороте на фиксированный угол, подается на интегратор [1]. Интегрирование суммарного напряжения за время поворота на заданный угол (интервал интегрирования) осуществляется с помощью преобразователя напряжение–частота или быстро высокоразрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП). При этом значительный вклад в погрешность измерения вносит фактор несинхронности работы измерительных каналов и датчика угла.

В описываемой системе используется синхронизация работы шагового двигателя и высокоразрядного дельта-сигма-АЦП от единого тактового генератора. Это обеспечивает целое число преобразований на каждый шаг двигателя, позволяет варьировать интервал интегрирования при обработке массива данных, менять частоту дискретизации, добиваясь наилучшего отношения сигнал/шум, измерять магнитное поле, а не только изменение потока, усредняя данные измерений за один шаг.

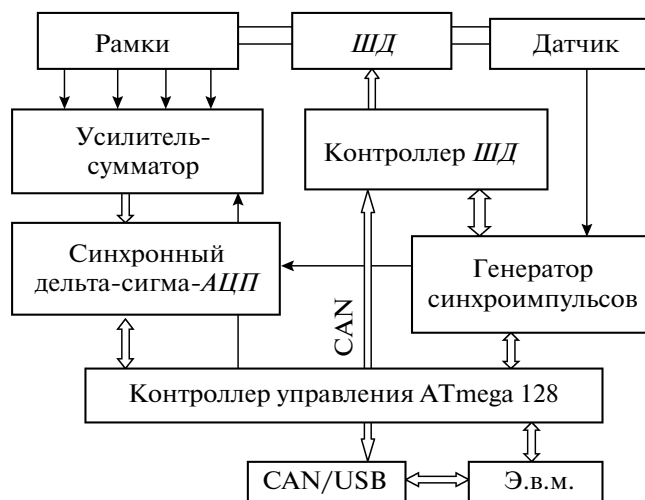
На рисунке приведена структурная схема системы, где показаны основные узлы.

Шаговый двигатель ШД с редуктором (коэффициент редукции 128) и 15-разрядным преобразователем угол–код (при принятой методике используется только при наладке) вращает рамку. Генератор синхроимпульсов предназначен для синхронизации процессов вращения ШД и измерений дельта-сигма-АЦП, обеспечивая частоту 6.144 МГц, которая делится на 512 для тактирова-

ния дельта-сигма-АЦП и синхронизации контроллера управления шаговым двигателем. Контроллер обеспечивает параметры разгона и торможения, направление, скорость вращения рамок, число оборотов и задержку измерения после выхода двигателя на постоянную скорость вращения. Скорость вращения может меняться от 1/15 до 1/2 с⁻¹, число шагов за 1 оборот определяется размером шага (1.5°) и коэффициентом редукции редуктора 128 и равно 30720.

Усилитель-сумматор сигналов собран на базе микросхем ОР37 фирмы Analog Devices и LTC 6912 фирмы Linear Technology с регулируемым коэффициентом усиления. Синхронный 24-разрядный четырехканальный дельта-сигма-АЦП выполнен на базе микросхемы ADS 1274 фирмы Texas Instruments. Установлены частота преобразования 12 кГц и опорное напряжение 2.5 В.

Контроллер, осуществляющий управление генератором синхроимпульсов и АЦП и передачу потока данных измерения в э.в.м., выполнен на базе микроконтроллера ATmega 128 фирмы Atmel. Он связан с э.в.м. по каналу USB через двунаправленный приемопередатчик USB и параллельное FIFO.



Структурная схема системы.

Была проведена проверка линейности зависимости показаний датчика угла поворота измерительной штанги от числа шагов *ШД*. Отклонение не превышает одной единицы из 32764, соответствующих одному обороту 15-разрядного преобразователя угол-код.

Система испытана при измерениях гармонических коэффициентов поля (до 18-й гармоники включительно) квадрупольных магнитов ускорителя SIS 300 [2]. Измерения проводились при различных значениях токов. Штанга с рамками поворачивалась в режиме разгон – вращение с постоянной скоростью на один оборот – торможение, и обратно. Анализ результатов магнитных измерений проводился методом быстрого фурье-преобразования (FFT).

Работа была проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственный контракт № 16.518.11.7005 от 12 мая 2011 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Billan J.* // Proceedings of Magnet Measurement Workshops, IMMW 11. Brookhaven National Laboratory (BNL), Brookhaven, October 1999.
2. *Tkachenko L., Bogdanov I., Kozub S. et al.* // IEEE Trans. Appl. Superconductivity. 2010. V. 20. Issue 3. Part 1. P. 159.

*Адрес для справок: Россия, 142281, Протвино Московской обл., ул. Победы, 1, Институт физики высоких энергий. Тел. 8-909-943-7759.
E-mail: Vladimir.Alferov@ihep.ru*