

## Литература

1. *Ashkin. A., Dziedzic. J. N., Bjorkholm J. E.* Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles // *Opt. Lett.* 1986. №11. P. 288–290.
2. *Ulanowski Z.* Optical tweezers—principles and applications // *Proc. Roy. Microscopical Soc.* 2001. №36. P. 7–14.
3. *MacDonald M. P., Peterson L., Sibbett W., Dholakia K.* Trapping and manipulation of low-index particles in a two-dimensional interferometric optical trap // *Opt. Lett.* 2001. №26 P. 863–865.
4. *Рубинов А. Н., Афанасьев А. А.* Физические принципы применения градиентных лазерных полей в медицине // *Изв. РАН. Сер. физ.* 2002. №66. С.1133–1136.
5. *Рубинов А. Н., Катаркевич В. М., Эфендиев Т. Ш.* Модуляция концентрации частиц в интерференционном поле лазерного излучения // *Журн. прикл. спектр.* 2003. №70. 663–666.
6. *Катаркевич В. М., Рубинов А. Н., Эфендиев Т. Ш.* Динамика захвата микрочастиц интерференционным полем при непрерывном импульсном облучении // *Журн. прикл. спектр.* 2004. №71. С.103–107.
7. *Ashkin A.* Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1997. №94 P. 4853–4860.

## АНАЛОГО-ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ДВИЖЕНИЯ МИНИАТЮРИЗИРОВАННОГО ДОПЛЕРОВСКОГО МОДУЛЯТОРА ДЛЯ МЕССБАУЭРОВСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**К. О. Ямный**

Эффект Мессбауэра дает возможность наблюдения резонансной гамма – флуоресценции на линиях естественной ширины. Это открытие, отмеченное Нобелевской премией по физике в 1961 г, дало исследователям чрезвычайно прецизионный резонансный метод регистрации изменений энергии ядерных переходов с разрешающей способностью  $\Gamma/\varepsilon_0 = 10^{-12} \div 10^{-15}$ . Впервые оказалось возможным изучение сверхтонкой структуры ядерных уровней, а также влияния электрических магнитных и гравитационных полей на энергию  $\gamma$ -квантов.

Мессбауэровская спектроскопия является мощным средством для структурно-аналитических исследований конденсированных сред. В силу этого она нашла широкое применение в научных и прикладных исследованиях, охватывающих области материаловедения, химии, геофизики, биологии и др. В последние годы этот метод находит применение в исследованиях структуры и эволюции планет Солнечной системы, прежде всего, Марса [1]. В силу этого мировым научным сообществом было принято решение о включении мессбауэровских спектрометров в состав исследовательской аппаратуры для планируемых научных экспедиций на Марс и Меркурий.

Для применения любого устройства в космосе, необходимо выполнение ряда существенных требований: ограничения по массогабаритным характеристикам прибора; малая потребляемая мощность; автоматическая процедура измерения. В нашем случае, в первую очередь, необходима минимизация системы движения спектрометра на основе доплеровского модулятора, как наиболее габаритного узла, а также сервосистемы спектрометра.

Одна из трудностей при создании микро-модулятора заключалась в том, что для подвеса штока доплеровского модулятора обычно использовались пружинные подвесы. Их применение в микро-модуляторе не давало возможности радикально миниатюризировать модулятор, так как при этом сильно ухудшается линейность его работы [1].

Одно из решений этой проблемы было найдено в Белорусском государственном университете в группе мессбауэровской спектроскопии кафедры ядерной физики. В 90-ые годы этой группой был разработан уникальный микро-модулятор [2], в котором пружинные подвесы были заменены полимерными волокнами.

На сегодняшний день это самый компактный доплеровский модулятор в мире. Его масса составляет 29 г, длина 34 мм и диаметр 20 мм. Нелинейность скоростной шкалы менее чем 0,1%, как для массивного доплеровского модулятора. Диапазон рабочих температур –  $-40^{\circ}\text{C} - +40$

Описанный модулятор был использован в прототипе мессбауэровского спектрометра, предназначенного для Российской космической миссии «Марс». К сожалению, первый же проект этой миссии, «Марс-96», потерпел неудачу еще при старте с Земли, и дальнейшие работы были приостановлены.

Другой вариант решения проблемы миниатюризации доплеровского модулятора был реализован исследовательской группой в Университете Дармштадта [3]. Авторами был использован традиционный подход к построению систем движения, однако в силу применения прецизионных технологий, размер и потребляемая мощность системы движения были значительно уменьшены. Микро-модулятор был интегрирован в состав миниатюризированного мессбауэровского спектрометра MIMOS II, установленного на борту американского марсохода "Спирит".

В то же время, характеристики системы движения мессбауэровского спектрометра MIMOS II заметно уступают миниатюризированной системе движения, созданной на кафедре ядерной физики БГУ:

1. По интегральной нелинейности - более, чем в пять раз;
2. По габаритам – почти в 2 раза (микро-модулятор БГУ - 29 г, модулятор MIMOS – 56 г).

Функцией электродинамической системы с обратной связью в мессбауэровском спектрометре является использование опорного сигнала

для приведения в движение сравнительно тяжелого объекта (на котором укреплен радиоактивный источник) со скоростью, которая с большой точностью пропорциональна величине опорного сигнала. Тогда каждый канал будет соответствовать определенному интервалу скоростей. Так как, в нашем случае, опорный сигнал имеет треугольную форму (режим постоянных ускорений), то спектр снимается в многоканальном анализаторе дважды за один цикл временной развертки, причем вторая половина спектра является зеркальным изображением первой.

Опорный генератор задает сигнал, периодически изменяющийся по заданному (например, треугольному) закону. Доплеровский модулятор реализует относительное перемещение источника и образца по этому же закону. Соответствие форм сигналов скорости и опорного сигнала обеспечивается системой с электродинамической обратной связью.

Сервисная схема микро-модулятора приведена на следующем рисунке (рис. 1).

Однако в существующей сервисной схеме выявлен ряд существенных недостатков, которые препятствуют возможности участия в космической экспедиции. В первую очередь, необходимо время от времени вручную настраивать функциональные потенциометры для коррекции сигнала ошибки, наблюдая при этом изменение сигнала ошибки на осциллографе, и визуально определяя момент, когда он минимален. При применении спектрометра в космосе такая операция невозможна и, кроме того, визуальная настройка неточна и субъективна. Для повышения точности и линейности сигнала скорости, нами была поставлена задача создания микропроцессорной системы движения доплеровского модулятора.

Основной функцией микропроцессора является создание опорного сигнала скорости и сигналов, корректирующих сигнал ошибки. Т.е. на микропроцессор переносится часть функций выполняемых аналоговой сервисной схемой, таких как, интегрирующая функция ПИД-регулятора,

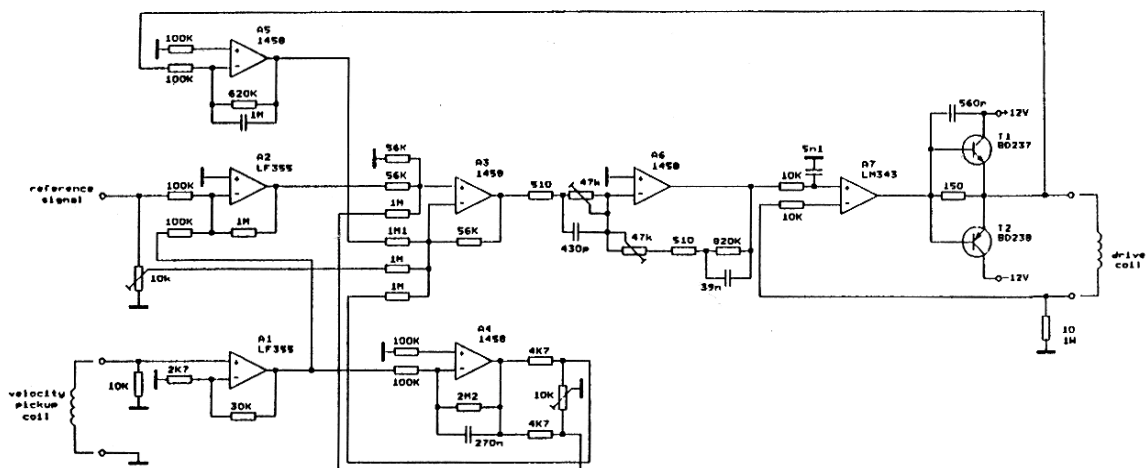


Рис. 1 Структурная схема системы электродинамической обратной связи.

функция исправления параболической нелинейности и корректировки постоянной составляющей сигнала скорости.

Структурная схема системы движения на основе микропроцессорной системы показана на следующем рисунке (рис. 2).

На выходе ЦАП1 формируется опорный сигнал скорости, поступающий на схему вычитания с сигналом с измерительной катушки. Таким образом на вход сумматора  $\Sigma$  поступает сигнал ошибки и корректирующие его сигналы с выхода ЦАП2, которые создаются программно.

Сигнал ошибки через 16-разрядный АЦП записывается в память. 10-разрядный АЦП с фильтром низких частот (RC-цепочка) служит для корректировки постоянной составляющей. Сигнал с его выхода также записывается в память, где подвергается программной обработке.

В настоящее время нами разрабатывается принципиальная электрическая схема описанной выше системы обратной связи. В дальнейшем эта система будет взята за основу разработки миниатюрного мессбауэровского спектрометра для космических исследований.

Расширение космических исследований планет солнечной системы, планируемых на ближайшее десятилетие, требует применения наиболее надежных, быстрых и точных приборов и датчиков. В связи с этим, разработка миниатюризованного мессбауэровского спектрометра с высокими точностными характеристиками и предельно малыми габаритами является очень актуальной на сегодняшний день.

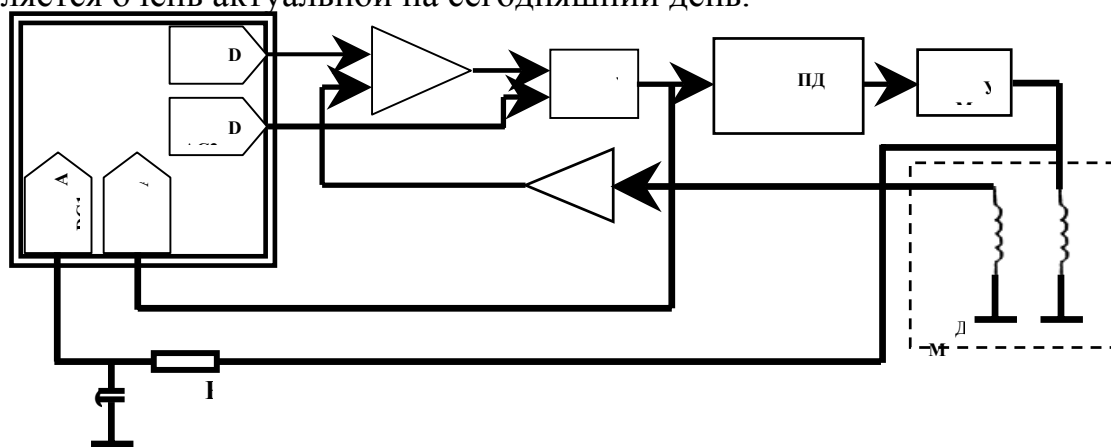


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорной системы

### Литература

1. Klingelhöfer G. et al. Miniaturized Mössbauer Spectrometer Mimos Ii// Sixth International Conference on Mars (2003).
2. Evdokimov V. A., Mashlan M., and others. Mini and micro transducers for Mossbauer spectroscopy. // Nuclear Instruments and Methods in physics Research B 95 (1995) 278–280.
3. Интернет – адрес : <http://iacgu7.chemie.uni-mainz.de/klingelhoefer/mimos.html>