

А. Ю. ЛИПИНСКИЙ, А. Н. РУДЯКОВА, к. ф.-м. н. В. Г. ПИЦЮГА

Украина, Донецкий национальный университет
E-mail: lipinskii@mail.ru

Дата поступления в редакцию
27.04 2005 г.

Оппонент д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ
(ДонНУ, г. Донецк)

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕСЫ С ЦИФРОАНАЛОГОВЫМ КАНАЛОМ КОМПЕНСАЦИИ

Предлагаемая система автоматизации процесса непрерывного точного взвешивания дает высокую точность измерений при сравнительной простоте измерительной установки.

При экспериментальном исследовании физических свойств сегнетоэлектриков возникает необходимость в непрерывной регистрации массы кристаллов.

Методы точного взвешивания получили достаточно широкое распространение при исследовании магнитной восприимчивости слабомагнитных веществ. Большинство из них обычно основано на измерении механической силы, которая действует на образец, помещенный в неоднородное магнитное поле [1]. К числу методов, обладающих высокой чувствительностью, относятся маятниковые и крутильные весы, а также рычажные весы с электромагнитной компенсацией. Все они дают возможность измерять силу порядка 10^{-7} Н.

Маятниковые и крутильные весы отличаются достаточно сложной конструкцией, требуют частой настройки и калибровки, что в условиях длительного эксперимента делает практически невозможным их использование. В случае рычажных весов электромагнитную компенсацию изменения массы удобно использовать для ввода экспериментальных данных в управляющую ЭВМ. При этом алгоритм измерения заключается в постоянной компенсации отклонения подвижной системы весов от нулевого положения изменением силы тока в компенсирующей катушке.

Система автоматизации, рассматриваемая в данной работе, может применяться в любой установке, которая производит измерения нулевым методом и имеет электромагнитный компенсатор, что создает необходимые условия для реализации на этой основе автоматической цифровой системы слежения.

В основе преобразователя "масса—напряжение" лежит система электронных весов с электромагнитной компенсацией, предложенная Д. И. Волковым и Л. А. Пшеничкиным [1, с. 91—98]. Структурная схема установки приведена на **рис. 1**.

На оси электродинамической системы, состоящей из постоянного магнита 1 и подвижной катушки 2, жестко закреплена стрелка-коромысло 3. На одном конце коромысла на вольфрамовой нити 4 закреплен исследуемый образец 5, на другом — противовес 9.

На коромысле, в месте его закрепления с осью электродинамической системы, установлено зеркало 7, ниже которого расположены источник света 8 и дифференциальный фоторезистор 6. Луч света от источника 8, отражаясь от зеркала, попадает на фоторезистор. В зависимости от угла наклона коромысла изменяется положение светового пятна на поверхности дифференциального фоторезистора, в результате чего область пониженного сопротивления смещается от нулевого положения, и потенциал среднего вывода фоторезистора тоже становится отличным от нуля.

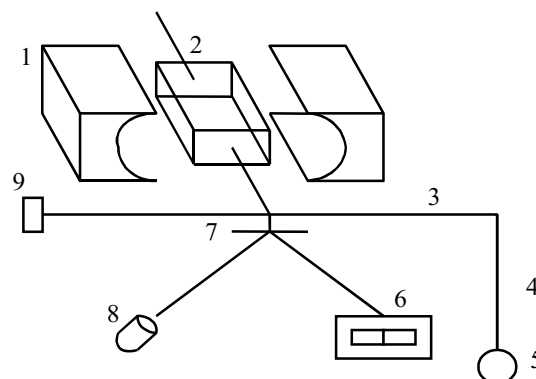


Рис. 1. Структурная схема преобразователя

Измерение массы осуществляется нулевым методом. Для этого через компенсационную катушку электродинамической системы пропускается постоянный ток силой до 200 мА, при этом магнитное поле катушки взаимодействует с полем постоянного магнита. Изменяя силу тока в катушке, возвращают подвижную систему в нулевое положение. Нулевое положение коромысла весов отмечают по равенству сопротивлений плеч дифференциального фоторезистора. Масса измеряемого образца определяется по силе тока в компенсационной катушке.

На **рис. 2** приведена функциональная схема устройства согласования электромеханической части весов с управляющей ЭВМ, в задачу которой входит формирование компенсирующего тока и преобразование сигнала разбаланса от дифференциального фоторезистора в цифровой код.

Устройство согласования включает в себя следующие основные узлы:

— цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), преобразующий цифровой код от управляющей ЭВМ в задающий аналоговый сигнал;

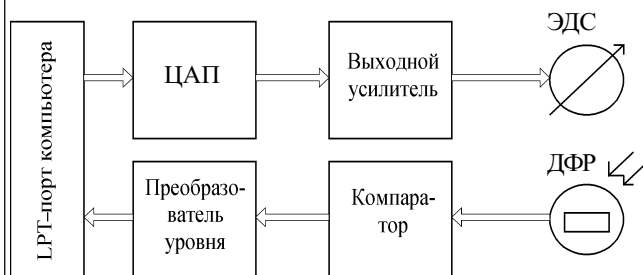


Рис. 2. Функциональная схема устройства согласования

— выходной усилитель, согласующий слаботочный выход ЦАП с низким входным сопротивлением компенсирующих катушек электродинамической системы ЭДС;

— компаратор, служащий для преобразования изменения сопротивления дифференциального фоторезистора (ДФР) в двоичный сигнал (высокий или низкий уровень);

— преобразователь уровня, осуществляющий преобразование уровней сигнала с выхода компаратора к ТТЛ-уровням.

На рис. 3 приведена принципиальная электрическая схема устройства согласования.

ЦАП реализован на микросхеме K572ПА1А [2]. На выходе ЦАП установлен преобразователь тока в напряжение на операционном усилителе IC2 K140УД7, работающем в режиме суммирования токов и служащем для преобразования выходного тока ЦАП в напряжение. Между преобразователем "ток—напряжение" и компенсационной катушкой L1 электродинамической системы установлен эмиттерный повторитель на транзисторе VT1. Резистор R19 ограничивает максимальный ток через катушку L1. На операционных усилителях IC3, IC4 собран компаратор-преобразователь, сравнивающий напряжение на среднем выводе дифференциального фоторезистора с опорным напряжением, снимаемым с делителя R4, R5, R17. Резистор R17 устанавливает ширину области, которая определяется как баланс весов. Необходимость включения этого резистора в схему обусловлена дискретностью значений компенсирующего напряжения. Преобразование сигнала с выхода компаратора к уровню ТТЛ осуществляется триггером Шмидта, реализованным на элементах 2И–НЕ микросхемы K155ЛА3. Диоды VD1, VD2 служат для защиты входа триггера Шмидта от напряжения обратной полярности.

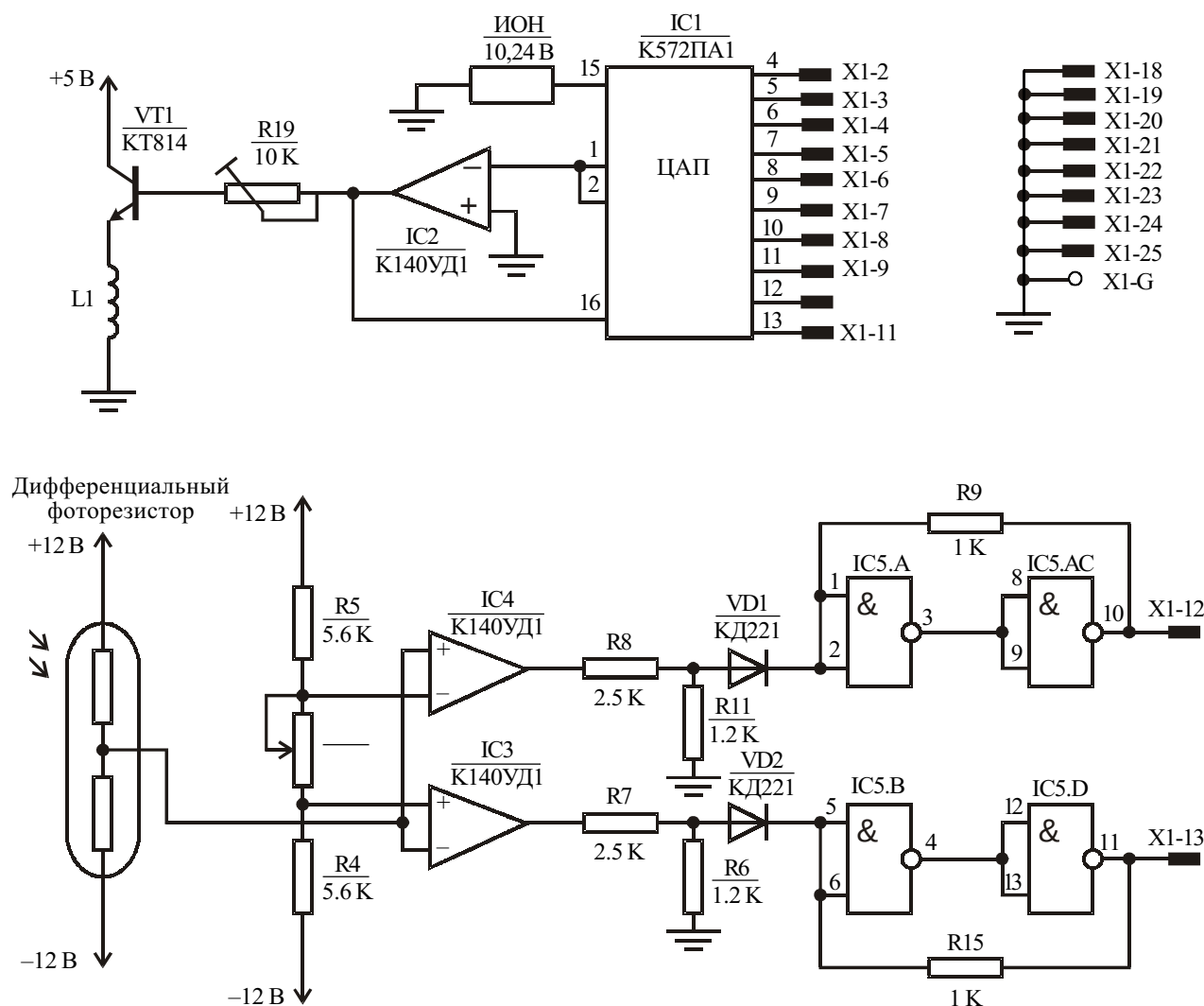


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема устройства согласования

Диапазон измерения массы определяется двумя основными факторами: чувствительностью электродинамической системы фотоэлектронного преобразователя и диапазоном изменения выходного напряжения цифроаналогового преобразователя. Последний можно изменять резистором R19. В рассматриваемом случае резистор подобран так, что диапазон измеряемой массы равен 0,1 мг. Пример калибровочного графика приведен на рис. 4.

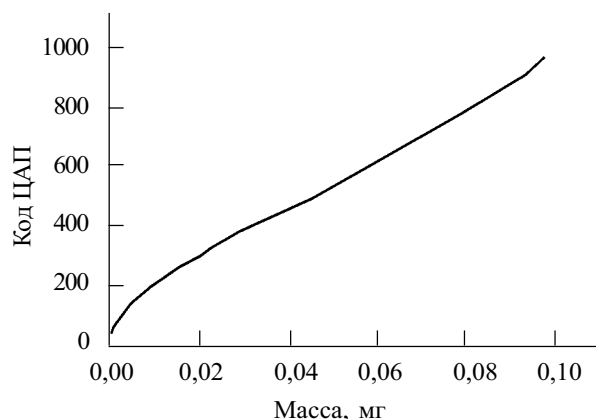


Рис. 4. Калибровочный график

Погрешность измерения массы складывается:

- из погрешности калибровки (для калибровки применялись разновесы с точностью 0,006 мг);
- из погрешности, связанной с дискретностью компенсационного сигнала (при использовании десятиразрядного ЦАП дискретность шага по массе составляет 0,0001 мг);
- из погрешности, связанной с трением в местах закрепления оси коромысла при измерении малых изменений массы.

Влияние силы трения можно уменьшить путем измерения массы методом последовательных приближений к точке равновесия с двух сторон. В результате получим два значения массы $M_{\max}$ и $M_{\min}$, истинное значение которой находится как их среднее арифметическое.

Таким образом, систематическая погрешность весов составляет 0,006 мг. Основную погрешность вносят калибровочные разновесы, что связано с отсутствием высокоточных разновесов массой в долях миллиграмма.

Как видно из рис. 4, начиная с 0,02 мг, т. е. с момента, когда измерения отвечают заданной точности, зависимость между кодом, записываемым в ЦАП, и массой измеряемых образцов практически линейная.

Преимущество применения предложенного метода автоматизации процесса непрерывного точного взвешивания заключается в сравнительной простоте измерительной установки, т. к. фотоэлектронный преобразователь — это конструктивно законченный узел, не требующий доработки; наладка электронной схемы также не составляет труда. Применение нулевого метода не только повышает точность определения момента баланса весов, но и позволяет упростить обработку получаемой информации. Применение ЭВМ в качестве системы управления делает возможным использование интерполяционных методов обработки потока результатов измерений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Черчерников В. И. Магнитные измерения. — М.: Изд-во МГУ, 1963.
2. Федорков Б. Г., Телец В. А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. — М.: Энергоатомиздат, 1990.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ



V Международная научно-техническая конференция "Электроника и информатика — 2005"

В Московском государственном институте электронной техники (техническом университете) **23 — 25 ноября 2005 г.** проводится V Международная научно-техническая конференция "Электроника и информатика — 2005", посвященная 40-летию МИЭТ.

Научные направления работы конференции

- | | |
|---|---|
| 1. Нанотехнология в электронике. | 6. Информационные технологии. |
| 2. Микро- и наносистемная техника. | 7. Информационно-управляющие системы и комплексы. |
| 3. Материалы микро-, опто- и наноэлектроники. | 8. Телекоммуникационные системы и связь. |
| 4. Проектирование и технология электронных компонентов. | 9. Биомедицинская электроника. |
| 5. Опто- и акустоэлектроника. | 10. Менеджмент и маркетинг в электронике и информатике. |

Адрес Оргкомитета: 124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, д. 5,
Московский государственный институт электронной техники (МИЭТ), ОНТИ.
Телефон: (095) 532-98-30, факс: (095) 530-54-29
<http://www.miet.ru> (раздел "Конференции и семинары")