

Д. ф.-м. н. Л. А. БУЛАВИН, к. ф.-м. н. О. Ю. АКТАН,
Т. Ю. НИКОЛАЕНКО

Украина, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко
E-mail: tim_mail@ukr.net

Дата поступления в редакцию
04.03 2008 г.

Оппонент к. т. н. М. В. ЯДРОВА
(ОНПУ, г. Одесса)

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Разработана простая в реализации система регистрации параметров механических колебаний, обладающая высоким быстродействием, и соответствующее программное обеспечение.

При выполнении экспериментальных исследований часто возникает необходимость регистрации параметров гармонических колебаний (в том числе затухающих) различных объектов и сред. Примером тому могут служить установки для измерения реологических параметров жидких металлов [1], консистентных жидкостей [2] и др. Основной подвижной частью таких установок является крутильный маятник, совершающий в процессе измерений затухающие гармонические колебания.

Для измерения реологических параметров консистентных жидкостей с помощью такой установки определяют период и декремент затухающих колебаний стержня маятника. С этой целью на стержне маятника укрепляют зеркало и направляют на него луч лазера. Экспериментатор сообщает стержню маятника начальное отклонение и наблюдает (при визуальном способе регистрации) за положением отраженного от зеркала луча на шкале (рис. 1). Когда луч впервые проходит через нулевое значение шкалы, включают секундомер, а когда луч проходит его N раз (как правило, в эксперименте $N=7$) секундомер останавливают. По известным значениям количества колебаний и их суммарной продолжительности вычисляют период колебаний T . Логарифмический декремент затухания δ определяют по формуле [3]:

$$\delta = \frac{\ln(a_1 / a_N)}{N},$$

где a_1 и a_N — соответственно амплитуды первого и N -го колебаний.

Однако визуальная регистрация достаточно трудоемка и вносит дополнительную погрешность в результаты эксперимента. Это потребовало разработки электронных способов регистрации механических колебаний.

Авторами [3] была предложена электронная установка для автоматической регистрации периода и декремента затухания колебаний по отношению скоростей прохождения отраженным лучом положения равновесия при первом и N -м колебании. Для этого

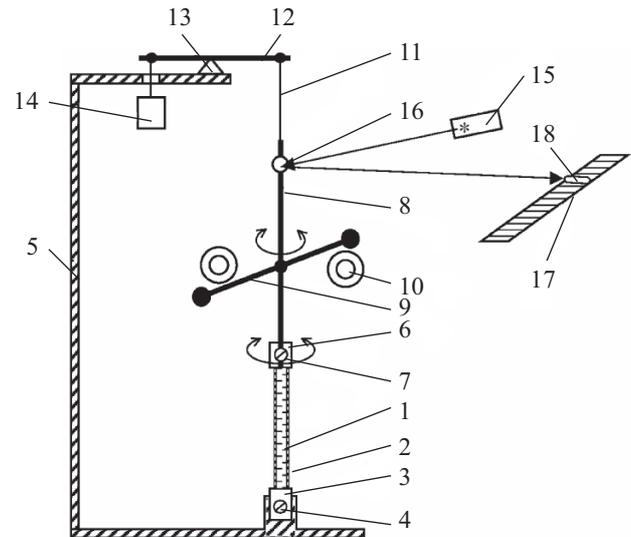


Рис. 1. Схема реализации базового (визуального) способа определения параметров колебаний крутильного маятника: 1 — исследуемая жидкость; 2 — трубка из эластичного материала; 3, 6 — пробка; 4, 7 — зажим; 5 — штатив; 8 — жесткий стержень; 9 — коромысло; 10 — электромагнит; 11 — упругая нить; 12 — рычаг подвесной системы; 13 — опора; 14 — груз натяжения; 15 — источник света (лазер); 16 — зеркало; 17 — шкала; 18 — пятно от луча света на шкале

вместо шкалы с делениями устанавливают непрозрачный экран с двумя щелями, расположенными симметрично относительно равновесного положения луча. За экраном помещают фотоэлемент, подключенный к электронному устройству, которое обрабатывает сигнал от фотоэлемента для последующего вычисления T и δ . Электронное устройство, предложенное в [3], состоит из 17 отдельных блоков, сложно реализуется и требует сопряжения с ПЭВМ.

Более простой вариант компьютерной реализации этой же методики предложен в [4]. Здесь электронная часть системы регистрации параметров колебаний состоит из двух фоторезисторов и несложной схемы сопряжения с ПЭВМ. Принцип работы электронной части системы основан на регистрации моментов времени t_j^A и t_j^B попадания отраженного луча лазера соответственно в щели A и B , расположенные на расстоянии l друг от друга симметрично положению равновесия луча (j — порядковый номер прохождения положения равновесия).

В качестве фотодатчиков в [4] использованы два фоторезистора типа ФПФ-7, которые имеют сравнительно большое (до 10 мс) время реакции. В связи с этим область применения устройства ограничена регистрацией колебаний с большим периодом, т. к. время движения луча между щелями должно значительно превышать время реакции фоторезисторов. Кроме того, измерение промежутков времени в [4] реализовано на базе системного таймера ПЭВМ (микросхема i8253), что исключает использование управляющего программного обеспечения такой установки в многозадачной операционной системе (например, MS Windows).

Таким образом, разработка электронной системы регистрации механических гармонических колебаний, лишенной указанных недостатков, является актуальной задачей. Для ее решения следует, во-первых, вместо фоторезисторов использовать в качестве датчика фотодиод, а во-вторых, «вынести» за границы ПЭВМ блок измерения промежутков времени. В то же время, следует сохранить простоту реализации аппаратной части системы.

Достичь поставленной цели авторам удалось путем построения системы регистрации на базе 8-разрядного микроконтроллера PIC16F630 фирмы Microchip и ПЭВМ. Тактовый генератор микроконтроллера PIC16F630 позволяет обеспечить работу в режиме синхронизации внешним кварцевым резонатором (используется частота 8 МГц). Кроме того, PIC16F630 имеет встроенные модули 16-разрядного таймера и аналогового компаратора. Изменение логического состояния выхода компаратора приводит к генерации команды прерывания. Работа микроконтроллера управляется программой, хранящейся во FLASH-памяти размером 1024 команды; объем памяти, доступной для данных программы, составляет 64 байта.

На рис. 2 показана схема построения предлагаемой системы регистрации, а на рис. 3 — подключение микроконтроллера к электронной части.

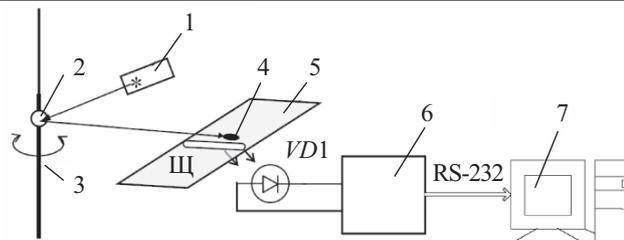


Рис. 2. Схема построения электронной системы регистрации параметров колебаний:

1 — лазер; 2 — зеркало; 3 — стержень крутильного маятника; 4 — пятно от отраженного зеркалом 2 лазерного луча; 5 — непрозрачный экран с щелью Щ; 6 — электронная часть (см. рис. 3); 7 — ПЭВМ

Резисторы $R1$ и $R2$ образуют делитель напряжения, обеспечивающий на инвертирующем входе C_{in-} компаратора микроконтроллера потенциал около 0,15 В. Когда фотодиод $VD1$ затемнен (т. е. когда луч лазера не попадает в щель Щ), напряжение на входе C_{in+} компаратора меньше, чем на C_{in-} , и на выходе C_{out} компаратора напряжение соответствует уровню логической единицы (выход компаратора программно инвертирован). Резистор $R3$ создает положительную обратную связь, необходимую для подавления пульсаций напряжения («дребезга») на фотодиоде, возникающих во время изменения его освещенности. Светодиод $VD2$ служит индикатором освещенности фотодиода $VD1$ и используется при юстировке оптической части системы (в случае необходимости).

На рис. 4 приведена блок-схема, иллюстрирующая работу программы микроконтроллера, разработанной для управления предлагаемой системой регистрации.

Когда отраженный луч лазера попадает в щель Щ, фотодиод $VD1$ освещается и напряжение на входе C_{in+} компаратора (см. рис. 3) становится выше, чем на C_{in-} . Это приводит к изменению логического уровня на выходе C_{out} компаратора с логической 1

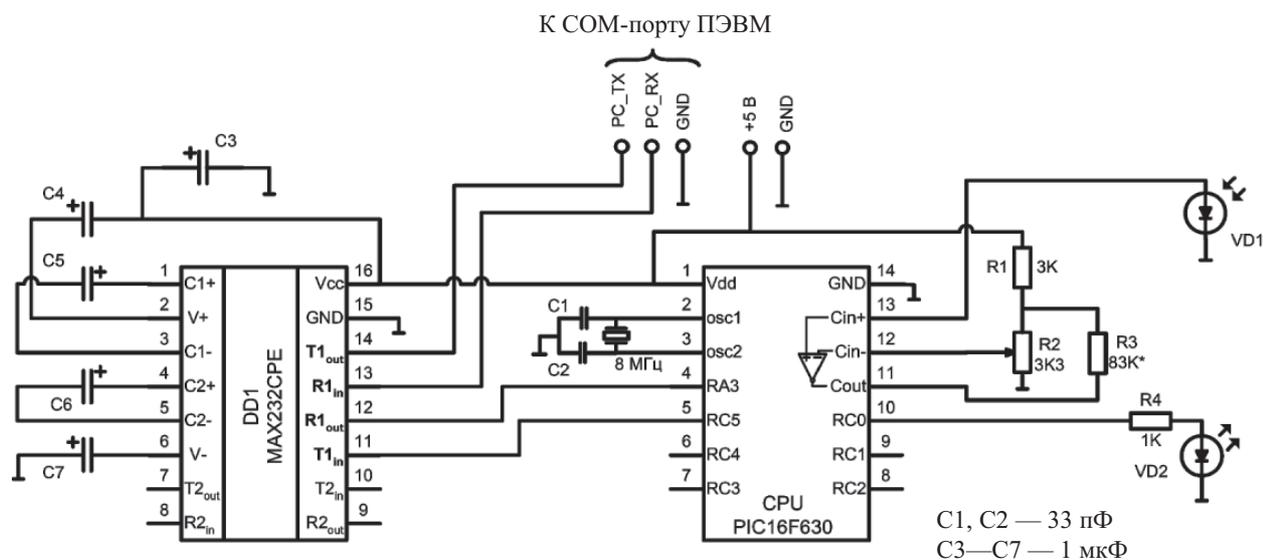


Рис. 3. Схема подключения микроконтроллера к электронной части системы регистрации (на выводах C_{in+} , C_{in-} , C_{out} показан встроенный аналоговый компаратор микроконтроллера)

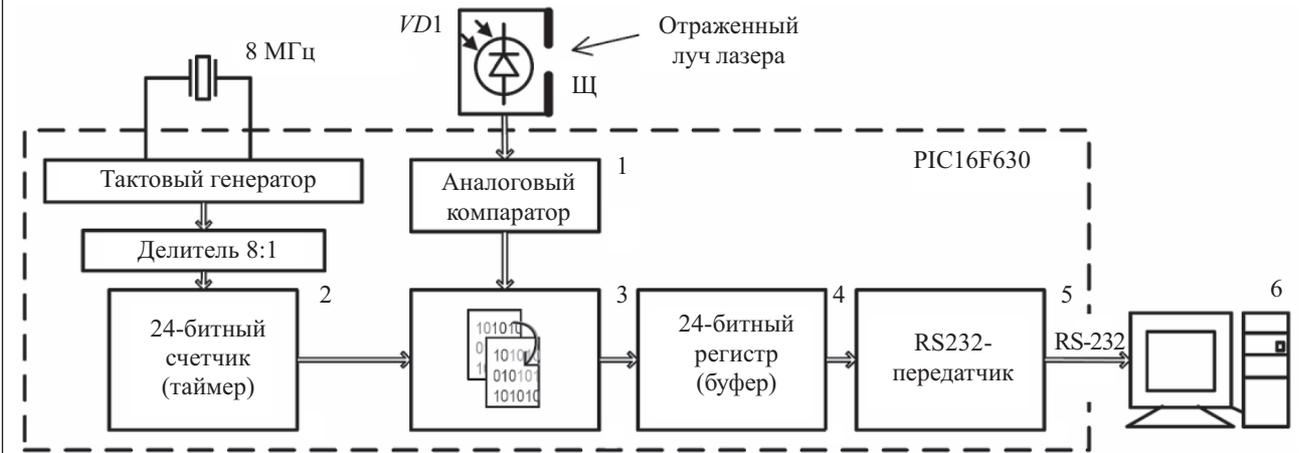


Рис. 4. Блок-схема работы программы микроконтроллера

на логический 0 и к генерации аппаратного прерывания, процедура-обработчик которого 3 (см. рис. 4) сохраняет в буфере 4 текущее значение времени таймера 2 (с точностью не ниже 10 мкс). Это же происходит и в моменты времени, когда луч лазера выходит за пределы щели Щ.

В установке [2], для которой разрабатывалась электронная система, время засветки фотодиода составляет не менее 10 мс. В течение этого времени передатчик 5 отправляет сохраненное в регистре 4 значение на ПЭВМ 6. Для этого используется протокол RS-232 на скорости 19200 бод, а передаваемые биты формируются на выводе RC5 микроконтроллера программным путем. Для согласования низковольтных логических уровней микроконтроллера и уровней СОМ-порта ПЭВМ используется микросхема MAX232СРЕ. Предусмотрена также возможность приема устройством команд от ПЭВМ.

Работающее на ПЭВМ специальное программное обеспечение принимает оцифрованную таким образом последовательность моментов времени t_j^A и t_j^B , которые в данном случае соответствуют пересечению лучом одной и второй границ щели Щ. По значениям t_j^A и t_j^B автоматически рассчитывается период колебаний и декремент затухания. Для этого используется следующая методика.

Обозначив $t_j = (t_j^A + t_j^B)/2$, для расчета периода колебаний имеем:

$$T = \frac{t_j - t_1}{(j-1)/2},$$

где t_1 — момент времени первого прохождения лучом положения равновесия.

Скорость v_j прохождения лучом положения равновесия определяют как

$$v_j = \frac{l}{t_j^A - t_j^B}. \quad (1)$$

С другой стороны, если продифференцировать по времени выражение для координаты отраженного луча на шкале

$$x = a_0 e^{-\frac{\delta}{T}t} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right),$$

где a_0 — начальная амплитуда, и положить $t = j(T/2)$ — момент времени прохождения лучом положения равновесия в j -й раз, то для v_j получим следующее выражение:

$$v_j = \frac{dx}{dt} \Big|_{t=jT/2} = \frac{2\pi a_0}{T} \cdot (-1)^j e^{-\delta j/2}. \quad (2)$$

Декремент затухания δ вычисляется ПЭВМ, используя (2) для аппроксимации последовательность точек $\{j, v_j\}$, полученных из (1).

Все элементы предложенной электронной части системы собраны на монтажной плате, которая конструктивно включена в состав крутильного маятника.

Таким образом, разработано простое в реализации устройство, обладающее высоким быстродействием (время реакции не более 10 мкс) и содержащее внутренний таймер, что позволяет использовать для обработки результатов программное обеспечение ПЭВМ в многозадачной операционной системе (MS Windows). Для обработки данных, передаваемых устройством на ПЭВМ, разработано специальное программное обеспечение для компьютеризированной регистрации параметров механических гармонических колебаний.

Разработанное устройство может использоваться для регистрации параметров не только крутильных, но и линейных колебаний.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Швидковский Е. Г. Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов. — М.: Гостехтеориздат, 1955.
2. Пат. 78094 України. Спосіб визначення реологічних характеристик консистентних рідин / Л. А. Булавін, Ю. Ф. Забашта, О. Ю. Актан, Т. Ю. Ніколаєнко. — 2007. — Бюл. № 2.
3. Яковлев Г. П., Дунаев Ф. Н., Шелкунов Г. С. Электронная установка для регистрации периода и логарифмического декремента // В кн.: Новые машины и приборы для испытания металлов. — М.: Металлургиздат, 1963. — С. 51—53.
4. Булавин Л. А., Актан О. Ю., Николаенко Т. Ю. и др. Компьютеризация метода крутильных колебаний // Приборы и техника эксперимента. — 2007. — № 3. — С. 164—165.