

## Глава 2

# Компьютер как измерительный прибор

---

Персональный компьютер, дополненный некоторыми аппаратными приспособлениями, можно превратить в электроизмерительный прибор, который может быть или очень простым измерительным прибором (например, для измерения частоты радиосигнала), или очень сложным измерительным комплексом, предназначенным для измерения самых разных электрических и неэлектрических величин.

Материал этой главы распределен по трем разделам.

- В первом разделе приведена информация о применении совместно с компьютером простого самодельного аппаратного устройства, позволяющего измерять частоту поданного на вход устройства электрического сигнала звуковой частоты.
- Во втором разделе описаны возможности выполнения посредством компьютера измерений различных электрических и неэлектрических величин с помощью недорогих аналого-цифровых преобразователей.
- В третьем — приведены некоторые сведения об измерительных модулях, которые позволяют совместно с компьютером создавать сложные измерительные комплексы.

## ПК как простой частотомер

Самый простой прибор для измерения частоты электромагнитных колебаний звуковой частоты можно построить на базе ПК. Для этого необходимо добавить к нему очень простое аппаратное электронное устройство и разработать соответствующую компьютерную программу.

Для выполнения поставленной задачи используем СОМ-порт компьютера, а при создании компьютерной программы применим принципы нестандартного программирования СОМ-порта, изложенные в главе 1.

Принцип предлагаемого измерения частоты очень прост. Компьютерная программа просматривает подаваемый на вход СОМ-порта компьютера сигнал в течение определенного времени и считает при этом число положительных полупериодов электрических колебаний. Величина измеряемой частоты сигнала получается в результате деления этого числа полупериодов на время проведения измерения (в секундах).

При создании простого частотомера учитывались следующие моменты.

- Измеряемый сигнал в большинстве случаев может иметь синусоидальную (или близкую к синусоидальной) форму. Компьютерная программа может просматривать такой сигнал и работать с ним, но более удобным для восприятия компьютером является сигнал прямоугольной формы.
- СОМ-порт воспринимает как положительные сигналы с амплитудой от +3 до +12 В, так и отрицательные сигналы с амплитудой от -3 до -12 В. Сигналы с

амплитудой от  $-3$  до  $+3$  В компьютер может считать и положительными и отрицательными. Поэтому подавать сигналы на COM-порт компьютера следует в строго определенной полярности.

## Согласующее аппаратное устройство

Принципиальная электрическая схема простого аппаратного приспособления, предназначенного для согласования входных линий COM-порта с измеряемым сигналом, показана на рис. 2.1.

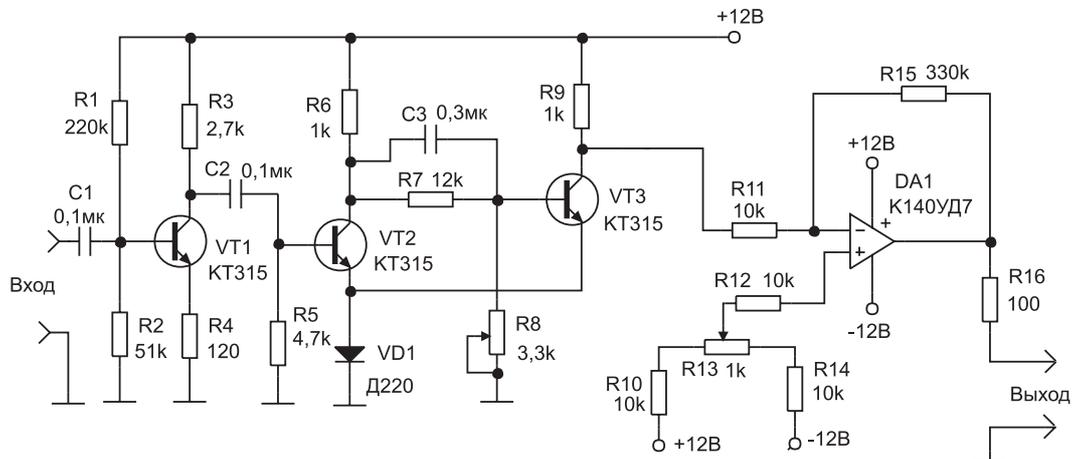


Рис. 2.1. Схема согласующего устройства

К клеммам «Вход» (см. рис. 2.1) подводится измеряемый сигнал с амплитудой не более 5 В. Если измеряемый сигнал имеет большую величину амплитуды, то он должен подключаться через дополнительный последовательный резистор, величина которого примерно 100 кОм.

На транзисторе VT1 собран усилитель переменного тока. Усиленный сигнал подается на триггер Шмитта, собранный на транзисторах VT2 и VT3. Назначение этого триггера состоит в том, чтобы преобразовать переменный сигнал синусоидальной (или иной) формы в сигнал прямоугольной формы. Делается это следующим образом.

При отсутствии входного сигнала первый транзистор (VT2) триггера закрыт, а второй (VT3) открыт за счет подачи положительного смещения через резисторы R6, R7 и R8. Эмиттерный ток второго транзистора (VT3) протекает через диод VD1, включенный в цепи эмиттеров обоих транзисторов, и падение напряжения на этом диоде, равное 0,5–0,7 В, вызывает запирацию первого транзистора.

Когда положительная полуволна входного сигнала на базе транзистора VT2 превысит величину падения напряжения на диоде VD1, транзистор VT2 отпирается, напряжение на его коллекторе резко уменьшается и транзистор VT3 запирается. По окончании прохождения положительного полупериода синусоидального напряжения (или импульса положительной полярности) на базе транзистора VT2 этот транзистор снова закрывается, а транзистор VT3 открывается. Резистор R8 служит для настройки режима работы триггера.

В зависимости от того, открыт или закрыт транзистор VT3, величина напряжения на коллекторе этого транзистора скачкообразно изменяется (примерно) от +1 до +10 В. Это напряжение через резистор R11 поступает на вход операционного усилителя DA1, который выполняет роль согласующего устройства. Настройка согласующего устройства выполняется переменным резистором R13. Выбирается такое положение движка этого резистора, при котором напряжение на клеммах «Выход» изменяется от отрицательного (от -4 до -10 В) до положительного (от +4 до +10 В) в зависимости от того, закрыт или открыт транзистор VT3.

Выход согласующего устройства должен подключаться к выводу 5(8) COM-порта, а общий провод — к выводу 7(5). Номера выводов даны для разъема COM-порта DB25, а для DB9 показаны в скобках.

На рис. 2.2 показан второй вариант аппаратного устройства для подачи измеряемого сигнала на COM-порт компьютера.

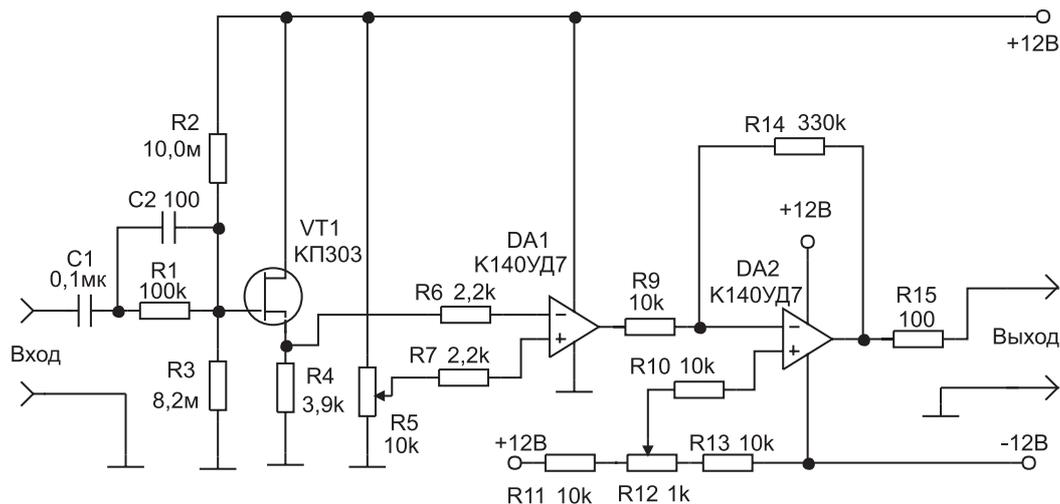


Рис. 2.2. Второй вариант согласующего устройства

На транзисторе VT1 собран истоковый повторитель с большим входным сопротивлением, что очень важно для данного устройства. С другой стороны, истоковый повторитель имеет низкое выходное сопротивление, позволяющее очень удачно согласовать повторитель с входом операционного усилителя DA1.

Операционный усилитель, собранный на DA1, является триггером Шмитта и преобразует поступающий на его вход сигнал синусоидальной формы в сигнал с прямоугольной формой. Каскад на операционном усилителе DA2 выполняет роль согласующего устройства и предназначен для подачи на COM-порт как положительной, так и отрицательной составляющей сигнала. Этот каскад подобен аналогичному выходному каскаду из схемы на рис. 2.1 и подключается к COM-порту аналогично.

## Программа для простого частотомера

Представленные ниже исходные коды компьютерной программы для простого частотомера выполнены в среде программирования Borland C++ Builder.

Для желающих самостоятельно повторить эту программу на рис. 2.3 приводится рисунок формы из проекта программы, который носит название Izmerenie2.

Далее, в листинге 2.1 — текст заголовочного файла из проекта Izmerenie2.

#### Листинг 2.1. Файл *izmer.h*

```
//-----
#ifndef IzmerH
#define IzmerH
//-----
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>
#include <Buttons.hpp>
#include <ExtCtrls.hpp>
//-----
class TForm1 : public TForm
{
__published: // IDE-managed Components
    TLabel *Label1;
    TLabel *Label2;
    TEdit *Edit1;
    TSpeedButton *SpeedButton1;
    TMemo *Memo1;
    TButton *Button1;
    TButton *Button2;
    TLabel *Label3;
    TLabel *Label4;
    TLabel *Label5;
    TButton *Button3;
    TLabel *Label6;
    TLabel *Label7;
    TButton *Button4;
    TButton *Button5;
    TButton *Button6;
    TButton *Button7;
    TLabel *Label8;
    void __fastcall Button1Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Edit1Change(TObject *Sender);
    void __fastcall SpeedButton1Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Button2Click(TObject *Sender);
```

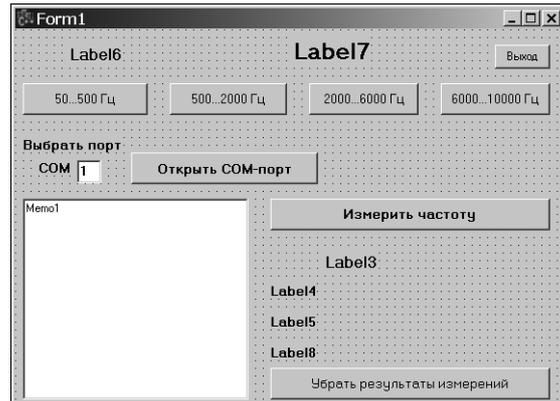


Рис. 2.3. Рисунок формы проекта Izmerenie2

```

        void __fastcall Button3Click(TObject *Sender);
        void __fastcall Button4Click(TObject *Sender);
        void __fastcall Button5Click(TObject *Sender);
        void __fastcall Button6Click(TObject *Sender);
        void __fastcall Button7Click(TObject *Sender);
private:    // User declarations
public:    // User declarations
        __fastcall TForm1(TComponent* Owner);
};
//-----
extern PACKAGE TForm1 *Form1;
//-----
#endif

```

В тексте приведенного выше заголовочного файла описаны все компоненты, установленные на форме проекта и все функции, задействованные в проекте *Izmerenie2*.

Теперь рассмотрим файл *izmer.cpp*, в котором описаны все функции, задействованные в данном проекте. В этом и последующих листингах все функции пронумерованы для быстрого их отыскания.

Файл *izmer.cpp* начинается, как обычно, с описания подключаемых заголовочных файлов.

В функции 1 описаны все действия, которые должны быть первоначально выполнены над установленными на форме компонентами.

#### Листинг 2.2. Файл *izmer.cpp*

```

//-----
// Автор: Геннадий А. Тяпичев, © 2005 г.
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#pragma inline           // Разрешает работу с Ассемблером
#include <conio.h>        // Работа с СОМ-портом
#include <stdio.h>        // Работа со строками
#include <time.h>         // Позволяет работать с временем
#include <mmsystem.h>     // Служит для определения времени в мс
#include "Izmer.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
// Объявление переменных величин
int iPrt;                // Номер выбранного СОМ-порта
unsigned iPredel;       // Переменная величина для каждого из пределов

```

```

float prt1;          // Вспомогательная переменная (число периодов)
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)    // 1
    : TForm(Owner)
{
    Caption = "Измерение частоты через СОМ-порт"; // Заголовок
    Mem01->Clear();                               // Очистить текстовое окно
    Label3->Caption = "";                          // Убрать текст метки
    Label4->Caption = "";
    Label5->Caption = "";
    Label6->Caption = "Пределы измерения"; // Сделать надпись
    Label7->Caption = FloatToStr(iPredel); // Выдает пределы измерения
    SpeedButton1->AllowAllUp = true;             // Нажатое состояние кнопки
    SpeedButton1->GroupIndex = 1;                // То же
}
//-----
// Функция заканчивает работу программы (кнопка «Выход»)
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender) // 2
{
    Close();
}
//-----

```

Функция 2 листинга 2.2 сначала прекращает работу всех задействованных в программе окон и файлов, в том числе закрывает СОМ-порт, после чего заканчивает работу программы.

В листинге 2.3 функция 3 служит для ввода номера выбранного СОМ-порта. Если в окне редактирования Edit1 нет текста, выводится сообщение с напоминанием о необходимости ввести номер СОМ-порта. Эта функция, а также и следующая функция 4, которая выполняет открытие СОМ-порта, подобна аналогичным функциям из проекта, описанного в предыдущей главе.

#### Листинг 2.3. Продолжение 1 файла *izmer.cpp*

```

//-----
// Функция служит для ввода номера СОМ-порта (окно редактирования)
void __fastcall TForm1::Edit1Change(TObject *Sender) // 3
{
    if(Edit1->Text == "")
        ShowMessage("Введите номер СОМ-порта!");
    else
        iPrt = StrToFloat(Edit1->Text); // новый номер СОМ-порта
}
//-----

```

```

// Открытие выбранного COM-порта
void __fastcall TForm1::SpeedButton1Click(TObject *Sender)    //4
{
    int iPrt = StrToInt(Edit1->Text);
    HANDLE hPort;
    char sPort[10];
    if (Edit1->Text == "")
        ShowMessage("Введите номер COM-порта");
    else
    {
        if (SpeedButton1->Down)
        {
            char sPort[10];
            // Создаем имя для выбранного порта
            sprintf(sPort, "COM%d", iPrt);
            // Пытаемся открыть порт
            HANDLE hPort = ::CreateFile(sPort, GENERIC_READ | GE-
NERIC_WRITE, 0, 0, OPEN_EXISTING, 0, 0);
            if (hPort == INVALID_HANDLE_VALUE)
            {
                DWORD dwError = GetLastError();
                // Смотрим что получилось при открытии
                if (dwError == ERROR_ACCESS_DENIED || dwError == ER-
ROR_GEN_FAILURE)
                    {Mem1->Lines->Add("Порт не может быть открыт");
                    }
            }
            else
            {
                // Порт открыт успешно
                Mem1->Lines->Add("Порт успешно открыт");
                Mem1->Lines->Add(sPort);
                SpeedButton1->Font->Color = clBlue;
                SpeedButton1->Caption = "COM-порт открыт";
            }
        }
    }
}
//-----

```

Функция 4 из листинга 2.3 открывает для работы выбранный COM-порт. Сначала в ней создается полное имя порта с учетом введенной цифры, обозначающей порядковый номер выбранного порта. Затем производится открытие порта, а послед-

ние строки служат для выдачи текстового сообщения об открытии порта и изменении цвета нажатой кнопки.

В листинге 2.4 приводится текст описания функции 5, которая выполняет измерение количества считанных периодов электрических колебаний в измеряемом сигнале и вычисляет величину отрезка времени, в течение которого выполнялись измерения.

Подсчет количества волновых периодов колебаний выполняется оператором `for(i;i<iPredel;i++) {}`. Переменная величина `iPredel` выбирается различной для каждого из задействованных в программе пределов измерения. Сделано это для того, чтобы процесс измерения на более низких частотах не затягивался слишком долго. Выбор этих переменных должен производиться по результатам экспериментов, в зависимости от примененного процессора в ПК и его быстродействия.

В последних строках описывается выполнение расчета измеряемой частоты. Полученное в результате проведенного измерения число целых волн электрических колебаний выражается переменной величиной `prt1`, а отрезок времени, в течение которого было проведено измерение, выражается разностью между временем начала и временем конца измерения (`clocktime2 - clocktime+0.1`). Величина `0,1` введена для того, чтобы избежать случая деления на нуль и большой погрешности в результате измерения не внесет. Частота колебаний в 1 мс определяется формулой `float aa = prt1/(clocktime2 - clocktime+0.1)`. Затем определяется число колебаний в секунду.

**Листинг 2.4.** Продолжение 2 файла *izmer.cpp*

---

```
//-----
// Выполняется процесс измерения частоты
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)           // 5
{
int prt2;
  Mem01->Lines->Add(" ");
  Mem01->Lines->Add("Измерение частоты сигнала на линии СТС");
  prt1 =1;
  unsigned clocktime = clock();
  unsigned i;
for(i; i<iPredel; i++)
  {
  prt1++;
wh1:
  if(iPrt == 1) asm mov dx, 0x3fe;
  else          asm mov dx, 0x2fe;
asm {
  in al, dx
  and al, 00010000b
  jz wh1
  jnz wyh3
  }
}
```

```

wyh3:
    if(iPrt == 1) asm mov dx, 0x3fe;
    else          asm mov dx, 0x2fe;
asm {
    in al, dx
    and al, 00010000b
    jz wyh1
    jnz wyh3
}
wyh1: prt2 = 1;
    if (prt2 == 1) goto wh1;
}
Label3->Caption = "Результат измерения";
    unsigned  clocktime2 = clock();
//Sleep(1000);          //Используется при отладке программы
    float aa = prt1/(clocktime2 - clocktime+0.1);
    float bb = aa/1000;
    float cc = 1/bb;
    Label4->Caption = "Число измерений = "+Float-
ToStrF(prt1,ffGeneral,6,2);
    Label5->Caption = "Частота = "+FloatToStrF(bb,ffGeneral,6,2)+"
Герц";
    Label8->Caption = "Период = "+FloatToStrF(cc,ffGeneral,6,2)+"
сек";
    return;
}
//-----
// Удаление текстов с результатами измерений
void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender)          // 6
{
    Label4->Caption = "";
    Label5->Caption = "";
    Label8->Caption = "";
}
//-----

```

В функции 6 из листинга 2.4 выполняется удаление текстов соответствующих меток. В листинге 2.5 приведено описание четырех функций, каждая из которых выполняет вывод на экран текстовой строки с указанием пределов измерений.

#### Листинг 2.5. Продолжение 3 файла *izmer.cpp*

```

//-----
// Выдает на экран пределы измерений

```

```

void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject *Sender)           // 7
{
    iPredel = 1000;
    Label7->Caption = "50...500 Гц";
}

// Выдает на экран пределы измерений
void __fastcall TForm1::Button5Click(TObject *Sender)         // 8
{
    iPredel = 2000;
    Label7->Caption = "500...2000 Гц";
}

// Выдает на экран пределы измерений
void __fastcall TForm1::Button6Click(TObject *Sender)         // 9
{
    iPredel = 4000;
    Label7->Caption = "2000...6000 Гц";
}

// Выдает на экран пределы измерений
void __fastcall TForm1::Button7Click(TObject *Sender)         // 10
{
    iPredel = 10000;
    Label7->Caption = "6000...10000 Гц";
}
//-----

```

На рис. 2.4 показано основное рабочее окно программы Izmerenie2.

С помощью процесса измерения частоты можно выполнять еще измерения величин электрического напряжения и тока, а также и любых других электрических и даже неэлектрических величин, если эти величины можно каким-то образом преобразовать в частоту.

Например, для измерения напряжения достаточно применить дополнительно к измерителю частоты преобразователь «напряжение-частота». Схемы подобных преобразователей можно найти в старых журналах «Радио», например: № 2 за 1984 г., № 2 за 1985 г., № 4 и № 10 за 1987 г.

Для измерения величин электрического сопротивления и емкости можно использовать практически любой RC-генератор, во время задаю-

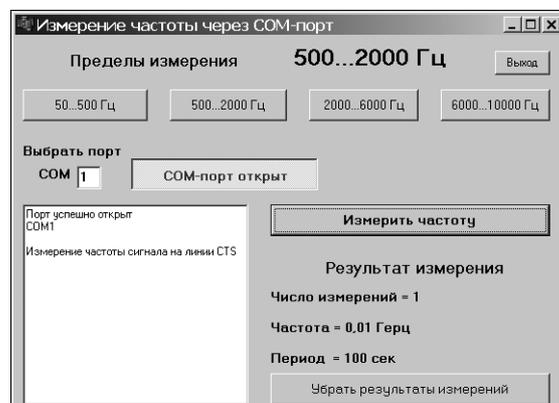


Рис. 2.4. Рабочее окно программы

щую цепочку которого включается измеряемый резистор или конденсатор. Основное требование к такому генератору — точно известная функциональная зависимость между параметрами времязадающей цепи и частотой.

Описанный выше процесс измерения частоты с помощью простого аппаратного устройства может удовлетворить потребности только самого невзыскательного человека. Для выполнения измерений с повышенной точностью необходимо совместно с компьютером использовать специальные радиоэлектронные приборы, предназначенные для аналого-цифрового преобразования (АЦП).

## Измерение с помощью приборов АЦП

### Простой 8-разрядный АЦП с последовательным интерфейсом

Упрощенно можно сказать, что принцип работы АЦП состоит в измерении уровня входного сигнала и выдаче результата в цифровой форме. В результате работы АЦП непрерывный аналоговый сигнал превращается в импульсный, с одновременным измерением амплитуды каждого импульса.

8-разрядные последовательные АЦП являются и самыми дешевыми, и самыми простыми в применении. При этом их разрешение с точностью  $1/256$  вполне соответствует точности, требуемой во многих приложениях любительского измерительного комплекса.

Компоненты такого типа изготавливают многие производители, но какой-либо стандартизации и унификации они не придерживаются. Поэтому расположение выводов и протоколы связи у разных типов подобных АЦП различны. Возможно, изготовители делают это для того, чтобы затруднить замену комплектов на изделия конкурентов.

8-разрядный последовательный АЦП, который будет использоваться в примерах, был выбран ввиду того, что существуют 10- и 12-разрядные модели, полностью совместимые с ним по расположению выводов. При случае это может упростить проблему модернизации уже готовых изделий.

На рис. 2.5 приведена схема расположения выводов АЦП TLC 549 фирмы *Texas Instruments*. Именно эта модель будет рассмотрена ниже в ее практическом применении.

Такой АЦП имеет только один аналоговый вход (ANALOG IN) и два входа для подключения опорного напряжения (REF+ и REF-). Вторым аналоговым входом можно считать вывод GND — общий.

Если при этом вывод REF — тоже подключен к общему проводу, то на выходе АЦП будет формироваться байт выходного кода, равный 00000000 при нулевом напряжении на аналоговом входе, и 11111111 — при входном напряжении, равном опорному, которое подается на вывод REF+.

Каждый бит выходных данных может быть считан на выводе DATA OUT, причем биты выводятся стар-



Рис. 2.5. Расположение выводов аналого-цифрового преобразователя TLC549

шими разрядами (MSB) вперед по переднему фронту импульсов на выводе I/O CLOCK.

Одно из преимуществ этого АЦП состоит в том, что он может работать с любой частотой дискретизации, определяемой управляющей системой, — от одного измерения за несколько часов до двадцати тысяч измерений в секунду.

### Относительные измерения

Следует помнить, что аналого-цифровой преобразователь нуждается в очень точном и стабильном источнике опорного напряжения, относительно которого схема преобразования оценивает уровень входного напряжения.

Однако бывают случаи, когда какая-либо измеряемая величина может быть определена не в виде одного напряжения, а в виде соотношения двух напряжений. Самым очевидным примером является потенциометрический датчик, или любые другие датчики, использующие изменение сопротивления.

Напряжение на АЦП в таком случае подается с резисторного делителя, питаемого от источника опорного напряжения. При этом достаточно использовать одни источники опорного напряжения и для резисторного делителя АЦП, и для датчика, чтобы автоматически снять влияние погрешности или дрейфа опорного напряжения.

Таким образом, можно очень точно измерять отношение напряжений в узлах резистивного моста, даже если опорное напряжение не слишком стабильно. В этом случае принято говорить об относительном преобразовании.

На рис. 2.6 показан простой пример относительных измерений, а именно определение положения оси потенциометра, отражающего, скажем, положение флюгера, направление радиолобительской антенны или чего-то иного.

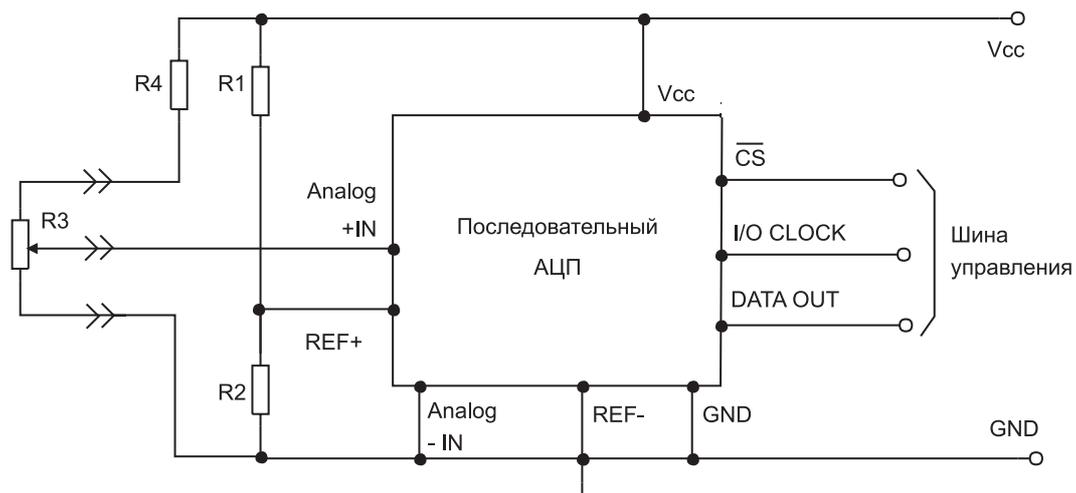


Рис. 2.6. Пример схемы относительного измерения

Опорное напряжение формируется непосредственно из напряжения питания VCC, обычно стабилизированного и равного 5 В. Представим, что в схеме  $R4 = R1$ , а  $R3 = R2$  или что отношения  $R1/R2$  и  $R4/R3$  одинаковы. Когда подвижный контакт потенциометра находится в верхнем положении, на входах ANALOG+IN и REF+ будет

одинаковое напряжение, и преобразователь сформирует двоичный код, соответствующий его полной шкале (эквивалент числа 255 для 8-разрядного преобразователя).

В нижнем положении подвижного контакта потенциометра на нем будет нулевое напряжение, и АЦП сформирует код, соответствующий нулевой входной величине. Результат измерения между указанными крайними точками будет очень точно отражать угловое положение подвижного контакта при условии, что этот потенциометр прецизионный и имеет линейную характеристику.

Если напряжение питания уменьшится до 4,5 В или увеличится до 5,5 В (что соответствует 10%-ной погрешности), это изменение повлияет на потенциалы и на измерительном, и на опорном входах преобразователя, а их разность останется прежней.

Данная схема позволяет ввести поправочные коэффициенты путем изменения величины сопротивления резистора R4. Это необходимо, в частности, потому, что механический ход подвижного контакта (угол поворота оси) обычного потенциометра меньше 360°.

### **Универсальный аналоговый интерфейс для последовательного порта**

Чаще всего подключение последовательного АЦП выполняется к последовательному порту, в промышленных изделиях обычно используют параллельный порт. Главное преимущество такого решения состоит в том, что ПК с двумя последовательными портами встречаются гораздо чаще, чем ПК с двумя параллельными портами.

---

С тех пор как появились специальные порты для мыши, у компьютера довольно часто остается свободным, по меньшей мере, один последовательный порт; между тем параллельный порт практически всегда занят принтером, очень полезным в виртуальном измерительном комплексе для вывода графиков и числовых результатов. Еще одним преимуществом последовательного порта RS 232 является более высокая нагрузочная способность по сравнению с большинством параллельных портов. Она позволяет отчасти разрешить проблему питания не всегда экономичных схем интерфейсов.

---

Принципиальная схема, приведенная на рис. 2.7 построена на основе схемы промышленных АЦП ADC 10 и ADC 12, применение которых рассмотрено ниже в разделе «Аналого-цифровые преобразователи ADC 10 и ADC 12».

В схеме устройства применен аналогичный входной каскад с делителем напряжения. При использовании тех же номиналов резисторов R4 и R5 (100 кОм для 8-разрядного ADC 10 и 33 кОм для 12-разрядного ADC 12) можно обеспечить автоматическую совместимость этого аппарата с устройствами нормирования сигналов, датчиками и т.п.

Номиналы резисторов входного делителя R5 и R4 обычно необходимо подбирать, что требует аккуратности.

Надо учитывать, что входное сопротивление микросхемы АЦП последовательного приближения (вывод 2) имеет почти только емкостный характер. При напряжении питания 5 В ток утечки в пределах 1 мкА соответствует активной составляющей сопротивления 5 МОм, что значительно больше входного сопротивления обычного измерительного прибора, например, осциллографа. Емкостная же состав-

ляющая может достигать 30 пФ у микросхемы TLC 1549 и 100 пФ у TLC 1296. Это не сильно отличается оттого, что свойственно входу классического осциллографа.

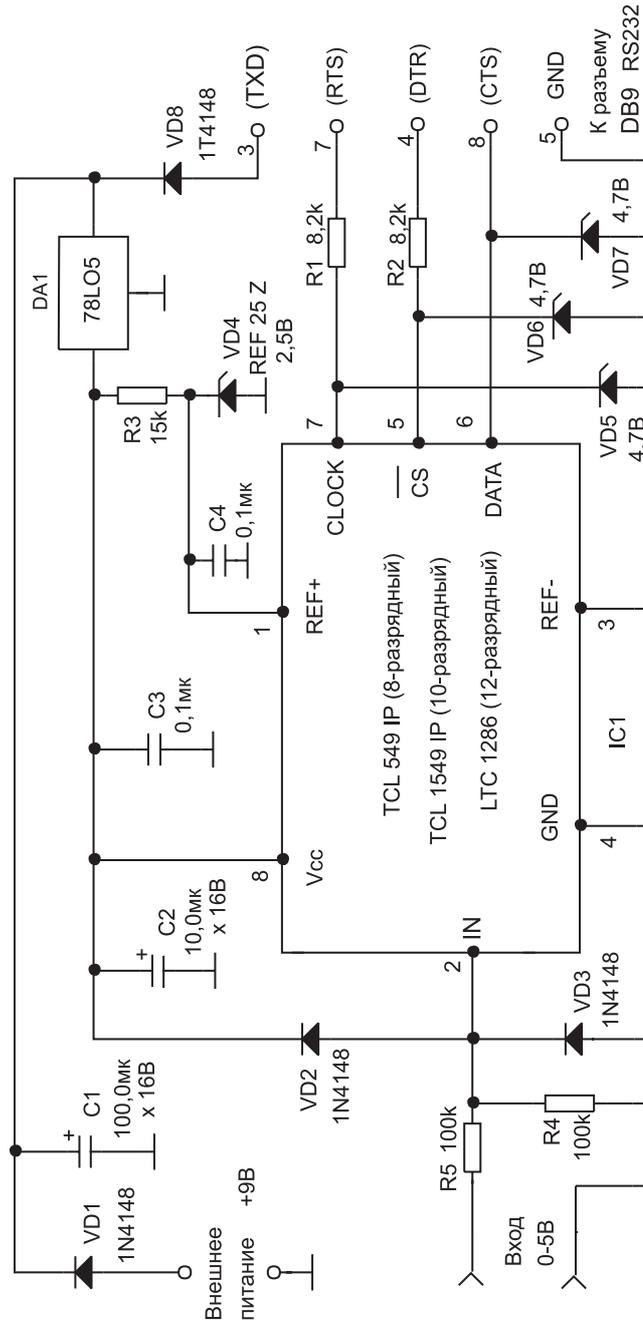


Рис. 2.7. Принципиальная схема интерфейса для последовательного порта

Однако номиналы резисторов можно увеличивать, если потребителя устраивают не столь высокие скорости измерений. При использовании изделий в комплекте с программами, написанными на языке BASIC с интерпретатором и выполняемыми

на не очень быстром процессоре, номиналы можно увеличить до 500 кОм, чтобы получить стандартное входное сопротивление 1 МОм. В обычных случаях прекрасно подойдет номинал 100 кОм (с допуском 1% или меньше).

Подключение линий управления и линии данных АЦП к порту RS 232 более сложное, чем к параллельному порту. Действительно, рабочие уровни напряжений на выводах последовательного порта обычно составляют около 12 В, тогда как АЦП формирует напряжение от 0 до 5 В.

Для решения этой проблемы в схеме установлены три стабилитрона VD5–VD7 на напряжение 4,7 В и два резистора R1 и R2. Кроме того, перед интегральным стабилизатором 78L05, формирующим напряжение 5 В из сигнала TXD, должен быть включен импульсный диод VD8. Использование микросхемы АЦП от линии TXD для питания — это не лучший вариант.

В качестве основного источника питания предусмотрен вход внешнего источника, расположенный рядом с аналоговым входом, на тот случай, когда ПК не сможет обеспечить достаточный уровень напряжения. В такой ситуации простая 9-вольтовая гальваническая батарейка надолго обеспечит работу устройства.

Все устройство может быть смонтировано на печатной плате, размеры которой невелики, и которая может претендовать на размещение в корпусе разъема DB25, подключаемого к ПК.

Подключение можно выполнить посредством кабеля с разъемами DB9 и одноименной распайкой (не «нуль-модем»). В таком случае АЦП будет расположен в непосредственной близости от источника сигнала, а не от ПК, что даст больше преимуществ, чем недостатков, на рабочих частотах.

## Программное обеспечение для прибора с АЦП

В этом разделе рассказывается о том, как решать практически любые задачи, связанные с измерением сигналов и сбором данных при низких частотах дискретизации. Необходимые для поставленных измерительных целей компьютерные программы можно создавать с применением различных языков и сред программирования. В данном случае в листинге 2.6 приводится текст программы, выполненный французским инженером Патриком Гелем на языке BASIC и заимствованный из его книги [6].

Программа представляет собой драйвер для устройства на базе TLC 549 (см. рис. 2.7), написанный на языке BASIC, и называется 8BITS.BAS. Драйвер предназначен для работы с последовательным портом COM1 (3F8h).

### Листинг 2.6. Файл 8BITS.BAS

```

10 REM ---- 8BITS ----
20 KEY OFF: CLS
30 V= &H3F8:REM COM1:
40 N= 8: REM число разрядов
50 OUT V+4,1
60 FOR T=0 TO 100:NEXT T
70 OUT V+3,64
80 FOR T=0 TO 500:NEXT T
90 GOTO 200

```

```

100 OUT B+4,0:D=0:REM ACQUISITION
110 FOR F=0 TO N-1
120 OUT B+4,2
130 E=INP(B+6) AND 16
140 OUT B+4,0
150 IF E=16 THEN D=D+2^(N-1-F)
160 NEXT F
170 D=5*D/(2^N-1)
180 OUT B+4,1:RETURN
190 REM (c) 1997 Patrick GUEULLE

```

Шестнадцатеричная величина 3F8 в строке 30 предполагает, что измерительное устройство подключено к последовательному порту COM1. Чтобы использовать порт COM2 вместо COM1, необходимо заменить эту величину на 2F8.

Драйвер находится в начале программы, соответствующей выбранному АЦП — либо готовому, либо собранному самостоятельно.

Каждый драйвер должен быть написан в соответствии со спецификациями, представленными изготовителями используемых компонентов, причем особое внимание следует уделять временным диаграммам протоколов связи. Драйверы можно рассматривать как ПО, поставляемое «под ключ», но допустимо также модифицировать их в самых разных целях.

Первый блок каждого драйвера (строки 10–90) проводит открытие и инициализацию последовательного (или параллельного) порта, используемого для связи, и обеспечивает подачу напряжения питания на подключенный к нему АЦП. Блок заканчивается командой GOTO 200, передающей управление собственно прикладной программе (строки 200–290). Эта программа универсальна, она зависит только от выполняемой задачи, но ни в коей мере не от применяемого АЦП. Поэтому заменить драйвер при смене АЦП (например, при переходе от 8-разрядного к 12-разрядному) очень просто.

В листинге 2.7 приведен текст прикладной программы VOLTS.BAS, позволяющей организовать работу простого вольтметра. Очень короткая программа VOLTS.BAS прекрасно подходит для первых шагов в изучении только что собранного или купленного АЦП, но она также пригодна и для общих задач.

#### Листинг 2.7. Файл VOLTS.BAS

```

200 REM ----VOLTS ----
210 GOSUB 100
220 D=INT(100*D)/100
230 LOCATE 1,1
240 PRINT USING"##.##";D
250 REM (c)1997 Patrick GUEULLE

```

В программе в верхнем левом углу экрана выводится величина напряжения (в вольтах), поданного на вход модуля преобразователя. Эта величина подвергается простейшей обработке, поэтому данная программа является одной из самых быстросрабатывающих среди аналогичных программ, даже при использовании очень медленных ПК.

Применение команды LOCATE, каждый раз возвращающей курсор в верхний левый угол экрана, приводит к замещению старого значения новым. При этом индикация постоянно обновляется со скоростью, равной частоте взятия выборок, то есть совершенно так же, как в классическом цифровом вольтметре.

Надо обратить внимание на способ, посредством которого измеренная величина округляется до двух знаков после запятой (строка 220), а потом выводится в жестком формате, наиболее соответствующем выбранной точности (строка 240). Подобное решение будет часто использоваться и в дальнейшем.

Эта программа рассчитана на работу совместно с 8- или 10-разрядным АЦП (точность 1%), но ее можно оптимизировать и для работы с 12-разрядным АЦП, исправив строки 220 и 240 следующим образом и обеспечив при этом три индицируемых знака после запятой (т. е. точность 0,1%):

```
220 D=INT(1000*D)/1000
240 PRINT USING"##.###";D
```

Не стоит также упускать из виду, что драйвер не выполняет никаких округлений, полностью соблюдая точность преобразователя. Только прикладная программа в соответствии с поставленной задачей должна, так или иначе, использовать получаемую точность, и не более того. Вывод трех знаков после запятой для 8-разрядного АЦП будет излишним, так как третий знак при этом не несет никакого смысла.

В листинге 2.8 приведены коды программы BARRE.BAS, которая показывает, как легко можно организовать вывод аналоговой штриховой шкалы.

#### Листинг 2.8. Файл BARRE.BAS

---

```
200 REM ----BARRE ----
210 LOCATE 6,1
220 FOR H=1 TO 5
230 PRINT"|....!....*";
240 NEXT H
250 PRINT"| "
260 LOCATE 7,1
270 PRINT"0      1      2      ";
280 PRINT"3      4      5"
290 GOSUB 100
300 D=INT(10*D)
310 LOCATE 5,1
320 PRINT SPC(D);"| ";
330 PRINT SPC(50-D)
340 GOTO 290
350 REM (c) 1997 Patrick GUEULLE
```

---

Эта форма представления результата, менее точная, чем цифровая индикация, но гораздо более удобна, когда требуется оценить только направление и скорость изменений или отклонений измеряемой величины, например, при ручной регулировке или настройке.

В приведенном примере шкала построена на базе ASCII-символов, но такая же шкала может быть выполнена и в графическом режиме экрана.

## О работе прикладной программы

Прикладная программа может сама обращаться ко второму блоку драйвера (строки 100–190) настолько часто, насколько требуется. Эта часть драйвера отвечает за выполнение одного и только одного аналого-цифрового преобразования и за размещение результата (величины напряжения в диапазоне от 0 до 5 В) в переменной D. Только прикладная программа определяет, с какой скоростью будут проводиться преобразования, надо ли комбинировать полученные значения перед выводом результата и каков будет способ обработки результата (цифровое табло, построение кривой, запись на диск, включение сигнала и т.п.).

Если не хватит места между строками 200 и 290 программы, можно поместить оператор GOTO в строке 290, что позволит продолжать работу, например, со строки 2000. Еще одна зарезервированная область, начиная со строки 300, предназначена для операторов вывода графики. Блок между строками 300 и 490 отведен для операторов инициализации экрана (выбор графического режима, построение координатной сетки, определение цветов и т.п.). Вывод результатов на экран начинается со строки 500. Именно прикладная программа (строки 200–290) будет в нужный момент вызывать графическую подпрограмму командой GOSUB 500.

## Еще один драйвер

Версия этого драйвера по принципу действия аналогична предыдущему драйверу 8BITS.BAS, но написана на языке программирования TurboPASCAL и называется HUITBITS.PAS и содержит уже упомянутую программу вывода на экран результатов двадцати измерений.

Листинг 2.9. Файл HUITBITS.PAS

<pre> Program huitbits: Uses crt; Var n,f,e:byte;     b,g:integer;     d:real; Procedure init; begin b:\$3f8; n:=8; port[b+4]:=1; delay(100); port[b+3]:=64; delay(500); end; procedure acquisition; begin port[b+4]:=0; d:=0; for f:=0 to n-1 do begin port[b+4]:=2; </pre>	<pre> e:=port[b+6] and 16; port[b+4]:=0; if e=16 then d:=d+exp( (n-1-f)*ln(2)); end; d:=(5*d)/(exp( (n)*ln(2))-1); port[b+4]:=1; end;  procedure affiche; begin acquisition; d:=(int(100*d))/100; *writeln(d); delay(500); end;  begin clrscr; init; for g:=1 to 20 do </pre>
--	---

```
begin  
affiche;  
end;  
end.  
(*COPYRIGHT 1997 Patrick GUEULLE*)
```

---

## Внешние интерфейсные устройства

В случаях, когда быстродействие не имеет первостепенного значения, элегантное и экономичное решение представляют внешние интерфейсные устройства, подключаемые к ПК через последовательный или параллельный порты.

К подобному типу интерфейсов можно отнести такую конструкцию, когда миниатюрный АЦП, расположен непосредственно в корпусе разъема DB25, или классический мультиметр, снабженный разъемом RS232, или иной настольный прибор, имеющий на корпусе несколько разъемов и органов управления.

Одно из подобных решений может быть выполнено с применением АЦП типа ADC 10 или ADC 12.

### Аналого-цифровые преобразователи ADC 10 и ADC 12

Среди моделей, предлагаемых в виде внешних интерфейсов, миниатюрные аналого-цифровые преобразователи ADC 10 и ADC 12 компании PICO Technology пользуются большой популярностью. Причиной тому служит исключительная простота их применения и доступная цена. ADC 10 и ADC 12 представляют замечательную возможность добавления одного или нескольких аналоговых входов к любому ПК.

---

Программное обеспечение, поставляемое в комплекте с данными АЦП, сразу превращает компьютер в цифровой мультиметр, запоминающий осциллограф, анализатор спектра и даже в ленточный регистратор (самописец), причем все эти виртуальные приборы работают с сигналами в полосе частот от нуля (постоянный ток) до нескольких килогерц.

---

Подобное оборудование при наличии соответствующих датчиков и устройств нормирования отлично подходит для измерения и регистрации самых разных физических параметров.

Концепция, разработанная британской компанией *PICO Technology*, весьма оригинальна: АЦП ADC 10 и ADC 12 выполнены в корпусе от простого разъема DB25. Подключение аналогового сигнала осуществляется с помощью кабеля через разъем типа BNC (CP50-73).

Достаточно вставить один из этих приборов в разъем параллельного порта (LPT1 или LPT2), чтобы превратить последний в аналоговый выход с диапазоном напряжений от 0 до 5 В.

Для этой конструкции не нужно ни батарей, ни другого внешнего источника питания, так как сам АЦП и его источник опорного напряжения потребляют столь мало энергии, что питаются от тех цепей передачи данных, которые не задействованы для связи с ПК. Надо лишь запустить программу PICOSCOPE, поставляемую вместе с АЦП, чтобы сразу же получить цифровой вольтметр, запоминающий осциллограф и анализатор спектра.

Предлагаемый отдельно пакет PICOLOG позволяет проводить регистрацию динамики медленных процессов.

Конечно, не следует рассчитывать на то, что за несколько десятков долларов можно получить эквивалент прибора, стоящего в тысячи раз дороже.

Основные ограничения на применение рассматриваемых устройств накладывают максимальная частота дискретизации (до 25 кГц) и единственный диапазон входных напряжений (0–5 В). Правда, следует отметить, что вход защищен от перегрузок до  $\pm 30$  В.

На рис. 2.8 представлена упрощенная схема устройства с АЦП ADC 10 и ADC 12.

Для большинства практических приложений этого прибора понадобится добавить устройство нормирования сигнала, в качестве которого может выступить простая гальваническая батарейка, резисторный делитель напряжения, конденсатор или операционный усилитель с несколькими резисторами.

Эта схема является хорошим примером применения миниатюрных аналого-цифровых преобразователей с выводом информации в последовательном коде. Оригинальность схемы в том, что опорное напряжение в ней составляет 2,5 В, а входное напряжение делится на 2 для получения полной шкалы устройства в 0–5 В. Подобная хитрость позволяет, кроме того, весьма эффективно и с малыми затратами защитить вход АЦП от перегрузок, а также обойтись для питания устройства напряжением около 5 В, получаемым от цепей информационных данных параллельного порта. Для этого на соответствующих выходах порта программно устанавливаются напряжения высокого логического уровня.

Аналого-цифровые преобразователи ADC 10 и ADC 12 различаются между собой разрядностью (соответственно 8 и 12 разрядов) и входным сопротивлением (соответственно 200 кОм и 66 кОм). Кроме этого, модели можно различать по цвету корпуса.

На практике следует учитывать указанные величины входных сопротивлений, если планируется использовать стандартные щупы с делителями.

Возникает соблазн сразу предпочесть ADC 12, а не ADC 10, и получить разрешение в 4096 точек по приемлемой цене.

Главный аргумент в пользу ADC 12 состоит в том, что его точность 1% обеспечивается даже для входного напряжения, существенно меньшего 5 В. Действительно, шаг квантования этого АЦП составляет 1,2 мВ, в то время как у ADC 10 он равен 20 мВ. Следовательно, в диапазоне входных напряжений 0–300 мВ аналого-цифровой преобразователь ADC 12 будет таким же точным, как ADC 10 в диапазоне от 0 до 5 В. Заметим, что можно достичь того же результата и с помощью ADC 10, снабдив его регулируемым усилителем.

## Драйверы 12-разрядных АЦП

Так как АЦП ADC 12 собран на базе LTC 1292, он требует тактовой частоты не менее 100 кГц. В силу этого обстоятельства драйверы ADC 12.BAS и даже ADC 12.PAS следует с большой осторожностью использовать на старых и медленных ПК, поскольку в таком случае не всегда удастся добиться результатов, которые может обеспечить АЦП ADC 10 при тех же условиях. Самая нежелательная ситуация возникает при исполнении программы в окне операционной системы Microsoft

Windows, что еще больше замедляет работу по сравнению с выполнением непосредственно в DOS.

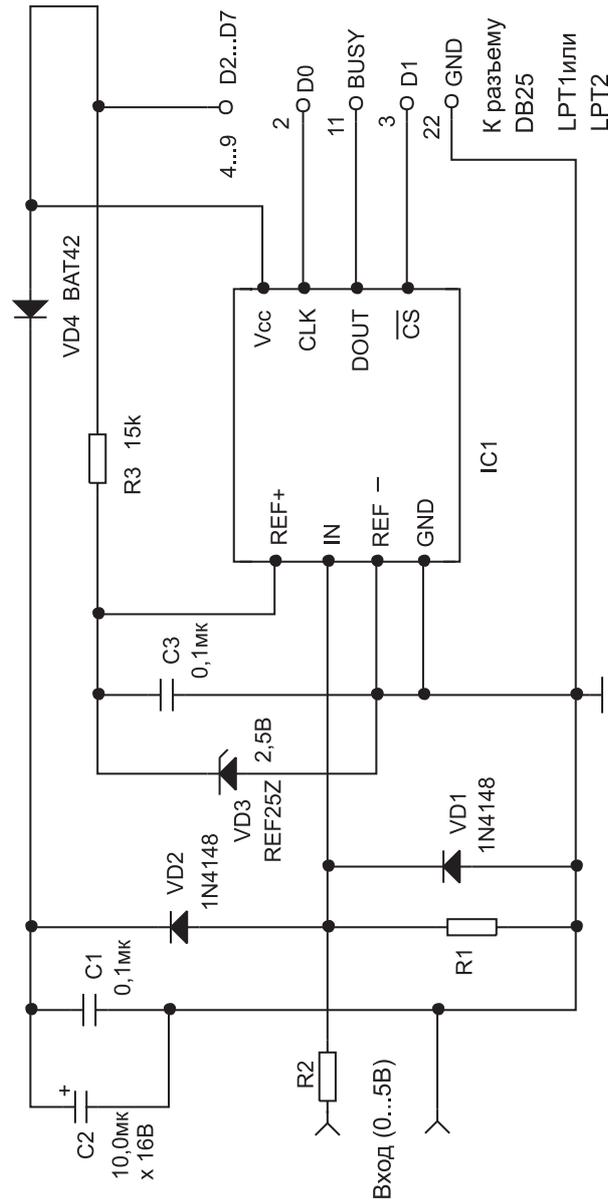


Рис. 2.8. Упрощенная схема АЦП ADC 10 и ADC 12

Иначе говоря, АЦП ADC 12 будет работать с полной отдачей только со своим программным обеспечением PICOSCOPE и PICOLOG, причем под управлением операционной системы MS DOS лучше, чем под управлением операционной системы Microsoft Windows.

Ниже приведены драйверы, которые позволят легко писать программы для решения любой конкретной задачи и на языке BASIC, и на языке PASCAL, и на языке C.

В листинге 2.10 представлен файл драйвера ADC 12.BAS.

**Листинг 2.10.** Файл *ADC12.BAS*


---

```

10 REM ---- ADC12 ----
20 KEY OFF:CLS
30 B=%H378:REM LPT1:
40 N=12:REM число разрядов
50 OUT B,1
60 FOR T=0 T9 100:NEXT T
70 OUT B,254
80 FOR T=0 TO 500:NEXT T
90 GOT0 200
100 OUT B,252:D=0:REM ACQUISITION
105 OUT B,254:OUT B,252
106 OUT B,254:OUT B,252
110 FOR F=0 TO N-1
120 OUT B,254
130 E=INP(B+1) AND 128
140 OUT B,252
150 IF E=0 THEN D=D+2^(N-1-F)
160 NEXT F
170 D=5*D/(2^N-1)
180 OUT B,253:RETURN
190 REM (c) 1997 Patrick GUEULLE

```

---

В листинге 2.11 представлен файл *ADC12.PAS*, который представляет драйвер для ADC 12, написанный на языке PASCAL

**Листинг 2.11.** Файл *ADC12.PAS*


---

```

program adc12;
uses crt;
var n,f,e:byte;
    b,g:integer;
    d:real;
procedure init;
begin
b:$378; n:=12;
port[b]:=1;
delay(100);
port[b]:=254;
delay(500);
end;
procedure acquisition;
begin;
port[b]:=0; d:=0;
port[b]:=254; port[b]:=252;
port[b]:=254; port[b]:=252;
for f:=0 to n-1 do
begin
port[b]:=254;
e:=port[b+1] and 128;

```

```
port[b]:=252;  
if e=0 then d:=d+exp((n-1-f)*ln(2));  
end;  
d:=(5*d)/exp((n)*ln(2))-1;  
port[b]:=253;  
end;  
procedure affiche;  
begin  
acquisition;  
d:=(int(100*d))/100;  
writein(d);  
delay(500);  
end;  
begin  
clrscr;  
init;  
for g:=1 to 20 do  
begin  
end;  
end.  
(*COPYRIGHT 1997 Patrick GUEULLE *)
```

---

Ранее описанное в книге устройство, работающее через последовательный порт (см. рис. 2.8), может наилучшим образом использовать точность высококачественных АЦП.

Совместно с приведенными драйверами могут с успехом работать приведенные выше прикладные программы. Большое количество информации по данному вопросу вы найдете в книге «Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс» [6].

### **Входной усилитель**

При помощи небольшого устройства, представляющего собой простейший усилитель на двух операционных усилителях, легко снимаются два основных ограничения, присущих простейшим АЦП: входной диапазон от 0 до +5 В и неспособность работать с переменными напряжениями без постоянной составляющей.

Например, устройство смещения нуля и усилитель с переключаемыми коэффициентами усиления 1, 10 и даже 100 сильно расширят область применения АЦП ADC 10 и того мощного программного обеспечения, которое к нему прилагается. Этот АЦП можно будет использовать даже для оцифровки звука!

Подача переменного напряжения с нулевым средним значением (иными словами, без постоянной составляющей) на вход аналого-цифрового преобразователя с входным диапазоном 0–5 В приводит к эффекту однополупериодного выпрямления. Результаты измерений, выполненных без учета этого обстоятельства, конечно, окажутся неверными. Данная ситуация аналогична той, когда луч обычного осциллографа расположен у нижнего края экрана, а не в середине, или когда перо регистратора установлено на один из краев бумаги.

---

В обоих случаях регулировка положения луча или установки нуля позволяет решить проблему путем добавления регулируемого постоянного напряжения смещения к входному сигналу.

---

Хотя входной диапазон 0–5 В и подходит для решения многих задач, при измерениях с помощью 8-разрядного АЦП желательно использовать максимально возможное количество из 256 уровней, т. е. нужно уложиться в последнюю треть шкалы. К примеру, входное напряжение, изменяющееся в пределах от 0 до 500 мВ, при преобразовании займет всего 25 уровней, что соответствует точности 4%, тогда как АЦП наверняка имеет точность не ниже 1%.

12-разрядные АЦП решают эту проблему, но они тоже не работают с сигналами переменного тока.

Входное сопротивление большинства микросхем АЦП значительно меньше 1 МОм, и из-за этого обычный делитель 1/10 будет слишком сильно подавлять сигналы, амплитуда которых лишь немногим больше уровня 5 В.

---

Предварительный усилитель с коэффициентом усиления 10 позволит измерять напряжение до 500 мВ с такой же точностью, с которой сам АЦП оцифровывает напряжение до 5 В. При входном сопротивлении 1 МОм предусилитель с единичным усилением позволит работать на пределе измерения 50 В с использованием обычного делителя 1/10.

---

С учетом простоты схем, описываемых АЦП, был разработан самый простой усилитель, схема которого представлена на рис. 2.9. Действительно, для измерения не нужны ни широкая полоса (достаточно нескольких килогерц), ни высокая точность (достаточно 1%), ни смещения нуля на уровне микровольт, поскольку 8-разрядный АЦП с трудом определяет разницу между величинами 0 и 20 мВ.

Не надо рассматривать схему, приведенную на рис. 2.9, как образец высокоточного прибора — это небольшое, но полезное устройство, предоставляющее немалые возможности.

Главный компонент схемы — двоярный операционный усилитель LM358, разработанный очень давно и широко распространенный. Он может работать с напряжениями, очень близкими к нулю, даже без двухполярного питания. Простой девятивольтовой гальванической батарейки вполне хватит для питания описываемого устройства, которое потребляет ток не более 1 мА (500 часов непрерывной работы с новой щелочной батареей).

Из напряжения питания +9 В микросхемой 78L05 создается стабильное напряжение 5 В. Очень часто эта микросхема используется в устройствах для получения “виртуальной земли”. Напряжения 5 В даже при единичном усилении вполне достаточно для сдвига нуля в середину рабочего диапазона 0–5 В.

Потенциометр R9 с сопротивлением 10 кОм служит для подачи части выходного напряжения микросхемы TLE2425 на резисторный сумматор. На этот же сумматор поступает и входное напряжение, которое может подаваться напрямую (разъем DC — открытый вход для постоянного напряжения) или через разделительный конденсатор Cx (разъем AC — открытый вход для переменного напряжения), как и у обычных осциллографов.

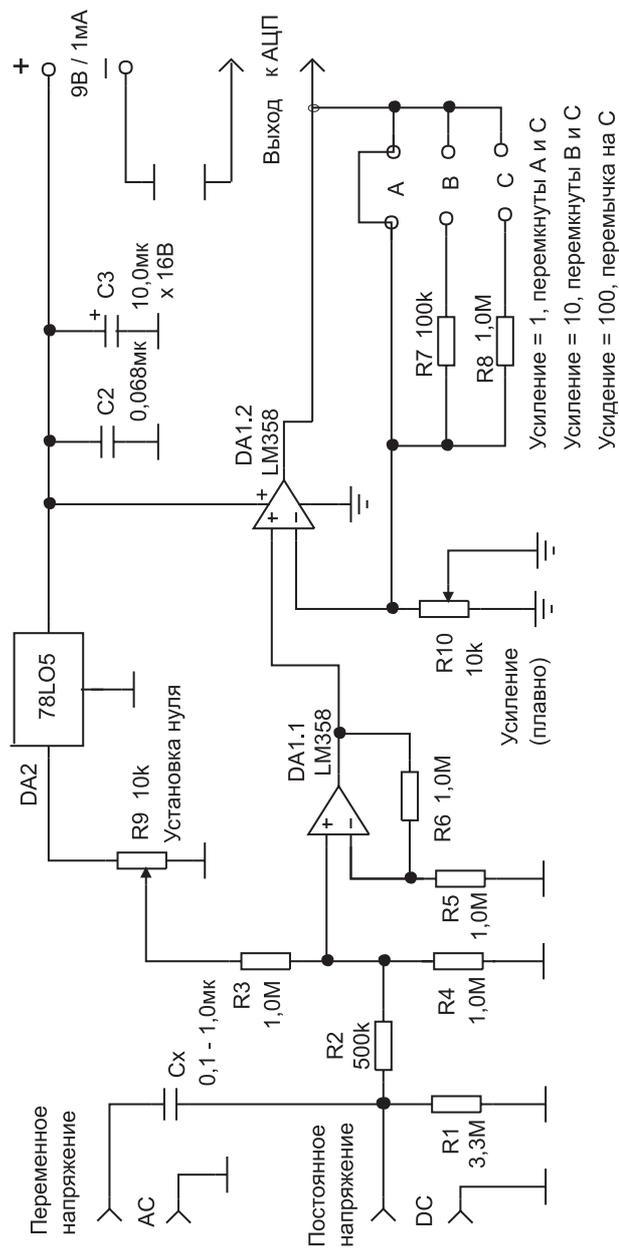


Рис. 2.9. Принципиальная схема входного усилителя

Использование входа AC позволяет убрать из входного сигнала постоянную составляющую (обычно присутствующую), а затем при помощи потенциометра R9 подобрать такую ее величину, которая максимально упростит проведение измерений. Емкость неэлектролитического конденсатора Сх (желательно, чтобы он был рассчитан на напряжение 400 В) будет зависеть от условий измерений: величина 1 мкФ достаточна для работы в звуковом диапазоне.

Номиналы резисторов (с точностью 1%) были рассчитаны таким образом, чтобы первый каскад имел единичное усиление, а входное сопротивление составляло

1 МОм. Резистор с сопротивлением 500 кОм можно получить, соединив параллельно два резистора по 1 МОм каждый.

Второй каскад (на DA1.2) имеет переключаемый коэффициент усиления 1, 10, 100, а потенциометр R10 22 кОм позволяет либо точно отсортировать усиление при настройке, либо регулировать его так же плавно, как это можно проделать при помощи обычного осциллографа, вращая ручку «Усиление плавно». Конечно, ничто не мешает использовать иные номиналы резисторов, чтобы получить другие коэффициенты усиления: 2,5 и т.д. Для реализации коэффициента усиления 100 в цепи обратной связи операционного усилителя используется резистор с номиналом 1 МОм, для коэффициента усиления 10 — параллельное соединение резисторов 100 кОм и 1 МОм. Для реализации единичного усиления (схема повторителя) применена обычная перемычка.

Чтобы обеспечить высокую точность устройства, сортировать надо при коэффициенте усиления 10, так как режим «x100» используется редко и, кроме того, в этом режиме операционный усилитель LM 358 подвержен влиянию эффекта смещения нуля (которое едва ли будет скомпенсировано полностью).

Следует обратить внимание на то, что, если не используется версия с оптронной развязкой, общий провод усилителя (в частности, входных разъемов) соединен с общим проводом АЦП и, следовательно, с корпусом ПК. Очевидно, что непреднамеренная подача слишком большого напряжения на вход усилителя или самого АЦП может привести и к его попаданию на материнскую плату ПК.

Более полную информацию по применению АЦП для создания измерительных приборов можно найти в книге Патрика Гёлль «Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс» [6].

Для интересующихся фирменными АЦП, в табл. 2.1 и табл. 2.2 привожу некоторые данные по этим приборам, изготавливаемым фирмой *MAXIM*.

В графе «Выходной сигнал» буква V обозначает, что на выходе выдается сигнал в виде напряжения, буква I обозначает, что сигнал выдается в виде тока.

**Таблица 2.1.** 6- и 8-битовые АЦП фирмы Maxim

Мо- дель	Функция	Чис- ло кана- лов	Выход- ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 5360	Маломощный 6- битный АЦП с 2- проводным ин- терфейсом	1	V	20	После- доват.	+2,7... +3,6	SOT23
MAX 5361	Маломощный 6- битный АЦП с 2- проводным ин- терфейсом	1	V	20	После- доват.	+4,5... +5,5	SOT23
MAX 505	4-канальный 8- битный АЦП с Rail- to-Rail выходами	4	V	6	mP/8	+5 или ±5	DIP, Wide, SO, SSOP
MAX 5362	Маломощный 6- битный АЦП с 2- проводным ин- терфейсом	1	V	20	После- доват.	+2,7... +5,5	SOT23

Таблица 2.1. Продолжение

Мо- дель	Функция	Число кана- лов	Выход ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 5363	Маломощный 6-битный АЦП с 3-проводным интерфейсом	1	V	20	Последоват.	+2,7... +3,6	SOT23
MAX 5364	Маломощный 6-битный АЦП с 3-проводным интерфейсом	1	V	20	Последоват.	+4,5... +5,5	SOT23
MAX 5365	Маломощный 6-битный АЦП с 3-проводным интерфейсом	1	V	20	Последоват.	+2,7... +5,5	SOT23
MAX 500	Четырехканальный КМОП АЦП с последовательным интерфейсом	4	V	2,5	Последоват.	+12...+ 15 и -5	DIP, WideSO, LCC
MAX 506	Четырехканальный 8-битный АЦП с Rail-to-Rail выходами	4	V	6	mP/8	+5 или ±5	SIP, Wide, SO
MAX 509	Четырехканальный 8-битный АЦП с послед. вх. и Rail-to-Rail выходами	4	V	6	Последоват.	+5 или ±5	DIP, Wide, SO, SSOP
MAX 510	Четырехканальный 8-битный АЦП с послед. вх. и Rail-to-Rail выходами	4	V	6	Последоват.	+5 или ±5	DIP, Wide, SO
MAX 5100	Маломощный четырехканальный АЦП с Rail-to-Rail выходами	4	V	6	mP/8	+2,5... +5,5	TSSOP
MAX 5101	Маломощный трехканальный АЦП с Rail-to-Rail выходами	3	V	6	mP/8	+2,5... +5,5	TSSOP
MAX 5102	Маломощный двухканальный АЦП с Rail-to-Rail выходами	2	V	6	mP/8	+2,5... +5,5	TSSOP
MAX 5105	4-канальный энергонезависимый 8-битный АЦП	4	V	6	Последоват.	+2,7... +5,5	QSOP

Таблица 2.1. Продолжение

Мо- дель	Функция	Число кана- лов	Выход ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 5106	4-канальный энергонезави- симый 8-битный АЦП	4	V	6	После- доват.	+2,7... +5,5	QSOP
MAX 512	3-канальный 8- битный АЦП с последовательн. вх., потенц. вых. и $V_s=+5$ В	3	V	70	После- доват.	+5 или $\pm 5$	DIP, SO
MAX 513	3-канальный 8- битный АЦП с последова- тельн. вх., по- тенциальным вых. и $V_s=+5$ В	3	V	0	После- доват.	+2,7... +3,6 или $\pm 2,7...$ $\pm 3,6$	DIP, SO
MAX 517	Одноканальный 8-битный АЦП с двухпроводным послед. вх. и Rail-to-Rail вы- ходами	1	V	6	После- доват.	5	DIP, SO
MAX 518	2-канальный 8- битный АЦП с двухпроводным послед. вх. и Rail-to-Rail вы- ходами	2	V	6	После- доват.	5	DIP, SO
MAX 5186	2-канальный 8- битный быстро- действующий АЦП	2	V	0,025	mP/8	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5187	Одноканальный 8-битный быст- родействующий АЦП	1	V	0,025	mP/8	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5188	2-канальный 8- битный быстро- действующий АЦП	2	V	0,025	mP/8	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5189	2-канальный 8- битный быстро- действующий АЦП	2	V	0,025	mP/8	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5190	Одноканальный 8-битный быст- родействующий АЦП	1	V	0,025	mP/8	+2,7... +3,3	QSOP

Таблица 2.1. Окончание

Мо- дель	Функция	Число кана- лов	Выход ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 519	2-канальный 8- битный АЦП с двухпроводным послед. вх. и Rail-to-Rail вы- ходами	2	V	6	Послед.	5	DIP, SO
MAX 5191	2-канальный 8- битный быстро- действующий АЦП	2	V	0,025	mP/8	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 520	4-каналь Ный 8- битный АЦП с двухпроводным послед. вх. и Rail-to-Rail вы- ходами	4	V	2	После- доват.	5	DIP, Wide, SO, SSOP
MAX 521	4-каналь-ный 8- битный АЦП с двухпроводным послед. вх. и Rail-to-Rail вы- ходами	8	V	6	После- доват.	5	DIP, Wide, SO, SSOP
MAX 522	2-канальный 8- битный АЦП с послед. вх. и потенциальным вых. в 8-вывод. корпусе	2	V	70	После- доват.	+2,7... +5,5	DIP, SO
MAX 5222	2-канальный 8- битный АЦП в корпусе SOT23	2	V	10	После- доват.	+2,7... +5,5	SOT23
MAX 5223	2-канальный 8- битный АЦП в корпусе SOT23	2	V	50	После- доват.	+2,7... +5,5	SOT 23
MAX 5258	Маломощный 8- канальный АЦП с Rail-to-Rail вы- ход. буферными усилителями	8	V	10	После- доват.	+4,5... +5,5	QSOP

Таблица 2.2. 10-битные АЦП фирмы Maxim

Мо- дель	Функция	Число кана- лов	Выход ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 503	Малопотреб- ляющий АЦП с парал. вх. и по- тенц. выход.	1	V	25		+5 или ±5	DIP, Wide, SO, SSOP
MAX 504	Малопотреб- ляющий АЦП с послед. вх., по- тенц. выход. и ИОН	1	V	25	После- доват.	+5 или ±5	DIP, SO
MAX 515	Малопотреб- ляющий АЦП с послед. вх., по- тенц. выход. Vs=+5 В и внут- ренним ИОН	1	V	25	После- доват.	5	DIP, SO
MAX 5158	2-канальный малопотреб. АЦП с послед. вх., потенц. вых. и Vs=+5 В	2	V	8	После- доват.	5	DIP, QSOP
MAX 5159	2-канальный малопотреб. АЦП с послед. вх., потенц. вых. и Vs=+5 В	2	V	8	После- доват.	+2,7... ±3,6	DIP, QSOP
MAX 5180	2-канальный 10- битный быстро- действ. АЦП	2	I	0,025	mP/10	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5181	Одноканальный 10-битный быст- родейств. АЦП	1	I	0,025	mP/10	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5182	2-канальный 10- битный быстро- действ. АЦП	2	I	0,025	mP/10	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5183	2-канальный 10- битный быстро- действ. АЦП	2	V	0,025	mP/10	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5184	Одноканальный 10-битный быст- родейств. АЦП	1	V	0,025	mP/10	+2,7... +3,3	QSOP
MAX 5185	2-канальный 10- битный быстро- действ. АЦП	2	V	0,025	mP/10	+2,7... +3,3	QSOP

Таблица 2.2. Продолжение

Мо- дель	Функция	Число кана- лов	Выход ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 5232	12-ти разряд., двухканал. АЦП напряж. с по- след. выход. сиг- налом и встро- енным источ. опорн. напряж.	2	V		После- доват.	3	QSOP
MAX 5233	12-ти разряд., двухканал. АЦП напряж. с вослед. выход. сигналом и встроенным ис- точ. опорного на- пряжен.	2	V		После- доват.	5	QSOP
MAX 5250	4-канал. мало- потреб. АЦП с послед. вх. и потенц. выхо- дом	4	V	10	После- доват.	5	DIP, SSOP
MAX 5251	4-канал. 10- битный АЦП с послед. вх., по- тенц. вых. и $V_s=+3$ В	4	V	12	После- доват.	3	DIP, SSOP
MAX 5304	10-битный АЦП с однополярным питанием	1	V	10	После- доват.	5	mMAX, DIP
MAX 5354	Малопотреб. 10- битный АЦП с послед. вх. и по- тенц. выходом	1	V	10	После- доват.	5	mMAX, DIP
MAX 5355	Малопотреб. 10- битный АЦП с послед. вх. и по- тенц. выходом	1	V	10	После- доват.	3,3	mMAX, DIP
MAX 5811	Экономичный, 10-разрядный 2-х проводной по- следовательный АЦП напряжения	1	V	8	I <sup>2</sup> C	2,7... 5,5	μMAX
MAX 5821	2-канальный, экономичный, 10-разрядный, 2-х проводной последов. АЦП напряж.	2	V	8	I <sup>2</sup> C	2,7... 5,5	μMAX

Таблица 2.2. Окончание

Мо- дель	Функция	Число кана- лов	Выход ной сигнал	Время уст. вы- ход. сиг- нала, мкс	Интер- фейс	Напр. пита- ния, В	Корпус
MAX 5841	Экономичный, четырехканальный, 10-ти разрядный, 2-х проводной послед. АЦП напр.	4	V	8	I <sup>2</sup> C	2,7... 5,5	µMAX
MX 7520	10-битный КМОП перемножающий АЦП	1	I	0,5	mP/10	+5... +15	DIP, Wide, SO, SB
MX 7530	10-битный перемножающий КМОП АЦП	1	I	0,5	mP/10	15	DIP, Wide, SO, SB
MX 7533	10-битный перемножающий КМОП АЦП	1	I	0,6	mP/10	+5... +15	DIP, Wide, SO, SB

## Измерения с применением внешних модулей

Применение микросхем АЦП бывает вполне достаточно для изготовления несложных одноканальных измерительных приборов. Но если возникает необходимость в создании сложного многоканального измерительного комплекса, то приходится, для реализации поставленной задачи, искать другие аппаратные устройства.

Среди отечественных коммерческих фирм, изготавливающих и реализующих подобное оборудование, мне известно ЗАО «Л-КАРД».

Фирма реализует следующую продукцию.

- Платы АЦП/ЦАП для многоканального сбора информации и управления.
- Интерфейс с ПК по шинам ISA и PCI, EPP, COM-порт.
- Частота дискретизации 70кГц — 3МГц.
- Разрешение АЦП 12 — 24 бит.
- ПО: драйверы для операционных систем MS DOS, Microsoft Windows 3.x/95/98/NT4.0/XP.
- Модульные системы LTC для создания многоканальных стендовых контрольно-измерительных систем:
  - ♦ обработка сигналов с любых промышленных датчиков, включая тензо- и вибродатчики;
  - ♦ наличие модулей различных классов точности с гальваноразвязкой и без нее;
  - ♦ система LTC включена в Госреестр средств измерений, имеет искрозащитное исполнение.
- Портативные измерительные системы на базе промышленных ПК и ноутбуков.

В Internet сайт ЗАО «Л-КАРД» располагается по адресу: [www.lcard.ru](http://www.lcard.ru). Адрес электронной почты: [lcard@lcard.ru](mailto:lcard@lcard.ru).

## **Заключение**

К сожалению, мне не представилась возможность поэкспериментировать с продукцией фирмы «Л-КАРД», поэтому не могу дать вам более конкретную информацию. Считаю необходимым сообщить, что сотрудники фирмы были очень доброжелательны и ответили по электронной почте на все мои вопросы.