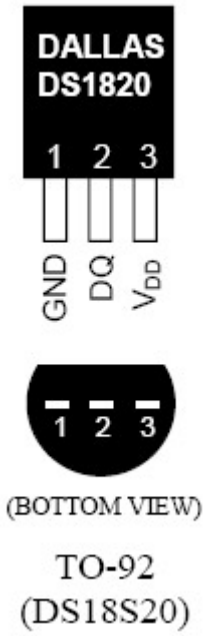
Digitalna temperaturna sonda s PICem

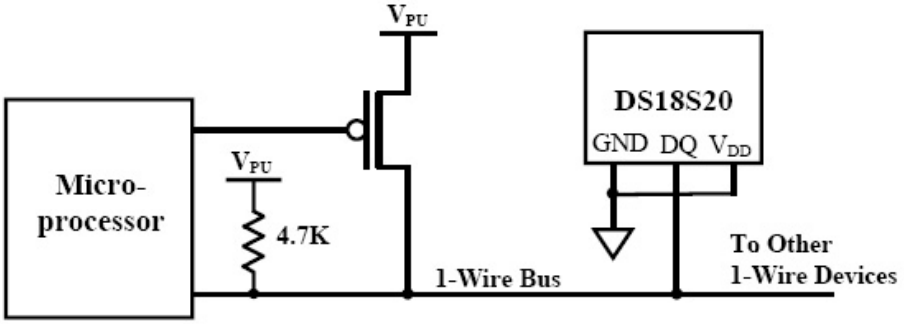


Digitalna se tehnologija svakim danom sve više razvija, što se odražava i na cijenu uređaja i komponenata i njihovu popularnost i dobavljivost. Senzori sa razne veličine dostupni su kao digitalne komponente koje unutar sebe stvarnu veličinu pretvore u električnu, koju tada digitaliziraju. «Kap u moru» je mjerenje temperature. Digitalna temperaturna sonda **Dallas DS18S20** može se za tridesetak kuna kupiti u skoro svakoj trgovini elektroničkog materijala. Njezine karakteristike su točnost od ±0.5°C, temperaturni raspon od -55°C do 125°C, napon napajanja od 3V do 5V, vrijeme pretvaranja 750 ms. Navedena sonda podržava 1-Wire rad (potrebne su joj samo dvije žice: masa i napajanje/podaci – sonda se može napajati iz linije za prijenos podataka), ali ga u ovom projektu nećemo koristiti.

Ovu se sondu može spojiti izravno na računalo preko RS232 porta (uz korištenje konvertora nivoa kao što je MAX232), ili se moće spojiti na PIC. Kako na isti PIC možemo spojiti više sondi (ovakvih istih, drugih digitalnih ili analognih), obraditi ćemo taj način.

Prvi korak u korištenju ovakve sonde je čitanje (s razumijevanjem) njenog uputstva (*datasheet*, koji je dostupan na stranicama proizvođača: www.maxim-ic.com).

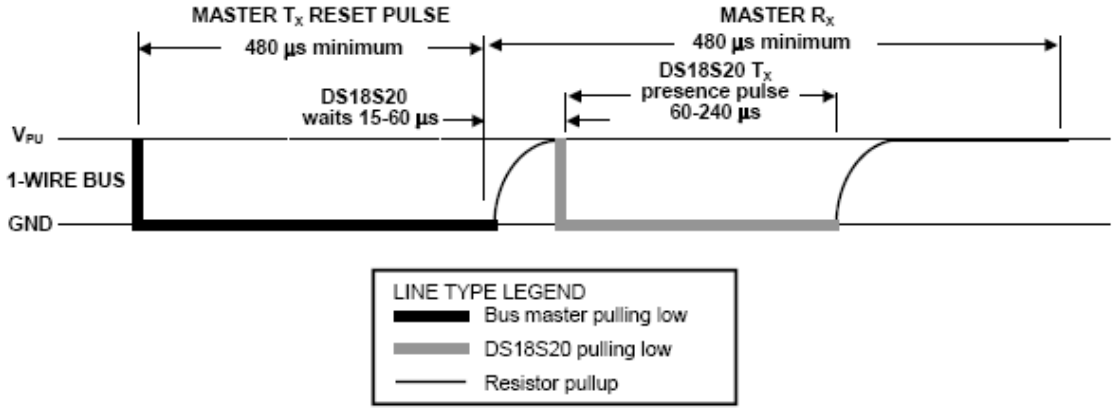
Elektronički dio je vrlo jednostavan. Sondu treba spojiti na napon napajanja (5V) i masu, i podatkovnu nožicu s PICem. Na podatkovnu (u ovom slučaju srednju) nožicu treba spojiti *pull-up* otpornik prema naponu napajanja. Taj će otpornik osigurati ispravni rad sonde. Kada sonda piše podatke u svoje EEPROM ili kada obavlja pretvorbu temperature, struja može narasti na 1.5 mA. Takva struja može prouzročiti preveliki pad napona na internom *pull-up* otporniku, te sonda nebi imala dovoljno energije za nastavak rada. Ovo se posebno odnosi na sondu u 1-Wire načinu rada, a otpornik je poželjno staviti neovisno o načinu napajanja sonde. Napon V_{PU} je napon napajanja sonde, tj. 5V.



Digitalna komunikacija prema sondi je jednostavna: na u uputstvima opisani način se sondi pošalje naredba (veličine 1 byte), na koji sonda odgovara podacima. Vrlo je važno izraditi ispravne rutine za komunikaciju prema sondi (za slanje i primanje bitova). Sonda ima točno definirana vremena trajanja pojedinog stanja na njenoj podatkovnoj (DQ) nožici i toga se treba strogo držati.

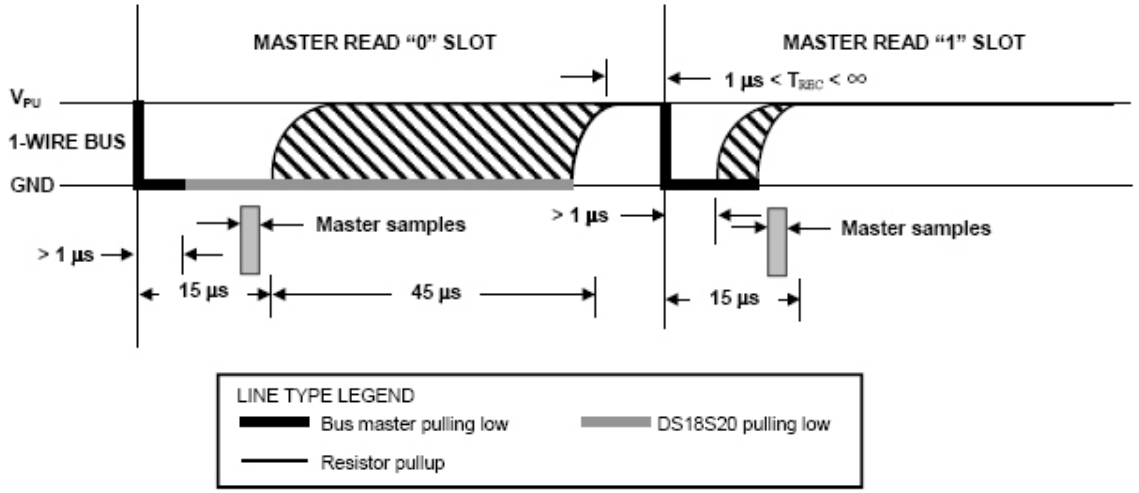
Inicijalizacija sonde (tj. inicijalizacija komunikacije s njom) se vrši tako da se pin na koji je sonda spojena postavi na logičku 0 najmanje 480 µs (*reset pulse*). Zatim se počeka barem 60 µs i pročita stanje tog pina. Ukoliko je sonda spremna za rad i sve je u redu, ona odgovara postavljanjem pina na logičku jedinicu (*presence pulse*). Sondi možemo slati naredbe ili čitati podatke s nje tek kad je inicijalizacija uspješno obavljena.

INITIALIZATION TIMING Figure 10



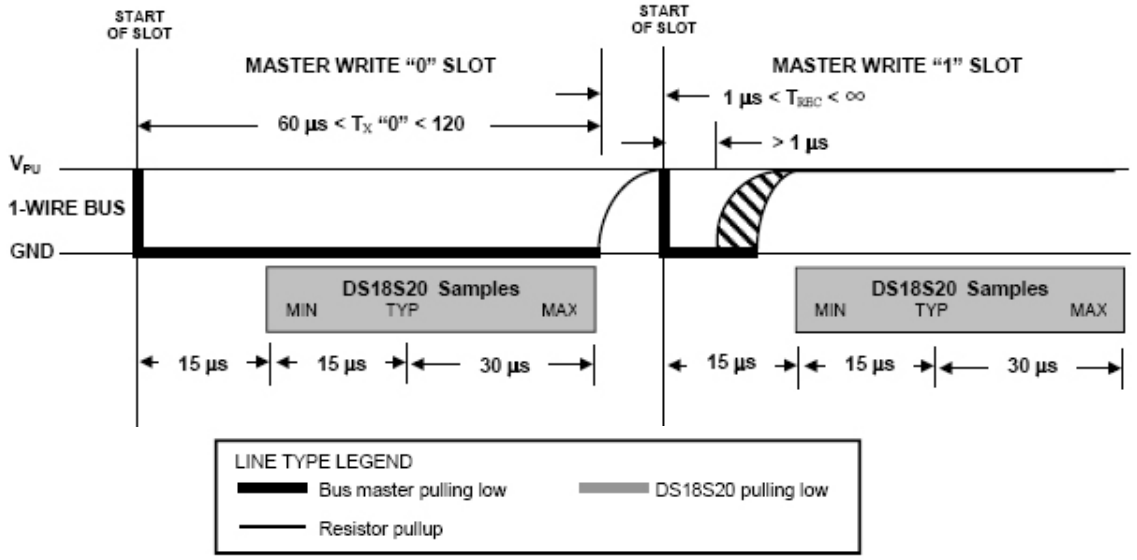
Kada želimo poslati naredbu sondi, mi joj zapravo pošaljemo 8 bita. Slanje bitova se izvodi na slijedeći način. Pin na koji je sonda spojena postavimo na logičku 0 barem 1 µs, zatim pin postavimo na logičku 0 ili logičku 1, ovisno o bitu koji šaljemo, u trajanju od barem 60 µs, i na kraju postavimo pin na logičku jedinicu barem 1 µs.

WRITE TIME SLOT TIMING DIAGRAM



Čitanje se izvodi na sličan način. Pin na koji je sonda spojena postavimo na logičku 0 barem 1 µs. Od toga trenutka imamo najviše 15 µs da pročitamo bit koji nam sonda daje (postavlja). Nakon tih 15 µs sonda postavlja vrijednost logičke 1. Na kraju počekamo 60 µs da se završi ciklus slanja bita.

READ TIME SLOT TIMING DIAGRAM



Ove je rutine najbolje spremiti u posebnu datoteku, kako bi sam kod bio što pregledniji i čitljiviji. Uspješnim dovršavanjem ovih rutina riješili smo veći dio problema komunikacije sa sondom. Slijedi zanimljiviji dio: slanje naredbi za pretvorbu temperature i njeno čitanje.

Naredba	**Kod**	**Značenje / objašnjenje**
Convert T	44h	Početak temperaturne konverzije
Read Scratchpad	BEh	Čitanje cijele memorije, uključujući CRC byte
Write Scratchpad	4Eh	Zapisuje podatke u memoriju (byte-ovi 2 i 3, tj. T_H i T_L)
Copy Scratchpad	48h	Pročita vrijednosti T_H i T_L iz memorije i zapisuje ih u EEPROM (koristi se za alarm)
Recall E^2	B8h	Pročita vrijednosti T_H i T_L iz EEPROMa i zapisuje ih u memoriju (koristi se za alarm)
Read Power Supply	B4h	Pročita način napajanja (V_{CC} ili 1-Wire)

Izgled memorije prikazan je slijedećom tablicom:

	Memorija		**EEPROM**
byte 0	Temperatura (LSB)		
byte 1	Temperatura (MSB)		
byte 2	T_H (koristi se za alarm)	⟷	T_H registar
byte 3	T_L (koristi se za alarm)	⟷	T_L registar
byte 4	Rezervirano		
byte 5	Rezervirano		
byte 6	count remain		
byte 7	count per °c		
byte 8	CRC		

Sonda u svoja prva dva bajta (byte 0 i byte 1) daje 9 bita podataka. Ti podaci izgledaju kao u slijedećoj tablici:

TEMPERATURA	DIGITAL OUTPUT (Bin)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+85.0°C	0000 0000 1010 1010	00AAh
+25.0°C	0000 0000 0011 0010	0032h
+0.5°C	0000 0000 0000 0001	0001h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1111	FFFFh
-25.0°C	1111 1111 1100 1110	FFCEh
-55.0°C	1111 1111 1001 0010	FF92h

Negativna temperatura zapisana je koristeći drugi komplement. Da bi se iz digitalnih podataka dobila temperatura, treba dobiveni broj podijeliti s vrijednosti najmanje značajnog bita (LSB). To je u našem slučaju (9 bitna konverzija) 2. Npr. digitalni zapis 0000 0000 0000 0010 je u dekadskom sustavu broj 2. Broj 2 podijelimo s vrijednosti LSB-a, tj. s 2, i dobijemo 1. Ovo znači da digitalni zapis 0000 0000 0000 0010 prikazuje temperaturu od 1°C.

Vrijednosti *count remain* i *count per °c* služe za dobivanje podatka o vrijednosti temperature u višoj (12-bitnoj) rezoluciji. Tada nije dovoljno pročitati samo ta dva byte-a, već treba koristiti sljedeću formulu:

$$temperatura = temp\_read - 0.25 + \frac{count\_per\_c - count\_remain}{count\_per\_c}$$

count_per_c i *count_remain* su vrijednosti sedmog i šestog byte-a (byte7 i byte 6), a temp_read je vrijednost temperature dobivena čitanjem prva dva byte-a (byte 0 i byte 1). Koristeći ovu metodu može se dobiti u 12-bitnoj rezoluciji, što znači da je najmanja detektirana promjena temperature 0.03125°C. Koristeći ovu rezoluciju dobiti ćemo mala «osciliranja» vrijednosti, jer sonda nije originalno zamišljena da radi na toj rezoluciji.

Program za PIC pisati ćemo u C-u, a za prevoditelj ćemo koristiti CCS C compiler (www.ccsinfo.com).

Krenimo sa postavljanjem definicija. Da ne moramo svaki put u kodu pisati broj pina na koji je spojena DS18S20 sonda, nazvati ćemo ga ONE_WIRE_PIN:

```
#DEFINE ONE_WIRE_PIN PIN_A0 // sonda je spojena na PIN_A0
```

Zatim ćemo definirati imena registara unutar DS18S20 sonde. To će nam olakšati kasniji rad, jer je lakše zapamtiti funkcije pojedinog memorijskog byte-a, nego njegov redni broj u memoriji.

```
// ds1820 scratchpad registri
#define DS1820_SP_TLSB  0        // najmanje značajan bit temperature
#define DS1820_SP_TMSB  1        // najznačajniji bit temperature
#define DS1820_SP_HLIM  2        // H_LIM (za alarm)
#define DS1820_SP_LLIM  3        // L_LIM (za alarm)
#define DS1820_SP_CFG   4        // rezervirano
#define DS1820_SP_RES0  5        // rezervirano
#define DS1820_SP_CR    6        // count_remain
#define DS1820_SP_CPC   7        // count_per_c
#define DS1820_SP_CRC   8        // CRC kontrola greške
```

Po istom ćemo principu definirati i naredbe sonde.

```
// ds1820 command set
#define DS1820_CMD_READROM           0x33
#define DS1820_CMD_SKIPROM           0xCC
#define DS1820_CMD_CONVERTTEMP       0x44
#define DS1820_CMD_WRITESCRATCHPAD   0x4E
#define DS1820_CMD_READSCRATCHPAD    0xBE
#define DS1820_CMD_COPYSCRATCHPAD    0x48
```

Objašnjenja svake naredbe dana su već u ovom članku, pa ih nećemo ovdje ponavljati.

Ono što smo već prije spomenuli kao vrlo važnu stvar, praćenje točno zadanih vremena za inicijalizaciju sonde, kao i za slanje podataka sondi i čitanje rezultata sa nje, ovdje ćemo prikazati dijelovima koda, u obliku funkcija

Važno je spomenuti da pin na koji je spojena sonda mora biti i ULAZ u PIC i IZLAZ iz PICa. Njegova će se stanja mijenjati u kodu, i to će biti napomenuto.

Inicijalizaciju sonde je najbolje napraviti tako da se odmah provjeri jeli ona uspješno prošla, ili je pri inicijalizaciji nastala greška (što znači da ne možemo pristupi sondi).

```
short int onewire_init_with_error_check()
{
   onewire_disable_interrupts(TRUE);     // onemogućimo prekide
   output_low(ONE_WIRE_PIN);       // postavimo pin na logičku nulu
   delay_us( 500 );                // 500 mikrosekundi
   output_float(ONE_WIRE_PIN);     // bit postaje ULAZ u PIC
   delay_us( 5 );                  // 5 mikrosekundi za stabilizaciju
   if (!input(ONE_WIRE_PIN))
      {
      onewire_disable_interrupts(FALSE); // omogućimo prekide
      return ( FALSE );      // greška (npr. sonda kratkospojena)
      }
   delay_us( 60 );      // pričekamo puls prisutnosti
   if (input(ONE_WIRE_PIN)) {
      onewire_disable_interrupts(FALSE); // omogućimo prekide
      return ( FALSE ); // sonda nije priključena
      }
   delay_us( 500 ); // pričekamo kraj ciklusa inicijalizacije
   output_float(ONE_WIRE_PIN);     // pin postaje ULAZ u PIC
   onewire_disable_interrupts(FALSE);    // omogućimo prekide
   return ( TRUE ); // sonda je spojena i spremna za rad
}
```

Iz koda seprimijećuje da su neka vremena malo izmijenjena. Razlog tome je ispitivanje rada sonde i isprobavanje sa tim vrijednostima.

Za slanje podataka sondi koristimo sljedeću funkciju:

```
void onewire_sendbyte(int data)
{
   int count;
         onewire_disable_interrupts(TRUE); // onemogućimo prekide
   for (count=0; count<8; ++count)
      {
      output_low(ONE_WIRE_PIN);     // postavimo bit na logičku nulu
      delay_us( 2 );                // 2 mikrosekunde
      output_bit(ONE_WIRE_PIN, shift_right(&data,1,0)); // postavimo bit
      delay_us( 80 ); // pričekamo kraj ciklusa zapisivanja
      output_float(ONE_WIRE_PIN); // postavimo bit na logičku jedinicu
      delay_us( 2 );          // 2 mikrosekunde, što označava kraj ciklusa
      } // kraj for petlje
   onewire_disable_interrupts(FALSE);    // opet omogućimo prekide
} // kraj funkcije
```

Kod zapravo samo prati definirane vremenske intervale i unutar njih postavlja bit na logičku 0 ili 1. preko varijable *data* zadajemo byte koji želimo poslati sondi. *For* petlja se izvrši 8 puta, jer jedan byte ima 8 bita.

Analogno funkciji za slanje, definiramo i funkciju za čitanje podataka sa sonde.

```
int onewire_readbyte()
{
   int count, data;
         onewire_disable_interrupts(TRUE); // onemogućimo prekide
   for (count=0; count<8; ++count)
      {
      output_low(ONE_WIRE_PIN);     // postavimo pin na logičku 0
      delay_us( 2 );                // 2 mikrosekunde
      output_float(ONE_WIRE_PIN);   // pin postaje ULAZ u PIC
      delay_us( 10 );               // 10 mikrosekundi za stabilizaciju
      shift_right(&data,1,input(ONE_WIRE_PIN)); // pročitamo vrijednost
      delay_us( 60 );               // počekamo kraj ciklusa čitanja
      } // kraj for petlje
      onewire_disable_interrupts(FALSE);  // ponovno omogućimo prekide
   return( data );
} // kraj funkcije
```

Četvrta važna funkcija je funkcija kojom ćemo pročitati rezultate pretvorbe temperature. Temperaturna sonda DS18S20 ne šalje samo podatke koje mi želimo, nego cijeli njezin *scratchpad*, koji se sastoji od 9 byte-ova koje smo prije opisali. *Scratchpad* je sondina interna memorija koja se sastoji od 9 registara veličine po 1 byte svaki. Za čitanje cijelog *scratchpad*a pozvati ćemo 9 puta funkciju za čitanje 1 byte-a sa sonde, odmah nakon što izdamo naredbu za čitanje.

```
void onewire_ds1820_read_scratchpad(int *data)
{
   onewire_init_with_error_check(); // inicijaliziramo sondu
   onewire_sendbyte(DS1820_CMD_SKIPROM); // preskočimo ROM memoriju
   onewire_sendbyte(DS1820_CMD_READSCRATCHPAD);// pročitamo scratchpad

   delay_ms(2);   // počekamo 2 milisekunde zbog stabilizacije

   data[DS1820_SP_TLSB]=onewire_readbyte();    // 0 TLSB
   data[DS1820_SP_TMSB]=onewire_readbyte();    // 1 TMSS
   data[DS1820_SP_HLIM]=onewire_readbyte();    // 2 HLIM
   data[DS1820_SP_LLIM]=onewire_readbyte();    // 3 LLIM
   data[DS1820_SP_CFG]=onewire_readbyte();     // 4 reserved
   data[DS1820_SP_RES0]=onewire_readbyte();    // 5 reserved
   data[DS1820_SP_CR]=onewire_readbyte();      // 6 COUNT_REMAIN
   data[DS1820_SP_CPC]=onewire_readbyte();     // 7 COUNT_PER_C
   data[DS1820_SP_CRC]=onewire_readbyte();     // 8 CRC
}
```

Uz pročitane vrijednosti nadopisani su i komentari, da se lakše razumije koji se byte prenosi, iako je to vrlo intuitivno iz samog imena varijabli.

U samu funkciju sa varijabla *data* prenosi kao pokazivač na memorijski prostor (za potpuno razumijevanje najbolje je pogledati kako pokazivači rade u programskom jeziku C). Time smo uštedjeli na memoriji, i sama varijabla je vidljiva u funkciji i u glavnom programu. Ovdje posebno dolaze do izražaja korisnosti definiranja «zvučnih» imena varijabli: podaci se referenciraju kao njihova imena, a ne kao broj byte-a.

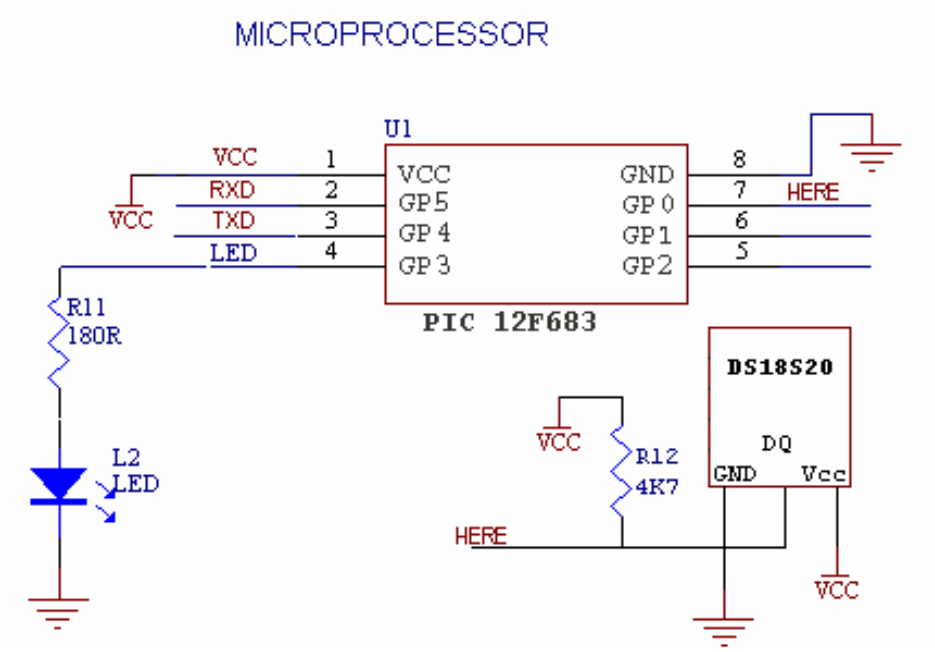
Ovim smo funkcijama potpuno pokrili rad sa sondom. Poželjno ih je izdvojiti iz koda i spremiti u zasebnu datoteku. Tako će ostatak koda biti pregledniji i čitljiviji.

Sada dolazimo do dijela gdje objedinjujemo sve zajedno: inicijalizacija → slanje naredbe sondi da u svoje registre pohrani podatak o temperaturi (pretvorba temperature) → čitanje registara → ispisivanje podatka na računalo preko RS232 komunikacije (serijski, COM port).

```
float onewire_ds1820_read_temp_c_extended ()
{
// definiramo varijable i tipove varijabli koje ćemo koristiti
   int temperatureLSB, temperatureMSB, scratchpad[9];
   int count_remain, count_per_c;
// temperatura je 9 bitna, i može biti pozitivna ili negativna
// vrijednost int je 8 bitna (int8), pa će nam trebati 16-bitni int
   signed int16 temp;
// ako ne možemo inicijalizirati sondu, prekinemo izvođenje
   if (!onewire_init_with_error_check())     return (0);
// očitamo temperaturu i podatke spremimo u memoriju, preskačemo
// čitanje ROM memorije
   onewire_sendbyte(DS1820_CMD_SKIPROM);
   onewire_sendbyte(DS1820_CMD_CONVERTTEMP);
// počekamo 1 sekundu da se izvrši pretvorba
      delay_ms(1000);
// pročitamo registre (memoriju)
   onewire_ds1820_read_scratchpad(scratchpad);
```

```
// pretvorimo dobivene byte-ove u broj koji pokazuje temperaturu
   temperatureLSB = scratchpad[DS1820_SP_TLSB];
   temperatureMSB = scratchpad[DS1820_SP_TMSB];
      temp=(signed int16)make16(temperatureMSB, temperatureLSB);
// tražimo i varijable za 12-bitni oblik temperature
   count_remain   = scratchpad[DS1820_SP_CR];
   count_per_c    = scratchpad[DS1820_SP_CPC];
// Izračunamo temperaturu koristeći formulu iz uputstava sonde
precise = (float)temp*0.5 - 0.25 + (count_per_c - count_remain) /
(float)count_per_c;
// kraj funkcije
return (precise);
}
```

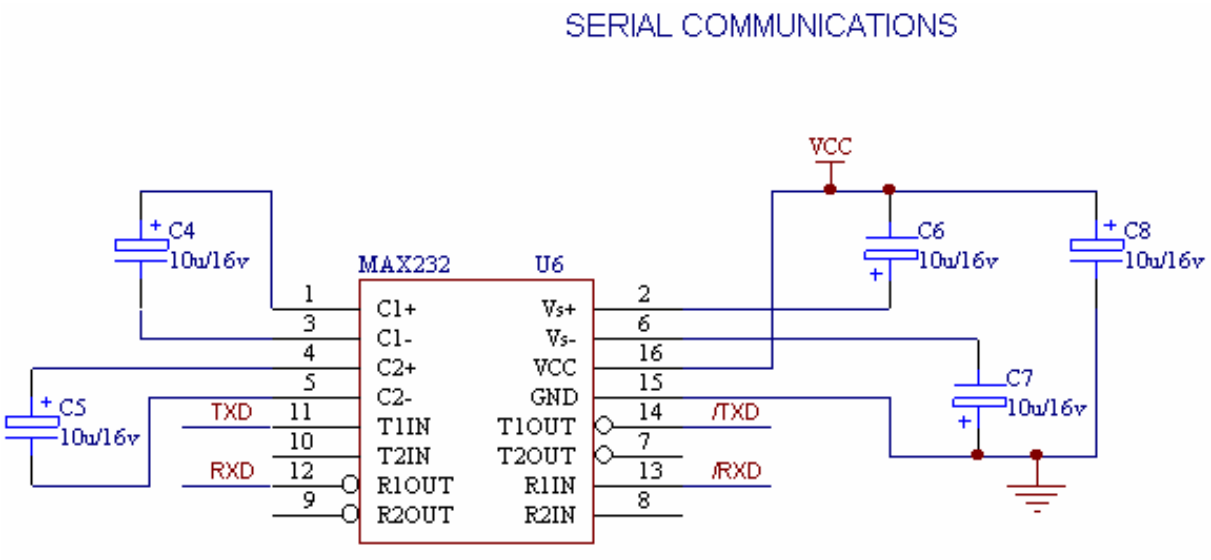
Sada kada potpuno znamo i razumijemo kako «stvar» radi, možemo pristupiti praktičnoj izvedbi koja je vrlo jednostavna. Shema je prikazana na sljedećim slikama. Prikazana je u više dijelova kako bi bila razumljivija.



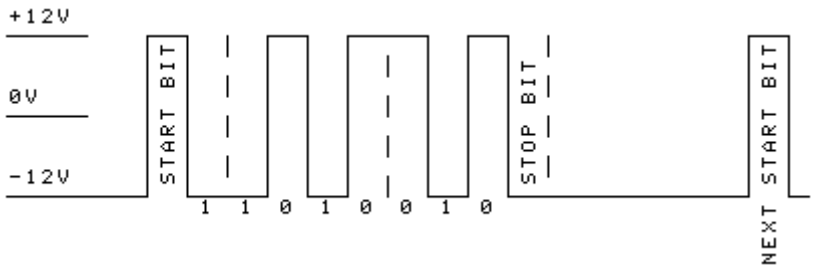
Podaci o PICu **12F683**:
Flash memorija, 3.5 KB programske memorije, 2048 riječi, 256 B podatkovne memorije, 128 B RAM, 4-kanalni 10 bitni AD konvertor, 1 komparator, 8bitni i 16bitni timeri, maksimalna frekvencija: 20 MHz, 8 pinova.

LED dioda spojena je samo kao kontrola rada cijelog sklopa. Njome se upravlja iz glavnog programa. Napon V_{CC} je napon napajanja od +5V.

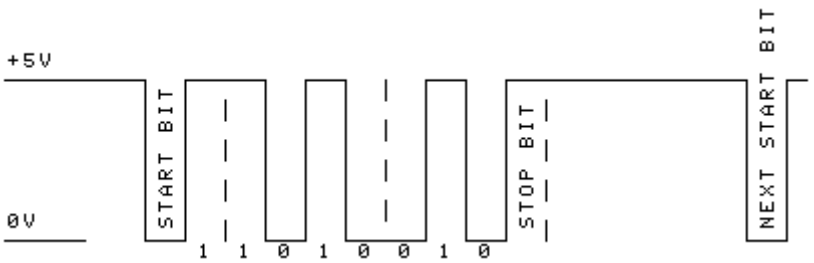
Serijska komunikacija opisana je sljedećom shemom.



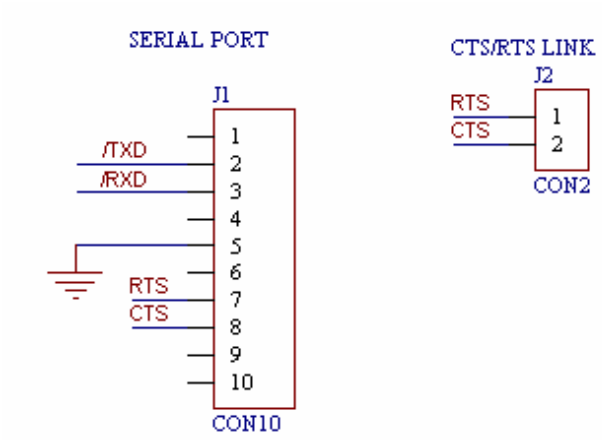
Integrirani krug MAX232 je konvertor nivoa. Čemu on zapravo služi? RS232 port na računalu ima sljedeća stanja:



a izlaz iz PICa ima sljedeća stanja:

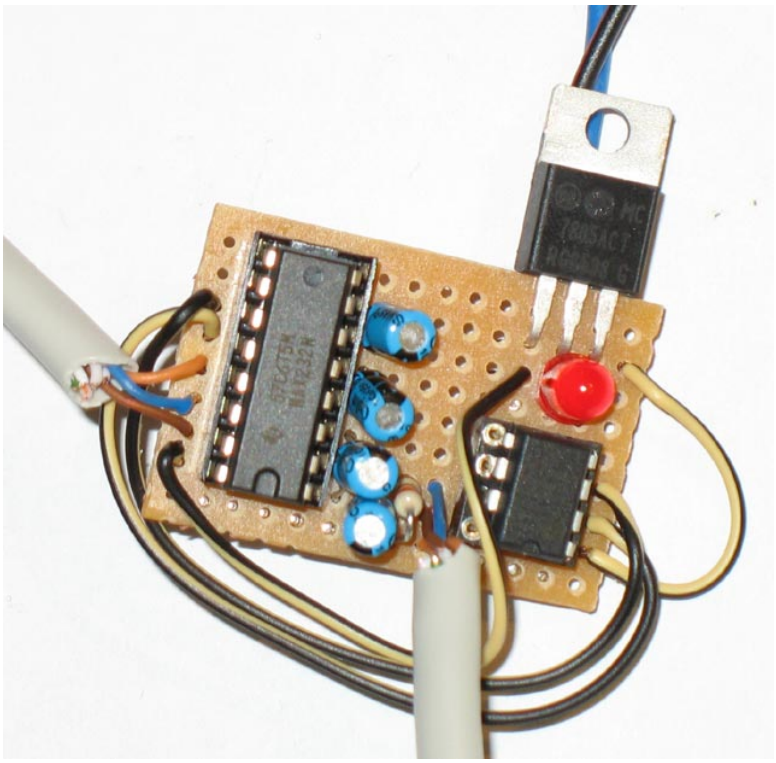


Računalu je logička nula -12V, a logička jedinica +12V. PIC ima napajanje od 5V što znači da može dati, na svom izlazu, napon od 0 do 5V. Sklop sa MAX232 integriranim krugom, prikazan na gornjoj slici, čini upravo tu logičku pretvorbu nivoa. Primjetimo da je izlaz T1OUT invertiran. Da bi se prilagodio tome, PIC (njegov UART mehanizam) za logičku nulu daje izlaz 5V, a za logičku jedinicu 0V. Kada se taj napon pretvori i invertira dobije se na izlazu iz MAX232 integriranog kruga +12V za logičku jedinicu i -12V za logičku nulu, baš kao što je potrebno. Još jedna stvar koju treba imati na umu: integrirani krug MAX232 se napaja sa istim naponom kao i PIC, dakle sa 5V. Napon od +12V i -12V generira se unutar samog integriranog kruga pomoću kondenzatora spojenih na njegove nožice.



Konvertor nivoa MAX232 zatim prema sljedećoj shemi povežemo sa DB9F konektorom (za spajanje na serijski port).

Konektor CON10 predstavlja DB9F konektor. Primjećujemo kako ovdje postoje još dvije dodatne linije u serijskoj komunikaciji korištene za «handshaking». Kako te dvije linije ovaj sklop ne koristi (što znači da samo šalje podatke, a ne traži nikakvu potvrdu da je te podatke računalo primilo) te dvije linije nije potrebno spojiti nikamo. Ovdje su ipak navedene radi preglednosti.



Izgrađeni sklop izgleda kao na slici. Na jednu su pločicu smještene sve komponente iz gornjih shema. Sonda je žicom izvučena do mjesta gdje se temperatura želi mjeriti.

Stabilizator napona 7805 se zbog vrlo male struje koju ovaj sklop troši, ne grije i nije ga potrebno smjestiti na hladnjak već ga se može pustiti «u zraku». Ukoliko se sklop napaja iz izvora napajanja 5V (što ovdje nije slučaj), 7805 se može izostaviti.

U nastavku je dan kod programa. Funkcije koje se koriste u programu već su objašnjene u ovom tekstu, pa o njima neće biti posebno riječi kod opisa programa. Ovdje su prikazane definicije serijskog porta, definicije varijabli, funkcija za onemogućavanje prekida (poželjno je onemogućiti prekide rada mikrokontrolera za vrijeme komuniciranja sa sondom) i glavna funkcija. Gore opisane funkcije spremljene su u datoteku ***ds18s20.c*** koju u glavnom programu moramo uključiti.

Jednom kad smo funkcije za rad sa sondom spremili u odvojenu datoteku, rad i debuggiranje su znatno olakšani.

Zanimljivost u ovom kodu je korištenje *tag*ova za ispisivanje temperature. Korištenjem *tag*ova ne moramo znati koliko je cijeli podatak velik (npr. 1.0 nije isto što i -2.03125), nego samo uzmemo podatak unutar željenog *tag*a.

```
#include <12F683.h>          // definiramo PIC
#include <stdlib.h>          // standardna knjižnica
#include <ds18s20.c>         // uključimo funkcije za rad sa sondom
                             // (objašnjene su u tekstu)
#fuses NOWDT,NOPROTECT,INTRC_IO  // definiramo konfiguraciju
#use delay(clock=4000000)        // definiramo takt oscilatora (4 MHz)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_A4, rcv=PIN_A5) // definiramo RS232

// funkcija za onemogućavanje i omogućavanje prekida za vrijeme rada sa
sondom
void onewire_disable_interrupts(int disable) {
   if (disable)
     disable_interrupts(GLOBAL);
   else
     enable_interrupts(GLOBAL);
}

// glavna funkcija
int main(void)
{
// PIN_A0=DS18S20; PIN_A1=NC, PIN_A2=LED
// PIN_A3=NC, PIN_A4=RS232_TX, PIN_A5=RS232_RX

// inicijaliziramo varijable
float precise;
signed int16 temperature;
// beskonačna petlja
do
{
      if (onewire_init_with_error_check())
      {
      delay_ms(2000);   // počekamo 2 sekunde prije sljedećeg čitanja

      temperature = onewire_ds1820_read_temp_c_lite();
      precise = onewire_ds1820_read_temp_c_extended();

printf("\r\n<temp_high>%4.1f</temp_high>\n\r",precise);
printf("<temp>%4.1f</temp>\n\r",((float)temperature/2));
      } // kraj da je uspješno inicijalizirana sonda
else
      {
  printf("\n\rDS 1820S onewire sonda nije pronadjena...\n\r");
      } // kraj else
} while (TRUE); // kraj beskonačne petlje

} // kraj int main(void)
```