Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Departamentul Calculatoare

Proiectarea cu Micro-Procesoare

Lector: Mihai Negru

An 3 – Calculatoare și Tehnologia Informației

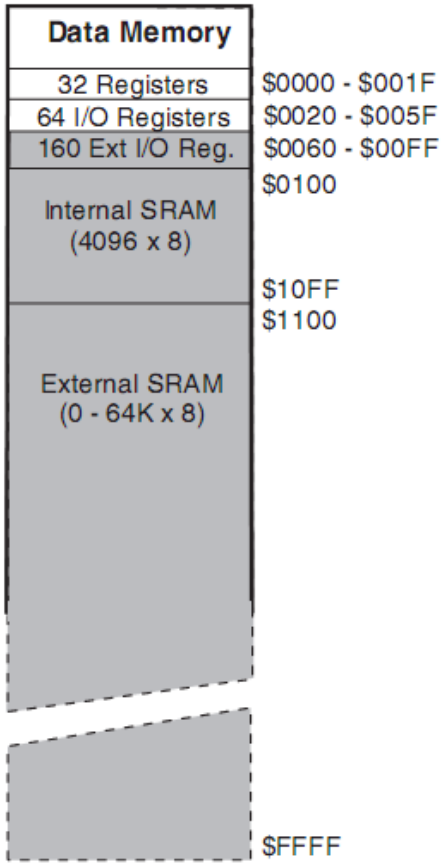
Seria B

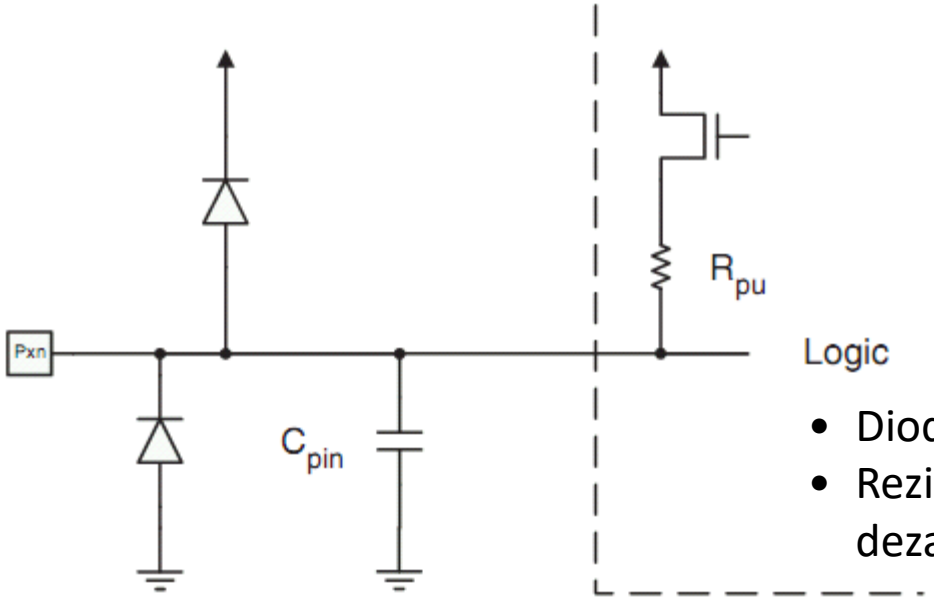
Curs 2: Intrare / Ieșire

http://users.utcluj.ro/~negrum/

Intrare / Ieșire

- Porturile de intrare / ieșire: PORTA ... PORTG
- PORTA – PORTE: accesate prin instrucțiuni speciale **in**, **out**
- PORTF – PORTG: doar prin **ld**, **st** (spațiul de adrese I/O extins)
- Registrul de direcție DDRx – fiecare bit din fiecare port poate fi configurat ca intrare / ieșire
- Scrierea portului se face prin registrul PORTx
- Citirea stării pinilor se face prin PINx

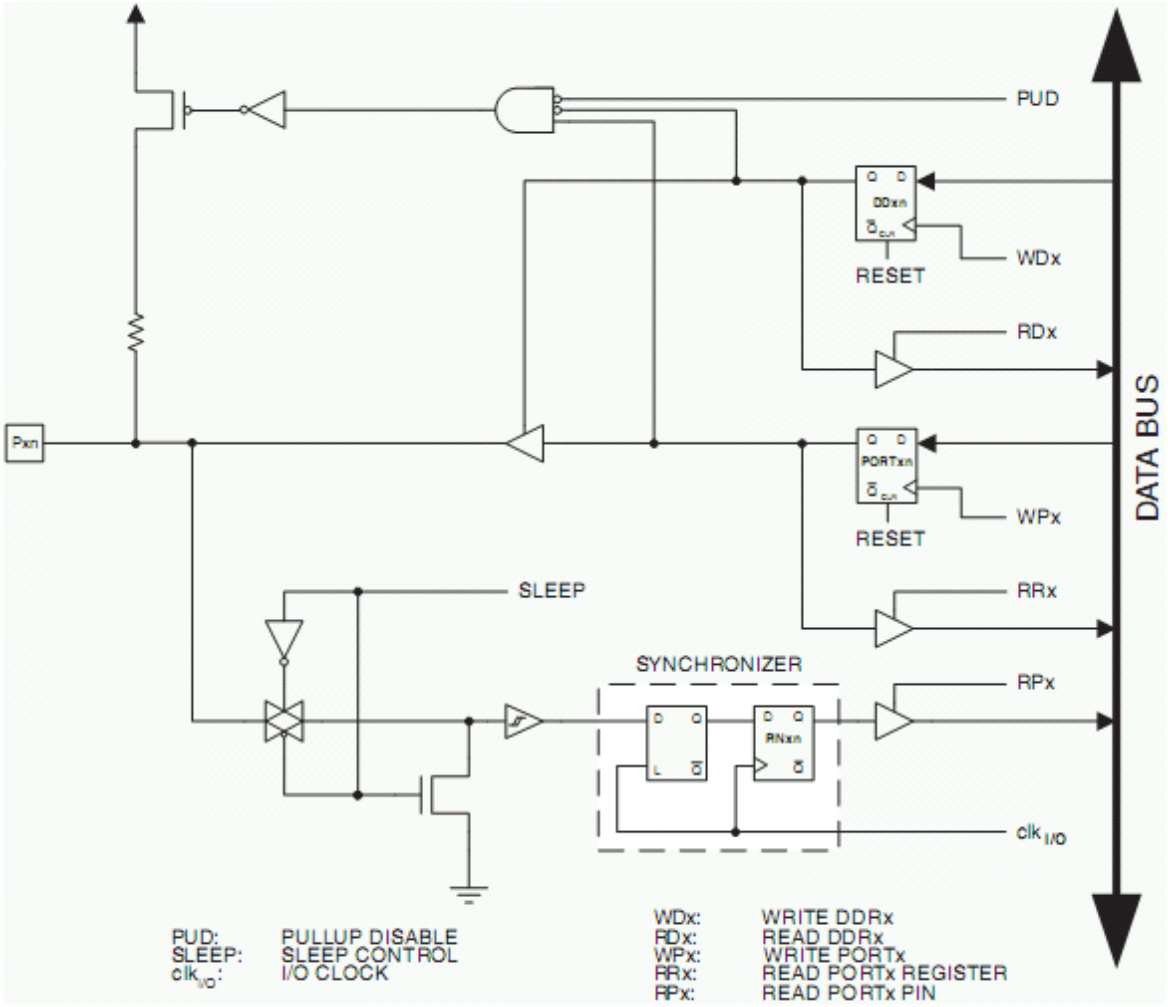




- Diode de protecție, împotriva electricității statice
- Rezistenta "pull-up", care poate fi activată / dezactivată prin logica

Intrare / Ieșire

- Schema generală pentru 1 bit dintr-un port I/O



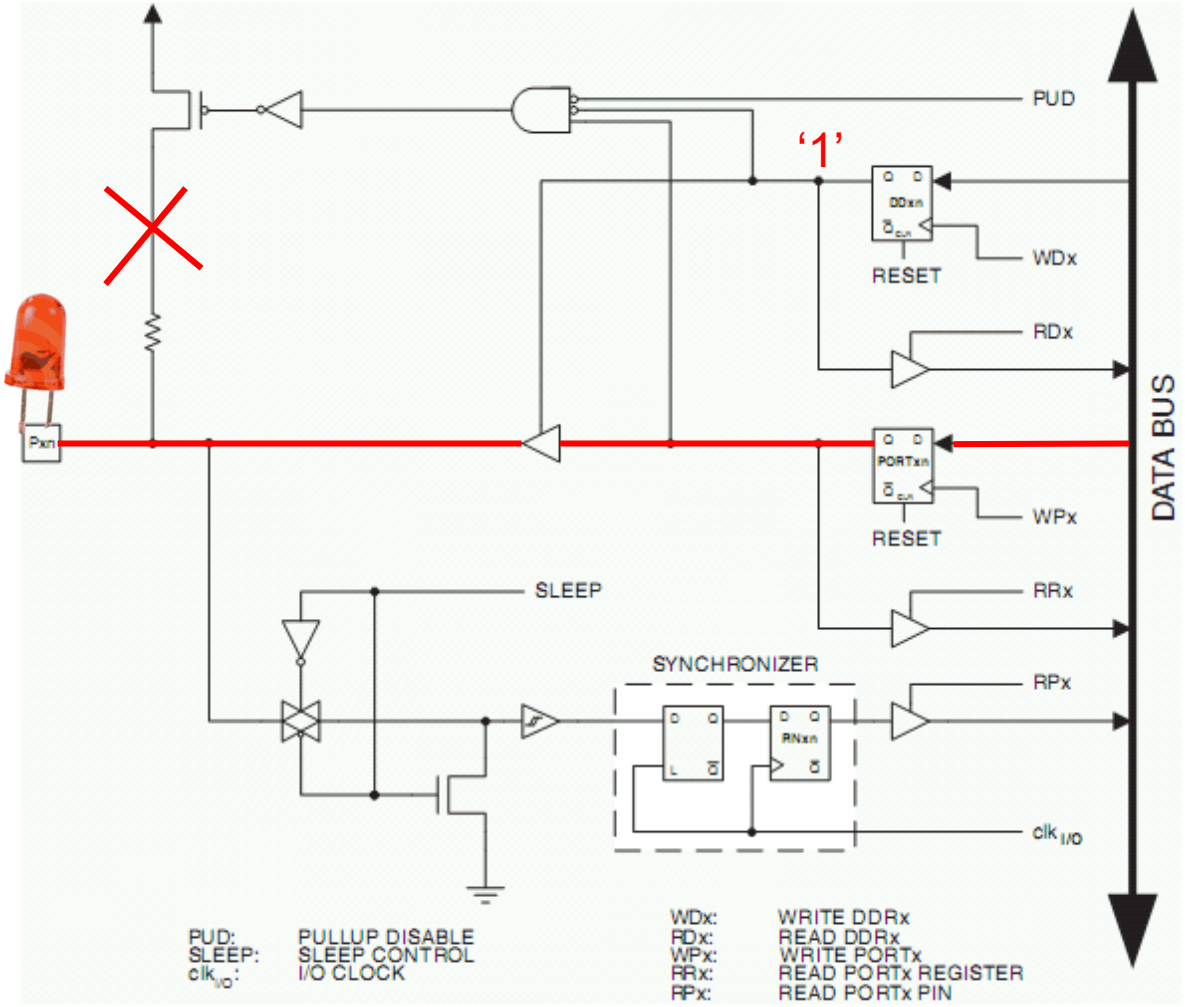
Control direcție

Datele ce vor fi trimise la ieșire

Datele citite de pe intrare

Intrare / Ieșire

- Configurația pentru ieșire

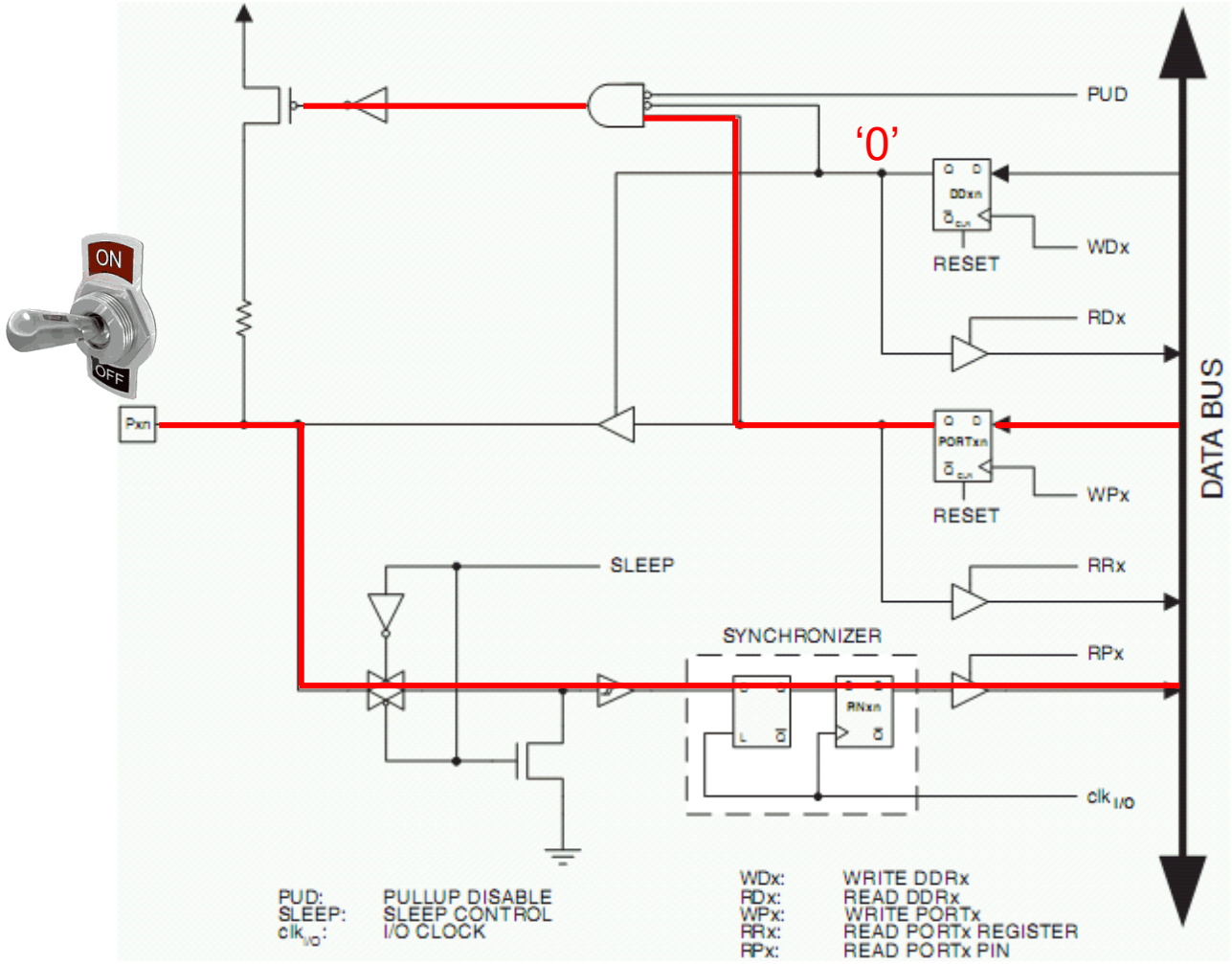


Direcție = 1

Datele scrise în PORTx sunt trimise la ieșire

Intrare / Ieșire

- Configurația pentru intrare



Direcție = 0

'1' scris in PORTx activează rezistenta pull-up

Datele devin disponibile la PINx

Intrare / Ieșire

- Stări posibile ale pinilor I/O

DDxn	PORTxn	PUD (in SFIOR)	I/O	Pull-up	Comment
0	0	X	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	0	Input	Yes	Pxn will source current if ext. pulled low.
0	1	1	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
1	0	X	Output	No	Output Low (Sink)
1	1	X	Output	No	Output High (Source)

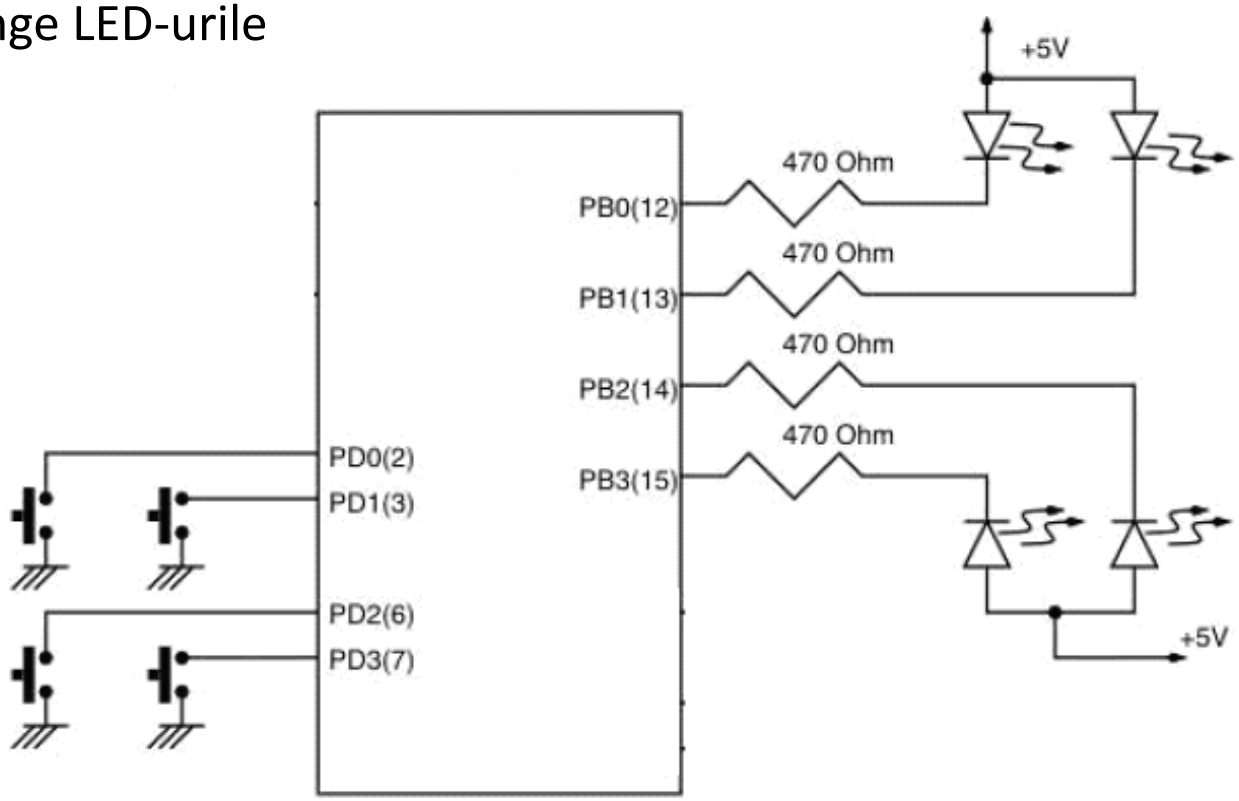
- PUD – Pull Up Disable: GLOBAL
  - Valoarea ‘1’ a bitului 2 din SFIOR dezactivează toate rezistentele pull-up

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x20 (0x40)	TSM	–	–	–	ACME	PUD	PSR0	PSR321	SFIOR
Read/Write	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

```
in r17, SFIOR
ori r17, 0b00000100
out SFIOR, r17
```

Intrare / Ieșire – Butoane si LED-uri

- Rezistentele pull-up asigură nivelul ‘1’ pe pin când butonul este in repaus
- Când butonul este apăsat, nivelul pinului este ‘0’ prin legare la GND
- Un nivel ‘0’ pe pinii de ieșire (B) cauzează diferența de potențial pe LED-uri, provocând aprinderea lor
- Nivelul ‘1’ pe pinii B stinge LED-urile



Intrare / Ieșire – Butoane si LED-uri

- **Scrierea programului**

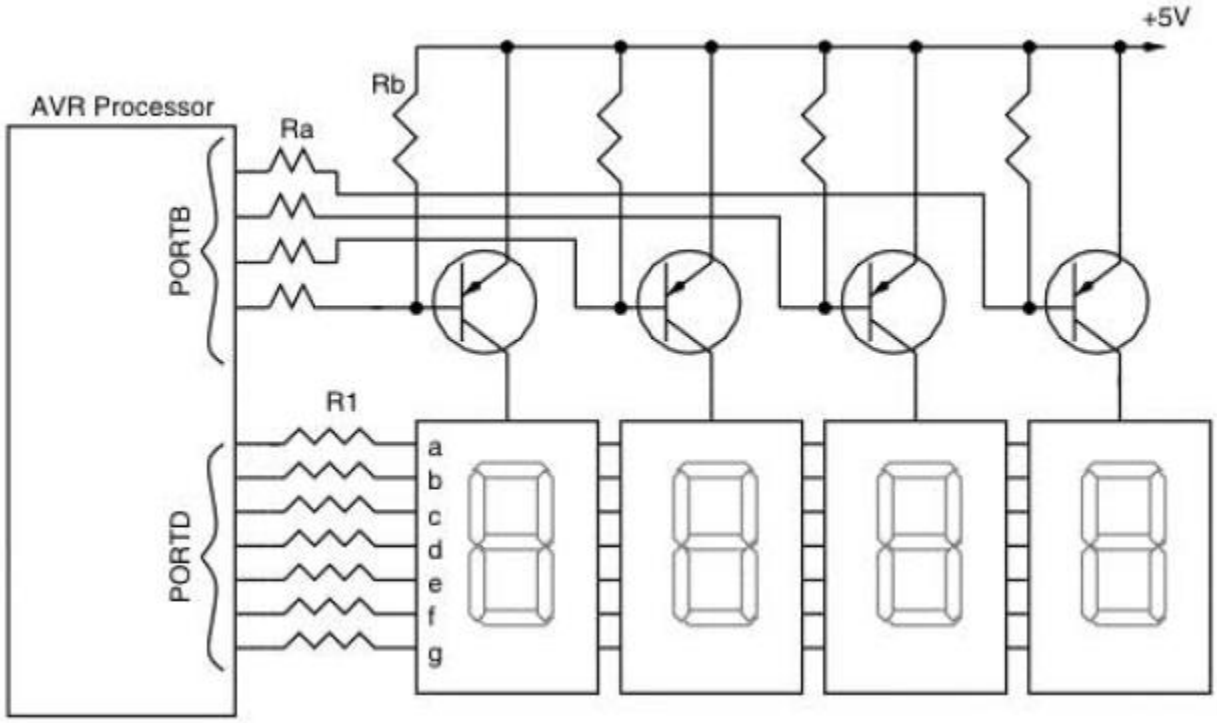
```
        ldi r16, 0x00
        out DDRD, r16     Direcția portului D - intrare
        ldi r16, 0xFF
        out PORTD, r16    '1' in PORTD – rezistente pull-up activate
        ldi r16, 0xFF
        out DDRB, r16     Direcția portului B - ieșire
loop:
        in r16, PIND      Citire port D
        out PORTB, r16    Scriere port B
        rjmp loop
```

- **Atenție!!!**

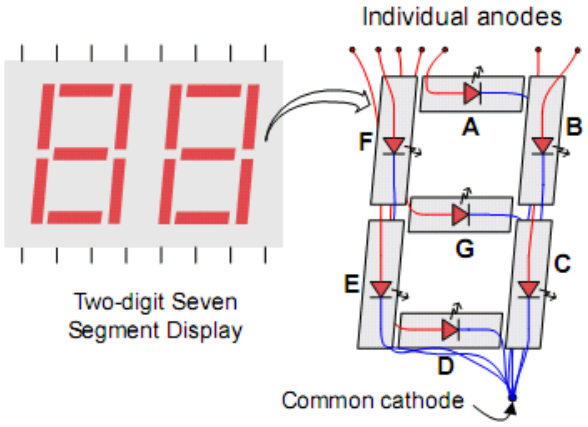
```
        in r16, PIND      Citește starea pinilor exteriori,
                          modificată de activitate exterioară
        in r16, PORTD     Citește starea registrului PORTD,
                          setat din interiorul micro-controllerului prin program
```

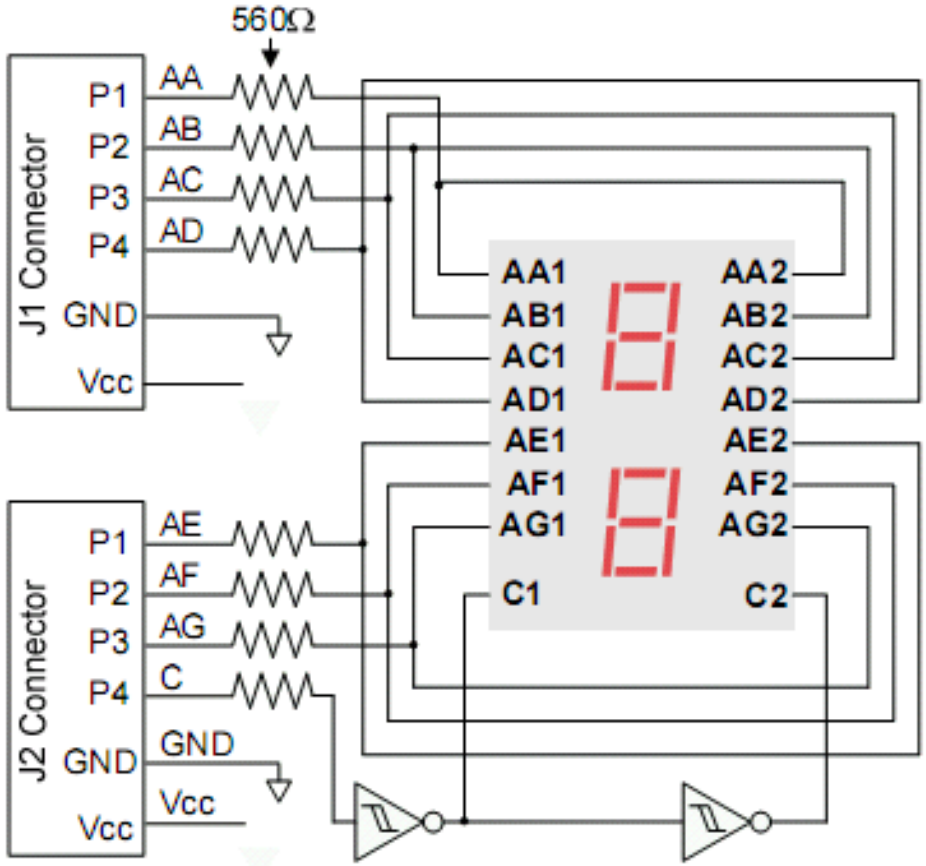
Intrare / Ieșire – Bloc 4x7 segmente

- Fiecare cifra este alcătuita din 7 led-uri, cu anod comun
- Nivelul ‘1’ pe anod activează cifra – una singură activă la un moment dat
- Valori selective de ‘0’ pe fiecare catod realizează modelul cifrei
- Baleiere pentru utilizarea întregului dispozitiv



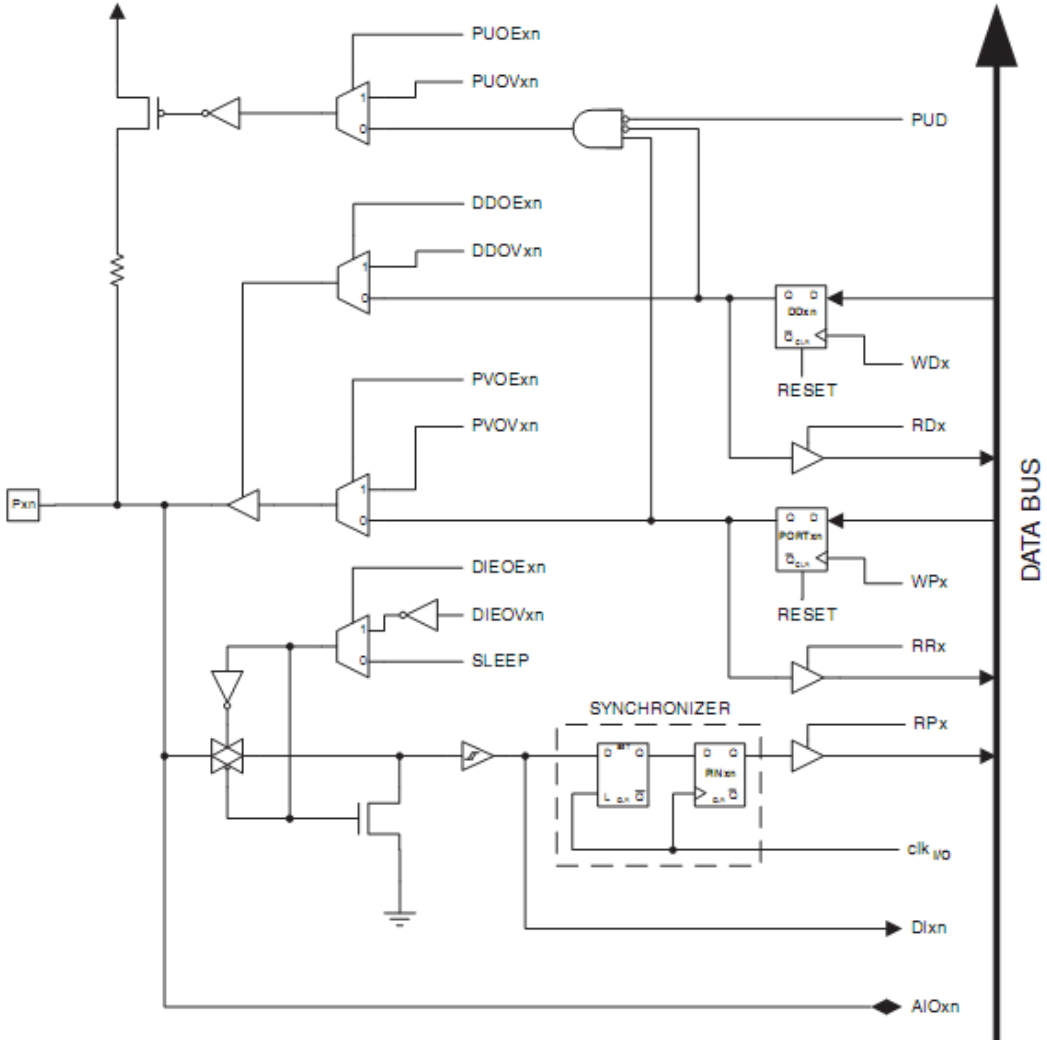
Intrare / Ieșire – Digilent PMOD SSD (2x7 segmente)





Intrare / Ieșire

- Funcții alternative ale pinilor I/O la ATmega64



PUOExn:	Pxn PULL-UP OVERRIDE ENABLE
PUOVxn:	Pxn PULL-UP OVERRIDE VALUE
DDOExn:	Pxn DATA DIRECTION OVERRIDE ENABLE
DDOVxn:	Pxn DATA DIRECTION OVERRIDE VALUE
PVOExn:	Pxn PORT VALUE OVERRIDE ENABLE
PVOVxn:	Pxn PORT VALUE OVERRIDE VALUE
DIEOExn:	Pxn DIGITAL INPUT-ENABLE OVERRIDE ENABLE
DIEOVxn:	Pxn DIGITAL INPUT-ENABLE OVERRIDE VALUE
SLEEP:	SLEEP CONTROL

PUD:	PULLUP DISABLE
WDx:	WRITE DDRx
RDx:	READ DDRx
RRx:	READ PORTx REGISTER
WPx:	WRITE PORTx
RPx:	READ PORTx PIN
$clk_{I/O}$:	I/O CLOCK
DIxn:	DIGITAL INPUT PIN n ON PORTx
AIOxn:	ANALOG INPUT/OUTPUT PIN n ON PORTx

Intrare / Ieșire

- Funcții alternative ale pinilor I/O la ATmega64
  - Exemplu – funcțiile alternative ale portului **B**

Port Pin	Alternate Functions
PB7	OC2/OC1C(1) (Output Compare and PWM Output for Timer/Counter2 or Output Compare and PWM Output C for Timer/Counter1)
PB6	OC1B (Output Compare and PWM Output B for Timer/Counter1)
PB5	OC1A (Output Compare and PWM Output A for Timer/Counter1)
PB4	OC0 (Output Compare and PWM Output for Timer/Counter0)
PB3	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB2	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB1	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB0	$\overline{SS}$ (SPI Slave Select input)

Generare de semnale prin intermediul timer-elor interne

Semnalele pentru comunicația SPI – controller intern

- Funcții alternative ale pinilor I/O la ATmega64
  - Exemplu – funcțiile alternative ale portului **D**

Port Pin	Alternate Function
PD7	T2 (Timer/Counter2 Clock Input)
PD6	T1 (Timer/Counter1 Clock Input)
PD5	XCK1(1) (USART1 External Clock Input/Output)
PD4	ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
PD3	INT3/TXD1(1) (External Interrupt3 Input or UART1 Transmit Pin)
PD2	INT2/RXD1(1) (External Interrupt2 Input or UART1 Receive Pin)
PD1	INT1/SDA(1) (External Interrupt1 Input or TWI Serial DAta)
PD0	INT0/SCL(1) (External Interrupt0 Input or TWI Serial CLock)

Întreruperi externe, semnale UART si TWI

Operații cu stiva

- Stack pointer (16 biti) – indică adresa vârfului stivei
- Accesabil prin cele două jumătăți de 8 biți, *SPL* si *SPH*, prin instrucțiuni de I/O
- Trebuie inițializat la începutul oricărui program care folosește operații explicite cu stiva, apeluri de procedura, sau întreruperi
- Trebuie sa fie o adresa din memoria SRAM, mai mare decât 0x60
- Deoarece prin introducerea de date pe stiva SP este decrementat, este bine ca el sa fie inițializat cu cea mai mare adresa disponibila din SRAM – *RAMEND*

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
0x3E (0x5E)	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	SPH
0x3D (0x5D)	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	SPL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

- Exemplu inițializare SP

```
ldi R16, high(RAMEND)
out SPH, R16
ldi R16, low(RAMEND)
out SPL, R16
```

Valoarea inițială este total nepotrivită pentru utilizare!

Operații cu stiva

- Instrucțiuni care operează cu stiva

push Rx

MEM(SP) = Rx

SP = SP-1

pop Rx

SP = SP+1

Rx = MEM(SP)

rcall adresa

MEM(SP:SP-1) = PC+1 — adresa instrucțiunii următoare, 16 biti

SP = SP-2

PC = adresa* — *de fapt se modifică PC cu un offset relativ la poziția curentă

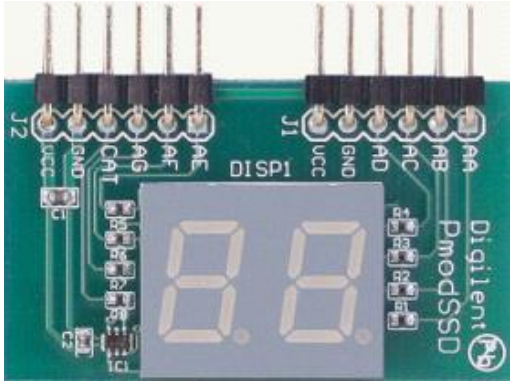
ret

SP = SP+2

PC = MEM (SP:SP-1)

Operații cu stiva – Afișare pe modul 7 segmente

```
; conversia pentru afisare pe 7-segmente
; input r16, packed BCD number
; output r17, r18 - sevseg number
convssg:
        push r20
        push r30
        push r31
        in r17, sreg
        push r17
        push r16

        ldi zl, low (sevsegtable*2)
        ldi zh, high (sevsegtable*2)
        ldi r20, 0

        andi r16, 0x0F
        add zl, r16
        adc zh, r20
        lpm r17, Z  ; r17, cifra unitatilor

        ldi zl, low (sevsegtable*2)
        ldi zh, high (sevsegtable*2)
        pop r16     ; reface r16, salveaza din nou
        push r16

        lsr r16
        lsr r16
        lsr r16
        lsr r16

        add zl, r16
        adc zh, r20
        lpm r18, Z  ; r18, cifra zecilor

        pop r16
        pop r20
        out sreg, r20
        pop r31
        pop r30
        pop r20

ret
```




```
sevsegtable: ; tabela pentru activarea led-urilor pentru fiecare cifră
.db     0b00111111, 0b00000110, 0b01011011, 0b01001111, 0b01100110, 0b01101101, 0b01111101,
0b00000111, 0b01111111, 0b01101111
```

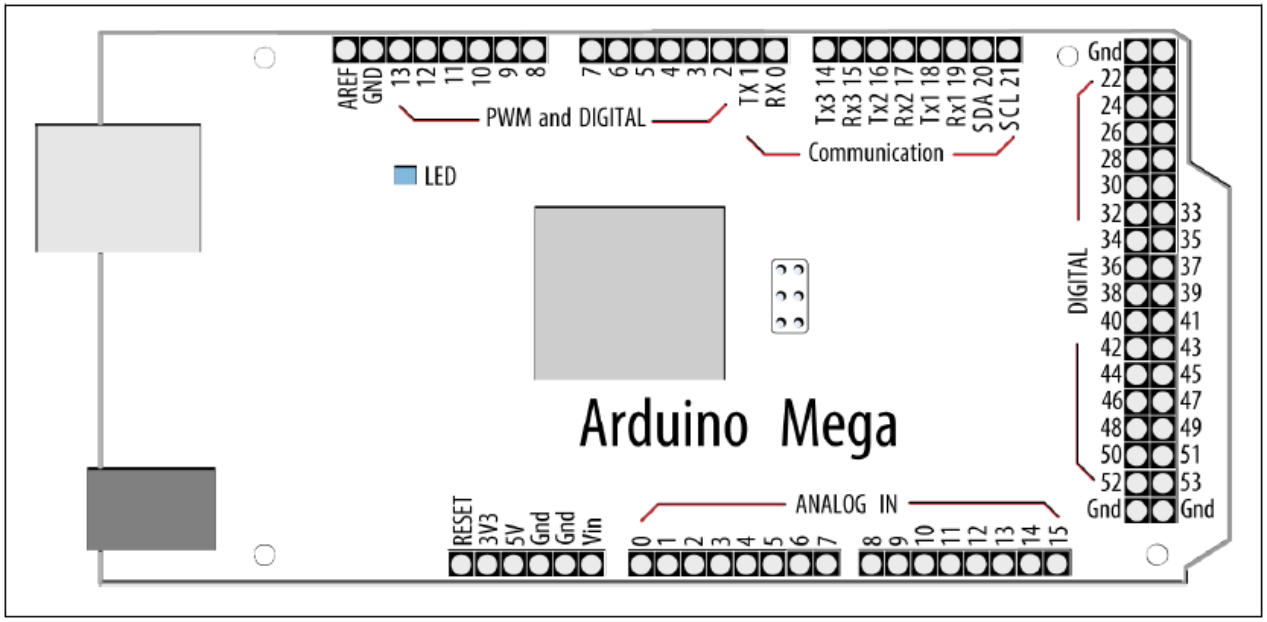
Operații cu stiva – Afișare pe modul 7 segmente

Apelul funcției

```
main:
        ldi r16, 0x35       ; numarul de afisat

        rcall convssg       ; conversie, rezultatul in r17 și r18

        out PORTA, r17      ; SSG este atașat la portul A

        ; cod de asteptare

        ori r18, 0x80       ; aceasta operatie pune r18(7) pe '1',
                            ; pentru a activa cifra zecilor
        out PORTA, r18

        ; cod de asteptare

        rjmp main
```

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- Pini de intrare/ieșire digitali, conectați la porturile microcontrollerului
- Mediul de dezvoltare se ocupa de problema corespondentei
- Logica de programare este orientată pe numarul pin-ului
- O parte din pini au functii speciale (comunicație serială UART sau I2C, generator de undă PWM, sau semnale analogice)
- Pinii care au funcția RX și TX trebuie evitați – rezervați pentru comunicarea seriala prin USB, care include programarea placii
- De obicei există un LED pe placă, conectat la pin-ul 13



Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

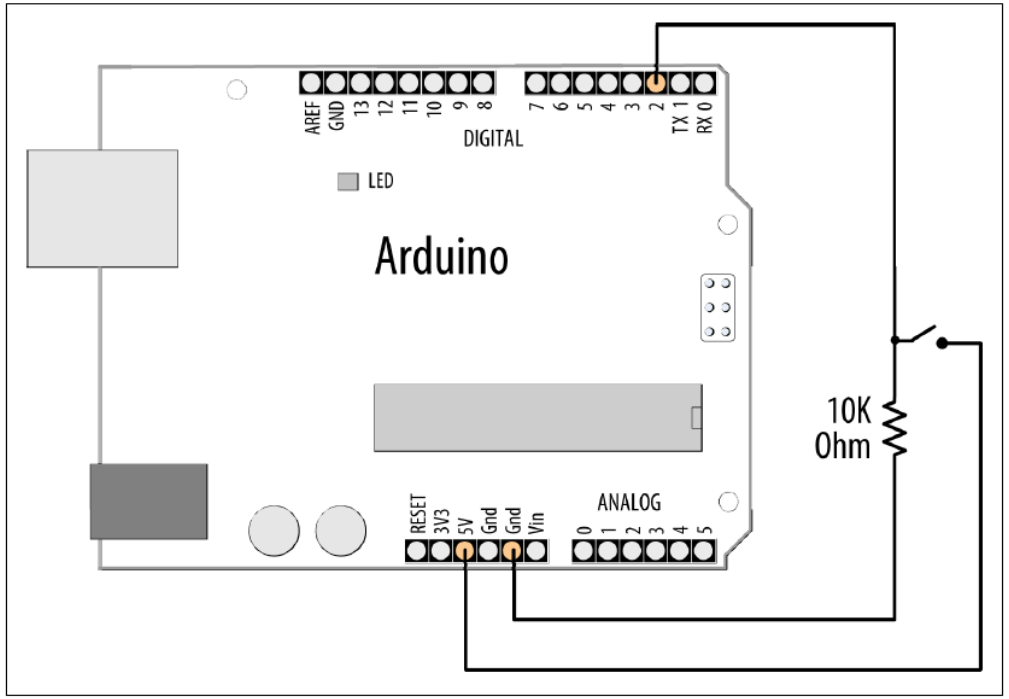
- Corespondență pinilor cu porturile microcontrollerului ATMega2560
- http://arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560
- Selecție:

43	PD0 (SCL/INT0)	Digital pin 21 (SCL)
44	PD1 (SDA/INT1)	Digital pin 20 (SDA)
45	PD2 (RXD1/INT2)	Digital pin 19 (RX1)
46	PD3 (TXD1/INT3)	Digital pin 18 (TX1)
47	PD4 (ICP1)	
48	PD5 (XCK1)	
49	PD6 (T1)	
50	PD7 (T0)	Digital pin 38

71	PA7 (AD7)	Digital pin 29
72	PA6 (AD6)	Digital pin 28
73	PA5 (AD5)	Digital pin 27
74	PA4 (AD4)	Digital pin 26
75	PA3 (AD3)	Digital pin 25
76	PA2 (AD2)	Digital pin 24
77	PA1 (AD1)	Digital pin 23
78	PA0 (AD0)	Digital pin 22

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- Sursa elementară de semnal: un buton conectat la un pin de intrare digital
- Se folosește o rezistență “pull down”, pentru ca atunci când butonul nu este apăsat, semnalul de intrare să fie nivel logic ‘0’
- Pentru ieșire, se folosește led-ul de pe placă



Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- Exemplu:

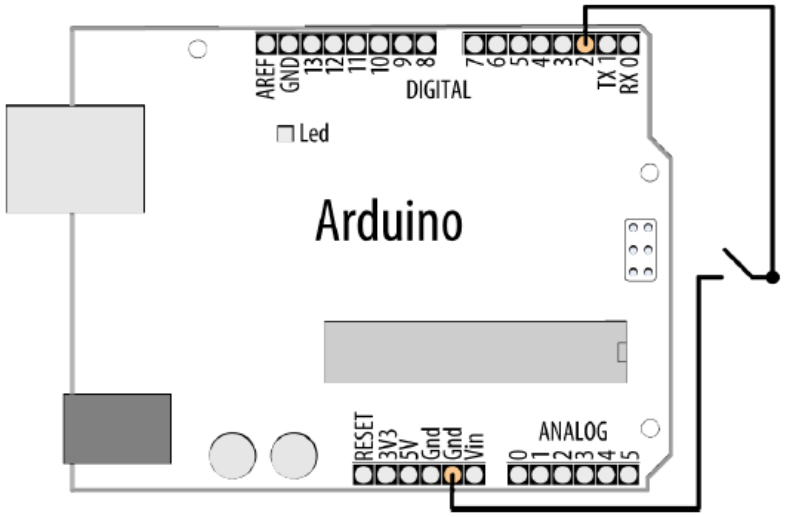
```
const int ledPin = 13;
const int inputPin = 2;

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(inputPin, INPUT);
}

void loop(){
  int val = digitalRead(inputPin);
  if (val == HIGH)
  {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}
```

```
// Constante pentru numarul pinilor implicati
// se pot folosi direct numerele, dar solutia aceasta e mai flexibila

// configurarea directiei pinilor
// se declara pin-ul legat la LED ca iesire
// si cel legat la buton ca intrare

// citire stare buton
// daca este apasat, se scrie '1' pe pinul led-ului

// altfel se scrie '0'

// Evident, se poate si transfera direct starea butonului catre LED:
void loop()
{
    digitalWrite(ledPin, digitalRead(inputPin));

}
```

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

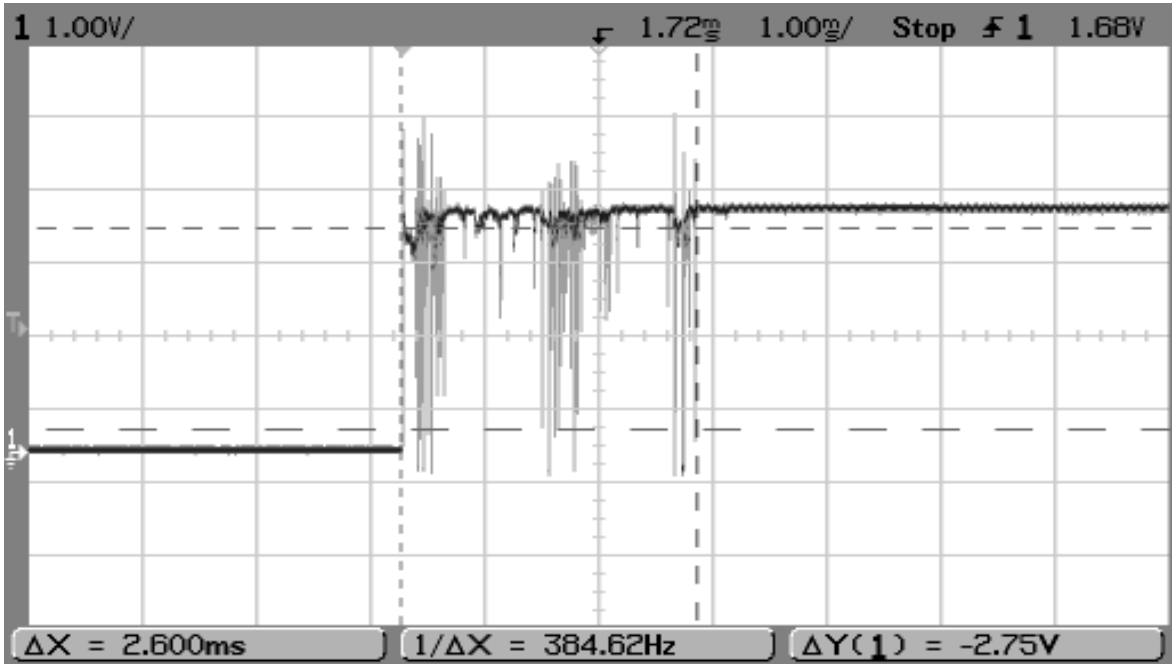
- Folosirea unui switch fară rezistențe externe
- Se folosesc rezistențele ‘Pull Up’ atașate fiecărui pin

```
const int ledPin = 13;                  // Aceleasi constante, aceiasi pini
const int inputPin = 2;

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);              // configurarea directiei pinilor
  pinMode(inputPin, INPUT);             // se declara pin-ul legat la LED ca iesire
  digitalWrite(inputPin,HIGH);  //      // activare rezistente pull up prin scriera unei valori ‘HIGH’
}                                       // pe pin-ul de intrare!
void loop(){
  int val = digitalRead(inputPin);      // acelasi cod ca inainte
  if (val == HIGH)
  {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}
```



Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **Citirea unor date de intrare instabile**
  - Un contact mecanic poate oscila intre pozitia “închis” și “deschis” de mai multe ori pana la stabilizare.
  - Un microcontroller poate fi suficient de rapid pentru a sesiza unele dintre aceste oscilații, percepându-le ca apăsari multiple pe buton.
  - Unele dispozitive, precum Pmod BTN, au circuite speciale pentru eliminarea acestor oscilații.
  - Dacă aceste circuite nu există, problema trebuie rezolvată prin software.



Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **Citirea unor date de intrare instabile**
  - Principiul filtrării oscilațiilor prin software: se verifică starea intrării de mai multe ori, până când aceasta nu se mai modifică.
  - Efectul: ignorarea perioadei de instabilitate, validând intrarea doar atunci când aceasta e stabilă.

```
const int inputPin = 2;
const int ledPin = 13;
const int debounceDelay = 10;    // Intervalul de timp (ms) in care semnalul trebuie sa fie stabil

boolean debounce(int pin)    // Functia returneaza starea intrarii, dupa stabilizare
{
  boolean state;             // Stare curenta, stare anterioara
  boolean previousState;

  previousState = digitalRead(pin);    // Prima stare
  for(int counter=0; counter < debounceDelay; counter++)    // Se parcurge intervalul de timp
  {
      delay(1);                        // Se asteapta 1 ms
      state = digitalRead(pin);        // Citire stare prezenta
      if( state != previousState)      // Daca starile difera, o luam de la inceput
      {
         counter = 0;                  // Numaratorul primeste din nou valoarea zero
         previousState = state;        // Starea curenta devine starea initiala pentru noul ciclu
      }
  }
  //  // Daca s-a ajuns aici, inseamna ca semnalul a fost stabil tot intervalul de timp
  return state;    // Se returneaza starea curenta, stabila
}
```

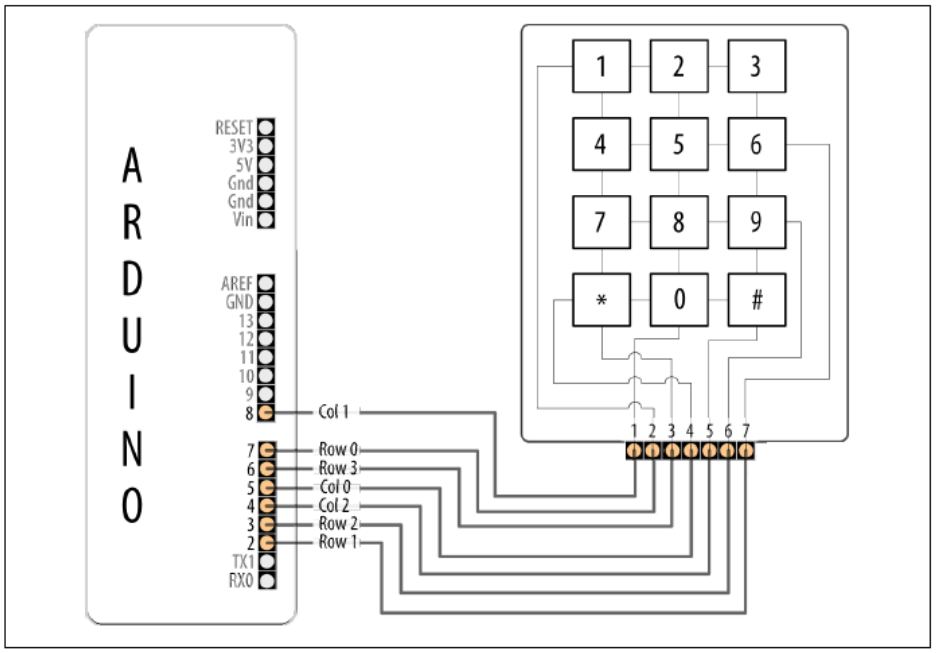
Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **Citirea unor date de intrare instabile**

```
void setup()
{
  pinMode(inputPin, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop()
{
  if (debounce(inputPin))          // Se foloseste functia debounce() in loc de digitalRead()
  {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }
}
```

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **I/O pe mai mulți pini. Utilizarea unei tastaturi**
  - Apăsarea unei taste face contact intre coloană si rând
  - Starea rândurilor este implicit ‘1’, prin folosirea unor rezistente “pull-up”
  - Dacă coloana pe care se află o tastă este ‘0’, si tasta este apasată, randul tastei devine ‘0’. Daca coloana pe care se afla o tasta este ‘1’, nu se intamplă nimic la apăsarea tastei.
  - Principiu: activarea pe rând a coloanelor (punerea lor pe rând la ‘0’), și citirea stării rândurilor
  - Coloanele trebuie legate la pini configurați ca ieșire, rândurile la pini configurați ca intrare



Arduino pin	Keypad connector	Keypad row/column
2	7	Row 1
3	6	Row 2
4	5	Column 2
5	4	Column 0
6	3	Row 3
7	2	Row 0
8	1	Column 1

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **I/O pe mai mulți pini. Utilizarea unei tastaturi**

```
const int numRows = 4;       // number of rows in the keypad
const int numCols = 3;       // number of columns
const int debounceTime = 20; // number of milliseconds for switch to be stable

// Se definesc pinii atasati randurilor si coloanelor, aranjati in ordinea logica
const int rowPins[numRows] = { 7, 2, 3, 6 }; // Rows 0 through 3
const int colPins[numCols] = { 5, 8, 4 };    // Columns 0 through 2

// LUT pentru identificarea tastei de la intersectia unui rand cu o coloana
const char keymap[numRows][numCols] = {
  { '1', '2', '3'  } ,
  { '4', '5', '6'  } ,
  { '7', '8', '9'  } ,
  { '*', '0', '#'  }
};
    void setup()   // Initializarea sistemului
    {
      Serial.begin(9600);  // Initializarea interfetei seriale via USB, folosita pentru comunicarea cu calculatorul
      for (int row = 0; row < numRows; row++)
      {
        pinMode(rowPins[row],INPUT);          // Pinii randurilor sunt intrare
        digitalWrite(rowPins[row],HIGH);      // Se activeaza rezistentele pull-up
      }
      for (int column = 0; column < numCols; column++)
      {
        pinMode(colPins[column],OUTPUT);      // Pinii coloanelor sunt iesire

        digitalWrite(colPins[column],HIGH);   // Initial toate sunt '1', inactive
      }
    }
```

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **I/O pe mai mulți pini. Utilizarea unei tastaturi**

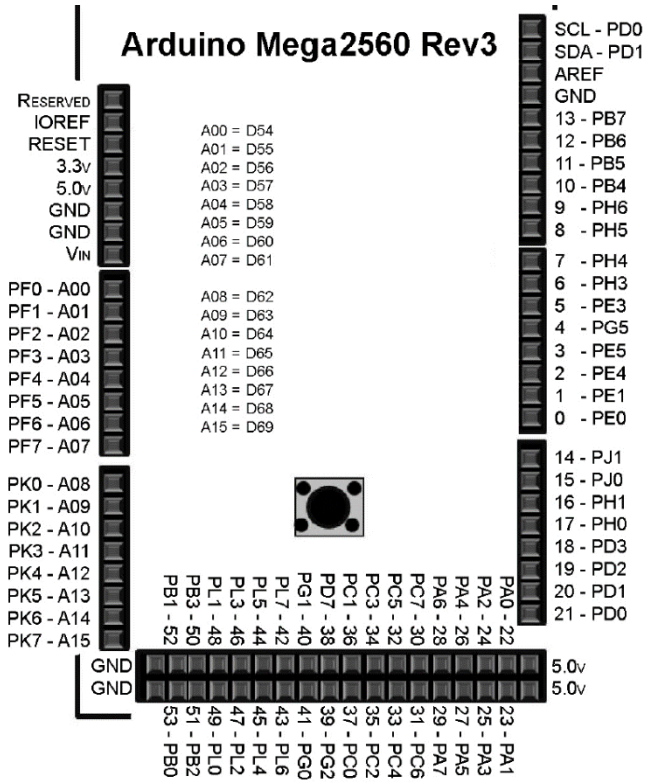
```
void loop()
{
  char key = getKey();      // Se apeleaza functia de citire a unei taste (mai jos)
  if( key != 0) {           // Daca functia returneaza '0', nicio tasta nu este apasata
                            // daca rezultatul e diferit de zero, este apasata o tasta, si functia returneaza codul acesteia
    Serial.print("Got key ")  // Folosirea interfetei seriale pentru a afisa in consola mesajul tasta apasata
    Serial.println(key);      // si codul acestei taste
  }
}

 // functia principala: returneaza codul tastei, sau 0 daca nicio tasta nu e apasata.
char getKey()
{
  char key = 0;                                   // codul implicit zero, nicio tasta apasata

  for(int column = 0; column < numCols; column++)  // baleierea coloanelor
  {
    digitalWrite(colPins[column],LOW);            // se activeaza coloana curenta
    for(int row = 0; row < numRows; row++)        // se verifica randurile unul cate unul

    {
      if(digitalRead(rowPins[row]) == LOW)        // daca randul e '0', avem tasta apasata pe acel rand
      {
        delay(debounceTime);                      // intarziere pentru filtrare intrare
        while(digitalRead(rowPins[row]) == LOW)
            ;                                     // asteptare eliberare tasta

        key = keymap[row][column];                // se cunoaste coloana si randul tastei apasate
                                                  // se foloseste LUT pentru determinarea codului ASCII al tastei
      }
    }
    digitalWrite(colPins[column],HIGH);           // dezactivare coloana
  }
  return key;  // returneaza codul tastei, sau 0
}
```

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **I/O folosind porturile microcontrollerului**

- **Dezavantaje**
  - Abordare dependentă de hardware, nu este portabilă intre plăci diferite
  - Trebuie cunoscută relația dintre pin și portul/bitul corespunzator
  - Unele porturi sunt rezervate, si modificarea stării lor nu este recomandabilă

- **Avantaje**
  - Viteza ridicată. Scrierea și citirea unui port sunt de aproximativ 10 ori mai rapide decat digitalWrite() si digitalRead()
  - Posibilitatea de a citi mai mulți pini simultan, sau de a scrie mai mulți pini simultan (digitalRead și digitalWrite lucreaza doar la nivel de pin)



Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **Exemplu:** se conectează 8 led-uri la pinii 22…29 ai Arduino Mega (la PortA). Se dorește aprinderea alternativă a led-urilor pare și impare, cu o intarziere de 1 secundă între comutații
- **Cod sursa, abordarea clasică Arduino**:

```
const  int PortAPins[8]={22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29}

void setup()
{
    for (int b=0; b<8; b++)
        pinMode(PortAPins[b], OUTPUT);          // toti pinii sunt configurati ca iesire
}
void loop()
{
    for (int b=0; b<8; b+=2)                    // b=0, 2, 4, 6
    {
        digitalWrite(PortAPins[b], HIGH);       // scriem ‘1’ pe pinii pari
        digitalWrite(PortAPins[b+1], LOW);      // scriem ‘0’ pe pinii impari
    }
    delay(1000);                                // asteptare de 1 secunda (1000 ms)
    for (int b=0; b<8; b+=2)
    {
        digitalWrite(PortAPins[b], LOW);        // scriem ‘0’ pe pinii pari
        digitalWrite(PortAPins[b+1], HIGH);     // scriem ‘1’ pe pinii pari
    }
    delay(1000);                                // asteptare de 1 secunda (1000 ms)
}
```

Intrare / Ieșire la sistemele Arduino

- **Exemplu:** se conectează 8 led-uri la pinii 22…29 ai Arduino Mega (la PortA). Se dorește aprinderea alternativă a led-urilor pare și impare, cu o intarziere de 1 secundă între comutații
- **Cod sursa, abordarea folosind portul A al ATMega2560** :

```
void setup()
{
    DDRA = 0B11111111;                  // toti pinii atasati portului A sunt configurati ca iesire
}

void loop()
{
     PORTA = 0B01010101;                // 1 pe pinii pari, 0 pe pinii impari
     delay(1000);                       // asteptare de 1 secunda (1000 ms)
     PORTA = 0B10101010;                // 0 pe pinii pari, 1 pe pinii impari
     delay(1000);                       // asteptare de 1 secunda (1000 ms)
}
```

Referințe

1. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V datasheet
2. Atmel Atmega64 datasheet