Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Departamentul Calculatoare

Proiectarea cu Micro-Procesoare

Lector: Mihai Negru

An 3 – Calculatoare și Tehnologia Informației

Seria B

Curs 8: Controlul Motoarelor. Senzori percepție

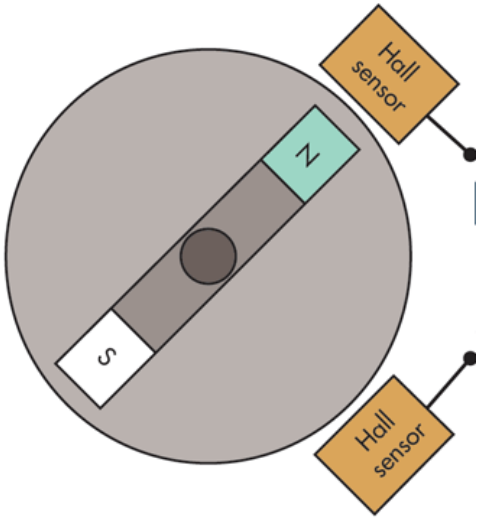
http://users.utcluj.ro/~negrum/

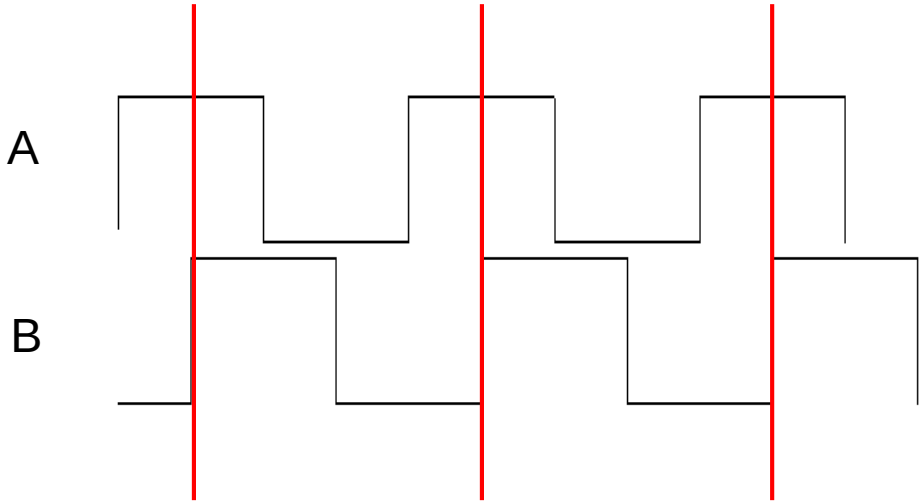
Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

- **Motor/cutie de viteze Digilent MT-Motor**
  - Motor clasic DC, viteza e dată de tensiune, direcția de polaritate
  - Rotaţie continuă, cât timp motorul este sub tensiune
  - Cutie de viteze (angrenaj de roți dințate) cu raport 1:19, 1:53, 1:48, etc.
    - Majorare a forţei (cuplu) în dauna vitezei de rotaţie

Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

- **Măsurarea turaţiei motorului**
  - Senzor Hall (magnetic) în cuadratură

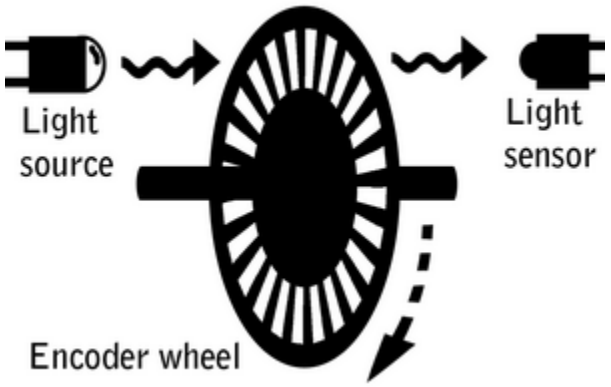




- Orientare: se monitorizează fronturile crescătoare sau descrescătoare ale unui semnal
- Starea celuilalt semnal în momentul tranziţiei dă orientarea

Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

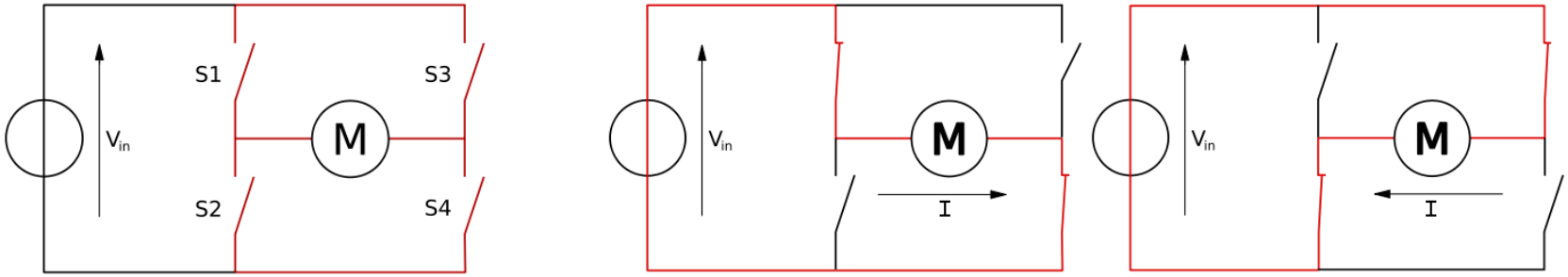
- **Măsurarea turaţiei motorului**
  - Roată cu perforaţii + senzor de lumină IR

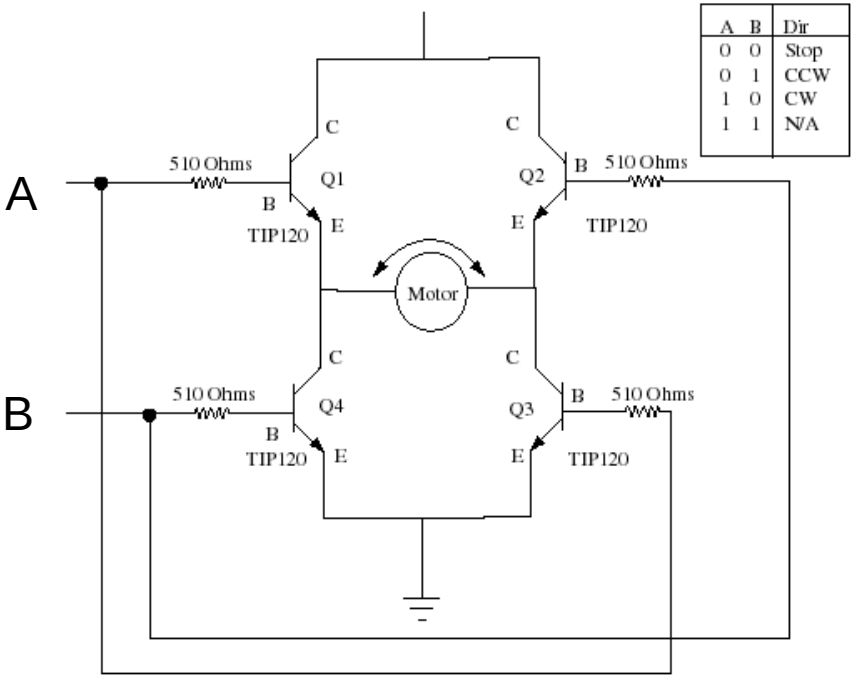


- Trecerea sau blocarea razei IR produce un tren de pulsuri pentru măsurarea turaţiei.
- Cum putem măsura şi orientarea ?

Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

- **Puntea H**
  - Controlul pornirii-opririi și al direcției unui motor

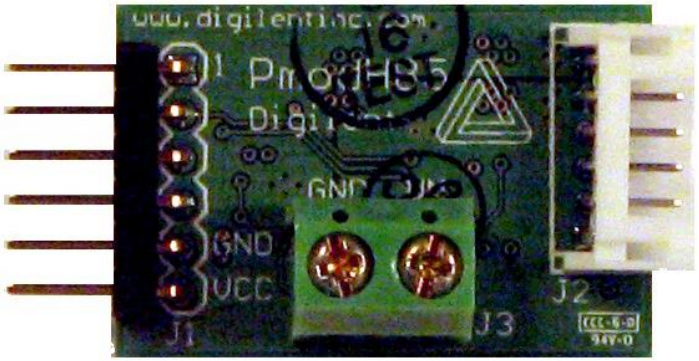


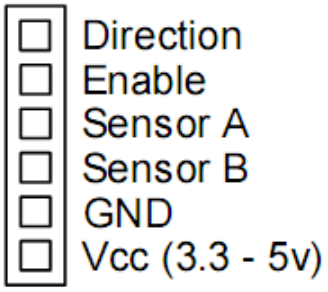


A	B	Dir
0	0	Stop
0	1	CCW
1	0	CW
1	1	N/A

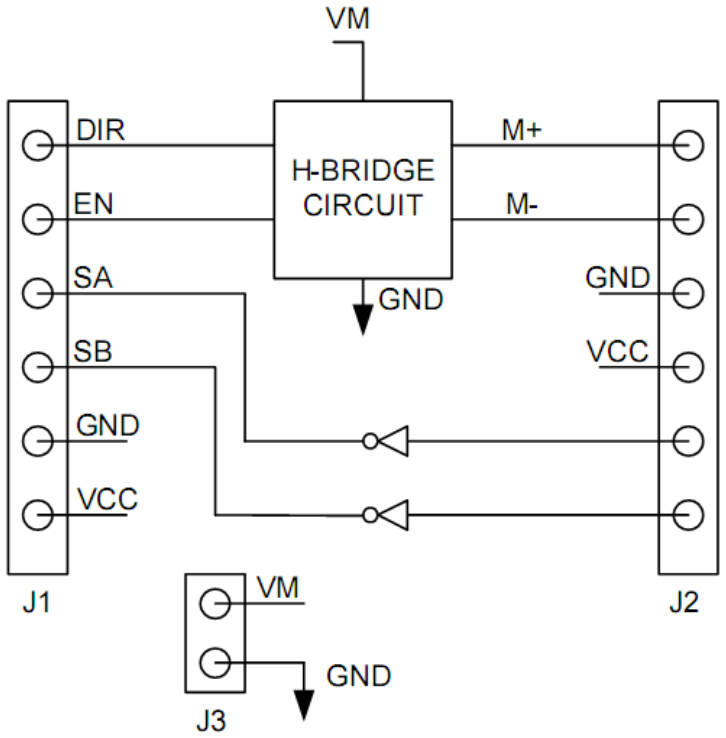
Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

- **Puntea H**
  - Digilent PMOD HB5
  - DIR – control directie
  - EN – dacă e ‘1’, motorul funcționează – se poate atașa PWM pentru viteza variabilă
  - **A = EN and DIR, B = EN and (not DIR) – Previne scurtcircuitul.**
  - SA, SB – semnale de la motor, pentru a monitoriza starea acestuia



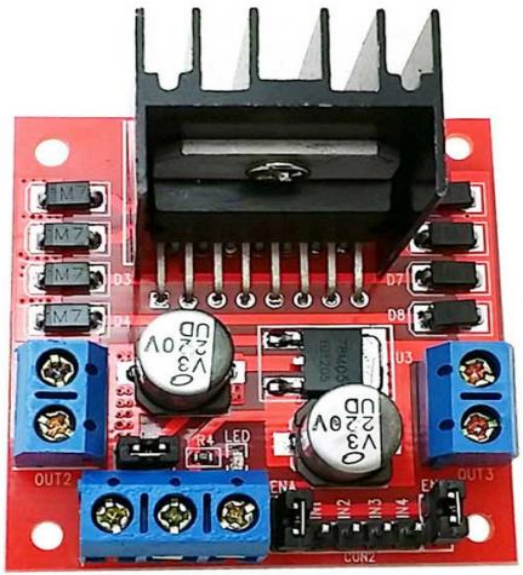


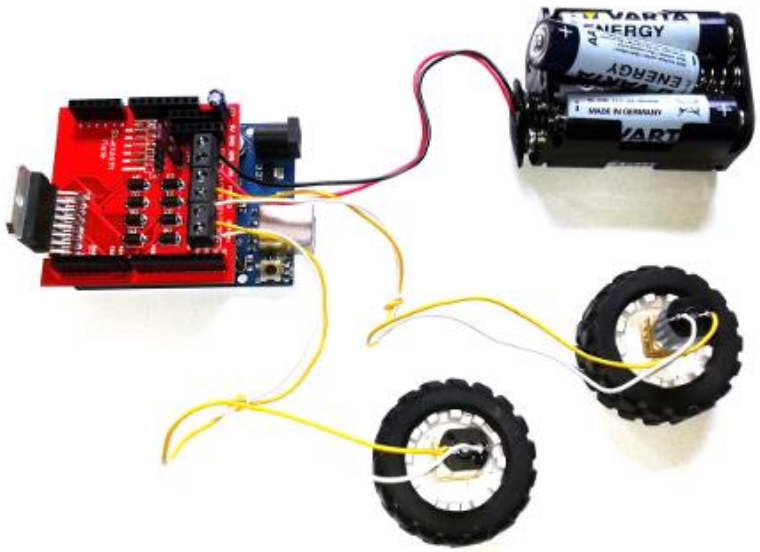
HB5 6-Pin Header, J1



Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

- **Driver-ul de motoare L298 (Shield) pentru Arduino**
  - http://www.robofun.ro/shields/shield-motoare-l298-v2
  - Driver-ul se conectează la platforma Arduino folosind 4 pini digitali (3, 5, 6 și 9) conectaţi la pinii In1, In2, In3 şi In4.
  - Tensiune de alimentare motoare: 5… 35 V
  - Tensiune circuit logic: 5 V (poate genera această tensiune pentru alimentare Arduino)
  - Poate controla motoare care necesită cel mult 2 Amperi (2000 mA).
  - 2 Motoare DC, sau un motor pas cu pas (Stepper)





Controlul motoarelor de curent continuu (DC)

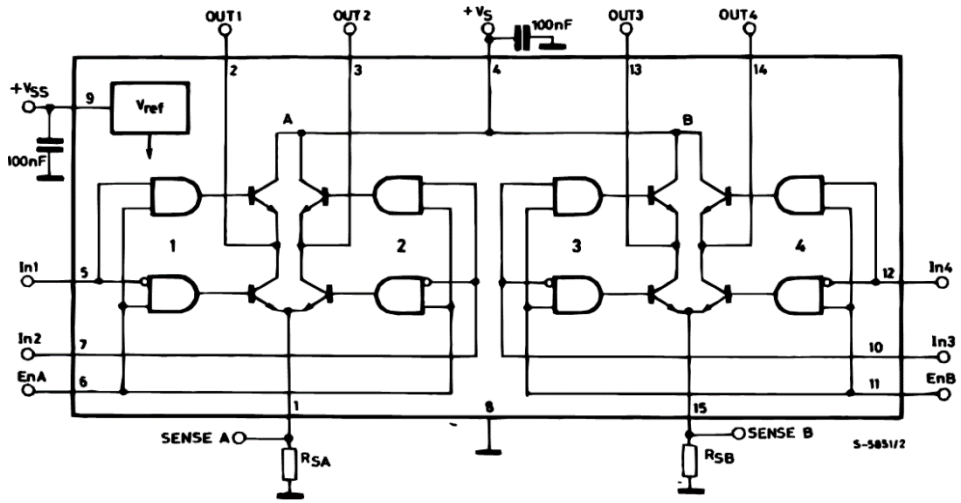
- **Exemplu: Rotație a două motoare, în ambele sensuri**

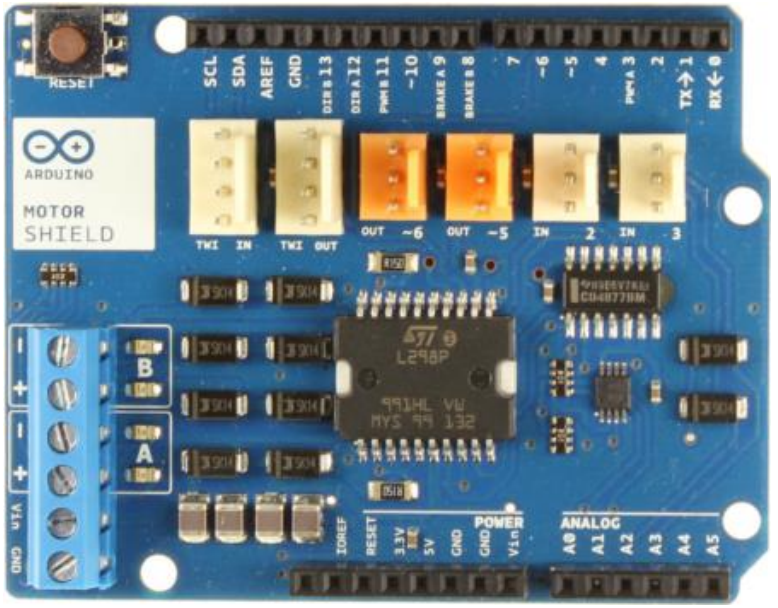
```
int MOTOR2_PIN1 = 3; // fiecare motor are 2 pini. Diferenta de polaritate dintre ei
int MOTOR2_PIN2 = 5; // cauzeaza motorul sa se deplaseze, intr-un sens sau in celalalt
int MOTOR1_PIN1 = 6;
int MOTOR1_PIN2 = 9;

void setup() {
  // pinii motor, configurati ca iesire
  pinMode(MOTOR1_PIN1, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR1_PIN2, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR2_PIN1, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR2_PIN2, OUTPUT);
}

void loop() {
    // 2 motoare, 2 directii, 4 combitatii de cate 1 secunda
    go(255,-255);
    delay(1000);
    go(-255,-255);
    delay(1000);
    go(-255,255);
    delay(1000);
    go(255,255);
    delay(1000);
}
```

```
// functie control, viteza pentru M1 si pentru M2
void go(int speedLeft, int speedRight) {

if (speedLeft > 0) { // viteza pozitiva, pe pin 1
    analogWrite(MOTOR1_PIN1, speedLeft);
    analogWrite(MOTOR1_PIN2, 0);
  }
  else
 {
    analogWrite(MOTOR1_PIN1, 0);
    analogWrite(MOTOR1_PIN2, -speedLeft); // viteza negativa,
                                          // val absoluta pe pin2
  }

 if (speedRight > 0) {
    analogWrite(MOTOR2_PIN1, speedRight);
    analogWrite(MOTOR2_PIN2, 0);
  }
else
{
    analogWrite(MOTOR2_PIN1, 0);
    analogWrite(MOTOR2_PIN2, -speedRight);
  }
}
```

Arduino Motor Shield

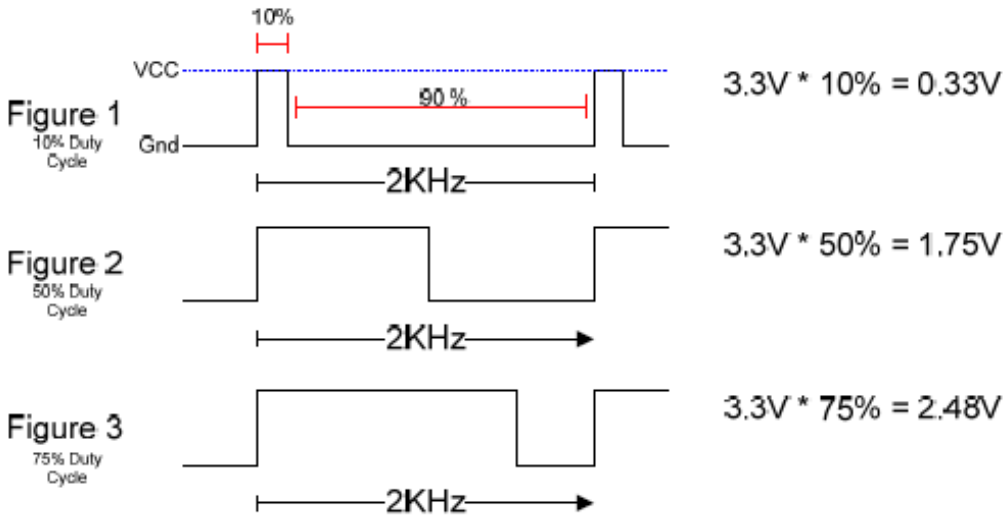
- https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoMotorShieldR3
- Bazat pe driver-ul L298 ⇒ pentru sarcini inductive: relee, bobine, motoare DC, motoare pas cu pas (max. 2A / canal) [6]
- Poate comanda 2 motoare DC (control viteză și directie pentru fiecare, independent), sau 1 motor pas cu pas
- Funcții: mers continuu / stop / frână; măsură curent absorbit.





Controlul vitezei motoarelor DC

- **Controlul vitezei folosind PWM**
- Într-un circuit analogic, viteza motorului este controlată de nivelul tensiunii. Într-un circuit digital, avem doar două soluţii:
  - Folosirea unui circuit de rezistenţă variabilă pentru a controla tensiunea aplicată motorului (soluţie complicată, care iroseşte energie sub formă de căldură)
  - Aplicarea intermitentă a tensiunii sub formă PWM.



- Când tensiunea este aplicată, motorul este acţionat de forţa electromagnetică.
- Când tensiunea e oprită, inerţia cauzează motorul să continue rotaţie pentru scurt timp.
- Dacă frecvenţa pulsurilor este suficient de mare, acest proces de pornire+mers din inerţie permite motorului o rotaţie uniformă, controlabilă prin logica digitală.

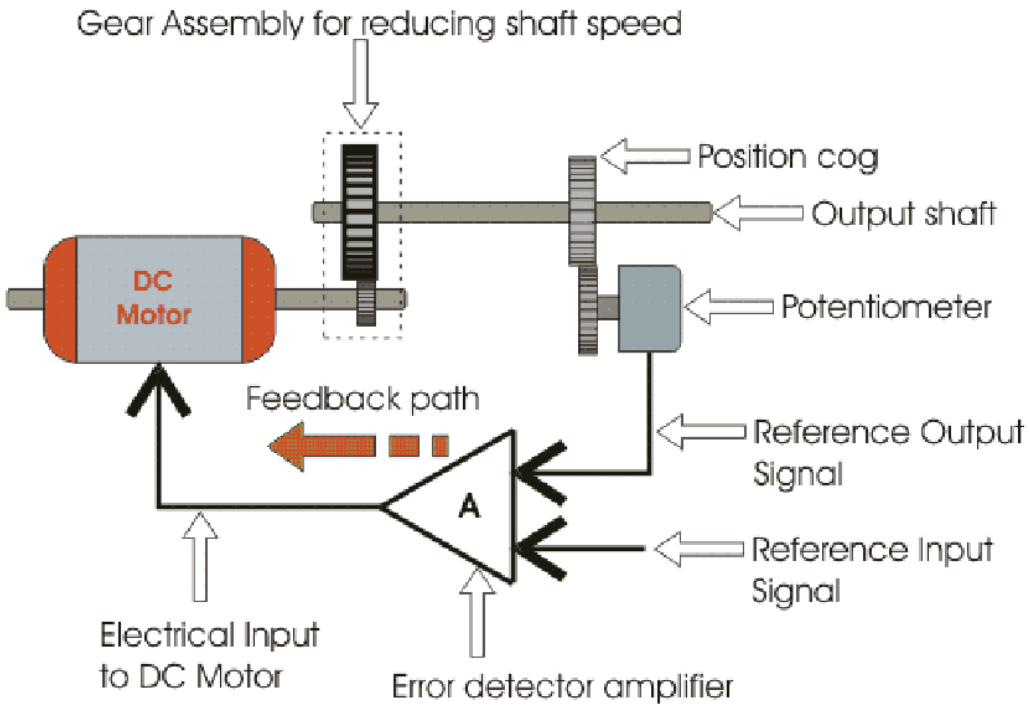
Controlul vitezei motoarelor DC

- **Efectele folosirii PWM**
- PWM are două efecte importante asupra motoarelor de curent continuu:
  - Rezistenţa inerţială la pornire este învinsă mai uşor, deoarece pulsurile scurte de tensiune maximă au un cuplu de forţă mai mare decât tensiunea echivalentă intermediară.
  - Se generează o cantitate mai mare de căldură în interiorul motorului.

- Dacă un motor controlat PWM este folosit pentru o perioadă mai mare de timp, sunt necesare sisteme de disipare a căldurii, pentru a evita distrugerea motorului. Din acest motiv PWM este recomandat în sisteme de cuplu mare şi utilizare intermitentă, precum acţionarea suprafeţelor de control la avioane, sau acţionarea braţelor robotice.
- Circuitele PWM pot crea interferenţă radio. Aceasta poate fi minimizată prin scurtarea căilor dintre motor şi controllerul PWM (folosirea unor cabluri scurte).
- Zgomotul electronic creat prin acţionarea intermitentă a motorului poate să interfereze cu celelalte componente din circuit, şi de aceea este recomandat să fie filtrat. Plasarea de condensatoare ceramice la terminalele motorului, şi între terminalele motorului şi stator poate fi o soluţie pentru a filtra aceste interferenţe.

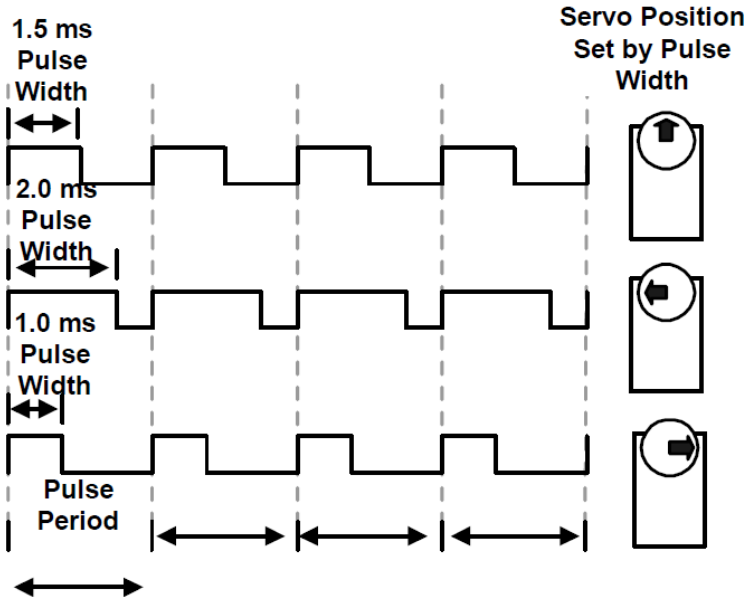
Controlul Motoarelor Servo

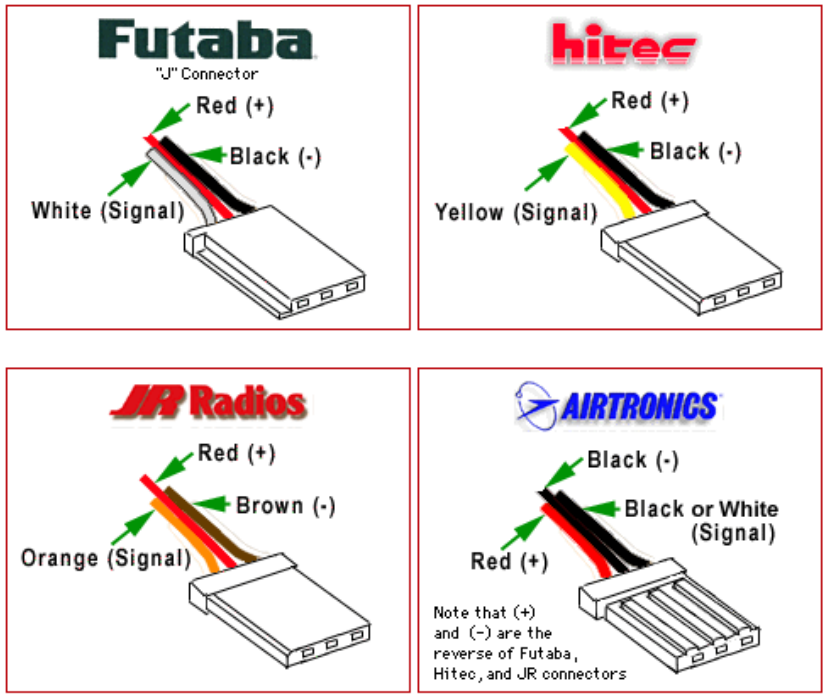
- **Motorul servo**
  - Foloseşte un mecanism de feedback (reacţie negativă) pentru a menţine o poziţie dată printr-un semnal de control (analog sau digital)
  - Conţine un motor DC, un angrenaj de roţi dinţate şi un circuit de control



Controlul Motoarelor Servo

- **Motorul servo (ex: GWS Servo Kit)**
  - Lățimea pulsului controlează amplitudinea rotației
  - 1.5 ms – poziția neutră
  - 1 ms – poziție maxim stânga (dreapta)
  - 2 ms – poziție maxim dreapta (stânga)
  - Codificare PWM, frecvența purtătoare între 30 Hz și 60 Hz





Controlul Motoarelor Servo – Arduino

- Biblioteca **Servo**:
  - Poate controla până la 12 motoare pe majoritatea plăcilor Arduino
  - 48 motoare pe Arduino Mega.
- Folosirea bibliotecii va dezactiva analogWrite() (PWM) pe pinii 9 și 10, indiferent dacă există sau nu motor servo conectat la acești pini (exceptând placa Arduino Mega).
- La Arduino Mega, se pot utiliza până la 12 motoare servo fără a afecta funcționarea PWM; folosirea mai multor motoare va dezactiva PWM pe pinii 11 și 12.
- **Conectarea Servo la Arduino** (3 fire): Vcc, Gnd, semnal.
  - Vcc → la pinul de 5V al placii.
  - Gnd (negru sau maro) → la GND de pe Arduino.
  - Pinul de semnal (galben, portocaliu sau alb) conectat la un pin digital.

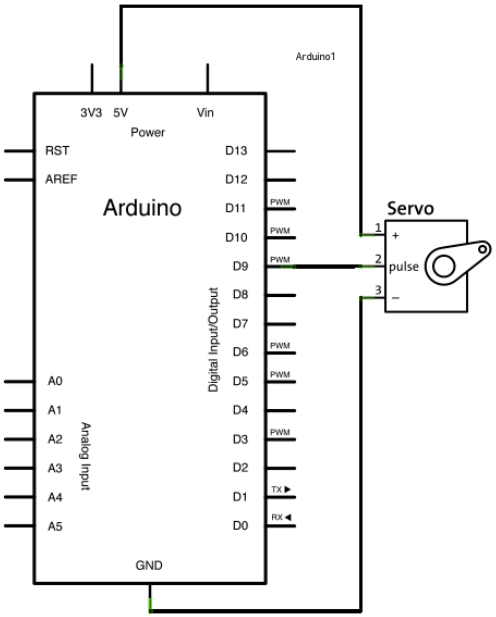
- **Notă**: motoarele necesită putere considerabilă! Pentru a acționa mai mult de 2 motoare servo, folosiți o sursă de alimentare externă, nu de la +5V de pe Arduino.

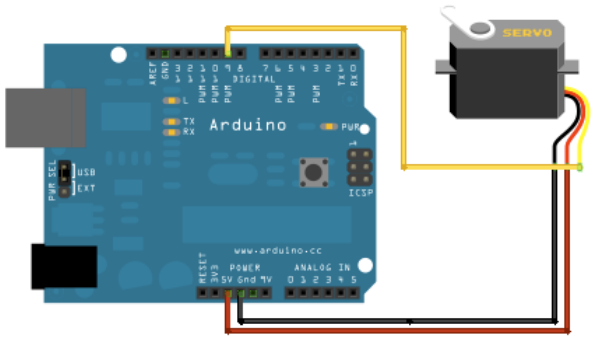
Controlul Motoarelor Servo – Arduino

- **Metode ale bibliotecii Servo:**
- ***servo*.attach(pin) / *servo*.attach(pin, min, max)** – atașează obiectul Servo la pin
  - servo: un obiect instanță a clasei Servo
  - pin: numărul pinului digital unde va fi atașat semnalul pentru motorul Servo
  - min (opțional): lățimea pulsului, în microsecunde, corespunzătoare unghiului minim (0 grade) al motorului servo (implicit 544)
  - max (optional): lațimea pulsului, în microsecunde, corespunzătoare unghiului maxim (180 grade) al motorului servo (implicit 2400)
- ***servo*.detach()** – detașează obiectul de tip Servo de la pin.
- **boolean val *servo*.attached()** – verifică dacă obiectul de tip Servo este atașat unui pin. Returnează adevarat sau fals.
- ***servo*.write (angle)** – scrie o valoare (0 ... 180) către servo, controlând mișcarea:
  - *Servo standard* $\Rightarrow$ seteaza unghiul axului [grade] cauzând motorul să se orienteze în direcția specificată.
  - *Servo cu rotație continuă* $\Rightarrow$ configurează viteza de rotație (0: viteza maximă într-o directie; 180: viteza maxima in directia opusa; $\approx$ 90: oprit)
- **int val *servo*.read()** – citește unghiul curent al servo, configurat la ultimul apel al write().

Controlul Motoarelor Servo – Arduino

- **Exemplu:** Orientează axul unui servo parcurgând înainte și înapoi 180 grade (http://arduino.cc/en/Tutorial/Sweep)



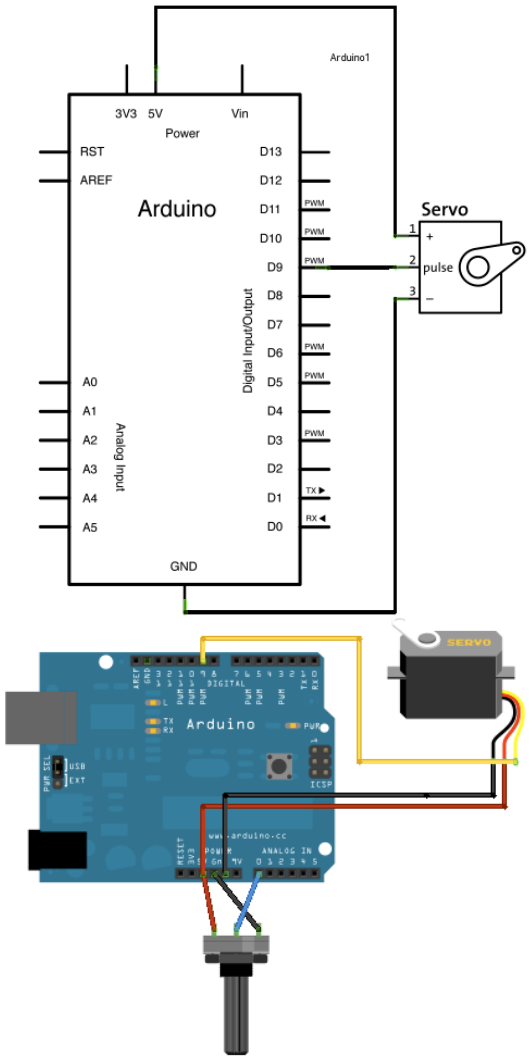



```
#include <Servo.h>

Servo myservo;          // obiect pentru controlul servo
int pos = 0;            // variabila ce tine pozitia curenta a axului

void setup()  {
  myservo.attach(9);    // ataseaza obiectul servo la pinul 9
}

 void loop()  {
   for(pos = 0; pos < 180; pos += 1)  // de la 0 la 180 grade
   {
      myservo.write(pos); // configureaza pozitia dorita
      delay(15);           // asteapta 15 ms pentru ca motorul sa se
                           // pozitioneze
   }
   for(pos = 180; pos>=1; pos-=1)     // baleiere inapoi
   {
       myservo.write(pos);
       delay(15);
    }
}
```

Controlul Motoarelor Servo – Arduino

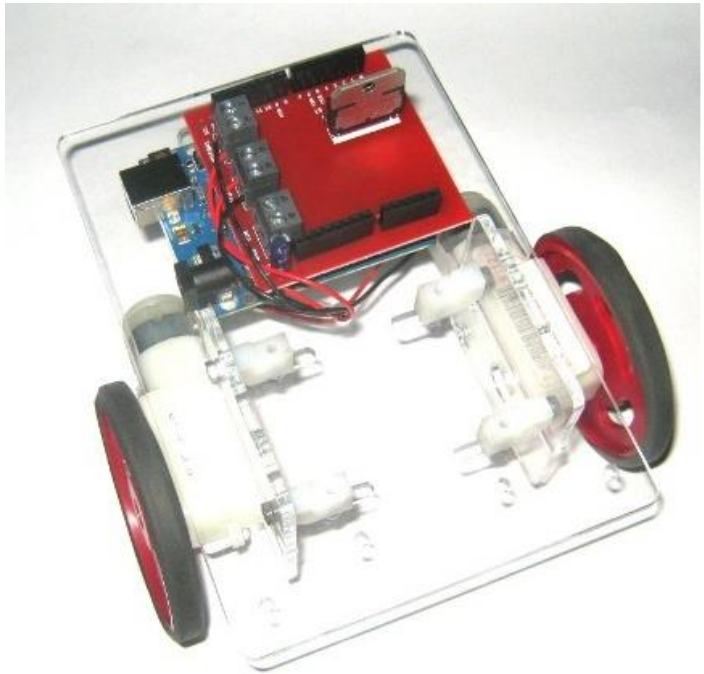
- **Exemplu:** Controlul poziției unui servo motor cu Arduino și un potentiometru (http://arduino.cc/en/Tutorial/Knob)

```
#include <Servo.h>

Servo myservo;  // obiect pentru controlul motorului servo

int potpin = 0;  // pin analogic pentru citirea potentiometrului
int val;         // variabila in care se va citi starea pinului analogic
int angle;       // unghiul servo

void setup()
{
  myservo.attach(9);  // ataseaza obiectul servo la pinul 9
}

void loop()
{
  val = analogRead(potpin); // citeste stare potentiometru
  angle = map(val, 0, 1023, 0, 179); // scalarea valorii citite (0…1023)
                                     // in domeniul 0… 179
  myservo.write(angle);              // scrie noua pozitie pentru servo
  delay(15);                         // asteapta pozitionarea motorului
}
```

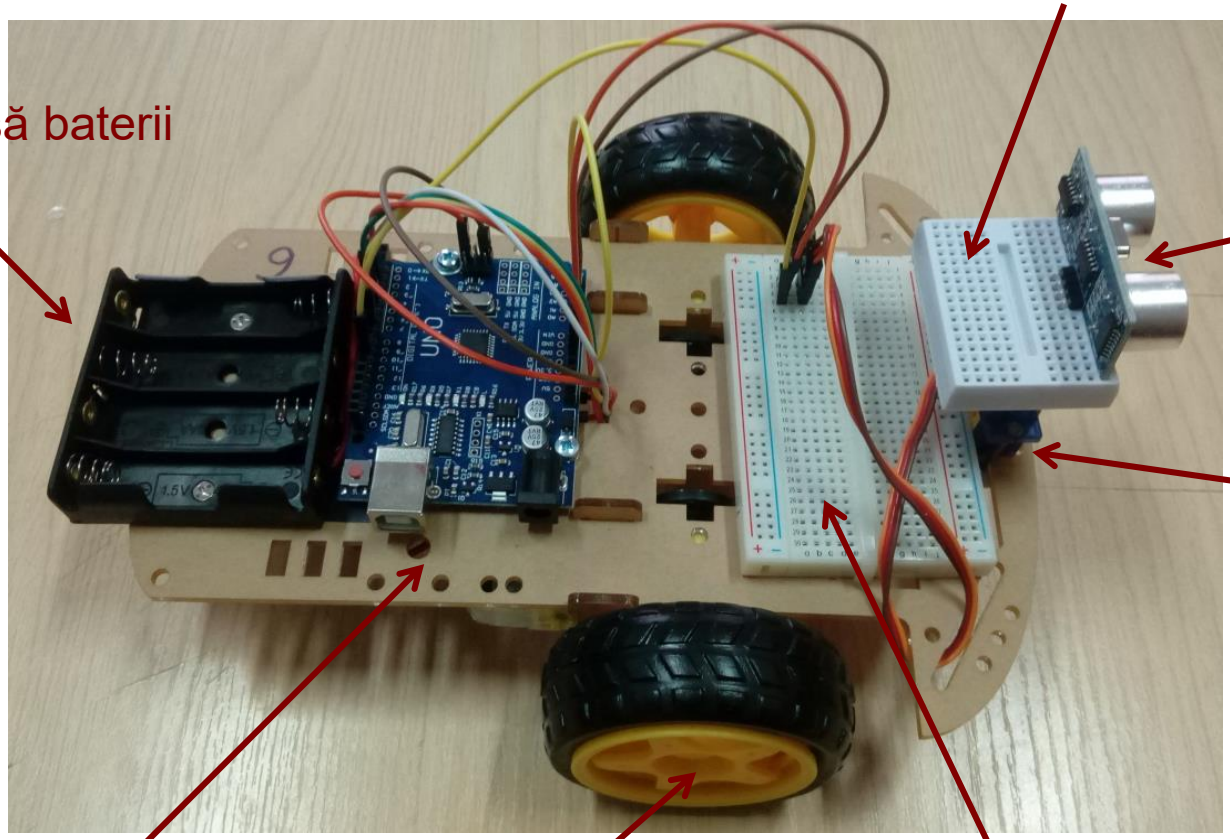


Platforme roboți cu motoare DC

- http://www.robofun.ro/kit-roboti/magician-robot-arduino-driver
- http://www.robofun.ro/kit-roboti/kit-robot-senile-arduino-driver-sharp



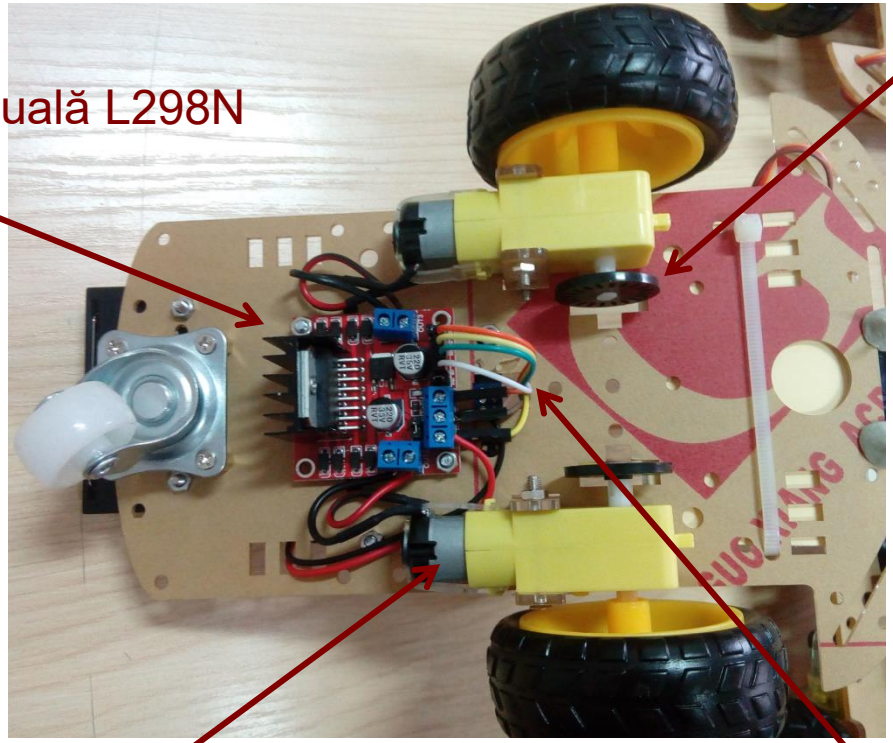
Robotul Experimental



Robotul Experimental

Roată perforată pentru turaţie
Fără senzor IR !

Punte H dublă L298N

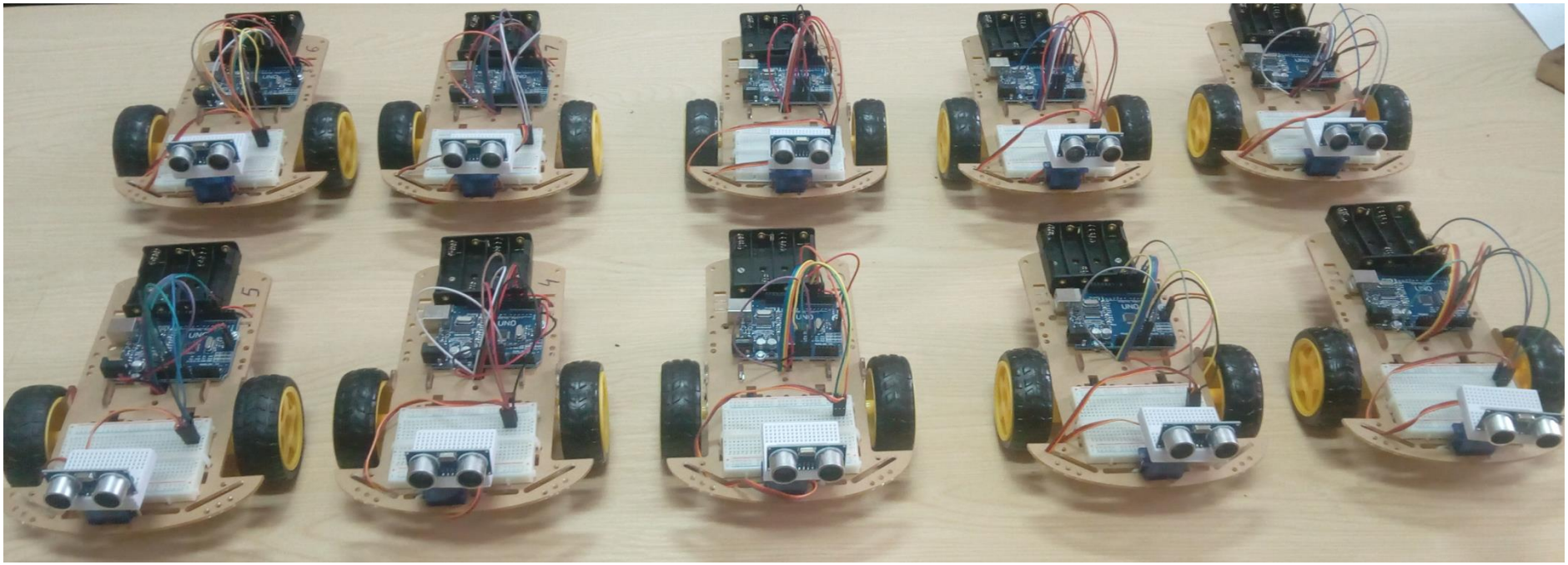


Motor DC

Roţi

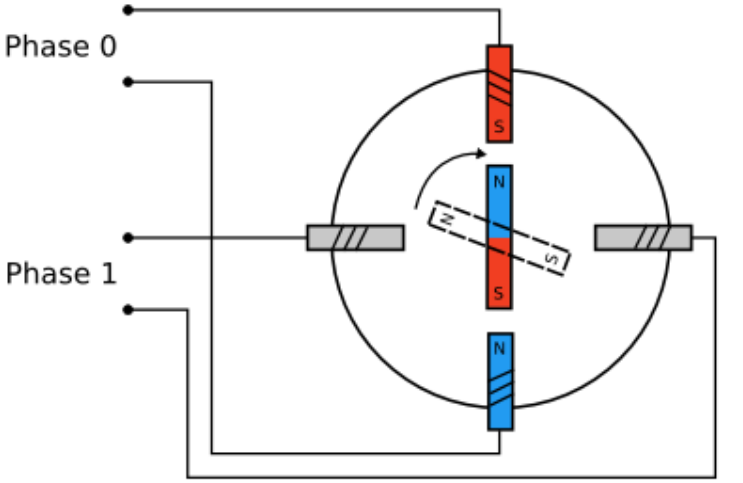
Fire control (In1, … In4)

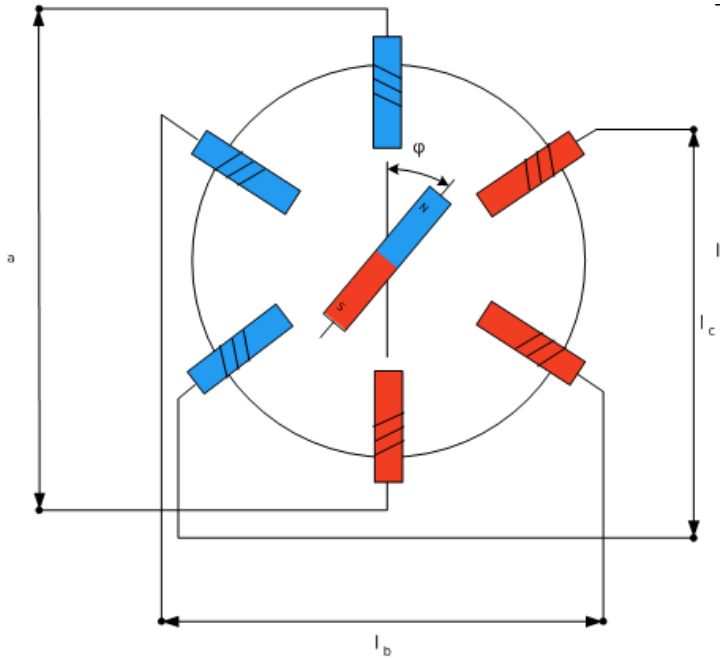
Robotul Experimental



Motor Pas cu Pas

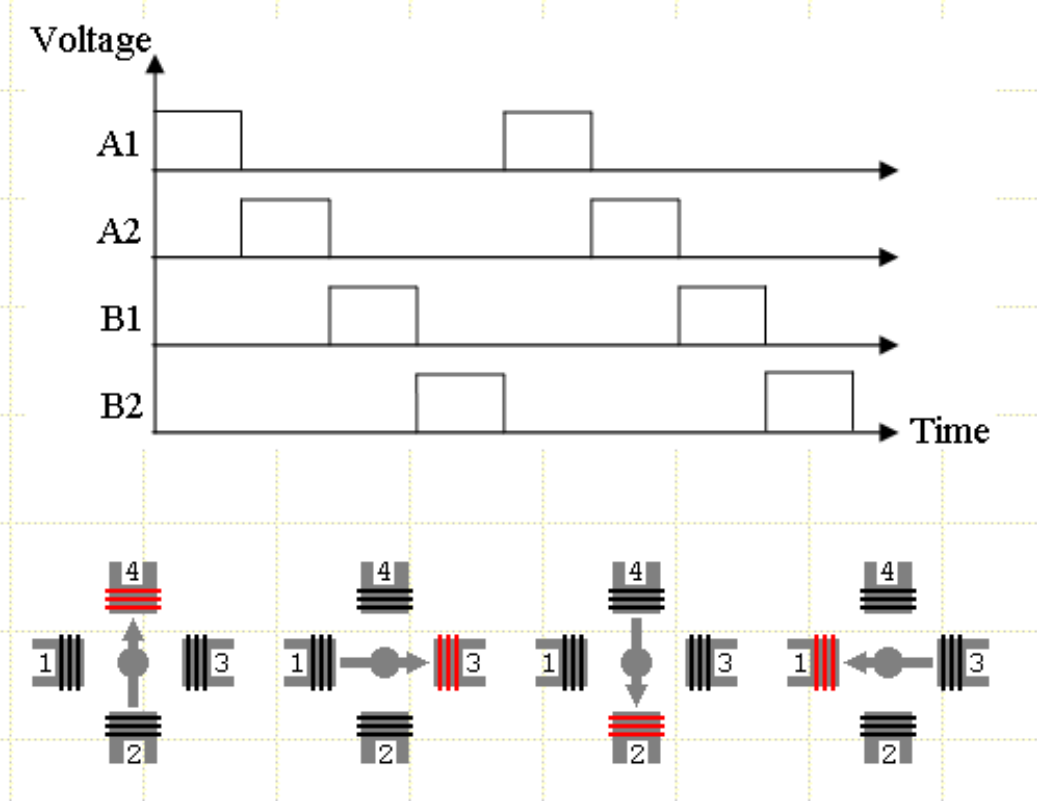
- Rotația se face pas cu pas, prin activarea selectivă a bobinelor de pe stator
- Curenții din bobine se schimbă prin control electronic, spre deosebire de motoarele clasice, la care schimbarea se face prin control mecanic, cu perii





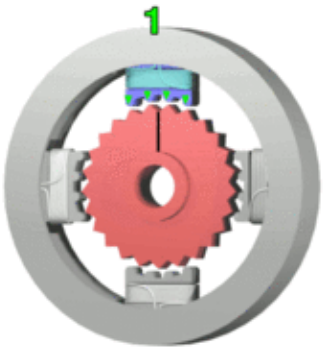
Motor Pas cu Pas

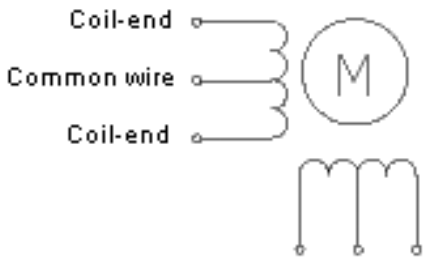
- Un controller de motor pas cu pas trebuie să genereze secvența corectă pentru activarea bobinelor
- Se pot efectua rotații complete, sau părți de rotație, în funcție de numărul de pulsuri – control precis al cantității de rotație!



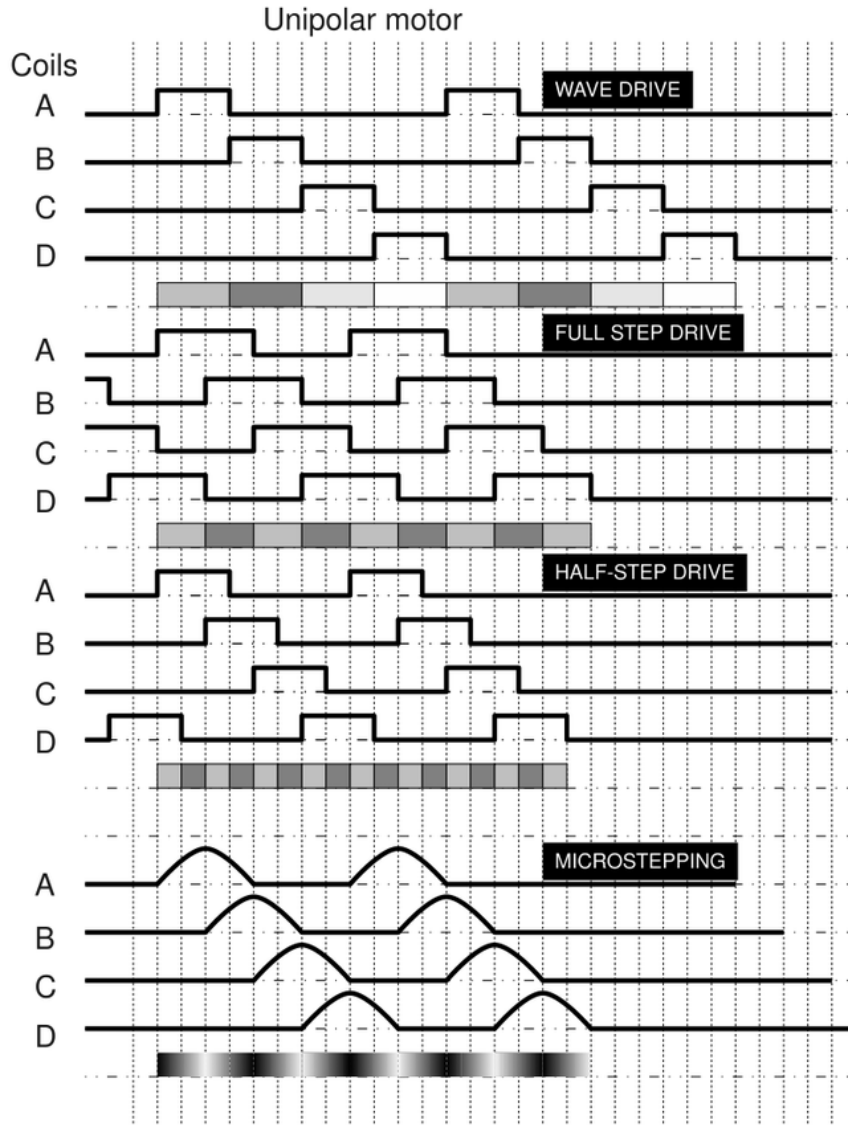
Motor Pas cu Pas

- **Motor pas cu pas unipolar**





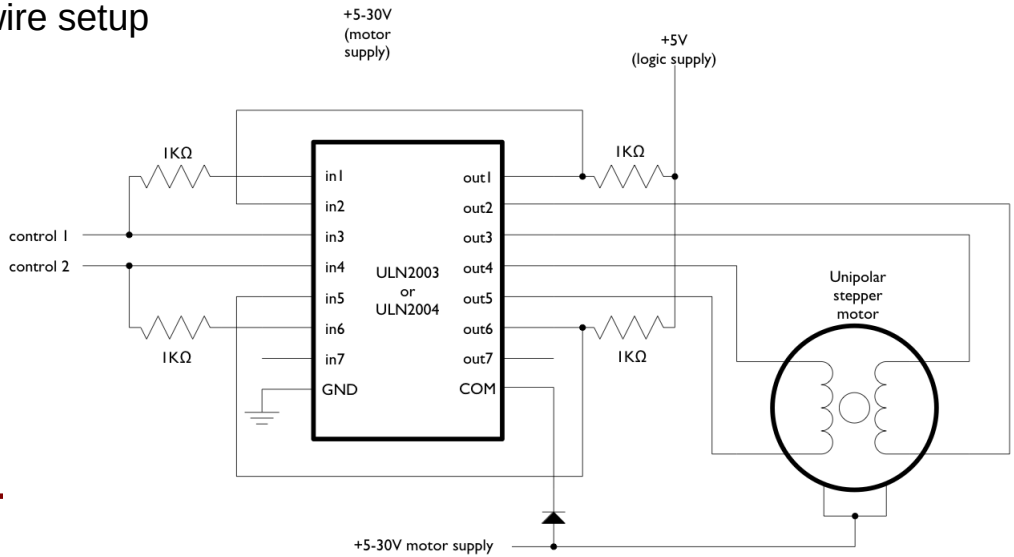
- **Comandă tip undă, sau Pas întreg cu o singură fază**
  - Cuplu motor mic, se folosește rar. 25 dinți / 4 pași pentru a roti o poziție a unui dinte ⇒ 25*4 = 100 pași pentru o rotație completă ⇒ fiecare pas va avea 360/100 = 3.6°
- **Comandă cu pas întreg cu două faze**
  - Cuplu motor maxim, comanda cea mai folosită
- **Comandă cu jumatate de pas**
  - Cuplu mai mic (70%) / rezoluție x2 (8 pași pentru a deplasa un dinte ⇒ 25*8 = 200 pași pentru rotație întreagă ⇒ un pas = 1.8°
- **Micro-pas**
  - Operare mai fină



Motor Pas cu Pas – Arduino

- **Biblioteca Arduino Stepper** (http://arduino.cc/en/reference/stepper)
  - Permite controlul motoarelor pas cu pas unipolare sau bipolare. Pentru a putea folosi această bibliotecă, e nevoie de un motor pas cu pas și de o interfață hardware pentru acesta.
  - Pentru a crea un obiect de clasa Stepper, se apeleaza constructorul:
  - **Stepper(***steps, pin1, pin2***)** - ex: Stepper myStepper = Stepper(100, 5, 6);
  - **Stepper(***steps, pin1, pin2, pin3, pin4***)**
    - int *steps*: numărul de pași per rotație completă (ex: 360 / 3.6 = 100 pași)
    - int *pin1*, *pin2*: doi pini atașați interfeței hardware (montaj cu 2 pini)
    - int *pin3, pin4*: *opțional* pini atașați interfeței hardware, pentru montaj cu 4 pini

2 pin/wire setup



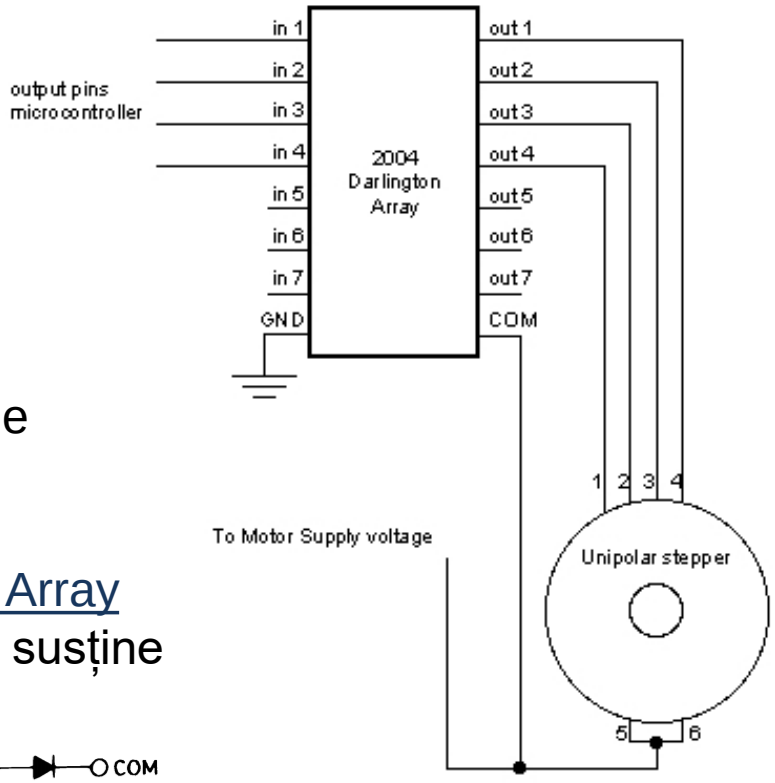
Secvență de control (2 pini):

Pas	pin 1	pin 2
1	low	high
2	high	high
3	high	low
4	low	low

Motor Pas cu Pas – Arduino

- **Secvență de control (4 pini):**

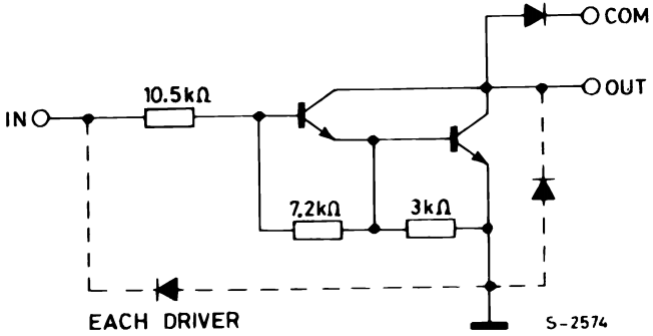
Pas	pin 1	pin 2	pin 3	pin 4
1	High	low	high	low
2	low	high	high	low
3	low	high	low	high
4	high	low	low	high



Dacă se folosește biblioteca Stepper, semnalele de control sunt generate de către bibliotecă!

Exemplu de interfata hardware: U2004 Darlington Array

- Tensiune și amperaj mare. Fiecare canal poate susține 500 mA, cu vârfuri acceptate de 600 mA.



Motor Pas cu Pas – Arduino

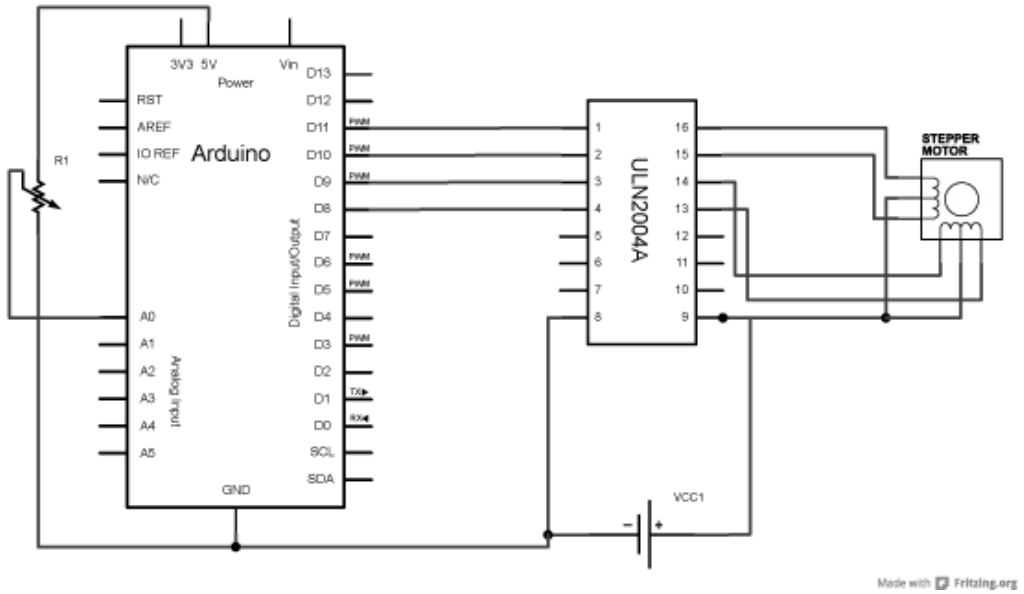
- **Funcții ale bibliotecii Stepper** (http://arduino.cc/en/reference/stepper)

- **setSpeed**(long *rpms*) – configurează viteza de rotație a motorului, în rotații pe minut (RPMs). Această funcție nu pornește motorul, ci doar configurează viteza cu care se va roti când se apelează funcția step().

- **step**(int *steps*) – Rotește motorul un număr specificat de pași, cu viteza configurată.
  - int *steps*: numărul de pași pe care motorul ii va executa – pozitiv (+) rotație intr-o direcție, negativ (-) în direcția opusă
  - Funcția este blocantă: va aștepta până când motorul va termina rotația, pentru a ieși. (Ex: la viteza = 1 RPM, apelată cu parametrul steps = 100 pentru un motor cu rotație completă în 100 de pasi, funcția va bloca programul timp de 1 minut).
  - Pentru un control mai bun, apelați doar un număr mic de pași odată cu o viteză mare.

Motor Pas cu Pas – Arduino

- **Exemplu: Motor pas cu pas controlat cu potențiometru Knob** (http://arduino.cc/en/Tutorial/MotorKnob)



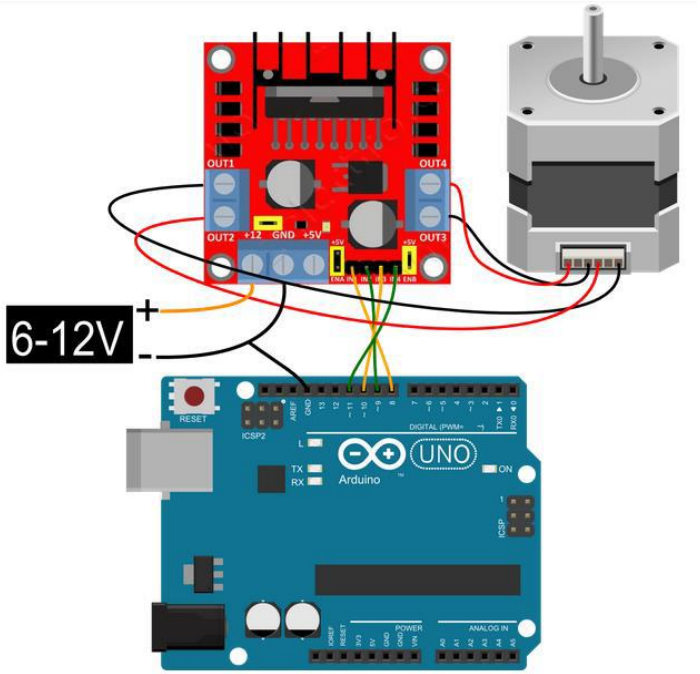

```
#include <Stepper.h>
#define STEPS 100

Stepper stepper(STEPS, 8, 9, 10, 11);

// citirea anterioara de la potentiometru
int previous = 0;

void setup()
{
  // viteza motor, 30 RPM
  stepper.setSpeed(30);
}
```

```
void loop()
{
  // citire stare potentiometru
  int val = analogRead(0);
  // deplasare motor cu diferenta dintre citiri
  stepper.step(val - previous);
  // valoarea curenta devine valoare anterioara
  previous = val;
}
```

Motor Pas cu Pas şi L298N

- Motorul pas cu pas se poate controla şi prin puntea H dublă
- Sursa: https://coeleveld.com/arduino-stepper-l298n/

```
#include <Stepper.h>

const int stepsPerRevolution = 200; // modificati pentru
// specificatiile motorului propriu

// se initializeaza biblioteca stepper pe pinii 8 ...11:
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);
```




```
void setup() {
  // regleaza viteza de rotatie la 60 rpm:
  myStepper.setSpeed(60);
  // initializeaza interfata serial
  Serial.begin(9600);

void loop() {
  // o rotatie completa in directia orara
  Serial.println("clockwise");
  myStepper.step(stepsPerRevolution);
  delay(500);

  // o rotatie completa in directia antiorara
  Serial.println("counterclockwise");
  myStepper.step(-stepsPerRevolution);
  delay(500);
}
```

Referințe

1. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V data-sheet
2. Atmel Atmega64 datasheet
3. http://arduino.cc/en/
4. http://www.robofun.ro/shields/shield-motoare-l298-v2
5. https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoMotorShieldR3
6. http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM142/CL851/SC1790/SS1555/PF63147
7. http://arduino.cc/en/Tutorial/Sweep
8. http://arduino.cc/en/Tutorial/Knob
9. http://arduino.cc/en/Tutorial/MotorKnob