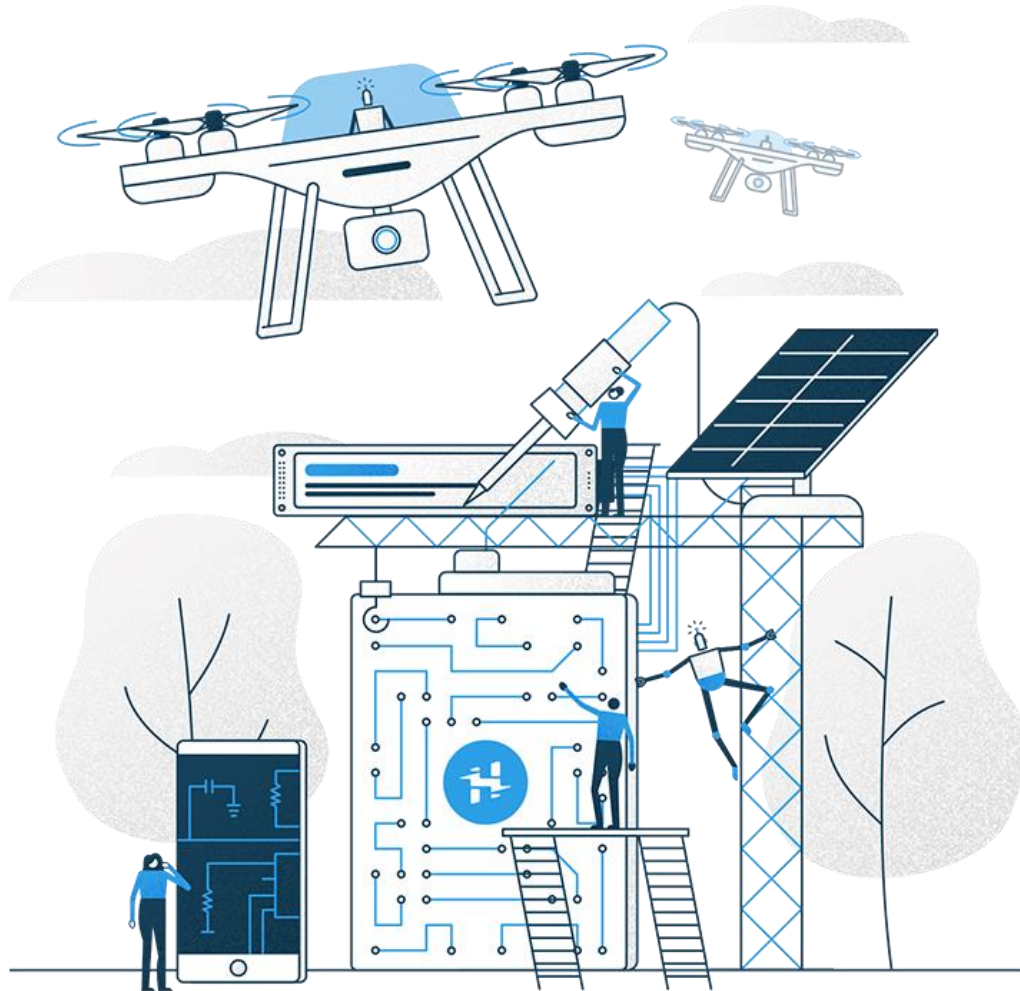


# МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

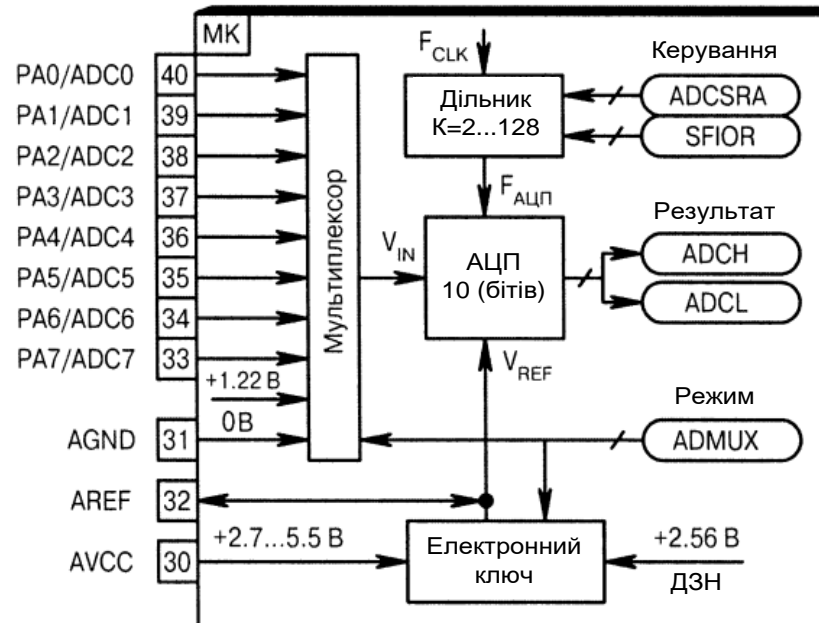


Lesson 8

# Аналого-цифровий перетворювач

Для передавання аналогового сигналу до МПС використовують аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). АЦП сприймає аналоговий сигнал, напругу або струм і перетворює його в цифрове слово, зрозуміле МП. На рис. 1 наведена структурна схема модуля (АЦП), що застосовується в МК AVR.

Перетворення «аналог-цифра» здійснюється в 10-бітовому АЦП послідовного наближення. Для його нормальної роботи потрібно три сигнали: вхідний  $V_{IN}$ , тактовий  $F_{АЦП}$ , опорний  $V_{REF}$ .

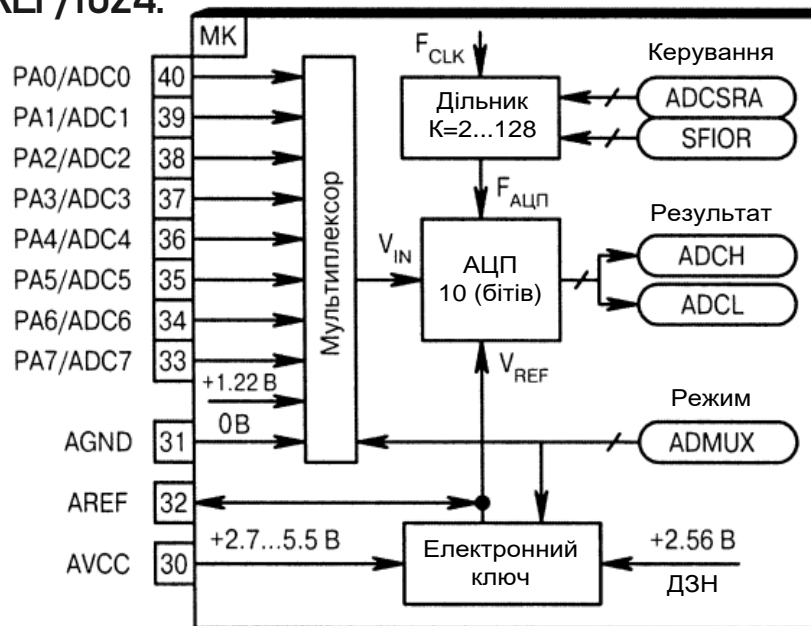


Сигнал  $V_{IN}$  поступає від мультиплексора, що комутує вісім аналогових каналів з ліній PA0...PA7 та дві тестових напруги 0 і +1,22В. Вибір джерела сигналу здійснюється програмним способом через регістр ADMUX. Сигнал  $F_{АЦП}$  виходить з тактового сигналу  $F_{CLK}$  шляхом ділення на коефіцієнт 2...128, що програмно задається регістром ADCSRA.

# Аналого-цифровий перетворювач

Сигнал  $V_{REF}$  може поступати з трьох напрямів: від вхідної лінії AREF, від внутрішнього джерела зразкової напруги +2,56 В, від джерела живлення AVCC. Перемикання здійснюється електронним ключем, який керується регістром ADMUX. Вивід AREF має безпосередній електричний зв'язок з модулем АЦП, тому, для зменшення наведень, його шунтують керамічним конденсатором ємністю 0,1 мкФ.

Результат кожного вимірювання поміщається в регістри ADCH (старші 2 біта) і ADCL (молодші 8 бітів). Разом в двох регістрах утворюється число в діапазоні 0... 1023. Ціна одного ділення –  $V_{REF}/1024$ .



При роботі АЦП потрібно на початку програми відключати вхідні «pull-up» резистори, оскільки лінії ADC0...ADC7 за сумісництвом ще є цифровими входами PA0...PA7.

# Аналого-цифровий перетворювач

Аналого-цифровий перетворювач дозволяє зчитати величину напруги на аналогових входах. Це дає можливість зчитувати дані з датчика освітленості, виміряти напругу живлення і т.д. Основні команди для роботи з АЦП в Arduino:

`analogReference (type)`. Параметри:

- `type`: тип джерела опорної напруги (DEFAULT, INTERNAL, EXTERNAL);
- опис: встановлює джерело опорної напруги, що використовується при зчитуванні аналогового сигналу (задає максимальне значення вхідного діапазону). DEFAULT: опорна напруга за замовчуванням, рівна 5В. INTERNAL: внутрішня опорна напруга рівна 1,1В. EXTERNAL: як опорна напруга буде використовуватися напруга, прикладена до виводу AREF (від 0 до 5В);
- значення, що повертаються – немає.

`analogRead (pin)`. Параметри:

- `pin`: номер виводу, з якого буде зчитуватися напруга (A0 - A5 для більшості плат, A0 - A7 для Mini та Nano, A0 - A15 для Mega);
- опис: зчитує величину напруги з зазначеного аналогового виводу. АЦП перетворює вхідну напругу з діапазону 0 - 5В в цілочисельні значення в межах від 0 до 1023 відповідно. Роздільна здатність АЦП становить: 5 В / 1024 значення або 0,0049 В (4.9 мВ) на одне значення. Для зчитування значення з аналогового входу потрібно близько 100 мікросекунд. Якщо аналоговий вхід ні до чого не підключений, значення, що повертається функцією `analogRead ()`, буде випадковим

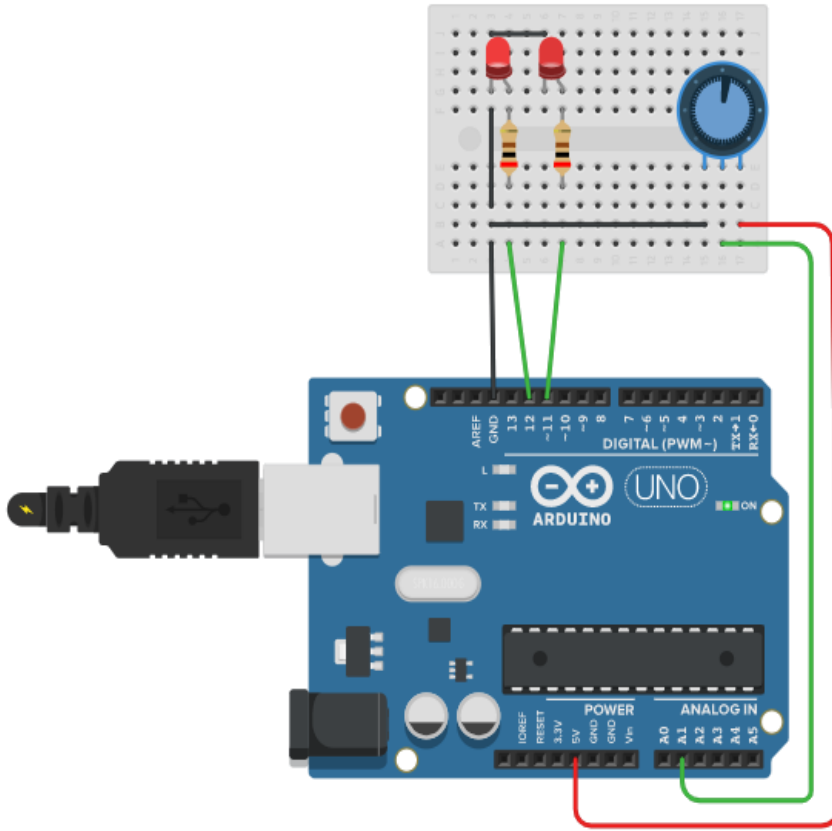
# Аналого-цифровий перетворювач

Розглянемо програму, яка демонструє роботу з АЦП Arduino. Алгоритм програми – значення напруги з потенціометра зчитується внутрішнім АЦП і приймає значення в діапазоні від 0 до 1023. Це значення виводиться в «Монітор Порта» (Serial Monitor) та використовується для формування частоти мигання світлодіода HL1 та регулювання яскравості світіння світлодіода HL2 (для цього отримане значення ділимо на 4 і отримуємо діапазон регулювання яскравості від 0 до 255).

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT); //підключення світлодіода HL6
    pinMode(12, OUTPUT); // підключення світлодіода HL1
    pinMode(A1, INPUT); // до входу A1 підключаємо потенціометр
    Serial.begin ( 9600 ) ;
}

void loop() {
    int val1 = analogRead(A1);
    Serial.println ( val1 ) ;
    int val2 = val1 / 4;
    analogWrite(11, val2);
    digitalWrite (12, HIGH);
    delay(val1) ;
    digitalWrite (12, LOW);
    delay(val1);
}
```

# Аналого-цифровий перетворювач



```
Text 1 (Arduino Uno R3)
1 void setup() {
2   pinMode(11, OUTPUT); //підключення світлодіода HL1
3   pinMode(12, OUTPUT); // підключення світлодіода HL2
4   pinMode(A1, INPUT); // до входу A1 підключаємо потенціометр
5   Serial.begin ( 9600 ) ;
6 }
7
8 void loop() {
9   int val1 = analogRead(A1);
10  Serial.println ( val1 ) ;
11  int val2 = val1 / 4;
12  analogWrite(11, val2);
13  digitalWrite (12, HIGH);
14  delay(val1) ;
15  digitalWrite (12, LOW);
16  delay(val1);
17 }
18
```

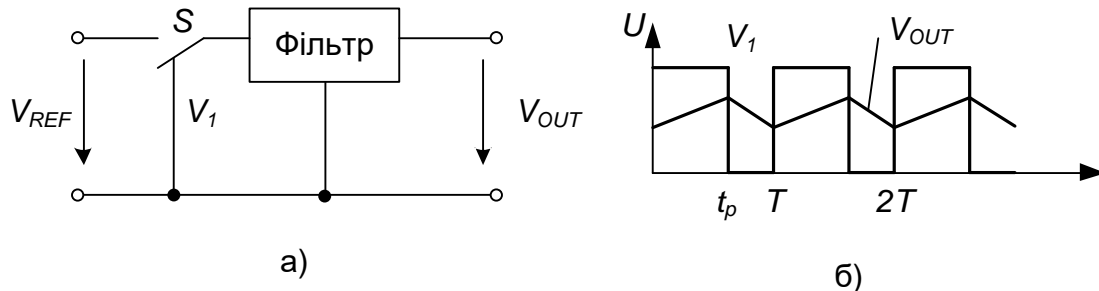
Serial Monitor

```
532
532
532
532
532
532
532
532
532
```

# Цифро-аналоговий перетворювач

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) призначений для перетворення числа у двійкових кодах, у напругу або струм пропорційний значенню цифрового коду.

Дуже часто ЦАП входить до складу МПС. У цьому випадку, якщо не потрібна висока швидкодія, цифро-аналогове перетворення може бути дуже просто здійснено за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Схема ЦАП з ШІМ наведена на рис.



ЦАП з широтно-імпульсною модуляцією: а) структурна схема; б) часова діаграма

Найпростіше організується цифро-аналогове перетворення в тому випадку, якщо МК має вбудовану функцію широтно-імпульсного перетворення. Вихід ШІМ керує ключем  $S$ . У залежності від заданої розрядності перетворення контролер за допомогою власного таймера/лічильника формує послідовність імпульсів, відносна тривалість яких  $\gamma = t_p / T$  визначається співвідношенням

$$\gamma = \frac{D}{2^N}$$

де  $N$  – розрядність перетворення, а  $D$  – код перетворення. Фільтр нижніх частот згладжує імпульси, виділяє середнє значення напруги. У результаті вихідна напруга перетворювача:

$$V_{OUT} = \gamma V_{REF} = \frac{D V_{REF}}{2^N}$$

# Цифро-аналоговий перетворювач

Для формування сигналів ШІМ Arduino використовує команду:

`analogWrite (pin, value)`. Параметри:

- `pin`: вивід, на якому буде формуватися напруга широтно-імпульсної модуляції (ШІМ або PWM);
- `value`: коефіцієнт заповнення — лежить в межах від 0 (завжди вимкнений) до 255 (завжди включений);
- значення, що повертаються – немає.
- опис: формує задану аналогову напругу на виводі у вигляді ШІМ-сигналу. Може використовуватися для зміни яскравості світіння світлодіода або управління швидкістю обертання двигуна. Після виклику `analogWrite()`, на виводі буде безперервно генеруватися ШІМ-сигнал із заданим коефіцієнтом заповнення до наступного виклику функції `analogWrite()` (або до моменту виклику `digitalRead()`, або `digitalWrite()`, взаємодіючих з цим же виводом). Частота ШІМ становить приблизно 490 Гц. На більшості плат Arduino функція `analogWrite ()` працює з виводами 3, 5, 6, 9, 10 і 11. Функція `analogWrite ()` не має нічого спільного з аналоговими виводами і функцією `analogRead ()`.



# Цифро-аналоговий перетворювач

Розглянемо програму, яка демонструє зміну яскравості світлодіода методом формування ШІМ сигналу. Алгоритм програми – подаємо на світлодіод  $1/3$  напруги від 0 до 5В (1,66В) з затримкою 250мс. Напрузі 5В відповідає код 255, напрузі 1,66В відповідає код (85)  $255/3$ . Далі подаємо напругу 3,33В (код 170), що відповідає  $2/3$  яскравості світлодіода, та 5В (код 255), що відповідає максимальній яскравості.

```
#define LED_PIN 6

void setup()
{
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
}

void loop()
{
    analogWrite(LED_PIN, 85);
    delay(250);

    analogWrite(LED_PIN, 170);
    delay(250);

    analogWrite(LED_PIN, 255);
    delay(250);
}
```

# Цифро-аналоговий перетворювач

Розглянемо програму, яка демонструє роботу з RGB світлодіодом. У програмі використовується ШІМ для повільної зміни кольору світіння RGB світлодіоду. Алгоритм програми простий – повільно виключаємо один колір та одночасно повільно включаємо інший колір

```
const byte rgbPins[3] = {11,10,9};
int dim = 1;
void setup() {
  for(byte i=0; i<3; i++){
    pinMode( rgbPins[i], OUTPUT );
  }
  // початковий стан (Red - on)
  analogWrite(rgbPins[0], 255);
  analogWrite(rgbPins[1], 0);
  analogWrite(rgbPins[2], 0);
}

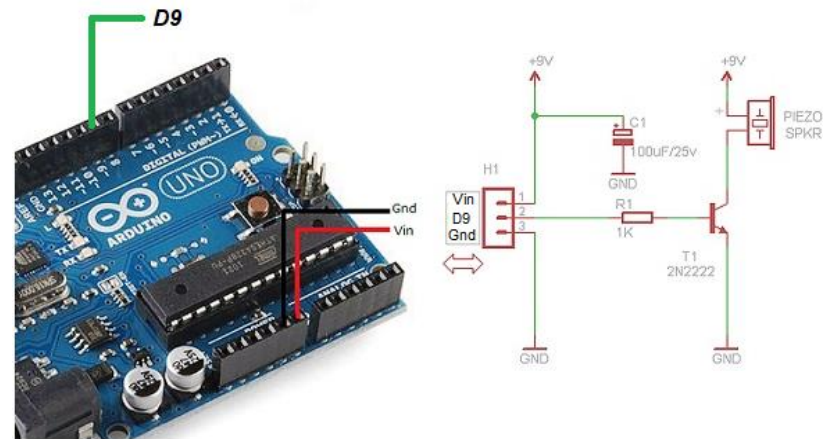
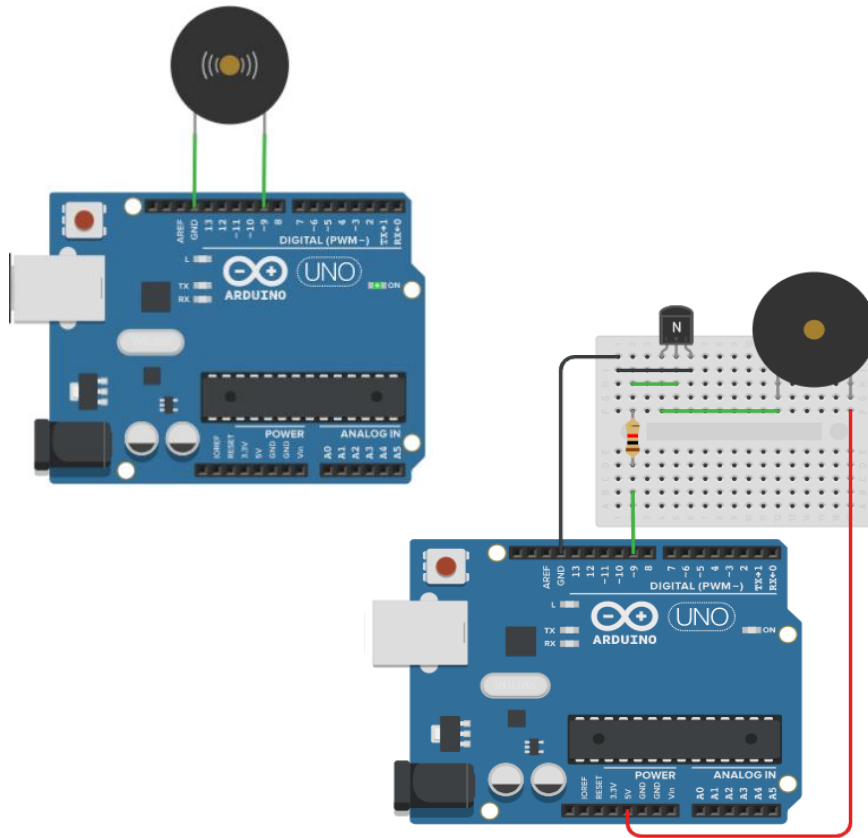
void loop() {
  for(int i=255; i>=0; i--){
    analogWrite( rgbPins[0], i/dim );//Red-off
    analogWrite( rgbPins[1], (255-i)/dim );//Green-on
    delay(10);
  }

  for(int i=255; i>=0; i--){
    analogWrite( rgbPins[1], i/dim );//Green-off
    analogWrite( rgbPins[2], (255-i)/dim );//Blue-on
    delay(10);
  }

  for(int i=255; i>=0; i--){
    analogWrite( rgbPins[2], i/dim );//Blue-off
    analogWrite( rgbPins[0], (255-i)/dim );//Red-on
    delay(10);
  }
}
```

# Цифро-аналоговий перетворювач

Для відтворення звукового сигналу, мікроконтролер Arduino, використовує команду `tone()`, яка генерує на виводі мікроконтролера прямокутний сигнал заданої частоти (з коефіцієнтом заповнення 50%). Функція також дозволяє задавати тривалість сигналу. Однак, якщо тривалість сигналу не вказана, він буде генеруватися доти, поки не буде викликана функція `noTone()`. Для відтворення звуку порт Arduino можна підключити до зумеру або динаміку:

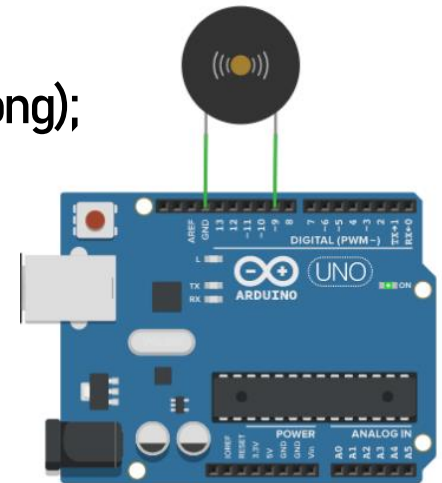


# Цифро-аналоговий перетворювач

У кожен момент часу може генеруватися тільки один сигнал заданої частоти. Якщо сигнал вже генерується на будь-якому виводі, то використання функції `tone()` для цього виводу призведе до зміни частоти цього сигналу. У той же час виклик функції `tone()` для іншого виводу не матиме ніякого ефекту. Для відтворення різних звуків на кількох виводах, необхідно спершу викликати `noTone()` і тільки після цього використовувати функцію `tone()` на наступному виводі.

`tone (pin, frequency) / tone (pin, frequency, duration)`

- pin: вивід, на якому буде генеруватися сигнал;
- frequency: частота сигналу в Герцах (unsigned int);
- duration: тривалість сигналу в мілісекундах (unsigned long);  
значення, що повертає – немає.



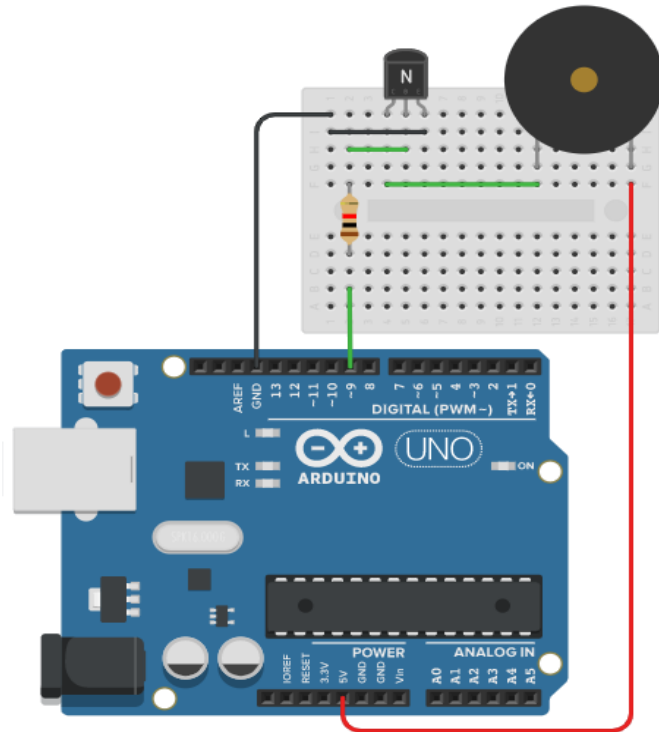
# Цифро-аналоговий перетворювач

Розглянемо програму, яка демонструє формування звукового сигналу Arduino. Алгоритм програми простий – аналізується стан тактової кнопки. Якщо вона натиснута, то формується 3-х тональний звуковий сигнал з паузою 0,3 секунди

```
int buttonState = 0;
void setup()
{
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(3, OUTPUT);
}
void loop()
{
    buttonState = digitalRead(2);
    if (buttonState == LOW)
    {
        //tone(pin, frequency, duration)
        tone(3, 923, 300);
        delay(300);
        tone(3, 323, 300);
        delay(300);
        tone(3, 523, 300);
        delay(300);
    }
    else
    {
        noTone(3);
    }
}
```

# Цифро-аналоговий перетворювач

Розглянемо програму, яка демонструє формування музикального фрагменту мікроконтролером Arduino



```
void setup() { }
void loop() {
tone(9, 392, 350);
delay(350);
tone(9, 392, 350);
delay(350);
tone(9, 392, 350);
delay(350);
tone(9, 311, 250);
delay(250);
tone(9, 466, 100);
delay(100);
tone(9, 392, 350);
delay(350);
tone(9, 311, 250);
delay(250);
tone(9, 466, 100);
delay(100);
tone(9, 392, 700);
delay(700);
tone(9, 587, 350);
delay(350);
tone(9, 587, 350);
delay(350);

tone(9, 587, 350);
delay(350);
tone(9, 622, 250);
delay(250);
tone(9, 466, 100);
delay(100);
tone(9, 369, 350);
delay(350);
tone(9, 311, 250);
delay(250);
tone(9, 466, 100);
delay(100);
tone(9, 392, 700);
delay(700);
tone(9, 784, 350);
delay(350);
tone(9, 392, 250);
delay(250);

tone(9, 392, 100);
delay(100);
tone(9, 784, 350);
delay(350);
tone(9, 739, 250);
delay(250);
tone(9, 698, 100);
delay(100);
tone(9, 659, 100);
delay(100);
tone(9, 622, 100);
delay(100);
tone(9, 659, 450);
delay(450);

tone(9, 415, 150);
delay(150);
tone(9, 554, 350);
delay(350);
tone(9, 523, 250);
delay(250);
tone(9, 493, 100);
delay(100);
tone(9, 466, 100);
delay(100);
tone(9, 440, 100);
delay(100);
tone(9, 466, 450);
delay(450);

tone(9, 311, 150);
delay(150);
tone(9, 369, 350);
delay(350);
tone(9, 311, 250);
delay(250);
tone(9, 466, 100);
delay(100);
tone(9, 392, 750);
delay(750); delay(5000);
}
}
```

# Індивідуальне завдання

Реалізувати програму формування звукового сигналу, тональність якого змінюється у залежності від обертання ручки потенціометра (мінімальна частота 200Гц, максимальна частота 2000Гц). Схему та програму реалізувати у середовищі TinkerCad.

Реалізувати програму формування звукового сигналу, тональність якого змінюється у залежності від тактової кнопки, що натиснута (кнопок 4) (мінімальна частота 200Гц, максимальна частота 2000Гц). Схему та програму реалізувати у середовищі TinkerCad.

Реалізувати програму, яка змінює колір RGB світлодіода у залежності від обертання ручки потенціометра. Схему та програму реалізувати у середовищі TinkerCad.