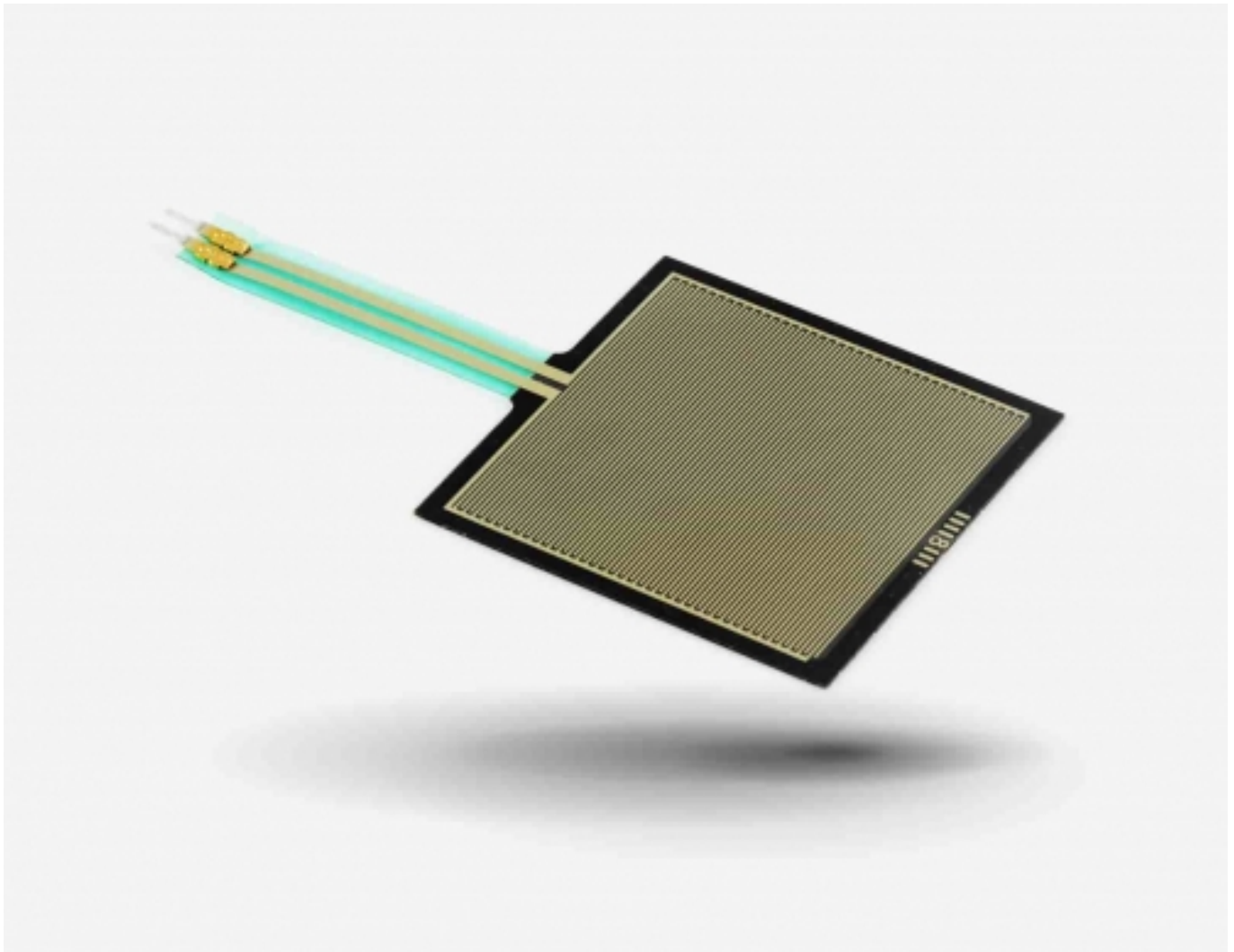
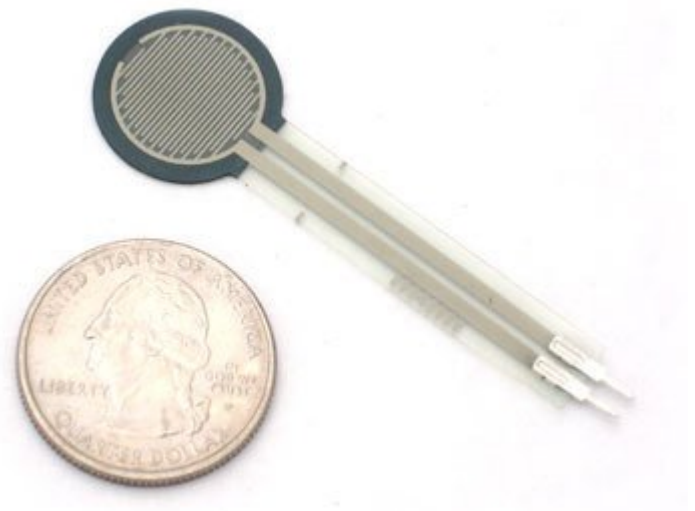


معرفی و نحوه استفاده از مقاومت های حساس به نیرو (FSR)



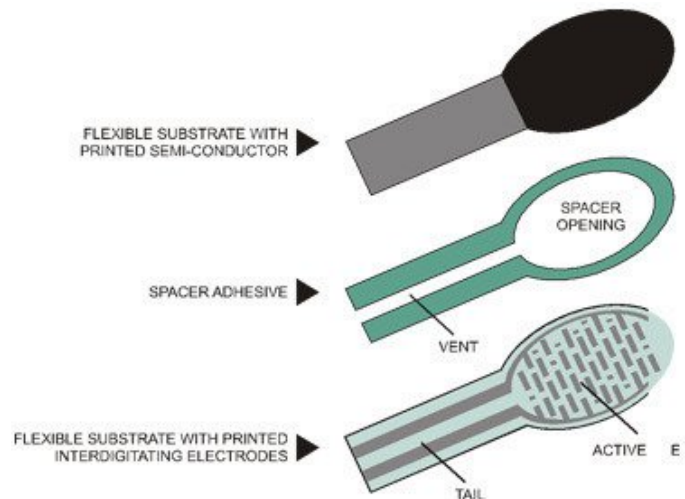
FSR ها سنسورهایی با هزینه پایین و راه اندازی آسان می باشند که امکان تشخیص نیروهای فیزیکی، فشرده کردن و وزن را فراهم می کنند.

شکل زیر مربوط به مدل 402 را بوده و ناحیه دایره ای شکل مرکزی، ناحیه حساس به نیرو می باشد.





FSR از دو بخش جداگانه تشکیل می شود که توسط لایه ای از یکدیگر جدا شده اند.



در FSR مقاومتی می باشد که مقدار آن با توجه به نیرویی که به آن وارد می شود، تغییر می کند. همان طور که گفته شد نحوه راه اندازی این سنسور آسان و قیمت آن نیز پایین می باشد ولی در عین حال دارای دقت بالایی است. همچنین ممکن است سنسورهایی با مدل مشابه در حدود 10 درصد با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین زمانی که از یک سنسور FSR استفاده می کنید، باید انتظار داشته باشید که پاسخ مورد نظر در یک رنج مشخص قرار دارد. اگرچه FSR ها توانایی تشخیص وزن را دارند، ولی این به این معنا نیست که بتوان از آنها برای تعیین دقیق مقدار وزن یک جسم استفاده کرد.

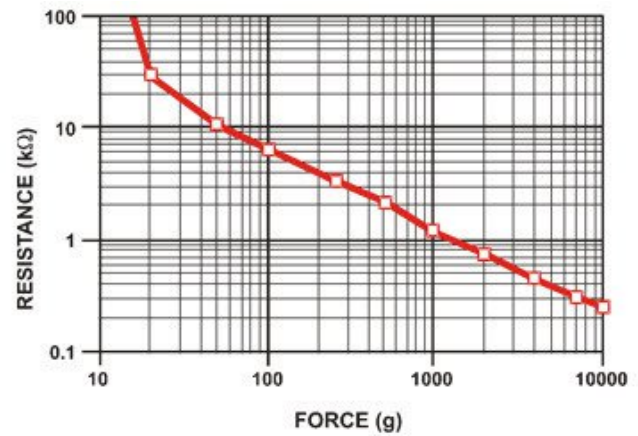
بررسی مشخصات ابتدایی:

این مشخصات به طور خاص برای مدل 402 صادق هستند، اما برای مدل های نزدیک هم قابل ارائه می باشند. برای بررسی دقیق تر می توانید از دیتاشیت ها کمک بگیرید.

- اندازه: بخش حساس دارای قطر 12.7 میلی متر می باشد.
- محدوده مقاومت: مدار باز یا مقاومت بی نهایت(بدون فشار)، 100 کیلو اهم(فشار معمولی)، 200 اهم(ماکزیمم فشار)
- محدوده فشار: 0 تا 100 نیوتون
- منبع توان: به هر منبع ولتاژی می تواند متصل شود. جریانی کمتر از 1 میلی آمپر مصرف می کند.

چگونگی اندازه گیری نیرو و فشار توسط یک FSR:

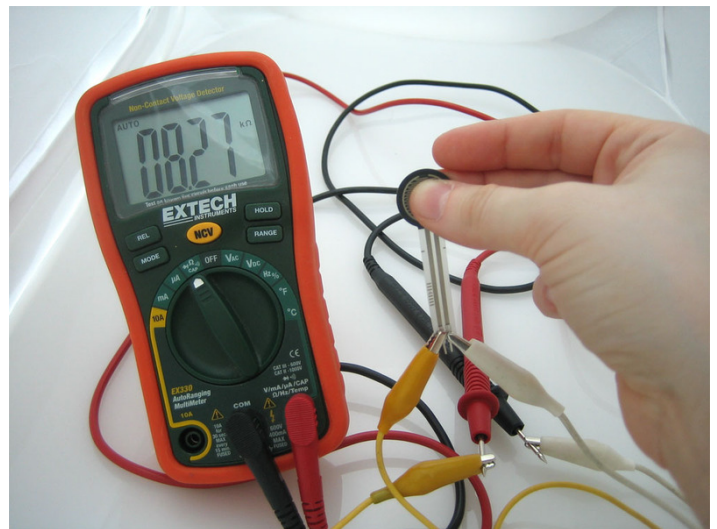
همان طور که گفته شد، مقاومت FSR ها با توجه به نیرویی که به آنها وارد می شود، تغییر می کند. زمانی که نیرویی وجود نداشته باشد، مقاومت بی نهایت بوده و با افزایش فشار مقدار آن کاهش می یابد. نمودار زیر نحوه تغییرات تقریبی مقاومت را برحسب نیروی وارده به آن نشان می دهد.(دقت کنید نیرو برحسب گرم نبوده و برحسب نیوتون می باشد)



دقت کنید که تغییرات نمودار به صورت خطی نبوده بلکه هردو محور آن به صورت لگاریتمی تغییر می کنند. با اعمال یک نیروی کوچک به سنسور مقاومت آن از بینهایت به 100 کیلو اهم تغییر خواهد کرد.

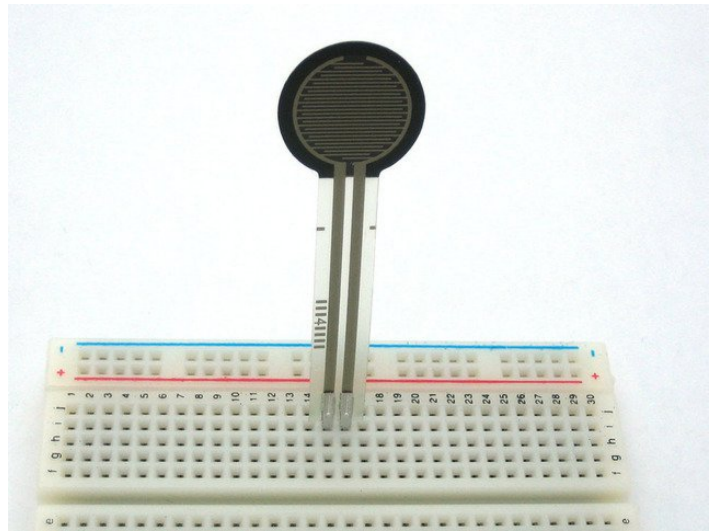
تست یک نمونه از FSR:

راحتترین راه برای اینکه تشخیص دهید که یک FSR چگونه کار می کند، استفاده از یک مولتی متر و مشاهده تغییرات مقدار مقاومت با اعمال فشار به آن است. چون محدوده تغییرات مقاومت بسیار زیاد می باشد، لذا استفاده از اهم متر با رنج اتومات می تواند مفید باشد. اهم متر را در رنج های متفاوت از 1 مگا اهم تا 100 اهم قرار داده و تغییرات را مشاهده کنید.



نحوه اتصال یک FSR:

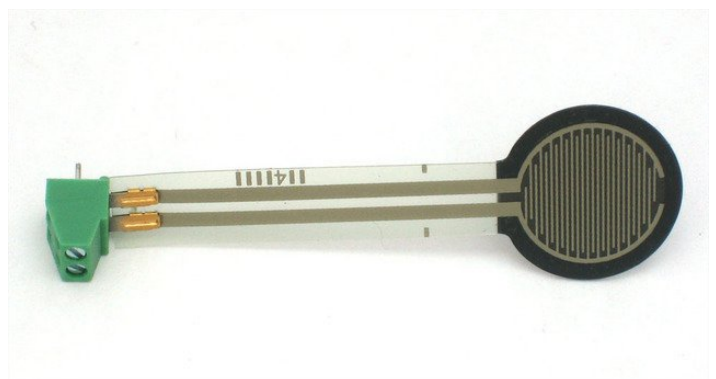
چون FSR ها در اصل یک مقاومت هستند، لذا هیچ پلارینه ای نداشته و شما می توانید آنها را بدون هیچ نگرانی در هر جهتی که خواستید در مدار قرار دهید. جنس FSR ها معمولا از پلیمر و مواد رسانای ابریشمی می باشد. به این معنا که آنها از جنس پلاستیک بوده و بخش اتصالات آن از مواد ظرفی ساخته شده است. بهترین راه برای اتصال، قرار دادن مستقیم آن در برد مورد می باشد.



یا می توانید از کانکتورهای گیره ای و یا پین هدر مادگی استفاده کنید:



و یا اینکه آن را در ترمینال قرار دهید:

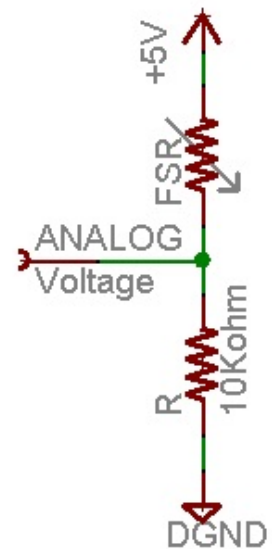
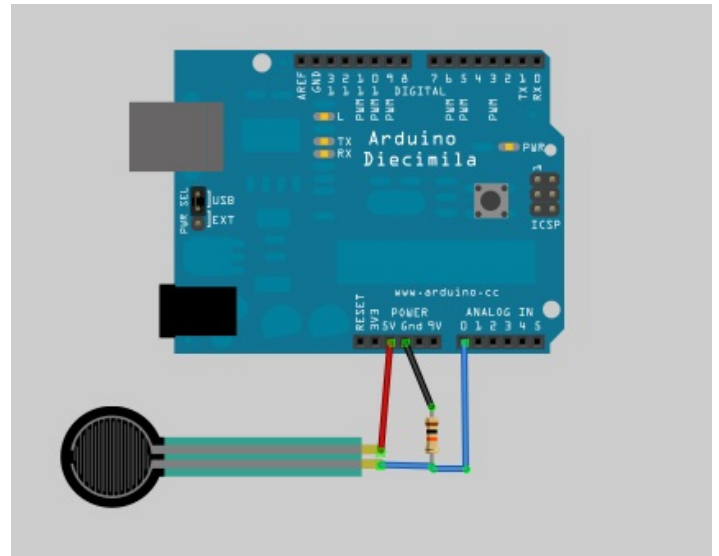


این امکان هم وجود دارد که سیم را به پایه های FSR لحیم کنید، ولی دقت کنید که این کار باید خیلی سریع انجام گیرد. چون تاخیر چند ثانیه ای و گرم شدن بیش از حد سنسور می تواند باعث آب شدن پلاستیک و آسیب رسیدن به FSR شود. در صورتی داشتن مهارت کافی در لحیم کاری سراغ این کار بروید.

استفاده از FSR:

روش خواندن ولتاژ ورودی آنالوگ:

راحتترین راه برای اندازه گیری یک سنسور مقاومتی، اتصال یک سمت آن به منبع ولتاژ و اتصال سمت دیگر از طریق مقاومت به زمین می باشد (pull-down). سپس از محل اتصال مقاومت و FSR به ورودی آنالوگ میکروکنترلر متصل کرده و مقادیر تغییرات خوانده می شود.



به عنوان مثال در اینجا از منبع ولتاژ 5 ولت و مقاومت 10 کیلو اهم استفاده شده است. در این حالت مقادیر ولتاژ آنالوگ خوانده شده از 0 تا 5 ولت تغییر خواهند کرد. با کاهش مقاومت FSR، مجموع مقاومت FSR و مقاومت pull-down از 100 کیلو اهم به 10 کیلو اهم کاهش یافته، جریان عبوری از آنها افزایش و در نتیجه ولتاژ خوانده شده نیز افزایش خواهد یافت.

Force (lb)	Force (N)	FSR Resistance	(FSR + R) ohm	Current thru FSR+R	Voltage across R
None	None	Infinite	Infinite!	0 mA	0V
0.04 lb	0.2 N	30 Kohm	40 Kohm	0.13 mA	1.3 V
0.22 lb	1 N	6 Kohm	16 Kohm	0.31 mA	3.1 V
2.2 lb	10 N	1 Kohm	11 Kohm	0.45 mA	4.5 V
22 lb	100 N	250 ohm	10.25 Kohm	0.49 mA	4.9 V

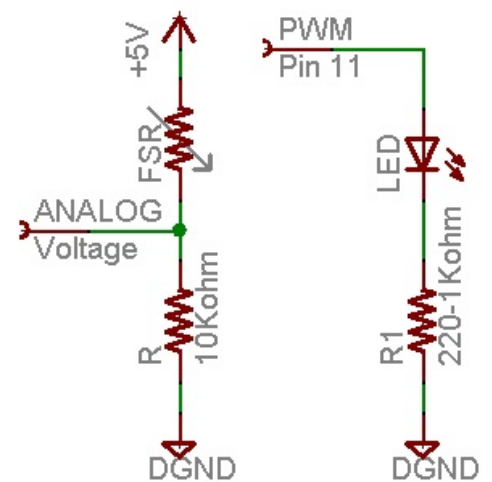
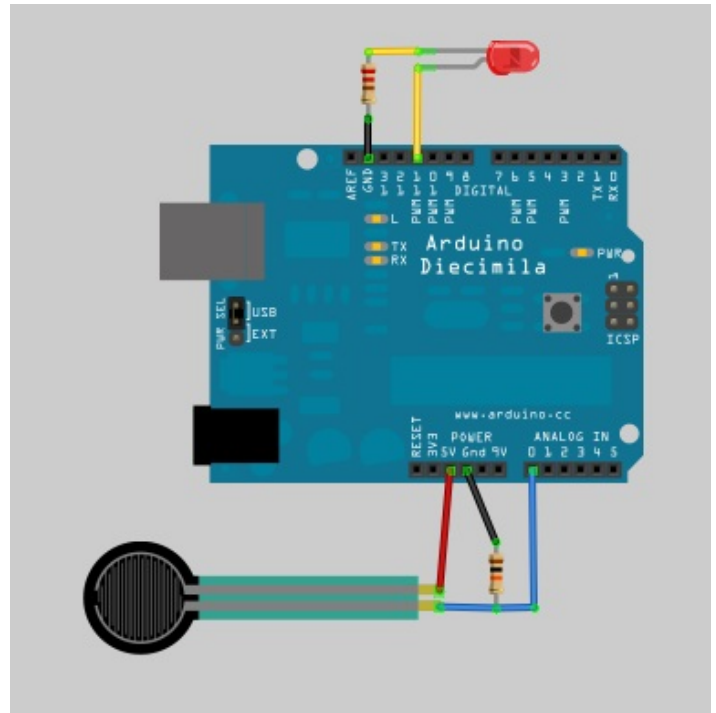
در این روش با توجه به مقادیر بدست آمده مشاهده می کنید که مقادیر مقاومت به صورت خطی تغییر کرده ولی تغییرات مقادیر ولتاژ به صورت غیر خطی می باشد. که

به رابطه تقسیم ولتاژ زیر برمیگردد:

$$V_o = V_{cc} \left(\frac{R}{R + FSR} \right)$$

نمونه ساده از کاربرد سنسور:

FSR را مشابه حالت قبل به آردوینو متصل کنید. در این حالت LED را به پین 11 اضافه کنید.



در این برنامه مقادیر ولتاژ آنالوگ خوانده شده و با توجه به آن میزان روشنایی LED تغییر می کند. هرچه سنسور بیشتر فشار داده شود، نور LED بیشتر می شود. در نظر داشته باشید که باید از پین PWM آردوینو برای راه اندازی LED استفاده کنید، که در اینجا از پین 11 استفاده شده است.

```

int fsrAnalogPin = 0; // FSR is connected to analog 0

(int LEDpin = 11;      // connect Red LED to pin 11 (PWM pin
int fsrReading;       // the analog reading from the FSR resistor divider
;int LEDbrightness

} (void setup(void
Serial.begin(9600); // We'll send debugging information via the Serial monitor
;(pinMode(LEDpin, OUTPUT
{

} (void loop(void
;(fsrReading = analogRead(fsrAnalogPin
;(" = Serial.print("Analog reading
;(Serial.println(fsrReading

we'll need to change the range from the analog reading (0-1023) down to the range //
used by analogWrite (0-255) with map //
;(LEDbrightness = map(fsrReading, 0, 1023, 0, 255
LED gets brighter the harder you press //
;(analogWrite(LEDpin, LEDbrightness

;(delay(100
{

```

کد ساده برای اندازه گیری آنالوگ FSR:

```

Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 124 - Light touch
Analog reading = 303 - Light squeeze
Analog reading = 655 - Medium squeeze
Analog reading = 736 - Medium squeeze
Analog reading = 901 - Big squeeze
Analog reading = 968 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure

```

در این کد هیچ گونه محاسبه ای انجام نمی شود، بلکه فقط مقادیری که میزان فشار را به صورت کیفی مشخص می کنند، را نمایش می دهد. در اکثر پروژه ها این مورد می تواند پاسخ گو باشد.

```

int fsrPin = 0; // the FSR and 10K pulldown are connected to a0

```

```
int fsrReading;    // the analog reading from the FSR resistor divider

} (void setup(void
We'll send debugging information via the Serial monitor //
;(Serial.begin(9600
{

} (void loop(void
;(fsrReading = analogRead(fsrPin

;" = Serial.print("Analog reading
Serial.print(fsrReading);    // the raw analog reading

We'll have a few threshholds, qualitatively determined //
} (if (fsrReading < 10
;"Serial.println(" - No pressure
} (else if (fsrReading < 200 {
;"Serial.println(" - Light touch
} (else if (fsrReading < 500 {
;"Serial.println(" - Light squeeze
} (else if (fsrReading < 800 {
;"Serial.println(" - Medium squeeze
} else {
;"Serial.println(" - Big squeeze
{
;(delay(1000
{
```

کد پیشرفته برای اندازه گیری آنالوگ FSR:

در این برنامه که از همان مدار قبلی استفاده می شود، جزئیات بیشتری در دسترس بوده و مقادیر نیرو برحسب نیوتون که به FSR وارد می شود، اندازه گیری شده و از آن برای کالیبره کرده و تعیین مقدار نیروی وارده به سنسور استفاده می شود.


```

Voltage reading in mV = 3548
FSR resistance in ohms = 4092
Conductance in microMhos: 244
Force in Newtons: 3
-----
Analog reading = 841
Voltage reading in mV = 4110
FSR resistance in ohms = 2165
Conductance in microMhos: 461
Force in Newtons: 5
-----
Analog reading = 936
Voltage reading in mV = 4574
FSR resistance in ohms = 931
Conductance in microMhos: 1074
Force in Newtons: 2
-----
Analog reading = 967
Voltage reading in mV = 4726
FSR resistance in ohms = 579
Conductance in microMhos: 1727
Force in Newtons: 24
-----
Analog reading = 976
Voltage reading in mV = 4770
FSR resistance in ohms = 482
Conductance in microMhos: 2074
Force in Newtons: 35
-----
Analog reading = 0
Voltage reading in mV = 0
No pressure
-----
1

```

```

int fsrPin = 0;    // the FSR and 10K pulldown are connected to a0
int fsrReading;   // the analog reading from the FSR resistor divider
int fsrVoltage;   // the analog reading converted to voltage
"unsigned long fsrResistance; // The voltage converted to resistance, can be very big so make "long
;unsigned long fsrConductance
long fsrForce;    // Finally, the resistance converted to force

} (void setup(void
Serial.begin(9600); // We'll send debugging information via the Serial monitor
{

} (void loop(void
;(fsrReading = analogRead(fsrPin
;" = Serial.print("Analog reading
;(Serial.println(fsrReading

(analog voltage reading ranges from about 0 to 1023 which maps to 0V to 5V (= 5000mV //
;(fsrVoltage = map(fsrReading, 0, 1023, 0, 5000
;" = Serial.print("Voltage reading in mV
;(Serial.println(fsrVoltage

```

```

} (if (fsrVoltage == 0
  ;("Serial.println("No pressure
} else {
  The voltage = Vcc * R / (R + FSR) where R = 10K and Vcc = 5V //
  !so FSR = ((Vcc - V) * R) / V      yay math //
  fsrResistance = 5000 - fsrVoltage;  // fsrVoltage is in millivolts so 5V = 5000mV
  fsrResistance *= 10000;             // 10K resistor
  ;fsrResistance /= fsrVoltage
  ;(" = Serial.print("FSR resistance in ohms
  ;(Serial.println(fsrResistance

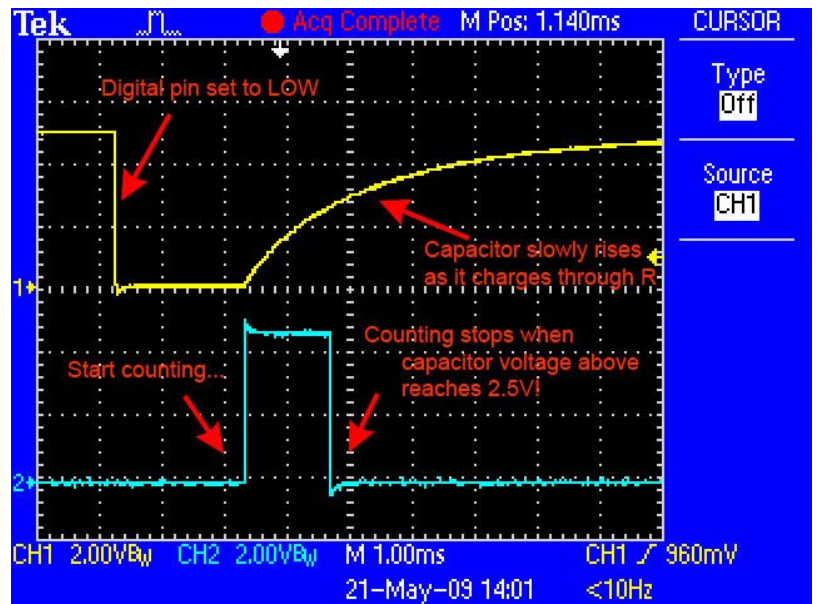
  fsrConductance = 1000000;          // we measure in micromhos so
  ;fsrConductance /= fsrResistance
  ;(" :Serial.print("Conductance in microMhos
  ;(Serial.println(fsrConductance

  Use the two FSR guide graphs to approximate the force //
} (if (fsrConductance <= 1000
;fsrForce = fsrConductance / 80
;(" :Serial.print("Force in Newtons
      ;(Serial.println(fsrForce
} else {
;fsrForce = fsrConductance - 1000
;fsrForce /= 30
;(" :Serial.print("Force in Newtons
      ;(Serial.println(fsrForce
{
{
;("-----")Serial.println
;delay(1000
{

```

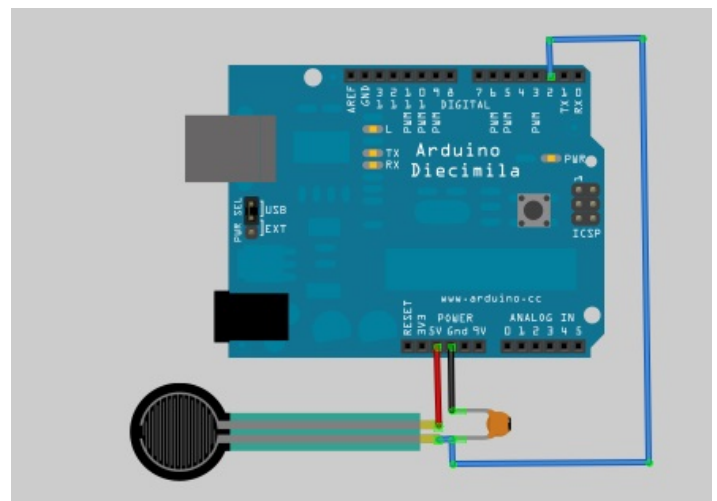
خواندن مقادیر FSR بدون استفاده از پین های آنالوگ:

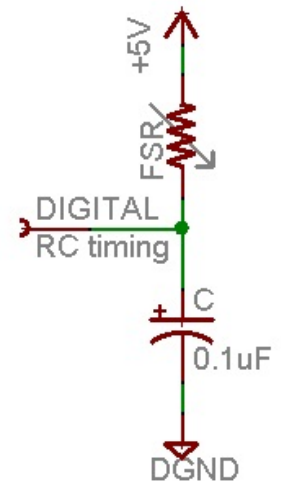
چون FSR ها در اصل مقاومت می باشند، در صورتی که میکروکنترلر شما پین آنالوگ نداشته باشد و یا اینکه تعداد پایه های آنالوگ آن کم باشد، امکان استفاده و راه اندازی آنها بدون استفاده از پین های آنالوگ هم وجود دارد. روش کار استفاده از مفهوم مداری مقاومت و خازن می باشد. بدین صورت که از یک خازن بدون ولتاژ اولیه استفاده کرده و آن را از طریق یک مقاومت به منبع ولتاژ وصل کنید. در این صورت خازن با سرعتی که متناسب مقدار مقاومت می باشد، شارژ می گردد. هرچه میزان مقاومت بالاتر باشد، سرعت شارژ پایین تر خواهد بود.



تصویر بالا نحوه تغییرات ولتاژ خازن را که توسط اسیلوسکوپ گرفته شده است، نشان می دهد. (نمودار زرد رنگ) نمودار آبی نیز نشان می دهد که چه زمانی برنامه شروع به شمارش کرده و چه زمانی متوقف می شود.

در واقع می توان گفت که خازن مانند یک سطل و مقاومت مانند لوله می باشد. سرعت پر شدن سطل به اندازه لوله بستنی دارد، بنابراین برای اندازه گیری میزان مقاومت می توان مدت زمانی که طول می کشد تا سطل به اندازه نصف پر شود، استفاده کرد.





در اینجا از خازن 0.1 میکرو فاراد استفاده شده است. می توانید مقدار خازن را با مقادیر نزدیک به این مقدار تغییر دهید، ولی مقادیر زمانی نیز تغییر خواهد کرد.

```
int fsrPin = 2;    // the FSR and cap are connected to pin2
int fsrReading;   // the digital reading
int ledPin = 13;  // you can just use the 'built in' LED
} (void setup(void
We'll send debugging information via the Serial monitor //
;(Serial.begin(9600
pinMode(ledPin, OUTPUT); // have an LED for output
{
} (void loop(void
read the resistor using the Rctime technique //
;(fsrReading = Rctime(fsrPin
} (if (fsrReading == 30000
'if we got 30000 that means we 'timed out //
;!Serial.println("Nothing connected
} else {
;" = Serial.print("Rctime reading
Serial.println(fsrReading);    // the raw analog reading
Do a little processing to keep the LED blinking //
;fsrReading /= 10
!The more you press, the faster it blinks //
;(digitalWrite(ledPin, HIGH
;(delay(fsrReading
;(digitalWrite(ledPin, LOW
;(delay(fsrReading
{
```

```

;(delay(100
{
(!Uses a digital pin to measure a resistor (like an FSR or photocell //
We do this by having the resistor feed current into a capacitor and //
(counting how long it takes to get to Vcc/2 (for most arduinos, thats 2.5V //
} (int RCtime(int RCpin
int reading = 0; // start with 0
(set the pin to an output and pull to LOW (ground //
;(pinMode(RCpin, OUTPUT
;(digitalWrite(RCpin, LOW
...Now set the pin to an input and //
;(pinMode(RCpin, INPUT
while (digitalRead(RCpin) == LOW) { // count how long it takes to rise up to HIGH
reading++; // increment to keep track of time
} (if (reading == 30000
if we got this far, the resistance is so high //
!its likely that nothing is connected //
break; // leave the loop
{
{
OK either we maxed out at 30000 or hopefully got a reading, return the count //
;return reading
{

```

```

RCtime reading = 10
RCtime reading = 10
RCtime reading = 12
RCtime reading = 17
RCtime reading = 16
RCtime reading = 18
RCtime reading = 29
RCtime reading = 44
Nothing connected!
Nothing connected!
Nothing connected!
Nothing connected!
RCtime reading = 578
RCtime reading = 3
RCtime reading = 0
RCtime reading = 2
RCtime reading = 1
RCtime reading = 1
RCtime reading = 1
RCtime reading = 2

```

64

این امکان وجود دارد که مقادیر واقعی مقاومت را از طریق خواندن محاسبه کنید، اما متغیرهای موجود در برنامه و آردوینو باعث می شوند که این مقادیر ناسازگار باشند. دقت کنید هرگونه تغییر در پارامترها مانند: استفاده از منبع 3.3 ولت، و یا تغییر فرکانس کاری میکروکنترلر از 16 مگا هرتز به 8 مگا هرتز (مثل lilypad) و... باعث می شود که نتایج متفاوتی دریافت کنید.