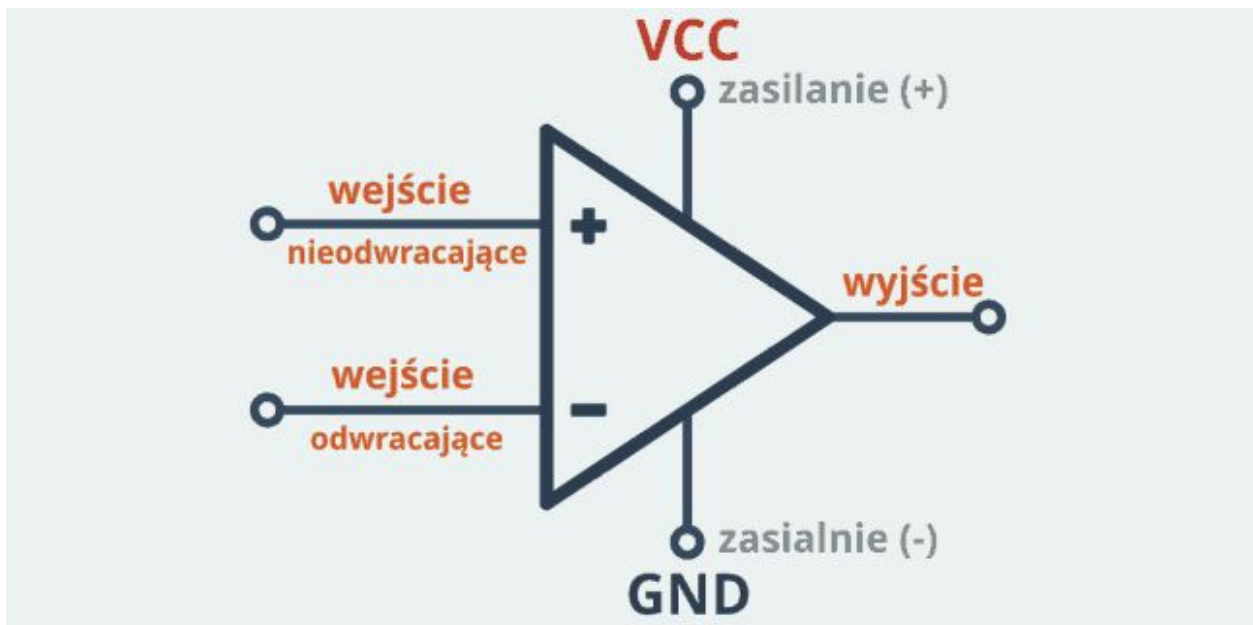


## Wykład 3.

**Wzmacniacz** to obwód, który zwiększa (lub zmniejsza) dane napięcie wejściowe w celu wytworzenia napięcia wyjściowego. Zysk można łatwo obliczyć, dzieląc napięcie wyjściowe przez napięcie wejściowe:

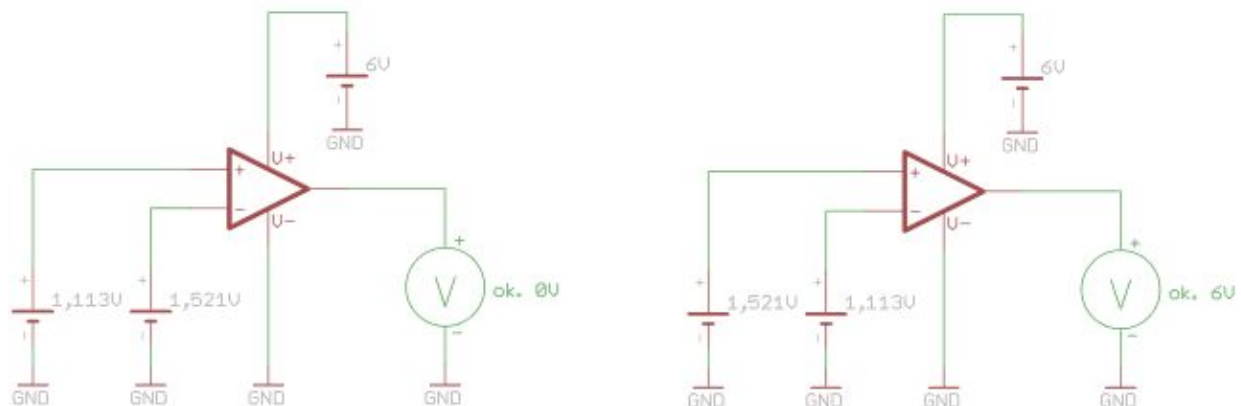
$$\text{Gain} = V_{\text{OUT}} / V_{\text{IN}}$$

**Komparator** porównuje napięcia. Posiada dwa wejścia: odwracające (-) i nieodwracające (+) oraz wyjście.



Komparator patrzy na różnicę napięć między wejściami i na tej podstawie ustawia swoje wyjście:

- jeżeli napięcie na wejściu nieodwracającym jest wyższe niż na odwracającym, to napięcie na wyjściu jest zbliżone do dodatniego bieguna zasilania,
- w przeciwnym razie, napięcie wyjściowe jest bliskie ujemnemu biegunowi zasilania.



Komparator, porównując dwa napięcia, wystawia informację w sposób binarny: napięciem niskim lub wysokim. Dlatego można go traktować jako *pomost* między układami analogowymi i cyfrowymi.

Urządzenie, które przekształca analogowe napięcie wejściowe na liczbę cyfrową, znane jest jako przetwornik analogowo-cyfrowy, lub po prostu i częściej jako **ADC**. Rodzaje ADC:

- **Przetwornik z sukcesywną aproksymacją** (próbkowaniem bitowym) wykorzystuje przetwornik DAC do zapewnienia analogowego napięcia odniesienia, które jest porównywane z napięciem wejściowym. Zwiększając kod cyfrowy sterujący przetwornikiem cyfrowo-analogowym, napięcie odniesienia jest zwiększane do momentu znalezienia dopasowania. Gdy to nastąpi, kod użyty do sterowania przetwornikiem cyfrowo-analogowym jest wykorzystywany jako wyjście cyfrowe ADC (10-bit w ATmega328p)
- **Przetwornik o przetwarzaniu bezpośrednim (*flash*)** wykorzystuje zestaw komparatorów do porównania napięcia wejściowego z zakresem napięć odniesienia. Konwersja wejściowego napięcia analogowego na wartość cyfrową jest zatem bardzo szybka. Problem polega na tym, że flashowe ADC są zwykle droższe niż inne rodzaje

ADC, a ze względu na swoją złożoność zwykle mają niższą rozdzielczość niż inne formy ADC

- **Integrating ADCs** wykorzystują wewnętrzny oscylator sterowany napięciem do wytworzenia sygnału zegarowego, którego częstotliwość jest proporcjonalna do próbkowanego napięcia. Sygnał zegarowy służy do sterowania licznikiem, który podaje wartość cyfrową dla próbki. Im wyższe próbkowane napięcie, tym wyższa częstotliwość taktowania, a tym samym wyższa liczba osiągnięta przez licznik. Licznik jest zerowany przed każdą konwersją. Ze względu na tę technikę konwersji, integrujące ADC nie są znane ze względu na ich szybkość konwersji.

Proces konwersji sygnału analogowego na cyfrowy nazywany jest próbkowaniem lub kwantyzacją. ADC mają dwie podstawowe cechy: częstotliwość próbkowania i rozdzielczość. Częstotliwość próbkowania jest wyrażana jako liczba próbek na sekundę (SPS) i odnosi się do częstotliwości konwersji analogowego sygnału wejściowego na kod cyfrowy. Im wyższa częstotliwość próbkowania ADC, tym droższy będzie ten układ. Rozdzielczość określa dokładność każdej próbki. Na przykład „8-bitowy ADC” zwróci 8-bitowy kod reprezentujący próbkowany sygnał wejściowy. Oznacza to, że dane wejściowe zostały skwantowane na jedną z 256 wartości dyskretnych. „11-bitowy ADC” kwantyzuje sygnał do jednej z 2048 wartości, dając dokładniejszy wynik.

ADC przekształci sygnał analogowy na liczbę reprezentującą stosunek sygnału wejściowego do danego napięcia odniesienia. Na przykład, jeśli napięcie odniesienia ADC wynosi 5 V, a sygnał wejściowy wynosi 3 V, wówczas stosunek wejścia do odniesienia wynosi 60%. Tak więc dla 8-bitowego ADC, gdzie 255 reprezentuje pełną skalę, próbkowane wejście zostanie zwrócone jako 153 (0x99). Z twojego punktu widzenia otrzymujesz wartość 153 z ADC i musisz cofnąć się od tego, aby obliczyć oryginalne napięcie analogowe:

ADC przekształca sygnał analogowy na liczbę reprezentującą stosunek sygnału wejściowego do danego napięcia odniesienia. Na przykład, jeśli napięcie odniesienia ADC wynosi 5 V, a sygnał wejściowy wynosi 3 V, wówczas stosunek wejścia do odniesienia wynosi 60%. Tak więc dla 8-bitowego ADC, gdzie 255 reprezentuje pełną skalę, próbkowane wejście zostanie zwrócone jako 153. Z twojego punktu widzenia otrzymujesz wartość 153 z ADC i musisz cofnąć się od tego, aby obliczyć oryginalne napięcie analogowe:

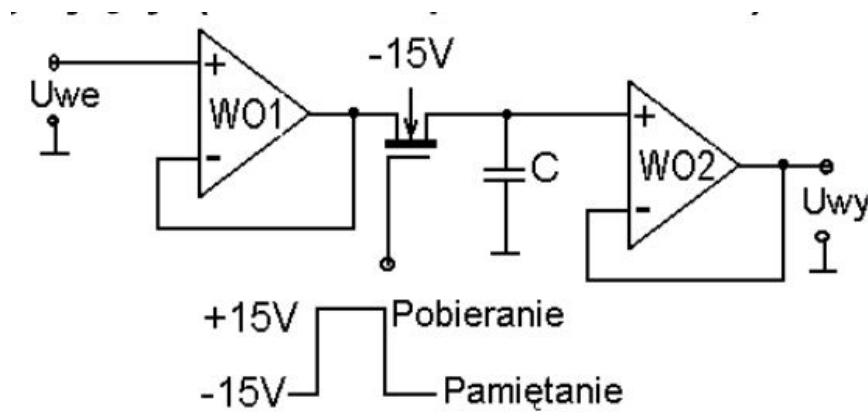
$$\text{Signal} = (\text{sample} / \text{max\_value}) * \text{reference\_voltage} = (153 / 255) * 5 = 3$$

### Układ sample-and-hold

Układ ten próbkuje sygnał analogowy  $U_{we}$ . W wybranym momencie i przez chwilę podtrzymuje jego wartość na pojemności  $C$  i na wyjściu jako  $U_{wy}$ . Chwilowe podtrzymywanie napięcia  $U_{wy}$  jest konieczne dla dokonania przetworzenia analogowo-cyfrowego przez podłączony do wyjścia przetwornik ADC. Dla szybkiego i precyzyjnego próbkowania układ WO1 musi być szybki a WO2 musi mieć tranzystory polowe na wejściu. Układy S/H są nieodzowne gdy zachodzi potrzeba pomiaru kilku napięć w tym samym czasie. Kilka układów S/H sterowanych wspólnym zegarem

rozwiązuje problem.

Podtrzymywane napięcia mogą być już przetwarzane kolejno przez jeden przetwornik ADC.



## Multiplexowanie ADC

Mikrokontrolery wyposażone w przetwornik ADC niezależnie od producenta z reguły posiadają co najmniej kilka wejść pomiarowych, zwanych kanałami. Tak właśnie jest w przypadku ATmega328p, który posiada jeden przetwornik ADC i może mierzyć napięcie 8 kanałach dzięki multiplexerowi (przełącznikowi), który znajduje się na wejściu ADC. Jego zadaniem jest przełączanie wejścia pomiarowego przetwornika ADC pomiędzy kanałami, które podłączone są do pinów mikrokontrolera.

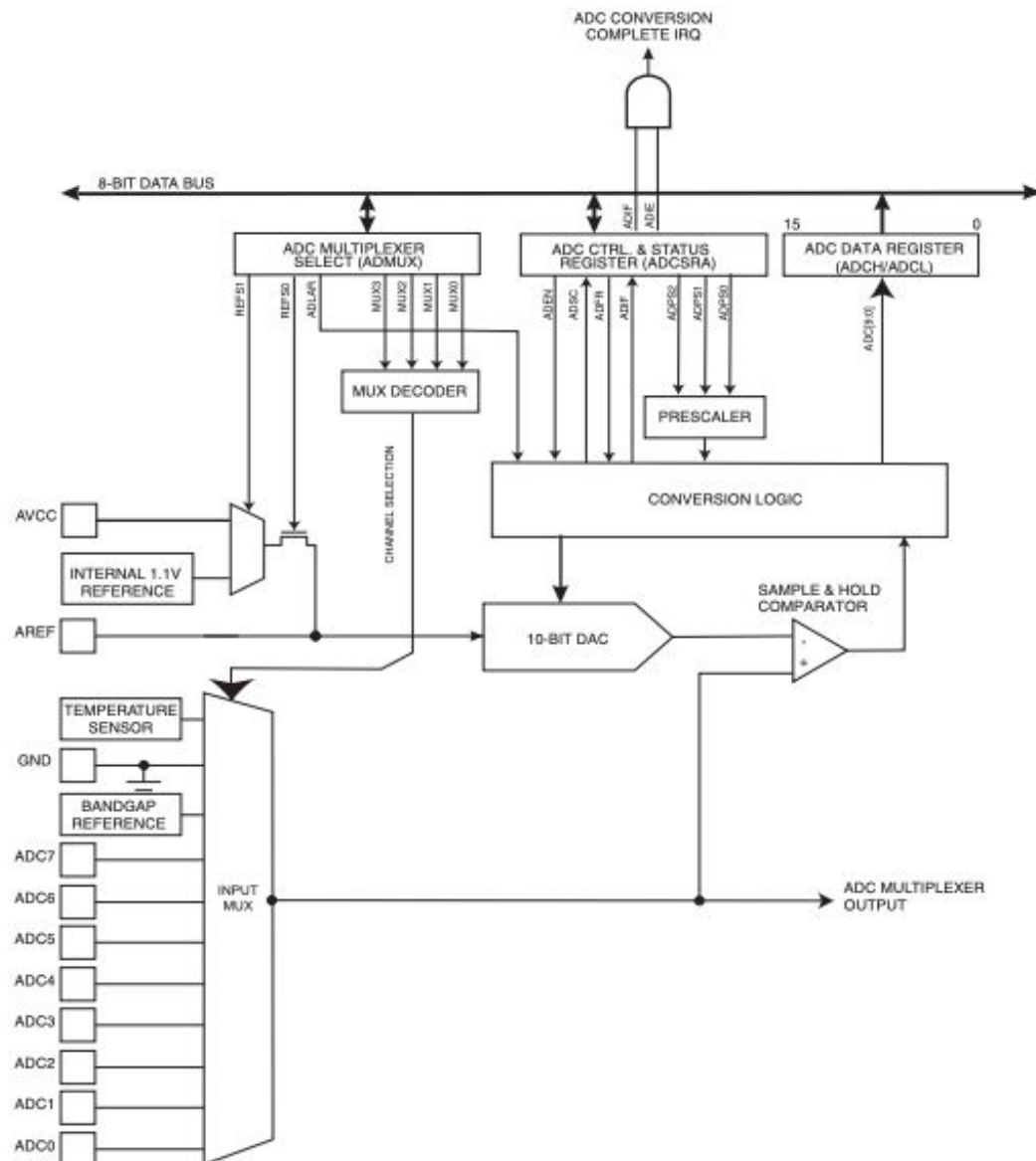
| Bit           | 7     | 6     | 5     | 4 | 3    | 2    | 1    | 0    |       |
|---------------|-------|-------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| (0x7C)        | REFS1 | REFS0 | ADLAR | – | MUX3 | MUX2 | MUX1 | MUX0 | ADMUX |
| Read/Write    | R/W   | R/W   | R/W   | R | R/W  | R/W  | R/W  | R/W  |       |
| Initial Value | 0     | 0     | 0     | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    |       |

| MUX3...0 | Single Ended Input  |
|----------|---------------------|
| 0000     | ADC0                |
| 0001     | ADC1                |
| 0010     | ADC2                |
| 0011     | ADC3                |
| 0100     | ADC4                |
| 0101     | ADC5                |
| 0110     | ADC6                |
| 0111     | ADC7                |
| 1000     | ADC8 <sup>(1)</sup> |
| 1001     | (reserved)          |
| 1010     | (reserved)          |
| 1011     | (reserved)          |
| 1100     | (reserved)          |
| 1101     | (reserved)          |
| 1110     | 1.1V ( $V_{BG}$ )   |
| 1111     | 0V (GND)            |

## ATmega328p ADC

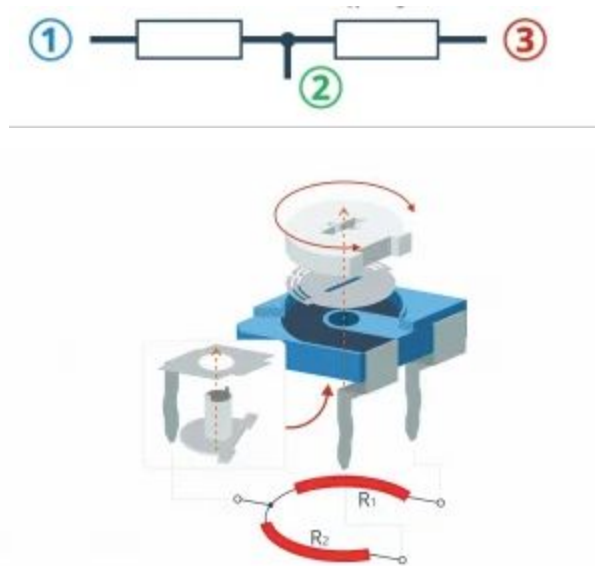
ADC z 10-bitową sukcesywną aproksymacją, podłączony do 8-kanałowego multiplexera analogowego.

ADC zawiera obwód sample-and-hold, który zapewnia, że napięcie wejściowe do ADC jest utrzymywane na stałym poziomie podczas konwersji.



**Potencjometry** to rezystory z regulowaną wartością oporu. Kręcąc główką potencjometru wpływamy na opór potencjometru mierzony między środkową oraz skrajną nóżką. Potencjometry to bardzo sprytne dzielniki

napięcia: po ścieżce o stałej rezystancji porusza się suwak z dobrze przewodzącego materiału, który dzieli ją na dwa rezystory.

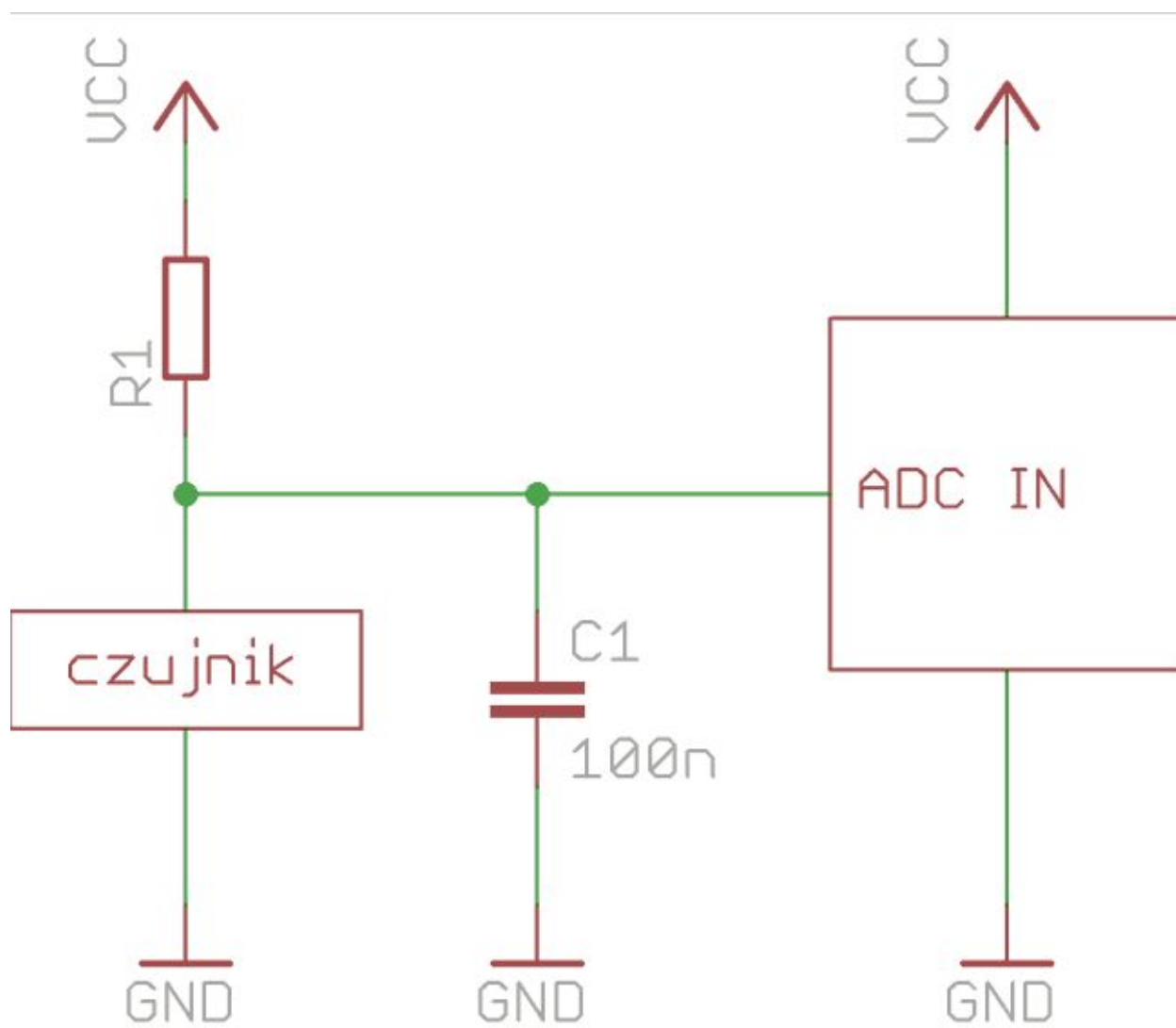


Suma rezystancji dwóch uzyskanych tak rezystorów jest stała, ale zmienia się wartość rezystora, na którym odkłada się interesujące nas napięcie. Między skrajnymi nóżkami rezystancja jest stała, środkowa to odczep, czyli wyjście naszego rezystora o zmiennym oporze.

### Fotorezystor i termistor

Czujniki analogowe zamieniają mierzoną wielkość (np. temperaturę) na wielkość elektryczną, która jest proporcjonalna do odczytanej wartości. Przykładowo wraz ze wzrostem temperatury na wyjściu czujnika będzie coraz wyższe napięcie lub pojawi się większa rezystancja.

Fotorezystor oraz termistor charakteryzują się zmianą swojej rezystancji w reakcji na bodziec zewnętrzny. Do przetwarzania najwygodniejsze jest napięcie. W jaki sposób wykorzystać więc przykładowo zmianę rezystancji? Z pomocą przychodzi bardzo prosty układ: dzielnik rezystancyjny.



Zasada działania jest bardzo prosta: kiedy rezystancja czujnika rośnie, to odkładające się na nim napięcie również rośnie i zwiększa się napięcie wyjściowe. Jeżeli zaś rezystancja się zmniejsza, to w ślad za nią zmniejsza się napięcie na wyjściu. Rezystor należy dobrać do konkretnego czujnika. Ogranicza on prąd przez niego płynący, co jest istotne zwłaszcza w przypadku termistorów - przepływ prądu prowadzi do wzrostu temperatury struktury wewnętrznej czujnika. Fałszuje to wskazania temperatury. Dlatego pożądane jest, aby wartość tego rezystora była możliwie wysoka. Z drugiej strony, im większy opór, tym węższy staje się zakres przetwarzania.



Zmiany rezystancji czujnika na tle tego rezystora są tak małe, że przestają być rozpoznawane przez dalszy układ.

**Termistory** zamieniają temperaturę na rezystancję między swoimi wyprowadzeniami. Podstawowe parametry termistora, na które należy zwrócić uwagę, to rezystancja nominalna oraz rodzaj. Ten pierwszy jest podawany w określonej temperaturze, typowo 25°C. Natomiast rodzaj określa kierunek zmian rezystancji:

- PTC: temperatura i rezystancja zachowują się współbieżnie, tj. kiedy temperatura rośnie, to rezystancja również się zwiększa.
- NTC: rezystancja i temperatura mają przeciwne kierunki przyrostu, tj. wzrost temperatury oznacza spadek rezystancji.