

### 3. Półprzewodnikowe elementy bezślączowe

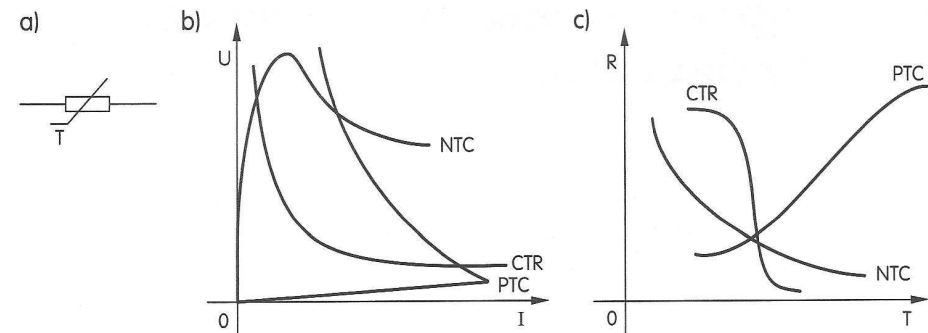
W półprzewodnikach bezślączowych (jednorodnych) wykorzystuje się zjawiska zachodzące w całej jego objętości lub tylko w warstwie przypowierzchniowej. Do elementów z wykorzystywanymi zjawiskami objętościowymi należą m.in. rezystory sterowane i niesterowane oraz hallotrony. Elementami o niesterowanej rezystancji są **rezystory półprzewodnikowe, warystory i termistory**. Rezystory półprzewodnikowe wykorzystuje się najczęściej jako ścieżki półprzewodnika  $N^+$  na podłożu  $N$  lub  $P^+$  na podłożu  $P$ . Znalazły one zastosowanie przede wszystkim w układach scalonych.

Elementami o sterowanej rezystancji są: **piezorezystor, fotorezystor i magneto-rezystor**. Ich rezystancja zmienia się odpowiednio w zależności od: ciśnienia, promieniowania świetlnego i indukcji magnetycznej. Znajdują one zastosowanie głównie jako czujniki w przetwornikach pomiarowych.

#### 3.1. Termistory

**Termistory** są rezystorami nieliniowymi, których rezystancja znacznie zależy od temperatury. Wpływ temperatury na rezystancję może mieć różny charakter. Jest to związane ze współczynnikiem temperaturowym rezystancji, który w zależności od użytego materiału przyjmuje dodatnie lub ujemne wartości.

Termistory są wykonywane ze sproszkowanych tlenków różnych metali (np. żelaza, miedzi, kobaltu, manganu, wanadu, aluminium) oraz węglanów i azotanów. Jeśli wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się rezystancja, to mamy do czynienia z termistorem typu PTC (ang. *Positive Temperature Coefficient*), jego temperaturowy współczynnik rezystancji jest dodatni. Jeśli wraz ze wzrostem temperatury rezystancja maleje (temperaturowy współczynnik rezystancji jest ujemny), to mamy do czynienia z termistorem NTC (ang. *Negative Temperature Coefficient*). Istnieją też termistory typu CTR (ang. *Critical Temperature Resistor*), których rezystancja pod wpływem temperatury zmienia się skokowo (rys. 3.1c).



**Rys. 3.1.** Termistory: a) symbol, b) charakterystyki napięciowo-prądowe, c) zależność rezystancji od temperatury

Najważniejszymi parametrami termistora są:

- rezystancja znamionowa, podawana dla temperatury  $25^{\circ}\text{C}$ ; spotykane wartości od kilku omów do megaomów;
- temperaturowy współczynnik rezystancji, także najczęściej podawany dla temperatury  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Istotna jest również charakterystyka napięciowo-prądowa.

Na rysunku 3.1b przedstawiono przykładowe charakterystyki napięciowo-prądowe termistorów. Należy zwrócić uwagę, że dla ustalonych wartości natężenia prądu  $I$  i spadku napięcia  $U$  rezystancja statyczna:

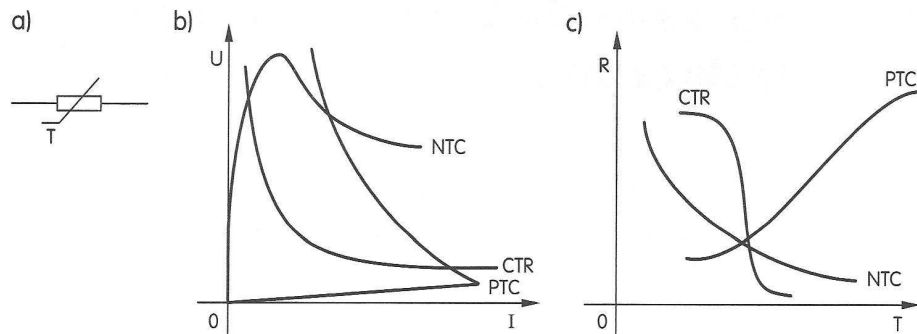
$$R_T = \frac{U}{I} \quad (3.1)$$

nie jest jednakowa. Zmiany jej wartości też nie są trwałe. Dynamikę zmian określa się rezystancją dynamiczną  $r_T$  opisaną wzorem:

$$r_T = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (3.2)$$

gdzie  $\Delta U$  i  $\Delta I$  oznaczają odpowiednio niewielkie przyrosty wartości napięcia i prądu.

Termistory są wykorzystywane w pomiarach temperatury (ale w ograniczonych zastosowaniach), do kompensacji temperaturowej w układach elektronicznych i stabilizacji temperaturowej, w układach sygnalizacji. Termistory stosuje się jako zabezpieczenia przeciw nadmiernemu prądowi np. w silnikach elektrycznych, samoregulujących elementach grzewczych, w obwodach rozmagnesowania w telewizorach kolorowych, obwodach opóźniających i do wskazywania temperatury.



**Rys. 3.1.** Termistory: a) symbol, b) charakterystyki napięciowo-prądowe, c) zależność rezystancji od temperatury

Najważniejszymi parametrami termistora są:

- rezystancja znamionowa, podawana dla temperatury  $25^{\circ}\text{C}$ ; spotykane wartości od kilku omów do megaomów;
- temperaturowy współczynnik rezystancji, także najczęściej podawany dla temperatury  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Istotna jest również charakterystyka napięciowo-prądowa.

Na rysunku 3.1b przedstawiono przykładowe charakterystyki napięciowo-prądowe termistorów. Należy zwrócić uwagę, że dla ustalonych wartości natężenia prądu  $I$  i spadku napięcia  $U$  rezystancja statyczna:

$$R_T = \frac{U}{I} \quad (3.1)$$

nie jest jednakowa. Zmiany jej wartości też nie są trwałe. Dynamikę zmian określa się rezystancją dynamiczną  $r_T$  opisaną wzorem:

$$r_T = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (3.2)$$

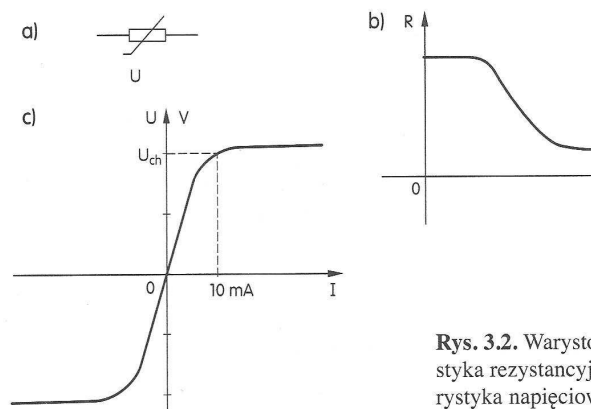
gdzie  $\Delta U$  i  $\Delta I$  oznaczają odpowiednio niewielkie przyrosty wartości napięcia i prądu.

Termistory są wykorzystywane w pomiarach temperatury (ale w ograniczonych zastosowaniach), do kompensacji temperaturowej w układach elektronicznych i stabilizacji temperaturowej, w układach sygnalizacji. Termistory stosuje się jako zabezpieczenia przeciw nadmiernemu prądowi np. w silnikach elektrycznych, samoregulujących elementach grzewczych, w obwodach rozmagnesowania w telewizorach kolorowych, obwodach opóźniających i do wskazywania temperatury.

## 3.2. Warystory

**Warystory** są rezystorami nieliniowymi, dla których rezystancja  $R$  jest funkcją doprowadzonego napięcia  $U$ .

Na rysunku 3.2b przedstawiono zależność  $R = f(U)$ , a na rys. 3.2c charakterystykę napięciowo-prądową. Parametrem charakteryzującym warystor, oprócz maksymalnej mocy  $P_{\max}$ , jaka może się w nim wydzielić, jest napięcie charakterystyczne  $U_{\text{ch}}$  określane z charakterystyki napięciowo-prądowej, najczęściej dla prądu o wartości 10 mA (alternatywnie może być określane dla prądu o wartości 1 lub 100 mA).



**Rys. 3.2.** Warystor: a) symbol, b) charakterystyka rezystancyjno-napięciowa, c) charakterystyka napięciowo-prądowa

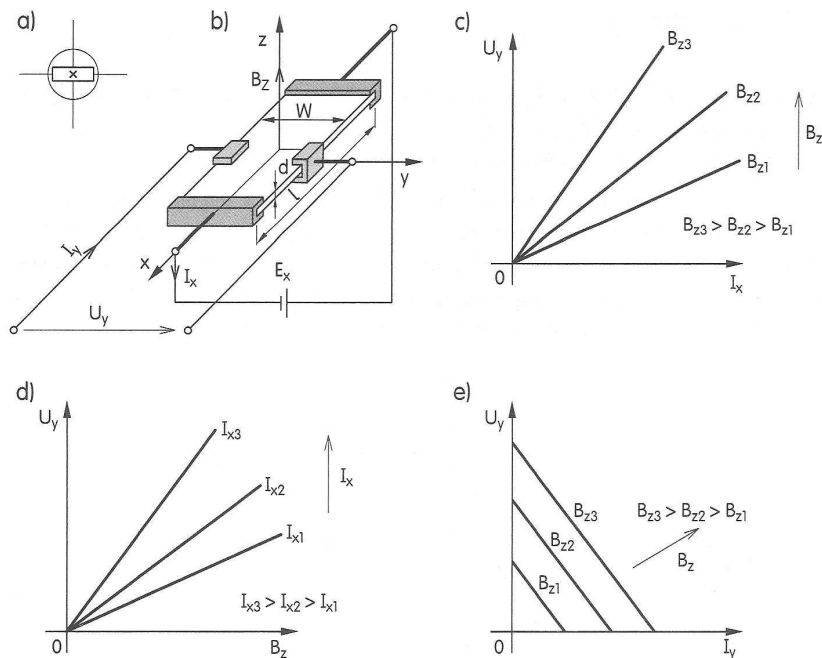
Warystory są wykonywane ze sproszkowanego węgla krzemowego (karborundu) i ceramicznego spoiwa, o kształcie walcowym i dla wyższych napięć charakterystycznych ( $470 \div 1300 \text{ V}$ ) i dyskowym – dla napięć niższych (o wartości mniejszej niż  $330 \text{ V}$ ). Znajdują one zastosowanie do stabilizacji napięć, w technice ochrony przed przepięciami jako ograniczniki napięcia, oraz w pomiarach i w automatyce.

## 3.3. Hallotrony

W niektórych półprzewodnikach (np. w krzemie, germanie) przewodzących prąd o natężeniu  $I_x$  i jednocześnie umieszczonych w polu magnetycznym o indukcji  $B_z$ , występuje **zjawisko Halla**. Polega ono na tym, że na przeciwległych ściankach płytki z półprzewodnika (rys. 3.3b) powstaje różnica potencjałów  $U_y$ , odpowiadająca napięciu Halla  $U_H$ , opisana wzorem:

$$U_y = U_H = \frac{R_H}{d} I_x B_z = \gamma I_x B_z \quad (3.3)$$

gdzie:  $R_H$  – współczynnik Halla;  $d$  – grubość płytki ( $10 \div 300 \mu\text{m}$ , zależnie od techniki wytwarzania);  $\gamma = \frac{R_H}{d}$  – czułość płytki półprzewodnikowej zwanej hallotronem.



Rys. 3.3. Hallotron: a) symbol; b) budowa; c, d, e) charakterystyki statyczne

**Hallotrony** są elementami półprzewodnikowymi generującymi sygnał napięciowy pod wpływem pola magnetycznego, działającego na płytkę hallotronową przewodzącą prąd.

Można w nich wyróżnić dwa obwody wejściowe (sygnały sterujące, od których zależy wartość sygnału wyjściowego: prąd  $I_x$ , indukcja magnetyczna  $B_z$ ) i jeden obwód wyjściowy (sygnałem jest napięcie  $U_y$ ). Właściwości hallotronu opisują trzy rodzaje charakterystyk statycznych:

- oddziaływania prądu sterującego  $I_x$  na wartość napięcia wyjściowego  $U_y = f(I_x)$ , przy  $B_z = \text{const}$  (rys. 3.3c);
- oddziaływania pola magnetycznego  $B_z$  na napięcie wyjściowe  $U_y = f(B_z)$ , przy  $I_x = \text{const}$  (rys. 3.3d);
- wyjściowa (zależność napięcia wyjściowego od prądu wyjściowego)  $U_y = f(I_y)$ , przy  $B_z = \text{const}$  i  $I_x = \text{const}$  (rys. 3.3e).

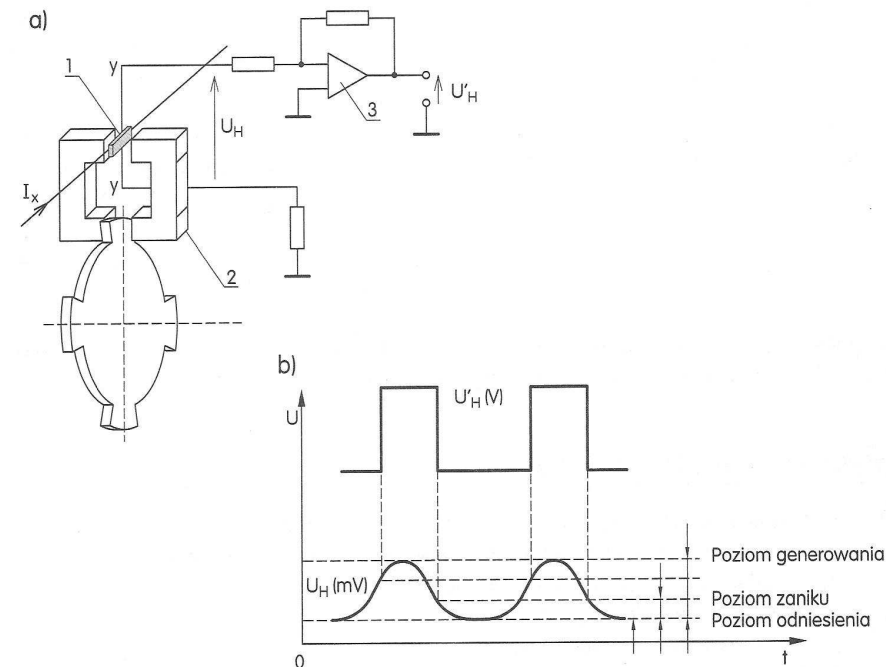
Hallotrony są stosowane głównie jako czujniki pomiarowe wielkości elektrycznych (natężenia prądu) i nieelektrycznych (kąta obrotu, amplitudy drgań, niewielkich przesunięć).

### PRZYKŁAD 3.1

Jeżeli przyjmijemy, że prąd  $I_x = \text{const}$ , a sygnałem pomiarowym jest indukcja magnetyczna  $B_z$  wokół przewodu wiodącego prąd o natężeniu  $I$  (pole magnetyczne zostało wytworzone przez prąd  $I$ ), to indukowane w hallotronie napięcie  $U_y$  jest miarą wartości prądu  $I$ . Taka „nieinwazyjna” metoda pomiaru prądu jest powszechnie stosowana w elektrotechnice samochodowej do badania akumulatorów, rozruszników i układów zapłonowych w czasie pracy. Nie wymaga włączania amperomierza w obwód prądowy. Pomiar odbywa się pośrednio, przez pomiar indukcji  $B_z$  pola magnetycznego wytworzonego wokół przewodu wiodącego prąd. Na podobnej zasadzie działają próbniki do wykrywania przewodów ułożonych w tynku, kabli ułożonych w gruncie itp.

### PRZYKŁAD 3.2

Na rysunku 3.4 przedstawiono zasadę działania czujnika do pomiaru prędkości obrotowej w aparacie zapłonowym z wykorzystaniem hallotronu. Zmiana indukcji  $B_z$  przenikającej płytkę Halla jest wywoływana przez zmianę reluktancji szczeliny powietrznej spowodowanej pojawieniem się zęba tarczy obrotowej. Sygnał napięciowy generowany



Rys. 3.4. Czujnik hallotronowy do pomiaru prędkości obrotowej: a) zasada działania, b) przebieg czasowy generowanego napięcia;

1 – płytkę Halla, 2 – źródło pola magnetycznego, 3 – wzmacniacz

przez hallotron jest proporcjonalny do indukcji  $B_x$  pola magnetycznego przenikającego ten element (przy  $I_x = \text{const}$ ). Przebieg generowanego napięcia pokazano na rys. 3.4b.

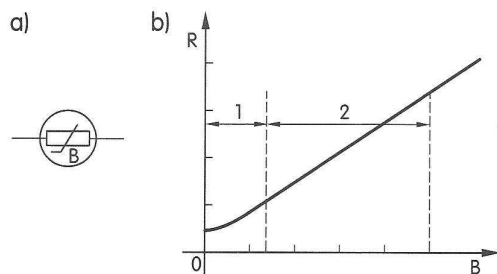
Zmiany temperatury oraz pasywnicze pola magnetyczne mają duży wpływ na dokładność pomiaru czujnikiem hallotronowym.

### 3.4. Gaussotrony

**Gaussotron**, zwany też magnetorezystorem, jest elementem półprzewodnikowym o rezystancji zależnej od indukcji pola magnetycznego.

Materiałem najczęściej stosowanym do budowy gaussotronu jest antymonek indu (półprzewodnik wykazujący dużą ruchliwość nośników ładunku). Jest on nanoszony na podłoże ceramiczne metodą klejenia lub natrysku. Na charakterystyce przedstawiającej zależność rezystancji gaussotronu od indukcji pola magnetycznego wyróżnia się dwa zakresy (rys. 3.5b):

- zależność kwadratowa dla małych wartości indukcji magnetycznej,
- zależność liniowa dla większych wartości indukcji magnetycznej.



**Rys. 3.5.** Gaussotron:  
a) symbol, b) przykładowa charakterystyka  $R = f(B)$   
1 – zakres zależności kwadratowej, 2 – zakres zależności liniowej

Temperaturowy współczynnik rezystancji gaussotronu jest nieliniową funkcją temperatury i zależy także od indukcji pola magnetycznego.

### Pytania i zadania kontrolne

1. Wymień poznane półprzewodnikowe elementy bezzłączowe.
2. Na podstawie charakterystyk napięciowo-prądowych omów rodzaje termistorów.
3. Podaj przykłady zastosowania termistorów w technice.
4. Wyjaśnij, co to jest warystor.
5. Omów zastosowania hallotronu.
6. Co to jest gaussotron?
7. Wyjaśnij, dlaczego poznane półprzewodnikowe elementy bezzłączowe są rezystorami nieliniowymi.