



Detekcja promieniowania elektromagnetycznego

I. Wyznaczenie czułości globalnej detektora

Cel ćwiczenia: Kalibracja detektora promieniowania elektromagnetycznego

Opis stanowiska

Stanowisko przedstawia rys. 1.

Model ciała doskonale czarnego. Średnica otworu wyjściowego CDC jest równa 12.5mm.

Maksymalny prąd grzania - 2.5 A.

Autotransformator i transformator bezpieczeństwa.

Amperomierz.

Termopara Pt-RhPt, do której podłączony jest miernik cyfrowy V 544.

Modulator mechaniczny z układem umożliwiającym pomiar częstotliwości modulacji. W skład układu wchodzi dioda LED zasilana napięciem 6V (z zasilacza ZS 0.2/6/1) i fotodioda, wmontowane w obudowę modulatora.

Oscyloskop służący do obserwacji napięcia fotodiody.

Detektor piroelektryczny o powierzchni 9mm² z przedwzmacniaczem zasilanym baterią 3V.

Nanowoltomierz selektywny. W przypadku słabego sygnału mierzonego z detektora, można zastosować przedwzmacniacz 233-7-1. Jeśli oporność detektora jest rzędu pojedynczych Ω , jak w przypadku termopary, która jest detektorem promieniowania elektromagnetycznego należy dodatkowo zastosować transformator ze zworą (rys. 2).

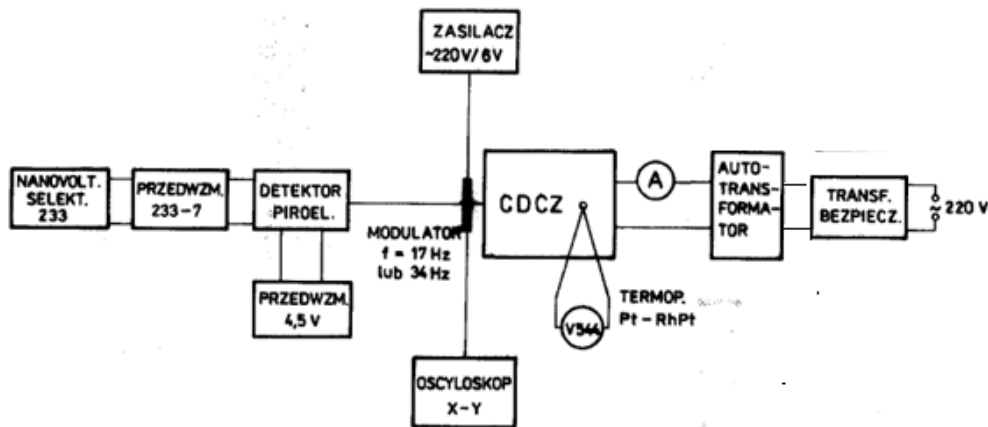
$$\Delta U = \pm \frac{(4U + 2U_c)}{100} \quad \text{gdzie } U_c \text{ –zakres, } U \text{ – aktualne wskazanie miernika.}$$



Detekcja promieniowania elektromagnetycznego

Przebieg ćwiczenia:

1. Połączyć układ pomiarowy wg schematu przedstawionego na rys.1. **Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego można** wykonywać pomiary.



Rys.1.

Pomiar częstości modulacji odbywa się przy pomocy oscyloskopu. W obudowie modulatora umieszczono LED i fotodiode. Światło LED odbite od tarczy modulatora padające na ten czujnik jest modulowane w taki sam sposób, jak promieniowanie emitowane przez CDC, padające na badany detektor. Fotonapięcie przemienne jest podawane z czujnika na wejście oscyloskopu, który umożliwia pomiar okresu przebiegu.

Pomiar temperatury odbywa się za pomocą termopary Pt- PtRh (10%Rh). Poniższa tabela przedstawia siłę elektromotoryczną dla tej termopary w funkcji temperatury (w $^{\circ}\text{C}$) przy założeniu, że spójnie odniesienia znajduje się w temperaturze 0°C . Należy uwzględnić, że w ćwiczeniu spójnie znajduje się w temperaturze otoczenia, lub też zanurzyć spójnie odniesienia w termosie z mieszaniną wody i lodu.

Przykład:

Końcówka termopary nie jest zanurzona w zbiorniku wody z lodem. Temperatura odniesienia nie jest równa 0°C lecz wg wskazań termometru wynosi 27°C .

Wartość siły elektromotorycznej wynosi 1.35 mV , co wg tabeli odpowiada temperaturze 190°C .

Jaka jest rzeczywista temperatura CDC w skali K ?

$$190 + 27 + 273 = 490\text{K}$$



Detekcja promieniowania elektromagnetycznego

Siła elektromotoryczna (w mV) termoelementu Pt-Pt Rh (10% Rh)

Temperatura [°C]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,06	0,11	0,17	0,24	0,30	0,36	0,43	0,50	0,57
100	0,64	0,72	0,79	0,87	0,95	1,02	1,10	1,18	1,26	1,35
200	1,43	1,52	1,60	1,69	1,78	1,86	1,95	2,04	2,13	2,22
300	2,31	2,40	2,50	2,59	2,68	2,77	2,87	2,96	3,05	3,15
400	3,24	3,34	3,44	3,53	3,63	3,73	3,82	3,92	4,02	4,12
500	4,22	4,31	4,41	4,51	4,61	4,71	4,82	4,92	5,02	5,12
600	5,22	5,32	5,43	5,53	5,63	5,74	5,84	5,94	6,05	6,16
700	6,26	6,37	6,47	6,58	6,68	6,79	6,89	7,01	7,11	7,22
800	7,33	7,44	7,55	7,66	7,77	7,88	7,99	8,10	8,21	8,32
900	8,43	8,54	8,66	8,77	8,89	9,00	9,11	9,22	9,34	9,46
1 000	9,57	9,68	9,80	9,92	10,03	10,15	10,27	10,38	10,50	10,62
1 100	10,74	10,86	10,98	11,10	11,21	11,33	11,45	11,57	11,69	11,81
1 200	11,93	12,05	12,17	12,29	12,41	12,53	12,65	12,77	12,89	13,01
1 300	13,13	13,25	13,37	13,49	13,61	13,73	13,85	13,97	14,09	14,21
1 400	14,33	14,45	14,58	14,70	14,82	14,94	15,06	15,19	15,31	15,43
1 500	15,55	15,67	15,79	15,91	16,03	16,15	16,27	16,39	16,51	16,63
1 600	16,75	16,87	16,99	17,11	17,23	17,35	17,47	17,59	17,71	17,83
1 700	17,95	18,07	18,19	18,31	18,43	18,55				

- Narysować wykres $\varepsilon(T)$ i korzystając z tego wykresu wyznaczyć temperaturę T(K) dla dowolnej wartości siły elektromotorycznej.
2. Wyznaczenie zależności napięcia na wyjściu badanego detektora od temperatury CDC
- Ustawić napięcie na autotransformatorze ok. 80V.
 - Kiedy temperatura CDC osiągnie wartość ok. 80⁰C zoptymalizować położenie detektora względem otworu wyjściowego CDC tak, aby uzyskać możliwie największy sygnał na wyjściu detektora.
 - Wykonać pomiar sygnału detektora w trakcie rozgrzewania ciała doskonale czarnego w funkcji temperatury aż do temperatury 500K (tj. ok. 227 ⁰C) dla $f_1 \cong 8$ Hz i stałej odległości detektora od otworu emitującego CDC (około 20cm).
3. Sprawdzenie prawa odwrotnych kwadratów.
- Ustawić napięcie na transformatorze równe ok. 60V. Przy tym napięciu model CDC osiąga stan równowagi termodynamicznej w temperaturze ok. 500K,
 - Odczekać, aż ustali się stan równowagi termodynamicznej. Wówczas wskazania napięcia na termoparze nie zmieniają się więcej niż o 0.01mV.
 - Dla ustalonej temperatury CDC, równej ok. 500K, wykonać pomiar sygnału z detektora w funkcji odległości d od otworu emitującego CDC w zakresie 20-50 cm co 3cm.

Opracowanie wyników

- Wyznaczenie czułości detektora



Detekcja promieniowania elektromagnetycznego

- Narysować wykres $U_{\text{det}} = f(T^4 - T_0^4)$ gdzie T_0 jest temperaturą otoczenia (w K).
 - Wyznaczyć metodą regresji liniowej współczynnik kierunkowy prostej. Na tej podstawie obliczyć czułość detektora korzystając ze wzorów (4) i (5). W obliczeniach uwzględnić poprawkę wynikającą z kształtu modulacji (modulacja prostokątna).
 - Wyznaczyć niepewność współczynnika kierunkowego prostej i na tej podstawie obliczyć niepewność czułości detektora.
2. Sprawdzenie prawa odwrotnych kwadratów.
- Narysować wykres $U_{\text{det}} = f(1/d^2)$ gdzie d jest odległością detektora od otworu emitującego CDC.
 - Zaznaczyć na wykresie niepewności pomiarowe.
 - Korzystając z tego wykresu oszacować zakres odległości, dla których prawo odwrotnych kwadratów jest spełnione.
3. Ocenic parametry badanego detektora na tle danych dla innych detektorów termicznych, ze szczególnym uwzględnieniem detektorów piroelektrycznych.

Wstęp teoretyczny

Detektor piroelektryczny – zasada działania

Pewna grupa kryształów charakteryzuje się spontaniczną polaryzacją elektryczną przy zmianach temperatury. Są to kryształy piroelektryczne. Należą do nich m.in. kryształy ferroelektryczne siarczan trójglicyny TGS, SBN ($\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$) oraz PLZT (związek ołowiu z cyrkonem i tytanem domieszkowany lantanem). W stałej temperaturze nie obserwuje się zewnętrznego pola elektrycznego wskutek przyciągania rozproszonych ładunków atmosferycznych i wychwytywania ich na powierzchni aż do zneutralizowania pola polaryzacji. Związany ładunek powierzchniowy jest stabilny i nie zmienia się przy szybkich zmianach temperatury. Natomiast zmiany temperatury powodują zmiany spontanicznej polaryzacji, którą można mierzyć doświadczalnie. Dlatego detektory piroelektryczne wymagają modulacji strumienia promieniowania.

Wielkością charakteryzującą materiały piroelektryczne jest współczynnik piroelektryczny:

$$p_e = \frac{\partial P_e}{\partial T} \quad (1)$$

określony jako stosunek zmiany polaryzacji elektrycznej P_e do zmiany temperatury. Dla siarczanu trójglicyny, materiału najczęściej stosowanego do budowy detektorów, $p_e = 2 \cdot 10^{-8} \text{Ccm}^{-2}\text{K}^{-1}$.



Detekcja promieniowania elektromagnetycznego

Modulowane promieniowania podczerwone zaabsorbowane przez detektor piroelektryczny powoduje wzrost temperatury materiału ΔT , a tym samym zmianę ładunku powierzchniowego ΔQ :

$$\Delta Q = p_e A \Delta T \quad (2)$$

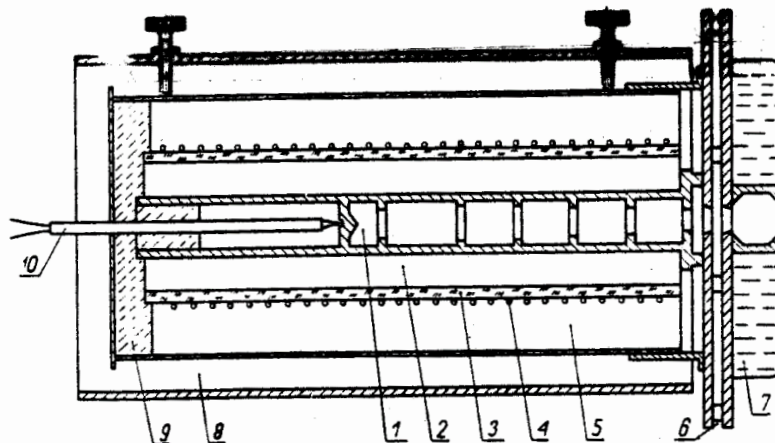
gdzie A jest powierzchnia absorbująca detektora. Fotoprąd jest dany wzorem:

$$i_s = \frac{d(\Delta Q)}{dt} = p_e A \frac{d(\Delta T)}{dt} \quad (3)$$

Przy konstruowaniu detektora piroelektrycznego należy brać pod uwagę parametry elektryczne i termiczne stosowanych materiałów. Detektor piroelektryczny to zwykle cienka płytka monokrystaliczna o powierzchni ok. 1mm^2 i grubości $10\text{-}30\mu\text{m}$ oraz osi piroelektrycznej prostopadłej do powierzchni. Na obydwie powierzchnie nałożone są elektrody metalowe w postaci cienkiej warstwy napyłanej w próżni, przy czym elektroda czołowa jest półprzezroczysta. Z uwagi na duży opór detektora rzędu $10^{10}\Omega$ bezpośrednio na wyjściu znajduje się tranzystor polowy dopasowujący impedancję do przedwzmacniacza.

Parametry detektora piroelektrycznego są znacznie lepsze niż detektorów termicznych pracujących w temperaturze pokojowej. Detektor piroelektryczny nie wymaga chłodzenia a optymalną temperaturą pracy jest temperatura pokojowa. Czułość spektralna jest stała od ultrafioletu do mikrofal. Czynnikiem ograniczającym zakres spektralny jest okno zabezpieczające detektor przed wpływami atmosferycznymi.

Model ciała doskonale czarnego



Model CDC: 1-wnęka, 2- termostat, 3-rura ceramiczna, 4-grzejnik, 5-izolacja cieplna, 6-szczelina na tarczę modulatora, 7-chłodnica wodna, 8-płaszcz powietrzny, 9- azbest, 10 - termoelement

Wzory do obliczeń w sprawozdaniu.



Detekcja promieniowania elektromagnetycznego

1. Strumień promieniowania emitowany przez CDC, padający na detektor o powierzchni A_d :

$$\Phi = \frac{0.45\sigma(T^4 - T_0^4)}{\pi d^2} A_{\text{zr}} A_d [\text{W}] \quad (4)$$

gdzie d – odległość detektora od CDC, A_{zr} – powierzchnia otworu wyjściowego CDC, 0.45 – czynnik związany z modulacją prostokątną światła, σ – stała Stefana – Boltzmann, T – temperatura CDC (w K), T_0 – temperatura otoczenia (w K).

2. Czulość napięciowa detektora (przy zadanej częstotliwości):

$$R_v = \frac{U_d}{\Phi} [\text{V} / \text{W}], \quad (5)$$

gdzie U_d jest napięciem na wyjściu detektora (po uwzględnieniu wzmocnienia przedwzmacniacza).

Literatura

Wykład 1, 6b i 9 „Źródła i detektory”.

Pytania kontrolne.

1. Napięcie przemienne (amplituda, wartość skuteczna, okres, częstość)
2. Prawo Stefana-Boltzmann promieniowania CDC.
3. Zasada działania termopary, jako czujnika temperatury.
4. Zasada działania termopary, jako czujnika promieniowania elektromagnetycznego.
5. Detektor piroelektryczny.