

63. Olimpiada Fizyczna (2013/2014) Zawody III stopnia – część doświadczalna

Wafelek PrincePolo opakowany jest w folię składającą się z dwóch różnej grubości warstw identycznego dielektryka rozdzielonych warstwą aluminium.

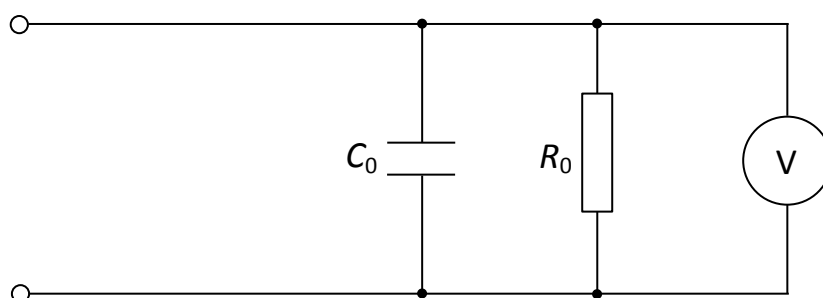
Masz do dyspozycji:

- wafelek PrincePolo w opakowaniu,
- oscyloskop,
- generator sygnału prostokątnego,
- 2 kable z miedzianymi blaszkami na końcach,
- zacisk krokodylkowy,
- torebkę cukru do wykorzystania jako obciążnik,
- papier milimetrowy.

Wyznacz iloraz grubości warstw dielektrycznych opakowania wafelka.

Uwagi:

1. Oscyloskop jest przyrządem mierzącym czasowy przebieg napięcia. Ma on stały opór wewnętrzny R_0 i pojemność C_0 . Jego obwód zastępczy jest przedstawiony na rysunku.
2. Skrócone instrukcje obsługi generatora i oscyloskopu znajdują się przy przyrządach.
3. Nie otwieraj torebki cukru.
4. Wafelek możesz zjeść.



ROZWIĄZANIE:

Część teoretyczna

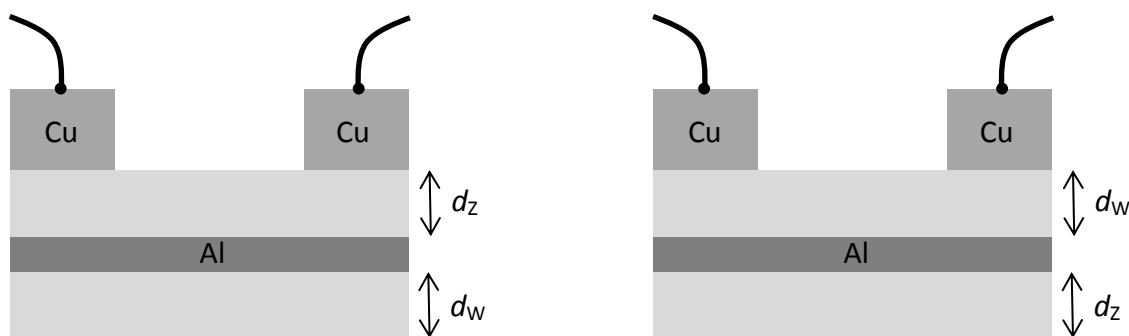
W celu wyznaczenia szukanego ilorazu grubości warstw dielektrycznych zostanie wykorzystany fakt, że pojemność C kondensatora płaskiego o powierzchni okładek S , odległości pomiędzy okładkami d oraz względnej przenikalności dielektrycznej materiału wypełniającego przestrzeń między okładkami ε dana jest wzorem

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S / d, \quad (1)$$

gdzie ε_0 to przenikalność dielektryczna próżni. Niech d_z i d_w oznaczają odpowiednio grubość zewnętrznej i wewnętrznej warstwy dielektryka w opakowaniu wafelka. Ich iloraz jest równy odwrotności ilorazu pojemności kondensatorów, w których jedną okładkę stanowi warstwa aluminiowa w opakowaniu, a drugą inny kawałek metalu, np. płytka miedziana:

$$d_z / d_w = C_w / C_z.$$

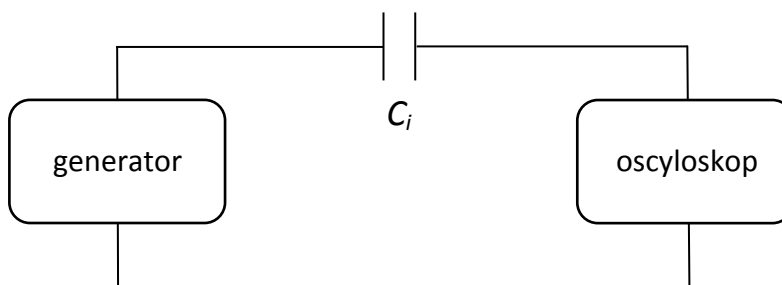
Ponieważ dostępny zestaw eksperymentalny nie pozwala na wykonanie elektrycznego połączenia z warstwą aluminiową opakowania wafelka, należy zestawić następujące dwa układy, których pojemności zastępcze wynoszą $C_1 = C_z/2$ i $C_2 = C_w/2$:



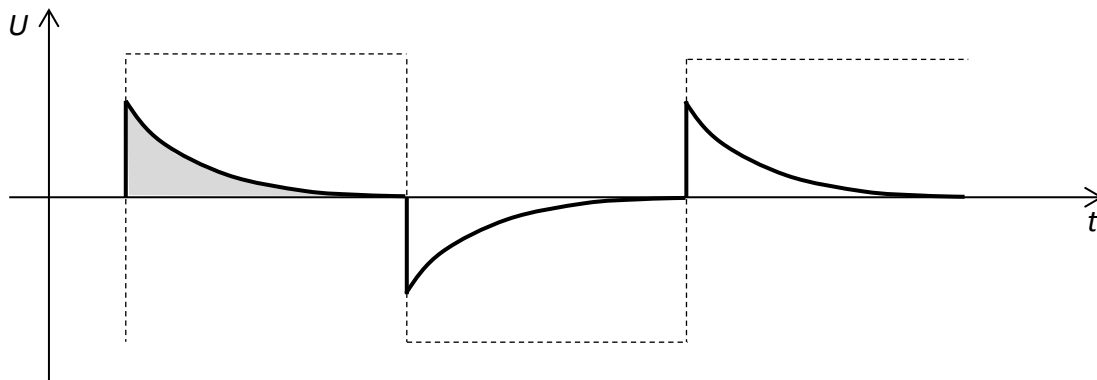
Pojemność kondensatora jest proporcjonalna do ładunku zgromadzonego na nim przy ustalonym napięciu ($i = 1,2$): $C_i = Q_i / U_i$. Zatem wyznaczenie zgromadzonych ładunków Q_1 i Q_2 pozwoli na obliczenie szukanego ilorazu grubości warstw dielektrycznych:

$$d_z / d_w = C_w / C_z = C_2 / C_1 = Q_2 / Q_1. \quad (2)$$

W celu wyznaczenia ładunków Q_1 i Q_2 można wykorzystać generator i oscyloskop w następującym układzie pomiarowym:



Z generatora podawane jest napięcie o prostokątnym przebiegu czasowym. Po każdym pionowym zboczu tego sygnału następuje przeładowanie kondensatora C_i :

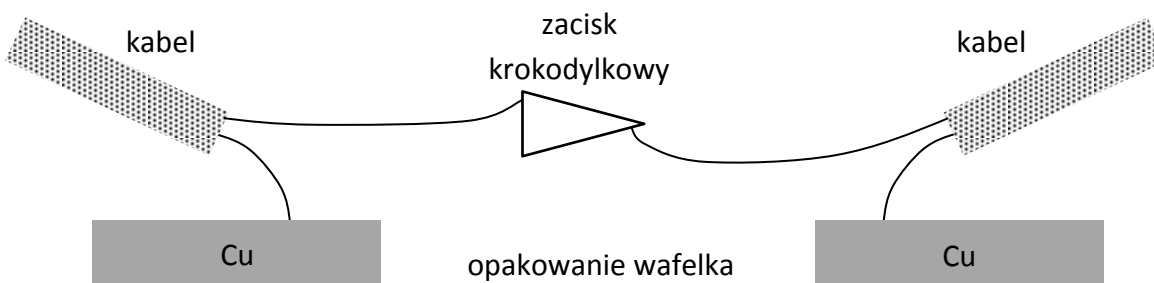


Gdy napięcie z generatora jest stałe, to sygnał rejestrowany przez oscyloskop jest wynikiem przepływu ładunku gromadzonego na kondensatorze. Rozważmy przypadek, gdy pojemność oscyloskopu jest zerowa: wówczas cały ładunek przepływa przez opór wewnętrzny oscyloskopu R_0 . Ponieważ oscyloskop mierzy czasowy przebieg napięcia na R_0 , to jego wskazanie w każdej chwili jest proporcjonalne do natężenia prądu płynącego przez oscyloskop. Zatem zacieniowane na rysunku powyżej pole powierzchni A_i pod krzywą pojedynczego zaniku napięcia jest proporcjonalne do całkowitego ładunku Q_i zgromadzonego na kondensatorze C_i . Zauważmy, że obecność pojemności wewnętrznej oscyloskopu nie zmienia tego wyniku. Gdy kondensator C_i jest naładowany do maksymalnego napięcia, to prąd przez oscyloskop nie płynie, a więc napięcie i ładunek na pojemności wewnętrznej oscyloskopu wynosi 0. Po rozładowaniu kondensatora C_i ładunek i napięcie na pojemności wewnętrznej oscyloskopu również wynosi 0. Zatem obecność pojemności wewnętrznej nie zmienia całkowitego ładunku jaki przepływa przez opór wejściowy oscyloskopu. Zatem:

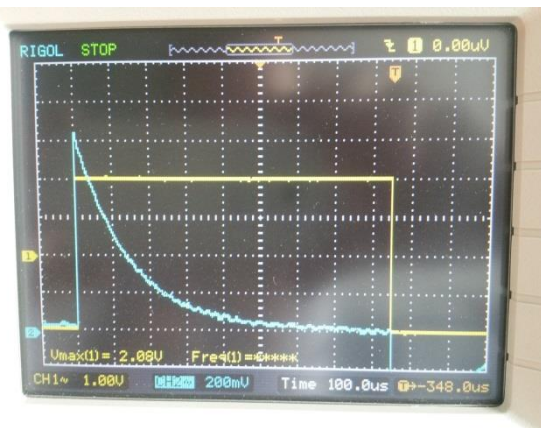
$$d_z/d_w = A_2/A_1. \quad (3)$$

Część doświadczalna

Z dostępnych urządzeń i elementów należy zestawić układ jak na rysunku poniżej:

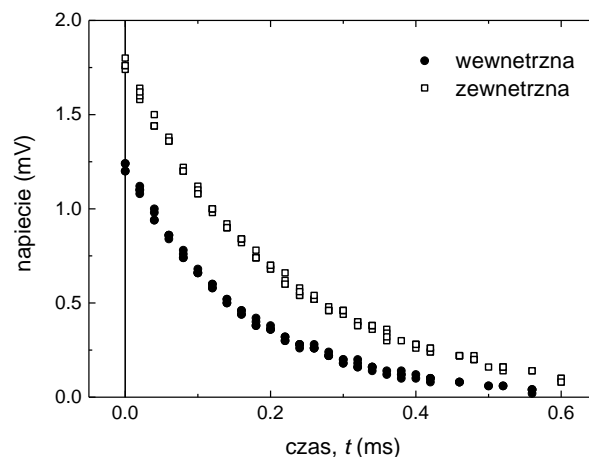


Torebkę cukru należy położyć na wierzch, aby przycisnąć blaszki do opakowania wafelka. Uruchomiwszy generator i oscyloskop należy tak dobrać częstotliwość generowanego sygnału prostokątnego, aby obserwowany zanikający sygnał napięcia osiągnął znikomą wartość w czasie krótszym niż połowa okresu generowanego sygnału.



Następnie należy tak dobrać poziomą i pionową skalę oscyloskopu, aby obserwowany sygnał wypełnił ekran. Dzięki temu można dokładniej zmierzyć pole powierzchni pod krzywą zanikającego napięcia. Ponieważ główne linie poziomej i pionowej podziałki oscyloskopu są odległe o około 1 cm, zatem mierzenie pola powierzchni bezpośrednio na ekranie nie gwarantuje dostatecznej dokładności. Korzystniej jest przenieść przebieg napięcia jako funkcji czasu na papier milimetrowy – można to zrobić przesuwając obserwowany sygnał względem głównych osi współrzędnych wyświetlonych na ekranie oscyloskopu.

Dla obu stron opakowania wafelka wykonano 4 serie pomiarów, których wyniki przedstawiono na poniższym rysunku:



Następnie dla obu stron opakowania wyznaczono z 4 serii pomiarowych średnie wartości napięcia jako funkcji czasu i obliczono średnie pola powierzchni A_1 , A_2 obszaru ograniczonego serią danych, osiami układu współrzędnych oraz osią $t=0,56$ ms lub $t=0,60$ ms (odpowiednio dla wewnętrznej i zewnętrznej strony). Pola powierzchni wyznaczono poprzez całkowanie metodą prostokątów. Ostatecznie iloraz grubości warstw dielektrycznych wyniósł

$$d_z/d_w = A_2/A_1 = 1,8 \pm 0,2$$

którego niepewność pomiarową oszacowano na podstawie obserwowanego na powyższym wykresie pionowego rozrzutu wartości napięcia. Czasowe przebiegi napięcia zarejestrowane dla obu strony opakowania nie osiągnęły wartości zerowej, jednak dla strony zewnętrznej odstępstwo od całkowitego wygaszenia jest większe. Zatem można spodziewać się, że wyznaczona wartość pola powierzchni A_2 , a tym samym szukanego ilorazu grubości jest zaniżona.