|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Wydział  EAIiIB | Imię i nazwisko  1. Paweł Bukowiec  2. Michał Drabik | |  | Rok  2025 |  | Grupa  1 | Zespół  1 |
| **PRACOWNIA**  **FIZYCZNA**  **WFiIS AGH** | Temat: Modelowanie Pola Elektrycznego | | | | | | Nr ćwiczenia  31 |
| Data wykonania  04.04.2025 | Data oddania | Zwrot do popr. | Data oddania | | Data zaliczenia | | OCENA |

**Ćwiczenie nr 31: Modelowanie pola elektrycznego**

# Cel ćwiczenia

Wyznaczenie linii ekwipotencjalnych i wektorów natężenia pola elektrycznego na płaszczyźnie dla różnych konfiguracji elektrod.

**Wstęp teoretyczny**

Elektrostatyczne pole w przestrzeni powstaje na skutek obecności nieruchomych ładunków elektrycznych. Aby określić, jak to pole wygląda dla konkretnego układu ładunków, należy wyznaczyć funkcje opisujące jego natężenie E(x, y, z) oraz potencjał skalarny V(x, y, z) w każdym punkcie przestrzeni. Można to zrobić matematycznie, rozwiązując fundamentalne równania elektrostatyki, takie jak równanie Gaussa, Laplace’a czy Poissona, albo uzyskać wyniki w sposób doświadczalny.

Bezpośredni pomiar pola elektrycznego jest trudny, ponieważ użycie sondy wprowadza poważne zakłócenia w badanym polu. Dlatego w eksperymentach często stosuje się metody analogowe, polegające na zastąpieniu pola elektrostatycznego innym polem, które opisują takie same równania, ale które jest łatwiejsze do zmierzenia. Przykładem takiego modelu może być pole elektryczne powstałe przy ustalonym przepływie prądu w materiale o jednorodnej oporności właściwej.

Wartości potencjału uzyskuje się poprzez pomiar napięcia za pomocą woltomierza o bardzo dużej rezystancji wewnętrznej, w punktach siatki umieszczonej na płaszczyźnie (zob. rys. 1). Gęsto rozmieszczając punkty pomiarowe, można wyznaczyć kształt linii ekwipotencjalnych. Na ich podstawie możliwe jest następnie określenie wartości natężenia pola elektrycznego oraz przebiegu linii sił pola.

Licząc gradient potencjału, możemy policzyć przybliżona wartość natężenia pola elektrycznego, zakładając, że pole liczymy dla przestrzeni 2 wymiarowej:

Obraz zawierający Czcionka, tekst, linia, pismo odręczne

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Gdzie h i k są zmianami we współrzędnych, a u nas krokami w siatce pomiarowej. U nas k = h.

Obraz zawierający diagram, linia, tekst, rysowanie

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

**Kondensatory**

Kondensatory to proste elementy zdolne gromadzenia energii w polu elektrycznym. Zbudowany z dwóch okładek oddzielonych dielektrykiem. Zgromadzony ładunek na powierzchni elektrod wytwarza pole elektryczne między nimi, wewnątrz dielektryka.

Jednym z kondensatorów jest kondensator płaski. Wewnątrz kondensatora powstają linie jednorodnego pola elektrycznego, który można wyrazić:

Obraz zawierający zegar, Czcionka, zrzut ekranu, numer

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Gdzie *U* to napięcie przyłożone między okładki, a *d* to odległość między okładkami

Z kolei potencjał narasta liniowo od zera (uziemiona elektroda) do napięcia zasilania:

Obraz zawierający Czcionka, numer, tekst, typografia

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

# Jednak pole jednorodne to nie jedyne pole występujące w kondensatorze. Jest jeszcze pole niejednorodne występujące po bokach okładek. Wynikiem tego pola jest zwiększenie całkowitej efektywnej pojemości kondensatora. Pole to nazywamy rozproszonym.

**Kondensator cylindryczny**

Stanowi on bardzo prostą konfigurację ładunków, dla której łatwo można znaleźć rozkład pola elektrostatycznego zarówno na drodze analitycznej jak i doświadczalnie.

Obraz zawierający tekst, szkic, diagram, rysowanie

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Zgodnie z prawem Gaussa na zewnątrz kondesnatora i w środku nie ma pola elektrycznego. Pole elektryczne występuje tylko między okładkami czyli dla *rwew < r < rzew*

Potencjał:

Obraz zawierający Czcionka, tekst, biały, design

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Natężenie pola:

Obraz zawierający Czcionka, linia, biały, tekst

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Bardzo ważne, żeby zauważyć niezależność od długości kondensatora *l* co sprawia, że pole elektryczne możemy badać na 2 pierścieniach (jeden wewnątrz drugiego).

# Układ pomiarowy

Układ pomiarowy składa się z modelowej płyty służącej do badania rozkładu pola elektrostatycznego, a także zasilacza oraz cyfrowego woltomierza. Do dyspozycji są różne rodzaje płyt, które odwzorowują różne typy kondensatorów: płaski, cylindryczny oraz kondensator o nieregularnym kształcie elektrod.

Modelowe płyty zawierają metalowe elektrody umieszczone na czarnym, przewodzącym prąd papierze. Całość pokryta jest warstwą folii izolacyjnej, w której wykonano otwory umożliwiające punktowe pomiary potencjału.

Zatem potrzebny sprzęt to:

* Zasilacz laboratoryjny
* Woltomierz
* Płyta modelująca kondensator płaski i cylindryczny
* Sonda
* Przewody

Schemat układu na przykładzie modelu kondensatora cylindrycznego:

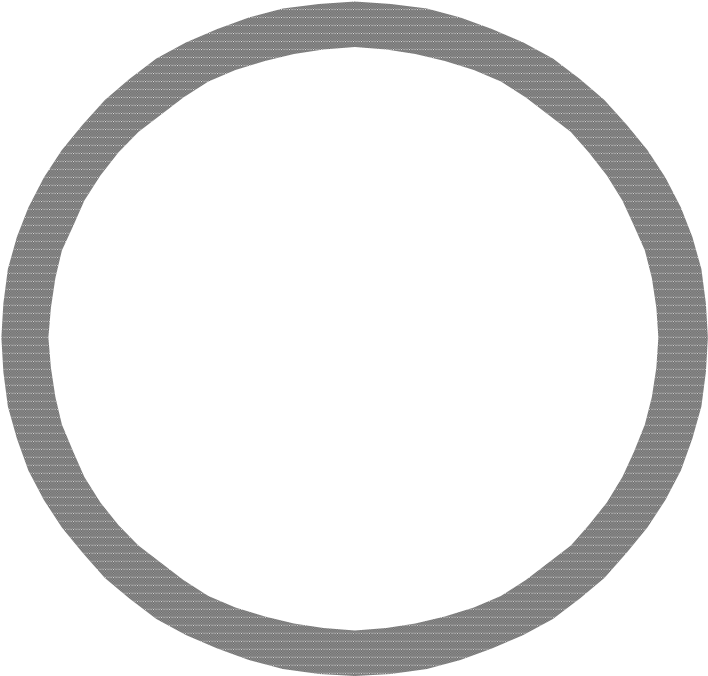
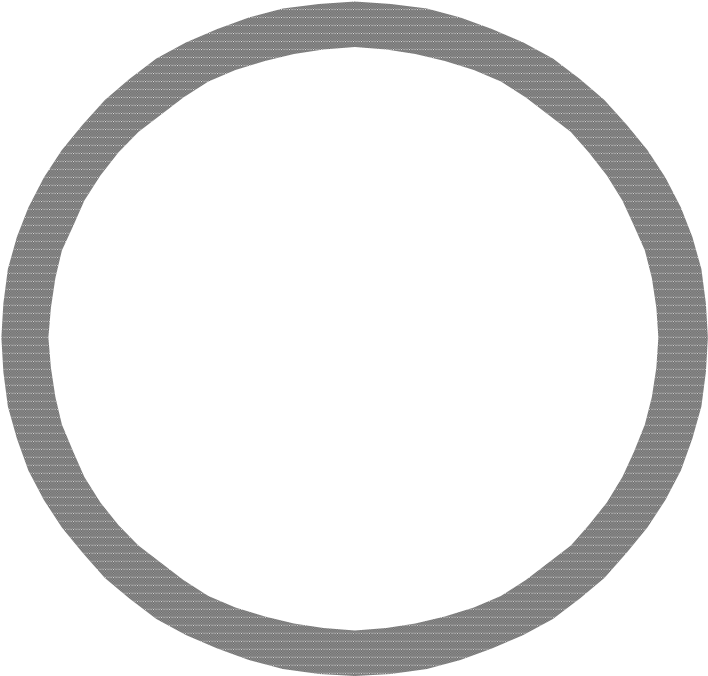
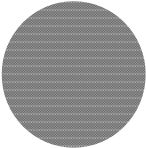
Zasilacz

10

V

Woltomierz

cyfrowy



r

a

r

b

r

c

**Wykonanie ćwiczenia**

## Uwagi wstępne

− Połącz obwód elektryczny jak na rys.2 z użyciem zaleconej płyty modelowej.

− Ustaw napięcie zasilacza na wartość 10V.

− Przy pomocy sondy zmierz wartość potencjału w różnych punktach płyty. **Uwaga!** Poprawny pomiar wymaga zastosowania odpowiedniej, tzn. zapewniającej dobry kontakt elektryczny z papierem lecz nie powodującej jego uszkodzenia, siły nacisku sondy.

## A. Badanie pola kondensatora płaskiego

|  |  |
| --- | --- |
|  | Zadanie polega na wyznaczeniu pola w dwu obszarach kondensatora płaskiego: |
| − | *Wewnątrz* kondensatora - wzdłuż kierunków *a,* *b*, *c* pokazanych na rys. 3. Zmierzone wartości potencjału wpisujemy do tabeli 1. |
| − | *Na zewnątrz* kondensatora - w obszarze wskazanym przez prowadzącego i obejmującym ok. 50 punktów. Wyniki pomiarów nanosimy bezpośrednio na rys. 3. |

## B. Badanie pola kondensatora cylindrycznego

Pomiary potencjałuwykonujemywzdłuż trzech promieni: *ra, rb, rc*. Wyniki nanosimy na rys. 4

oraz wpisujemy do tabeli 2.

## 

## 3. Wyniki pomiarów

**Wariant A.**

**Odległość miedzy okładkami *d* = 120 mm**

**Odlegslosc miedzy punktami *x***

**Niepwewnosc linijki 1mm**

**Woltomierz 10mV**

**Tabela 1: Wyniki pomiarów i obliczeń dla płaskiego układu elektrod:**

### a) potencjał

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| L.p. | *x*  [mm] | *Va* [V] | *Vb* [V] | *Vc* [V] | *Vdośw*.=  *Va* +*Vb* +*Vc*  [V] 3 | *Vteor*  [V] |
| 1 | 10 | 1,30 | 1,04 | 1,34 | 1,23 | 0,83 |
| 2 | 20 | 2,05 | 1,72 | 2,32 | 2,03 | 1,67 |
| 3 | 30 | 2,72 | 2,49 | 2,91 | 2,71 | 2,50 |
| 4 | 40 | 3,38 | 3,29 | 3,51 | 3,39 | 3,33 |
| 5 | 50 | 4,02 | 4,00 | 4,20 | 4,07 | 4,17 |
| 6 | 60 | 4,92 | 4,75 | 4,96 | 4,88 | 5,00 |
| 7 | 70 | 5,78 | 5,69 | 5,56 | 5,68 | 5,83 |
| 8 | 80 | 6,45 | 6,47 | 6,37 | 6,43 | 6,67 |
| 9 | 90 | 7,20 | 7,21 | 6,97 | 7,13 | 7,50 |
| 10 | 100 | 7,97 | 7,91 | 7,68 | 7,85 | 8,33 |
| 11 | 110 | 8,68 | 8,78 | 8,40 | 8,62 | 9,17 |

**VTeor = U \* x/d = 10V \* x/120mm**

### b) natężenie pola

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| L.p. | *x\**  [mm] | *Edośw* [V/m] | *Eteor*  [V/m] |
| 1 | 15 | 122,667 | 83,33 |
| 2 | 25 | 80,333 | 83,33 |
| 3 | 35 | 67,667 | 83,33 |
| 4 | 45 | 68,667 | 83,33 |
| 5 | 55 | 68,000 | 83,33 |
| 6 | 65 | 80,333 | 83,33 |
| 7 | 75 | 80,000 | 83,33 |
| 8 | 85 | 75,333 | 83,33 |
| 9 | 95 | 69,667 | 83,33 |
| 10 | 105 | 72,667 | 83,33 |

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Równolegle

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Macierz punktów pomiarowych dla pomiaru pola niejednorodnego kondensatora płaskiego

Wyniki pomiarów pola niejednorodnego

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| pole rozproszone | | | | |
|  | dx=10mm | 20mm | 30mm |  |
| lp. | A | B | C | wspolrzedna Y [mm]  względem wewnętrznej krawędzi ujemnej okladki |
| 1 | 1,19 | 1,33 | 1,05 | -60 |
| 2 | 1,26 | 1,4 | 1,4 | -50 |
| 3 | 1,33 | 1,53 | 1,61 | -40 |
| 4 | 1,43 | 1,74 | 1,83 | -30 |
| 5 | 1,7 | 1,93 | 2,02 | -20 |
| 6 | 2 | 2,28 | 2,38 | -20 |
| 7 | 2,44 | 2,66 | 2,75 | 0 |
| 8 | 3 | 3 | 3,05 | 10 |
| 9 | 3,49 | 3,51 | 3,61 | 20 |
| 10 | 4,05 | 4,07 | 4,07 | 30 |
| 11 | 4,53 | 4,44 | 4,62 | 40 |
| 12 | 5,05 | 5,11 | 5,07 | 50 |
| 13 | 5,52 | 5,51 | 5,44 | 60 |
| 14 | 6,13 | 5,95 | 5,97 | 70 |
| 15 | 6,72 | 6,63 | 6,54 | 80 |
| 16 | 7,1 | 7,02 | 6,58 | 90 |
| 17 | 7,69 | 7,62 | 7,06 | 100 |
| 18 | 7,6 | 7,92 | 7,88 | 110 |
| 19 | 8,45 | 8,29 | 8,18 | 120 |
| 20 | 8,91 | 8,65 | 8,4 | 130 |
| 21 | 8,93 | 8,76 | 8,42 | 140 |
| 22 | 9,01 | 8,88 | 8,68 | 150 |
| 23 | 8,97 | 8,95 | 8,73 | 160 |

**Wariant B**

**Tabela 2: Wyniki pomiarów i obliczeń dla cylindrycznego układu elektrod:**

### potencjał

rwew =20mm

rzew = 95mm

dx1 = 7,5mm od krawędzi wewnętrznej okladki

dx = 7,5mm odstępu

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| L.p. | *x*  [mm] | *Va* [V] | *Vb* [V] | *Vc* [V] | *Vdośw*.=  *Va* +*Vb* +*Vc*  [V] 3 | *Vteor*  [V] |
| 1 | 7,5 | 7,90 | 7,54 | 7,97 | 7,80 | 8,46 |
| 2 | 15 | 6,29 | 6,05 | 6,37 | 6,24 | 6,15 |
| 3 | 22,5 | 5,07 | 4,95 | 5,21 | 5,08 | 4,80 |
| 4 | 30 | 4,04 | 3,99 | 4,16 | 4,06 | 3,84 |
| 5 | 37,5 | 4,18 | 3,25 | 3,29 | 3,57 | 3,10 |
| 6 | 45 | 2,53 | 2,40 | 2,56 | 2,50 | 2,49 |
| 7 | 52,5 | 1,84 | 1,84 | 1,83 | 1,84 | 1,98 |
| 8 | 60 | 1,26 | 1,23 | 1,25 | 1,25 | 1,53 |
| 9 | 67,5 | 0,73 | 0,73 | 0,65 | 0,70 | 1,14 |

**VTeor  =U\*ln(b/x)/ ln(b/a)​ = 10\* ln(95/x) / ln(95/20)**

**Wizualna Prezentacja Natężenia Pola Zmierzonego w Danych Punktach Pomiarowych**

**Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, numer, Równolegle

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.**

### b) natężenie pola

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| L.p. | *x\**  [mm] | *Edośw* [V/m] | *Eteor*  [V/m] |
| 1 | 11,25 | 208,90 | 205.37 |
| 2 | 18,75 | 154,66 | 165.62 |
| 3 | 26,25 | 135,11 | 138.77 |
| 4 | 33,75 | 110,33 | 119.40 |
| 5 | 41,25 | 99,55 | 104.78 |
| 6 | 48,75 | 88 | 93.35 |
| 7 | 56,25 | 78,66 | 84.17 |
| 8 | 63,75 | 72,44 | 76.63 |

ETeor obliczone wg wzoru: Obraz zawierający Czcionka, tekst, biały, linia

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

Wnioski

Wykonując pomiary zauważyliśmy że mierzone natężenie pola było niestabilne. Mogło to być spowodowane słabym kontaktem sondy pomiarowej z powierzchnią, której to końcówka mogła nuć nierównomiernie dociskana do tejże powierzchni. Aby te pomiary były stabilniejsze musielibyśmy zastosować inny sposób ich wykonywania w którym docisk do powierzchni byłby stały i równomierny dla każdego punkty pomiarowego. Kondensator płaski dzięki swojej prostszej budowie pozwolił nam na wykonanie dokładniejszych, lecz dalej nie do końca stabilnych pomiarów. Z kolei kondensator cylindryczny ma bardziej złożoną zależność, gdzie pojemność zależy od promieni wewnętrznego i zewnętrznego walca oraz ich długości.