

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ



**Kvantová a laserová elektronika**  
2020/2021

2. Náhradné laboratórne cvičenie

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zadanie</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Riešenie</b>	<b>1</b>
2.1	Prvá úloha . . . . .	1
2.2	Druhá úloha . . . . .	2
2.3	Tretia úloha . . . . .	3
2.3.1	Zdôvodnenie prečo na výstupe nie je kruhová polarizácia . . . . .	3
2.3.2	Potrebný úkon pre získanie kruhovej polarizácie . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Záver</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Matlab - zdrojový kód</b>	<b>4</b>

## 1 Zadanie

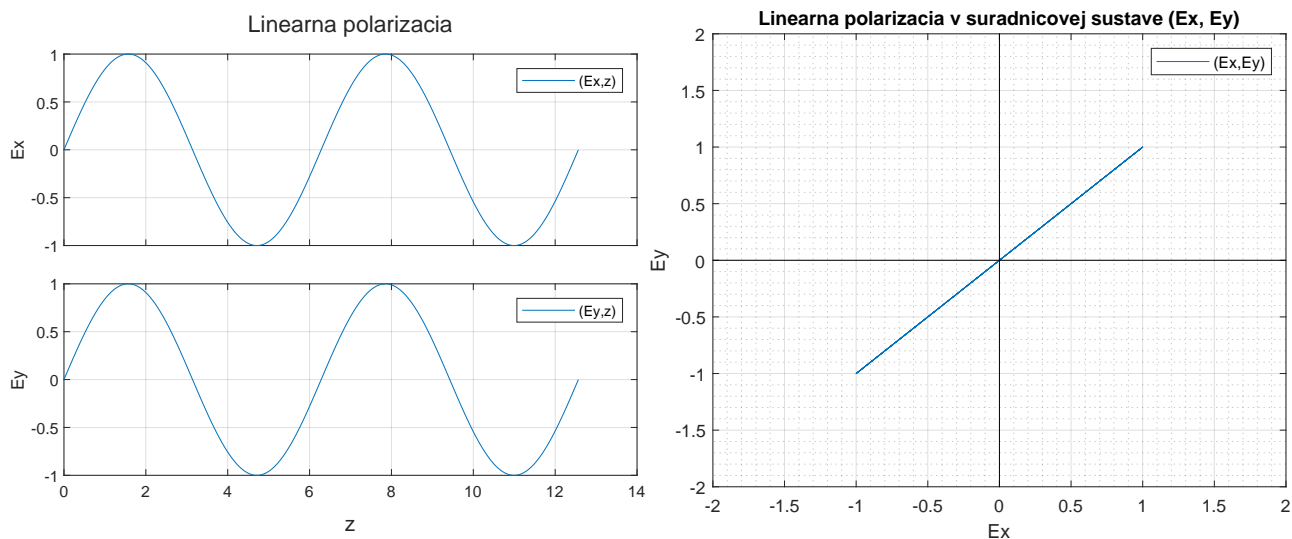
1. Ve vámi vybraném programu (např. Matlab, Excel, ...) vykreslete postupně lineární, kruhovou a libovolnou eliptickou polarizaci v souřadnicové soustavě  $(E_x, z)$  a  $(E_y, z)$  a následně v souřadnicové soustavě  $(E_x, E_y)$ .
2. Laser vyzařuje pravotočivě orientovanou polarizovanou vlnu. Tato vlna projde půlvlnnou destičkou, čtvrtvlnnou destičkou, následně se odrazí od zrcadla, které ji nasměruje na další čtvrtvlnnou destičku, za kterou je již detekční rovina. Vypočítejte výstupní Jonesův vektor a polarizaci pojmenujte.
3. Na vstupu do systému máme optickou vlnu, která je lineárně polarizovaná ve směru  $x$ . Tato vlna projde čtvrtvlnnou destičkou. Vypočítejte výstupní polarizaci a pojmenujte ji.
  - a. Zdůvodněte, proč na výstupu není kruhová polarizace?
  - b. Napište, co bychom museli udělat, abychom získali z lineární polarizace ve směru  $x$  polarizaci kruhovou? Dokažte výpočty.

Obr. 1: Zadanie náhradnej laboratórnej úlohy

## 2 Riešenie

V tejto sekcii bude vyriešené náhradné laboratórne cvičenie č. 2.

### 2.1 Prvá úloha



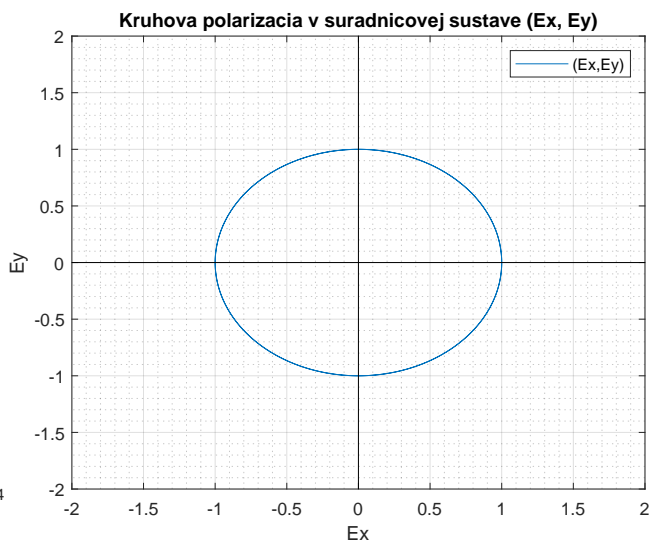
(a) Lineárna polarizácia v sústave  $(E_x, z)$  a  $(E_y, z)$

(b) Lineárna polarizácia v súradnicovej sústave  $(E_x, E_y)$

Obr. 2: Lineárna polarizácia

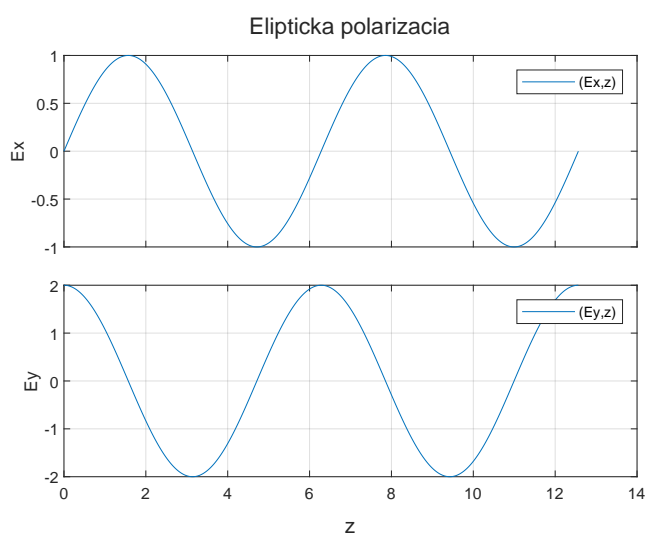


(a) Kruhov polarizacia v sústave  $(E_x, z)$  a  $(E_y, z)$

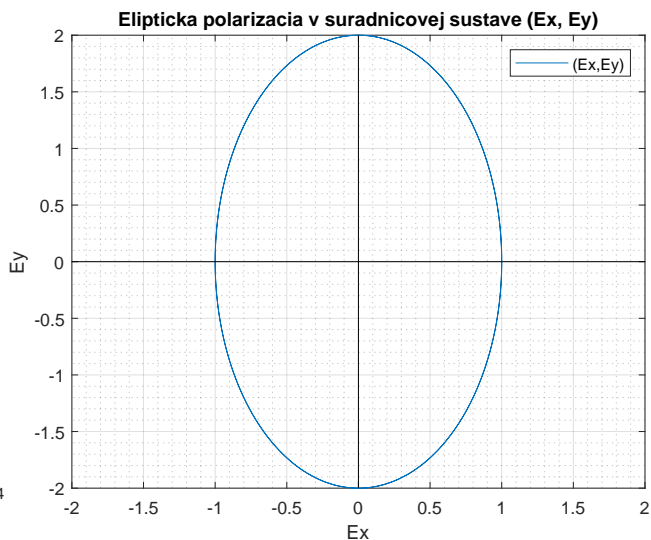


(b) Kruhov polarizacia v súradnicovej sústave  $(E_x, E_y)$

Obr. 3: Kruhov polarizacia



(a) Eliptick polarizacia v sústave  $(E_x, z)$  a  $(E_y, z)$



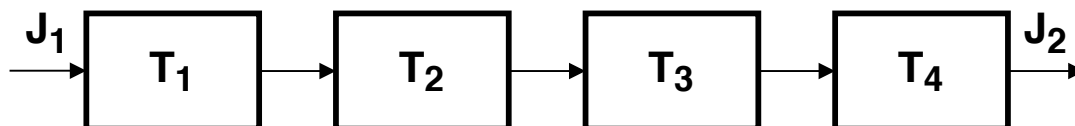
(b) Eliptick polarizacia v súradnicovej sústave  $(E_x, E_y)$

Obr. 4: Eliptick polarizacia

## 2.2 Druh uloha

Laser vyaruje pravotoivo orientovan polarizovan vlnu. Tato vlna prejde polvlnnou doštičkou,tvvlnnou doštičkou, následne sa odrazí od zrkadla, ktore ju nasmeruje na daliutvvlnn doštičku, za ktorou sa nachádza už detekn rovina. Na obrázku 5 je možné vidieť atyri optick prvky. Kde:

- $J_1$  je pravotoivo orientovan polarizovan vlna,
- $T_1$  je polvlnn doštička,
- $T_2$  jetvvlnn doštička,
- $T_3$  je zrkadlo,
- $T_4$  jetvvlnn doštička.



Obr. 5: Systém pozostávajúci z viacerých optických prvkov

Výstupný Jonesov vektor vypočítame podľa vzťahu 1

$$J_2 = T_4 \cdot T_3 \cdot T_2 \cdot T_1 \cdot J_1 \quad (1)$$

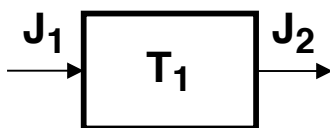
Po dosadení hodnôt do vzťahu 1 dostaneme:

$$J_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -j \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -j \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ j \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ j \end{pmatrix}$$

Po dopočítaní hodnôt vyplýva, že  $J_2 = J_1$ , čiže sa jedná o **pravotočivú kruhovú polarizáciu**, rovnakú ako v prípade vstupu  $J_1$ .

### 2.3 Tretia úloha

Na vstupe do systému 6, sa nachádza optická vlna, ktorá je lineárne polarizovaná v smere  $x$ , táto vlna prejde štvrtvlnnou doštičkou  $T_1$ . Výstupnú polarizáciu je možné vypočítať podľa vzťahu 2



Obr. 6: Systém  $T_1$ , vstup  $J_1$ , výstup  $J_2$

$$J_2 = T_1 \cdot J_1 \quad (2)$$

Po dosadení hodnôt do vzťahu 2 dostaneme:

$$J_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -j \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Z výstupného vektora vyplýva, že  $J_2 = J_1$ , čo značí, že sa jedná o rovnakú **lineárnu polarizáciu v smere  $x$**  ako v prípade vstupu  $J_1$ .

#### 2.3.1 Zdôvodnenie prečo na výstupe nie je kruhová polarizácia

Štvrtvlnná doštička nemá na vstupnú optickú lineárne polarizovanú vlnu vplyv.

#### 2.3.2 Potrebný úkon pre získanie kruhovej polarizácie

Je potrebné použiť **ľavotočivý kruhový polarizátor**

$$J_2 = \begin{pmatrix} 1 & -j \\ j & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ j \end{pmatrix}$$

### 3 Záver

Zmyslom tejto laboratórnej úlohy bolo určiť polarizačné vlastnosti laserového žiarenia. V podsekcii 2.1 bolo potrebné vykresliť postupne lineárnu, kruhovú a eliptickú polarizáciu. Najprv v súradnicovej sústave  $(E_x, z)$ ,  $(E_y, z)$  a následne v súradnicovej sústave  $(E_x, E_y)$  ako je možné vidieť na obrázkoch 2a, 2b, ... ,4b.

V podsekcii 2.2 bolo potrebné vypočítať výstupný Jonesov vektor a pomenovať danú polarizáciu. Na základe vzťahu 1 boli dosadené hodnoty jonesových matic a vektora  $J_1$  a výpočtom bolo dokázané, že  $\mathbf{J}_2 = \mathbf{J}_1$ , čo znamená že sa jedná o rovnakú polarizáciu aká bola zadaná na vstupe - **pravotočivá kruhová polarizácia**.

V podsekcii 2.3 bola riešená podobná problematika ako v podsekcii 2.2. Bolo potrebné vypočítať výstupnú polarizáciu a pomenovať ju. Na základe výpočtu 2 bolo dokázané, že  $\mathbf{J}_2 = \mathbf{J}_1$ , teda, že sa jedná o **lineárnu polarizáciu v smere  $x$** .

V podsekcii 2.3.1 bolo potrebné zdôvodniť prečo sa nejedná o kruhovú polarizáciu. Na základe matematického výpočtu bolo dokázané, že štvrtá vlnná doštička  $T_1$  nemá vplyv na vstupnú optickú lineárne polarizovanú vlnu. Toto tvrdenie sa javí v rozpore s teóriou, pretože štvrtá vlnná doštička by mala posunúť vlnu o štvrt vlny a zapríčiniť tak zmenu polarizácie z lineárnej na kruhovú a opačne.

Na záver v podsekcii 2.3.2 bolo potrebné napísať čo je potrebné spraviť, aby sme z danej lineárnej polarizácie v smere  $x$  spravili kruhovú. Opakovanými experimentmi som zistil, že je potrebné použiť **ľavotočivý kruhový polarizátor**.

### 4 Matlab - zdrojový kód

```
1 % Zadanie: Nahradna uloha c.2 | urcenie polarizacnych vlastnosti
2 % laseroveho ziarenia
3 % Autor: Alex Sporni VUT FEKT | MPC-TIT
4 % Datum: 28.10.2020
5
6 clear all; %vymaze vsetky premenne
7 close all; %zavrie vsetky okna
8 clc; %vymaze prikazove okno
9
10 %-----> 1 <-----%
11 disp('<-----Priklad#1----->')
12
13 % linearna polarizacia
14 x1 = linspace(0,4*pi,1000);
15 y1 = sin(x1);
16 x2 = linspace(0,4*pi,1000);
17 y2 = sin(x2);
18 var_title = 'Linearna';
19
20 polarizacia(x1, y1, x2, y2, var_title);
21 polarizacia_special(y1, y2, var_title);
22
23 % kruhova polarizacia
24 x1 = linspace(0,4*pi,1000);
25 y1 = sin(x1);
26 x2 = linspace(0,4*pi,1000);
27 y2 = cos(x2);
28 var_title = 'Kruhova';
```

```

29
30 polarizacia(x1, y1, x2, y2, var_title);
31 polarizacia_special(y1, y2, var_title);
32
33 % elipticka polarizacia
34 x1 = linspace(0,4*pi,1000);
35 y1 = sin(x1);
36 x2 = linspace(0,4*pi,1000);
37 y2 = cos(x2)*2;
38 var_title = 'Elipticka';
39
40 polarizacia(x1, y1, x2, y2, var_title);
41 polarizacia_special(y1, y2, var_title);
42
43 %-----> 2 <-----%
44 disp('<-----Priklad#2----->')
45 J1 = 1/sqrt(2)*[1;1j]; % pravotocivo orientovana polar. vlna
46 T1 = [1 0 ; 0 -1];    % polvlnna dosticka
47 T2 = [1 0 ; 0 -1j];   % stvrtvlnna dosticka
48 T3 = [1 0 ; 0 1];     % zrkadlo
49 T4 = [1 0 ; 0 -1j];   % stvrtvlnna dosticka
50
51 J2 = T4 * T3 * T2 * T1 * J1;
52 disp('Vystupny Jonesov vektor ma hodnotu J2 = ')
53 disp(J2)
54 %-----> 3 <-----%
55 disp('<-----Priklad#3----->')
56 J1 = [1 ; 0];
57 T1 = [1 0 ; 0 -1j];
58 J2 = T1*J1;
59
60 disp('Vysledna hodnota polarizacie J2 =')
61 disp(J2)
62
63 disp('V ulohe 3b je potrebne pouzit lavotoc. kruhovy polarizator')
64 J1 = [1 ; 0];
65 T1 = (1/2)*[1 -1j ; 1j 1];
66 J2 = T1*J1;
67
68 disp('Vysledna hodnota polarizacie J2 =')
69 disp(J2)
70
71
72 %-----> definicia funkcie <-----%
73 function polarizacia = polarizacia(x1, y1, x2, y2, var_title)
74     figure
75     set(gcf,'color','w')
76     t = tiledlayout(2,1);
77     ax1 = nexttile;
78     plot(ax1,x1,y1)

```

```

79     xlabel(t, 'z')
80     ylabel('Ex')
81     legend('(Ex,z)')
82     grid on
83     ax2 = nexttile;
84     plot(ax2,x2,y2)
85     ylabel('Ey')
86     legend('(Ey,z)')
87     grid on
88
89     % zlinkovanie osi
90     linkaxes([ax1,ax2], 'x');
91     title(t, var_title+" polarizacia")
92     xticklabels(ax1, {})
93     t.TileSpacing = 'compact';
94 end
95
96 function polarizacia_special = polarizacia_special(y1, y2, var_title)
97     figure
98     set(gcf, 'color', 'w')
99     x=[0,0];
100    y=[-2,2];
101    z=[-2,2];
102    w=[0,0];
103    plot(y1,y2, x,y, '-k', z,w, '-k')
104    title(var_title+" polarizacia v suradnicovej sustave (Ex, Ey)")
105    xlabel('Ex')
106    ylabel('Ey')
107    legend('(Ex,Ey)')
108    grid on
109    grid minor
110 end

```