

Impedanca simetričnega dvovoda - tokovodnika sta pravokotnega preseka

Kvazistatično polje. Koncept tokovnih niti.

Pisava, ki bo uporabljena na slikah:

```
Times14 = BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14};
```

■ Vhodni podatki

Permeabilnost praznega prostora:

$$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7};$$

Frekvenca toka dvovoda:

$$f = 50;$$

$$\omega = 2 \pi f;$$

Tok dvovoda (oz. tok v levem tokovodniku, v desnem pa je nasproten):

$$I_0 = 100;$$

Sirina in debelina tokovodnikov dvovoda:

$$a = 0.5;$$

$$\Delta = 5 \cdot 10^{-3};$$

Medosna razdalja dvovoda:

$$d = 0.8;$$

Dolžina dvovoda:

$$l = 100;$$

Snovni konstanti dvovoda (npr. bakrenega):

$$\mu = \mu_0;$$

$$\gamma = 56.5 \cdot 10^6;$$

Vdorna globina dvovoda:

$$\delta = ?$$

■ Segmentiranje dvovoda na tokovne niti

Izberite dimenzije preseka niti (glede na vdorno globino) in določite število niti:

$$n = ?$$

Povrsine presekov niti:

$$s = ? ;$$

Ekvivalentni polmeri niti; niti imajo pravokotne preseke, modelirali pa jih bomo z okroglimi:

$$\rho = ? ;$$

Koordinatni sistem izberimo tako, da je os z vzporedna s tokovodniki ter da gre skozi os (oz. središče) dvovoda. Os y naj je pravokotna na zveznico med središčema tokovodnikov.

Kako boste ostevalčili (indeksirali) niti?

Matriki (oz. vektorja) koordinat osi niti:

```
xC = Table[?, {i, n}];
```

```
yC = ?;
```

Poskusimo izračunati x -koordinate prve in zadnje niti na obeh tokovodnikih:

```
?
```

Pravilen rezultat je približno $\pm 0,65$ ter $\pm 0,15$.

Matrika medosnih razdalj niti:

```
dNN = Table[?, {i, n}, {j, n}];
```

■ Impedance modelnega električnega vezja

Matrika lastnih in medsebojnih impedanc niti:

```
ZNN = ?;
```

■ Izračun tokov niti ter napetosti vzdolž tokovodnikov (oz. reševanje sistema enačb)

Matrika (oz. vektor) neznank vsebuje razen tokov niti tudi padca napetosti vzdolž tokovodnikov. Neznanke naj so v tem vektorju npr. v naslednjem vrstnem redu: najprej toki niti levega tokovodnika, potem toki niti desnega tokovodnika, potem napetost vzdolž levega in na koncu se napetost vzdolž desnega tokovodnika.

Matrika koeficientov

Matrika koeficientov napetostnih enačb za niti levega tokovodnika:

```
MatUL = Table[Which[j ≤ n, Part[ZNN, i, j], j == n + 1, -1, j == n + 2, 0], {i, n / 2}, {j, n + 2}];
```

Matrika koeficientov napetostnih enačb za niti desnega tokovodnika:

```
MatUD = Table[Which[j ≤ n, ?, j == n + 1, ?, j == n + 2, ?], {i, n / 2 + 1, n}, {j, n + 2}];
```

Matrika koeficientov tokovne enačbe za levi tokovodnik:

```
MatIL = {Table[If[j ≤ n / 2, 1, ?], {j, n + 2}]};
```

Matrika koeficientov tokovne enačbe za desni tokovodnik:

```
MatID = {Table[If[(j > n / 2) && (j ≤ n), 1, ?], {j, n + 2}]};
```

Matrika koeficientov celotnega sistema enačb:

```
Mat = Join[MatUL, MatUD, MatIL, MatID];
```

Matrika (oz. vektor) znanih vrednosti:

```
VekZn = Table[Which[i ≤ n, ?, i == n + 1, ?, i == n + 2, ?], {i, n + 2}];
```

Izračun vektorja neznank (rešitev sistema enačb) (v Help-u poiscite ukaz `LinearSolve`):

```
VekNez = ?;
```

Matrika (oz. vektor) tokov niti - določite jo iz vektorja neznank:

```
 $\delta I = \text{Table}[\text{?}, \{i, n\}];$ 
```

Napetost vzdolz levega ter desnega tokovodnika - določite ju iz vektorja neznank:

```
UL = ?
```

Pravilen rezultat je približno $(0,1066 + 1,1097 i)$.

```
UD = ?
```

Pravilen rezultat je približno $(-0,1066 - 1,1097 i)$.

Preverimo se tok levega in desnega tokovodnika, tako da sestevamo toke niti v enem oz. drugem tokovodniku (v Help-u poiscite ukaz `Sum`):

```
IL = ?
```

Pravilen rezultat je (približno) 100.

```
ID = ?
```

Pravilen rezultat je (približno) -100.

Porazdelitev absolutne vrednosti tokovne gostote:

```
ListPlot[Table[{xC[[i]],  $\frac{\text{Abs}[\delta I[[i]]}{s} * 10^{-4}$ }, {i, n}], PlotRange -> All,
  Frame -> True, Axes -> None, Times14, FrameLabel -> {"x / m", "J / (A/cm2)",
  " levi tokovodnik", " desni tokovodnik", ""}, ImageSize -> 400]
```

Porazdelitev faze tokovne gostote (v stopinjah) (v Help-u poiscite ukaz `Arg`):

```
ListPlot[?]
```

■ Izracun magnetnega polja

Distancni vektor med osjo i -te niti in splosno točko (x, y) ter njegova absolutna vrednost:

```
P[i_, x_, y_] := ?
```

```
absP[i_, x_, y_] := ?
```

Funkcija porazdelitve (z-komponente) vektorskega magnetnega potenciala (do aditivne konstante natančno):

```
Az[x_, y_] := ?
```

Poskusimo izracunati potencial izven tokovodnikov, npr. v točki $(x = d, y = a)$, ter znotraj desnega tokovodnika, npr. v njegovem sredisču:

```
AzTestZun = ?
```

Pravilen rezultat je približno $(-12,492 + 0,352 i) \cdot 10^{-6}$.

```
AzTestNot = ?
```

Pravilen rezultat je približno $(-35,536 + 2,016 i) \cdot 10^{-6}$.

■ Risanje magnetnega polja

Preseka levega in desnega tokovodnika (ki ju bomo vrisali v sliko polja):

```

LeviVodnik =
Graphics[{AbsoluteThickness[1.5], Line[{{-d/2 - a/2, -Δ/2}, {-d/2 + a/2, -Δ/2},
{-d/2 + a/2, Δ/2}, {-d/2 - a/2, Δ/2}, {-d/2 - a/2, -Δ/2}]}];

DesniVodnik =
Graphics[{AbsoluteThickness[1.5], Line[{{d/2 - a/2, -Δ/2}, {d/2 + a/2, -Δ/2},
{d/2 + a/2, Δ/2}, {d/2 - a/2, Δ/2}, {d/2 - a/2, -Δ/2}]}];

```

Območje risanja definirajmo s parametri x_{\min} , x_{\max} , y_{\min} in y_{\max} :

```

xmin = -d/2 - a;
xmax = d/2 + a;
ymin = -d/2 - a;
ymax = d/2 + a;

```

Trenutek, v katerem risemo ekvipotencialke vektorskega magnetnega potenciala:

```
t = 0;
```

Ekvipotencialke vektorskega magnetnega potenciala oz. pretocne cevke magnetnega pretoka v trenutku t :

```

ekvipot = ContourPlot[?];

Show[ekvipot, LeviVodnik, DesniVodnik, Frame -> True,
Times14, FrameLabel -> {"x / m", "y / m", "", ""}, ImageSize -> 400]

```

■ Izračun impedance dvovoda

Impedanca dvovoda:

```
Z = ?
```

Pravilen rezultat je približno $(2,132 + 22,195 i) \cdot 10^{-3}$.

Upornost dvovoda (v Help-u poiscite ukaz **Re**):

```
R = ?
```

Pravilen rezultat je približno $2,132 \cdot 10^{-3}$.

Enosmerna upornost dvovoda (v $m\Omega$):

$$R_0 = 2 \frac{1}{\gamma a \Delta};$$

$$R_0 * 10^3$$

Povečanje upornosti (v procentih) pri frekvenci ω glede na enosmerne razmere:

$$\Delta rR = \frac{R - R_0}{R_0} 100$$

Pravilen rezultat je približno 50,6 %.

Induktivnost dvovoda (iz impedance) (v Help-u poiscite ukaz **Im**):

```
L = ?
```

Pravilen rezultat je približno $70,647 \cdot 10^{-6}$.

Induktivnost dvovoda (iz energije magnetnega polja):

```
Le = ?
```

Pravilen rezultat je priblizno $70,798 \cdot 10^{-6}$.

Relativna razlika (v procentih) med induktivnostjo izracunano iz impedance in induktivnostjo izracunano iz energije:

$\Delta rL = ?$

■ Shranjevanje resitve

Preverimo, v kateri direktorij bo shranjena resitev (z ukazom `SetDirectory` ga lahko spremenimo):

```
Directory []
```

Shranimo celoten izracun:

```
DumpSave ["SpremeniImeDatoteke.mx", "Global`"];
```

Ko izracuni trajajo daljsi cas, nam pride zelo prav, da resitev shranimo in jo lahko pozneje preberemo in uporabimo, ne da bi ponovno zaganjali izracune. Preberemo jo takole:

```
<< SpremeniImeDatoteke.mx
```