10 Marca 2025

Projekt przesłony elektromagnetycznej o zadanych parametrach

Paulina Miętkiewska

Kod albumu: 264408

Przedmiot: Elektromagnetyczne bezpieczeństwo systemów i sieci.

Spis treści

Założenia projektowe

W ramach tego projektu powstał ekran chroniący przed falami elektromagnetycznymi. Ekran ten zaprojektowany został według następujących wymagań i celów:

- Częstotliwość fali (f): $4,08 \times 10^9$ Hz
- Kształt otworów: Kołowy
- Wymiary płyty: 50×50 cm;
- Minimalna teoretyczna skuteczność ekranowania (S_c): Nie gorsza niż 9 dB
- Cel optymalizacyjny: Maksymalizacja łącznego pola powierzchni otworów (P) przy jednoczesnym spełnieniu wymagania minimalnej skuteczności ekranowania.

Obliczenia wstępne

Podstawowym parametrem fali, którego znajomość jest konieczna do stworzenia odpowiedniego dla niej ekranu jest jej długość (λ). Korzystając z podanej częstotliwości, można ją obliczyć korzystając ze wzoru:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

gdzie f to częstotliwość zadana, a v – przybliżona prędkość fali

Częstotliwość ekranowanej fali (f) wynosi w tym przypadku $4,08 \times 10^9$ Hz. Prędkość fali (v) została przybliżona do prędkości światła, dokładniej jej przyjęta wartość to $4{,}08 \cdot 10^9$.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{4{,}08 \cdot 10^9}$$

Ostatecznie:

$$\lambda \approx 0.0735m = 7.35 \text{ [cm]}$$

Kolejnym krokiem jest określenie minimalnej odległości między otworami (L). Kiedy otwory znajdują się w odległości $L = \lambda$ są one niezależne od siebie w kwestii ekranowania fal. Zatem nie ma potrzeby robienia odległości od otworów większej niż długość fali. Wybrana odległość w przypadku tego projektu będzie wynosić $L = \frac{\lambda}{4}$, ponieważ przy mniejszych odległościach pojawią się inne czynniki wpływające na tłumienność ekranu, które nie są brane pod uwagę we wzorach używanych w tym projekcie. Zatem odległość między otworami wynosić będzie:

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

$$L \approx 1,8$$

Wybór średnicy otworu

Obliczenia skuteczności ekranowania (tłumienia)

Najważniejszym wymaganiem, który musi spełniać stworzona przesłona, to tłumienność wynosząca co najmniej 9 dB. Według wzorów podanych do projektu, dla otworu o maksymalnym liniowym wymiarze równym lub mniejszym niż połowa długości fali, skuteczność ekranowania w dB jest można obliczyć przy pomocy wzoru:

$$S_1 = 20 \log \frac{\lambda}{2d}$$

gdzie λ — długość fali, a d to maksymalny wymiar liniowy otworu.

W przypadku wielu otworów umieszczonych blisko siebie, całkowita skuteczność ekranowania zmniejsza się. Dla liniowego rzędu otworów położonych w odległości mniejszej niż połowa długości fali ($\frac{\lambda}{2}$), redukcja skuteczności ekranowania jest proporcjonalna do pierwiastka z liczby tych otworów (n). Zatem można określić skuteczność ekranowania dla wielu otworów za pomocą równania:

$$S_2 = -20 \log \sqrt{n} \ [\mathrm{dB}]$$

Jako, że za tłumienie całkowite ekranu uznaje się najmniejsze miejscowe tłumienie, można je obliczyć za pomocą poniższej zależności:

$$S_c = S_1 + S_2$$

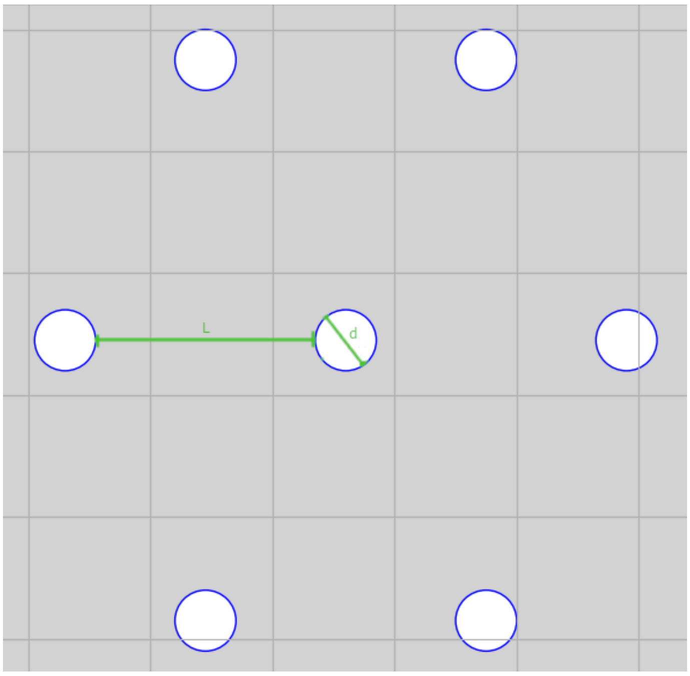
Otwory, które spełniały początkowy wymóg tłumienności 9dB z przyjętą odległością 1,8 cm między otworami miały średnice od 0,1 do 0,5 cm. Dla większych średnic obliczona tłumienność Sc spadała poniżej wymaganego progu 9 dB.

Obliczenia sumy pól otworów

Warunkiem skutecznego ekranowania przez otwory jest utrzymanie ich maksymalnego wymiaru liniowego, tym przypadku średnicy (d), poniżej połowy długości fali. W przeciwnym razie ekran straci swoje właściwości tłumiące. Dodatkowo, dla ułatwienia obliczeń, różnica między kolejnymi sprawdzanymi średnicami wynosiła 0,1 cm. Zatem średnica otworów w ekranie szukana będzie w zbiorze prezentującym się następująco:

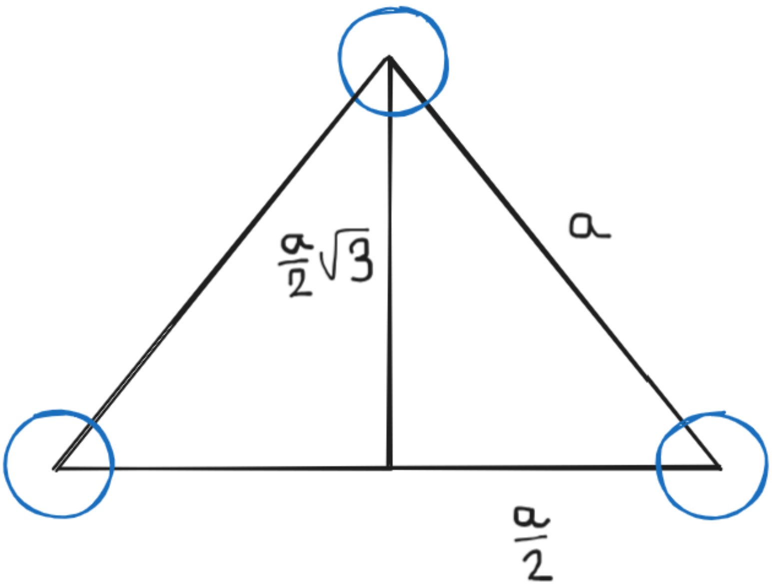
$$\left\{ d = 0,1k : k \in \mathbb{N}, d < \frac{\lambda}{2} \right\}$$

Aby umożliwić umiejscowienie otworów jak najbliżej siebie, zostały one rozłożone na płycie we wzór sześciokąta, co przedstawione jest na obrazku poniżej.



Rysunek 1: Rozkład otworów w przesłonie

Sześciokąt można podzielić na 6 trójkątów równobocznych, które spełniają przedstawione poniżej relacje.



Rysunek 2: Odległości między środkami otworów w przesłonie

W przypadku projektowanej przesłony, a będzie odpowiadało dwóm promieniom otworów i odległości między nimi, wyznaczonej wcześniej. Zatem

$$a = L + 2 \cdot \frac{d}{2}$$

Lub prościej:

$$a = L + d$$

Jako, że otwory są rozłożone w płycie w postaci sześciokątów, ich rozłożenie na płycie można podzielić na dwa rodzaje kolumn i wierszy. Pierwsze z nich rozmieszczają otwory w minimalnej odległości od boków płyty, a drugie są dodatkowo odsunięte o wartość $\frac{a}{2}\sqrt{3}$. Odległość między środkami kolejnych otworów w wierszu wynosi $a = L + d$, a w kolumnie jest to $a\sqrt{3}$. Ilość otworów w poszczególnych wierszach i kolumnach obliczyłam z a pomocą poniższych wzorów:

$$n_k^1 = \left\lfloor \frac{50 - 2 \cdot \left(L + \frac{d}{2}\right)}{a} \right\rfloor + 1$$

$$n_k^2 = \left\lfloor \frac{50 - 2 \cdot \left(L + \frac{d}{2}\right) - \frac{1}{2}a}{a} \right\rfloor + 1$$

$$n_w^1 = \left\lfloor \frac{50 - 2 \cdot \left(L + \frac{d}{2}\right)}{a\sqrt{3}} \right\rfloor + 1$$

$$n_w^2 = \left\lfloor \frac{50 - 2 \cdot \left(L + \frac{d}{2}\right) - a\frac{\sqrt{3}}{2}}{a\sqrt{3}} \right\rfloor + 1$$

Aby uzyskać liczbę otworów mieszczących się na płycie należy pomnożyć odpowiadające sobie numerem kolumny i wiersze:

$$N = n_k^1 \cdot n_w^1 + n_k^2 \cdot n_w^2$$

Zatem pole wszystkich otworów można wyliczyć korzystając z poniższej zależności:

$$P = N\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Otwory z największym polem całkowitym, który spełniały wcześniejszy wymóg minimalnej tłumienności były te o średnicy 0,5 cm.

Projekt zasłony

Tłumienność zaprojektowanej zasłony i łączne pole jej otworów dla $\lambda = 1{,}8cm$ i średnicy otworów $d = 0,5cm$ zostały obliczone korzystając z podanych wcześniej wzorów:

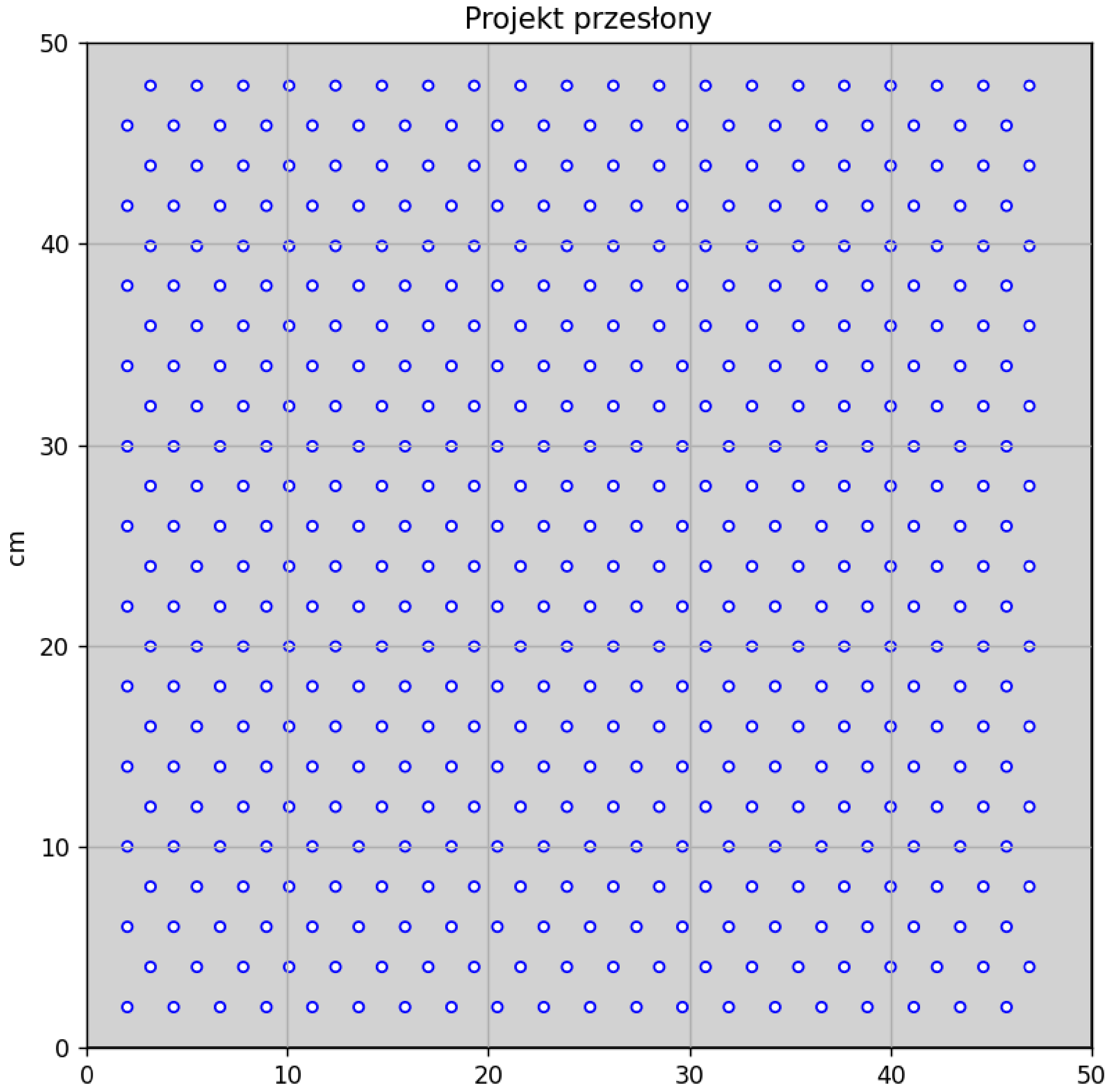
$$S_{c(d=0{,}5)} = 17,32 + (-6,99)$$

$$S_{c(d=0{,}5)} = 10,33 \text{ dB}$$

$$P_{d=0{,}5} = 480 \cdot 3,14 \cdot (0{,}5)^2$$

$$P_{d=0{,}5} = 94,2\text{cm}^2$$

Grafikę prezentującą szkic zaprojektowanej przesłony wygenerowałam korzystając z biblioteki matplotlib w języku Python.



Rysunek 3: Ostateczny projekt przesłony o zadanych parametrach

Poniżej przedstawiony jest kod użyty do wygenerowania obrazu:

```python
from math import floor, sqrt
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as patches

# Wymiary płyty
plate_width = 50.0
plate_height = 50.0

# Wymiary otworów
hole_diameter = 0.5
hole_radius = hole_diameter / 2.0
```

```
# Odległość między otworami i od krawędzi
spacing = 1.8
margin = spacing  # zachowana minimalna odległość od krawędzi

a = spacing + hole_diameter
d = plate_width - 2 * (spacing + hole_radius)

# Obliczanie liczby otworów w poziomie i pionie
col1 = floor(d / a) + 1
col2 = floor(d / a - 0.5) + 1
row1 = floor(d / (a * sqrt(3))) + 1
row2 = floor(d / (a * sqrt(3)) - 0.5) + 1

# Tworzenie rysunku
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))
ax.set_aspect('equal')

# Rysowanie płyty
plate = patches.Rectangle((0, 0), plate_width, plate_height, linewidth=1,
edgecolor='black', facecolor='lightgray')
ax.add_patch(plate)

# Rysowanie otworów
for i in range(row1):
    for j in range(col1):
        x = (spacing + hole_radius) + j * a
        y = (spacing + hole_radius) + i * (a * sqrt(3))
        hole = patches.Circle((x, y), hole_radius, edgecolor='blue',
facecolor='white')
        ax.add_patch(hole)

for i in range(row2):
    for j in range(col2):
        x = (spacing + hole_radius + 0.5 * a) + j * a
        y = (spacing + hole_radius + 0.5 * a * sqrt(3)) + i * (a * sqrt(3))
        hole = patches.Circle((x, y), hole_radius, edgecolor='blue',
facecolor='white')
        ax.add_patch(hole)


# Ustawienia osi
ax.set_xlim(0, plate_width)
ax.set_ylim(0, plate_height)
ax.set_title("Projekt przesłony")
plt.ylabel("cm")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Wnioski

Według przyjętych założeń projektowych, najbardziej optymalna średnica otworów kołowych w ekranie wynosi $d = 0\{,\}5$ cm. Została ona wybrana na podstawie spełnienia warunku minimalnej skuteczności ekranowania ($S_c > 9$ dB) oraz maksymalizacji sumarycznego pola otworów.

Przy tej średnicy tłumienie całkowite wynosi 10,33 dB, co oznacza, że jest ono nieznacznie wyższe niż wymagane minimum, natomiast łączna powierzchnia otworów jest o ok. 1/3 większa niż w przypadku otworów o średnicy 0,4 cm.

Zastosowany układ sześciokątny umożliwił gęstsze rozmieszczenie otworów na płycie przy zachowaniu wymaganych odległości wynikających z długości fali, co pozwoliło na zwiększenie ich liczby bez obniżenia skuteczności ekranowania.

Bardziej optymalną konfigurację można by uzyskać poprzez badanie większej liczby średnic (np. co 0,05 cm), a także przez bardziej szczegółowe porównywanie wpływu średnicy na zysk w tłumienności względem straty powierzchni (i odwrotnie).