



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده فیزیک

عنوان:

شبیه سازی میدان الکتریکی خازن صفحه‌ای

نام درس:

الکترومغناطیس ۱

توسط:

سوگل امیری (۴۰۲۱۰۰۶۳۴)

دانشجوی کارشناسی فیزیک

نام استاد (اساتید) درس:

دکتر محمود بهمن آبادی

پاییز ۱۴۰۳

۱ مقدمه و طرح مسئله

در این پروژه، به شبیه سازی میدان الکتریکی و پتانسیل الکترواستاتیک در دو نوع خازن صفحه‌ای پرداخته شده است: خازن صفحه‌ای با صفحات متناهی و خازن صفحه‌ای با صفحات بینهایت. این شبیه‌سازی‌ها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون و کتابخانه‌های تخصصی مانند numpy و matplotlib انجام شده‌اند. هدف اصلی این پروژه، بررسی توزیع میدان الکتریکی و پتانسیل در اطراف صفحات خازن و مقایسه رفتار این دو نوع خازن است.

خازن صفحه‌ای یکی از ساده‌ترین و در عین حال مهم‌ترین ابزارها در الکترومغناطیس است که در بسیاری از کاربردهای عملی مانند ذخیره انرژی، فیلترهای الکترونیکی و حسگرها استفاده می‌شود. در خازن صفحه‌ای، دو صفحه موازی با فاصله مشخص از یکدیگر قرار گرفته‌اند و با اعمال اختلاف پتانسیل، میدان الکتریکی یکنواختی بین صفحات ایجاد می‌شود. در حالت ایده‌آل، صفحات خازن بینهایت در نظر گرفته می‌شوند، اما در واقعیت، صفحات خازن دارای ابعاد محدود هستند. این تفاوت در ابعاد صفحات، تأثیر قابل توجهی بر توزیع میدان الکتریکی و پتانسیل در اطراف صفحات دارد.

در این پروژه، با استفاده از کدهای نوشته شده، شبیه‌سازی میدان الکتریکی و پتانسیل برای هر دو نوع خازن انجام شده و نتایج به صورت نمودارهای دو بعدی و یک بعدی نمایش داده شده‌اند. این شبیه‌سازی‌ها به درک بهتر رفتار میدان الکتریکی و پتانسیل در اطراف صفحات خازن کمک می‌کنند و تفاوت‌های بین خازن‌های با صفحات متناهی و بینهایت را نشان می‌دهند.

۲ توضیح منطق کد

ساختار کلی کدها هر دو فایل FinitePlateCapacitor.py و InfinitePlateCapacitor.py از کتابخانه KUEM برای شبیه‌سازی میدان الکترواستاتیک استفاده می‌کنند. این کتابخانه احتمالاً برای حل معادلات پواسون/لاپلاس با روشهای عددی (مانند تفاضل محدود) طراحی شده است. کدها شامل مراحل زیر هستند:

دریافت پارامترهای ورودی مانند چگالی سطحی بار، $(\text{Surface Charge Density})$ ، فاصله صفحات، (d) و طول صفحات (L) برای خازن متناهی).

تعیین تنظیمات شبکه و مرزها:

N : تعداد نقاط مشبندی در هر راستا.

delta_x : ابعاد فضای شبیه‌سازی.

Boundaries: شرایط مرزی (بسته، تخت، یا تناوبی).

تعریف تابع چگالی جریان (J) برای مدلسازی بارهای روی صفحات خازن.

ایجاد نمونه‌گیرها برای میدان الکتریکی، (E) ، پتانسیل، (V) و چگالی بار، (Rho) .

اجرای شبیه‌سازی و حل معادلات.

ذخیره و نمایش نتایج به صورت نمودارهای میدان و پتانسیل.

منطق تابع J (تعیین چگالی بار) تابع J مسئول ایجاد چگالی بار روی صفحات خازن است. این تابع یک شبکه سه‌بعدی (Grid) ایجاد میکند و مقدار بار را در نقاط مربوط به صفحات خازن تنظیم مینماید. مثال از کد خازن متناهی:

```
Grid[int(N[0]*(1-L)/2):int(N[0]*(1+L)/2), int(N[1]*(1-L)/2):int(N[1]*(1+L)/2),  
int(N[2]*(1+d)/2), 0] = -c * SurfaceChargeDensity / dx[2]
```

این خط بار منفی را در صفحه بالایی خازن (محور z) اعمال میکند. محدوده $\text{int}(N[0]*(1-L)/2)$ تا $\text{int}(N[0]*(1+L)/2)$ ، طول صفحه را در راستای x و y مشخص میکند.

برای خازن بینهایت، به جای محدود کردن صفحات در راستای x و y، از شرط مرزی تناوبی (periodic) استفاده میشود تا بینهایت بودن صفحات شبیهسازی شود.

نمونه‌گیری و نمایش نتایج خازن متناهی: نمونه‌گیری در یک صفحه دو بعدی (x-z) انجام میشود تا توزیع میدان و پتانسیل در فضای اطراف صفحات نمایش داده شود.

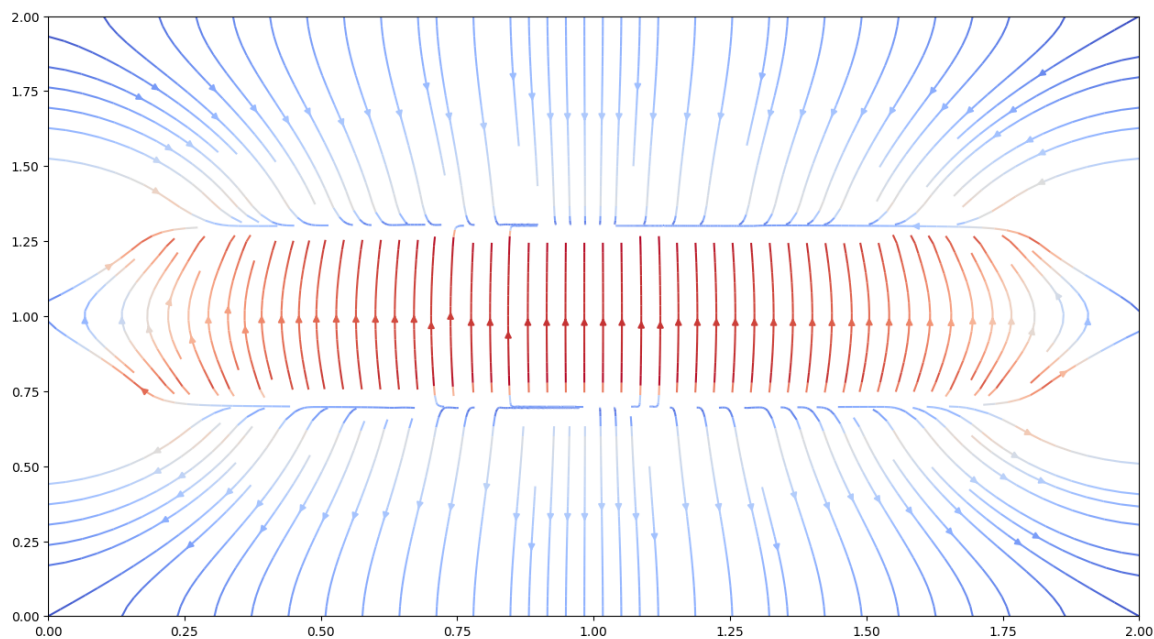
```
Points_scalar = EM.sample_points_plane(x_hat, y_hat, np.array([0, 0, 0]), PointsSize,  
np.array([Res_scalar, Res_scalar]))
```

خازن بینهایت: نمونه‌گیری در یک خط عمودی (z) انجام میشود تا پتانسیل به صورت یک بعدی تحلیل شود.

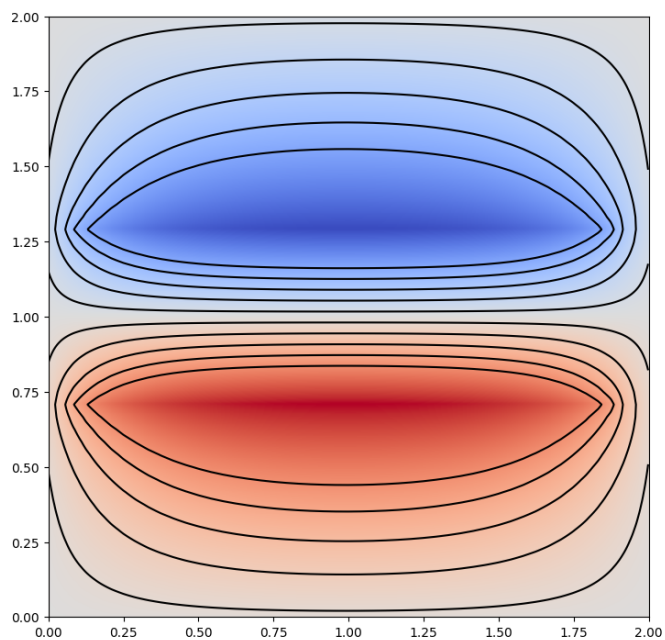
```
Points_line = EM.sample_points_line(x1, x2, Res_line)
```

۳ نتایج اولیه و تحلیل انتظارات

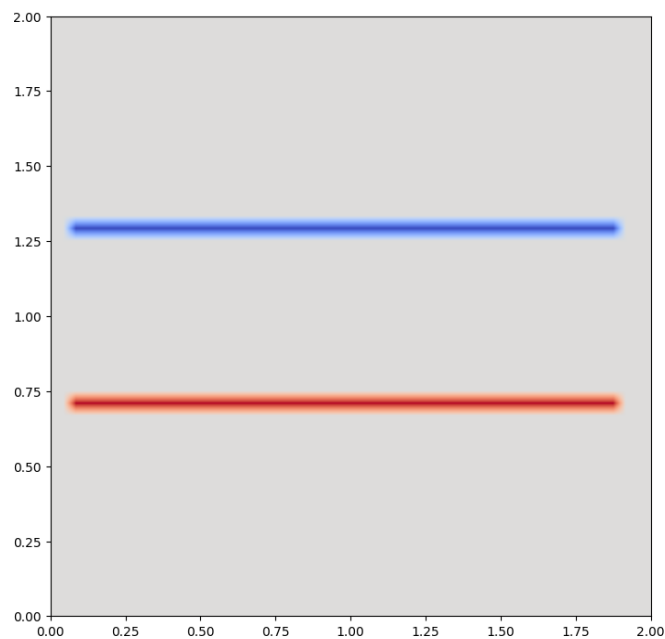
۱. خازن صفحه‌ای متناهی میدان الکتریکی: انتظار میرود میدان بین صفحات تقریباً یکنواخت باشد، اما در لبه‌های صفحات به دلیل اثرات لبه، میدان کاهش یابد و خطوط میدان خمیده شوند. در خارج از صفحات، میدان غیر صفر خواهد بود. نمودار زیر خطوط میدان خمیده و چگالی کمتر در لبه‌ها را نشان میدهد.



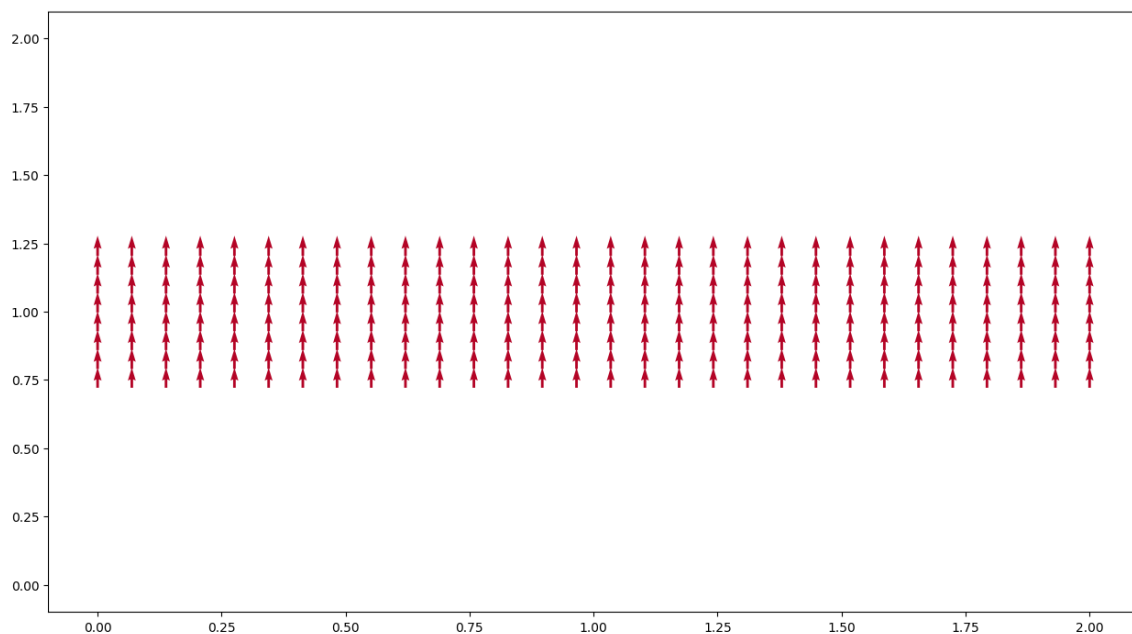
پتانسیل الکتریکی: پتانسیل بین صفحات به صورت خطی تغییر میکند، اما نزدیک لبهها انحنا دارد. نمودار زیر سطوح همپتانسیل متقارن با انحراف در لبهها را نمایش میدهد.



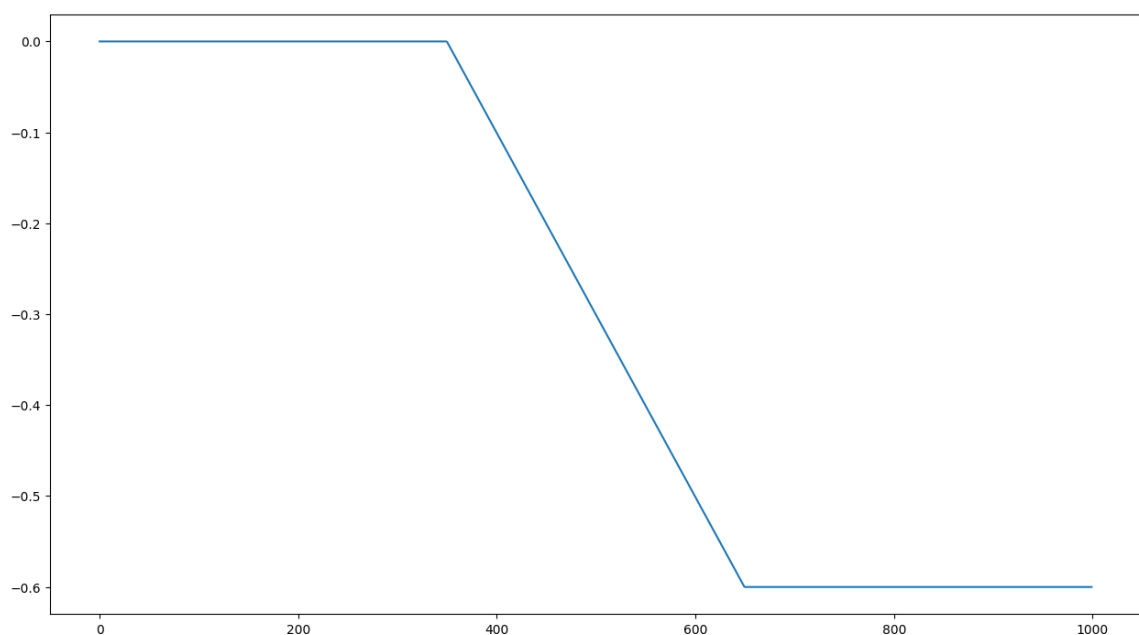
چگالی بار: نمودار زیر چگالی بار سطحی روی صفحات و توزیع فضایی بارهای القایی را نشان میدهد.



۲. خازن صفحه‌ای بینهایت میدان الکتریکی: میدان بین صفحات کاملاً یکنواخت و موازی است و در خارج از صفحات صفر خواهد بود. نمودار زیر خطوط میدان مستقیم و موازی را نمایش میدهد.



پتانسیل الکتریکی: پتانسیل به صورت خطی بین صفحات افت میکند. نمودار زیر یک رابطه خطی بین پتانسیل و موقعیت z را نشان میدهد.



تفاوت با خازن متناهی: عدم وجود اثرات لبه و یکنواختی کامل در میدان و پتانسیل از ویژگیهای کلیدی این مدل است.

۴ تحلیل نهایی

خازن متناهی: شبیهسازی اثرات واقعی مانند پراکندگی میدان در لبهها را آشکار میکند. این نتایج برای طراحی خازنهای عملی (مانند خازنهای مورد استفاده در مدارها) اهمیت دارد.

خازن بینهایت: مدل ایدهآلی است که برای محاسبات تحلیلی و درک مفاهیم پایه الکترومغناطیس استفاده میشود. نتایج این شبیهسازی تأییدکننده فرمولهای کلاسیک مانند

$$(۱) \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

است.