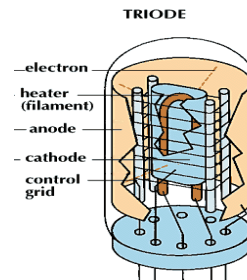


Trioden

I sen-stenåldern användes rörförstärkare i såväl datorer som radio- och TV-apparater. De aktiva komponenterna var ofta trioder:



Vänstra bilden visar Lee de Forests "Audion" från 1908. Den förbättrades runt 1912 med indirekt uppvärmning av katoden, kallades triod (höger), och används såhär i en förstärkare:

Din uppgift är att bygga en triod i COMSOL och beräkna dess förstärkningsfaktor

$$\mu = \left(\frac{\partial V_A}{\partial V_G} \right)_{I_A}$$

där V_G är spänningen ("input voltage") på gallret, V_A är potentialen på anoden och I_A är anodströmmen. Man kan visa, att om effekter av rymdladdningen (elektron-molnet omkring katoden) kan försummas, så är

$$\mu = C_{GK} / C_{AK},$$

där C_{xy} är "delkapacitansen" mellan x och y, se nedan.

Om vi negligerar elektronmolnets inverkan på det elektriska fältet är det Laplaces ekvation som gäller,

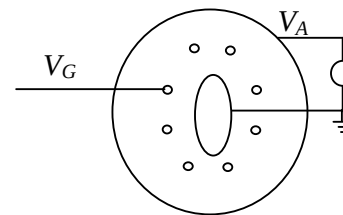
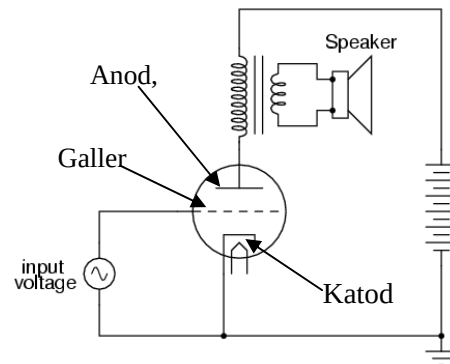
$$\Delta V = 0,$$

$$V = 0 \text{ på katoden,}$$

$$V = V_A \text{ på anoden,}$$

$$V = V_G \text{ på gallret}$$

I vår 2D modell omsluter anoden helt katod och gallret. Figur med gallret – de små cirkelarna, katod - ellipsen, och anoden – den yttre cirkeln.



1 Beräkning av delkapacitanser.

Ett antal ledande kroppar B_i , $i = 1, \dots, N$, i vakuum har potentialerna V_i , respektive.

Laddningen hos en kropp blir

$$Q_i = \int_{\partial B_i} \nabla V \cdot \mathbf{n} dS \quad (*)$$

och av linjariteten hos Laplaces ekvation följer då att

$$Q_i = \sum_{j=1}^N c_{ij} V_j$$

där koefficienten c_{ij} kallas kapacitanskoefficienten mellan kropp i och j ($C_{ij} = C_{ji}$), $i, j = A, G, K$. Delkapacitansen C_{ij} definieras nu av

$$Q_i = C_{ii}V_i + \sum_{j \neq i}^N C_{ij}(V_i - V_j)$$

vilket ger en enkel relation mellan c_{ij} och C_{ij}

1.1 Utredning att redovisa

1. A: Visa att $Q_A + Q_K + Q_G = 0$ med Gauss' sats $\int_{\Omega} \text{div} \nabla V d\Omega = \int_{\partial\Omega} \nabla V \cdot \mathbf{n} dS$
2. B: Visa, att $\mu = c_{GK} / c_{GA}$

Med COMSOL får man delkapacitanser genom att med integration av (*) över ränderna beräkna laddningarna på kropparna med olika V_G

Eftersom $V_A = \text{konstant}$ gäller $\frac{dQ_K}{dV_G} = c_{KG}$, och för $V_G = 0$ får vi $Q_K = c_{KA} \cdot V_A$

Så

$$\frac{c_{GK}}{c_{AK}} = \frac{V_A \cdot dQ_K / dV_G}{Q_K(V_G = 0)}$$

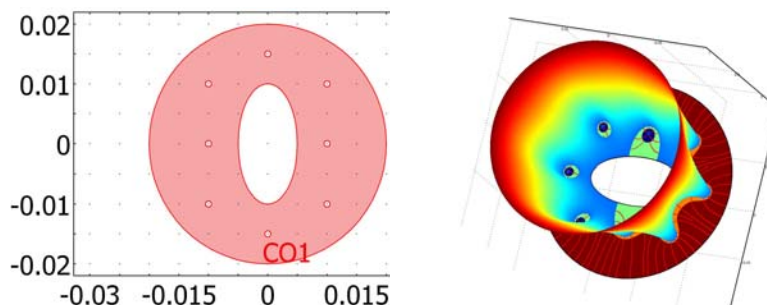
2 COMSOL-modellering

2.1 Mode

Använd 2D COMSOL Multiphysics>Electromagnetics>Electrostatics

2.2 Geometri

Dimensioner tas ur figuren nedan vänster i m-skala: Anoden har radie 2 cm, katoden är elliptisk med halvaxlar 5 och 10 mm. De 8 galler-trådarna har diameter 1 mm.



Välj om du vill annan geometri, gärna med fler och tunnare galler-trådar.

2.3 Konstanter och uttryck

- Inför V_A och V_G som konstanter under **options/constants**
- Randvillkoren är Dirichlet på alla ränder, $V = 0$ på katoden ("ground"), V_G på gallret och $V_A (= 1 \text{ V} ?)$ på anoden. Prova först några värde på V_G och lös, se att randvillkoren är uppfyllda.

3 A-uppgifter

Använd lösningarna till att kontrollera COMSOLberäkningarna :

- Linjariteten (Q_i sfa. de olika V)
- Laddnings-summan
- konvergens under nätförfining. Hur många element för att få 1% noggrannhet i laddningsberäkningen för gallret? Använd global förfining (triangel-ikonen med en röd mittdel)

4 B-uppgifter

- Använd parameter-lösaren under **solve>solver parameters** och variera V_G från -1 till 1.
- Visualisera potentialfältet som färgkod och z-värden:
Post processing/plot parameters/Surface/Surface data (& height data)
och rita elektron-banor som fältlinjer
Post processing/plot parameters/Streamlines
från katoden, t ex som bilden till höger.
- Gör en animering.
- Använd
Options/Integration Coupling Variables/Boundary Variables
med **global destination** för beräkning av Q_A , Q_G och Q_K under beräkningarna.
 E -fältets normalkomponent blir
$$\text{grad } V \cdot (n_x, n_y) = V_x \cdot n_x + V_y \cdot n_y$$
vilket uttryck man skriver in under "Expression" och väljer de ränder som ska ingå i integralen. Kontrollera att "Global destination" är markerad!
- Plotta alla tre med
Post processing>Global variables plot.
- Avläs dQ_K/dV_G och $Q_K(V_G = 0)$ och beräkna förstärkningsfaktorn.