

Εφαρμογή της Μεθόδου των Βοηθητικών Πηγών (Method of Auxiliary Sources - MAS) στην Ανάλυση Ηλεκτρομαγνητικής Σκέδασης από Διηλεκτρικές, Τοπικά Μη-λείες Επιφάνειες

Σπουδαστές:

Αναστασιάδου Μηνωδώρα Τατιανή
Ιατρόπουλος Βησσαρίων

Επιβλέπων:

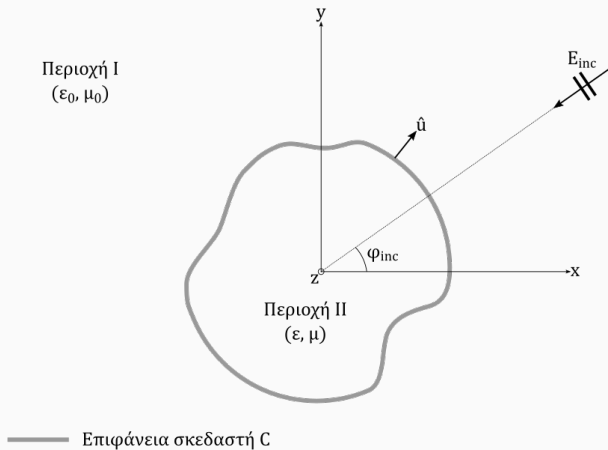
Δρ. Αναστασίου Χρήστος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.
Τ. Ε. Ι. Κεντρικής Μακεδονίας



- Εισαγωγή στη θεωρία
- **Ευθύ** πρόβλημα ηλεκτρομαγνητικής σκέδασης
- **Αντίστροφο** πρόβλημα ηλεκτρομαγνητικής σκέδασης
- Αναλυτικές λύσεις για απλά γεωμετρικά σχήματα σκεδαστή
- Αριθμητικές τεχνικές για περίπλοκες γεωμετρίες σκεδαστή

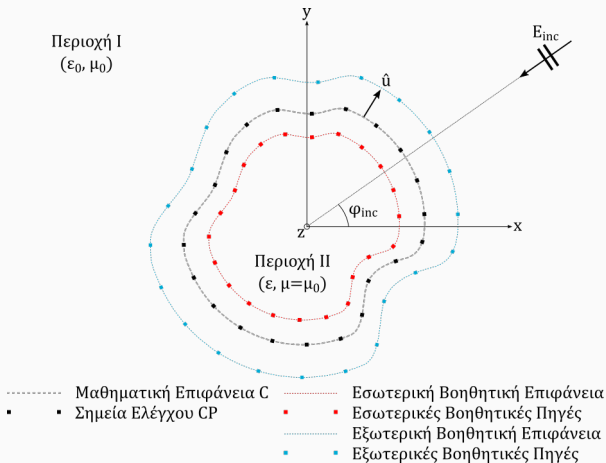
ΓΕΝΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΚΕΔΑΣΗΣ



- Πεδίο Περιοχής I: $(\mathbf{E}_I, \mathbf{H}_I) = (\mathbf{E}_{inc} + \mathbf{E}_{sc}, \mathbf{H}_{inc} + \mathbf{H}_{sc})$
- Πεδίο Περιοχής II: $(\mathbf{E}_{II}, \mathbf{H}_{II})$

- Ανάλυση του προβλήματος σκέδασης σε ισοδύναμες καταστάσεις
- Εσωτερικές Βοηθητικές Πηγές AS_{in}
- Εξωτερικές Βοηθητικές Πηγές AS_{out} (μόνο για διηλεκτρικό σκεδαστή)
- Σημεία Ελέγχου CP και Μεσοσημεία MP
- Οριακή συνθήκη

ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ (MAS) - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



Ισοδύναμη κατάσταση ενός λείου διηλεκτρικού σκεδαστή, απείρου μήκους και αυθαίρετης γεωμετρίας

- Προσπίπτον Η/Μ πεδίο:

$$\mathbf{E}_{inc} = \hat{\mathbf{z}}E_{incz}(x, y)$$

$$\mathbf{H}_{inc} = \hat{\mathbf{x}}H_{incx}(x, y) + \hat{\mathbf{y}}H_{incy}(x, y)$$

- Σκεδαζόμενο Η/Μ πεδίο:

$$\mathbf{E}_{sc} = \mathbf{E}_{in} = \hat{\mathbf{z}} \sum_{n=1}^N E_{scn}$$

$$\mathbf{H}_{sc} = \mathbf{H}_{in} = \hat{\mathbf{x}} \sum_{n=1}^N H_{scxn} + \hat{\mathbf{y}} \sum_{n=1}^N H_{scy n}$$

- Εσωτερικό Η/Μ πεδίο (μόνο για διηλεκτρικό σκεδαστή):

$$\mathbf{E}_{out} = \hat{\mathbf{z}} \sum_{N=1}^N E_{outn}$$

$$\mathbf{H}_{out} = \hat{\mathbf{x}} \sum_{n=1}^N H_{outxn} + \hat{\mathbf{y}} \sum_{n=1}^N H_{outyn}$$

- Εύρεση αγνώστων βαρών $I_{in\ n}$ και $I_{out\ n}$:

$$\{\mathbf{I}\} = [\mathbf{Z}]^{-1} \{\mathbf{V}\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{Bmatrix} \{\mathbf{I}_{in}\} \\ \{\mathbf{I}_{out}\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [Z_{E_{in}}] & [Z_{E_{out}}] \\ [Z_{H_{in}}] & [Z_{H_{out}}] \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \{\mathbf{V}_E\} \\ \{\mathbf{V}_H\} \end{Bmatrix}$$

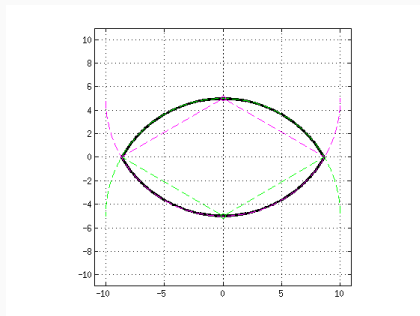
- Ανάλυση σφαλμάτων:

$$\Delta E_{bc} = \frac{|\hat{\mathbf{u}} \times (E_{sc} + E_{inc} - E_{out})|}{|E_{inc}|_{max}}$$

$$\Delta H_{bc} = \frac{|\hat{\mathbf{u}} \times (H_{sc} + H_{inc} - H_{out})|}{|H_{inc}|_{max}}$$

- Εύρεση Διατομής Σκέδασης Ραντάρ (RCS):

$$\sigma = \lim_{\rho \rightarrow \infty} 2\pi\rho \frac{|E_{sc}|^2}{|E_{inc}|^2}$$



- Καρτεσιανές συντεταγμένες άνω τόξου με κέντρο (x_0, y_0) :

$$x_{up} = \rho \cos(\phi_{arc_up}) + x_0$$

$$y_{up} = \rho \sin(\phi_{arc_up}) + y_0$$
- Πολικές γωνίες άνω τόξου: $\phi_{first} \leq \phi_{arc_up} \leq \phi_{last}$
- Επίκεντρα γωνία τόξου: $\phi_{arc} = 2 \arccos(d/\rho)$

- **Σημεία Ελέγχου (CP):**

- Τοποθέτηση CP αναλυτικά για το 1ο τεταρτημόριο
- Αξιοποίηση συμμετριών για τα CP του 2ου-4ου τεταρτημορίου

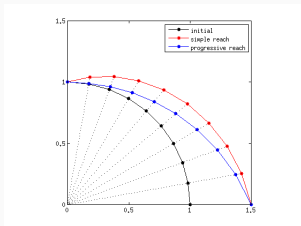
- **Βοηθητικές Πηγές (AS):**

- *ASin*: Αφαίρεση μίας τιμής από τις ακτίνες των CP
- *ASout*: Πρόσθεση μίας τιμής στις ακτίνες των CP
- Ίδιες τιμές πολικών γωνιών CP, *ASin* και *ASout*

- **Μεσοσημεία (MP):**

- Γωνίες: $\phi_{MP}^{\nu} = \phi_{CP}^{\nu} + \frac{\phi_{CP}^{\nu+1} - \phi_{CP}^{\nu}}{2}$
- Ακτίνες: υπολογίζονται μέσω παρεμβολής με κυβικά splines

1. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΙΣ ΑΚΜΕΣ



- Απλή προσέγγιση:

$$\rho_n^{reach} = \{\rho_1 + a_1, \rho_2 + a_2, \rho_3 + a_3, \dots, \rho_N + a_N\}$$

- όπου $a_n = n \frac{g_{max} s_{max}}{N}$

- Προοδευτική προσέγγιση:

$$\rho_n^{reach} = \{\rho_1, \rho_2 + a_2 u_2, \rho_3 + a_3 u_3, \dots, \rho_N + a_N u_N\}$$

- όπου $a_n u_n = n \frac{g_{max} s_{max}}{N} n \frac{1}{N} = n^2 \frac{g_{max} s_{max}}{N^2}$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ MAS -

- ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ MAS ΣΤΑ ΜΗ-ΛΕΙΑ ΣΗΜΕΙΑ

2. ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΟΝΤΑ ΣΤΙΣ ΑΚΜΕΣ

3. ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΗ ΠΥΚΝΩΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΟΝΤΑ ΣΤΙΣ ΑΚΜΕΣ

- **Επιπρόσθετες Βοηθητικές Πηγές**
 - Δημιουργία διανύσματος γραμμικών αποστάσεων, με επαυξημένο πλήθος τιμών για τις γωνίες
 - Προσθήκη αναλυτικά για το άνω τόξο, μέσω συμμετρίας για το κάτω τόξο
- **Προοδευτική πύκνωση Βοηθητικών Πηγών**
 - Προοδευτικά πυκνωμένες γωνίες: $\phi_{dense} = \phi D^2$
όπου D διάνυσμα γραμμικών αποστάσεων με αρχική τιμή $0 < D_{start} \leq 1$ και τελική $D_{end} = 1$
 - Αναλυτική πύκνωση για το 1ο τεταρτημόριο, εκμετάλλευση συμμετριών για 2ο-4ο τεταρτημόριο

- Επίπεδο κύμα εγκάρσιας μαγνητικής (TM) πόλωσης
 - Μοναδιαίου πλάτους $E_0 = 1$
 - Γωνίας πρόσπτωσης ϕ_{inc}

- Για αυθαίρετο σημείο \mathbf{ap} (x_{ap}, y_{ap}):

$$\mathbf{E}_{inc}^{ap} = E_0 e^{jk_0(x_{ap} \cos \phi_{inc} + y_{ap} \sin \phi_{inc})} \hat{\mathbf{z}}$$

$$\mathbf{H}_{inc}^{ap} = -\frac{E_0}{\zeta} (\sin \phi_{inc} \hat{\mathbf{x}} - \cos \phi_{inc} \hat{\mathbf{y}}) e^{jk_0(x_{ap} \cos \phi_{inc} + y_{ap} \sin \phi_{inc})}$$

- Υπολογισμοί Η/Μ πεδίου σε CP με καρτεσιανές συντεταγμένες (x_{CP}, y_{CP})
 - Σκεδαζόμενο Η/Μ πεδίο:

$$E_{sc_n} = E_{in_n} = -\frac{k_0 \zeta_0 I_{in_n}}{4} H_0^{(2)}(k_0 d_{in_n})$$

$$H_{sc_x_n} = H_{in_x_n} = \frac{k_0 I_{in_n} (y_{in_n} - y_{CP})}{4j d_{in_n}} H_1^{(2)}(k_0 d_{in_n})$$

$$H_{sc_y_n} = H_{in_y_n} = \frac{k_0 I_{in_n} (x_{CP} - x_{in_n})}{4j d_{in_n}} H_1^{(2)}(k_0 d_{in_n})$$

- Εσωτερικό Η/Μ πεδίο:

$$E_{out_n} = -\frac{k \zeta I_{out_n}}{4} H_0^{(2)}(k d_{out_n})$$

$$H_{out_x_n} = \frac{k I_{out_n} (y_{out_n} - y_{CP})}{4j d_{out_n}} H_1^{(2)}(k d_{out_n})$$

$$H_{out_y_n} = \frac{k I_{out_n} (x_{CP} - x_{out_n})}{4j d_{out_n}} H_1^{(2)}(k d_{out_n})$$

- Επιβολή Οριακής Συνθήκης:

$$\hat{\mathbf{u}} \times (\mathbf{E}_{sc} - \mathbf{E}_{out}) = -\hat{\mathbf{u}} \times \mathbf{E}_{inc}$$

$$\hat{\mathbf{u}} \times (\mathbf{H}_{sc} - \mathbf{H}_{out}) = -\hat{\mathbf{u}} \times \mathbf{H}_{inc}$$

- Επίλυση συστήματος:

$$\{\mathbf{I}\} = [\mathbf{Z}]^{-1} \{\mathbf{V}\}$$

- Ανάλυση σφαλμάτων:

$$\Delta E_{bc} = \frac{|\hat{\mathbf{u}} \times (\mathbf{E}_{sc} + \mathbf{E}_{inc} - \mathbf{E}_{out})|}{|E_{inc}|_{max}}$$

$$\Delta H_{bc} = \frac{|\hat{\mathbf{u}} \times (\mathbf{H}_{sc} + \mathbf{H}_{inc} - \mathbf{H}_{out})|}{|H_{inc}|_{max}}$$

- Εύρεση Διατομής Σκέδασης Ραντάρ (RCS):

$$\sigma = \lim_{\rho \rightarrow \infty} 2\pi\rho \frac{|E_{sc}|^2}{|E_{inc}|^2}$$

- Κανονικοποίηση του RCS ως προς το μοναδιαίο μέτρο:

$$\sigma/m$$

- Μετατροπή του κανονικοποιημένου RCS σε decibel:

$$(\sigma/m)_{(dB)} = 10 \log_{10}(\sigma/m)$$

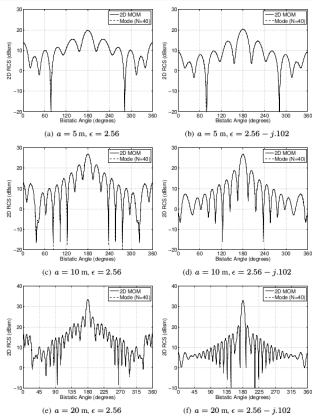
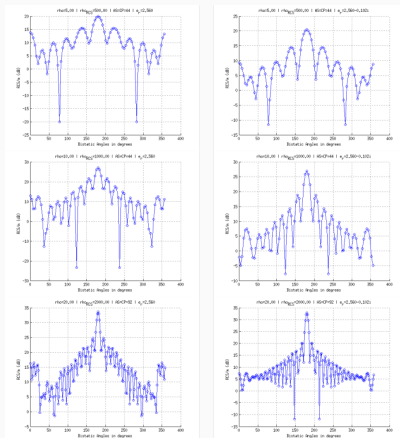
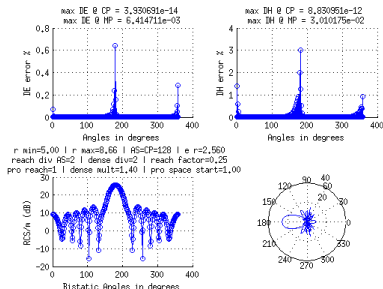
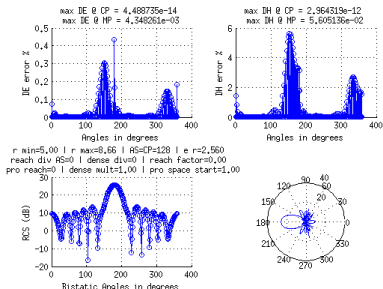


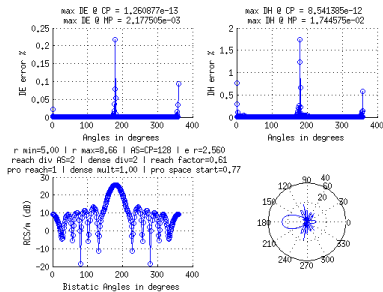
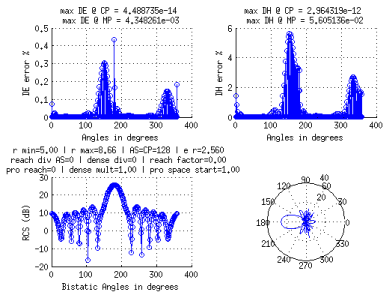
FIGURE 6.18: 2D Dielectric Cylinder: Bistatic RCS, TM Polarization



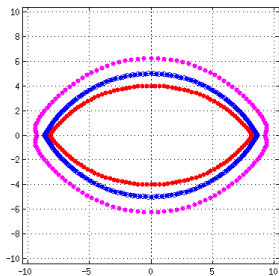
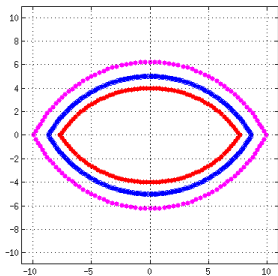
Διηλεκτρικός κύλινδρος κυκλικής διατομής - Διστατικό RCS για $\rho = \{5, 10, 20\} \text{ m}$ και $\epsilon_r = \{2.56, 2.51 + 0.102i\}$



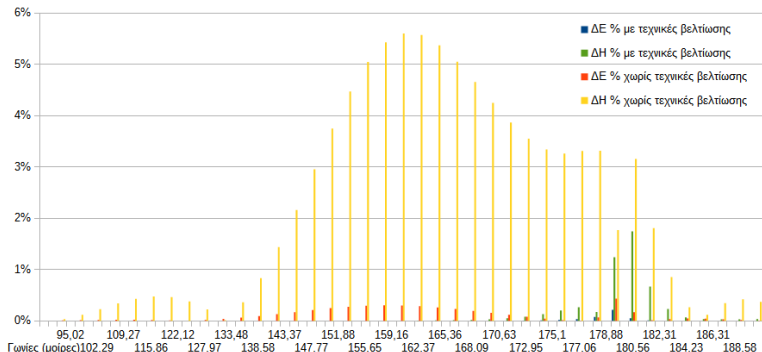
Διηλεκτρικός σκεδαστής διατομής «οφθαλμού» - Διστατικό RCS, αριστερά χωρίς τεχνικές βελτίωσης και δεξιά με προοδευτική προσέγγιση και προσθήκη Βοηθητικών Πηγών



Διηλεκτρικός σκεδαστής διατομής «οφθαλμού» - Διστατικό RCS, αριστερά χωρίς τεχνικές βελτίωσης και δεξιά με προοδευτική προσέγγιση και προοδευτική πύκνωση Βοηθητικών Πηγών



Διηλεκτρικός σκεδαστής διατομής «οφθαλμού» - Κατανομές CR, AS και MP, αριστερά χωρίς τεχνικές βελτίωσης και δεξιά με προοδευτική προσέγγιση και προοδευτική πύκνωση Βοηθητικών Πηγών



Διηλεκτικός σκεδαστής διατομής «οφθαλμού» - Σφάλματα ΔΕ% και ΔΗ%, σύγκριση αρχικών και βέλτιστων αποτελεσμάτων

Σας ευχαριστούμε!
Στην διάθεσή σας για ερωτήσεις.