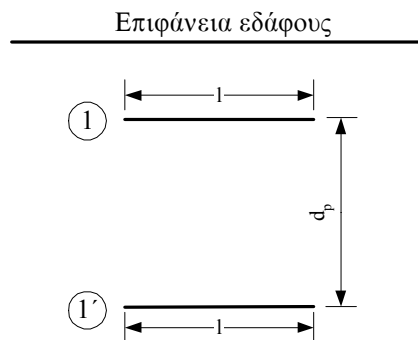


## Παράρτημα 5

### ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΑΓΩΓΟ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

#### Π5.1 Υπολογισμός επαγωγής πλέγματος

Στο σχήμα Π5.1 παρουσιάζεται ένας ευθύγραμμος αγωγός μήκους  $l$ , για τον οποίο υπολογίζεται η αυτεπαγωγή  $L$  συνεκτιμώντας και την επιστροφή ρεύματος μέσα από τη γη.



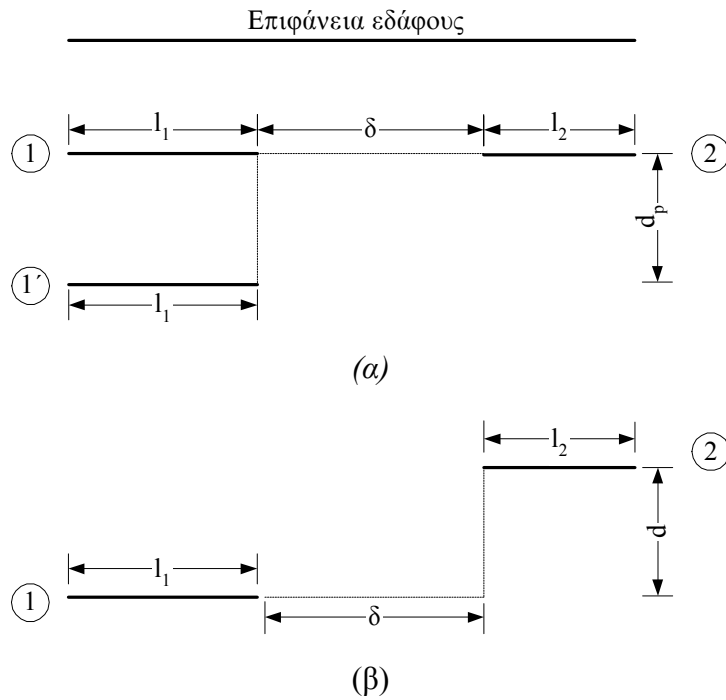
Σχήμα Π5.1: Αγωγός τοποθετημένος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και επιστροφή ρεύματος από τη γη.

Η αυτεπαγωγή του αγωγού του σχήματος Π5.1 δίνεται από τη σχέση [169]:

$$L = 0.2 \cdot l \times \left( \ln \frac{\frac{2 \cdot l}{r}}{\frac{l}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{l}{d_p}\right)^2 + 1}} + \sqrt{\left(\frac{l}{d_p}\right)^2 + 1} - \left(\frac{d_p}{l} + 1\right) \right) \quad \text{σε } \mu\text{H} \quad (\text{Π5.1})$$

όπου  $d_p$  είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του αγωγού γείωσης και του αγωγού επιστροφής.

Στο σχήμα Π5.2 παρουσιάζεται η διάταξη δύο παραλλήλων αγωγών, καθώς και ενός αγωγού επιστροφής του ρεύματος. Όλοι οι αγωγοί έχουν όμοια χαρακτηριστικά και επιπλέον γίνεται η παραδοχή ότι οι αγωγοί 1 και 1' έχουν το ίδιο μήκος.



*Σχήμα Π5.2: Διάταξη δύο παραλλήλων αγωγών οριζόντιας απόστασης  $\delta$  και κατακόρυφης  $d$  με επιστροφή ρεύματος από τη γη  
(α) σε τομή (β) σε κάτοψη*

Η αλληλεπαγωγή μεταξύ των αγωγών 1 και 2 του σχήματος Π5.2 δίνεται από τη σχέση:

$$L_{ij} = 0.1 \cdot \left\{ a \cdot \ln \frac{\left[ \frac{\alpha}{d} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{d}\right)^2 + 1} \right]}{\left[ \frac{\alpha}{r} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{r}\right)^2 + 1} \right]} - \beta \cdot \ln \frac{\left[ \frac{\beta}{d} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{d}\right)^2 + 1} \right]}{\left[ \frac{\beta}{r} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{r}\right)^2 + 1} \right]} \right. \\ \left. - \gamma \cdot \ln \frac{\left[ \frac{\gamma}{d} + \sqrt{\left(\frac{\gamma}{d}\right)^2 + 1} \right]}{\left[ \frac{\gamma}{r} + \sqrt{\left(\frac{\gamma}{r}\right)^2 + 1} \right]} + \delta \cdot \ln \frac{\left[ \frac{\delta}{d} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{d}\right)^2 + 1} \right]}{\left[ \frac{\delta}{r} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{r}\right)^2 + 1} \right]} \right. \\ \left. - \sqrt{\alpha^2 + d^2} + \sqrt{\alpha^2 + r^2} + \sqrt{\beta^2 + d^2} - \sqrt{\beta^2 + r^2} \right\}$$

$$+ \sqrt{\gamma^2 + d^2} - \sqrt{\gamma^2 + r^2} - \sqrt{\delta^2 + d^2} + \sqrt{\delta^2 + r^2} \} \quad \text{σε } \mu\text{H} \quad (\text{Π5.2})$$

όπου  $\delta$  η οριζόντια απόσταση των αγωγών 1 και 2

$d$  η κάθετη απόσταση των αγωγών 1 και 2

$d_p$  η κατακόρυφη απόσταση των αγωγών 1 και 1'

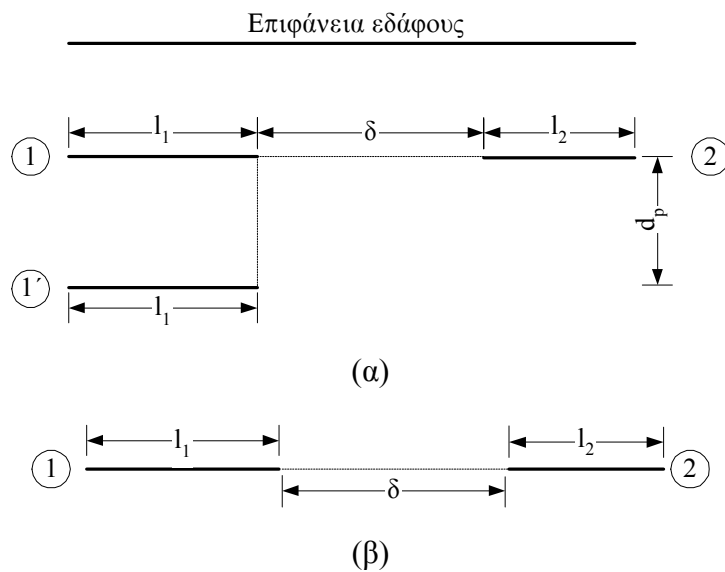
$$a = l_1 + l_2 + \delta$$

$$\beta = l_1 + \delta$$

$$\gamma = l_2 + \delta$$

$$r = \sqrt{d^2 + d_p^2}$$

Στο σχήμα Π5.3 φαίνεται η διάταξη των αγωγών στην περίπτωση που η κάθετη απόσταση  $d$  μεταξύ των αγωγών 1 και 2 είναι μηδέν. Σε αυτή τη διάταξη η απόσταση  $r$  είναι ίση με την κατακόρυφη απόσταση  $d_p$ .



Σχήμα Π5.3: Διάταξη παραλλήλων αγωγών με  $d = 0$  και επιστροφή μέσα από τη γη.

(α) σε τομή

(β) σε κάτοψη

Η αλληλεπαγωγή στην περίπτωση του σχήματος Π5.3 δίνεται από τη σχέση.

$$\begin{aligned}
L_{ij} = 0.1 \cdot & \left\{ \alpha \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot \alpha}{\frac{\alpha}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] - \beta \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot \beta}{\frac{\beta}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] \right. \\
& - \gamma \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot \gamma}{\frac{\gamma}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{\gamma}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] + \delta \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot \delta}{\frac{\delta}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] \\
& \left. + \sqrt{\alpha^2 + d_p^2} - \sqrt{\beta^2 + d_p^2} - \sqrt{\gamma^2 + d_p^2} + \sqrt{\delta^2 + d_p^2} \right\} \text{ σε } \mu\text{H} \quad (\text{Π5.3})
\end{aligned}$$

Η αλληλεπαγωγή δύο αγωγών που επικαλύπτονται συνυπολογίζοντας και την επιστροφή ρεύματος μέσα από τη γη δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}
L_{ij} = 0.1 \cdot & \left\{ (d_1 + d_2) \cdot \ln \left[ \frac{d_1 + d_2}{\frac{d_1 + d_2}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{d_1 + d_2}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] \right. \\
& - d_1 \cdot \ln \left[ \frac{d_1}{\frac{d_1}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{d_1}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] - d_2 \cdot \ln \left[ \frac{d_2}{\frac{d_2}{d_p} + \sqrt{\left(\frac{d_2}{d_p}\right)^2 + 1}} \right] \\
& \left. + \sqrt{(d_1 + d_2)^2 + d_p^2} - \sqrt{d_1^2 + d_p^2} - \sqrt{d_2^2 + d_p^2} + d_p \right\} \text{ σε } \mu\text{H} \quad (\text{Π5.4})
\end{aligned}$$

## Π5.2 Υπολογισμός αντίστασης πλέγματος

Οι Rogers και White [165] χρησιμοποίησαν τη μέθοδο των ειδώλων για να υπολογίσουν τη σύνθετη αντίσταση αγωγών, που είναι τοποθετημένοι πάνω από την

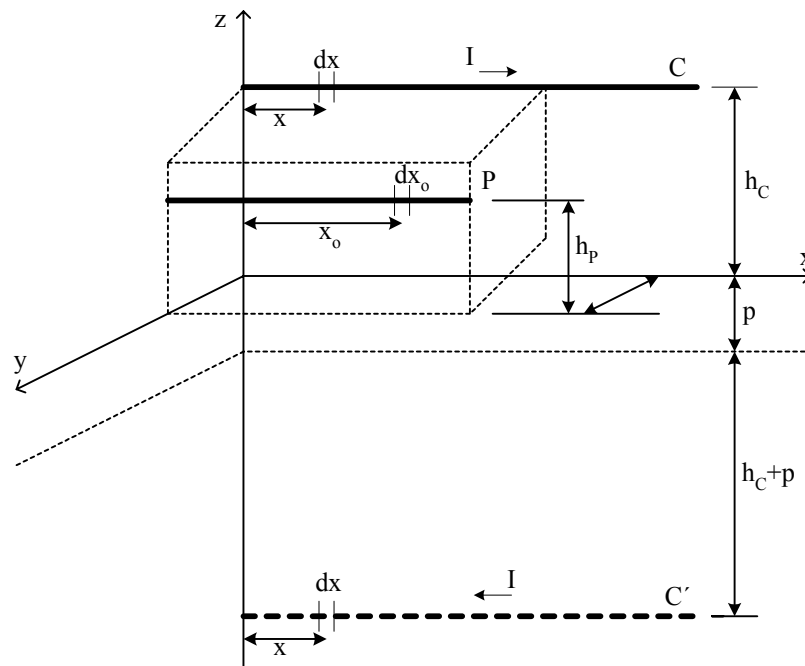
επιφάνεια της γης και διαρρέονται από ρεύμα μη μηδενικής συχνότητας (σχήμα Π5.4), λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση αγωγού επιστροφής ρεύματος. Η επιφάνεια της γης μπορεί να αντικατασταθεί με ένα ιδανικά αγώγιμο επίπεδο, το οποίο βρίσκεται σε μία μιγαδική απόσταση  $p$  κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το ισοδύναμο αυτό μιγαδικό βάθος ορίζεται από τη σχέση [165].

$$p = \frac{d}{2} \cdot (1 - j) \quad (\text{Π5.5})$$

Η μεταβλητή  $d$ , η οποία εκφράζει βάθος σε m, δίνεται από τη σχέση:

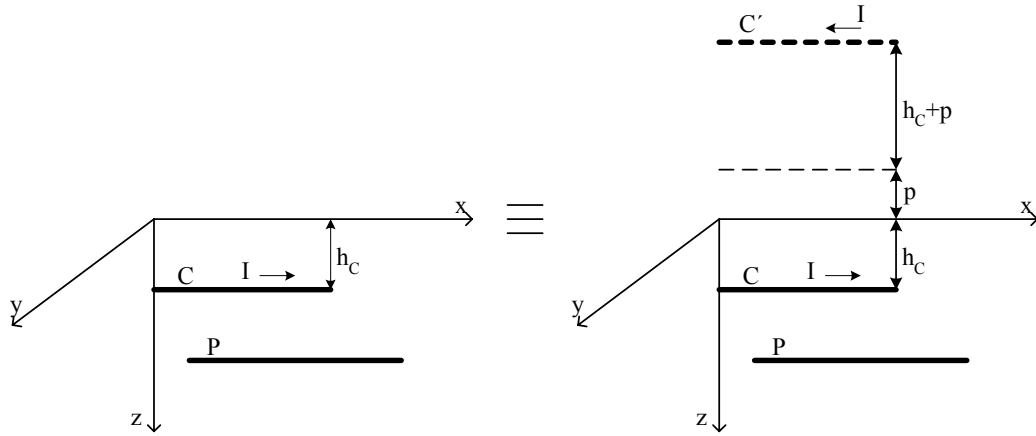
$$d = \frac{\sqrt{10}}{2 \cdot \pi} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{\rho_s}{f}} \quad (\text{Π5.6})$$

όπου  $\rho_s$  η ειδική αντίσταση του εδάφους  
 $f$  η συχνότητα του ρεύματος



Σχήμα Π5.4: Η μέθοδος των ειδώλων σε παράλληλους αγωγούς, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω από την επιφάνεια ομογενούς εδάφους με επιστροφή ρεύματος μέσω της γης.

Η ίδια μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση που οι αγωγοί είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του εδάφους [169], όπως φαίνεται στο σχήμα Π5.5.



Σχήμα Π5.5: Η μέθοδος των ειδώλων σε παράλληλους αγωγούς, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια ομογενούς εδάφους με επιστροφή ρεύματος μέσω της γης.

Η σύνθετη αντίσταση ενός αγωγού  $C$  πεπερασμένου μήκους δίνεται από τη σχέση [165]:

$$Z_C = j \cdot \frac{\omega \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \left[ l_C \cdot \ln \frac{2 \cdot (h_C + p)}{r} + l_C \cdot \ln \frac{l_C + \sqrt{(l_C^2 + r^2)}}{l_C + \sqrt{(l_C^2 + 4 \cdot (h_C + p)^2)}} - \sqrt{l_C^2 + r^2} + \sqrt{l_C^2 + 4 \cdot (h_C + p)^2} + r + 2 \cdot (h_C + p) \right] \quad (\text{Π5.7})$$

όπου  $l_C$  το μήκος του αγωγού  $C$

$h_C$  το βάθος τοποθέτησης του αγωγού  $C$

$r$  η ακτίνα του αγωγού

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  η κυκλική συχνότητα

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  H/m η μαγνητική διαπερατότητα

Η συνολική σύνθετη αντίσταση σύζευξης που προκαλεί ο αγωγός  $C$  και το είδωλό του  $C'$  στον αγωγό  $P$  δίνεται από τη σχέση [165]:

$$Z_{C-P} = R_M + j \cdot X_M = j \cdot \frac{\omega \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot (M_d - M_i) \quad (\text{Π5.8})$$

όπου  $M_d$  το ολοκλήρωμα Neuman, το οποίο εκφράζει το δυναμικό που προκαλεί στον αγωγό  $P$  το ρεύμα του αγωγού  $C$  αθροίζοντας τα δυναμικά που επάγονται σε κάθε απειροστό τμήμα του αγωγού  $P$  από κάθε απειροστό τμήμα του αγωγού  $C$

$M_i$  το ολοκλήρωμα Neuman, το οποίο εκφράζει το δυναμικό που προκαλεί στον αγωγό  $P$  το ρεύμα του εικονικού αγωγού  $C'$

Τα  $M_d$  και  $M_i$  ορίζονται ως εξής [165]:

$$M_d = l_C \cdot \ln \frac{l_C + \sqrt{(l_C^2 + d^2 + h_A^2)}}{l_C - l_P + \sqrt{((l_C - l_P)^2 + d^2 + h_A^2)}} + l_P \cdot \ln \frac{l_P + \sqrt{(l_P^2 + d^2 + h_A^2)}}{l_P - l_C + \sqrt{((l_C - l_P)^2 + d^2 + h_A^2)}} \\ + \sqrt{(l_C - l_P)^2 + d^2 + h_A^2} + \sqrt{d^2 + h_A^2} - \sqrt{l_C^2 + d^2 + h_A^2} - \sqrt{l_P^2 + d^2 + h_A^2} \quad (\text{Π5.9})$$

$$M_i = l_C \cdot \ln \frac{l_C + \sqrt{(l_C^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2)}}{l_C - l_P + \sqrt{((l_C - l_P)^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2)}} \\ + l_P \cdot \ln \frac{l_P + \sqrt{(l_P^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2)}}{l_P - l_C + \sqrt{((l_C - l_P)^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2)}} \\ + \sqrt{(l_C - l_P)^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2} + \sqrt{d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2} \\ - \sqrt{l_C^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2} - \sqrt{l_P^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2} \quad (\text{Π5.10})$$

όπου  $l_C$  το μήκος του αγωγού  $C$

$l_P$  το μήκος του αγωγού  $P$

$d$  η οριζόντια απόσταση μεταξύ των αγωγών  $C$  και  $P$

$p$  ισοδύναμο βάθος της σχέσης (Π5.5)

$$h_A^2 = (h_C - h_P)^2$$

$$h_B = h_C + h_P$$

$h_C$  το βάθος τοποθέτησης του αγωγού  $C$

$h_P$  το βάθος τοποθέτησης του αγωγού  $P$

Στην ειδική περίπτωση, που οι δύο αγωγοί είναι ισομήκεις, η σχέση (Π5.8) γράφεται:

$$Z_{C-P} = j \cdot \frac{\omega \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \left[ l_C \cdot \ln \frac{\sqrt{(d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2)}}{\sqrt{(d^2 + h_A^2)}} + l_C \cdot \ln \frac{l_C + \sqrt{(l_C^2 + d^2 + h_A^2)}}{l_C + \sqrt{(l_C^2 + d^2 + (h_B + 2 \cdot p)^2)}} \right. \\ \left. + \sqrt{d^2 + h_A^2} - \sqrt{d^2 + (h_B - 2 \cdot p)^2} - \sqrt{l_C^2 + d^2 + h_A^2} - \sqrt{l_C^2 + d^2 + (h_B - 2 \cdot p)^2} \right] \quad (\text{Π5.11})$$