

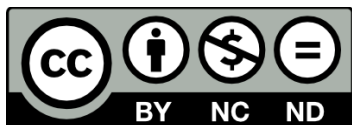


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Μάθημα ασκήσεων 1: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς

Λαμπρίδης Δημήτρης
Ανδρέου Γεώργιος
Δούκας Δημήτριος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



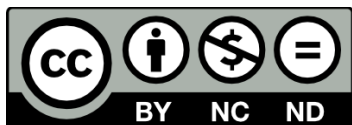
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άσκηση 1^η

Εκφώνηση

Να υπολογιστούν η ανά km αντίσταση και αυτεπαγωγή στο ορθό, αντίστροφο κι ομοπολικό σύστημα, θεωρώντας ειδική αντίσταση γης $100 \Omega\text{m}$:

α) της εναέριας γραμμής μέσης τάσης, όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, έχοντας διατομή αγωγών φάσεων αλουμινίου ίση με 95 mm^2 .

Θεωρείται ότι οι αγωγοί των φάσεων αντιμετωπίζονται μεταξύ τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

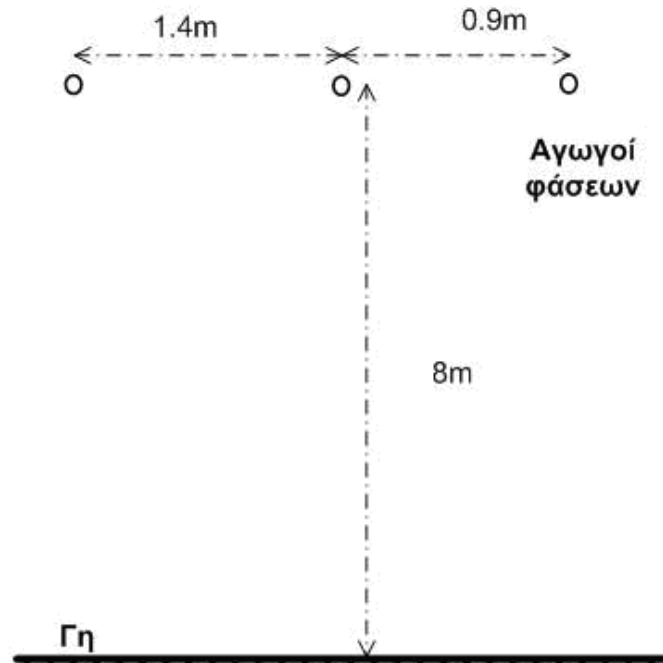


Άσκηση 1^η

Επίλυση (1/6)

α)

Εναέρια
διάταξη ΜΤ



Άσκηση 1^η

Επίλυση (2/6)

α) Η dc αντίσταση των αγωγών δίνεται από τον τύπο $R_{dc20} = \frac{\rho \cdot l}{A}$, επομένως ανά μονάδα μήκους ισχύει $R_{dc20} = \frac{\rho}{A}$.

Λαμβάνοντας υπόψη τη διατομή του αγωγού και την ειδική αντίσταση του αλουμινίου, θα είναι:

$$R_{dc20} = \frac{\rho}{A} = \frac{2,8264 \cdot 10^{-2}}{95} = 0,2975 \text{ m}\Omega / \text{m} = 0,2975 \Omega / \text{km}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (3/6)

Η αντίστοιχη αντίσταση που παρουσιάζεται στα 50 Hz χρησιμοποιώντας τους προσεγγιστικούς τύπους του Goldenberg είναι:

$$R_{ac} = R_{dc} \cdot F_s$$

$$x = 8,75 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{3,25 \cdot f}{R_{dc}}} = 8,75 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{3,25 \cdot 50}{0,2975}} = 0,02$$

$$F_s = \frac{192 + 1,8 \cdot x^4}{192 + 0,8 \cdot x^4} \approx 1$$

$$R_{ac} = 0,2975 \Omega / km$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (4/6)

Η συνολική αυτεπαγωγή είναι:

$$\begin{aligned}L_1' &= \frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{D_m}{r} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{\sqrt[3]{D_{RS} D_{ST} D_{TR}}}{r} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} \Rightarrow \\ \Rightarrow L_1' &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{\sqrt[3]{1400 \cdot 900 \cdot 2300}}{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} = 2 \cdot 10^{-7} \left(\ln \frac{1425,7}{5,5} + 0,25 \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow L_1' &= 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ H / m} = 1,16 \text{ mH / km}\end{aligned}$$

Η υπολογισμένη αυτεπαγωγή αντιστοιχεί και στο αντίστροφο σύστημα.



Άσκηση 1^η

Επίλυση (5/6)

Η ανηγμένη αντίσταση μιας τριφασικής γραμμής στο ομοπολικό σύστημα βρίσκεται αν τροφοδοτήσουμε και τους τρεις αγωγούς φάσεων με το ίδιο ρεύμα και μετρήσουμε την ανά μονάδα μήκους πτώση τάσης . Οπότε:

$$\delta = 93,2\sqrt{\rho} = 932 \text{ m}, \text{ άρα:}$$

$$\begin{aligned}\bar{Z}'_0 &= R'_1 + 3\frac{\mu_0\omega}{8} + j\frac{\mu_0\omega}{2\pi} \left\{ 3\ln\left(\frac{\delta}{\sqrt[3]{rD_m^2}}\right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} = \\ &= 0,2975 \cdot 10^{-3} + 3\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 314}{8} + j\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 314}{2\pi} \left\{ 3\ln\left(\frac{932000}{\sqrt[3]{5,5 \cdot 1425,7^2}}\right) + \frac{1}{4} \right\} = \\ &= 4,45 \cdot 10^{-4} + j1,58 \cdot 10^{-3} \Omega / \text{m}\end{aligned}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (6/6)

Οπότε η αντίσταση και η αυτεπαγωγή ανά km στο ομοπολικό σύστημα είναι:

$$R'_0 = 0,445 \Omega / km$$

$$L'_0 = \frac{X'_0}{\omega} = 5,03 mH / km$$



Άσκηση 1^η

Εκφώνηση

β) της εναέριας γραμμής υψηλής τάσης, όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, έχοντας διατομή αγωγών φάσεων αλουμινίου ίση με 185 mm^2 . Οι αγωγοί προστασίας να αμεληθούν.

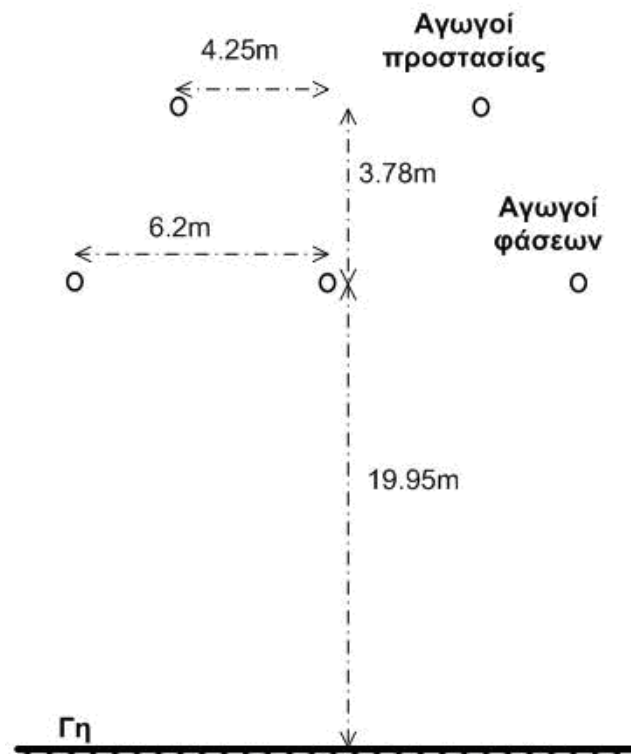


Άσκηση 1^η

Επίλυση (1/5)

β)

Απλό κύκλωμα
150kV



Άσκηση 1^η

Επίλυση (2/5)

Ομοίως, προκύπτει ότι:

$$R_{dc20} = \frac{\rho}{A} = \frac{2,8264 \cdot 10^{-2}}{185} = 0,1528 \text{ m}\Omega / \text{m} = 0,1528 \Omega / \text{km}$$

$$R_{ac} = R_{dc} \cdot F_s$$

$$x = 8,75 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{3,25 \cdot f}{R_{dc}}} = 8,75 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{3,25 \cdot 50}{0,1528}} = 0,029$$

$$F_s = \frac{192 + 1,8 \cdot x^4}{192 + 0,8 \cdot x^4} \approx 1$$

$$R_{ac} = 0,1528 \Omega / \text{km}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (3/5)

Η αυτεπαγωγή του ορθού και αντίστροφου συστήματος:

$$L_1' = \frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{D_m}{r} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{\sqrt[3]{D_{RS} D_{ST} D_{TR}}}{r} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_1' = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{\sqrt[3]{6200 \cdot 6200 \cdot 12400}}{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} = 2 \cdot 10^{-7} \left(\ln \frac{7811,51}{7,68} + 0,25 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_1' = 1,43 \cdot 10^{-6} \text{ H / m} = 1,43 \text{ mH / km}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (4/5)

Ενώ για το ομοπολικό σύστημα θα είναι:

$$\begin{aligned}\bar{Z}'_0 &= R'_1 + 3 \frac{\mu_0 \omega}{8} + j \frac{\mu_0 \omega}{2\pi} \left\{ 3 \ln \left(\frac{\delta}{\sqrt[3]{rD_m^2}} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right\} = \\ &= 0,1528 \cdot 10^{-3} + 3 \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 314}{8} + j \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 314}{2\pi} \left\{ 3 \ln \left(\frac{932000}{\sqrt[3]{7,68 \cdot 7811,51^2}} \right) + \frac{1}{4} \right\} = \\ &= 3,007 \cdot 10^{-4} + j1,35 \cdot 10^{-3} \Omega / m\end{aligned}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (5/5)

Οπότε η αντίσταση και η αυτεπαγωγή ανά km στο ομοπολικό σύστημα είναι:

$$R_0' = 0,3 \Omega / km$$

$$L_0' = \frac{X_0'}{\omega} = 4,3 mH / km$$



Άσκηση 2^η

Εκφώνηση

Δίνεται η εναέρια γραμμή μέσης τάσης της προηγούμενης άσκησης. Να υπολογιστούν:

- α) Οι μερικές χωρητικότητες της διάταξης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ειδώλων. Η γραμμή να θεωρηθεί μη συμμετριοποιημένη.
- β) Οι χωρητικότητες λειτουργίας στο ορθό, αντίστροφο και ομοπολικό σύστημα.



Άσκηση 2^η

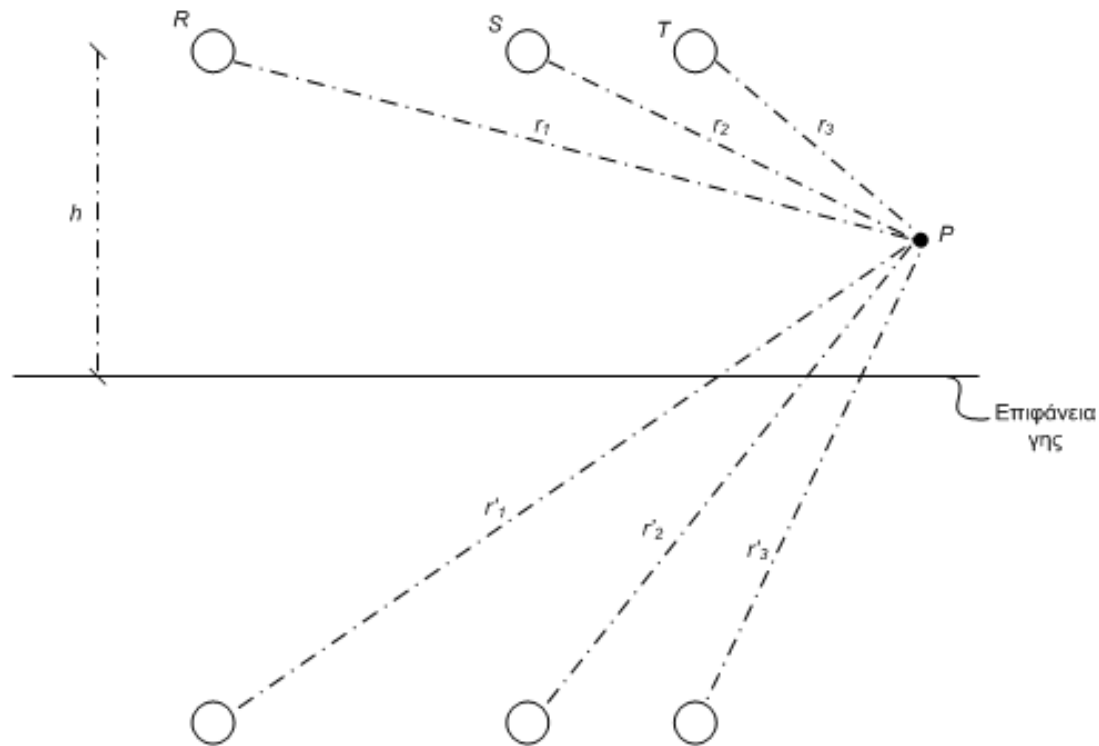
Επίλυση (1/9)

Η εναέρια γραμμή μέσης τάσης οδεύει παράλληλα στο επίπεδο της γης. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η επιφάνεια της γης αποτελεί μία ισοδυναμική επιφάνεια με μηδενικό δυναμικό. Θεωρώντας ότι όλος ο χώρος πληρούται με αέρα και ότι υπάρχουν αγωγοί με ίσα αλλά αντίθετα φορτία αυτών των φάσεων R , S , T μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος του κατοπτρισμού.



Άσκηση 2^η

Επίλυση (2/9)



Άσκηση 2^η

Επίλυση (3/9)

Το δυναμικό σε ένα τυχαίο σημείο P θα ισούται με:

$$\varphi_P = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_R \ln\left(\frac{r'_1}{r_1}\right) + q_S \ln\left(\frac{r'_2}{r_2}\right) + q_T \ln\left(\frac{r'_3}{r_3}\right) \right\}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (4/9)

Αν το σημείο P θεωρηθεί διαδοχικά ότι βρίσκεται στις επιφάνειες των αγωγών θα είναι:

$$\varphi_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_R \ln \left(\frac{H_{11}}{D_{11}} \right) + q_S \ln \left(\frac{H_{12}}{D_{12}} \right) + q_T \ln \left(\frac{H_{13}}{D_{13}} \right) \right\}$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_R \ln \left(\frac{H_{21}}{D_{21}} \right) + q_S \ln \left(\frac{H_{22}}{D_{22}} \right) + q_T \ln \left(\frac{H_{23}}{D_{23}} \right) \right\}$$

$$\varphi_3 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_R \ln \left(\frac{H_{31}}{D_{31}} \right) + q_S \ln \left(\frac{H_{32}}{D_{32}} \right) + q_T \ln \left(\frac{H_{33}}{D_{33}} \right) \right\}$$

όπου H_{ij} είναι ίσο με το διπλάσιο του ύψους από την επιφάνεια της γης, D_{ij} είναι η ακτίνα του αγωγού i ενώ H_{ij} είναι η απόσταση μεταξύ του αγωγού i και του ειδώλου του αγωγού j και D_{ij} είναι η απόσταση μεταξύ των αγωγών i και j .



Άσκηση 2^η

Επίλυση (5/9)

Επομένως:

$$\varphi_1 = \frac{1}{5,56 \cdot 10^{-11}} \left\{ q_R \ln \left(\frac{16}{5,5 \cdot 10^{-3}} \right) + q_S \ln \left(\frac{16,06}{1,4} \right) + q_T \ln \left(\frac{16,16}{2,5} \right) \right\}$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{5,56 \cdot 10^{-11}} \left\{ q_R \ln \left(\frac{16,06}{1,4} \right) + q_S \ln \left(\frac{16}{5,5 \cdot 10^{-3}} \right) + q_T \ln \left(\frac{16,025}{0,9} \right) \right\}$$

$$\varphi_3 = \frac{1}{5,56 \cdot 10^{-11}} \left\{ q_R \ln \left(\frac{16,16}{2,5} \right) + q_S \ln \left(\frac{16,025}{0,9} \right) + q_T \ln \left(\frac{16}{5,5 \cdot 10^{-3}} \right) \right\}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (6/9)

Δηλαδή σε μορφή πινάκων θα είναι:

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,434 \cdot 10^{11} & 4,4 \cdot 10^{10} & 3,36 \cdot 10^{10} \\ 4,4 \cdot 10^{10} & 1,434 \cdot 10^{11} & 5,18 \cdot 10^{10} \\ 3,36 \cdot 10^{10} & 5,18 \cdot 10^{10} & 1,434 \cdot 10^{11} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_R \\ q_S \\ q_T \end{bmatrix}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (7/9)

Ο οποίος θα μπορούσε να γραφτεί με διαφορετική μορφή:

$$\begin{bmatrix} q_R \\ q_S \\ q_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,434 \cdot 10^{11} & 4,4 \cdot 10^{10} & 3,36 \cdot 10^{10} \\ 4,4 \cdot 10^{10} & 1,434 \cdot 10^{11} & 5,18 \cdot 10^{10} \\ 3,36 \cdot 10^{10} & 5,18 \cdot 10^{10} & 1,434 \cdot 10^{11} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} q_R \\ q_S \\ q_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,8502 \cdot 10^{-12} & -2,006 \cdot 10^{-12} & -1,1147 \cdot 10^{-12} \\ -2,006 \cdot 10^{-12} & 8,5326 \cdot 10^{-12} & -2,6122 \cdot 10^{-12} \\ -1,1147 \cdot 10^{-12} & -2,6122 \cdot 10^{-12} & 8,1783 \cdot 10^{-12} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (8/9)

Από αυτόν τον πίνακα μπορούμε να υπολογίσουμε τις χωρητικότητες των αγωγών ως προς γη και τις μεταξύ τους χωρητικότητες οι οποίες ορίζονται ως εξής:

$$K_{11} = C_{11} + C_{12} + C_{13} = 7,8502 \cdot 10^{-12} - 2,006 \cdot 10^{-12} - 1,1147 \cdot 10^{-12} = 4,73 \text{ nF / km}$$

$$K_{12} = -C_{12} = 2,006 \text{ nF / km}$$

$$K_{13} = -C_{13} = 1,1147 \text{ nF / km}$$

$$K_{22} = C_{21} + C_{22} + C_{23} = 3,9144 \text{ nF / km}$$

$$K_{23} = -C_{23} = 2,6122 \text{ nF / km}$$

$$K_{33} = C_{31} + C_{32} + C_{33} = 4,4514 \text{ nF / km}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (9/9)

Η χωρητικότητα στο ορθό και αντίστροφο σύστημα ορίζεται ως εξής:

$$C_1 = C_E + 3C = \frac{1}{3}(K_{11} + K_{22} + K_{33}) + 3 \cdot \frac{1}{3}(K_{12} + K_{13} + K_{23}) = 10,1 \text{ nF / km}$$

Ενώ η χωρητικότητα στο ομοπολικό σύστημα είναι:

$$C_0 = C_E = \frac{1}{3}(K_{11} + K_{22} + K_{33}) = 4,37 \text{ nF / km}$$



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος, Δούκας Δημήτριος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015

