

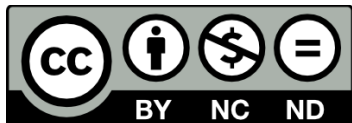


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Μάθημα ασκήσεων 2: 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.



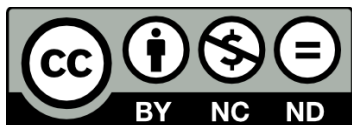
Χρηματοδότηση

- 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



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άσκηση 1^η

Εκφώνηση (1/2)

Μία τριφασική μη συμμετριοποιημένη εναέρια γραμμή μεταφοράς μέσης τάσης RST ονομαστικής τάσης 20 kV οδεύει παράλληλα με τηλεφωνική γραμμή AB, η οποία αναρτάται στους ίδιους στύλους στήριξης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Η τριφασική γραμμή είναι φορτισμένη με συμμετρικό τριφασικό φορτίο ενεργού τιμής 200 A ανά φάση.

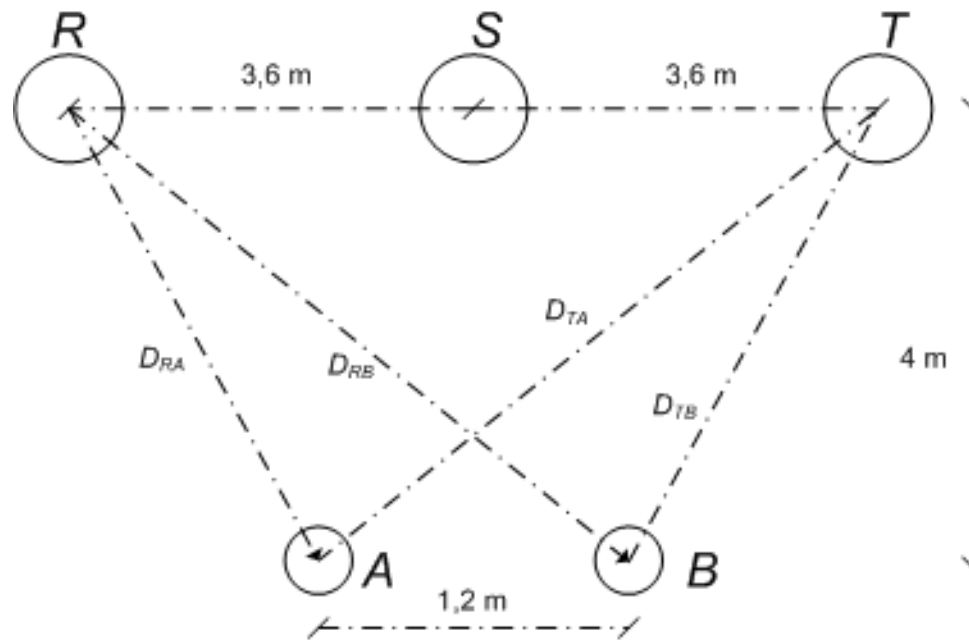
α) Να υπολογιστεί η ανά km επαγόμενη τάση στην τηλεφωνική γραμμή.

β) Να υπολογιστεί το ίδιο όταν στη φάση R συμβαίνει μονοφασικό βραχυκύκλωμα. Η ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου μέσης τάσης θεωρείται ίση με 250 MVA.



Άσκηση 1^η

Εκφώνηση (2/2)



Άσκηση 1^η

Επίλυση (1/7)

α) Η πεπλεγμένη ροή του κυκλώματος AB, η οποία οφείλεται στο ρεύμα του αγωγού R είναι:

$$\overline{\Psi'}_{AB_1} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{D_{RB}}{D_{RA}} \right) \cdot \vec{I}_R$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (2/7)

Λόγω της γεωμετρίας της διάταξης το ρεύμα της φάσης S δε συνεισφέρει επειδή η αποστάσεις μεταξύ αυτής και των αγωγών A και B είναι ίσες. Ενώ, η πεπλεγμένη ροή του κυκλώματος AB, η οποία οφείλεται στο ρεύμα του αγωγού T είναι:

$$\vec{\Psi}'_{AB_2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{TB}}{D_{TA}}\right) \cdot \vec{I}_T$$

άρα συνολικά:

$$\vec{\Psi}'_{AB} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{RB}}{D_{RA}}\right) \cdot \vec{I}_R + \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{TB}}{D_{TA}}\right) \cdot \vec{I}_T$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (3/7)

Η επαγόμενη τάση στο πεδίο του χρόνου συνδέεται με την πεπλεγμένη ροή ως εξής:

$$u_{AB}(t) = \frac{d\Psi}{dt}$$

οπότε στο πεδίο της συχνότητας θα είναι ανά μονάδα μήκους:

$$\vec{V}'_{AB} = j\omega\vec{\Psi}'_{AB}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (4/7)

Αντικαθιστώντας:

$$\vec{\Psi}'_{AB} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{RB}}{D_{RA}}\right) \cdot \vec{I}_R + \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{TB}}{D_{TA}}\right) \cdot \vec{I}_T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{\Psi}'_{AB} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \ln\left(\frac{\sqrt{4^2 + 4,2^2}}{\sqrt{4^2 + 3^2}}\right) \cdot 200 + \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \ln\left(\frac{\sqrt{4^2 + 3^2}}{\sqrt{4^2 + 4,2^2}}\right) \cdot 200 < -240^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{\Psi}'_{AB} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{5,8}{5}\right) \cdot 200 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{5}{5,8}\right) \cdot (-100 + j173,2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{\Psi}'_{AB} = 8,91 \cdot 10^{-6} - j5,14 \cdot 10^{-6} \text{ Wb / m}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (5/7)

Επομένως η τάση που επάγεται θα είναι:

$$\begin{aligned}\vec{V}'_{AB} &= j\omega\overline{\Psi}'_{AB} = j \cdot 314 \cdot (8,91 \cdot 10^{-6} - j5,14 \cdot 10^{-6}) = 1,614 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} = \\ &= 3,23 \angle 60^\circ \text{ mV} / \text{m} = 3,23 \angle 60^\circ \text{ V} / \text{km}\end{aligned}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (6/7)

β) Κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος μπορεί με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια να θεωρηθεί ότι η επαγόμενη στο τηλεπικοινωνιακό κύκλωμα τάση οφείλεται μόνο στη βραχυκυκλωμένη φάση R. Οπότε:

$$\overline{\Psi}_{AB} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{RB}}{D_{RA}}\right) \cdot \vec{I}_R$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (7/7)

- Το στάσιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου μέσης τάσης

$$S_k = \sqrt{3} \cdot V_N \cdot I_k \Rightarrow I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot V_N} = \frac{250 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 7,22 \text{ kA}$$

- Τελικά η επαγόμενη τάση θα είναι

$$\vec{V}'_{AB} = j\omega\vec{\Psi}'_{AB} = j \cdot 314 \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_{RB}}{D_{RA}}\right) \cdot \vec{I}_k = 0,067 < 90^\circ \text{V/m} = 67 < 90^\circ \text{V/km}$$



Άσκηση 2^η

Εκφώνηση

α) Να υπολογιστεί η μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που εμφανίζεται στις γραμμές που εξετάστηκαν στην προηγούμενη άσκηση.

β) Να υπολογιστεί η ποσοστιαία μείωση της μέγιστης εμφανιζόμενης τιμής του ηλεκτρικού πεδίου.



Άσκηση 2^η

Επίλυση (1/3)

α) Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου η μέγιστη εμφανιζόμενη τιμή της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης εμφανίζεται στην επιφάνεια ενός αγωγού. Στην περίπτωση του απλού κυκλώματος η σχέση μέσω της οποίας υπολογίζεται η συγκεκριμένη τιμή είναι:

$$E_{\max} = \frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{r \ln\left(\frac{D_m}{r}\right)} = \frac{400000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{12,49 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{12,6}{12,49 \cdot 10^{-3}}\right)} = 26,73 \text{ kV / cm}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (2/3)

- Ενώ για την περίπτωση της γραμμής με δύο κυκλώματα και n αγωγούς ανά φάση ισχύει:

$$E_{\max} = \frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_1'}{n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \left(\frac{1}{r} + \frac{n-1}{r_T} \right)$$

- Συγκεκριμένα για τη γραμμή με δύο αγωγούς θα είναι:

$$E_{\max} = \frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_1'}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_T} \right) = \frac{400000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{11,44 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{1}{0,01249} + \frac{1}{0,1875} \right)$$

$$\Rightarrow E_{\max} = 20,28 \text{ kV} / \text{cm}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (3/3)

β) Όπως παρατηρείται η τοποθέτηση πολλαπλών αγωγών ανά φάση μειώνεται η μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου κι ως εκ τούτου οι απώλειες λόγω του φαινομένου Κορώνα.

- Στην περίπτωση που εξετάστηκε η μείωση είναι της τάξης του

$$\frac{|20,28 - 26,73|}{26,73} \cdot 100\% = 24,13\%$$



Άσκηση 3^η

Εκφώνηση

α) Μία κοντή γραμμή μεταφοράς δίνει 1000 kVA στα 10 kV με συντελεστή ισχύος 0,8 επαγωγικό σε ένα συμμετρικό φορτίο. Η σύνθετη αντίσταση της γραμμής είναι $4+j6\Omega$. Να υπολογιστεί η τάση στο μέσο της γραμμής.

β) Ένα συμμετρικό φορτίο με ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση $100+j200\Omega$ συνδέεται στο μέσο της γραμμής, ενώ η διέγερση της γεννήτριας που βρίσκεται στην αρχή της γραμμής ρυθμίζεται έτσι ώστε η τάση στο μέσο να παραμείνει ίδια. Να υπολογιστεί το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος στην αρχή της γραμμής.



Άσκηση 3^η

Επίλυση (1/10)

- α) Στην περίπτωση μας η μονοφασική ισχύς του φορτίου θα είναι:

$$P = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ kVA} / \text{ph}$$

- ενώ η φασική τάση του φορτίου θα είναι αντίστοιχα:

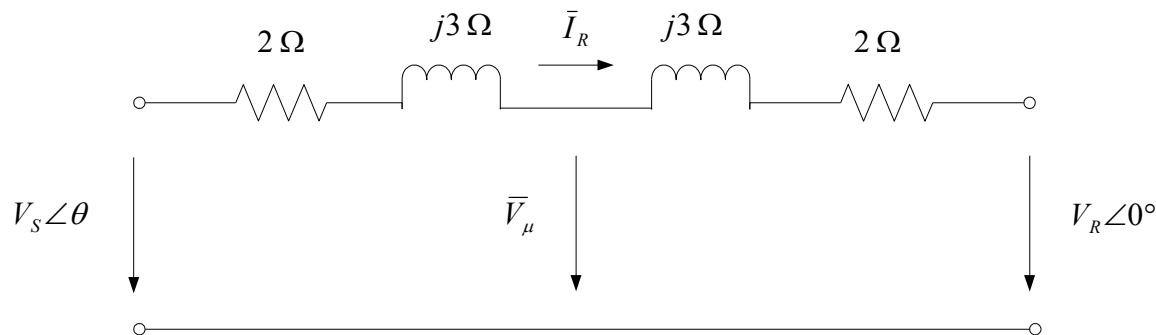
$$V_R = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ kV} / \text{ph}$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (2/10)

- Στο πρώτο μέρος της άσκησης (σχ. 1.1) πρέπει να υπολογίσουμε την τάση στο μέσο της γραμμής (έστω).



σχ. 1.1



Άσκηση 3^η

Επίλυση (3/10)

- Θα χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$\bar{V}_\mu = \bar{V}_R + \bar{I}_R \frac{\bar{Z}}{2} \quad (1.1)$$

- όπου:

- \bar{V}_R η τάση στο άκρο παραλαβής ($\bar{V}_R = \frac{10}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ kV/ph}$, με τη γωνία μηδέν επειδή έχουμε επιλέξει την \bar{V}_R ως τάση αναφοράς βάσει της πρώτης παρατήρησης)
- \bar{I}_R το ρεύμα του φορτίου μας (και ρεύμα που διαρρέει συνολικά το κύκλωμά μας, αφού η γραμμή μας είναι κοντή), και



Άσκηση 3^η

Επίλυση (4/10)

- $\frac{\bar{Z}}{2}$ η μισή σύνθετη αντίσταση της γραμμής. Η σύνθετη αντίσταση στην πραγματικότητα είναι κατανεμημένη εξίσου σε όλο το κύκλωμα. Στα ισοδύναμα κυκλώματά μας τη χρησιμοποιούμε συνήθως ως συγκεντρωμένο στοιχείο, οπότε στην περίπτωση μας και αφού μας ενδιαφέρει το μισό κύκλωμα θα χρησιμοποιήσουμε τη μισή τιμή της.



Άσκηση 3^η

Επίλυση (5/10)

- Από τα παραπάνω, το μόνο μέγεθος που δε γνωρίζουμε είναι το ρεύμα \bar{I}_R . Αυτό μπορούμε όμως να το υπολογίσουμε μέσω της μονοφασικής ισχύος που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R του ισοδύναμου κυκλώματος μας (333,33 kVA):

$$\bar{S}_R = \bar{V}_{R\phi} \bar{I}_R^* \quad (1.2)$$

οπότε

$$\bar{I}_R = 57,73 \angle -36,87^\circ \text{ A}, \quad (1.3)$$

και τελικά θα προκύψει από την (1.1):

$$\bar{V}_\mu = 5,97 \angle 0,66^\circ \text{ kV} / \text{ph}, \text{ ή}$$

$$V_\mu = 10,34 \text{ kV} \quad (1.4)$$



Άσκηση 3^η

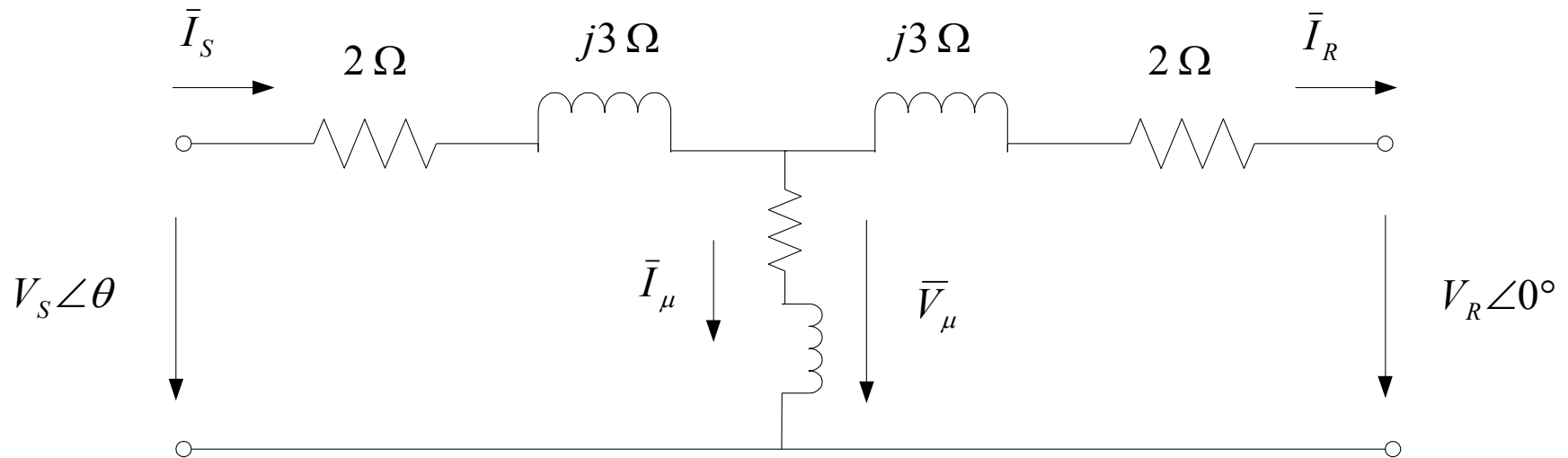
Επίλυση (6/10)

- Στο δεύτερο μέρος της άσκησης (σχ. 1.2) προστίθεται στο μέσο του κυκλώματός μας ένας εγκάρσιος κλάδος με το φορτίο που αναφέρεται στην εκφώνηση, ενώ με κατάλληλη ρύθμιση της διέγερσης της γεννήτριας στην αρχή της γραμμής, η τάση στο μέσο παραμένει ίση με αυτήν που υπολογίσαμε στο πρώτο μέρος. Ζητείται να υπολογιστεί το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος στην αρχή της γραμμής.



Άσκηση 3^η

Επίλυση (7/10)



σχ. 1.2



Άσκηση 3^η

Επίλυση (8/10)

Έστω \bar{I}_S το ρεύμα στην αρχή της γραμμής, και \bar{I}_μ το ρεύμα του φορτίου στο μέσο αυτής. Θα είναι:

$$\bar{I}_S = \bar{I}_\mu + \bar{I}_R \quad (1.5)$$

Το \bar{I}_R είναι προφανώς το ίδιο με αυτό που υπολογίσαμε στην αρχή της άσκησης (τα δεδομένα για το φορτίο στο άκρο παραλαβής δεν έχουν αλλάξει), ενώ για το \bar{I}_μ θα είναι:

$$\bar{I}_\mu = \frac{\bar{V}_\mu}{\bar{Z}_\mu} = 26,7 \angle -62,77^\circ A \quad (1.6)$$

Άρα από την (1.5) θα προκύψει τελικά για το ρεύμα στην αρχή της γραμμής:

$$\bar{I}_S = 82,56 \angle -44,99^\circ A \quad (1.7)$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (9/10)

Στην περίπτωση μας, για την τάση στην αρχή της γραμμής ισχύει:

$$\bar{V}_S = \bar{V}_\mu + \bar{I}_S \frac{\bar{Z}}{2} = 6,263 \angle 1,16^\circ \text{ kV / ph}, \text{ ή}$$

$$V_S = 10,84 \text{ kV} \quad (1.8)$$

οπότε, και αφού η τάση αναφοράς μας είναι η τάση στο άκρο παραλαβής \bar{V}_R , θα είναι:

$$\phi_S = 44,99 + 1,16 = 46,15^\circ, \quad (1.9)$$

και τελικά:

$$\cos \phi_S = 0,693 \text{ και η τάση προηγείται του ρεύματος} \quad (1.10)$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (10/10)

- Ο χαρακτηρισμός «επαγωγικός» ή «χωρητικός» συντελεστής ισχύος έχει νόημα μόνο στην περίπτωση του φορτίου. Όταν μας ζητείται ο συντελεστής ισχύος σε οποιοδήποτε άλλο σημείο ενός κυκλώματος μας, τότε θα υπολογίζουμε τη γωνία μεταξύ της τάσης και του ρεύματος στο συγκεκριμένο σημείο. Ο συντελεστής ισχύος θα είναι το συνημίτονο αυτής της γωνίας, ενώ επιπρόσθετα θα πρέπει να δηλώνουμε αν η τάση στο συγκεκριμένο σημείο προηγείται ή έπεται του ρεύματος.



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

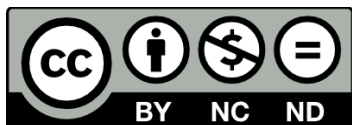
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

