

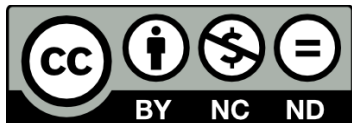


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Ενότητα 9: Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία
εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας

Λαμπρίδης Δημήτρης
Ανδρέου Γεώργιος

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.



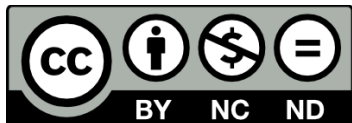
Χρηματοδότηση

- 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 και μαγνητικά πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας



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

Περιεχόμενα ενότητας

1. Ηλεκτρικά και Μαγνητικά Πεδία Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας (ΕΧΣ)
2. Κανονισμοί περιορισμού της έκθεσης σε πεδία ΕΧΣ



Γενικά

Ηλεκτρικό Πεδίο (ΗΠ) - Μαγνητικό Πεδίο (ΜΠ):

πεδία δυνάμεων, δηλαδή χώροι στους οποίους ασκούνται δυνάμεις επί κατάλληλων “υποθεμάτων”.

ΗΠ: το υπόθεμα είναι ένα μη κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο.

ΜΠ: το υπόθεμα είναι ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο, δηλαδή ένα ηλεκτρικό ρεύμα.



Εξισώσεις Maxwell (1/3)

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\mu \frac{d\vec{H}}{dt} \quad (1\alpha)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{d\vec{E}}{dt} \quad (1\beta)$$



Εξισώσεις Maxwell (2/3)

\vec{E}	ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
\vec{H}	ένταση του μαγνητικού πεδίου
μ	μαγνητική διαπερατότητα
ε	διηλεκτρική σταθερά
σ	ηλεκτρική αγωγιμότητα

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}} \quad (1\gamma)$$

$$\sigma_{\text{αέρα}} \cong 0, \quad f = 50 \text{ Hz} \Rightarrow \quad d\vec{E}/dt \cong 0, \quad d\vec{H}/dt \cong 0$$



Εξισώσεις Maxwell (3/3)

$$\operatorname{rot} \vec{E} \cong 0 \quad (2\alpha)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} \cong 0 \quad (2\beta)$$

**ΣΤΙΣ ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΖΕΥΞΗ
ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΕΔΙΑΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ E ΚΑΙ H**



Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (1/3)

ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΔΥΟ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΠΕΔΙΑ:

- το **ΗΠ**, το οποίο εξαρτάται από τις **τάσεις των αγωγών**
- το **ΜΠ**, το οποίο εξαρτάται από τις **εντάσεις των αγωγών**.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στην περιοχή συχνοτήτων από 0-300 Hz ονομάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία

Extra Low Frequency Electromagnetic Fields

(ELF EMF)

και στην ελληνική βιβλιογραφία

Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας

(ΗΜΠ ΕΧΣ)



Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (2/3)

Τα δύο πεδία (ηλεκτρικό και μαγνητικό) των ΓΜ συχνότητας 50 Hz είναι **ανεξάρτητα** μεταξύ τους \Rightarrow
Θα αναφερόμαστε σε αυτά τα δύο πεδία ως:

ΗΠ ΕΧΣ (Ηλεκτρικό Πεδίο Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας).

ΜΠ ΕΧΣ (Μαγνητικό Πεδίο Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας).

Αντί της έντασης \vec{H} του ΜΠ, χρησιμοποιείται συχνά η μαγνητική επαγωγή (ή πυκνότητα μαγνητικής ροής) \vec{B} .

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (3\alpha)$$



Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (3/3)

Ένταση του ΗΠ (γενικά):
 E σε [V/m].

Ένταση ΗΠ γραμμών μεταφοράς και διανομής ΗΕ:
 E σε [kV/m].

Μαγνητική επαγωγή (γενικά):
 B σε [T].

Συνήθως χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια:

$1 \text{ mT} = 10^{-3} \text{ T}$ και $1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$. (3β)

$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ και $1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$



Φυσικό ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια της γης (1/2)

Τα γήινα (H και M) πεδία δεν είναι εναλλασσόμενα αλλά **συνεχή** πεδία για έναν ακίνητο παρατηρητή.

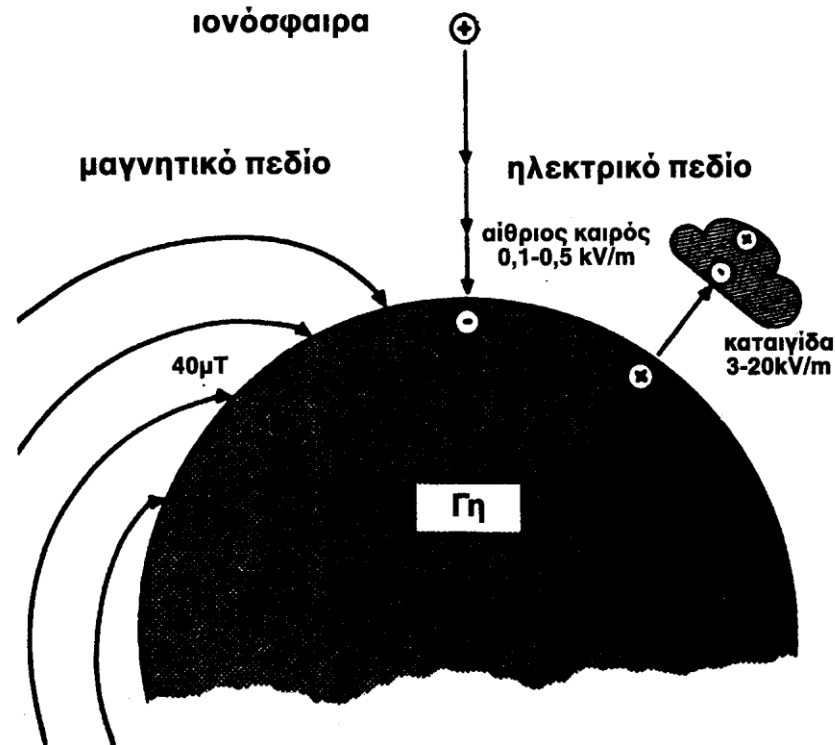
Η ένταση του ΗΠ ανέρχεται:

- όταν ο καιρός είναι αίθριος, σε 0,1-0,5 kV/m.
- και σε περίπτωση καταιγίδας, σε 3-20 kV/m.

Η μαγνητική επαγωγή στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται μεταξύ 31 μT και 62 μT .



Φυσικό ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια της γης (2/2)



Σχήμα 1: Το φυσικό ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια της γης



Ιδιότητες των ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ (1/6)

ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΗΠ ΕΧΣ:

- Παραμορφώνεται με την είσοδο σ' αυτό αγώγιμων διατάξεων.
- Το εσωτερικό ενός ηλεκτρικά αγώγιμου σώματος είναι πρακτικά ελεύθερο από ΗΠ (κλωβός Faraday).
- Η αγωγιμότητα των συνηθισμένων δομικών υλικών είναι επαρκής, ώστε να επέρχεται μέσα στα σύγχρονα κτίσματα δραστική εξασθένιση των ΗΠ, που προέρχονται από εξωτερικές πηγές.



Ιδιότητες των ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ (2/6)

- Εξασθένιση των ΗΠ ΕΧΣ επιφέρουν επίσης και οι διαφορές μεταλλικές κατασκευές, τα οχήματα, τα δένδρα, ο ρουχισμός, ακόμα και οι ζώντες οργανισμοί που βρίσκονται στην περιοχή, λόγω της ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας.



Ιδιότητες των ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ (3/6)

ΣΥΝΕΠΩΣ:

- Τα ΗΠ ΕΧΣ είναι εξαιρετικά δύσκολο να μετρηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια (υφίστανται εξασθένιση και παραμόρφωση ακόμα και από την ίδια τη συσκευή μέτρησης).
- Τα ΗΠ ΕΧΣ των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από την τάση των αγωγών, η οποία είναι σταθερή (μέσα σε ικανοποιητικά όρια) κατά τη χρονική διάρκεια λειτουργίας των γραμμών αυτών.
- Είναι προτιμότερος ο υπολογισμός των πεδίων αυτών με αριθμητικές μεθόδους.



Ιδιότητες των ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ (4/6)

ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΠ ΕΧΣ:

- Τα ΜΠ ΕΧΣ διαπερνούν πρακτικά χωρίς παραμόρφωση τα μη μαγνητικά υλικά.
- Η αποτελεσματική θωράκιση είναι πολύ δυσχερής και συνεπώς τα ΜΠ ΕΧΣ εξασθενίζουν πολύ δύσκολα.
- Θωράκιση μπορεί να γίνει μόνο με τη χρησιμοποίηση ειδικών και ιδιαίτερα ακριβών μαγνητικών υλικών σε κατάλληλη διάταξη, χωρίς πάντοτε ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Ιδιότητες των ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ (5/6)

- Το καλύτερο υλικό θωράκισης είναι ένα ειδικό κράμα που αποτελείται από 80% νικέλιο και 20% σίδηρο και ονομάζεται **mu metal**.

Το υλικό αυτό έχει σχετική μαγνητική διαπερατότητα:

$$\mu_r = 350000 - 500000.$$



Ιδιότητες των ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ (6/6)

ΣΥΝΕΠΩΣ:

- Τα ΜΠ ΕΧΣ είναι δυνατό να μετρηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια (δεν υφίστανται εξασθένηση και παραμόρφωση από συνήθη αντικείμενα και από ζώντες οργανισμούς).
- Τα ΜΠ ΕΧΣ των ΓΜΗΕ εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς, η οποία είναι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενη κατά τη χρονική διάρκεια λειτουργίας των γραμμών.
- Πρέπει να γίνονται μετρήσεις των ΜΠ ΕΧΣ κάθε ΓΜΗΕ και στη συνέχεια οι τιμές των μετρήσεων να ανάγονται κατάλληλα στις μέγιστες τιμές που θα προκύψουν, αν εκτιμηθούν σωστά οι αντίστοιχες μέγιστες αναμενόμενες εντάσεις των αγωγών της υπό διερεύνηση ΓΜΗΕ.



Ο άνθρωπος στο ομογενές ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (1/4)

Παραμόρφωση ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου E_0 έντασης 20 kV/m λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός ανθρώπινου σώματος: Σχ. 2

Κεφαλή: εμφανίζεται η μέγιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου

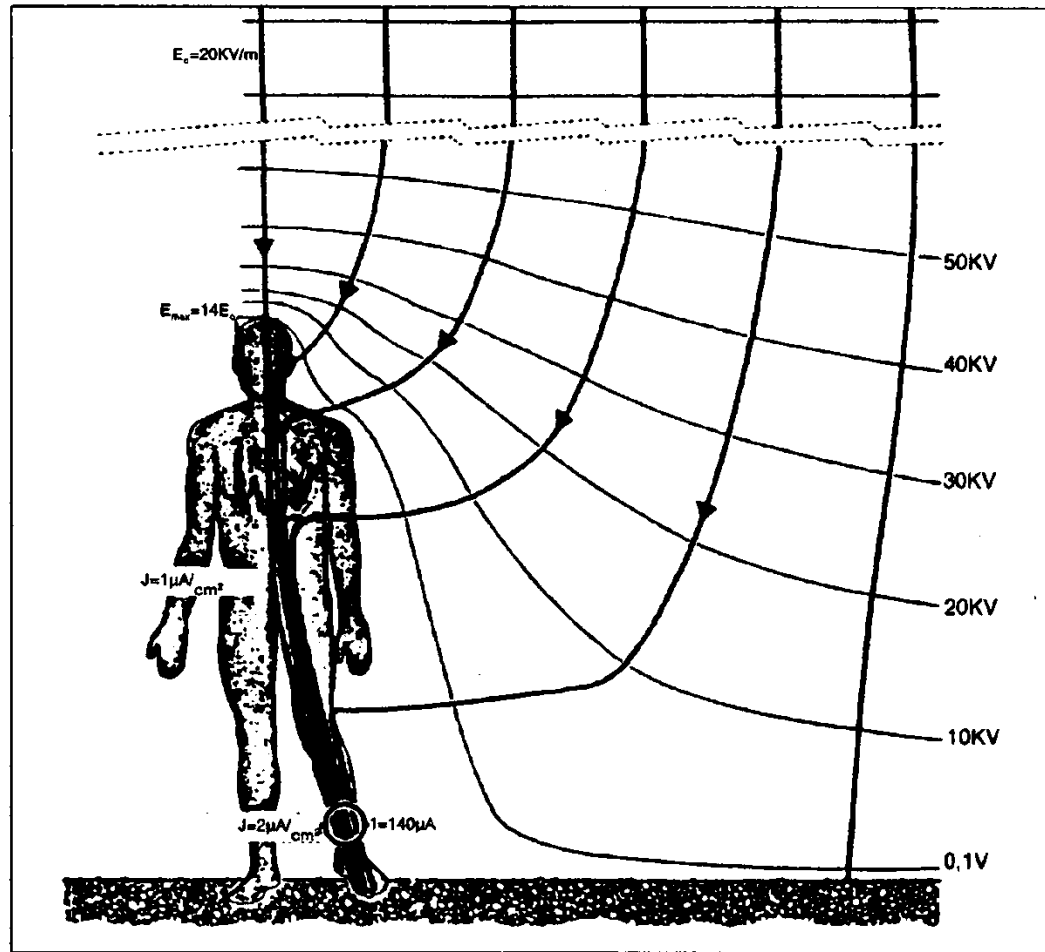
$$E_{MAX} = 14 E_0.$$

ΤΕΛΙΚΑ:

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ της κεφαλής και των ποδιών είναι μικρότερη από 0,1 V.



Ο άνθρωπος στο ομογενές ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (2/4)



Σχήμα 2: Άνθρωπος σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.

Ο άνθρωπος στο ομογενές ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (3/4)

Ένας άνθρωπος που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B_0 προσομοιώνεται ως το ήμισυ εκ περιστροφής ελλειψοειδούς με μεγάλο ημιάξονα h και μικρό ημιάξονα b : Σχ. 3.

Συνολική επαγόμενη ένταση:
$$I \cong \omega \sigma \frac{hb^2}{6} B_0 \quad (4)$$

Μέση πυκνότητα ρεύματος:
$$J \cong \omega \sigma \frac{b}{4} B_0 \quad (5)$$

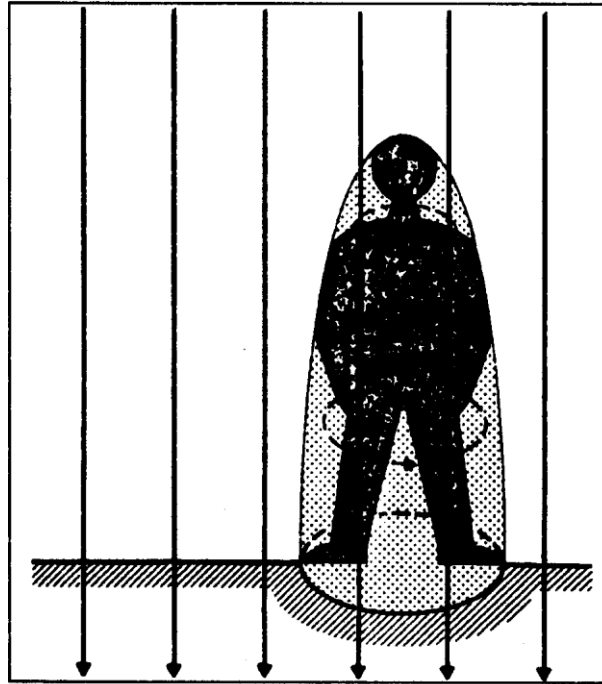
ω η κυκλική συχνότητα

σ η μέση ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του οργανισμού

B_0 η μαγνητική επαγωγή του ομογενούς πεδίου



Ο άνθρωπος στο ομογενές ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (4/4)



Σχήμα 3: Άνθρωπος σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Δημιουργία ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου (1/3)

Ένα συμμετρικό χρονικά μεταβαλλόμενο τριφασικό σύστημα τάσεων: (6)

$$\bar{U}_A + \bar{U}_B + \bar{U}_C = 0$$

δημιουργεί σε ένα σημείο Σ του χώρου ΗΠ γιατί:

$$\frac{\bar{U}_A}{\vec{a}_A} + \frac{\bar{U}_B}{\vec{a}_B} + \frac{\bar{U}_C}{\vec{a}_C} \neq 0 \quad (7)$$

$\vec{a}_A, \vec{a}_B, \vec{a}_C$: διανυσματικές αποστάσεις μεταξύ του σημείου Σ και των αγωγών των φάσεων A, B, C .



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Δημιουργία ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου (2/3)

Ένα συμμετρικό χρονικά μεταβαλλόμενο σύστημα ρευμάτων:

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0 \quad (8)$$

δημιουργεί σε ένα σημείο Σ του χώρου ΜΠ γιατί:

$$\frac{\bar{I}_A}{\vec{a}_A} + \frac{\bar{I}_B}{\vec{a}_B} + \frac{\bar{I}_C}{\vec{a}_C} \neq 0 \quad (9)$$

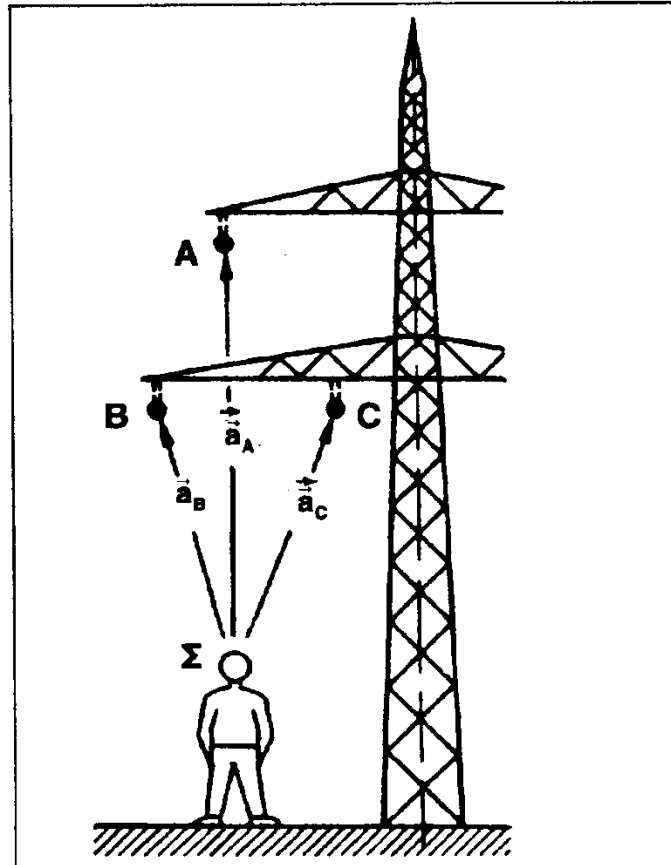
ΕΠΟΜΕΝΩΣ:

- Τάσεις και ρεύματα ΓΜΗΕ κατά την στάσιμη κατάσταση λειτουργίας: συμμετρικά.
- Σχέσεις (6) και (8): ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια.
- Πεδιακές εντάσεις προκύπτουν λόγω της ανισότητας των διανυσμάτων $\vec{a}_A \neq \vec{a}_B \neq \vec{a}_C$.



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Δημιουργία ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου (3/3)



Σχήμα 4: Δημιουργία ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου συμμετρικών συστημάτων τάσεων και ρευμάτων



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Χρονική μεταβολή των πεδιακών εντάσεων (1/4)

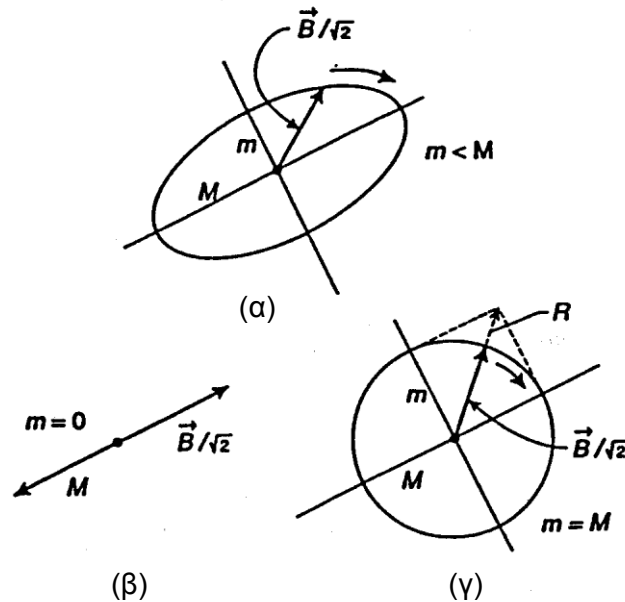
Το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από ένα ή περισσότερα τριφασικά χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα ρευμάτων 50 Hz, είναι γενικά **ελλειπτικά πολωμένο**.

- Το μέγεθος και η κατεύθυνση του μεγάλου ημιάξονα της έλλειψης M αντιστοιχίζεται στην τιμή και την κατεύθυνση του μεγίστου μαγνητικού πεδίου.
- Το μέγεθος και η κατεύθυνση του μικρού ημιάξονα της έλλειψης m αντιστοιχίζεται στην τιμή και την κατεύθυνση του ελάχιστου μαγνητικού πεδίου.



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Χρονική μεταβολή των πεδιακών εντάσεων (2/4)



- Σχήμα 5:** Βαθμοί πόλωσης ΜΠ ΕΧΣ:
- (α) πεδίο ελλειπτικά πολωμένο, $m < M$
 - (β) πεδίο γραμμικά πολωμένο, $m = 0$
 - (γ) πεδίο κυκλικά πολωμένο, $m = M$



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Χρονική μεταβολή των πεδιακών εντάσεων (3/4)

Συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο - resultant magnetic field:

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (10)$$

B_x , B_y και B_z : οι ενεργές τιμές των τριών ορθογωνίων συνιστωσών του ΜΠ στο χώρο.

Αποδεικνύεται ότι το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο B_R είναι ίσο με την ενεργή τιμή του μεγέθους του μαγνητικού πεδίου.

Το μέγιστο μαγνητικό πεδίο είναι μικρότερο ή το πολύ ίσο με το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο B_R .



Πεδιακές εντάσεις ΓΜΗΕ

Χρονική μεταβολή των πεδιακών εντάσεων (4/4)

Η διαφορά μεταξύ των δυο ποσοτήτων εξαρτάται από το βαθμό της πόλωσης

- Μικρός ημιάξονας $m = 0$: το μαγνητικό πεδίο ταλαντώνεται κατά μήκος μιας σταθερής διεύθυνσης (πεδίο **γραμμικά πολωμένο**) \Rightarrow Η μέγιστη και η συνιστάμενη τιμή είναι ίσες.
- Οι δύο ημιάξονες ίσοι μεταξύ τους: το μαγνητικό πεδίο διαγράφει την περιφέρεια ενός κύκλου (πεδίο **κυκλικά πολωμένο**) \Rightarrow Μέγιστη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της συνιστάμενης τιμής \Rightarrow Το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο είναι κατά 41% μεγαλύτερο από το μέγιστο μαγνητικό πεδίο.



Βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων ΕΧΣ (1/2)

Έντονη έκθεση ατόμων σε ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ



Επαγωγή ηλεκτρικών δυναμικών και ρευμάτων στο σώμα.

Δυναμικά – ρεύματα: επιδρούν σε ηλεκτρικά ευερέθιστα **κύτταρα**, όπως είναι τα κύτταρα των νεύρων η των μυώνων.



Βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων ΕΧΣ (2/2)

Οι επιδράσεις κυμαίνονται από:

- την αλλοίωση της υπάρχουσας ηλεκτρικής δραστηριότητας, όταν η ρευματική πυκνότητα είναι μικρότερη του $1 \text{ mA} / \text{m}^2$, έως
- την απευθείας διέγερση των νεύρων, όταν η ρευματική πυκνότητα είναι από 1 έως $10 \text{ mA} / \text{m}^2$.

ΚΑΤΩΦΛΙΟ ΤΗΣ ΡΕΥΜΑΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ:

$$10 \text{ mA} / \text{m}^2$$



Επιδημιολογικές μελέτες – σχετικός κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου (1/2)

- Επιδημιολογικές μελέτες \Rightarrow **ενδείξεις**, σύμφωνα με τις οποίες η έκθεση παιδιών και ενήλικων σε **ΜΠ ΕΧΣ** ενδέχεται να έχει σχέση με αυξημένα περιστατικά **λευχαιμίας, όγκων εγκεφάλου και άλλες μορφές καρκίνου**.
- Η κύρια ένδειξη εμφανίζεται με τη μορφή αυξημένου αριθμού παιδιών με καρκίνο, τα οποία ζουν σε σπίτια κοντά σε αγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας που διαρρέονται από **ρεύματα μεγάλης έντασης** (γραμμές διανομής σε μικρή απόσταση από τα σπίτια).
- **ΔΕΝ** έχουν προκύψει αντίστοιχες ενδείξεις για την έκθεση παιδιών και ενηλίκων σε **ΗΠ ΕΧΣ**.



Επιδημιολογικές μελέτες – σχετικός κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου (2/2)

Διαφορετικές μέθοδοι της εκτίμησης της έκθεσης:
Δεν συσχετίζονται καλά μεταξύ τους ούτε και με
ταυτόχρονες μετρήσεις ΜΠ.



- Καμία μέθοδος εκτίμησης δεν είναι προφανώς **ανώτερου** επιστημονικά **επιπέδου** από τις υπόλοιπες.
- Καμία **κοινή μέθοδος εκτίμησης** δεν υπάρχει ανάμεσα στις σπουδαιότερες από τις επιδημιολογικές μελέτες.



Σχετικός Κίνδυνος (Relative Risk, RR) (1/4)

Υποδεικνύει τον κίνδυνο που έχει ένα **εκτιθέμενο** άτομο να προσβληθεί από καρκίνο σε σχέση με τον αντίστοιχο κίνδυνο ενός **μη εκτιθεμένου** ατόμου και προκύπτει από το κλάσμα των δυο αυτών κινδύνων.

- Σχετικός κίνδυνος **μικρότερος του 1** υποδεικνύει ένα **μειωμένο κίνδυνο** του εκτιθεμένου συνόλου ατόμων.
- Σχετικός κίνδυνος **μεγαλύτερος του 1** υποδεικνύει έναν **αυξημένο κίνδυνο** του εκτιθεμένου συνόλου ατόμων.



Σχετικός Κίνδυνος (Relative Risk, RR) (2/4)

Σχετικοί Κίνδυνοι (RR) από τις διάφορες επιδημιολογικές μελέτες για διάφορα είδη καρκίνου:

Είδος Καρκίνου	Αριθμός Μελετών	Μέσος RR	Εύρος RR's
Λευχαιμία σε παιδιά	20+	1,20	0,8-1,9
Καρκίνος εγκεφάλου σε παιδιά	10+	1,2	0,8-1,7
Παιδικό λέμφωμα	8	1,8	0,8-4,0
Όλοι οι καρκίνοι σε παιδιά	7	1,3	0,9-1,6
Λευχαιμία σε ενήλικες	6	1,15	0,85-1,65
Καρκίνος εγκεφάλου σε ενήλικες	5	0,95	0,70-1,30
Όλοι οι καρκίνοι σε ενήλικες	8	1,10	0,80-1,35



Σχετικός Κίνδυνος (Relative Risk, RR) (3/4)

Τα κριτήρια του Austin Bradford Hill (1897-1991) (<http://www.edwardtufte.com/tufte/hill>) είναι γενικά αποδεκτά για την εκτίμηση εργαστηριακών και επιδημιολογικών μελετών

Πρώτο κριτήριο του Hill: η ισχύς της συσχέτισης (strength of the association) μεταξύ έκθεσης και κίνδυνου

ΑΠΑΝΤΑ ΣΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ: ΥΠΑΡΧΕΙ ΕΝΑΣ ΚΑΘΑΡΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ;



Σχετικός Κίνδυνος (Relative Risk, RR) (4/4)

- **Ισχυρή συσχέτιση:** παρουσιάζει RR μεγαλύτερο του 5.
- **Ασθενής συσχέτιση:** παρουσιάζει RR μικρότερο του 3.
- **RR μικρότερος από το 1,5:** ασήμαντος κίνδυνος, εκτός αν αυτός υποστηρίζεται και από άλλα δεδομένα.

**ΟΙ RR ΤΩΝ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ
ΟΔΗΓΟΥΝ ΠΡΟΦΑΝΩΣ ΣΕ ΜΙΑ ΑΣΘΕΝΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ
ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ ΚΑΙ ΜΠ ΕΧΣ.**



Οδηγίες και όρια έκθεσης σε ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ (1/2)

ΟΔΗΓΙΕΣ ICNIRP 1998

ΗΠ ΕΧΣ (ΣΤΑ 50 Hz)

5 kV/m για το γενικό κοινό
10 kV/m για την
επαγγελματική έκθεση

ΜΠ ΕΧΣ (ΣΤΑ 50 Hz)

100 μT για το γενικό κοινό
500 μT για την
επαγγελματική έκθεση



Οδηγίες και όρια έκθεσης σε ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ (2/2)

ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ 1999

ΗΠ ΕΧΣ (ΣΤΑ 50 Hz)

5 kV/m για το γενικό κοινό
5 kV/m για την
επαγγελματική έκθεση

ΜΠ ΕΧΣ (ΣΤΑ 50 Hz)

100 μ T για το γενικό κοινό
100 μ T για την επαγγελματική
έκθεση



Όργανα, μέθοδοι και πρωτόκολλα μέτρησης ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ

Εικόνα 1: Όργανα Επισκόπησης
Πεδίου (Field Survey
Instruments)



Εικόνα 2: Καταγραφείς
Δεδομένων (Data Recorders)



Εικόνα 3: Μετρητές
Προσωπικής Έκθεσης (Personal
Exposure Meters)



ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ οικιακών συσκευών



ΣΥΣΚΕΥΗ	ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 3 cm (μΤ)	ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 30 cm (μΤ)	ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1m (μΤ)
Ξυριστική μηχανή	10 - 900	0.05 - 9	0.01 - 0.2
Σεσουάρ Μαλλιών	8 - 800	0.01 - 7	0.01 - 0.03
Λαμπτήρας φθορισμού	40 - 400	0.5 - 2	0.02 - 0.25
Ηλεκτρική κουζίνα	1 - 50	0.15 - 0.5	0.01 - 0.04
Φούρνος μικροκυμάτων	5 - 100	0.4 - 8	0.15 - 0.5
Ψυγείο	0.5 - 1.7	0.01 - 0.3	0.01 - 0.05
Πλυντήριο ρούχων	0.8 - 40	0.15 - 3	0.01 - 0.15
Πλυντήριο πιάτων	1 - 15	0.2 - 2	0.07 - 0.3
Ηλεκτρικό σίδερο	3 - 30	0.14 - 0.3	0.01 - 0.03
Ηλεκτρική σκούπα	60 - 500	0.8 - 12	0.08 - 0.8
Φορητό ραδιόφωνο	1 - 15	0.4 - 1.5	0.01 - 0.1
Τηλεόραση	2 - 80	0.04 - 8	0.01 - 0.9
Βιντεοκάμερα	0.6 - 20	0.7 - 2.5	0.01 - 0.03
Φωτοτυπικό	0.6 - 40	0.1 - 2.7	0.01 - 0.3
Συσκευή FAX	0.4 - 1.5	0.01 - 0.2	0.01 - 0.02
Οθόνη Υπολογιστή	1 - 60	0.02 - 5	0.01 - 0.6
Ηλεκτρικό τρυπάνι	4 - 200	0.2 - 3.3	0.01 - 0.8



ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Γραμμές διανομής ΧΤ

Συμμετρική φόρτιση: **εξασθένιση $1/r^2$**

Ασύμμετρη φόρτιση: **εξασθένιση $1/r$**

(ρεύμα από αγωγούς γείωσης)

ΗΠ αμελητέο

ΜΠ λίγα μT

Γραμμές διανομής ΜΤ

Συμμετρική φόρτιση: **εξασθένιση $1/r^2$**

ΗΠ $\sim 700 \text{ V/m}$

ΜΠ $\sim 5 \mu\text{T}$



ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ Υποσταθμών Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Βρίσκονται σε κατοικημένες περιοχές:

- Υπόγεια – ισόγεια οικοδομών.
- Εναέριες κατασκευές.

ΜΣ διανομής:

εξασθένιση $1/r^3$

Πεδία μόνο που προέρχονται από τις γραμμές διανομής ΜΤ και ΧΤ.



ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΓΜΗΕ) (1/3)

ΜΠ μεταβλητό

ΗΠ αμετάβλητο

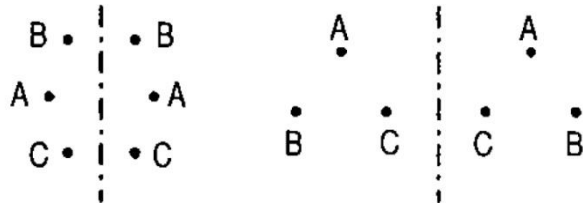
Εξασθένιση: $1/r^2$

Άλλοι παράγοντες εξάρτησης μεγέθους πεδίου:

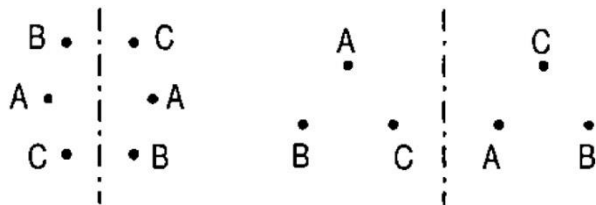
- Η απόσταση των αγωγών από την γη.
- Η διάταξη των φάσεων στις γραμμές διπλού κυκλώματος.
- Η απόσταση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών της γραμμής.



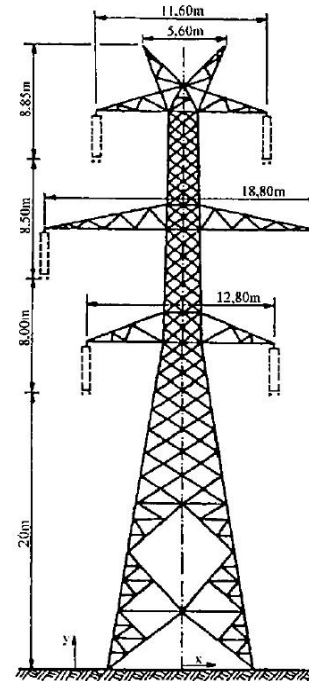
ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΓΜΗΕ) (2/3)



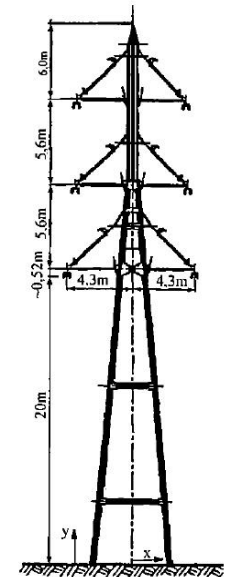
Συμμετρική διάταξη αγωγών



Βέλτιστη διάταξη αγωγών ΓΜΗΕ διπλού κυκλώματος, για μείωση ΗΠ (18%) και ΜΠ (15%)



(α)



(β)

Πυλώνες ΓΜΗΕ:

α) συμβατική γραμμή 400 kV Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς

β) συμπαγής γραμμή 400 kV, για μείωση ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ



ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΓΜΗΕ) (3/3)

Τυπικές τιμές ΗΠ και ΜΠ ΕΧΣ στο περιβάλλον εναέριων γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε ύψος 1,5 m από το έδαφος

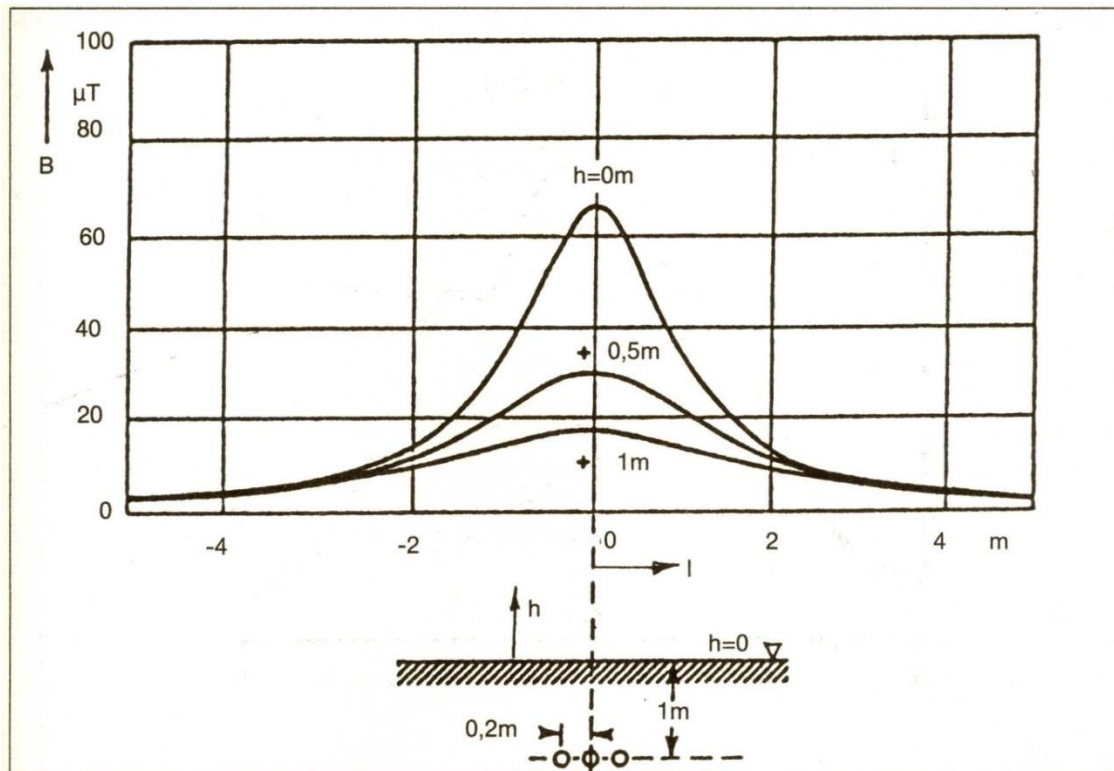
		ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ (μΤ)	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ (V/m)
Γραμμές 400 kV (μεταλλικοί πυλώνες)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	25	5000
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	1 - 4	2000 - 4000
	Τυπική τιμή (25m παραπλευρώς)	0.5 - 2	200 - 500
Γραμμές 150 kV (μεταλλικοί πυλώνες)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	15	2000
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	0.5 - 2	1000 - 2000
	Τυπική τιμή (25m παραπλευρώς)	0.1 - 0.2	100 - 300
Γραμμές 150 kV (μεταλλικοί ιστοί)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	10	1200
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	0.3 - 1.5	500 - 1000
	Τυπική τιμή (25m παραπλευρώς)	0.05 - 0.2	50 - 100
Γραμμές 20 kV (ξύλινες κολώνες)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	5	700
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	0.2 - 0.5	200
	Τυπική τιμή (25m παραπλευρώς)	0.01 - 0.05	10 - 20



ΗΠ ΕΧΣ και ΜΠ ΕΧΣ Υπογείων Καλωδίων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αγωγοί: πολύ κοντά ΜΠ: πολύ μικρό μακριά

ΗΠ: μηδενικό



Τιμές ΜΠ ΕΧΣ ενός τριφασικού συστήματος τριών μονοπολικών καλωδίων θαμμένων σε οριζόντια διάταξη με συμμετρική φόρτιση 1000 A ανά φάση και παράμετρο το ύψος h από το έδαφος.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Όργανα Επισκόπησης Πεδίου (Field Survey Instruments):

<http://www.enertech.net/html/EMDEXSnap.html>

- Εικόνα 2:

Καταγραφείς Δεδομένων (Data Recorders):

<http://www.enertech.net/html/EMDEXII.html>

- Εικόνα 3:

Μετρητές Προσωπικής Έκθεσης (Personal Exposure Meters):

<http://www.enertech.net/html/EMDEXLite.html>



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

