

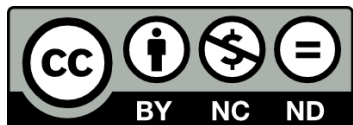


# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ III

## ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΑ ΣΗΕ

Λαμπρίδης Δημήτρης

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.



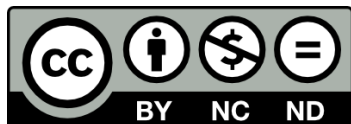


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# ΖΕΥΞΕΙΣ, ΑΠΟΖΕΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ



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

---

## ΖΕΥΞΕΙΣ, ΑΠΟΖΕΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

1. Εισαγωγή
2. Ζεύξεις μονοφασικών φορτίων



# ΖΕΥΞΕΙΣ, ΑΠΟΖΕΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

## 1. Εισαγωγή

➤ ΣΗΕ: χειρισμοί ή αλλαγές σε χρόνους  $t \ll T = 20 \text{ ms}$

Αιτίες:

- Σφάλματα – αποζεύξεις σφαλμάτων
  - Ζεύξεις – αποζεύξεις φορτίων  
(κλείσιμο - άνοιγμα διακοπών)
- Τα σφάλματα προέρχονται από:
- ατμοσφαιρικές εκκενώσεις – διάσπαση μόνωσης
  - εσφαλμένους χειρισμούς – ατυχήματα



➤ Τα σφάλματα οδηγούν σε:

- **Βραχυκυκλώματα** (ξαφνικές και μη φυσιολογικές αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου)



- Δημιουργούνται **ταλαντώσεις** μεταξύ  
α) πυκνωτών ή παρασιτικών χωρητικοτήτων του δικτύου, και  
β) αυτεπαγωγών του δικτύου



- Η συχνότητα των ταλαντώσεων είναι μεγαλύτερη της συχνότητας του δικτύου



- Δημιουργούνται μεγάλες τάσεις (υπερτάσεις) μεγάλα ρεύματα (υπερρεύματα)



# ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ

***Υπέρταση (overvoltage)*** ονομάζουμε μια μη φυσιολογική τάση που εμφανίζεται μεταξύ δύο σημείων του συστήματος, και η οποία είναι μεγαλύτερη από την υψηλότερη τιμή τάσης που αναμένουμε μεταξύ των ίδιων σημείων σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας





**Οι υπερτάσεις διαχωρίζονται σε:**

- **Εσωτερικές (από φυσιολογικούς χειρισμούς)**
- **Εξωτερικές (από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις)**

**Προσδιορίζουν:**

- **Το είδος,  
τις διαστάσεις, και  
το κόστος των συσκευών μόνωσης**
- **Τα μέσα προστασίας**



# ΥΠΕΡΡΕΥΜΑΤΑ

**Υπέρρευμα (*overcurrent*)** είναι ένα ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού ρεύματος μιας συσκευής η ενός σημείου του ΣΗΕ

Το υπέρρευμα μπορεί να είναι μια **υπερφόρτιση (*overload*)** ή ένα **ρεύμα βραχυκυκλώματος (*short-circuit current, fault current*)**

Η **υπερφόρτιση** είναι ένα υπέρρευμα με τιμή 1 - 10 φορές μεγαλύτερη από το ρεύμα απόζευξης του μέσου προστασίας σε ένα σημείο του ΣΗΕ

Το **ρεύμα βραχυκυκλώματος** είναι το υπέρρευμα με τιμή μεγαλύτερη από το δεκαπλάσιο του ρεύματος απόζευξης του μέσου προστασίας σε ένα σημείο του ΣΗΕ



**Τα υπερρεύματα παρουσιάζονται:**

- σε περιπτώσεις σφαλμάτων, βραχυκυκλωμάτων
- κατά τις ζεύξεις αυτεπαγωγών, ΜΣ, ΑΜ, ΣΜ

**Προκαλούν ενοχλήσεις σε ασθενή δίκτυα  
(λόγω μεγάλης πτώσης τάσης)**

**Προσδιορίζουν:**

- Το μέγεθος και το είδος των συσκευών προστασίας (ασφαλειών, αυτομάτων υπέρ έντασης, διακοπών ισχύος)
- Τη δυναμική αντοχή των εγκαταστάσεων



# ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ

Ζεύξεις – αποζεύξεις  $\Rightarrow$  γίνονται χειρισμοί μέσω **διακοπών** με μηχανικές επαφές

Οι διακόπτες με τους οποίους γίνονται οι χειρισμοί στα ΣΗΕ ανήκουν σε μια από τις εξής κατηγορίες:

α) **Αποζεύκτης** - (*Isolating switch*)

χειρισμός σε μηδενικό φορτίο  $I < 40 \text{ A}$

β) **Διακόπτης φορτίου  $\Delta\Phi$**  - (*Load switch*)

χειρισμός σε ονομαστικό ρεύμα φορτίου  $I = 100 - 1000 \text{ A}$

γ) **Διακόπτης ισχύος  $\Delta I$**  - (*Circuit breaker*)

χειρισμός σε βραχυκύκλωμα  $I = 1 - 100 \text{ kA}$



## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ

open (trip): πρώτα ανοίγει ο  $\Delta\Phi$  ή  $\Delta I$  και μετά ο αποζεύκτης  
close: πρώτα κλείνει ο αποζεύκτης και μετά ο  $\Delta\Phi$  ή  $\Delta I$

ΖΕΥΞΗ: Πριν κλείσει η μηχανική επαφή  $\rightarrow$  τόξο  $\rightarrow$  φθορά:

$\Delta t, I, \frac{dI}{dt}$  πρέπει να έχουν μικρές τιμές

ΑΠΟΖΕΥΞΗ: τόξο,  $\vartheta \uparrow, G \uparrow$ , το τόξο διατηρείται μέχρι  $I \cong 0$

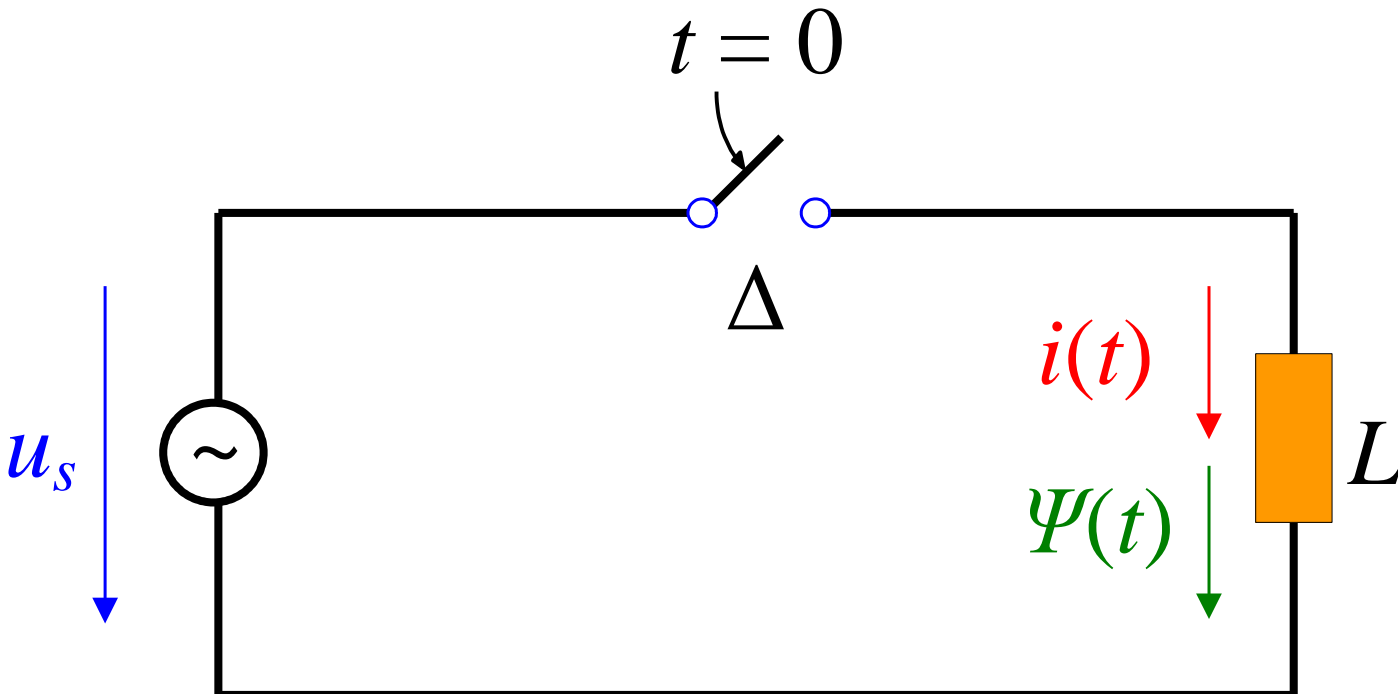
Επανερχόμενες τάσεις:

$V, \frac{dV}{dt} \gg \rightarrow$  **ΔΙΑΣΠΑΣΗ**



## 2. Ζεύξεις μονοφασικών φορτίων

### Ζεύξη Αυτεπαγωγής



**Σχ.3.1: Ζεύξη πηγής εναλλασσόμενης τάσης με αυτεπαγωγή  $L$**



Τάση πηγής:  $u(t) = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \theta)$

$\theta$ : φάση της τάσης κατά τη στιγμή της ζεύξης

(χρονική στιγμή  $t = 0$  κατά την οποία κλείνει ο διακόπτης  $\Delta$ )

$\Psi(t)$ : μαγνητική ροή

$\Psi(0)$ : παραμένων μαγνητισμός

$$\hat{\Psi}_s = \frac{\sqrt{2} U}{\omega} \quad \text{η μέγιστη ροή της στάσιμης κατάστασης}$$



## Νόμος Faraday:

$$-u = -\frac{d\Psi}{dt} \Rightarrow d\Psi = u dt \Rightarrow \int_0^t d\Psi = \int_0^t u dt \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Psi(t) - \Psi(0) = \sqrt{2} U \int_0^t \sin(\omega\tau + \theta) d\tau \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Psi(t) - \Psi(0) + \frac{\sqrt{2} U}{\omega} \left[ -\cos(\omega\tau + \theta) \right]_{\tau=0}^t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Psi(t) = \Psi(0) + \hat{\Psi}_s \left[ \cos\theta - \cos(\omega t + \theta) \right]$$





- Αν αμεληθεί ο παραμένων μαγνητισμός

$$\Psi(0) = 0 \quad \Psi(t) = \hat{\Psi}_s [\cos \theta - \cos(\omega t + \theta)]$$

- Αν η ζεύξη γίνει υπό μηδενική τάση

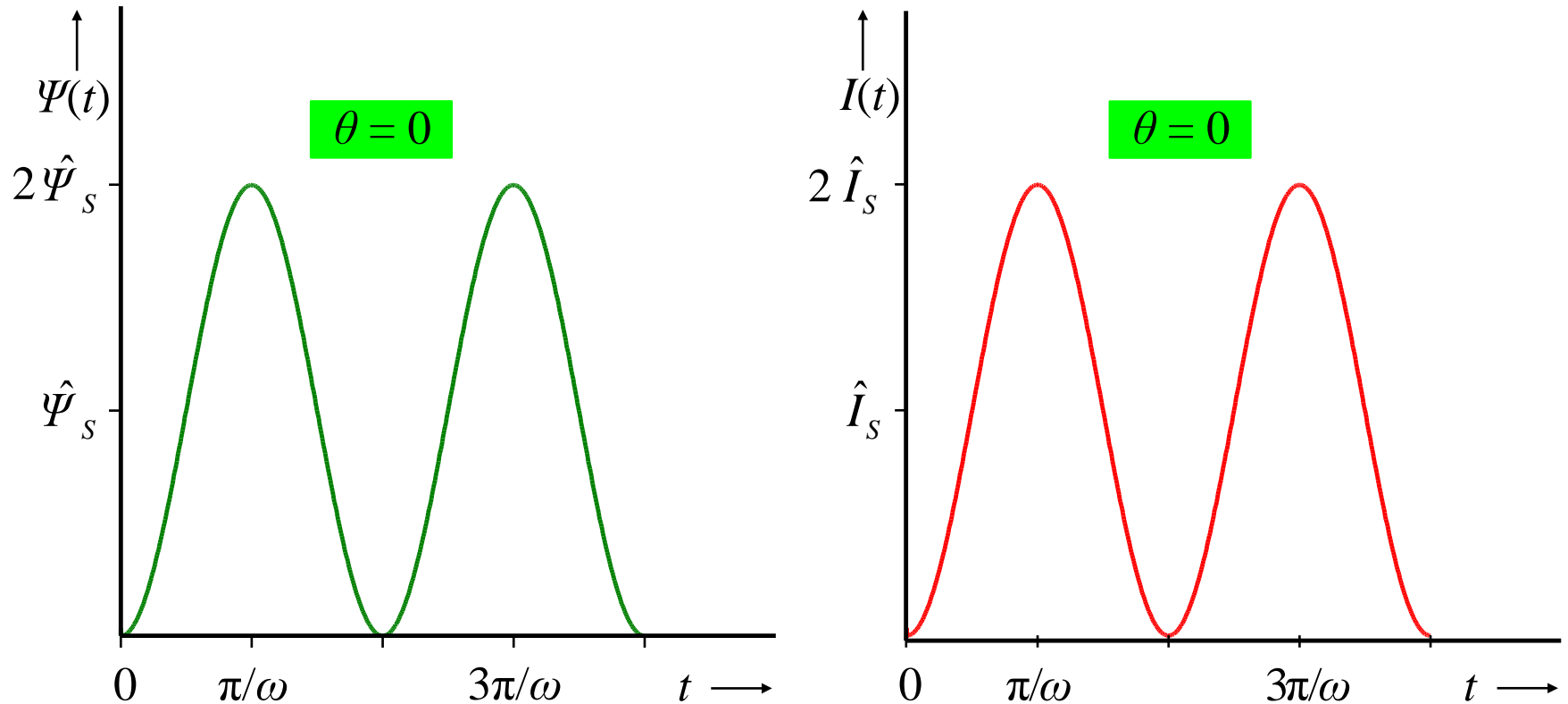
$$(\vartheta = 0) \quad \Psi(t) = \hat{\Psi}_s (1 - \cos \omega t)$$

$$\text{Με μέγιστη τιμή, για } \omega t = \pi \quad \hat{\Psi} = 2 \hat{\Psi}_s$$

Δηλαδή η ροή είναι δυνατό να φτάσει σε τιμή **διπλάσια** της αντίστοιχης της στάσιμης κατάστασης



## α) Σταθερή αυτεπαγωγή



**Σχ.3.2: Ροή  $\Psi(t)$  και ρεύμα  $I(t)$  κατά τη ζεύξη σταθερής αυτεπαγωγής  $L$  με πηγή εναλλασσόμενης τάσης, όταν κατά τη χρονική στιγμή της ζεύξης η τάση της πηγής είναι μηδενική ( $\vartheta = 0$ )**



$$\Psi = Li \Rightarrow i(t) = \frac{\Psi(t)}{L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i(t) = \hat{I}_s [\cos \theta - \cos(\omega t + \theta)]$$

όπου  $\hat{I}_s = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L}$

- Ζεύξη υπό μηδενική τάση ( $\vartheta = 0$ )  $i(t) = \hat{I}_s (1 - \cos \omega t)$

με μέγιστη τιμή, για  $\omega t = \pi$   $\hat{I}_{\max} = 2\hat{I}_s$

**Δηλαδή το ρεύμα, στη χειρότερη περίπτωση, είναι διπλάσιο του ρεύματος στάσιμης κατάστασης**



## β) Πηνίο με πυρήνα από σίδηρο

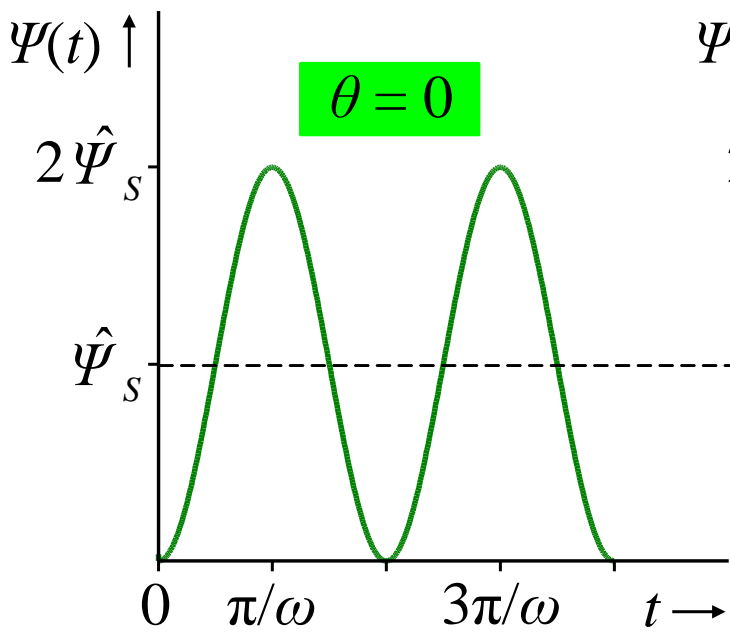
**ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** ΜΣ ισχύος που λειτουργεί σε ονομαστική τάση και συχνότητα

$\hat{\Psi} = 2 \hat{\Psi}_s$  : βρίσκεται στην περιοχή κορεσμού

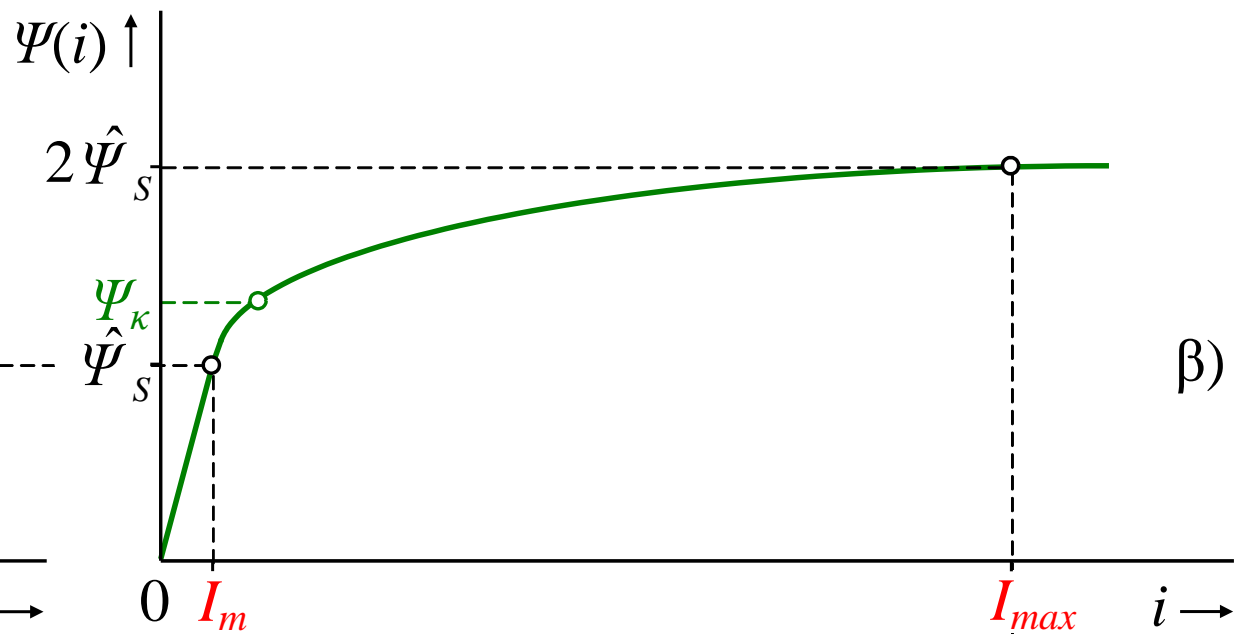
$$\Psi = f(i) \Rightarrow i(t) = f^{-1} \left[ \hat{\Psi}_s (1 - \cos \omega t) + \Psi(0) \right]$$

για  $\vartheta = 0$

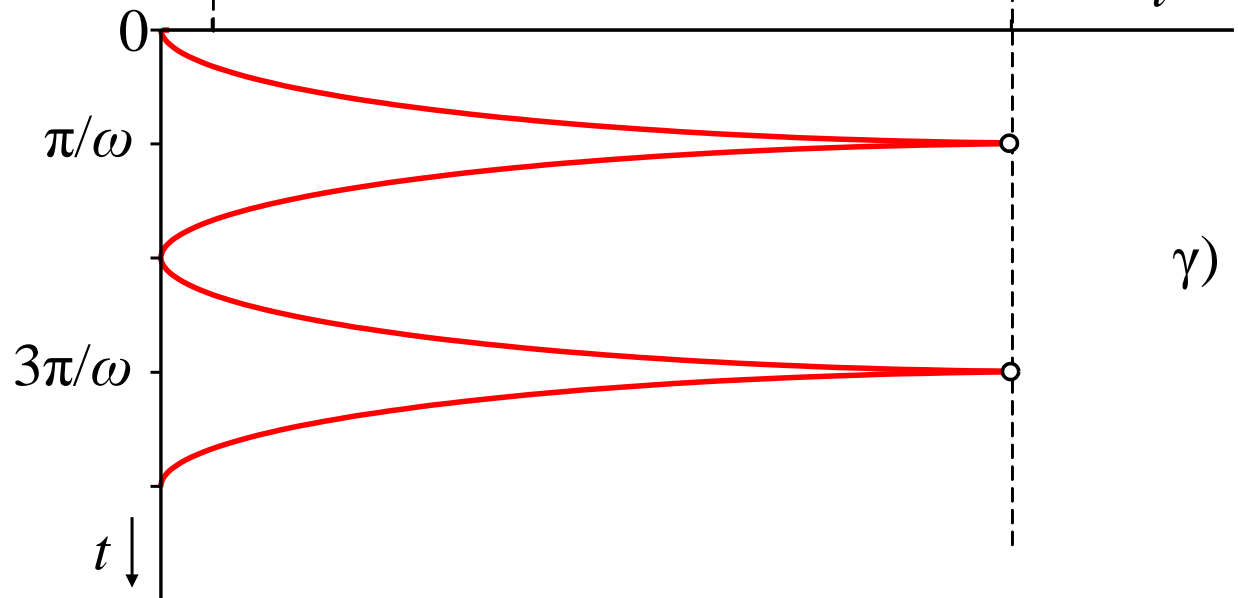




α)



β)



γ)



- Σχ.3.3:** Ζεύξη πηγής εναλλασσόμενης τάσης με αυτεπαγωγή με πυρήνα σιδήρου, όταν κατά τη χρονική στιγμή της ζεύξης η τάση της πηγής είναι μηδενική. Αντιστοιχίζεται στη ζεύξη αφόρτιστου ΜΣ.
- α) ροή  $\Psi$  σαν συνάρτηση του χρόνου**
  - β) ροή  $\Psi$  σαν συνάρτηση του ρεύματος (καμπύλη μαγνήτισης)**
  - γ) ρεύμα ζεύξης  $I$  σαν συνάρτηση του χρόνου**



i)  $\Psi(0) \Rightarrow \hat{\Psi} \cong 2 \hat{\Psi}_s \Rightarrow$  το ρεύμα θα έχει τη μορφή παλμών μιας διεύθυνσης με μέγιστη τιμή  $I_{max} > I_N$

ii)  $\Psi(0) \neq 0 \Rightarrow \hat{\Psi} \cong 2,8 \hat{\Psi}_s \Rightarrow I_{max} \gg I_N$

### ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ:

Έλεγχος δεύτερης αρμονικής συνιστώσας (100 Hz) του μεταβατικού ρεύματος

(παλιότερα: χρήση συστημάτων προστασίας με χρονική καθυστέρηση  $\sim 0,5$  sec, με κίνδυνο όμως να συμβεί πραγματικό σφάλμα στα πρώτα 0,5 sec και να καταστραφεί

ο ΜΣ)



## ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

Συνήθως ένας ΜΣ έχει  $\hat{\Psi}_s = 0,77\Psi_k$

(κατασκευαστικό στοιχείο)

⇒ Η ζεύξη υπό μηδενική τάση, που έχει μέγιστο ίσο με  $2\hat{\Psi}_s$ , οδηγεί βαθιά στον κορεσμό και σε μεγάλο ρεύμα

Επίσης  $I_{\text{mag}} = 0,005 - 0,04 \text{ pu}$  (κατασκευαστικό στοιχείο)





## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ:

ΜΣ	$S_N$	$U_N$	$I_{mag}$	$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}$	$I_{max}$
	[kVA]	[kV]	[A]	[A]	[A]
τριφασικός	<b>1000</b>	<b>13,8</b>	<b>2,0</b>	<b>42,0</b>	<b>150</b>
varίας μονοφασικό	<b>2</b>	<b>0,23</b>	<b>0,4</b>	<b>8,3</b>	<b>60</b>



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης.  
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙΙ, ΖΕΥΞΕΙΣ, ΑΠΟΖΕΥΞΕΙΣ ΚΑΙ  
ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη  
δικτυακή διεύθυνση: [http://opencourses.auth.gr/eclass\\_courses](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

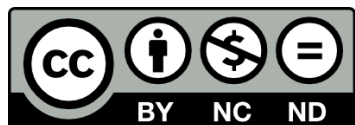
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα  
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2013-2014



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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



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.

