



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

---

## Εργαστήριο Ανάλυσης Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

**Ενότητα:** Άσκηση 3: “Έλεγχος ροής πραγματικής και αέργου ισχύος σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ”

Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Παναγής Βοβός

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

---

**ΑΝΟΙΚΤΑ** ακαδημαϊκά **ΠΠ**  
μαθήματα

## Περιεχόμενα

1. Σκοπός .....	3
2. Ροή πραγματικής και αέργου ισχύος – Παράμετροι που την επηρεάζουν .....	3
3. Έλεγχος ροής πραγματικής και αέργου ισχύος.....	4
4. Χρησιμοποιούμενα όργανα .....	5
5. Πειραματικό μέρος.....	6
5.1 Τερματικές τάσεις άνισες αλλά σε φάση .....	6
5.2 Τερματικές τάσεις ίσες αλλά όχι σε φάση .....	7
5.3 Τερματικές τάσεις άνισες και όχι σε φάση .....	8
6. Ερωτήσεις – Προβλήματα .....	8
7. Σημειώματα .....	9
7.1 Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων/Εργου .....	9
7.2 Σημείωμα Αναφοράς.....	9
7.3 Σημείωμα Αδειοδότησης.....	9
7.4 Διατήρηση Σημειωμάτων .....	10
8. Χρηματοδότηση.....	10

## 1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή εξετάζονται παράμετροι που επηρεάζουν τη ροή πραγματικής και αέργου ισχύος σε μια γραμμή μεταφοράς. Συγκεκριμένα διερευνάται η εξάρτηση της ροής ισχύος από τα μέτρα και τις φασικές γωνίες των τάσεων στα άκρα της γραμμής.

## 2. Ροή πραγματικής και αέργου ισχύος – Παράμετροι που την επηρεάζουν

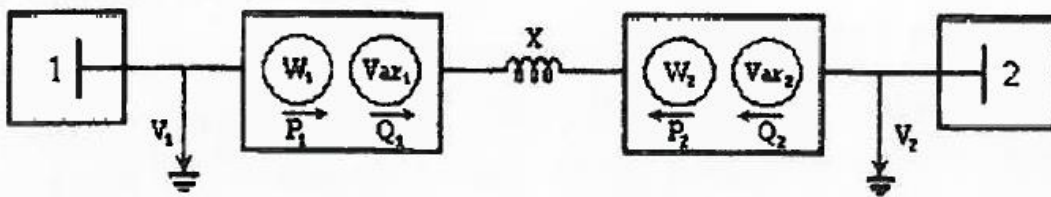
Στην παράγραφο 2.2.2 της άσκησης 2 εξηγήθηκαν οι σχέσεις που δίνουν την ροή πραγματικής και αέργου ισχύος σε γραμμή μικρού μήκους ( $X \gg R$  και  $Y_c = 0$ ) που διασυνδέει τους ζυγούς 1, 2 (Σχ. 3.1) και που για λόγους ευκολίας ξαναγράφονται παρακάτω:

$$P_1 = -P_2 = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta \quad (3.1)$$

$$Q_1 = \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta \quad (3.2)$$

$$Q_2 = \frac{V_2^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta \quad (3.3)$$

όπου  $X$  η εν σειρά επαγωγική αντίδραση της γραμμής,  $V_1 = V_1 \angle \delta_1$ ,  $V_2 = V_2 \angle \delta_2$  οι τάσεις στα άκρα της γραμμής και  $\delta = \delta_1 - \delta_2$  η γωνία ισχύος της γραμμής.



Σχήμα 3.1 Μέτρηση πραγματικής και αέργου ισχύος σε γραμμή μεταφοράς

Εξετάζοντας την σχέση (3.1) διαπιστώνουμε ότι για να υπάρχει ροή πραγματικής ισχύος μέσω μιας γραμμής μεταφοράς πρέπει απαραίτητως οι δύο τερματικές τάσεις να μην είναι σε φάση, δηλαδή  $\delta \neq 0$ . Αν  $\delta = 0$  δεν έχουμε ροή πραγματικής ισχύος ανεξάρτητα από το αν  $V_1 = V_2$  ή  $V_1 \neq V_2$ . Η διεύθυνση της ροής ισχύος είναι από την προπορευόμενη (leading) προς την επιπορευόμενη (lagging) τερματική τάση. Η ροή πραγματικής ισχύος γίνεται

μέγιστη όταν η γωνία ισχύος  $\delta$  γίνει ίση με  $90^\circ$ . Αν η γωνία ισχύος αυξηθεί πέραν των  $90^\circ$ , τότε έχουμε μείωση της μεταφερόμενης πραγματικής ισχύος.

Όταν οι τερματικές τάσεις είναι σε φάση, δηλαδή  $\delta = 0$ , αλλά έχουν διαφορετικά μέτρα, δηλαδή  $V_1 \neq V_2$  τότε έχουμε ροή αέργου ισχύος μέσω της γραμμής. Η διεύθυνση της ροής είναι πάντοτε από την υψηλότερη προς τη χαμηλότερη τάση. Η ροή αέργου ισχύος θα μηδενιστεί, όπως φαίνεται από τις σχέσεις (2.3), (3.3), μόνο όταν  $V_1 = V_2$  και  $\delta = 0^\circ$ .

Από τις σχέσεις (3.1) και (3.3) για  $V_1 = V_2$  προκύπτει ότι:

$$\alpha) \text{ Για } \delta = 0^\circ \quad P_2 = 0 \quad Q_2 = 0 \text{ (ανοικτό κύκλωμα στο τέλος της γραμμής)}$$

$$\beta) \text{ Για } \delta = 90^\circ \quad P_2 = -\frac{V_2^2}{X} \quad Q_2 = \frac{V_2^2}{X} \text{ (φορτίο ωμικό-χωρητικό)}$$

Με τις κατευθύνσεις που ορίζονται στο **Σχ. 3.1**, η πραγματική ισχύς  $P_2$  έχει πάντοτε αρνητική τιμή ανεξάρτητα αν  $V_1, V_2$  είναι ίσα ή άνισα, ενώ η άεργος ισχύς  $Q_2$  είναι (για  $V_1 > V_2$ ) θετική όταν  $\delta > \delta_0$  και αρνητική όταν  $\delta < \delta_0$ , όπου:  
$$\delta_0 = \cos^{-1} \left( \frac{V_2}{V_1} \right).$$

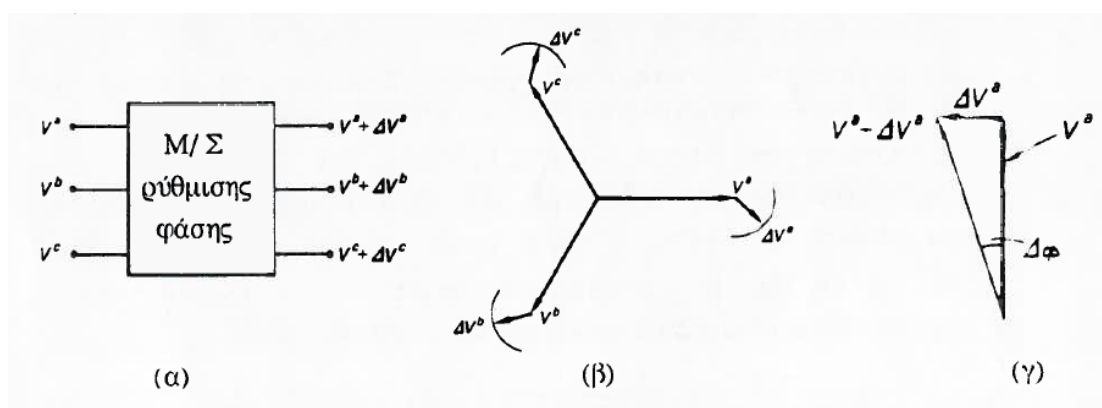
### 3. Έλεγχος ροής πραγματικής και αέργου ισχύος

Από τις σχέσεις (3.1), (3.2) και (3.3) διαπιστώνουμε ότι η ροή πραγματικής και αέργου ισχύος σε μια γραμμή μεταφοράς εξαρτάται όχι μόνο από την σύνθετη αντίσταση της γραμμής, αλλά επίσης και από τις τερματικές τάσεις και την φασική γωνία μεταξύ αυτών των τάσεων. Η ροή πραγματικής ισχύος μπορεί να τροποποιηθεί αλλάζοντας την φασική γωνία μιας από τις τερματικές τάσεις. Ομοίως, η ροή αέργου ισχύος μπορεί να τροποποιηθεί αυξάνοντας ή μειώνοντας το μέτρο μιας από τις τερματικές τάσεις.

Η μεταβολή του μέτρου της τάσης γίνεται συνήθως με μετασχηματιστές που τοποθετούνται σε ένα από τα άκρα της γραμμής και έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν το λόγο μετασχηματισμού, συνήθως υπό φορτίο, χρησιμοποιώντας

διατάξεις μεταβλητής λήψης που παίρνουν εντολή γι' αυτό από ειδικούς ανιχνευτές του επιπέδου τάσης.

Η μεταβολή της φασικής γωνίας μιας τερματικής τάσης γίνεται με την βοήθεια ειδικών μετασχηματιστών ρύθμισης φασικής γωνίας τάσης. Η βασική δουλειά αυτών των μετασχηματιστών δεν είναι να μετασχηματίζουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, αλλά να μεταβάλλουν συνήθως κατά μικρά ποσά  $\Delta V$  την τάση στο υπόψη σημείο του δικτύου, όπως φαίνεται στο **Σχ. 3.2(α)** και **3.2(β)**. Αν η προστιθέμενη τάση  $\Delta V$  έχει διαφορά φάσης  $\pm 90^\circ$  ως προς την τάση  $V$  του συστήματος, τότε η φασική γωνία της τάσης μεταβάλλεται κατά  $\Delta\phi$ , όπως φαίνεται για την φάση  $a$  στο **Σχ. 3.2(γ)**, ενώ το μέτρο παραμένει περίπου το ίδιο.



**Σχήμα 3.2** Μετασχηματιστής ρύθμισης φασικής γωνίας

#### 4. Χρησιμοποιούμενα όργανα

1. Τροφοδοτικό ισχύος (120/208 V 3Φ, 0-120/208 V 3Φ)
2. Στοιχεία ωμικών, επαγωγικών και χωρητικών αντιστάσεων
3. Τριφασική γραμμή μεταφοράς
4. Μετασχηματιστής ρύθμισης μέτρου και φασικής γωνίας τάσης
5. Όργανα μέτρησης εναλλασσομένων τάσεων
6. Όργανα μέτρησης τριφασικής πραγματικής και αέργου ισχύος (300 W/300 Var)
7. Όργανα μέτρησης φασικής γωνίας

## 5. Πειραματικό μέρος

### 5.1 Τερματικές τάσεις άνισες αλλά σε φάση

**Π 3.1** Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του **Σχ. 3.3**. Με το διακόπτη  $S$  της γραμμής ανοικτό ρυθμίστε τις τάσεις  $V_A, V_B$  ώστε  $E_1 = E_2 = 180\text{ V}$ .

α) Χωρίς καμία μεταβολή του κυκλώματος, εκτός της μετακίνησης των ακροδεκτών του οργάνου μέτρησης διαφοράς φάσης, να μετρήσετε τις διαφορές φάσης μεταξύ των ακροδεκτών:

- 1) (4-5)A και (4-5)B
- 2) (4-5)A και (5-4)B
- 3) (4-5)A και (5-6)B
- 4) (4-5)A και (6-4)B

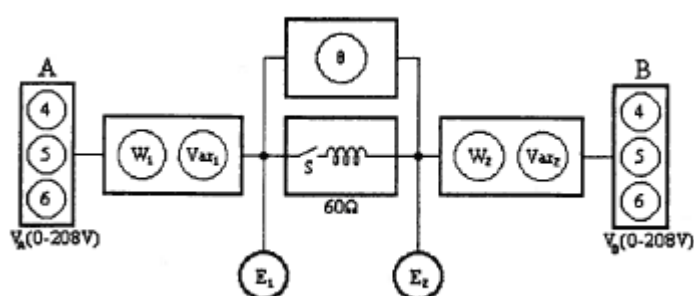
Να κατασκευάσετε το φασικό διάγραμμα των τάσεων των τριών φάσεων του σταθμού Β.

β) Κλείστε το διακόπτη  $S$  της γραμμής. Σημειώστε τις ενδείξεις των  $W_1, W_2, Var_1, Var_2$  λαμβάνοντας υπόψη ότι η επαγωγική αντίδραση της γραμμής είναι  $60\ \Omega$  και οι τάσεις  $E_1 = E_2 = 180\text{ V}$ .

γ) Αυξήστε την τάση του Α ώστε  $E_1 = 200\text{ V}$  και σημειώστε την ροή ισχύος.

δ) Μειώστε την τάση του Α ώστε  $E_1 = 160\text{ V}$  και σημειώστε την ροή ισχύος.

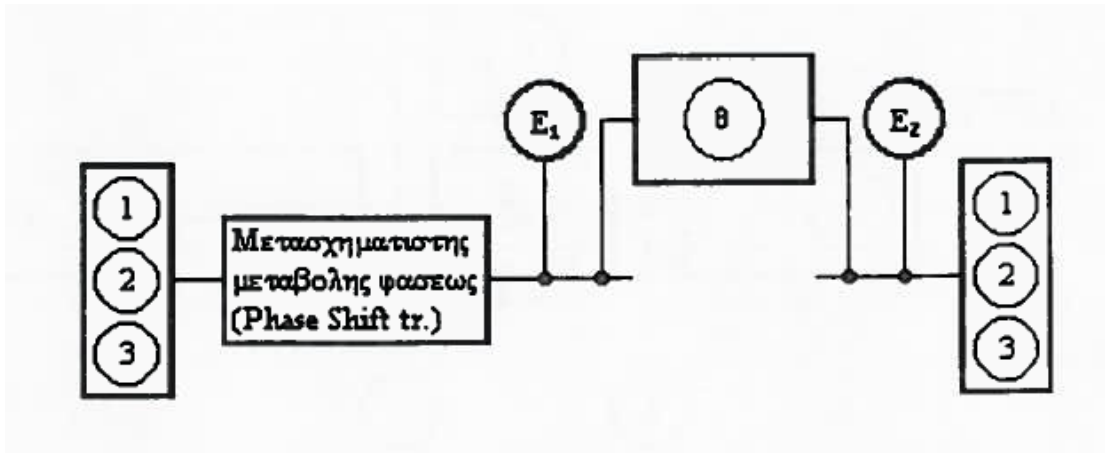
ε) Σχολιάστε τις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις ως προς τα ποσά της μεταφερόμενης αέργου ισχύος και τις διευθύνσεις ροής.



Σχήμα 3.3

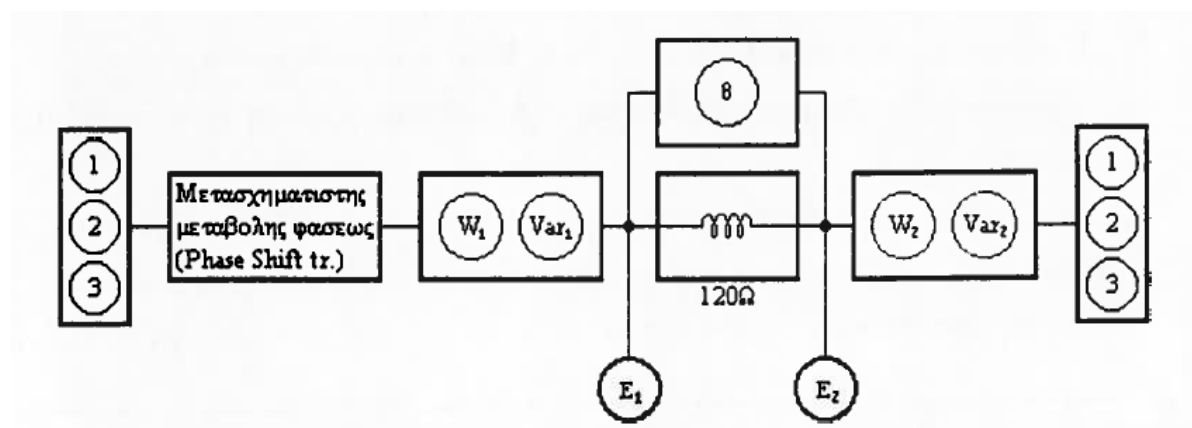
## 5.2 Τερματικές τάσεις ίσες αλλά όχι σε φάση

**Π 3.2** Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του **Σχ. 3.4**. Μετρήστε τις τάσεις  $E_1$ ,  $E_2$  και τη φάση των τάσεων του σταθμού Β για τις τρεις θέσεις του μετασχηματιστή ( $0^\circ$ ,  $-15^\circ$ ,  $+15^\circ$ ).



Σχήμα 3.4

**Π 3.3** Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του **Σχ. 3.5**. Μετρήστε τις τάσεις  $E_1$ ,  $E_2$ , τις ισχύεις  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $Var_1$ ,  $Var_2$  και τη φασική γωνία των τάσεων των δύο σταθμών για τις τρεις θέσεις του μετασχηματιστή μεταβολής φάσης μετασχηματιστή ( $0^\circ$ ,  $-15^\circ$ ,  $+15^\circ$ ). Σχολιάστε την επίδραση της διαφοράς φάσης στη ροή πραγματικής ισχύος στη γραμμή.

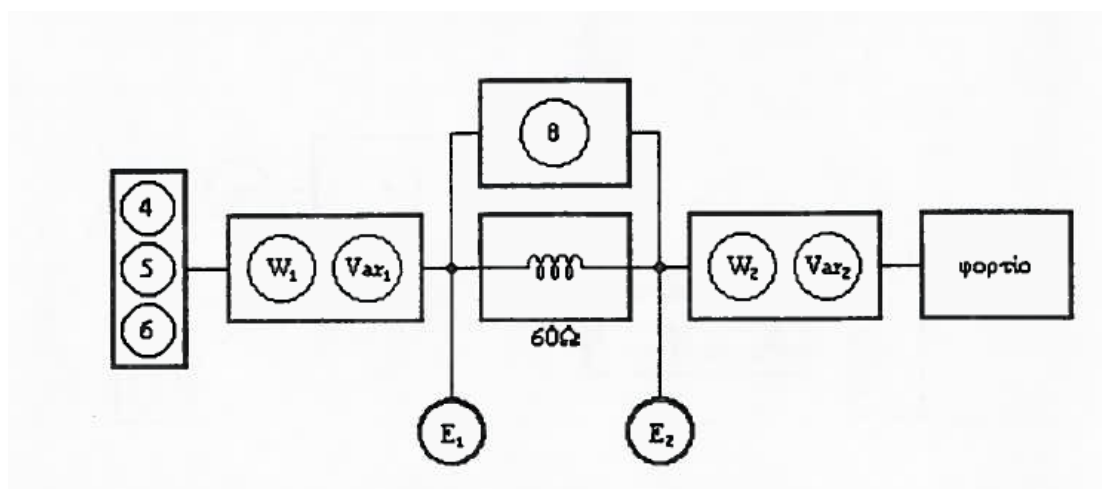


Σχήμα 3.5

### 5.3 Τερματικές τάσεις άνισες και όχι σε φάση

Π 3.4 Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του Σχ. 3.6 στο οποίο είναι  $E_1=200\text{ V}$ , η επαγωγική αντίδραση της γραμμής είναι  $60\ \Omega$  ανά φάση και το φορτίο είναι ωμικό  $300\ \Omega$  ανά φάση.

- Μετρήστε τα μεγέθη  $E_1, E_2, \theta, W_1, W_2, Var_1, Var_2$ .
- Να επαναλάβετε τη διαδικασία χρησιμοποιώντας επαγωγικό και εν συνεχεία χωρητικό φορτίο  $300\ \Omega$  ανά φάση.
- Ποια κατά τη γνώμη σας είναι η επίδραση των μεγεθών  $E_1, E_2, \theta$  στη ροή της ισχύος στη γραμμή;



Σχήμα 3.6

## 6. Ερωτήσεις – Προβλήματα

- Σε περίπτωση που τα μέτρα των τάσεων εισόδου και εξόδου μιας γραμμής είναι ίσα, είναι δυνατόν να παρουσιαστεί πτώση τάσης στη γραμμή; Γιατί;
- Η μορφή και το είδος μιας γραμμής επηρεάζουν την μέγιστη ισχύ που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή; Γιατί;
- Ποια είναι η σχέση μεταξύ kW, kVA, kVar και συντελεστή ισχύος;
- Τι έννοια έχει η αρνητική άεργος ισχύς σε μια γραμμή μεταφοράς μεταξύ των δύο ζυγών;
- Τριφασική γραμμή μεταφοράς έχει επαγωγική αντίδραση  $100\ \Omega$  ανά φάση. Σε διαφορετικούς χρόνους κατά τη διάρκεια της ημέρας οι πολικές τερματικές τάσεις της γραμμής έχουν μέτρα και φασικές γωνίες σύμφωνα με τον πίνακα. Να υπολογιστεί η πραγματική και άεργος ισχύς στα δυο άκρα της γραμμής.



$V_1(kV)$	100	120	100	120	120
$V_2(kV)$	100	100	120	100	100
$\delta = \delta_1 - \delta_2$	60°	60°	60°	-30°	0°
$P_1(MW)$					
$Q_1(MVar)$					
$P_2(MW)$					
$Q_2(MVar)$					

6. Αν στο προηγούμενο πρόβλημα υποθέσουμε ότι  $V_1 = V_2 = 100 kV$  και η γωνία  $\delta$  μεταβάλλεται όπως στον πίνακα που ακολουθεί, να υπολογιστεί η πραγματική ισχύς σε κάθε άκρο της γραμμής και η διεύθυνση ροής.

$\delta = \delta_1 - \delta_2$	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$P_1(MW)$							
$P_2(MW)$							

## 7. Σημειώματα

### 7.1 Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων/Εργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **X.YZ**.

### 7.2 Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος «Εργαστήριο Ανάλυσης Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Άσκηση 3». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: σύνδεσμο μαθήματος.

### 7.3 Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 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».



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

- 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

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

#### 7.4 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.

## 8. Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» 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.



