

# Ηλεκτρικά Κυκλώματα Ι

Κυκλώματα συνεχούς και εναλλασσομένου σταθερής κατάστασης

Α. Δροσόπουλος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικό Η/Υ  
Σχολή Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου



# Θεμελιώδεις έννοιες

- Ηλεκτρικά κυκλώματα είναι η δομή που χρησιμοποιούμε για να μεταφέρουμε και να καταναλώσουμε ηλεκτρική ενέργεια.
- Φορτίο - τι είναι;
- Ενέργεια - τι είναι;
- Μάζα - τι είναι;

Όλα τα παραπάνω είναι οντότητες που τις αποδεχόμαστε για να εξηγήσουμε αυτά που βλέπουμε γύρω μας.



# Θεμελιώδεις έννοιες

- Ατομικό μοντέλο ύλης.
- Από πειραματικά δεδομένα, διακρίνουμε δύο είδη φορτίου, θετικό και αρνητικό - ομώνυμα απωθούνται - ετερόνυμα έλκονται
- Ιδιότητες Φορτίου - Κβάντωση, Διατήρηση, Αναλλοίωτο
- Ηλεκτρικές ιδιότητες σωμάτων - Αγωγοί, Μονωτές, Ημιαγωγοί, Υπεραγωγοί



# Θεμελιώδεις έννοιες

- Όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα αναπτύσσονται από τις δυνάμεις που εξασκούνται μεταξύ φορτίων
- Πεδίο δυνάμεων
- Ηλεκτρικό πεδίο
- Μαγνητικό πεδίο



## Εξισώσεις Maxwell

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t) = 0$$

Νόμος Faraday

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) - \frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t) = \vec{J}(\vec{r}, t)$$

Νόμος διαρεύματος Ampère

$$\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t)$$

Νόμος Gauss

$$\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) = 0$$

Ανυπαρξία μεμονωμένου  
μαγνητικού φορτίου

$$\nabla \cdot \vec{J}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \rho(\vec{r}, t) = 0$$

Συνέχεια

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \text{και} \quad \vec{B} = \mu \vec{H}$$

Καταστατικές εξισώσεις



# Μονάδες

Πίνακας: Θεμελιώδεις SI μονάδες

φυσικό μέγεθος	μονάδα	σύμβολο
μήκος	metre	m
μάζα	kilogram	kg
χρόνος	second	s
ένταση ηλ. ρεύματος	ampère	A
θερμοκρασία	Kelvin	K
φωτεινή ένταση	candela	cd
ποσότητα ύλης	mole	mol



# Βασικά Μεγέθη

Πίνακας: Βασικά μεγέθη στην Ηλεκτροτεχνία

μέγεθος	σύμβολο μεγέθους	μονάδα	σύμβολο μονάδας
φορτίο	$q, Q$	coulomb	C
ρεύμα	$i, I$	ampère	A
τάση	$v, V$	volt	V
ισχύς	$p, P$	watt	W
ενέργεια	$w, W$	joule	J
μαγνητική ροή	$\Phi$	weber	Wb



# Προθέματα

Πίνακας: Προθέματα μονάδων SI

όνομα	σύμβολο	δύναμη του 10
exa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
centi	c	$10^{-2}$
milli	m	$10^{-3}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$



# Περί πράξεων

- 1 Σύστημα μονάδων SI
- 2 Νούμερα πολύ μεγάλα ή πολύ μικρά
- 3 Δυνάμεις του 10
- 4 floating point, scientific, engineering notation
- 5 σημαντικά ψηφία
- 6 Ασκήσεις set1.pdf



# Λειτουργικό μοντέλο

- Μοντέλο - τι είναι για μας τους μηχανικούς;
- Απλοποιημένη ή ιδανική αναπαράσταση της πραγματικότητας που μας επιτρέπει να κατασκευάσουμε χρήσιμα πράγματα.
- Τι μας ενδιαφέρει εμάς;
- Η πληθώρα ηλεκτρικών συσκευών γύρω μας που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια μιλάει μόνη της.
- Υπό ορισμένες προϋποθέσεις - διακριτά στοιχεία - μας αρκούν τάση, ρεύμα και ισχύ - αλγεβρικές εξισώσεις αντί Maxwell.



# Λειτουργικό μοντέλο 2

by Jerry P. Fairley (Author)

Before serious discussion on any topic can take place, it is usually necessary to define one's terms. In the present instance, we need to ask the following question: "what, exactly, do we mean when we speak of a 'model'?" A reasonable definition of the term might be a simplified or idealized representation of reality. Although this is a pretty broad definition, it is perhaps the only one that really embraces everything we refer to as "a model".

[link Agarwal's handouts\\_6002-L1-oei12-gaps-annotated.pdf](#)



# Τάση

Ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων 1 και 2 ηλεκτροστατικού πεδίου ορίζεται το πηλίκο του έργου που παράγεται ή δαπανάται από το πεδίο κατά την μετακίνηση δοκιμαστικού φορτίου  $q$  από το πρώτο σημείο στο δεύτερο, δια του φορτίου.

$$V_{12} = \frac{W_{12}}{q} = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

Το φυσικό νόημα που εκφράζει αυτός ο νόμος είναι η «τάση» που έχουν τα φορτία να αλληλοεξουδετερώνονται.  
Μονάδα της ηλεκτρικής τάσης είναι το Volt (V).



# Ηλεκτρικό ρεύμα

Ηλεκτρικό ρεύμα = προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων.

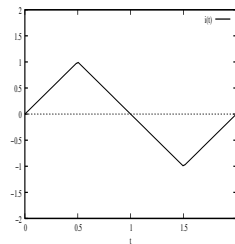
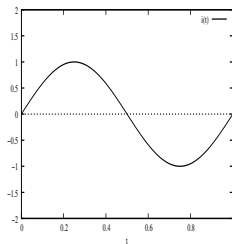
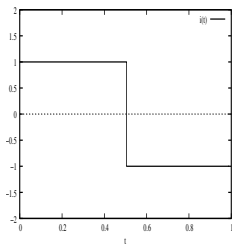
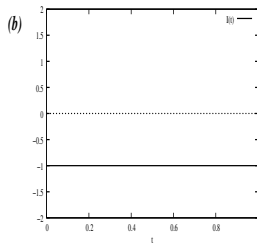
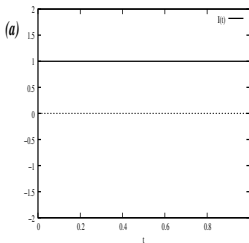
**Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος** σε κάποιον αγωγό είναι η ποσότητα του φορτίου που περνά στη μονάδα του χρόνου από μια διατομή του αγωγού κάθετη προς την κατεύθυνσή του. Όταν η τάση ή το πεδίο που προκαλεί την κίνηση των φορτίων μεταβάλλονται στο χρόνο, ορίζουμε την στιγμιαία τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος ως

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Όταν όμως έχουμε συνθήκες σταθερού ρεύματος τότε  $I = \frac{Q}{t}$   
 Συμβατική φορά ρεύματος. Θετική φορά = κίνηση θετικών φορτίων



## Συνεχές / Εναλλασσόμενο





# Ηλεκτρικό ρεύμα

- Προϋποθέσεις για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος είναι:
  - 1 Να υπάρχουν φορτία ελεύθερα να κινηθούν.
  - 2 Να υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο / τάση που να ασκεί δυνάμεις στα ελεύθερα φορτία έτσι ώστε αυτά να κάνουν προσανατολισμένη κίνηση.
- πυκνότητα ρεύματος  $J$

$$J = \frac{I}{S}$$



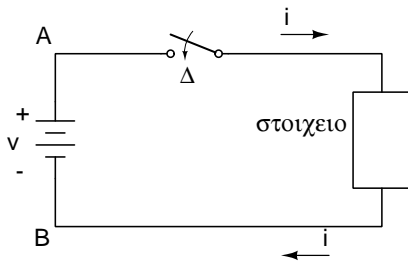
# Ηλεκτρικό ρεύμα

- Προϋποθέσεις για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος είναι:
  - 1 Να υπάρχουν φορτία ελεύθερα να κινηθούν.
  - 2 Να υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο / τάση που να ασκεί δυνάμεις στα ελεύθερα φορτία έτσι ώστε αυτά να κάνουν προσανατολισμένη κίνηση.
- πυκνότητα ρεύματος  $J$

$$J = \frac{I}{S}$$



# Ισχύς - Ενέργεια



$$W_{AB} = q V_{AB}$$

$$dw = v \cdot dq$$

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = v \cdot i$$

$$P = V \cdot I$$

Στο S.I. η μονάδα ισχύος είναι το Watt και συμβολίζεται με W.



# Ισχύς - Ενέργεια

$$W = \int_0^t p \, dt = \int_0^t v \cdot i \, dt$$

$$W = P \cdot t = V \cdot I \cdot t$$

Μονάδα ενέργειας Joule (J) ή κιλοβατώρα (kWh)

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ hour} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sec} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$



# Νόμος Ohm

- Εάν περνάει ρεύμα μέσα από τους ακροδέκτες ενός στοιχείου, η τάση στα άκρα του είναι ανάλογη με το ρεύμα που το διαρρέει (νόμος Ohm).
- συντελεστής αναλογίας  $R$  η ωμική αντίσταση του στοιχείου

$$V = I \cdot R \quad \text{και} \quad R = \frac{V}{I} \quad \text{και} \quad I = \frac{V}{R}$$

- Μονάδα ωμικής αντίστασης το ohm και συμβολίζεται με  $\Omega$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$



# Νόμος Ohm

- Εάν περνάει ρεύμα μέσα από τους ακροδέκτες ενός στοιχείου, η τάση στα άκρα του είναι ανάλογη με το ρεύμα που το διαρρέει (νόμος Ohm).
- συντελεστής αναλογίας  $R$  η ωμική αντίσταση του στοιχείου

$$V = I \cdot R \quad \text{και} \quad R = \frac{V}{I} \quad \text{και} \quad I = \frac{V}{R}$$

- Μονάδα ωμικής αντίστασης το ohm και συμβολίζεται με  $\Omega$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$



# Νόμος Ohm

- Εάν περνάει ρεύμα μέσα από τους ακροδέκτες ενός στοιχείου, η τάση στα άκρα του είναι ανάλογη με το ρεύμα που το διαρρέει (νόμος Ohm).
- συντελεστής αναλογίας  $R$  η ωμική αντίσταση του στοιχείου

$$V = I \cdot R \quad \text{και} \quad R = \frac{V}{I} \quad \text{και} \quad I = \frac{V}{R}$$

- Μονάδα ωμικής αντίστασης το ohm και συμβολίζεται με  $\Omega$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$



# Νόμος Ohm

- Εάν περνάει ρεύμα μέσα από τους ακροδέκτες ενός στοιχείου, η τάση στα άκρα του είναι ανάλογη με το ρεύμα που το διαρρέει (νόμος Ohm).
- συντελεστής αναλογίας  $R$  η ωμική αντίσταση του στοιχείου

$$V = I \cdot R \quad \text{και} \quad R = \frac{V}{I} \quad \text{και} \quad I = \frac{V}{R}$$

- Μονάδα ωμικής αντίστασης το ohm και συμβολίζεται με  $\Omega$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$



# Αγωγιμότητα

Το αντίστροφο της αντίστασης  $R$  ονομάζεται αγωγιμότητα

$$G = \frac{1}{R}$$

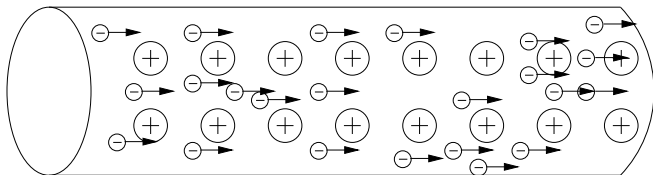
και έχει μονάδα το Siemens (S), όπου  $1 \text{ S} = 1/\Omega$ . Αν η αντίσταση δείχνει την «δυσκολία» στην κίνηση φορτίων, η αγωγιμότητα δείχνει το αντίθετο, την «ευκολία».

Με την αγωγιμότητα, ο νόμος του Ohm γίνεται

$$V = \frac{I}{G} \quad \text{και} \quad G = \frac{I}{V}$$



# Ειδική αντίσταση



$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

$\rho$  είναι η ειδική αντίσταση του υλικού και δεν εξαρτάται από τα γεωμετρικά στοιχεία του αγωγού αλλά από το ίδιο το υλικό και τη θερμοκρασία

μονάδα μέτρησης  $\Omega \cdot \text{m}$

συχνά χρησιμοποιούνται και τα  $\Omega \cdot \text{cm}$  ή  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$



# Επίδραση θερμοκρασίας

## (φαινόμενο Joule)

$$Pt = VIt = I^2 \cdot R \cdot t$$

Σε πρώτη προσέγγιση, η σχετική μεταβολή της αντίστασης είναι ανάλογη με τη μεταβολή της θερμοκρασίας

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \alpha \cdot \Delta\theta \quad \Rightarrow \quad \frac{R - R_0}{R_0} = \alpha \cdot \Delta\theta \quad \Rightarrow$$

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \quad \Rightarrow \quad R = R_0[1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)]$$

όπου  $\theta_0$ ,  $R_0$  είναι η αρχική θερμοκρασία και αρχική αντίσταση αντίστοιχα, και  $\theta$ ,  $R$  η τελική θερμοκρασία και τελική αντίσταση αντίστοιχα.