

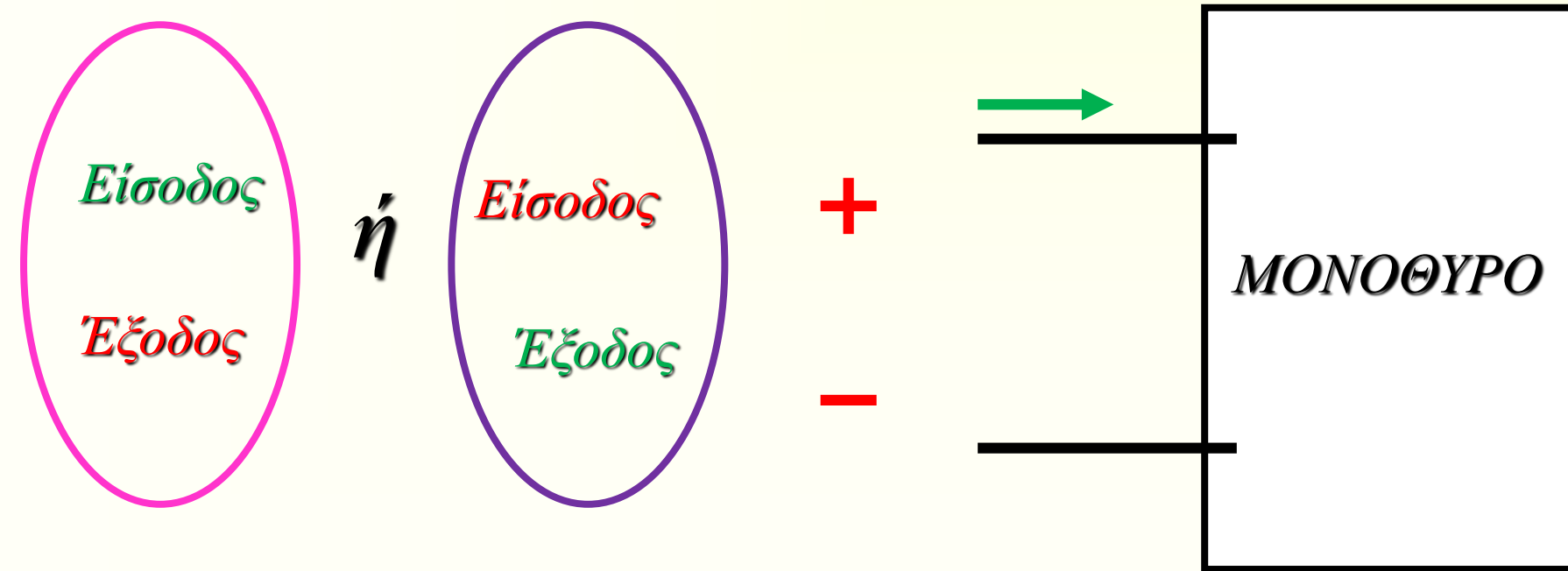
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟ ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΝΟ

ΤΟ ΜΑΥΡΟ ΚΟΥΤΙ



1. **Το περιεχόμενο** του μαύρου κουτιού
(απλά ηλεκτρικά στοιχεία)
2. **Είσοδος:** σήματα (κυματομορφές) διέγερσης
3. **Έξοδος:** απόκριση

ΤΟ ΜΑΥΡΟ ΚΟΥΤΙ



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

- Παραδείγματα στοιχείων: αντίσταση, μπαταρία, πυκνωτής, πηνίο, μετασχηματιστής, κλπ.
- Κάθε στοιχείο κάνει χρήση μιας πρωταρχικής φυσικής ιδιότητας: π.χ. η **αντίσταση, βασικά**, μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα
- Όμως δημιουργείται και ηλεκτρομαγνητικό πεδίο: κάθε ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο και η αντίσταση αποθηκεύει ενέργεια στο πεδίο αυτό
- Ωστόσο, η ενέργεια αυτή είναι απειροελάχιστη και μπορεί να αγνοηθεί
- **ΤΕΛΙΚΑ**, τα στοιχεία που χρησιμοποιούμε είναι προσεγγίσεις

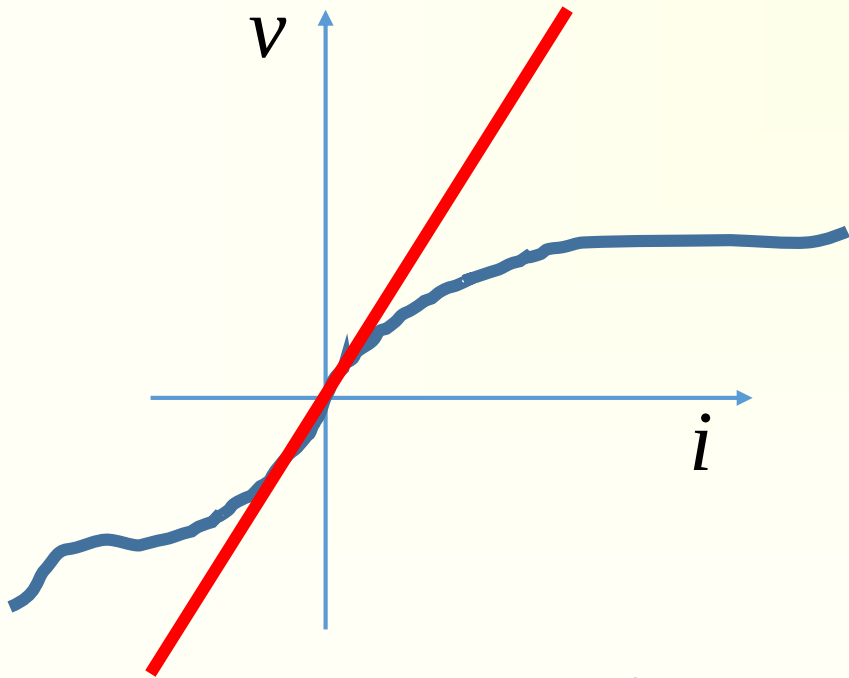
ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ

ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ

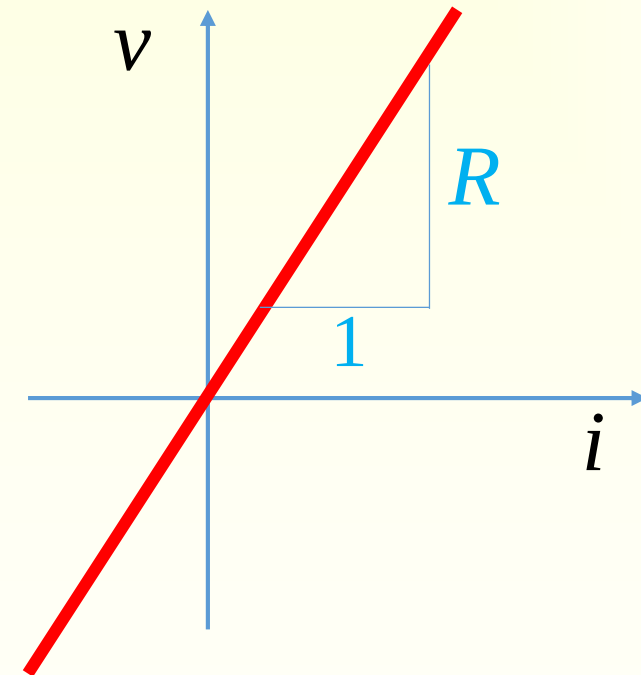
A red circle is drawn around the word 'ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ', which is written in blue capital letters. The circle is centered on the word and overlaps it.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ (ΙΔΑΝΙΚΟΥ) ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

- **Αντιστάτης** (**resistor**) είναι ένα στοιχείο δυο ακροδεκτών αν σε κάθε χρονική στιγμή t η τάση του $v(t)$ και το ρεύμα του $i(t)$ ικανοποιούν μια σχέση που ορίζεται από μια καμπύλη στο επίπεδο vi (ή iv)
- Η καμπύλη ονομάζεται «**χαρακτηριστική καμπύλη**»



- Γραμμικός/Μη γραμμικός
- Χρονικά αμετάβλητος/μεταβαλλόμενος



Γραμμικός

ΕΙΔΗ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

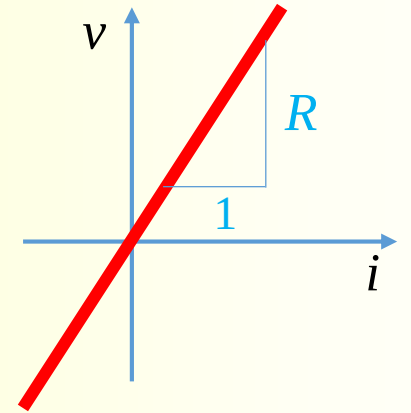
- Θα ασχοληθούμε κυρίως με τον γραμμικό, χρονικά αμετάβλητο ιδανικό αντιστάτη που τον αποκαλούμε (ωμική) **αντίσταση** (θα έπρεπε να λέμε και **ιδανική**)

$$v(t) = R i(t)$$

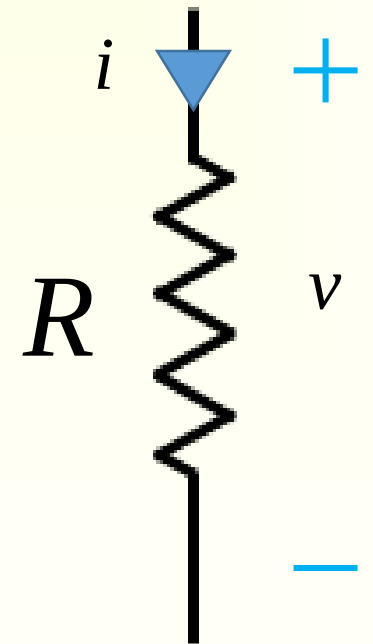
- Το R μετριέται σε Ω (ohm)
- Ισχύει και η «αντίστροφη» σχέση

$$i(t) = G v(t), \quad G = \frac{1}{R}$$

- Η **αγωγιμότητα** (conductance) G μετριέται σε S (siemens) αλλά εξακολουθούμε να βλέπουμε και το mho



Γραμμικός

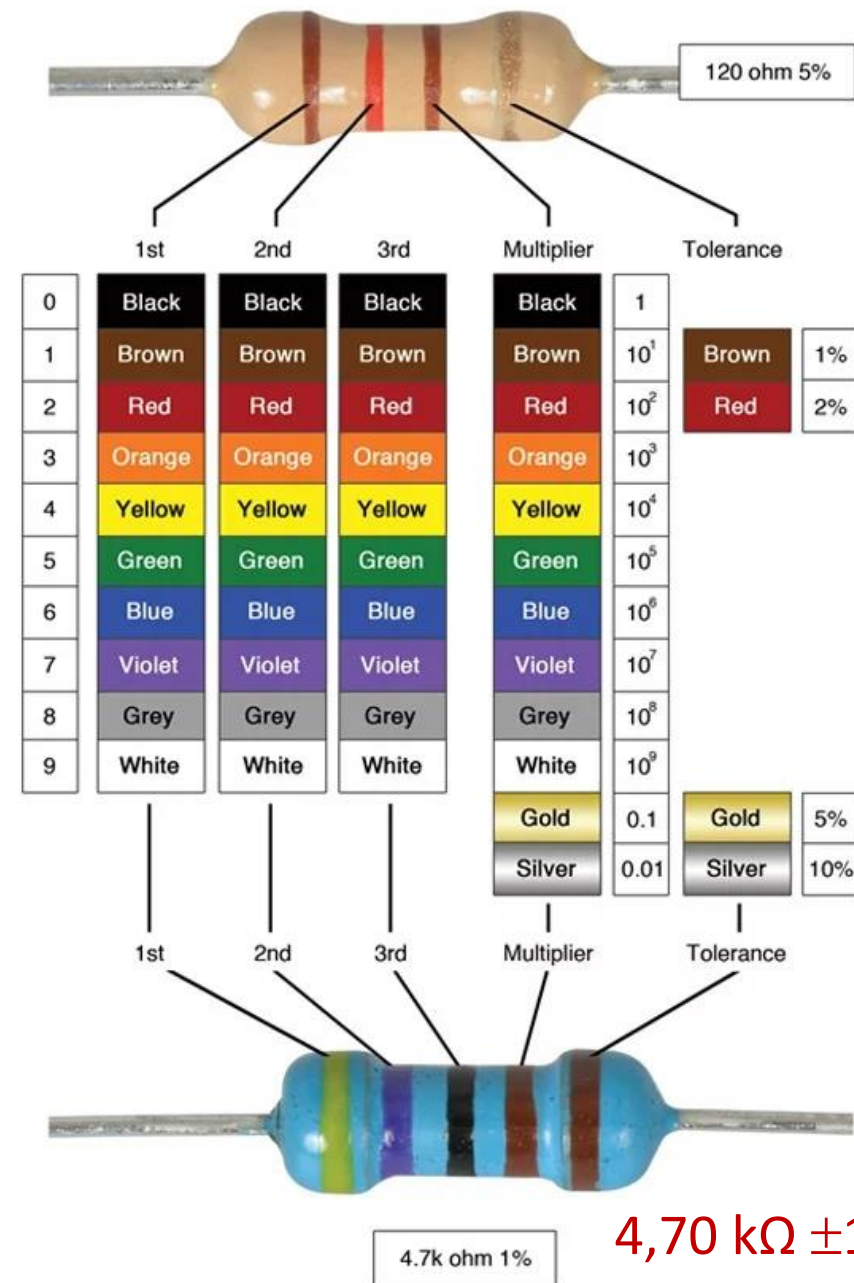
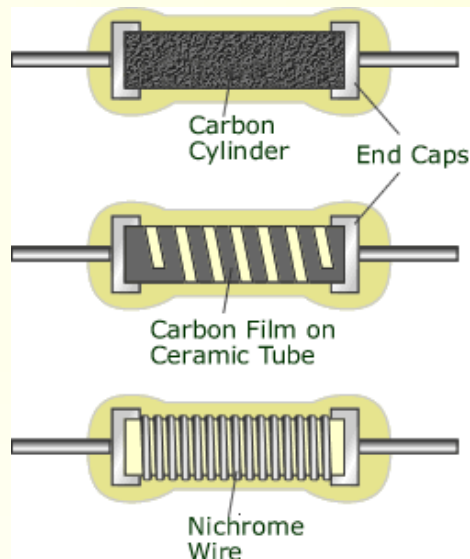
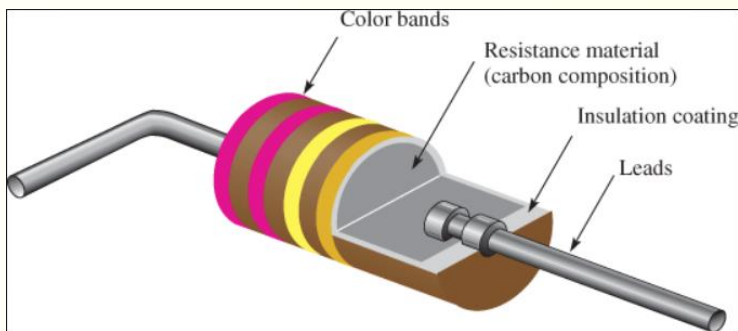


ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

- Η **αντίσταση** (**resistance**) είναι συνήθως κατασκευασμένη από άνθρακα αλλά υπάρχουν και ειδικές κατασκευές μεγάλης ακρίβειας από ειδικά κράματα σε σύρμα
- Απαραίτητο συνοδευτικό τής αντίστασης είναι η ισχύς της σε W που δηλώνει ουσιαστικά σε πόσο ρεύμα αντέχει πριν καεί
- **ΠΟΤΕ δεν ζητάμε ή προδιαγράφουμε μια αντίσταση χωρίς την ισχύ της**
- Ο **νόμος του Ohm** είναι μια γραμμική προσέγγιση στην πραγματικότητα που ισχύει για πολύ μεγάλο εύρος συνδυασμών τάσης και ρεύματος **αλλά** αν πάμε τα πράγματα στα άκρα, π.χ. αν η αντίσταση θερμανθεί πολύ, τότε η σχέση παύει να είναι γραμμική
- Φροντίζουμε λοιπόν οι αντιστάσεις μας να λειτουργούν μέσα στα όριά τους [σε κρίσιμες εφαρμογές μπορεί να χρειαστεί να τις βάλουμε σε θερμικά ελεγχόμενο περιβάλλον]

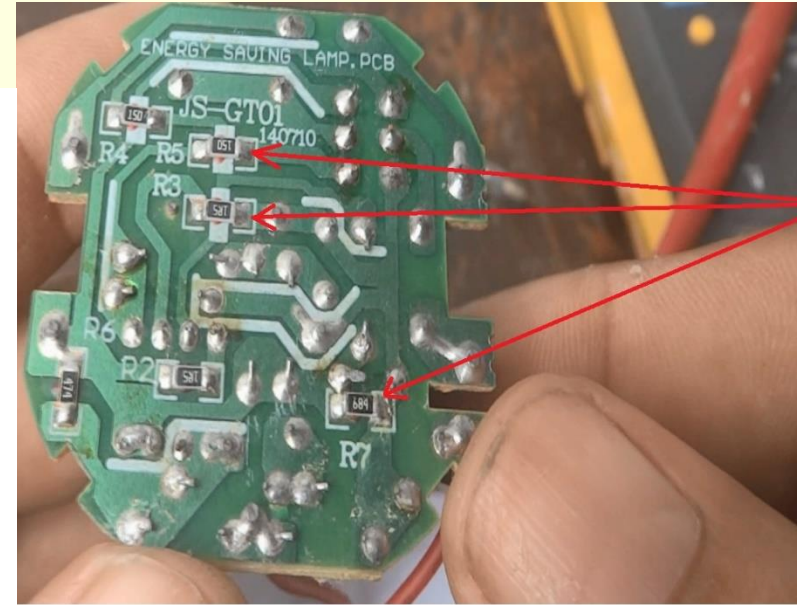
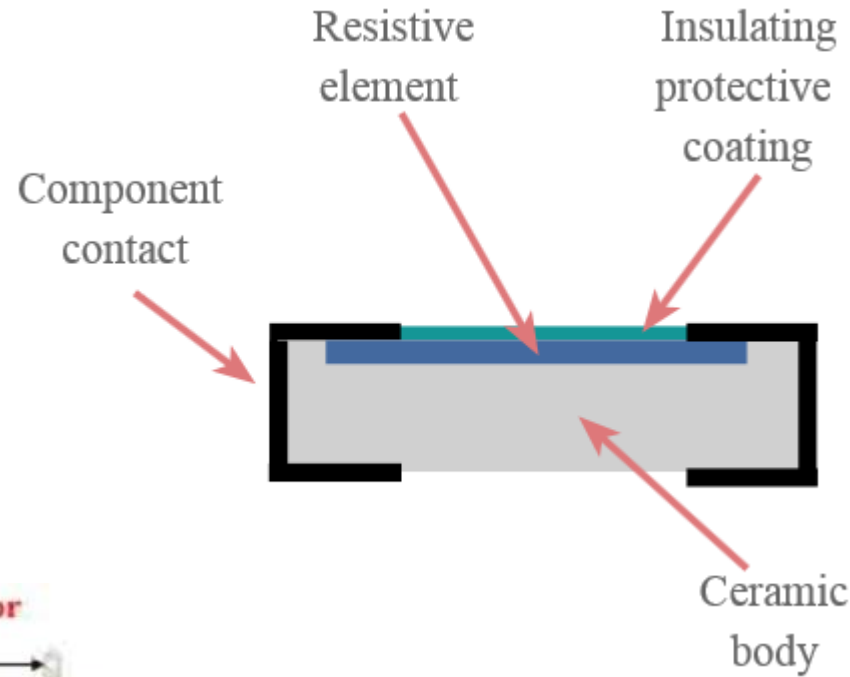
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

- Η αντίσταση μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, συνήθως είναι ένα κομμάτι κάρβουνου

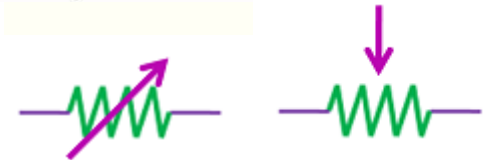
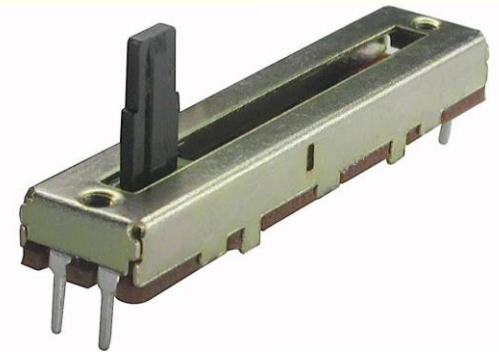
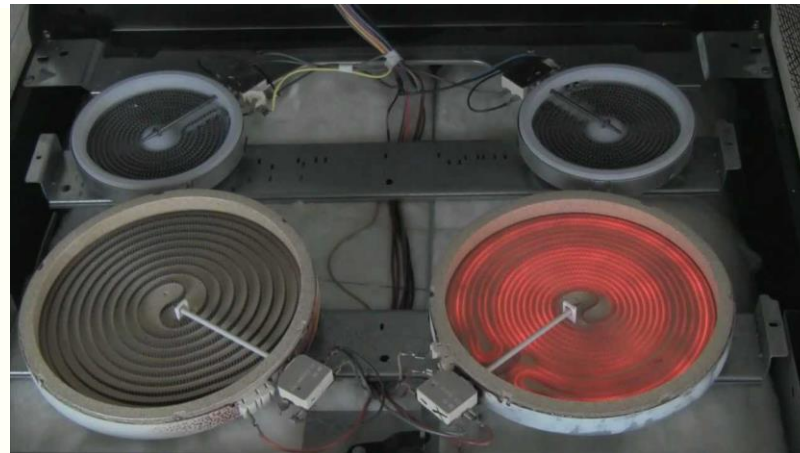
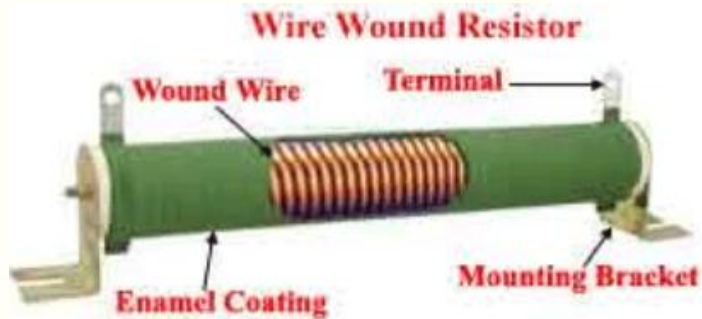


ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

- Υπάρχουν και πολλές άλλες μορφές

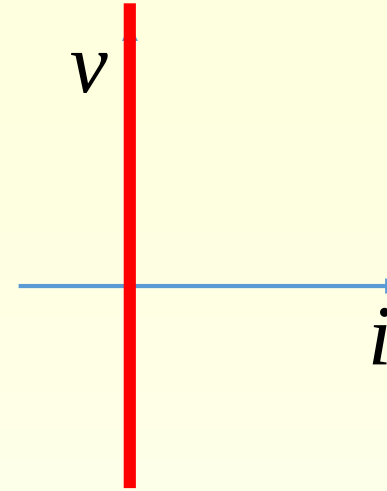


SMD or surface
Mount resistors.

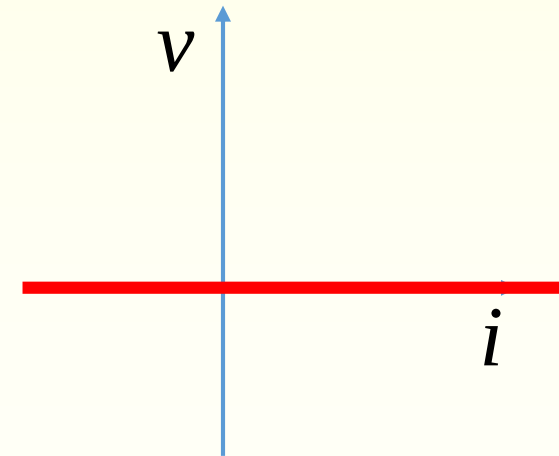


ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

- Το **ανοιχτό κύκλωμα** ($R = \infty$ ή $i = 0 \forall v$)

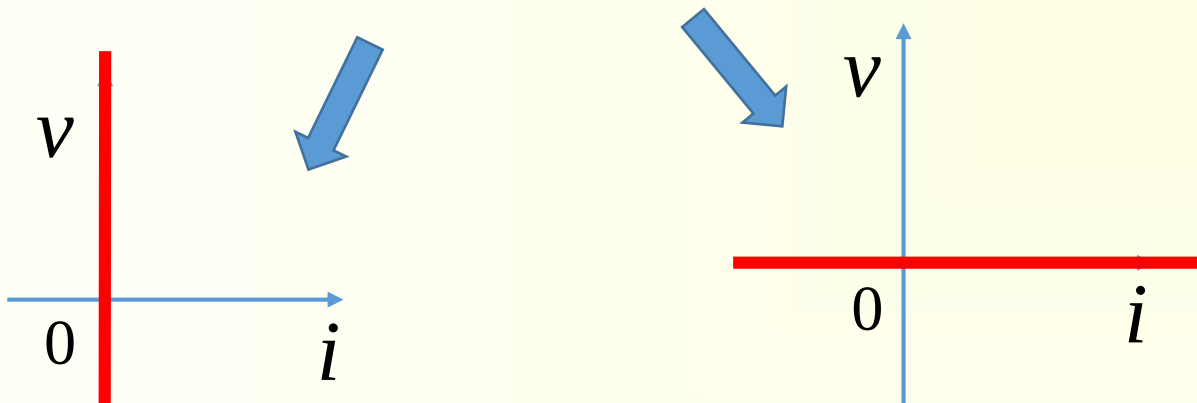


- Το **βραχυκύκλωμα** ($R = 0$ ή $v = 0 \forall i$)

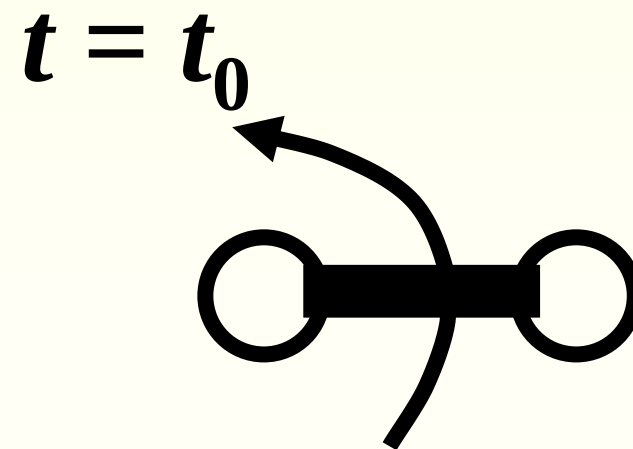
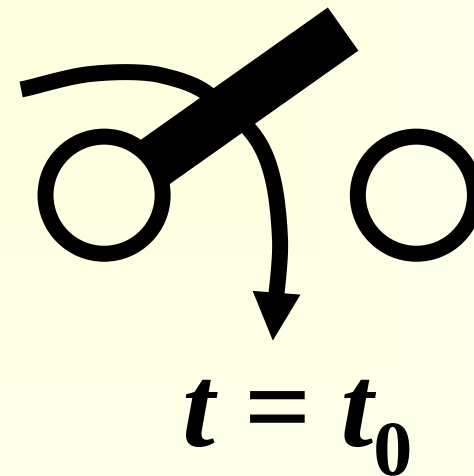
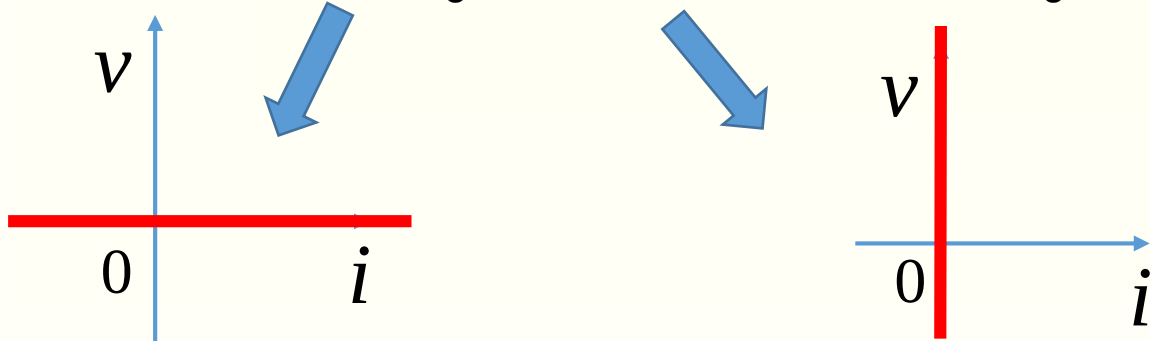


ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

- Ο ιδανικός διακόπτης
- $R = \infty$ για $t < t_0$ και $R = 0$ για $t \geq t_0$



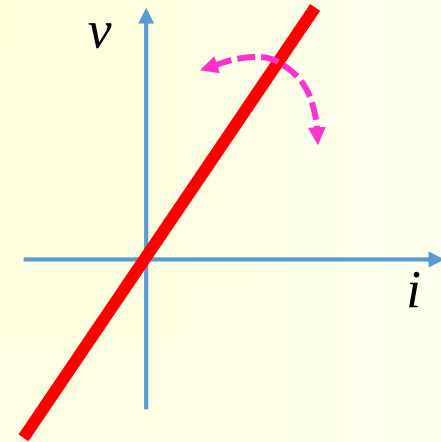
- $R = 0$ για $t < t_0$ και $R = \infty$ για $t \geq t_0$



ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

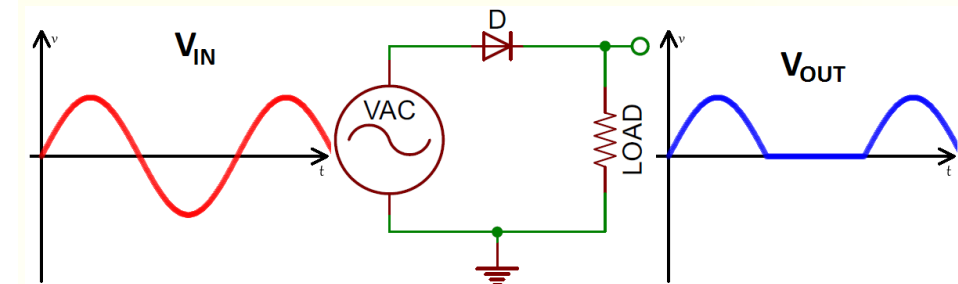
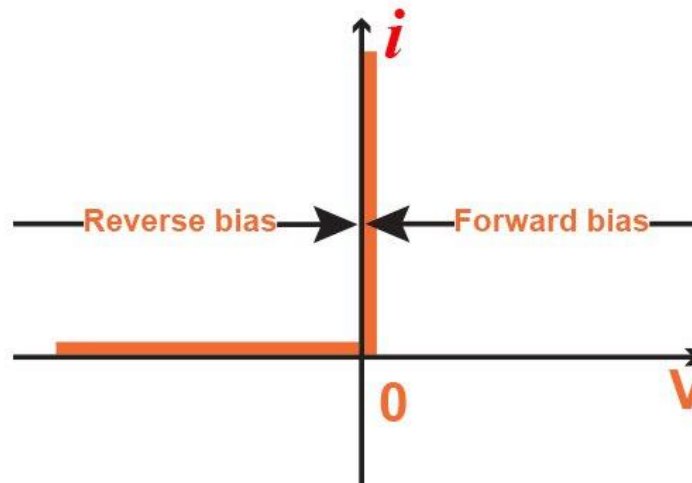
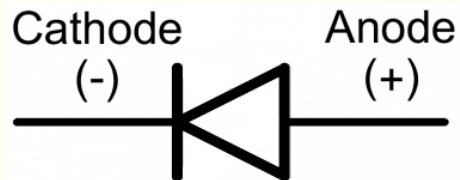
- Ο χρονικά μεταβαλλόμενος αντιστάτης/αντίσταση

$$v(t) = R(t) i(t)$$



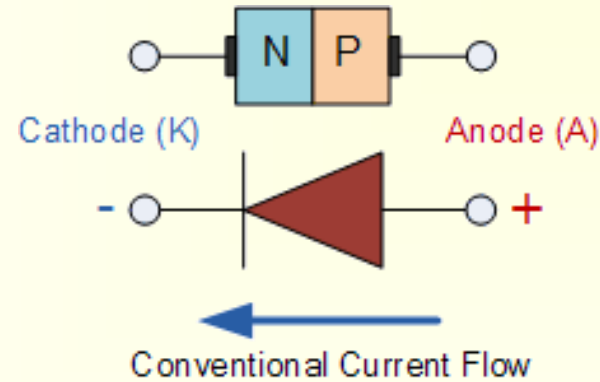
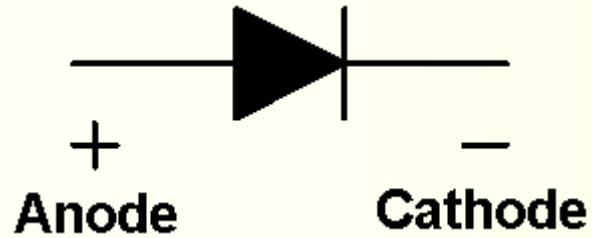
Γραμμικός
Χρονικά μεταβαλλόμενος

- Η ιδανική δίοδος
- Ανοιχτό κύκλωμα για αρνητικά, βραχυκύκλωμα για θετικά ($\approx$ βαλβίδα)

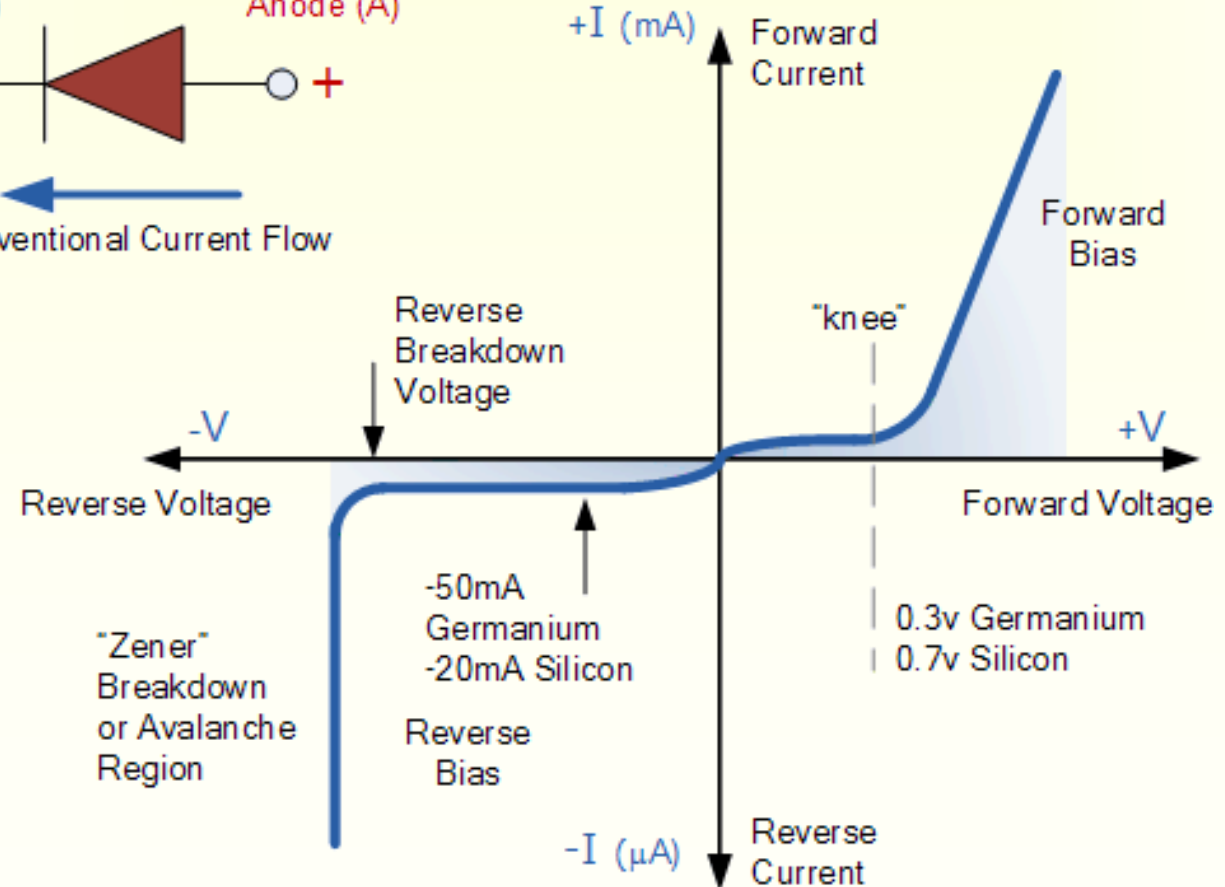
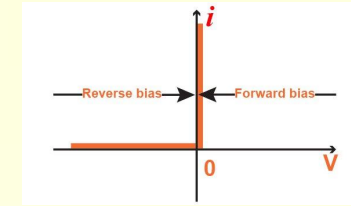


ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

- Η **πραγματική** **δίοδος**

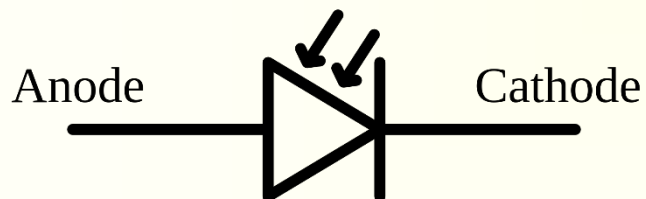
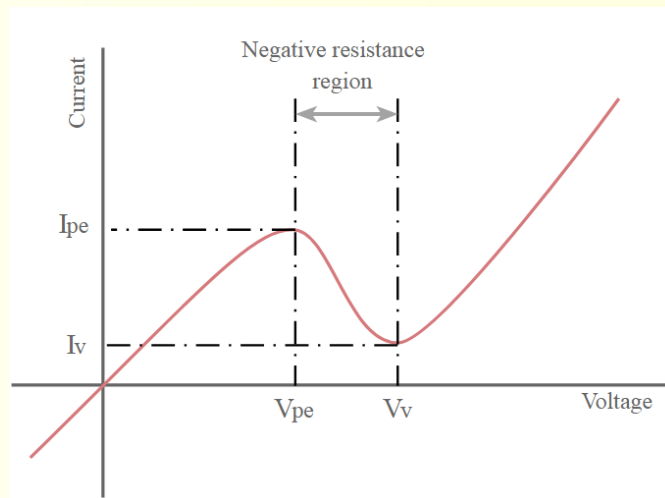
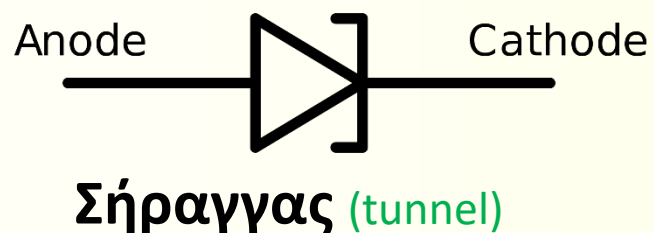
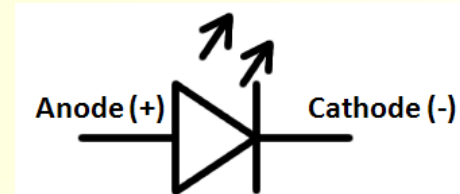


$$i(t) = I_S \left(e^{qv(t)/KT} - 1 \right)$$



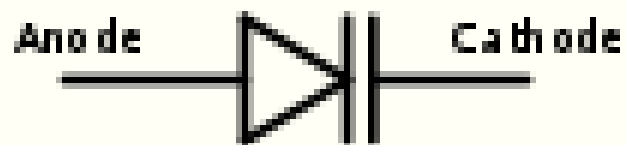
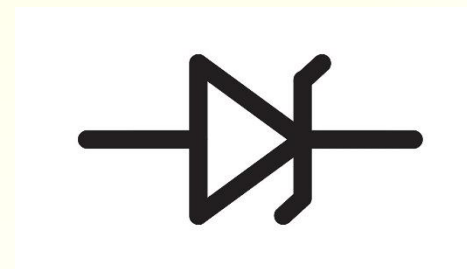
ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

- Πολλά είδη διόδου (συμπεριλαμβανομένου και του LED)



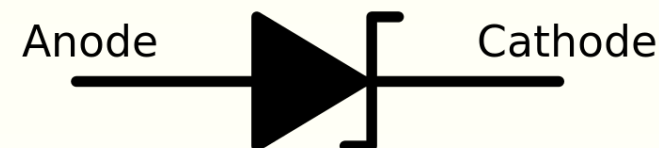
Φωτοδίοδος

Schottky



Varicap/Varactor

Zener



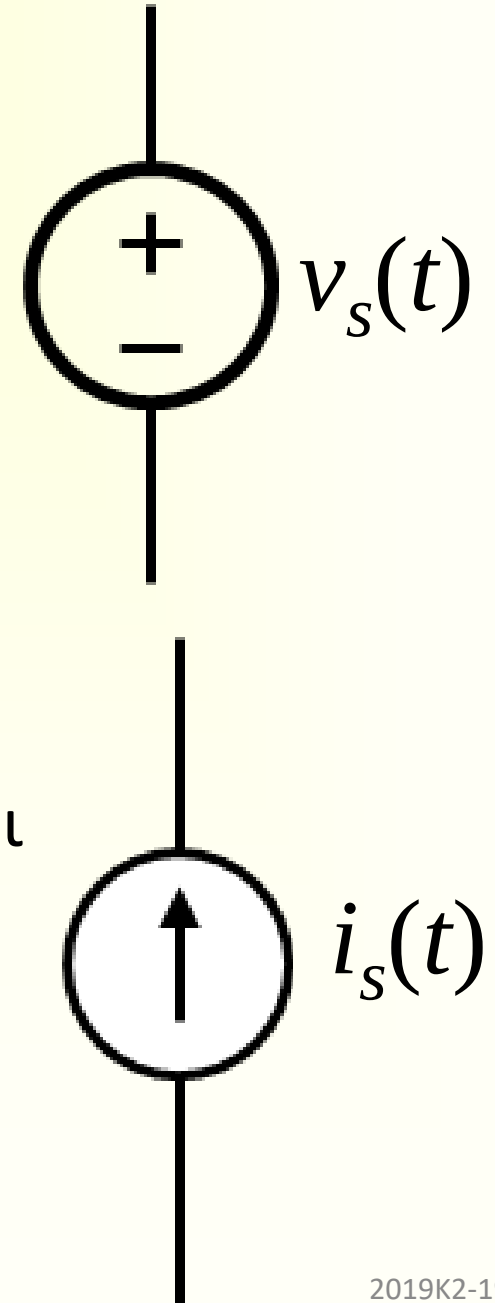
ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Τα προηγούμενα στοιχεία, αλλά και αυτά που πρόκειται να ακολουθήσουν, έχουν μια πολύ στενή σχέση με τα πραγματικά αντίστοιχά τους
- Οι ιδανικές πηγές κάνουν κάτι που ακόμα και διαισθητικά γνωρίζουμε ότι πρακτικά είναι αδύνατο:
- **Διατηρούν αυτό που αναγράφουν (τάση ή ρεύμα) οποιεσδήποτε κι αν είναι οι συνθήκες στο υπόλοιπο κύκλωμα**
- Οι πηγές που χρησιμοποιούμε είναι:
 - **Ιδανικές ανεξάρτητες πηγές**
 - **Ιδανικές εξαρτημένες πηγές**
- Πολύ σύντομα θα «ξεχνάμε» να αναφέρουμε το «ιδανική» αλλά πάντα θα υπονοείται

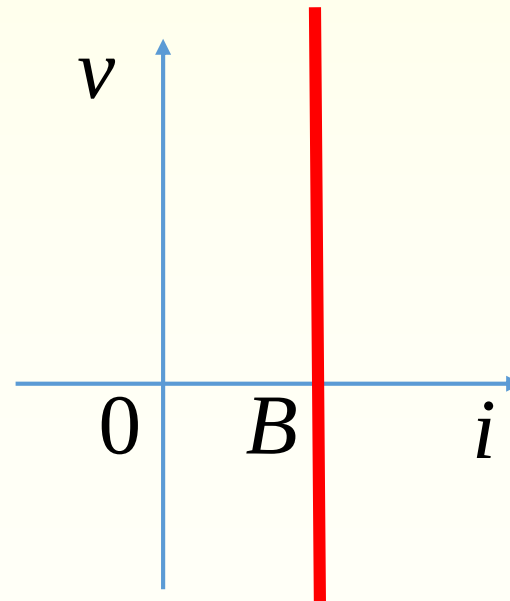
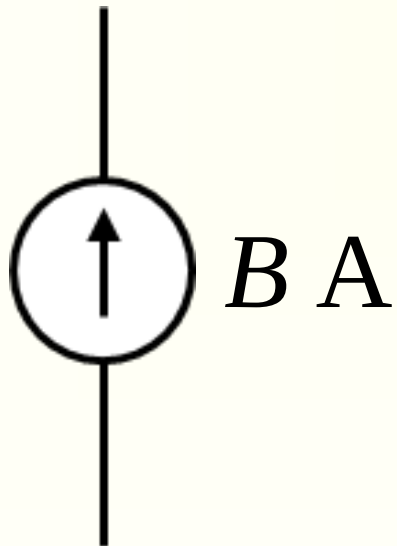
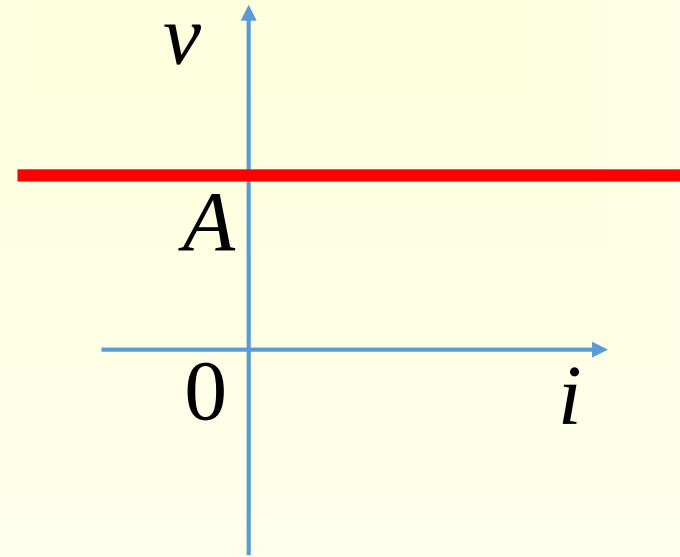
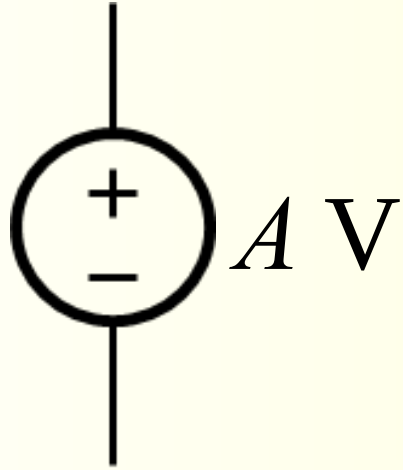
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Η **ιδανική ανεξάρτητη πηγή τάσης** (ideal independent voltage source) διατηρεί τη συγκεκριμένη τάση που αναφέρει **κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες**
- Αυτό συνεπάγεται ότι το ρεύμα που τη διαρρέει μεταβάλλεται ανάλογα με το τι «βλέπει» η πηγή
- Το ρεύμα που τη διαρρέει θα το προσδιορίσει η ανάλυση
- Η **ιδανική ανεξάρτητη πηγή ρεύματος** (ideal independent current source) διατηρεί το συγκεκριμένο ρεύμα που αναφέρει **κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες**
- Αυτό συνεπάγεται ότι η τάση στα άκρα της μεταβάλλεται ανάλογα με το τι «βλέπει» η πηγή
- Την τάση στα άκρα της θα την προσδιορίσει η ανάλυση



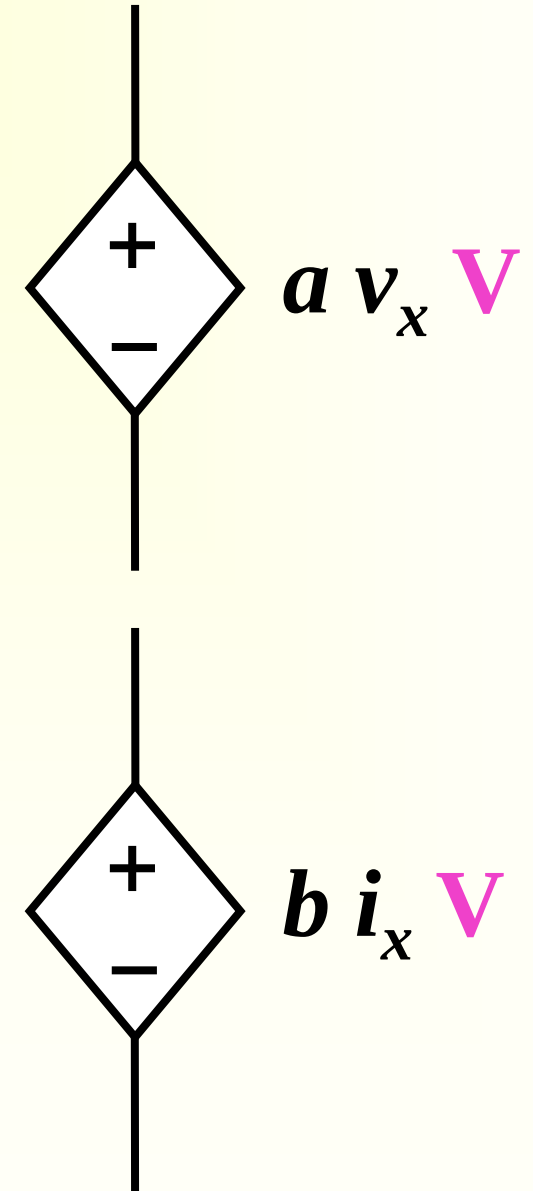
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Χαρακτηριστικές καμπύλες για πηγές dc



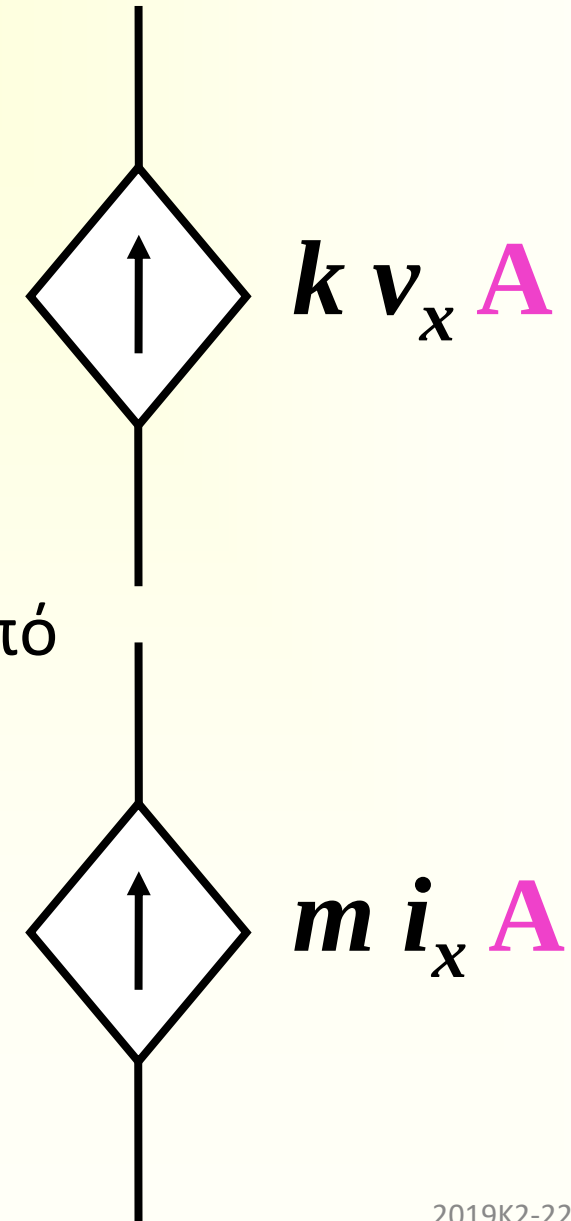
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ

- Η **ιδανική εξαρτημένη πηγή τάσης** (ideal dependent voltage source) διατηρεί τη συγκεκριμένη τάση που αναφέρει **κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες**
- Αυτό συνεπάγεται ότι το ρεύμα που τη διαρρέει μεταβάλλεται ανάλογα με το τι «βλέπει» η πηγή
- Το ρεύμα που τη διαρρέει θα το προσδιορίσει η ανάλυση
- Η ιδανική εξαρτημένη πηγή τάσης μπορεί να εξαρτάται από
 - μια τάση σε κάποιο (άλλο) σημείο τού κυκλώματος
 - ή
 - ένα ρεύμα σε κάποιο (άλλο) σημείο τού κυκλώματος



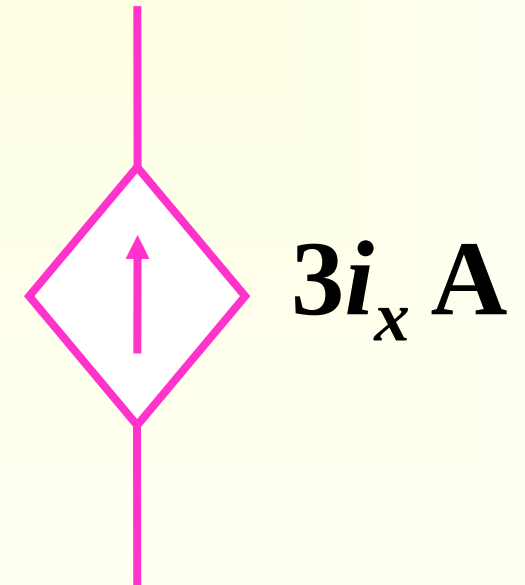
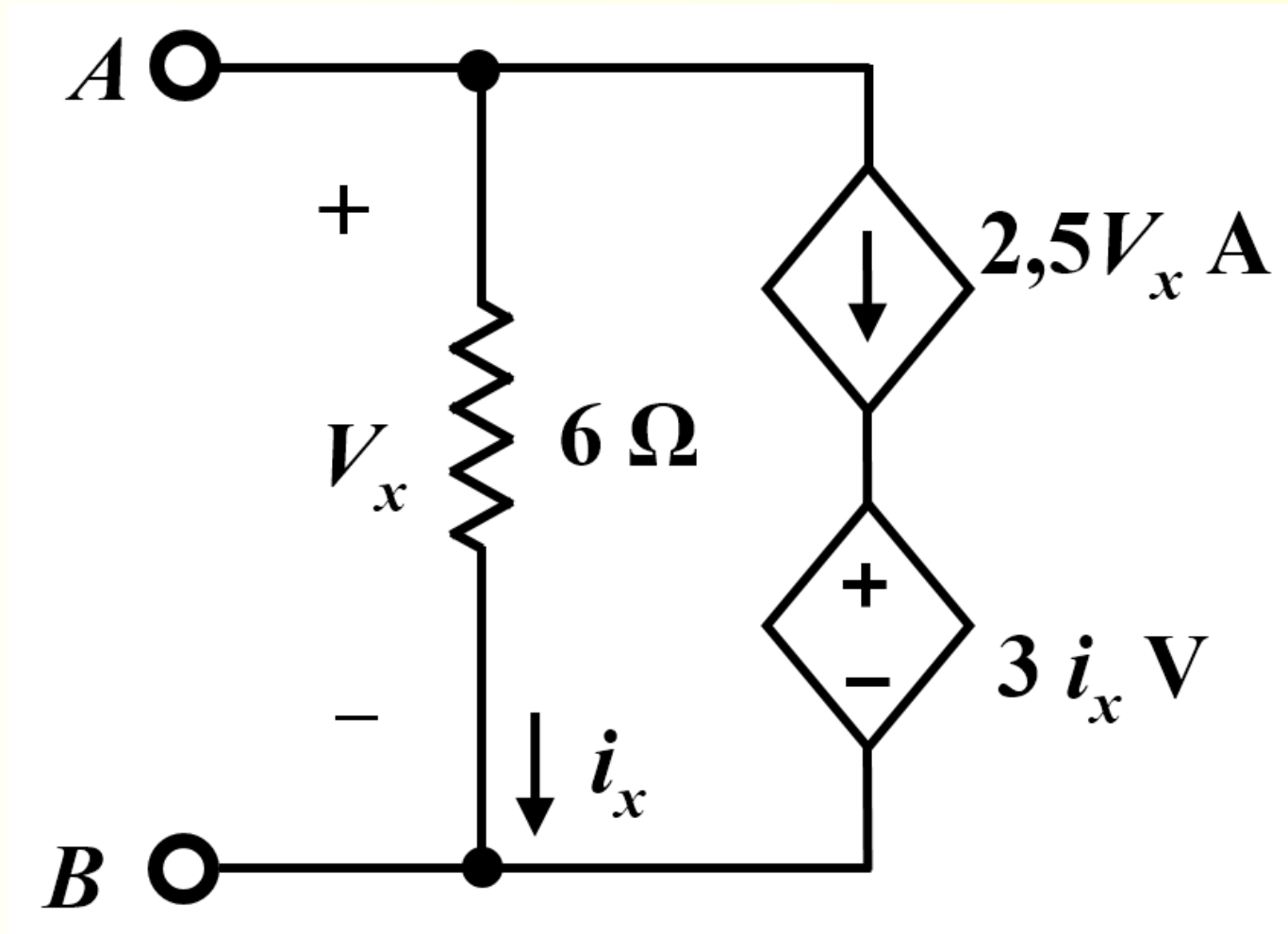
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Η **ιδανική εξαρτημένη πηγή ρεύματος** (ideal dependent current source) διατηρεί το συγκεκριμένο ρεύμα που αναφέρει **κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες**
- Αυτό συνεπάγεται ότι η τάση στα άκρα της μεταβάλλεται ανάλογα με το τι «βλέπει» η πηγή
- Την τάση στα άκρα της θα την προσδιορίσει η ανάλυση
- Η ιδανική εξαρτημένη πηγή ρεύματος μπορεί να εξαρτάται από
 - ❑ μια τάση σε κάποιο (άλλο) σημείο τού κυκλώματος
 - ή
 - ❑ ένα ρεύμα σε κάποιο (άλλο) σημείο τού κυκλώματος



ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- Παράδειγμα



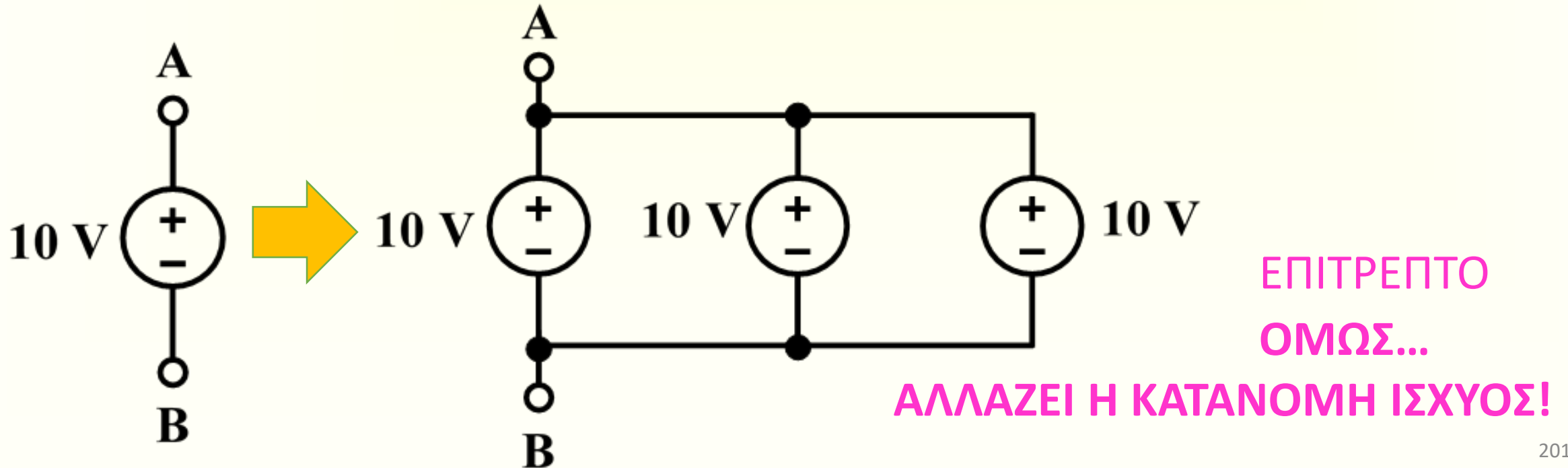
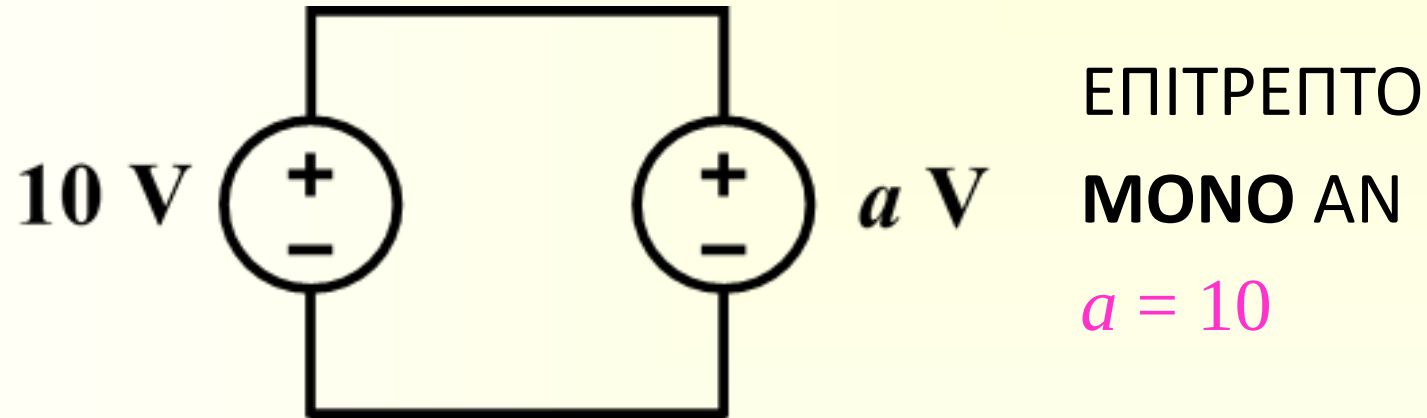
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Οι ιδανικές πηγές είναι ενεργά στοιχεία (= παράγουν ενέργεια)
2. Μοντελοποιούν ιδιαίτερες περιπτώσεις όπου η φυσική υπόσταση του υλικού επιτρέπει την αλληλεπίδραση στη λειτουργία, π.χ. ημιαγωγικά στοιχεία
3. Η παρουσία τους περιπλέκει το κύκλωμα και την ανάλυσή του
4. Εμφανίζονται εξαιρετικά συχνά
5. Επιτρέπουν «παράδοξους» συνδυασμούς θεωρητικά:

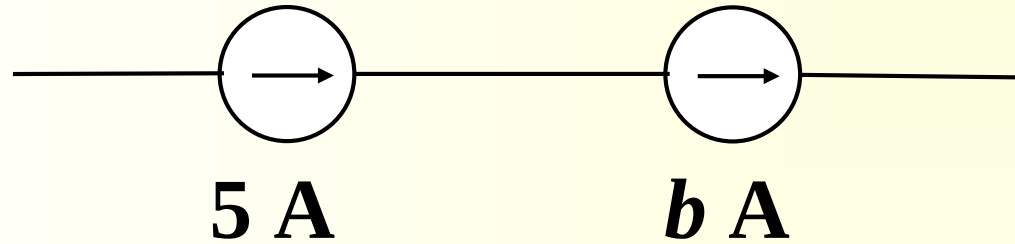
ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΠΑΡΑΔΟΞΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ

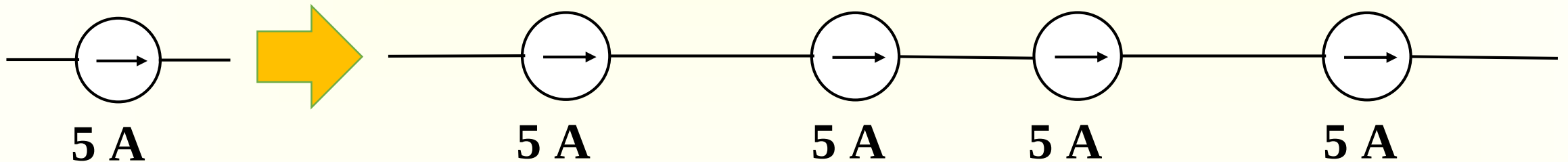


ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΠΑΡΑΔΟΞΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ

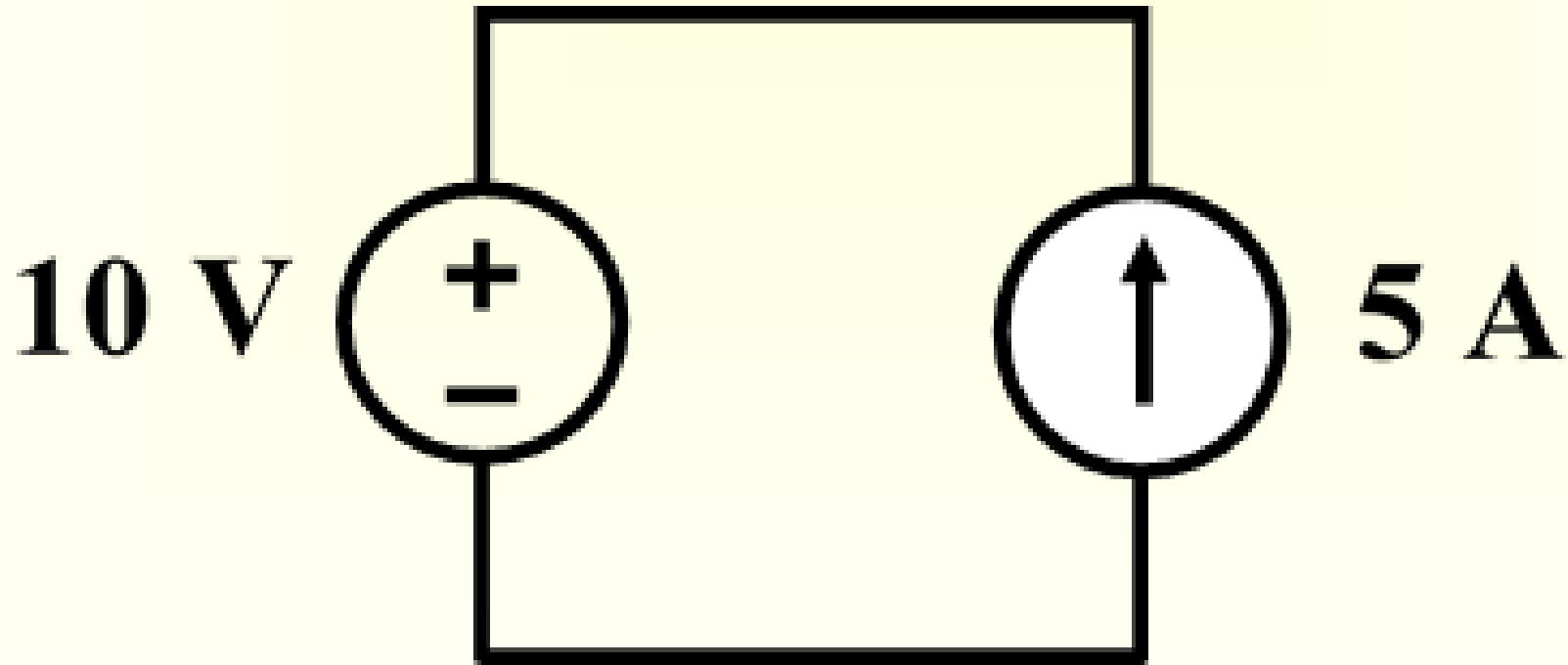


ΕΠΙΤΡΕΠΤΟ
ΜΟΝΟ ΑΝ
 $b = 5$



ΕΠΙΤΡΕΠΤΟ
ΟΜΩΣ... ΑΛΛΑΖΕΙ Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ!

ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΔΟΞΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ

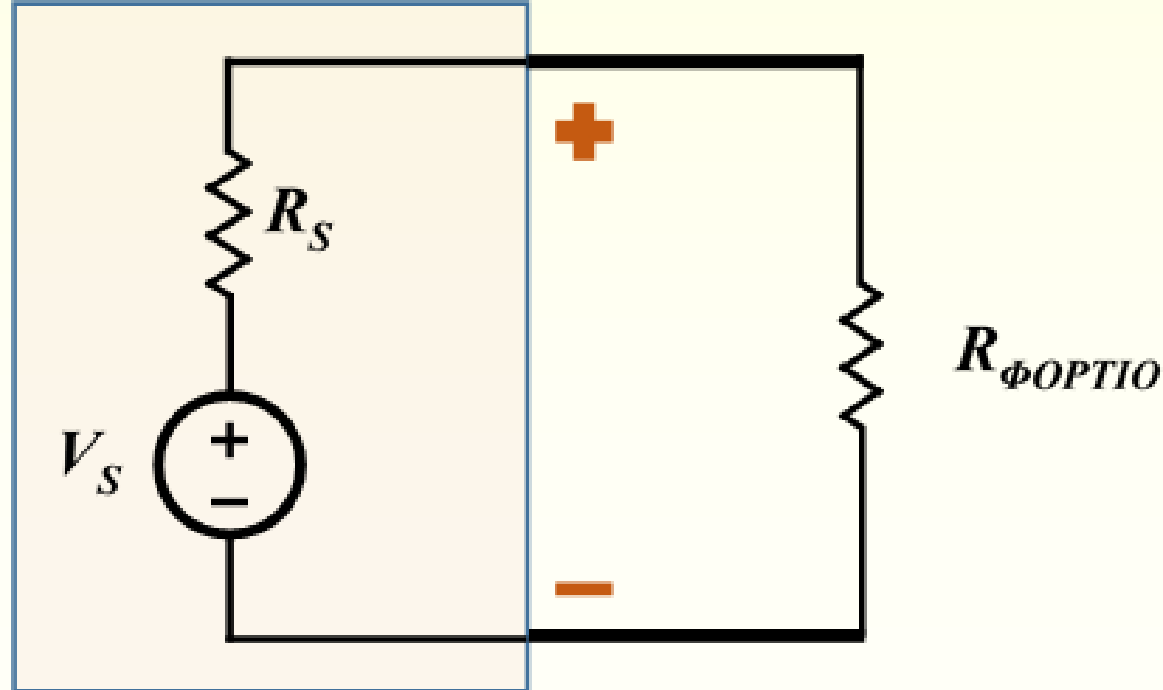


ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΤΡΕΠΤΟ;

ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ—ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Μοντελοποίηση της μπαταρίας, δηλαδή της **πραγματικής πηγής τάσης dc**
- Η μπαταρία αποτελείται από ένα συνδυασμό
 - μιας ιδανικής ανεξάρτητης πηγής τάσης
 - και
 - μιας ωμικής αντίστασης που αποκαλείται «**εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας**»

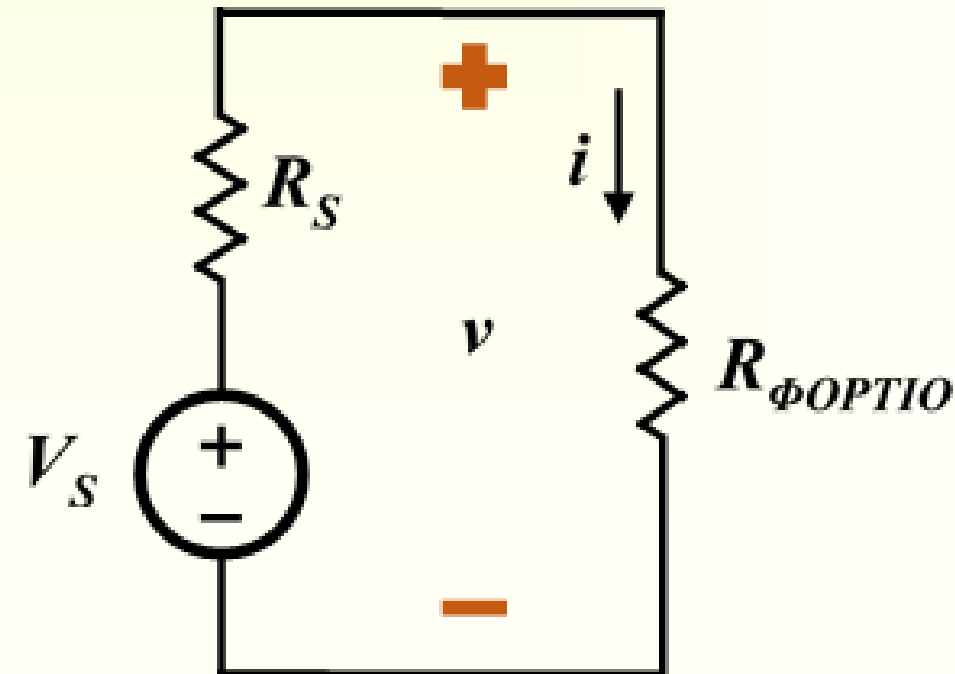
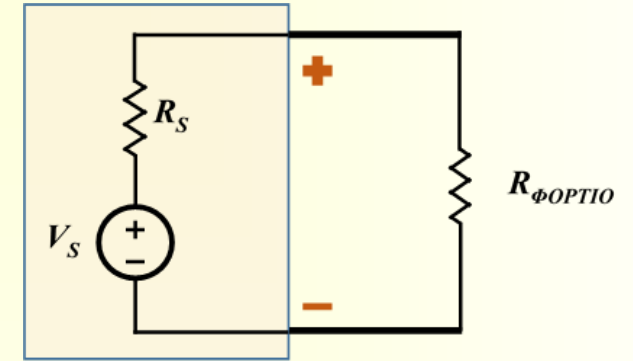
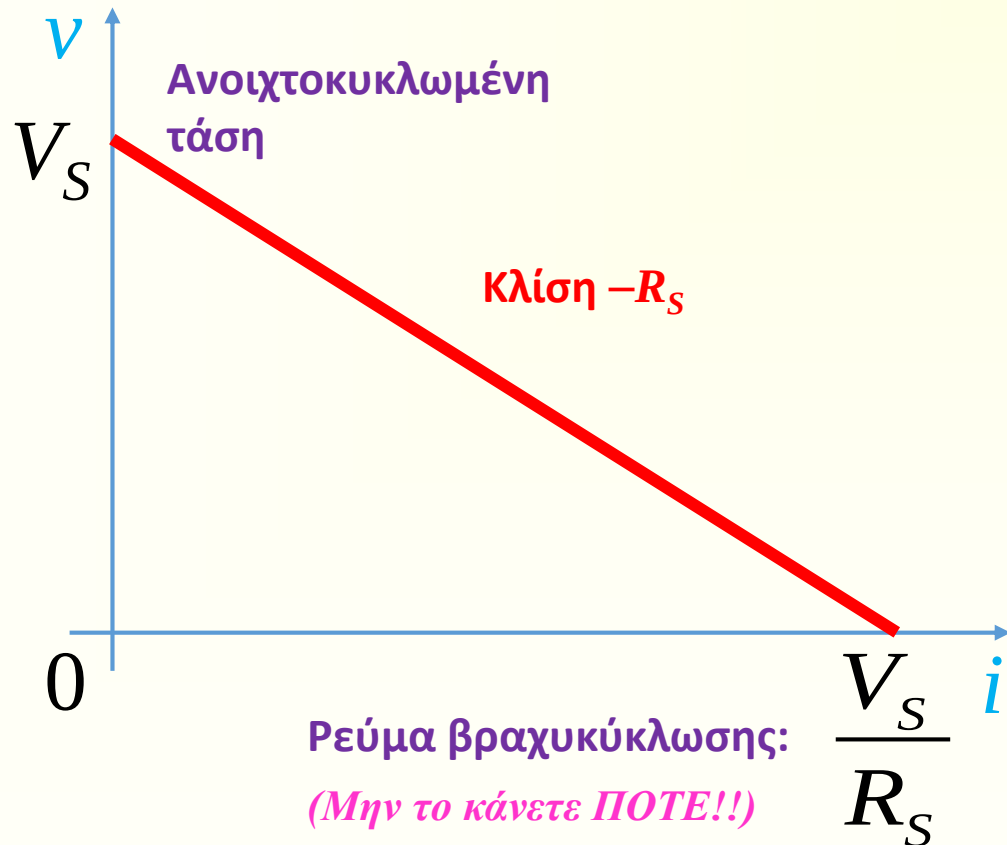
ΜΠΑΤΑΡΙΑ



ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ—ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

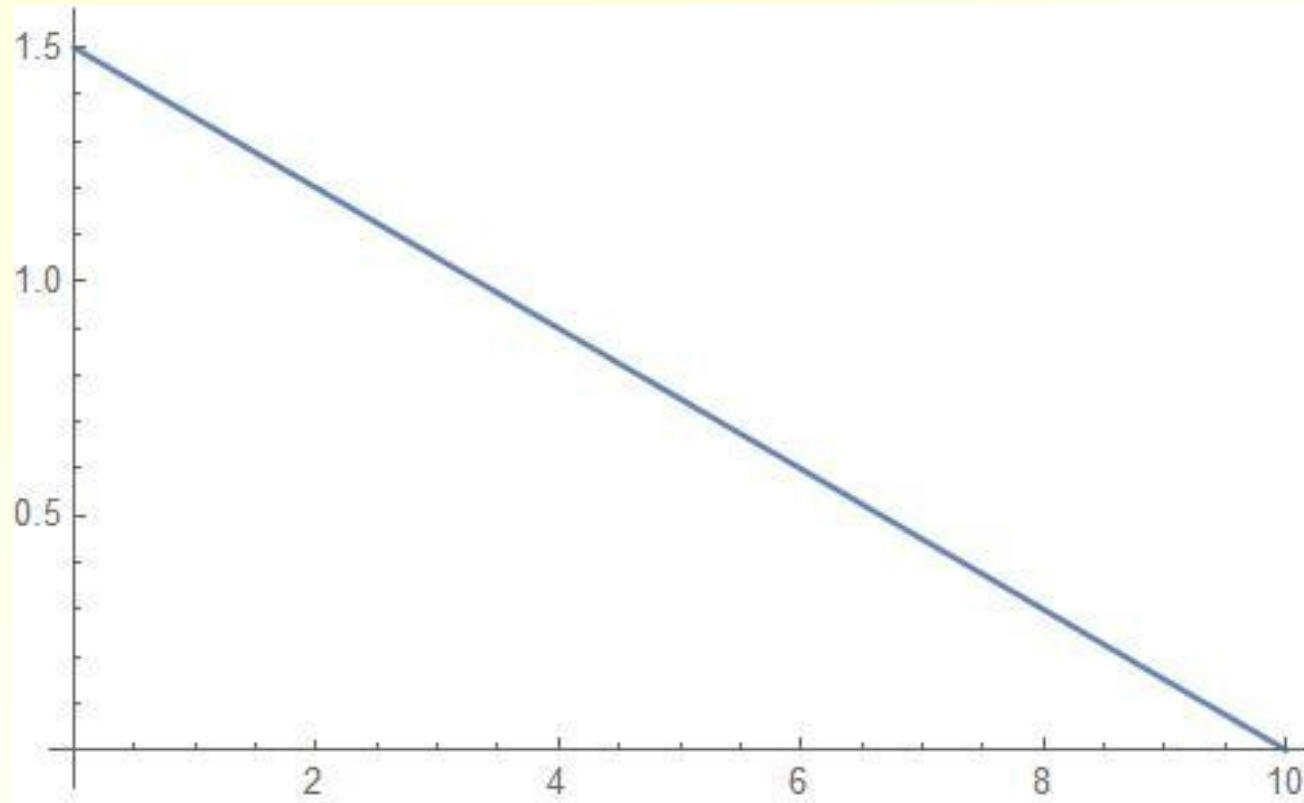
- Χαρακτηριστική καμπύλη τής μπαταρίας
- Ανάλυση (NTK):

$$v - V_S + i R_S = 0 \Rightarrow v = V_S - i R_S$$



ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

ΜΠΑΤΑΡΙΑ	Εσωτερική Αντίσταση
9-V zinc carbon	35Ω
9-V lithium	16Ω to 18Ω
9-V alkaline	1Ω to 2Ω
AA alkaline	0.15Ω
AA NiMH	0.02Ω
D Alkaline	0.1Ω
D NiCad	0.009Ω
D SLA	0.006Ω



- **Αλκαλική 1,5 V, 2000 mAh →**
 - αν η συσκευή «τραβάει» 2 A, μετά από μια ώρα η τάση θα πέσει στο 1,2 V
 - αν η συσκευή «τραβάει» 1 A , μετά από μια ώρα η τάση θα πέσει στο 1,34 V
- **...αν φυσικά οι ιδιότητες της μπαταρίας παραμείνουν σταθερές**

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

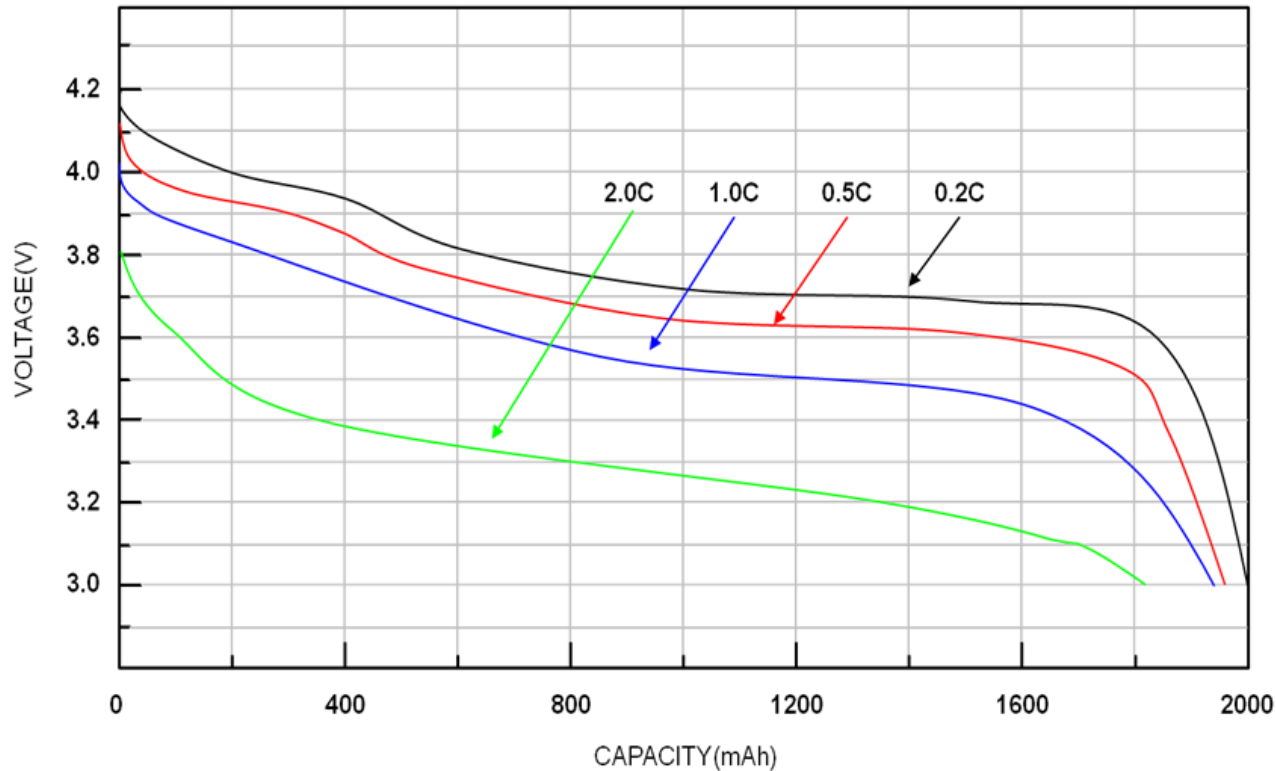
C-RATE

2.0C → Εκφόρτιση σε ½ ώρα

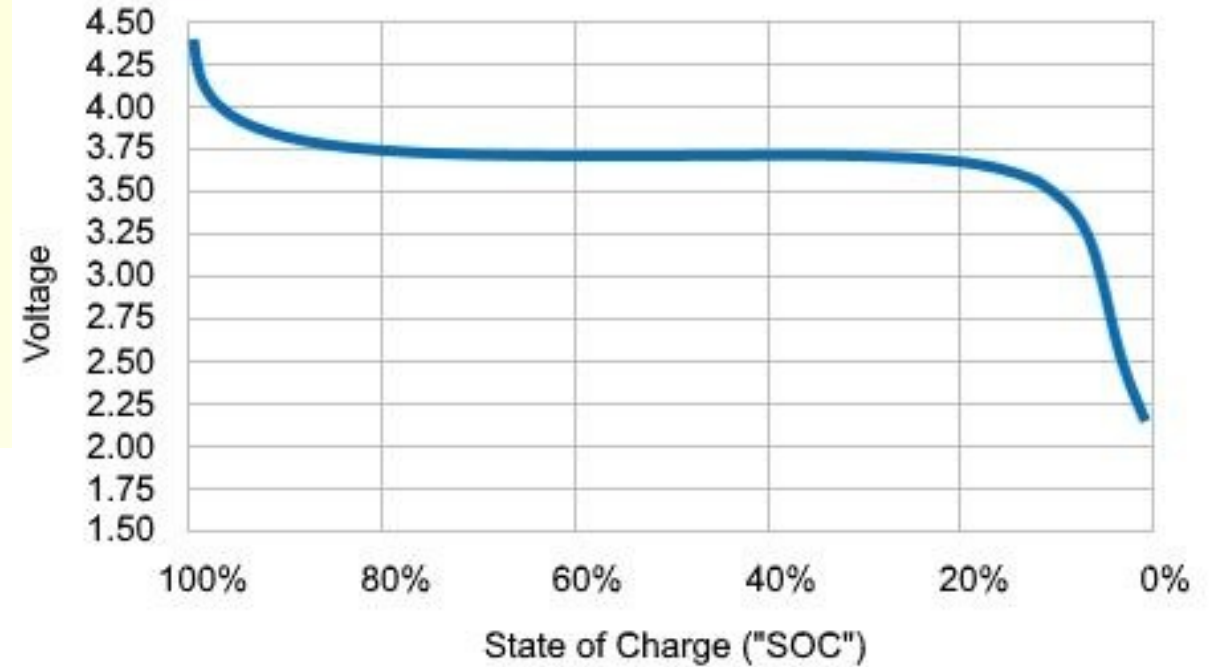
1.0C → Εκφόρτιση σε 1 ώρα

0.5C → Εκφόρτιση σε 2 ώρες

0.2C → Εκφόρτιση σε 5 ώρες

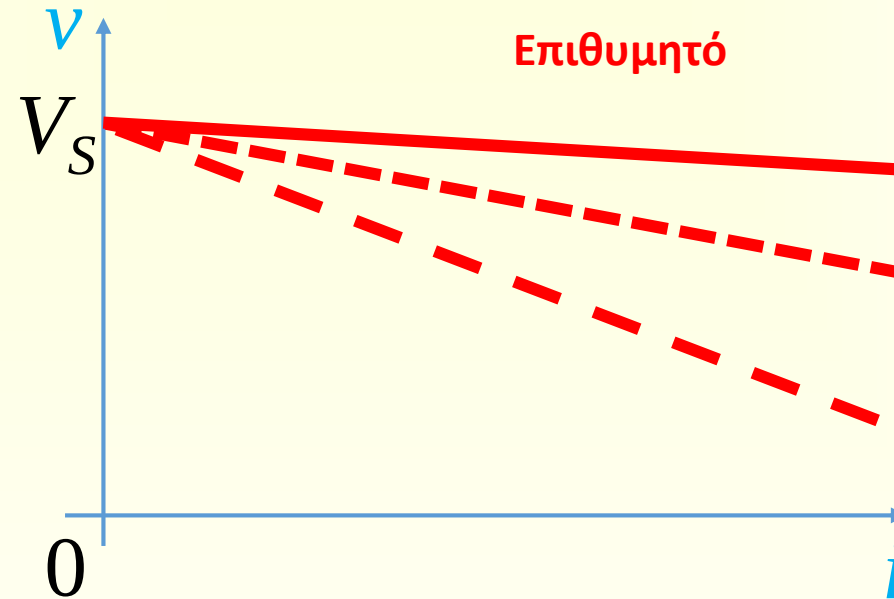
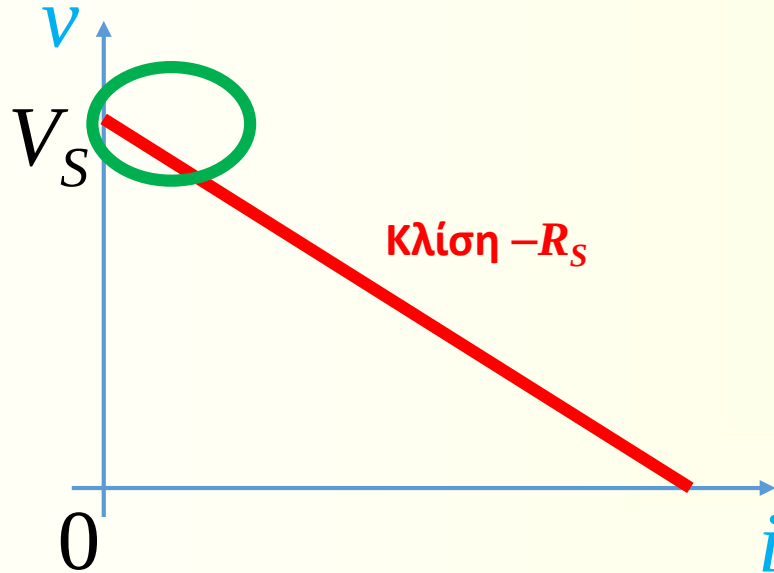


Typical Li-ion Discharge Voltage Curve



ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ—ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Περιοχή καλής λειτουργίας



- Όσο πιο μικρή είναι η εσωτερική αντίσταση R_S , τόσο πιο καλή είναι η μπαταρία
- Καθώς λειτουργεί η μπαταρία, ή απλά καθώς περνάει ο χρόνος, η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται (αλκαλική ΑΑ: από $0,15$ στα $0,75\Omega$ όταν έχει εκφορτιστεί κατά 90%)
- Στις επαναφορτιζόμενες μπορούμε να ξαναδιαχωρίσουμε τα φορτία και να επαναφέρουμε την εσωτερική αντίσταση σε μικρή τιμή

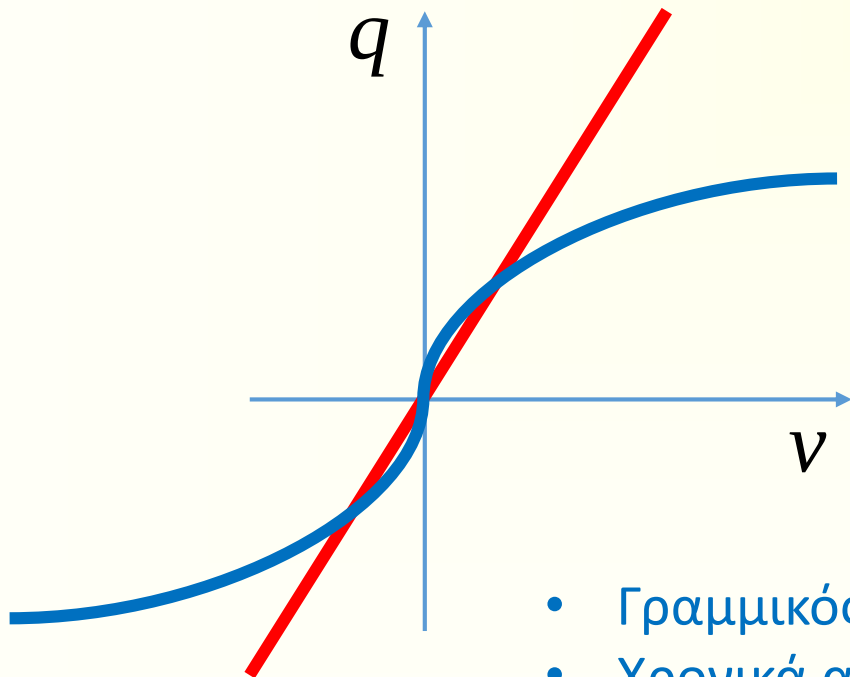


WWW.THEKINGOFRANDOM.COM

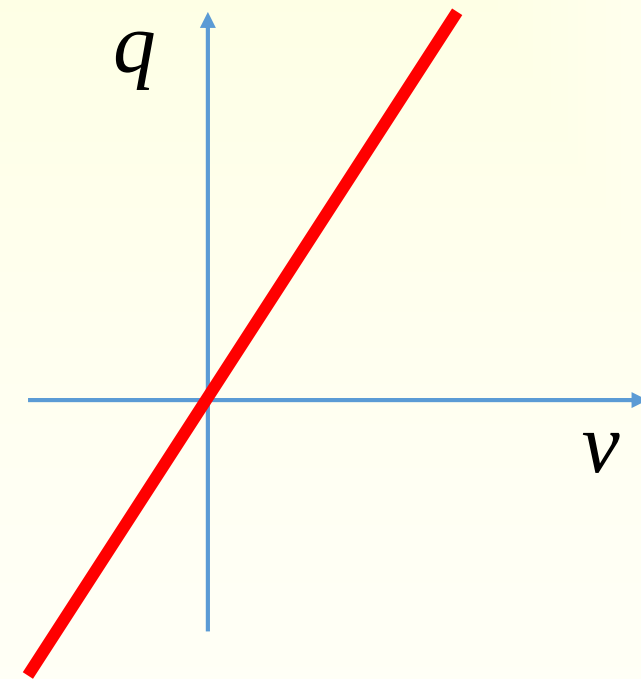
ΠΥΚΝΩΤΗΣ

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ (ΙΔΑΝΙΚΟΥ) ΠΥΚΝΩΤΗ

- **Πυκνωτής** (**capacitor**) είναι ένα στοιχείο δυο ακροδεκτών αν σε κάθε χρονική στιγμή t το αποθηκευμένο φορτίο του $q(t)$ και η τάση του $v(t)$ ικανοποιούν μια σχέση που ορίζεται από μια καμπύλη στο επίπεδο qv
- Η καμπύλη ονομάζεται «**χαρακτηριστική καμπύλη**» και είναι μονότονα αύξουσα



- Γραμμικός/Μη γραμμικός
- Χρονικά αμετάβλητος/μεταβαλλόμενος



Γραμμικός, χρονικά
αμετάβλητος

Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΠΥΚΝΩΤΗΣ

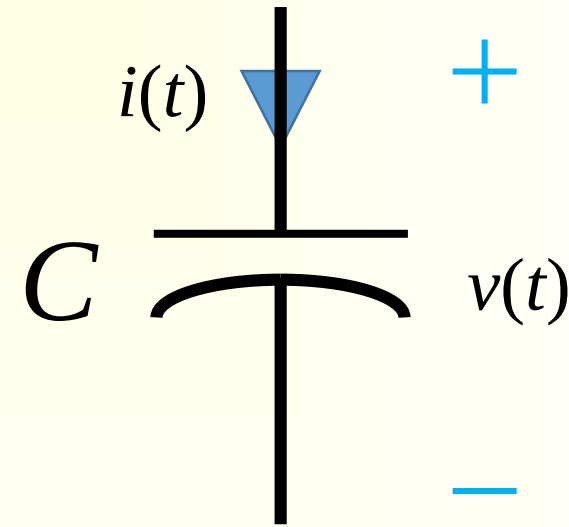
- Ο **ιδανικός πυκνωτής** είναι μια προσέγγιση του πραγματικού πυκνωτή που παρουσιάζει μικρές διαρροές
- Χαρακτηρίζεται από τη **χωρητικότητα** του C που μετριέται σε F (farad) και υπακούει στο

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

ε : διηλεκτρική σταθερά, A : επιφάνεια πλάκας
 d : απόσταση πλακών

- Οι πυκνωτές αποθηκεύουν ηλεκτρικά φορτία
- Ο πιο απλός είναι αυτός των παράλληλων πλακών
- Ο πιο απλός από θεωρητική άποψη είναι ο γραμμικός, χρονικά αμετάβλητος για τον οποίο ισχύει

$$q(t) = C v(t)$$



Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΠΥΚΝΩΤΗΣ

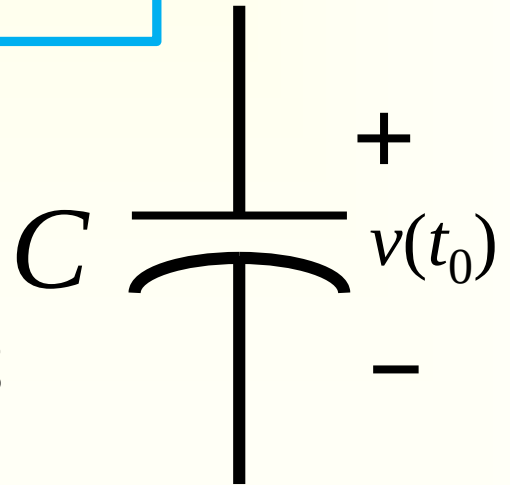
- Ο ορισμός τού πυκνωτή μάς δημιουργεί ένα μικρό πρόβλημα
- Δεν εμφανίζεται απευθείας σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος

- Ευτυχώς όμως: $i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C \frac{dv(t)}{dt} \Rightarrow i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$

- που σημαίνει ότι

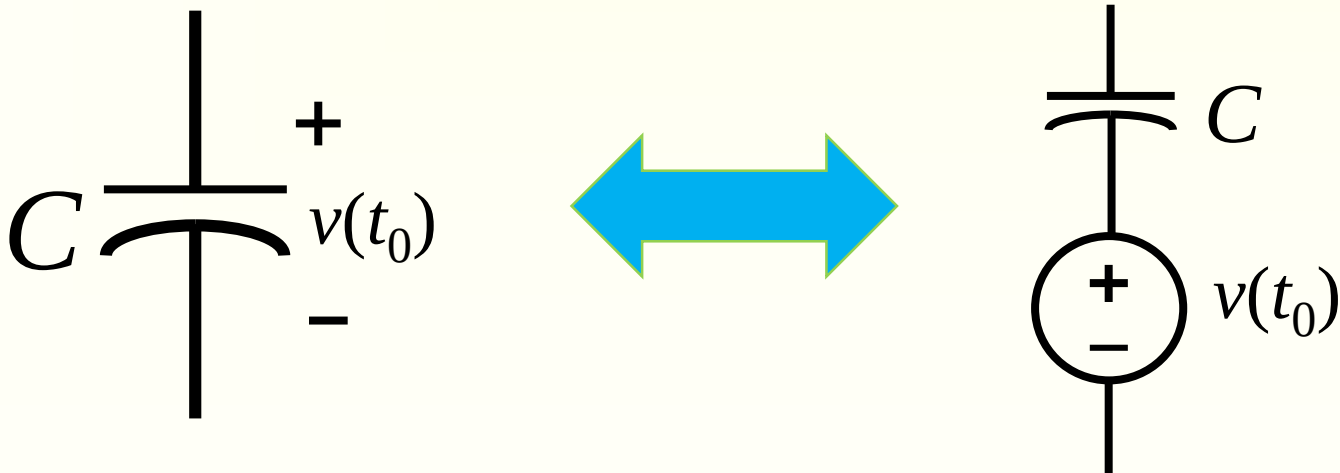
$$i(t) dt = C dv(t) \Rightarrow v(t) = v(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \Rightarrow v(t) = v(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau$$

- Το παραπάνω σημαίνει ότι για να ορίσουμε πλήρως τον πυκνωτή **πρέπει εκτός από τη χωρητικότητα να συμπεριλάβουμε και την τάση που είναι αποθηκευμένη στις πλάκες του** [αν δεν σημειώνεται τάση ο πυκνωτής θεωρείται αφόρτιστος]



Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΠΥΚΝΩΤΗΣ—ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Η σχέση $v(t) = v(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau$ υπονοεί ότι ο πυκνωτής έχει «μνήμη» με την έννοια ότι η τάση του επηρεάζεται από το σύνολο της εξέλιξης του ρεύματος $i(t)$
- Η σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος είναι γραμμική μόνο αν $v(t_0) = 0$
- Μπορεί να φανεί χρήσιμη η αντικατάσταση ενός φορτισμένου πυκνωτή από ένα συνδυασμό αφόρτιστου πυκνωτή και μιας ανεξάρτητης πηγής τάσης

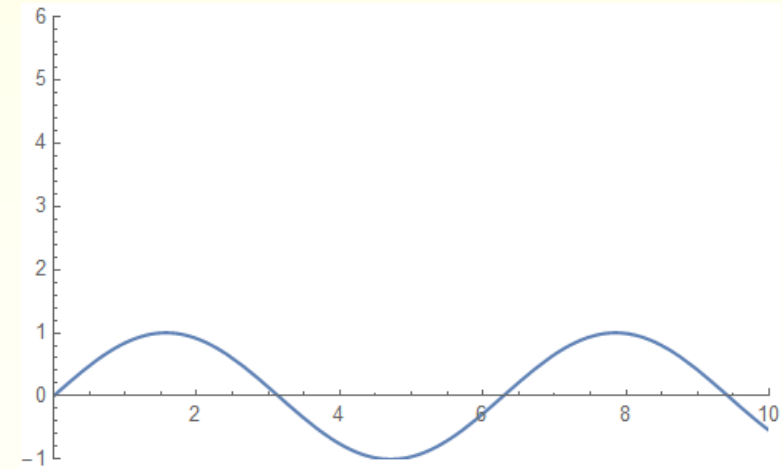
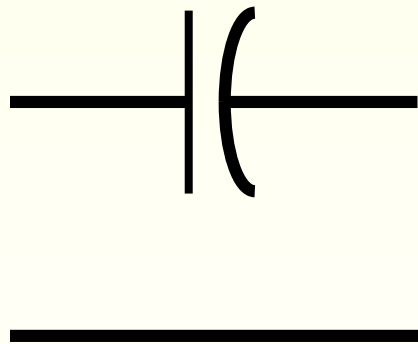
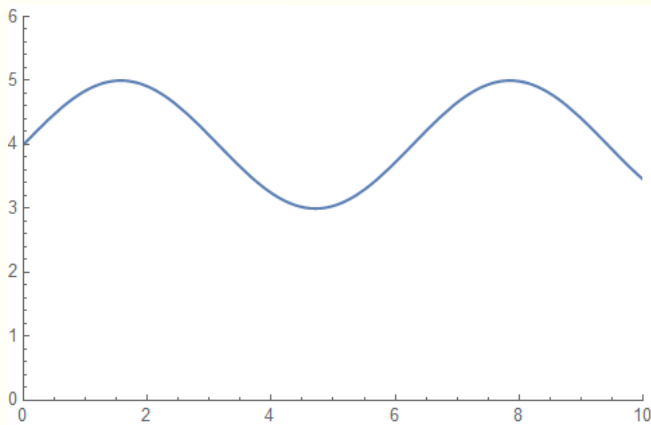


Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΠΥΚΝΩΤΗΣ—ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Επειδή

$$\left. \begin{array}{l} i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \\ v(t) = A, \quad \forall t \end{array} \right\} \Rightarrow i(t) = 0$$

ο πυκνωτής αποτελεί «διακοπή» για το συνεχές ρεύμα



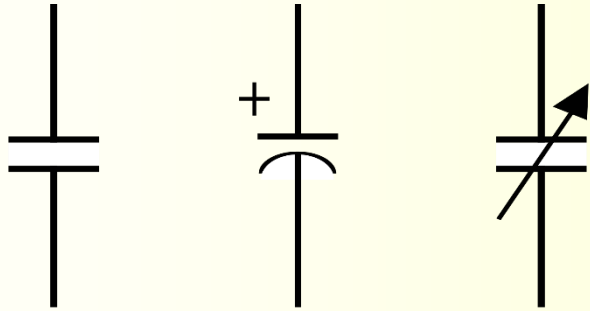
Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΠΥΚΝΩΤΗΣ—ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

- Ας θεωρήσουμε την τάση τού πυκνωτή σε δυο διαφορετικές χρονικές στιγμές που είναι πολύ κοντά η μια στην άλλη, έστω t και $t + dt$
- Τότε
$$v(t + dt) - v(t) = \frac{1}{C} \int_t^{t+dt} i(\tau) d\tau$$
- Επίσης θεωρούμε ότι το ρεύμα είναι φραγμένο: $|i(t)| \leq M, \quad \forall t$
- Τότε, καθώς $dt \rightarrow 0$, το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη $i(\cdot) \rightarrow 0$
- Για τον ίδιο λόγο, $v(t + dt) \rightarrow v(t)$
- Τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι **η τάση τού πυκνωτή είναι συνεχής συνάρτηση** και ότι **εφόσον το ρεύμα είναι φραγμένο η τάση τού πυκνωτή δεν μπορεί να κάνει άλματα**

Ο ΠΥΚΝΩΤΗΣ—ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

- Απαραίτητο συνοδευτικό τής χωρητικότητας του πυκνωτή είναι η **τάση λειτουργίας** του (δηλ. μια ασφαλής τάση που δεν επιτρέπει τη διάσπαση του μονωτή που διαχωρίζει τις πλάκες)
- Η τάση λειτουργίας επηρεάζει το μέγεθος του πυκνωτή όπως και η χωρητικότητα
- 1 farad π.χ. είναι πολύ μεγάλη χωρητικότητα και κατασκευαστικά απαιτεί μεγάλες διαστάσεις και ίσως ειδικά υλικά
- **ΠΟΤΕ δεν ζητάμε ή προδιαγράφουμε ένα πυκνωτή χωρίς την τάση λειτουργίας του**
- ❖ Οι πυκνωτές γερνάνε αλλά και ξαναζωντανεύουν!
- ❖ **ΠΡΟΣΟΧΗ στον χειρισμό των πυκνωτών: αν είναι φορτισμένοι μπορούν να μας τραυματίσουν ή να γίνουν αιτία για ατύχημα**
[Στην παραμικρή αμφιβολία εκφορτίζουμε βραχυκυκλώνοντας]

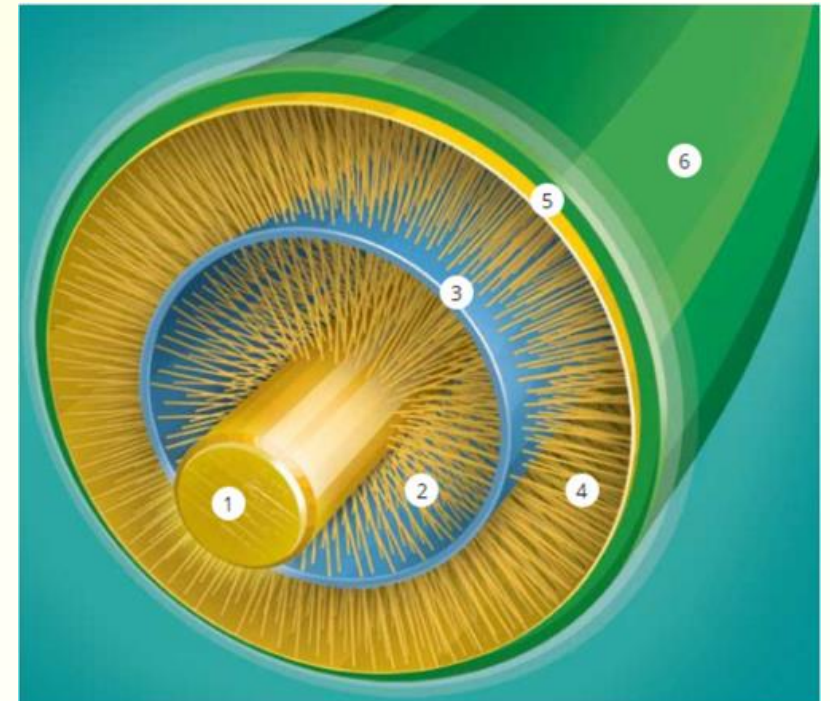
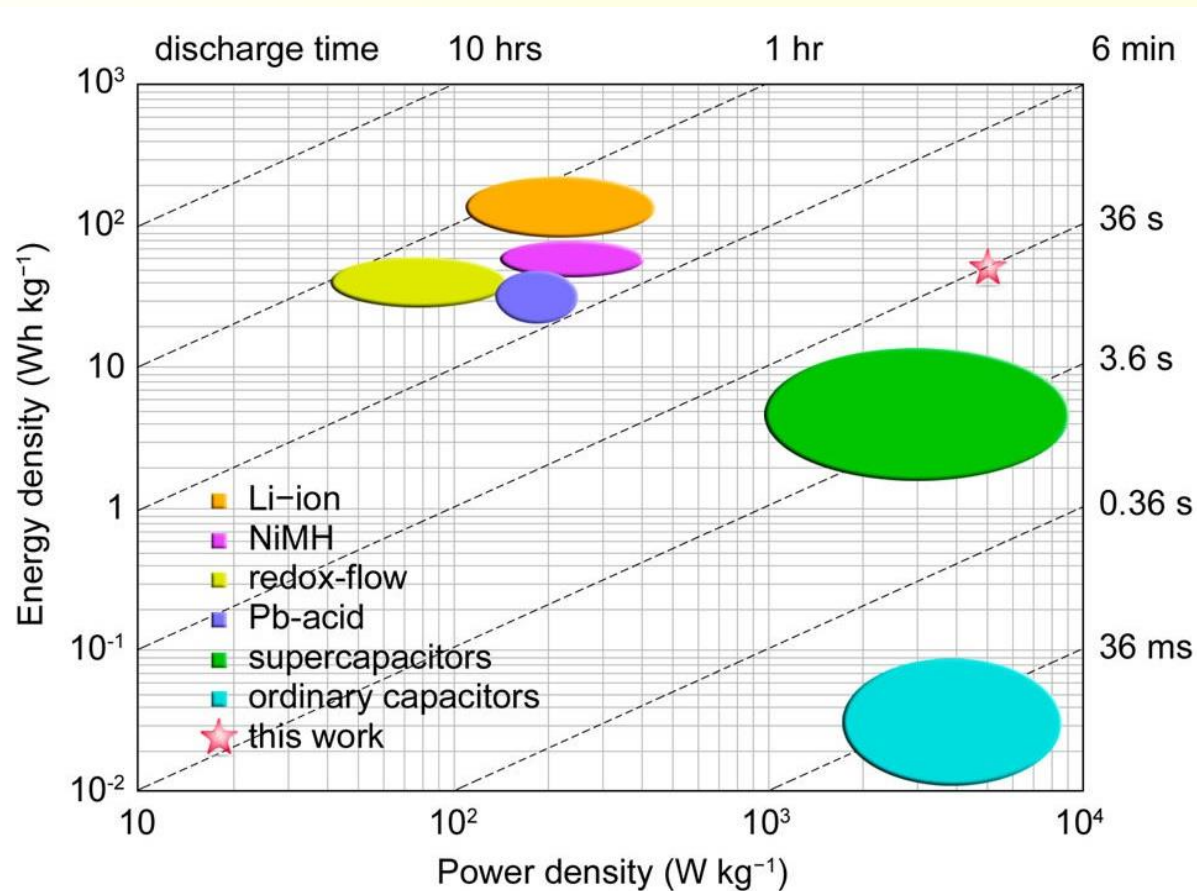
Ο ΠΥΚΝΩΤΗΣ—ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ



Compressed Gas Capacitors (SF₆ filled Standard Capacitors)
For integration with C & Tan Delta Bridge

ΕΙΔΙΚΟΙ ΠΥΚΝΩΤΕΣ

- Supercapacitors, Ultracapacitors
- Για αποθήκευση ενέργειας (και σε μεγάλη κλίμακα) αλλά με γρήγορη φόρτιση
- Ειδικοί τρόποι κατασκευής

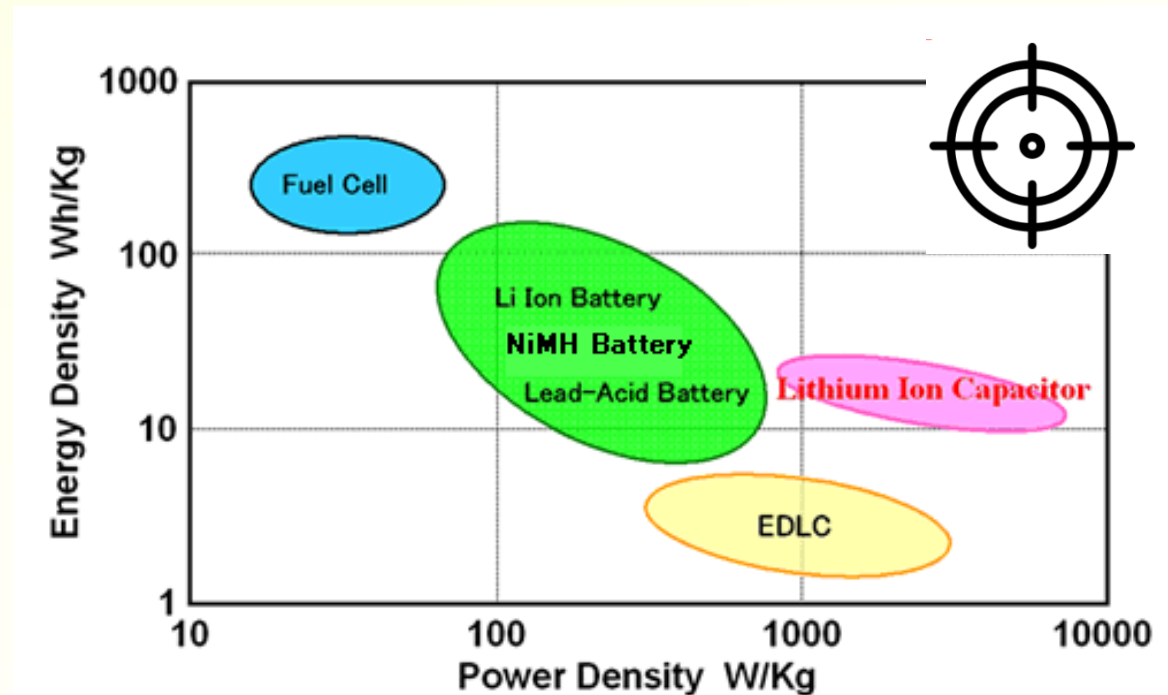


ΕΙΔΙΚΟΙ ΠΥΚΝΩΤΕΣ

- **ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ** Ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας σε όγκο ή μάζα
- **ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ** Ικανότητα αποθήκευσης ισχύος σε όγκο ή μάζα

[ισοδυναμεί με **χρόνο απόδοσης της ενέργειας**]

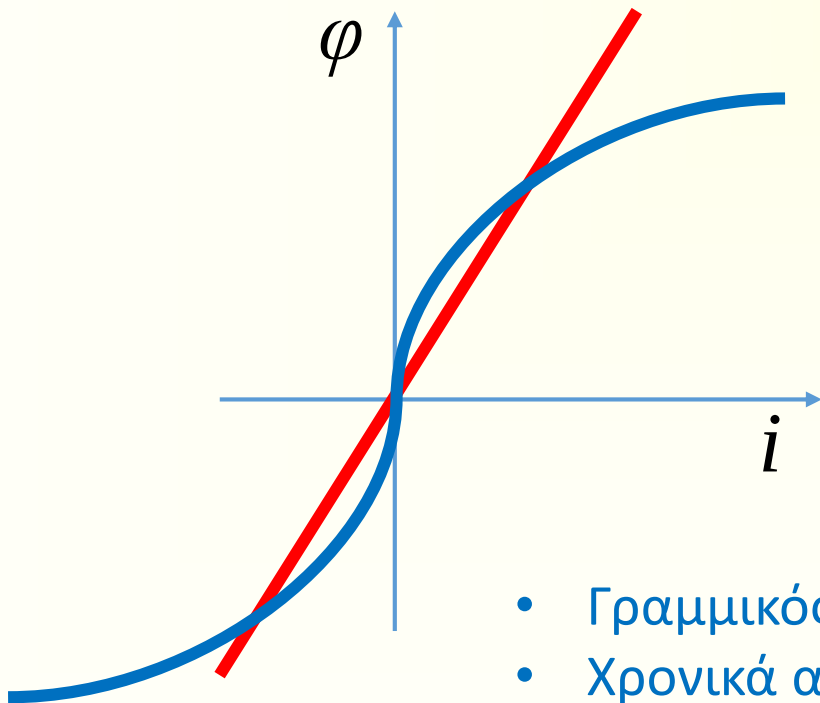
- Παράδειγμα: η μπαταρία στο κινητό έχει **υψηλή πυκνότητα ενέργειας** (λόγω μικρού όγκου) αλλά και **χαμηλή πυκνότητα ισχύος** (εκφορτίζεται στη διάρκεια ημερών και χρειάζεται ώρες για να φορτιστεί)
- Παράδειγμα: όταν ανάβουμε μια φωτιά ξεκινάμε με υλικά μεγάλης πυκνότητας ισχύος, π.χ. χαρτί, κλαδάκια που καίγονται γρήγορα σε υψηλή θερμοκρασία και μετά, όταν ξεκινήσει η φωτιά βάζουμε κούτσουρα που έχουν υψηλή πυκνότητα ενέργειας και καίγονται καλά για πολλή ώρα



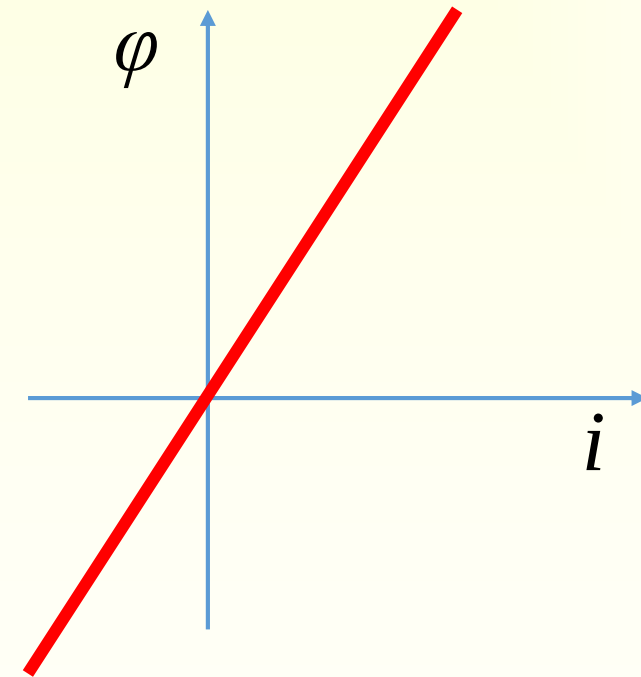
ΕΠΑΓΩΓΟΣ

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ (ΙΔΑΝΙΚΟΥ) ΕΠΑΓΩΓΟΥ

- **Επαγωγός** (**inductor**) είναι ένα στοιχείο δυο ακροδεκτών αν σε κάθε χρονική στιγμή t η μαγνητική ροή του $\varphi(t)$ και το ρεύμα του $i(t)$ ικανοποιούν μια σχέση που ορίζεται από μια καμπύλη στο επίπεδο $i\varphi$
- Η καμπύλη ονομάζεται «**χαρακτηριστική καμπύλη**»



- Γραμμικός/Μη γραμμικός
- Χρονικά αμετάβλητος/μεταβαλλόμενος



Γραμμικός, χρονικά
αμετάβλητος

Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΟΣ

- Ο **ιδανικός επαγωγός** είναι μια εξιδανικευμένη προσέγγιση του πραγματικού επαγωγού που αποκαλείται **πηνίο** (coil)
- Χαρακτηρίζεται από την **επαγωγή** (inductance) L που μετρείται σε H (henry)

$$L = \mu \frac{N^2 A}{S}$$

μ : μαγνητική διαπερατότητα του μέσου

A : επιφάνεια διατομής

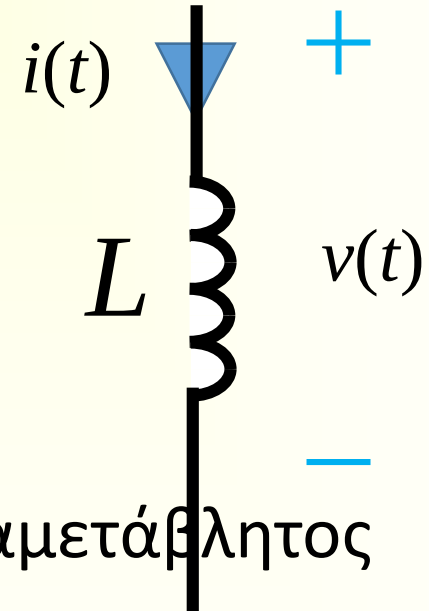
S : μήκος άξονα N : αριθμός στροφών

- Ο επαγωγός αποθηκεύει ενέργεια στο μαγνητικό του πεδίο

(**ΠΡΟΣΟΧΗ!**: Μόνο όσο διαρρέεται από ρεύμα)

- Ο πιο απλός από θεωρητική άποψη είναι ο γραμμικός, χρονικά αμετάβλητος για τον οποίο ισχύει

$$\varphi(t) = L i(t)$$



Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΟΣ

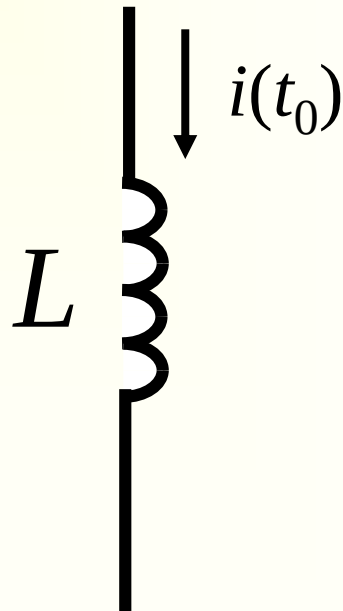
- Ο ορισμός τού επαγωγού μάς δημιουργεί ένα μικρό πρόβλημα
- Δεν εμφανίζεται απευθείας σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος

- Ευτυχώς όμως: $v(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$

- που σημαίνει ότι

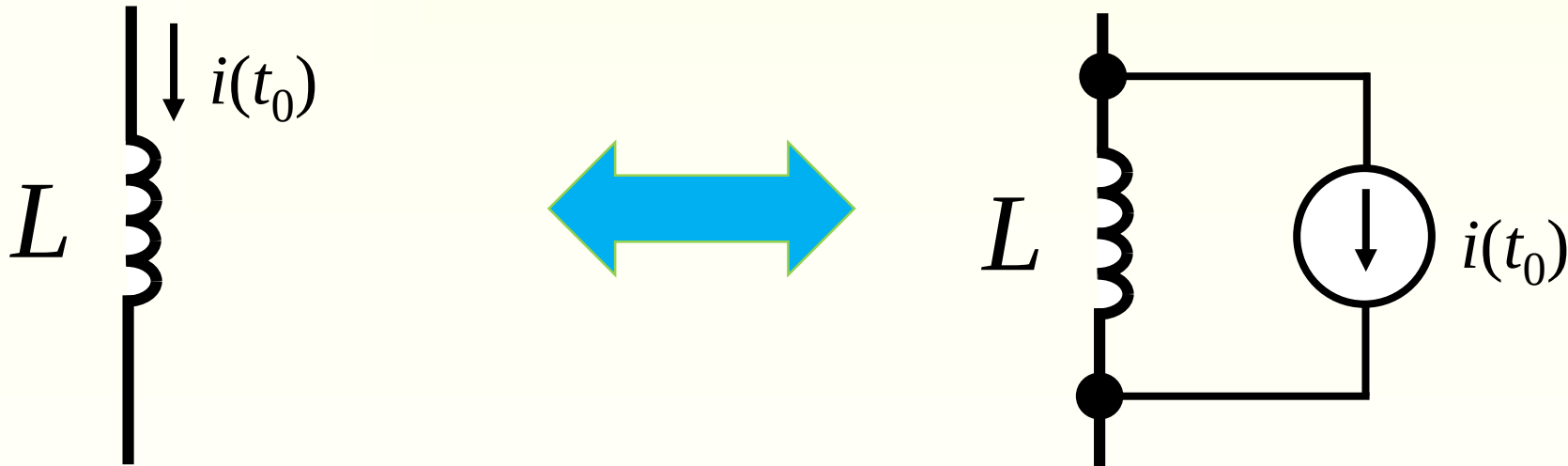
$$v(t) dt = L di(t) \Rightarrow i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau \Rightarrow i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau$$

- Το παραπάνω σημαίνει ότι για να ορίσουμε πλήρως τον επαγωγό **πρέπει εκτός από την επαγωγή να συμπεριλάβουμε και το ρεύμα που είναι αποθηκευμένο στο μαγνητικό του πεδίο** [αν δεν σημειώνεται ρεύμα ο επαγωγός θεωρείται «αφόρτιστος»]



Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΟΣ—ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Η σχέση $i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau$ υπονοεί ότι ο επαγωγός έχει «μνήμη» με την έννοια ότι το ρεύμα του επηρεάζεται από το σύνολο της εξέλιξης της τάσης $v(t)$
- Η σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος είναι γραμμική μόνο αν $i(t_0) = 0$
- Μπορεί να φανεί χρήσιμη η αντικατάσταση ενός φορτισμένου επαγωγού από ένα συνδυασμό αφόρτιστου επαγωγού και μιας ανεξάρτητης πηγής ρεύματος

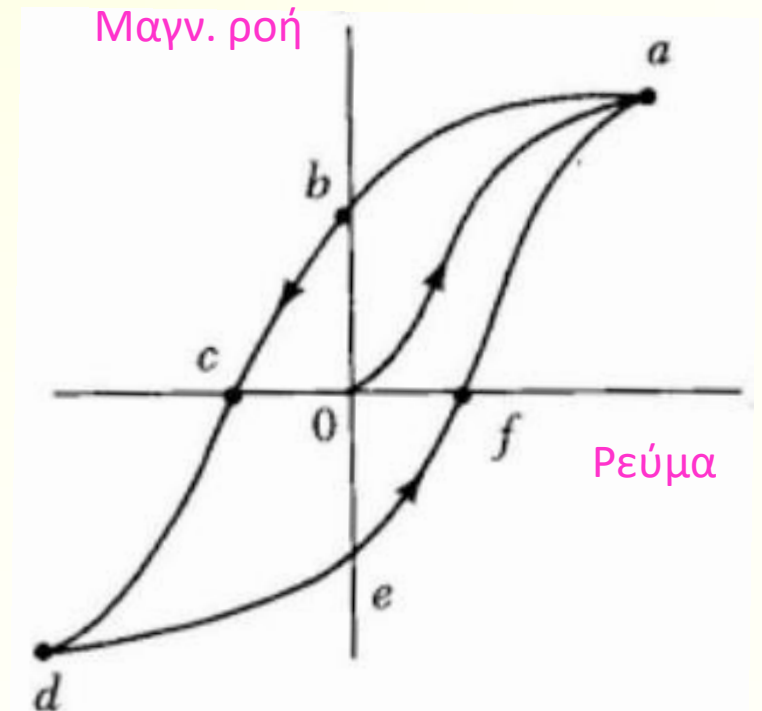
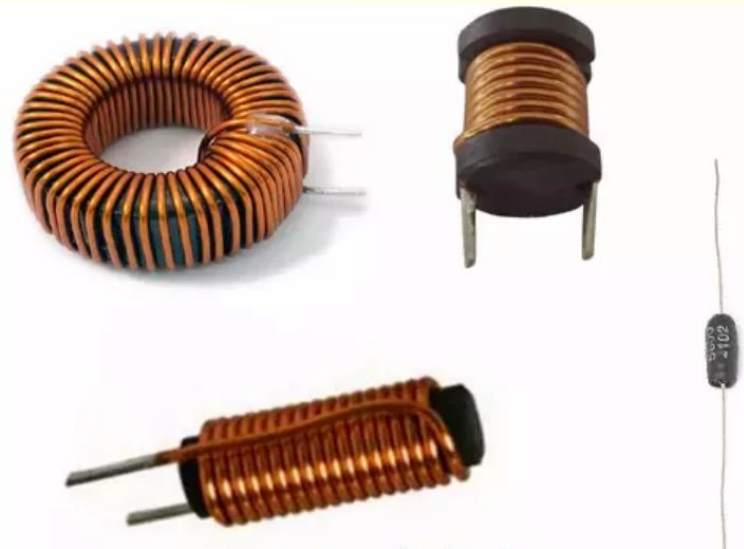


Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΟΣ—ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

- Ας θεωρήσουμε το ρεύμα τού επαγωγού σε δυο διαφορετικές χρονικές στιγμές που είναι πολύ κοντά η μια στην άλλη, έστω t και $t + dt$
- Τότε
$$i(t + dt) - i(t) = \frac{1}{L} \int_t^{t+dt} v(\tau) d\tau$$
- Επίσης θεωρούμε ότι η τάση είναι φραγμένη: $|v(t)| \leq M, \quad \forall t$
- Τότε, καθώς $dt \rightarrow 0$, το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη $v(\cdot) \rightarrow 0$
- Για τον ίδιο λόγο, $i(t + dt) \rightarrow i(t)$
- Τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι **το ρεύμα τού επαγωγού είναι συνεχής συνάρτηση** και ότι **εφόσον η τάση είναι φραγμένη το ρεύμα τού επαγωγού δεν μπορεί να κάνει άλματα**

Ο ΕΠΑΓΩΓΟΣ—ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

- Το πηνίο είναι ένα δύσκολο και συνήθως ακριβό εξάρτημα
- Μόνο ειδικοί τεχνίτες μπορούν να το κατασκευάσουν αξιόπιστα
- Αν κάποιο πηνίο έχει δημιουργήσει πρόβλημα η καλύτερη λύση είναι η αγορά ενός ίδιου από τον κατασκευαστή



- **Μαγνητική υστέρηση** (μη γραμμικό φαινόμενο)

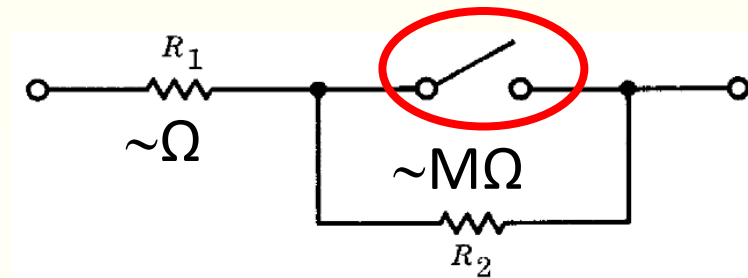
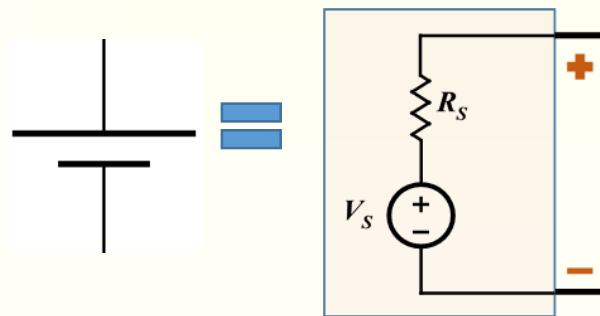
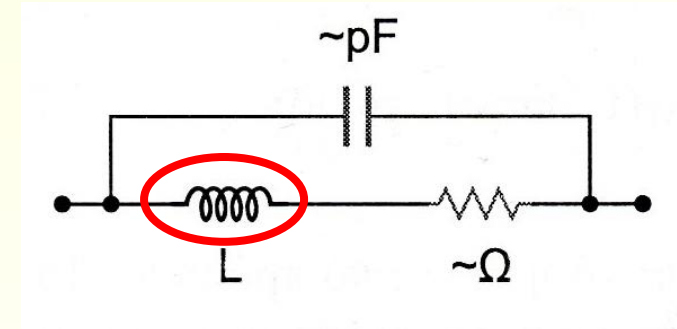
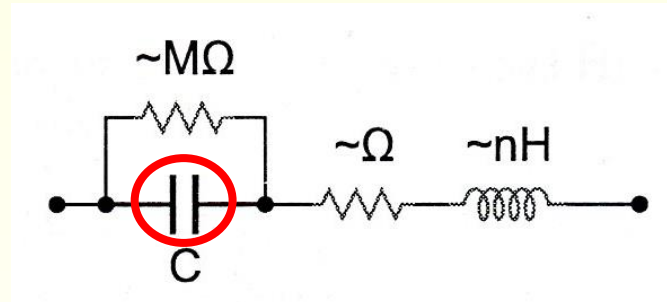
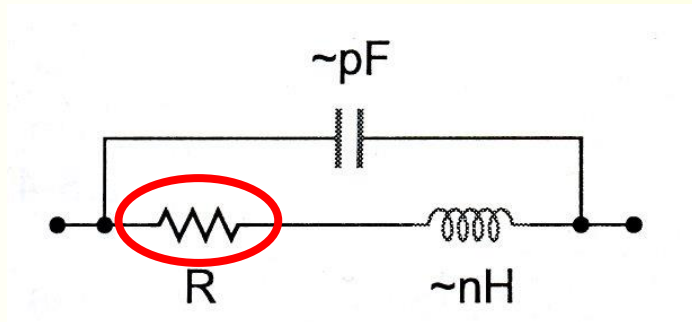
MSC560



ΜΗΧΑΝΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΠΗΝΙΩΝ

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

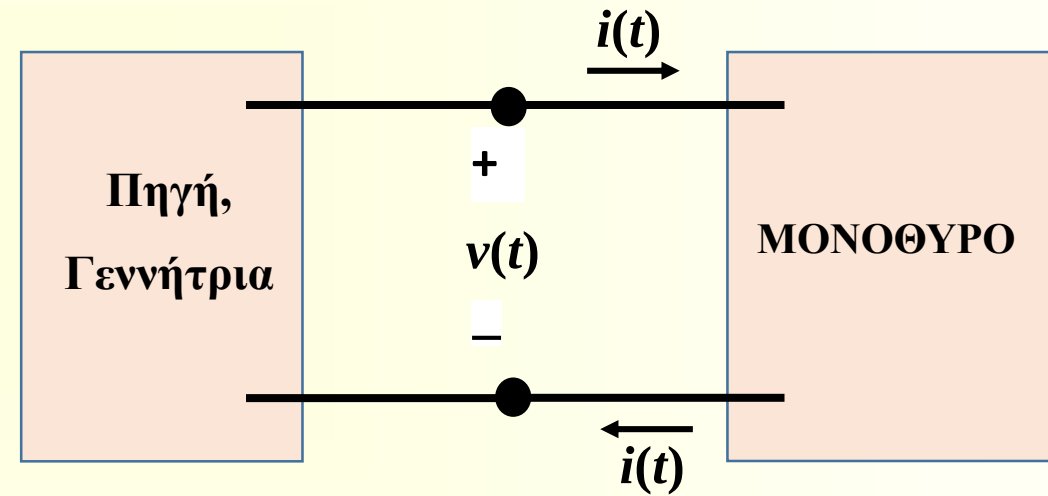
- Τα πραγματικά στοιχεία περιέχουν το ιδανικό στοιχείο και επιπρόσθετα παρασιτικά στοιχεία
- Τα επιπρόσθετα παρασιτικά στοιχεία που συνήθως αγνοούμε, ίσως χρειαστεί να συμπεριληφθούν σε κατασκευές υψηλής ποιότητας ή ιδιαίτερα κρίσιμες (εκεί δηλαδή που δεν αφήνουμε τίποτα στην τύχη)



ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ



ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

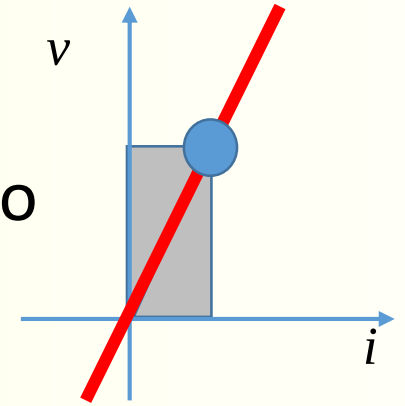


- **Μονόθυρο:** κύκλωμα δυο ακροδεκτών
- Μονόθυρο: Μαύρο κουτί—ενδιαφερόμαστε μόνο για την τάση τής θύρας και το ρεύμα τής θύρας, όχι το περιεχόμενο
- Στιγμιαία ισχύς σε W: $p(t) = v(t) i(t)$

- Ενέργεια σε J: $W(t_0, t) \triangleq \int_{t_0}^t p(\tau) d\tau = \int_{t_0}^t v(\tau) i(\tau) d\tau$

ΙΣΧΥΣ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

- Η στιγμιαία ισχύς ορίζεται από το ρεύμα και την τάση στο σημείο λειτουργίας (είναι η επιφάνεια πάνω και κάτω από τη χαρακτηριστική καμπύλη)
- Επειδή για την **ωμική αντίσταση** η χαρακτηριστική καμπύλη ορίζεται μόνο στο 1^ο και στο 3^ο τεταρτημόριο, η στιγμιαία ισχύς είναι πάντα θετική και η ενέργεια πάντα **καταναλώνεται**
- Ισχύς στην ωμική αντίσταση



$$p = v \cdot i = \frac{v^2}{R} = i^2 R$$

ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΝ ΠΥΚΝΩΤΗ

- Η στιγμιαία ισχύς ορίζεται από το ρεύμα και την τάση στο σημείο λειτουργίας:

$$p = i \cdot v = i \cdot \left[v(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \right]$$

- Ενέργεια (για αφόρτιστο πυκνωτή):

$$p = i \cdot v \Rightarrow \frac{dw}{dt} = vC \frac{dv}{dt} \Rightarrow dw = vC dv \Rightarrow \int_0^w dx = C \int_0^v y dy \Rightarrow$$

$$w_C = \frac{1}{2} C v^2$$

ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΝ ΕΠΑΓΩΓΟ

- Η στιγμιαία ισχύς ορίζεται από το ρεύμα και την τάση στο σημείο λειτουργίας:

$$p = v \cdot i = v \cdot \left[i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau \right]$$

- Ενέργεια (για «αφόρτιστο» επαγωγό):

$$p = i \cdot v \Rightarrow \frac{dw}{dt} = iL \frac{di}{dt} \Rightarrow dw = iL di \Rightarrow \int_0^w dx = L \int_0^i y dy \Rightarrow$$

$$w_L = \frac{1}{2} L i^2$$

ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ—ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

- Παλμός τάσης σε πυκνωτή $0,5 \mu\text{F}$

$$v(t) = \begin{cases} 0 \text{ V}, & t < 0 \\ 4t \text{ V}, & 0 \leq t < 1 \\ 4e^{-(t-1)} \text{ V}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$

- Να υπολογιστούν και να σχεδιαστούν η τάση, το ρεύμα, η ισχύς και η ενέργεια στον πυκνωτή

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

- Το ρεύμα

$$i(t) = C \frac{dv}{dt} = \begin{cases} 0,5 \times 10^{-6} \cdot 0 = 0 \text{ A}, & t < 0 \\ (0,5 \times 10^{-6}) \cdot 4 = 2 \mu\text{A}, & 0 \leq t < 1 \\ (0,5 \times 10^{-6}) \cdot [-4e^{-(t-1)}] = -2e^{-(t-1)} \mu\text{A}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$

- Η ισχύς

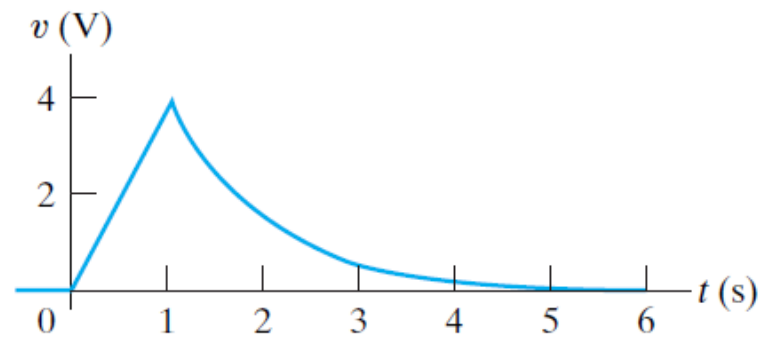
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \begin{cases} 0 \text{ W}, & t < 0 \\ 4t \cdot 2 = 8t \mu\text{W}, & 0 \leq t < 1 \\ 4e^{-(t-1)} \cdot [-2e^{-(t-1)}] = -8e^{-2(t-1)} \mu\text{W}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

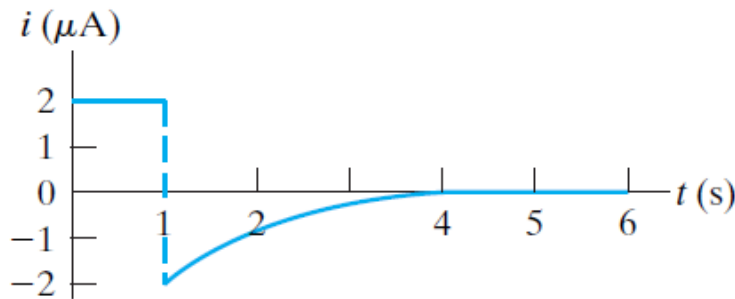
- Η ενέργεια

$$w(t) = \frac{1}{2} C v(t)^2 = \dots = \begin{cases} 0 \text{ J}, & t < 0 \\ 4t^2 \text{ }\mu\text{J}, & 0 \leq t < 1 \\ 4e^{-2(t-1)} \text{ }\mu\text{J}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$

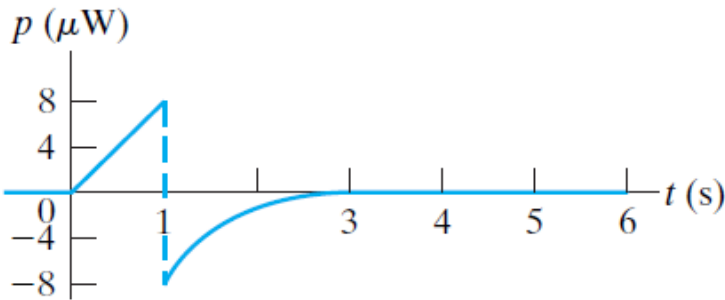
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ



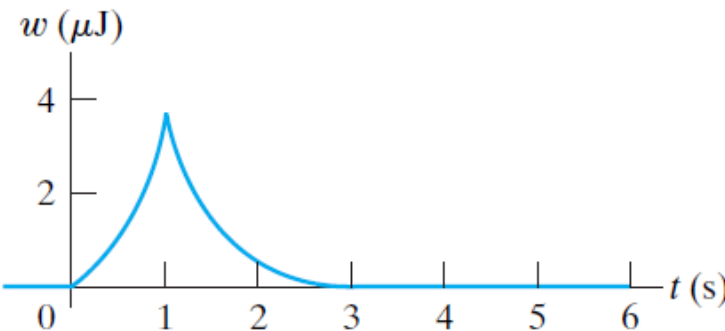
$$\begin{cases} 0 \text{ V}, & t < 0 \\ 4t \text{ V}, & 0 \leq t < 1 \\ 4e^{-(t-1)} \text{ V}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$



$$\begin{cases} 0 \text{ } \mu\text{A}, & t < 0 \\ 2 \text{ } \mu\text{A}, & 0 \leq t < 1 \\ -2e^{-(t-1)} \text{ } \mu\text{A}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$



$$\begin{cases} 0 \text{ W}, & t < 0 \\ 8t \text{ } \mu\text{W}, & 0 \leq t < 1 \\ -8e^{-2(t-1)} \text{ } \mu\text{W}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$



$$\begin{cases} 0 \text{ J}, & t < 0 \\ 4t^2 \text{ } \mu\text{J}, & 0 \leq t < 1 \\ 4e^{-2(t-1)} \text{ } \mu\text{J}, & 1 \leq t \leq \infty \end{cases}$$

ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ—ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

- Τα ηλεκτρικά στοιχεία μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που σχετίζεται η λειτουργία τους με την ισχύ και την ενέργεια

