

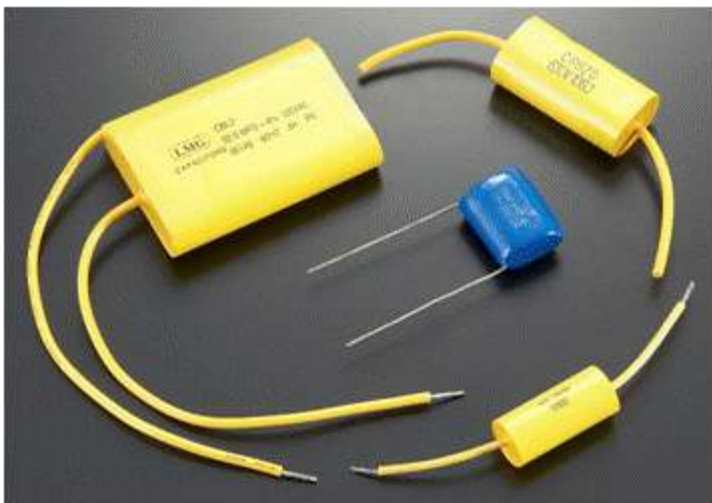
Κεφάλαιο 2

Ενότητα 2.1

Αλέξανδρος Φλάμος, Επ. Καθηγητής

e-mail: aflamos@unipi.gr

3^{ος} όροφος, Γραφείο 304, κτίριο Γρηγορίου Λαμπράκη 126



**Σημειώσεις - ασκήσεις από ανάλυση
ηλεκτρικών κυκλωμάτων, Νίκος
Μάργαρης, εκδόσεις Τζιόλα,
σημειώσεις Μπαλουκτσής*



Η θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων βασίζεται κυρίως στην έννοια των ομοιωμάτων, τα οποία είναι κυκλώματα αποτελούμενα από ιδανικά ηλεκτρικά στοιχεία με γνωστές "καθαρές" ιδιότητες και παριστάνουν κάποιο φυσικό ηλεκτρικό στοιχείο.

αντιστάτης



ομοίωμα



πηνίο



ομοίωμα



Οι μεταβλητές των ηλεκτρικών κυκλωμάτων είναι τα ρεύματα και οι τάσεις των κλάδων.

Σε ένα κύκλωμα που αποτελείται από b κλάδους το σύνολο των μεταβλητών είναι $2b \rightarrow$ Για τον υπολογισμό τους απαιτούνται $2b$ εξισώσεις.

Νόμος ρευμάτων: $n-1$

Νόμος τάσεων: $b-(n-1)$

b : αριθμός εξισώσεων που προκύπτουν από νόμους Kirchhoff

n : πλήθος κόμβων

Υπόλοιπες b από φυσικά
χαρακτηριστικά στοιχείων του
κυκλώματος

Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού στοιχείου 2 ακροδεκτών:

→ ρεύμα που το διαρρέει (ρεύμα κλάδου) – $i(t)$

→ τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του (τάση κλάδου) – $v(t)$

$i(t)$, $v(t)$: συναρτήσεις χρόνου

Η σχέση $i(t)$ με $v(t)$ → χαρακτηριστική $v-i$ του στοιχείου δύο ακροδεκτών.

Όταν η τάση είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή:

$i(t)=f(v(t)) \rightarrow$ στοιχείο δύο ακροδεκτών
ελεγχόμενο από την τάση.

Όταν η ένταση είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή:

$v(t)=f^{-1}(i(t)) \rightarrow$ στοιχείο δύο ακροδεκτών
ελεγχόμενο από την ένταση.

* f^{-1} : αντίστροφη συνάρτηση της f

Γραμμικό ηλεκτρικό στοιχείο: $\rightarrow$ η χαρακτηριστική του είναι γραμμική συνάρτηση.

Ικανοποιεί τις αρχές της ομογένειας: $f(kv(t))=kf(v(t))$

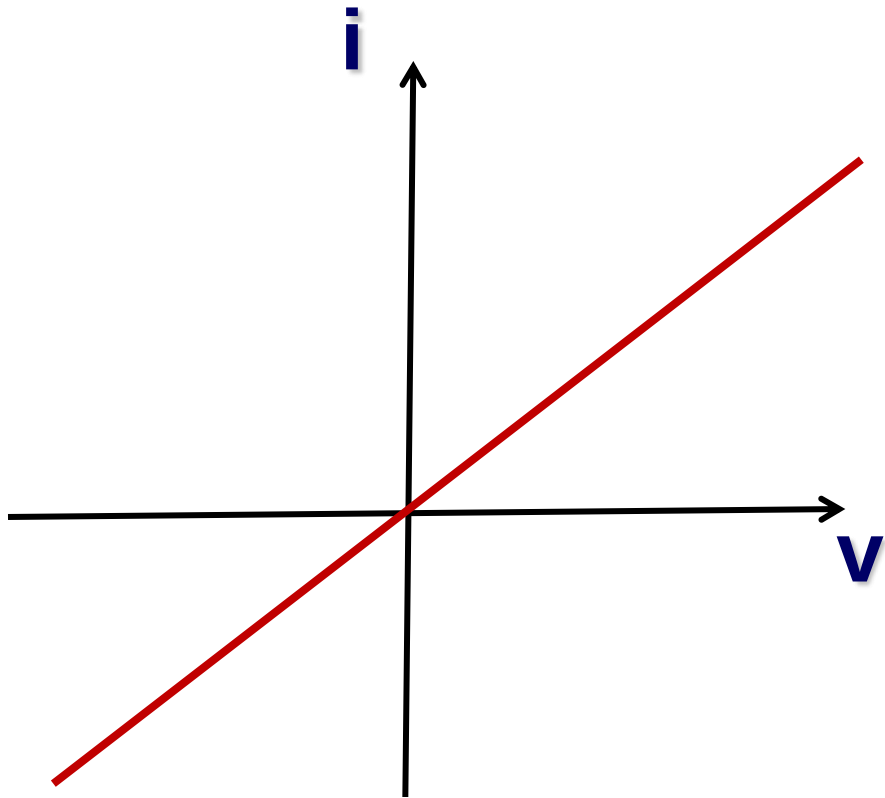
και της επαλληλίας: $f(v_1(t)+v_2(t))=f(v_1(t)) + f(v_2(t))$

Συνεπώς η συνάρτηση $f(v(t))$ είναι γραμμική όταν ισχύουν οι παραπάνω εξισώσεις ή γενικότερα όταν:

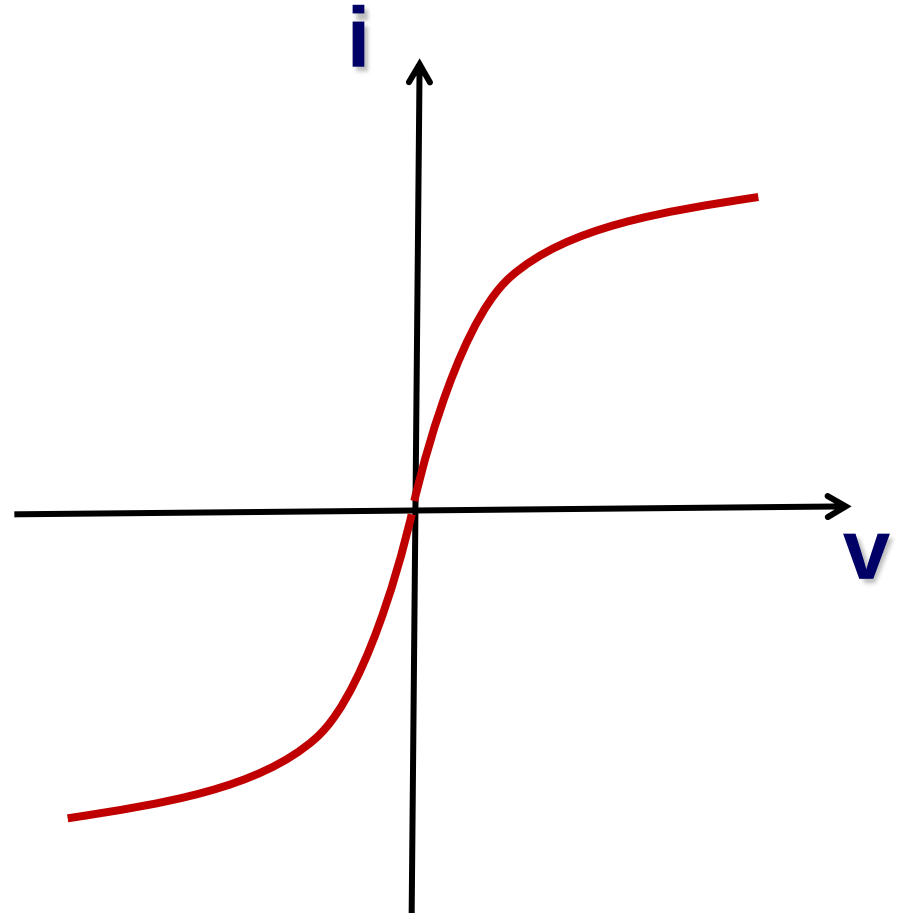
$$f(\kappa_1 v_1(t) + \kappa_2 v_2(t)) = \kappa_1 f(v_1(t)) + \kappa_2 f(v_2(t))$$

Σχέση $v-i$ στοιχείων 2 ακροδεκτών (4/4)

2.7



Γραμμικό στοιχείο: η χαρακτηριστική του είναι ευθεία γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων



Μη γραμμικό στοιχείο

Η χαρακτηριστική v - i ενός ηλ. στοιχείου περιγράφεται από την

συνάρτηση: $i(t)=f(v(t))=5v(t)$

Είναι γραμμική? → Ναι διότι ισχύει η αρχή της ομογένειας:

$$f(kv(t))=5k*v(t)=k(5v(t))=kf(v(t))$$

και της επαλληλίας: $f(v_1(t)+v_2(t))=5(v_1(t) + v_2(t))= 5v_1(t) + 5v_2(t)$

$$= f(v_1(t)) + f(v_2(t))$$

Η χαρακτηριστική v - i ενός ηλ. στοιχείου περιγράφεται από την

συνάρτηση:

$$i(t) = f(v(t)) = 5v(t) + 1$$

Είναι γραμμική? → Όχι διότι δεν ισχύει η αρχή της ομογένειας:

$$f(kv(t)) = 5k \cdot v(t) + 1 = k(5v(t)) + 1 \neq kf(v(t))$$

.... η χαρακτηριστική $i(t) = f(v(t)) = 5v(t) + 1 \rightarrow$ είναι ευθεία

γραμμή – όμως δεν διέρχεται από την αρχή των αξόνων.

Η χαρακτηριστική v-i ενός ηλ. στοιχείου περιγράφεται από την

συνάρτηση: $i(t)=f(v(t))=v^2(t)$

Είναι γραμμική? → όχι διότι δεν ισχύει η αρχή της ομογένειας:

$$f(kv(t))=(kv(t))^2=k^2v^2(t)=k^2f(v(t)) \neq kv^2(t)=kf(v(t))$$

Όμοια δεν ισχύσει η αρχή της επαλληλίας: $f(v_1(t)+v_2(t))=(v_1(t) +$

$$v_2(t))^2= v_1^2(t) + v_2^2(t)+2v_1(t)*v_2(t) \neq v_1^2(t) + v_2^2(t) = f(v_1(t)) +$$

$$f(v_2(t))$$

Όταν η χαρακτηριστική είναι άμεση συνάρτηση του χρόνου



$$i(t) = f(v(t), t)$$



Το ηλεκτρικό στοιχείο λέγεται χρονικά μεταβαλλόμενο



Διαφορετικά το στοιχείο λέγεται χρονικά αμετάβλητο

Οι χαρακτηριστικές των παραδειγμάτων 2.1-1 & 2.1-2 είναι χρονικά αμετάβλητες? ναι $\rightarrow$... δεν εξαρτώνται άμεσα από τον χρόνο.

Η χαρακτηριστική $i(t) = f(v(t), t) = (1 + \sin t) \cdot v(t) \rightarrow$ είναι χρονικά μεταβαλλόμενη (.....εξαρτάται από τον χρόνο) – είναι όμως γραμμική?

Ναι, καθώς $\rightarrow i(t)=f(kv(t),t)= (1+\sigma\upsilon\upsilon\upsilon t)*kv(t)=$

$$k * (1+\sigma\upsilon\upsilon\upsilon t)*v(t)=kf(v(t),t)$$

Επιπλέον ισχύσει η αρχή της επαλληλίας: $f(v_1(t)+v_2(t))=$

$$(1+\sigma\upsilon\upsilon\upsilon t) * (v_1(t)+v_2(t))= (1+\sigma\upsilon\upsilon\upsilon t)*v_1(t) +(1+\sigma\upsilon\upsilon\upsilon t)*v_2(t) =$$

$$f(v_1(t)) + f(v_2(t))$$

Αντιστάτης (Resistor (R)) λέγεται κάθε στοιχείο δύο ακροδεκτών, του οποίου η σχέση $V - I$ είναι κάθε χρονική στιγμή, αλγεβρική έκφραση.

**** Ευρύτερος ορισμός από τον ορισμό της ωμικής αντίστασης***

Ωμικός αντιστάτης ή απλά αντίσταση, είναι το ηλεκτρικό στοιχείο το οποίο καταναλίσκει συνεχώς ενέργεια υπό μορφή θερμότητας (παθητικό στοιχείο το οποίο δεν μπορεί να αποδώσει ισχύ ή να αποθηκεύσει ενέργεια).

Ο μηχανισμός αυτός συνδέεται με το φαινόμενο του Joule όπου η διέλευση των ηλεκτρονίων δια μέσου ενός αγωγίμου σώματος γίνεται με συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με άλλα ατομικά σωματίδια (σε κάθε σύγκρουση έχουμε απώλεια ενέργειας).

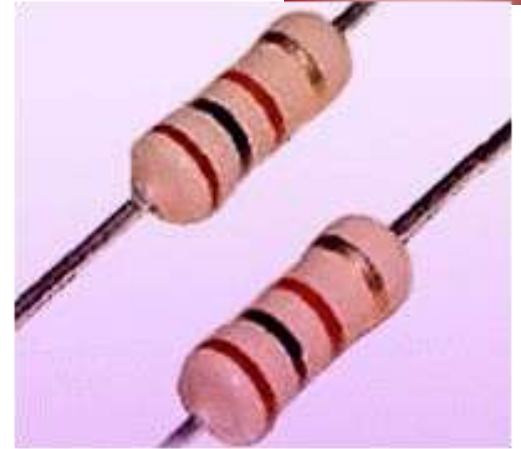
Ωμική Αντίσταση (2/7)

2.16

Η χαρακτηριστική της ωμικής αντίστασης είναι:

$$i(t) = G * v(t)$$

(εξίσωση 2.2-1)



Δηλαδή, ειδική περίπτωση:

→ Γραμμικού αντιστάτη ο οποίος είναι χρονικά αμετάβλητος.

Η αντίστροφη χαρακτηριστική είναι $v(t) = R * i(t)$ (εξίσωση 2.2-2)

Όπου $G = 1 / R$

G: αγωγιμότητα (Conductance) / R: αντίσταση (Resistance)

Οι εξισώσεις:

$$i(t) = G * v(t) \text{ \& } v(t) = R * i(t)$$

Είναι μαθηματικές εκφράσεις του νόμου του Ohm.

G, R: ανεξάρτητα από i, v, και t.

Η αντίσταση μετριέται σε ohm [$\Omega = V / A$]

Η αγωγιμότητα σε Siemen [$S = \Omega^{-1} = A / V$]

Ωμική Αντίσταση (4/7)

2.18

Θεωρούμε $R=10\Omega$ & $v(t)=2\eta\mu 100t$ Volt

Πόσο είναι το ρεύμα?

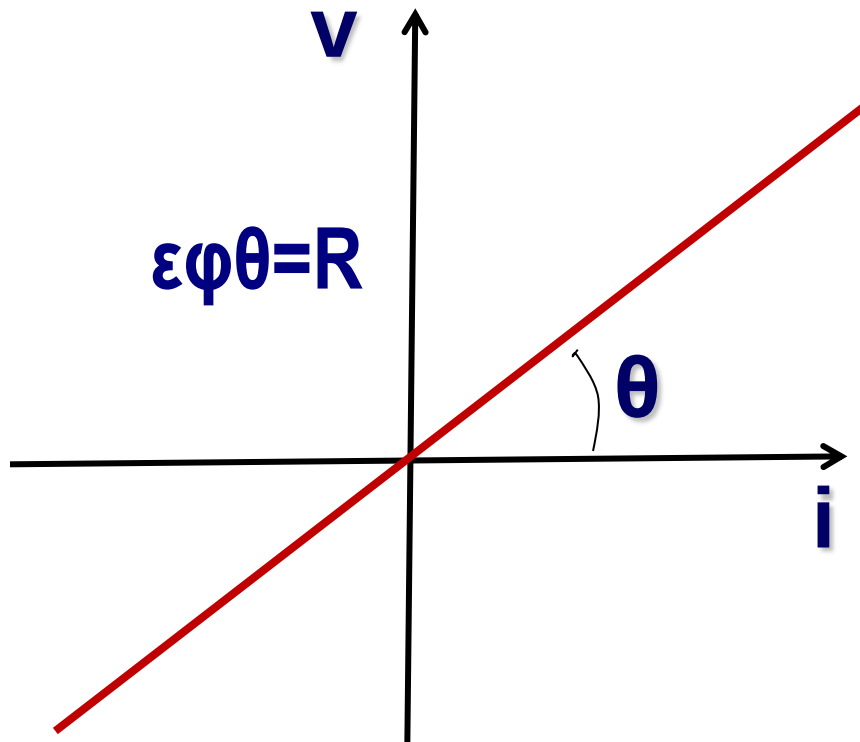
$$v(t)=R * i(t) \rightarrow i(t)= v(t) / R$$

$$\rightarrow i(t)=0.2\eta\mu 100t \text{ Ampere}$$

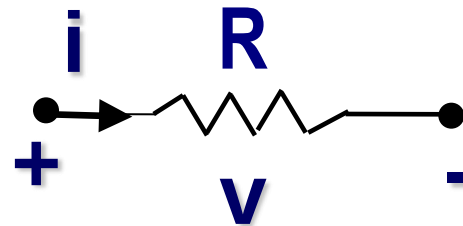
Ποια είναι η ισχύς?

$$p(t)= v(t) * i(t) = 0.4\eta\mu^2 100t \text{ Watt}$$

Η χαρακτηριστική V-I της ωμικής αντίστασης είναι ευθεία γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και έχει κλίση R.



$$\epsilon\phi\theta=R$$



Στοιχείο γραμμικής ωμικής αντίστασης

Η ωμική αντίσταση ενός αγωγού εξαρτάται από τις διαστάσεις του και από το υλικό του:

$$R = \rho * (l / S)$$

l : μήκος αγωγού

S : διατομή αγωγού

ρ : ειδική αντίσταση αγωγού

Ωμική Αντίσταση (7/7)

Υ λ ι κ ό	Ειδική αντίσταση ρ ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)	Ειδική αγωγιμότητα k (S/m)
Άργυρος	0,0159...0,017	$5,9...6,3 \cdot 10^7$
Χαλκός	0,017...0,0178	$5,6...5,9 \cdot 10^7$
Αλουμίνιο	0,028...0,03	$3,3...3,6 \cdot 10^7$
Ψευδάργυρος	0,063	$1,6 \cdot 10^7$
Σίδηρος	0,09...0,15	$0,67...1,1 \cdot 10^7$
Νικέλιο	0,071	$1,28 \cdot 10^7$
Konstantan	0,49	$2,04 \cdot 10^6$
Μαγγάνιο	0,43	$2,33 \cdot 10^6$
Αμορφος άνθρακας	35	$2,86 \cdot 10^4$

Η χαρακτηριστική $V - I$ αντίστασης που μεταβάλλεται με τον χρόνο περιγράφεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$i(t) = G(t) * v(t)$$

ή

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

Όπου $\rightarrow G(t)$: γραμμική χρονικά μεταβαλλόμενη αγωγιμότητα

$R(t)$: γραμμική χρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση

Άσκηση (1/3)

2.23

Άσκηση 2.9 -1

Οι χαρακτηριστικές ενός γραμμικού και μη γραμμικού αντιστάτη δίνονται αντίστοιχα από τις σχέσεις $v(t)=20i(t)$ και $v(t)=20i(t)+i^2(t)$. Δείξτε ότι για την πρώτη χαρακτηριστική ισχύει η αρχή της επαλληλίας, ενώ για την δεύτερη δεν ισχύει.

Στη συνέχεια θεωρήστε ότι το ρεύμα έχει την μορφή $i(t)=\sin \omega t$. Υπολογίστε τις τάσεις των δύο αντιστατών. Θα διαπιστώσετε ότι η τάση του μη γραμμικού αντιστάτη περιέχει όρους με διαφορετική συχνότητα.

-Η δημιουργία νέων συχνοτήτων είναι ένα γενικό χαρακτηριστικό των μη γραμμικών στοιχείων και κυκλωμάτων-

Εξετάζουμε εάν ικανοποιείται:

→ η αρχή της επαλληλίας: $f(i_1(t)+i_2(t))=f(i_1(t)) + f(i_2(t))$

Αντιστάτης A) $v(t)=20i(t)$

$$V(t)=f(i_1(t)+i_2(t))=20 (i_1(t)+i_2(t))= 20 i_1(t)+ 20 i_2(t) = f(i_1(t)) + f(i_2(t))$$

→ ισχύει η αρχή της επαλληλίας

Αντιστάτης B) $v(t)=20i(t)+i^2(t)$

$$\begin{aligned} v(t)=f(i_1(t)+i_2(t)) &= 20 (i_1(t)+i_2(t)) + (i_1(t)+i_2(t))^2 = 20i_1(t)+20i_2(t)+i_1^2(t)+ \\ i_2^2(t)+2i_1(t)i_2(t) &= 20i_1(t)+i_1^2(t)+ 20i_2(t)+i_2^2(t)+2i_1(t)i_2(t) = f(i_1(t)) + \\ f(i_2(t)) + 2i_1(t)i_2(t) &\rightarrow \underline{\text{δεν}} \text{ ισχύει η αρχή της επαλληλίας} \end{aligned}$$

Άσκηση (3/3)

2.25

Συνεχίζουμε με τον υπολογισμό της τάσης για κάθε αντιστάτη θεωρώντας ότι το ρεύμα έχει την μορφή $i(t) = \sin \omega t$

Αντιστάτης A) $v(t) = 20i(t) = 20 \sin \omega t$

→ τάση και ρεύμα έχουν την ίδια μορφή

→ δεν παράγονται νέες συχνότητες

Αντιστάτης B) $v(t) = 20i(t) + i^2(t) = 20 \sin \omega t + \sin^2(\omega t) = *$

$20 \sin \omega t + \frac{1}{2} * \sin 2\omega t + \frac{1}{2}$

* Από τριγωνομετρία: $\sin^2(\omega t) = \frac{1}{2} * \sin 2\omega t + \frac{1}{2}$

• Παρατηρείται η εμφάνιση όρων με νέες συχνότητες → ένας με διπλάσια συχνότητα και ένας με μηδενική

Άσκηση (1/2)

2.26

Άσκηση 2.9 -2

Οι χαρακτηριστική ενός γραμμικού χρονικά μεταβλητού αντιστάτη είναι $v(t)=R(1+2\sin\omega_1 t)*i(t)$.

Αν το ρεύμα έχει τη μορφή $i(t)=I_m \sin\omega_2 t \rightarrow$ να υπολογισθεί η τάση $v(t)$. Θα διαπιστώσετε ότι, παρά τη γραμμικότητα του αντιστάτη, θα παραχθούν νέες συχνότητες. Με κατάλληλους τριγωνομετρικούς μετασχηματισμούς δείξτε ότι θα δημιουργηθεί το άθροισμα και η διαφορά των συχνοτήτων ω_1 και ω_2 .

Άσκηση (2/2)

2.27

$$v(t) = R(1 + 2\cos\omega_1 t) \cdot I_m \cos\omega_2 t = I_m R (1 + 2\cos\omega_1 t) \cos\omega_2 t =$$

$$I_m R (\cos\omega_2 t + 2\cos\omega_1 t \cos\omega_2 t) =$$

$$= I_m R \cos\omega_2 t + I_m R \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) + I_m R \cos(\omega_1 t + \omega_2 t) =$$

$$= I_m R \cos\omega_2 t + I_m R \cos(\omega_1 - \omega_2)t + I_m R \cos(\omega_1 + \omega_2)t \rightarrow$$

παρατηρείται η δημιουργία δύο νέων όρων: ένας με το άθροισμα και ένας με τη διαφορά των συχνοτήτων ω_1 και ω_2

* Ισχύει: $2\cos\chi\cos\psi = \cos(\chi - \psi) + \cos(\chi + \psi)$

Άσκηση 2.9 -3

Δίνεται η χαρακτηριστική του μη γραμμικού αντιστάτη:

$$\rightarrow v(t) = \beta + a i(t).$$

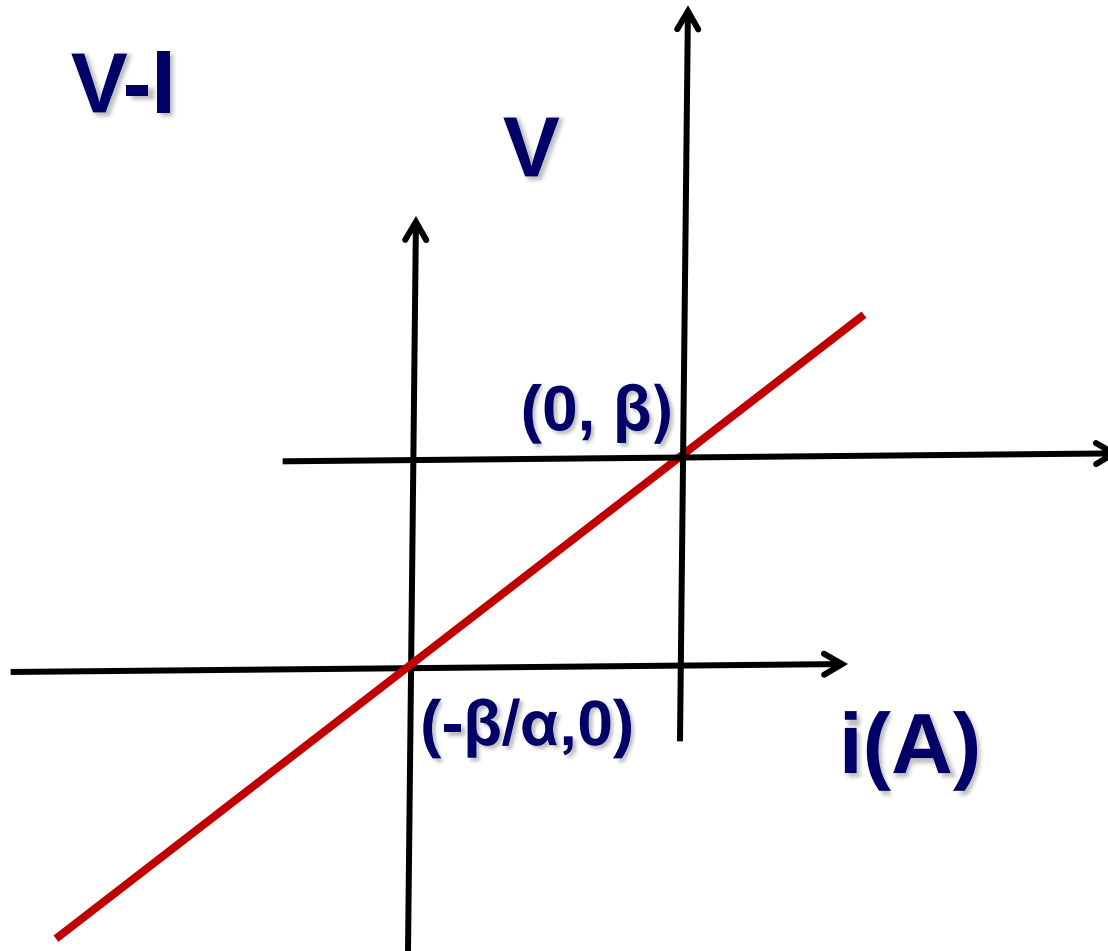
Δείξτε ότι μ' έναν κατάλληλο μετασχηματισμό των μεταβλητών είναι δυνατό ο αντιστάτης να γίνει γραμμικός.

Με ποιόν τρόπο μπορεί να υλοποιηθεί αυτός ο μετασχηματισμός σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα?

Άσκηση (2/4)

2.29

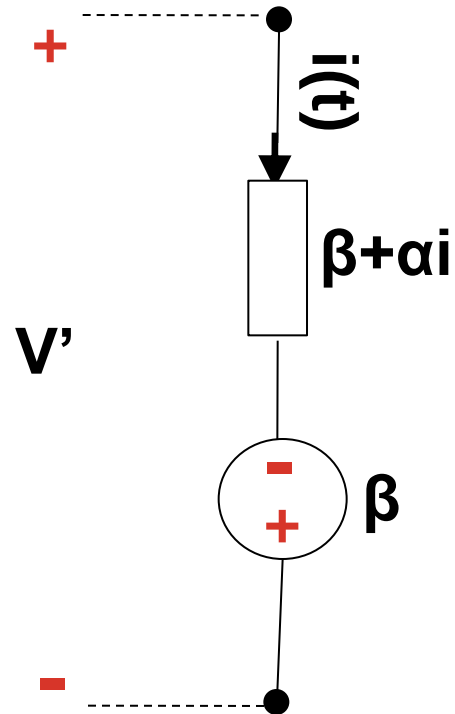
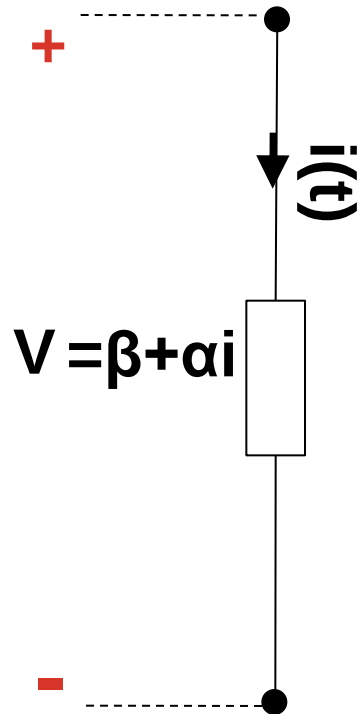
V-I



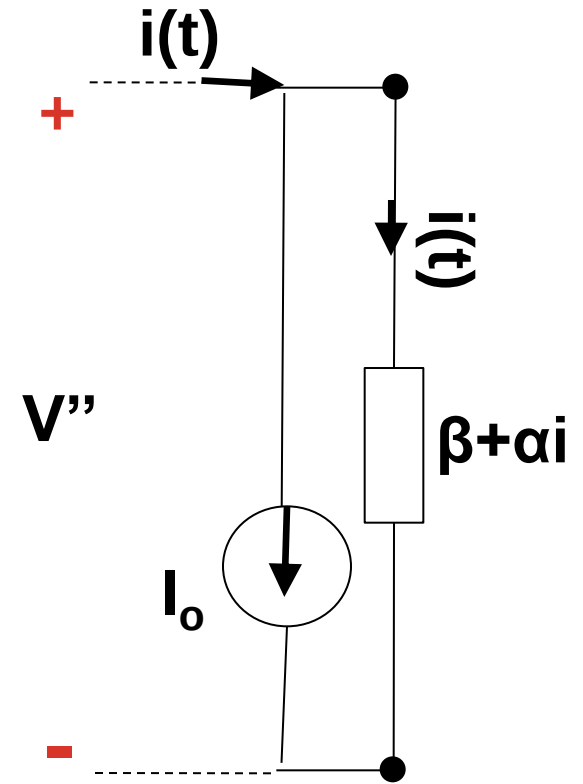
Για να καταστεί γραμμική η χαρακτηριστική, πρέπει να μετατοπιστεί παράλληλα προς τον εαυτό του ο άξονας των ρευμάτων κατά β ή ο άξονας των τάσεων κατά $-\beta/\alpha$

Άσκηση (3/4)

2.30



c1



c2

Με την τοποθέτηση μιας πηγής τάσης β (περίπτωση c1), η χαρακτηριστική του αντιστάτη $v(t)=\beta+ai(t) \rightarrow$

Μετασχηματίζεται στην μορφή $v'(t)=v(t)-\beta= \beta+ai(t)-\beta= ai(t)$

Με την τοποθέτηση μιας πηγής ρεύματος (περίπτωση c2), η χαρακτηριστική του αντιστάτη $v(t)=\beta+ai(t) \rightarrow$

Μετασχηματίζεται στην μορφή $v''(t)=\beta+\alpha(i(t)-I_0)= \beta-\alpha I_0+ai(t)$

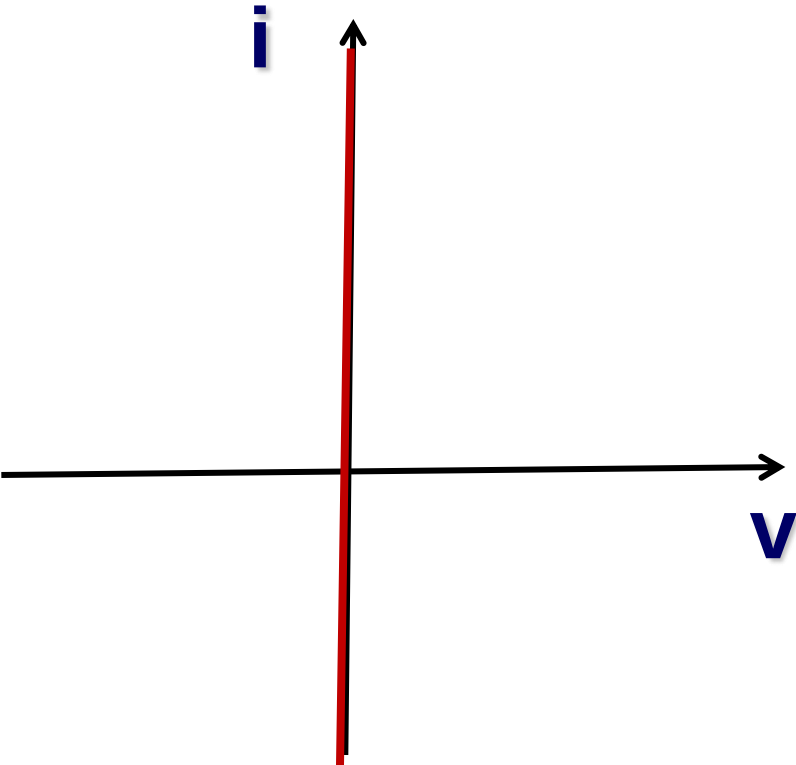
.....με $I_0 = \beta/\alpha \rightarrow v''(t)=ai(t)$

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις λειτουργίας του ωμικού αντιστάτη:

1. Ανοικτό κύκλωμα $\rightarrow$ δηλαδή έχουμε $i=0$ για κάθε τάση $v \rightarrow$ στην περίπτωση αυτή $R \rightarrow \infty$ ή $G=0$ (χαρακτηριστική λειτουργίας ο άξονας v)
2. Βραχυκύκλωμα $\rightarrow$ η τάση $v=0$ για οποιοδήποτε ρεύμα $i \rightarrow$ στην περίπτωση αυτή $R=0$ ή $G \rightarrow \infty$ (χαρακτηριστική λειτουργίας ο άξονας i)

....και στις δύο περιπτώσεις η στιγμιαία ισχύς του στοιχείου είναι μηδενική.

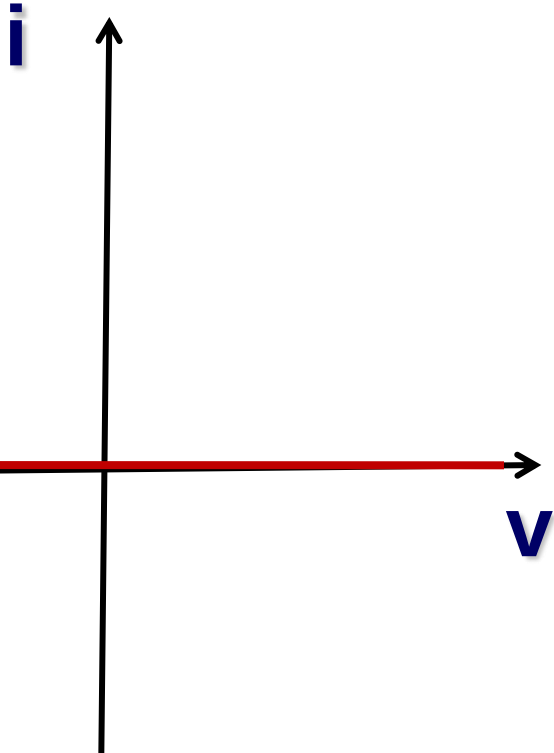
Χαρακτηριστική v - i



Εκφυλισμένη περίπτωση γραμμικού χρονικά αμετάβλητου αντιστάτη είναι το βραχυκύκλωμα (short circuit).

Ένα στοιχείο δύο ακροδεκτών λέγεται βραχυκύκλωμα όταν η τάση του κλάδου είναι μηδενική και η ένταση κλάδου έχει αυθαίρετη τιμή.

Χαρακτηριστική $v-i$



Εκφυλισμένη περίπτωση γραμμικού χρονικά αμετάβλητου αντιστάτη είναι το ανοικτό-κύκλωμα (open circuit).

Ένα στοιχείο δύο ακροδεκτών λέγεται ανοικτό-κύκλωμα όταν η τάση του κλάδου έχει αυθαίρετη τιμή και η ένταση κλάδου είναι μηδενική.

Βραχυκύκλωμα & ανοικτό κύκλωμα

2.35

Βραχυκύκλωμα: $R=0$ & $G \rightarrow \infty$

Ανοικτό-κύκλωμα: $G=0$ & $R \rightarrow \infty$

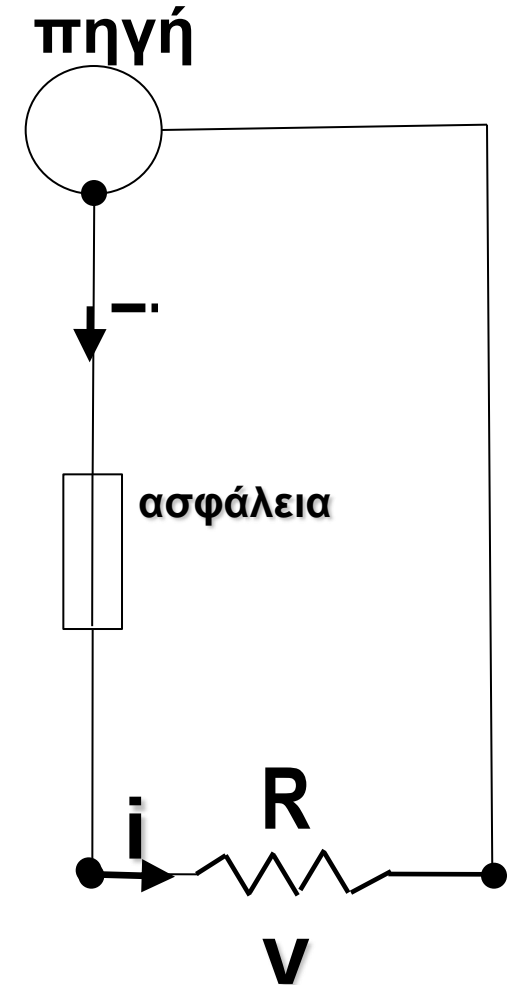
Παραδείγματα αντιστατών.

Γιατί δεν πρέπει να βραχυκυκλώνουμε

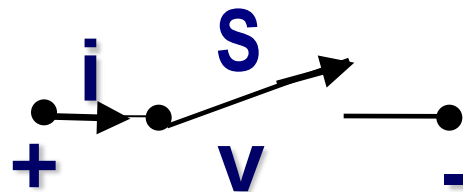
τις ασφάλειες?

ασφάλεια 10 A - κάθε Συρματάκι 5 A –

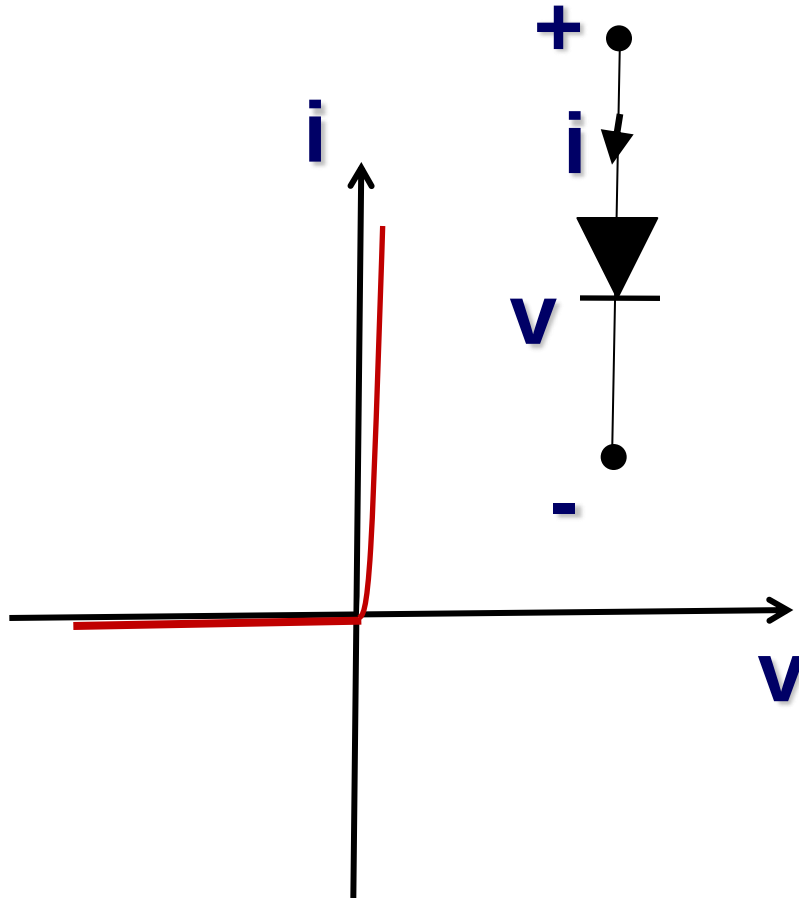
Αλουμινόχαρτο ?



Ο διακόπτης (switch) είναι ένα στοιχείο δύο ακροδεκτών που συνδυάζει τις ιδιότητες του ανοικτού κυκλώματος (ανοικτός διακόπτης) και τις ιδιότητες του βραχυκυκλώματος (κλειστό κύκλωμα).



Δίοδος επαφής (junction diode)



Χαρακτηριστική της διόδου επαφής:

$$i(t) = I_s (e^{q \cdot v(t)/KT} - 1)$$

I_s : το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο όταν $v(t) < 0$ (ανάστροφο ρεύμα)

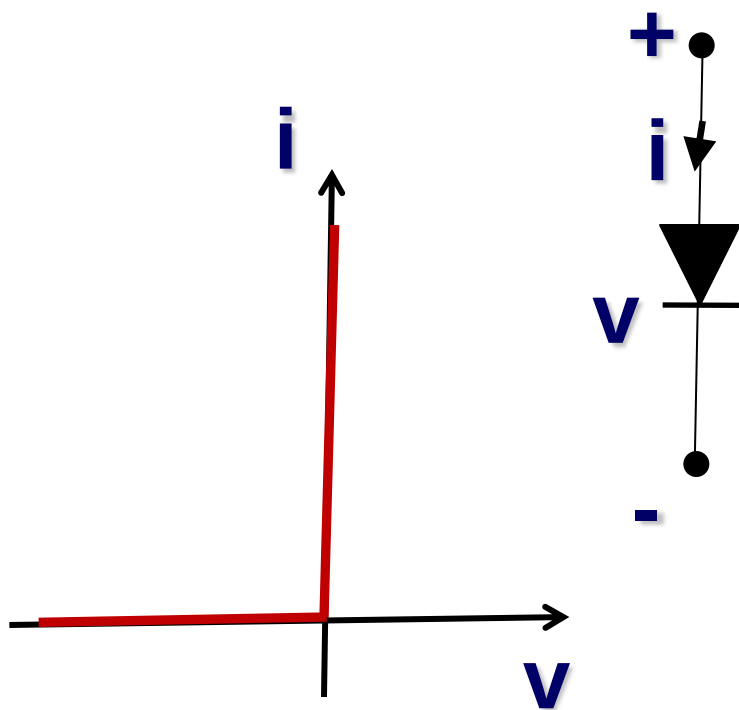
q : φορτίο ηλεκτρονίου

K : σταθερά Boltzmann

T : απόλυτη θερμοκρασία

Δίοδος επαφής (junction diode)

Για απλοποίηση → Προσέγγιση Χαρακτηριστικής με ευθύγραμμα τμήματα



α) Ιδανική δίοδος

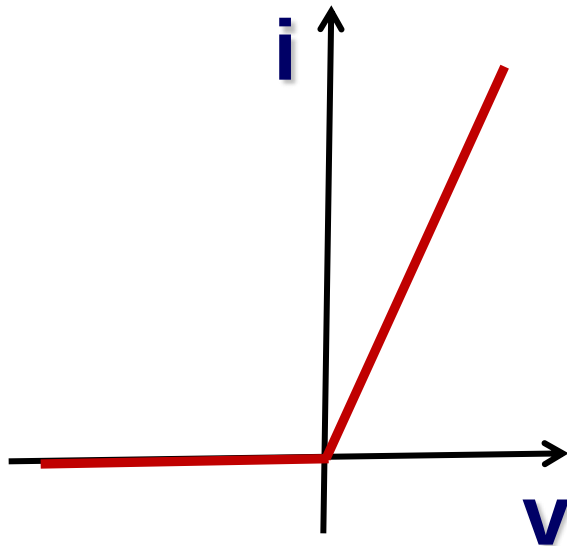
Στη περίπτωση ορθής πόλωσης: $v(t) > 0$, η δίοδος παρουσιάζει συμπεριφορά βραχυκυκλώματος.

Στη περίπτωση ανάστροφης πόλωσης: $v(t) < 0$, η δίοδος παρουσιάζει συμπεριφορά ανοικτού κυκλώματος.

Δίοδος επαφής (junction diode)

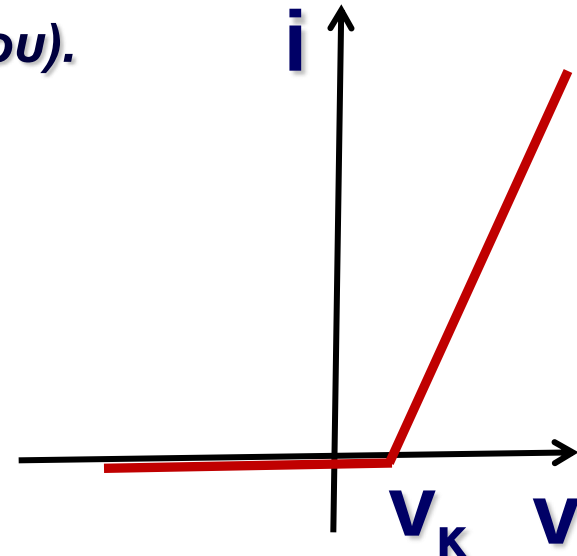
Για απλοποίηση → Προσέγγιση Χαρακτηριστικής με ευθύγραμμα τμήματα

β) Στη περίπτωση ορθής πόλωσης η δίοδος παρουσιάζει αντίσταση.



Π.χ. Εφαρμογές σε ηλεκτρονικά ισχύος

γ) Η δίοδος διαρρέεται από ρεύμα στη περίπτωση κατά την οποία η τάση $V(t) > V_k$ (υπερβεί την τάση κατωφλίου V_k της διόδου).



Στατική και δυναμική αντίσταση

2.40

Στη περίπτωση μη γραμμικού αντιστάτη ορίζονται τα μεγέθη της στατικής και της δυναμικής αντίστασης.

Στατική:

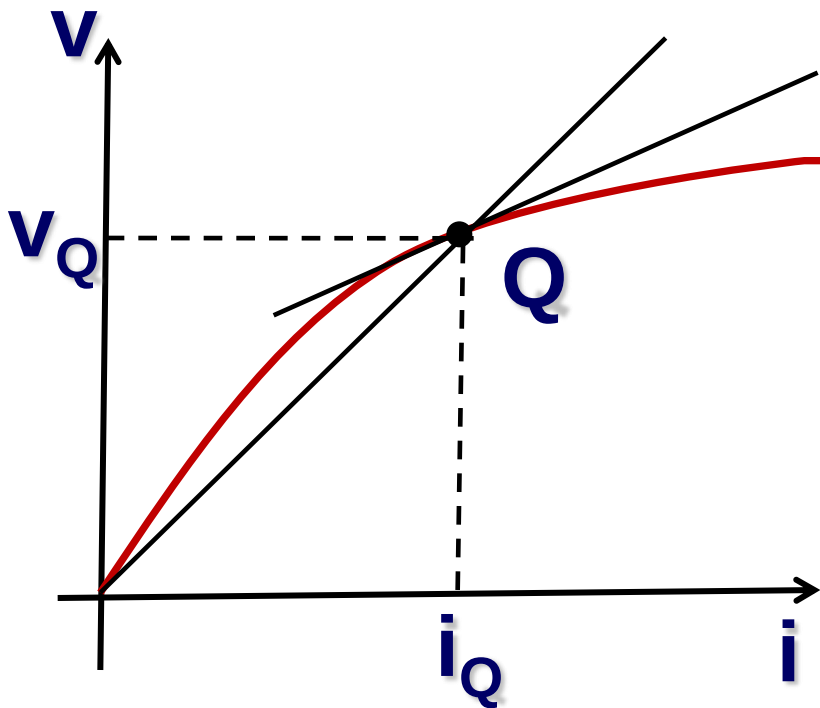
$$R_{st} = V_Q / I_Q$$

Κλίση της ευθείας που συνδέει την αρχή των αξόνων με το σημείο λειτουργίας Q του μη γραμμικού αντιστάτη.

Δυναμική:

$$R_{dyn} = (dV/di)|_{Q(V_Q, I_Q)}$$

Κλίση της εφαπτομένης της χαρακτηριστικής στο σημείο λειτουργίας Q



Ηλεκτρικά στοιχεία δύο ακροδεκτών που προκαλούν τις διεγέρσεις των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

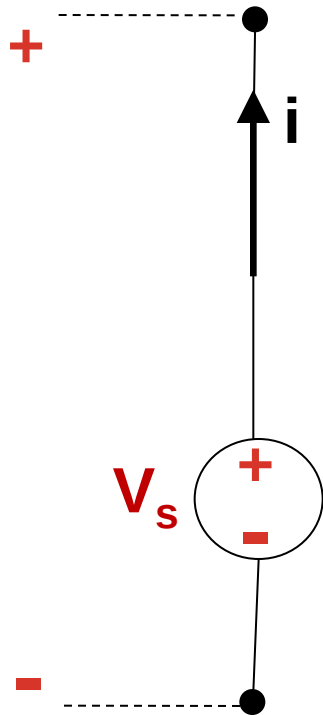
Διακρίνονται σε:

→ Ανεξάρτητες (independent source)

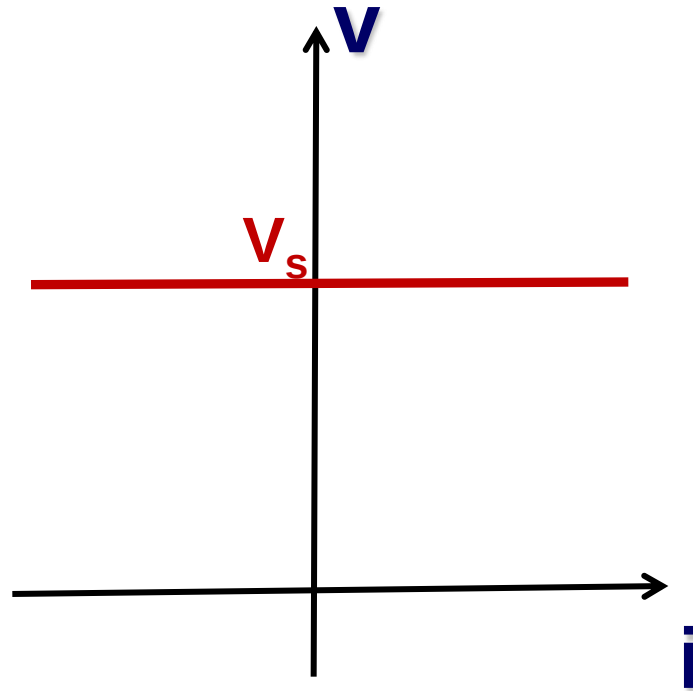
→ Ανεξάρτητη πηγή τάσης

→ Ανεξάρτητη πηγή έντασης

→ Εξαρτημένες ή ελεγχόμενες (controlled source)

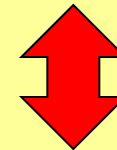


Σύμβολο



Χαρακτηριστική $v-i$

Χαρακτηρίζεται από μια τάση στα άκρα της $\rightarrow$ η οποία είναι τελείως ανεξάρτητη από το ρεύμα που διέρχεται μέσω αυτής.

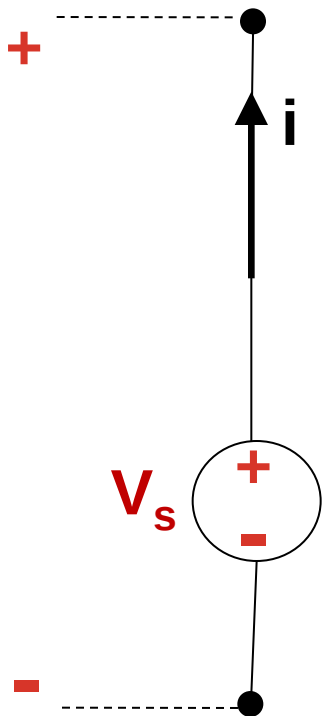


Η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του (τάση κλάδου) $\rightarrow$ είναι ανεξάρτητη από το ρεύμα που το διαρρέει (ρεύμα κλάδου)

Αν μας δοθεί μια ανεξάρτητη πηγή τάσης και η τιμή στα άκρα της είναι: $v_s = 60 \cdot t^2$ Volt

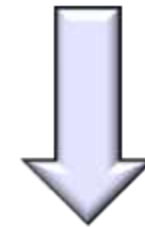
..... ποια θα είναι η τάση όταν $t=2$ sec ?

$v_s = 60 \cdot 2^2 = 240$ Volt Ανεξάρτητα από το ρεύμα που έρεε, ρέει η πρόκειται να ρέει.

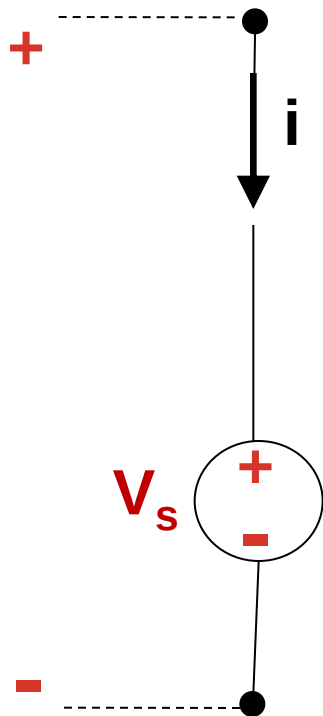


Ως φορά αναφοράς του ρεύματος της πηγής τάσης θεωρείται η αντίθετη της συζευγμένης φοράς αναφοράς → τα θετικά φορτία ρέουν από τον κόμβο με το χαμηλότερο δυναμικό προς τον κόμβο με το υψηλότερο δυναμικό.

↓ Συζευγμένη φορά αναφοράς



$$\text{Ισχύς} = v(t) \cdot i(t) < 0$$



....τα θετικά φορτία ρέουν από τον κόμβο με το υψηλότερο δυναμικό προς τον κόμβο με το χαμηλότερο δυναμικό.

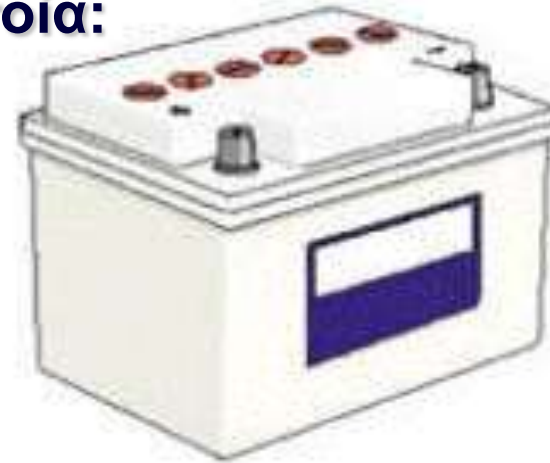
↓ Συζευγμένη φορά αναφοράς

$$\text{Ισχύς} = v(t) \cdot i(t) > 0$$

....το ρεύμα εισέρχεται στο άκρο στο οποίο βρίσκεται το θετικό πρόσημο και η πηγή απορροφά ισχύ.

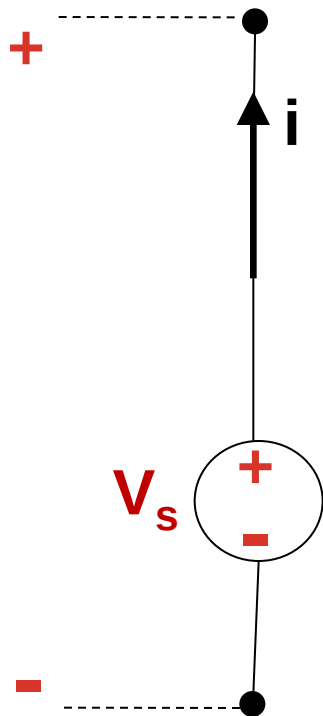
Να αναφερθεί παράδειγμα πηγής η οποία:

- ❖ Απορροφά ισχύ
- ❖ Παρέχει ισχύ

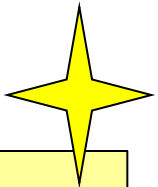
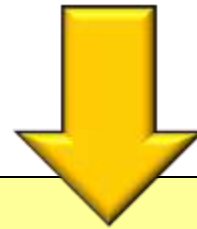


Να περιγραφούν οι δύο λειτουργίες της:

- ❖ Απόδοση ενέργειας (το ρεύμα βγαίνει έξω από τον θετικό πόλο → προμήθεια ισχύος στους προβολείς (εκφόρτιση))
- ❖ Αποθήκευση ενέργειας (το ρεύμα εισέρχεται από τον θετικό πόλο) → φόρτιση μπαταρίας.

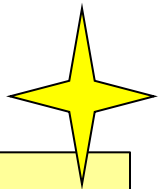
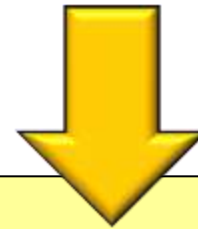


Η παρουσία του θετικού συμβόλου στο πάνω άκρο του συμβόλου της ανεξάρτητης πηγής τάσης δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το πάνω άκρο είναι πάντα θετικό σε σχέση με το κάτω άκρο.

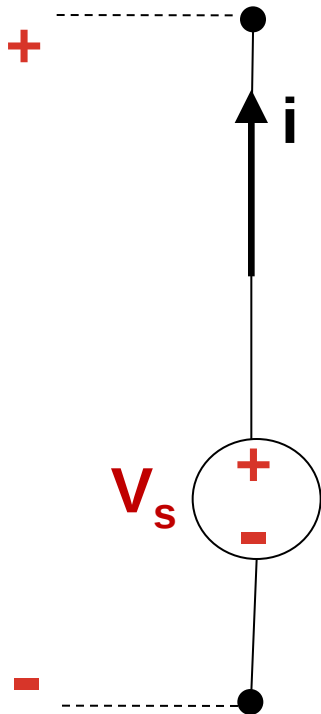


Σημαίνει πως το πάνω άκρο είναι v_s Volts θετικό σε σχέση με το κάτω άκρο.

Τι συμβαίνει εάν κάποια στιγμή το V_s τύχει να είναι αρνητικό?



Το πάνω άκρο είναι στην πραγματικότητα αρνητικό σε σχέση με το κάτω την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.



Γραμμικό ή μη γραμμικό στοιχείο?

Η χαρακτηριστική της διέρχεται από την αρχή των αξόνων?

Πηγή τάσης $\rightarrow$ χρονικά αμετάβλητη $\rightarrow$ πηγή συνεχούς τάσης (DC πηγή τάσης) Αναφέρατε παράδειγμα DC πηγής τάσης.

Μια ιδανική πηγή θεωρητικά παρουσιάζει σταθερή διαφορά δυναμικού στους πόλους της σε οποιασδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

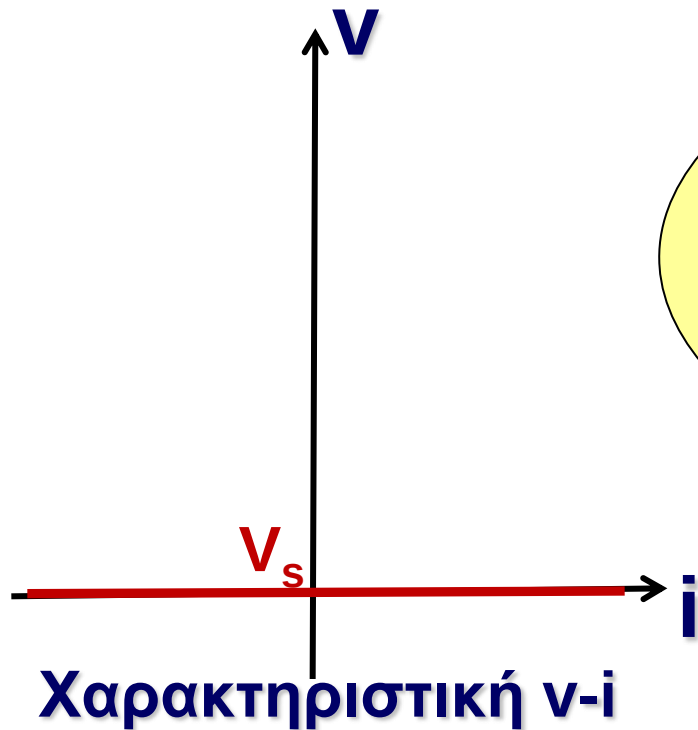


Γιατί η ανεξάρτητη πηγή τάσης ονομάζεται ιδανική πηγή τάσης?

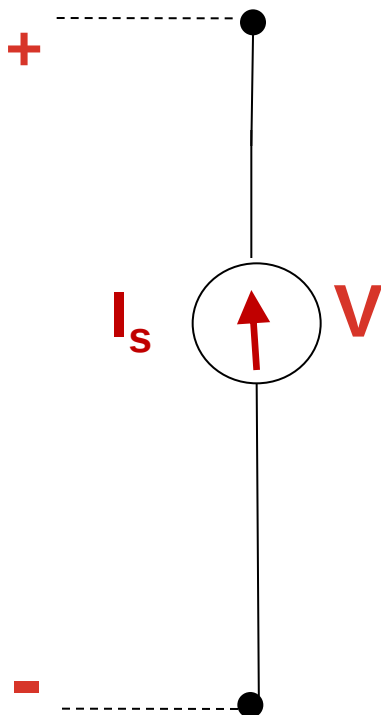
Ανεξάρτητη πηγή τάσης (9/9)

Νεκρή πηγή τάσης

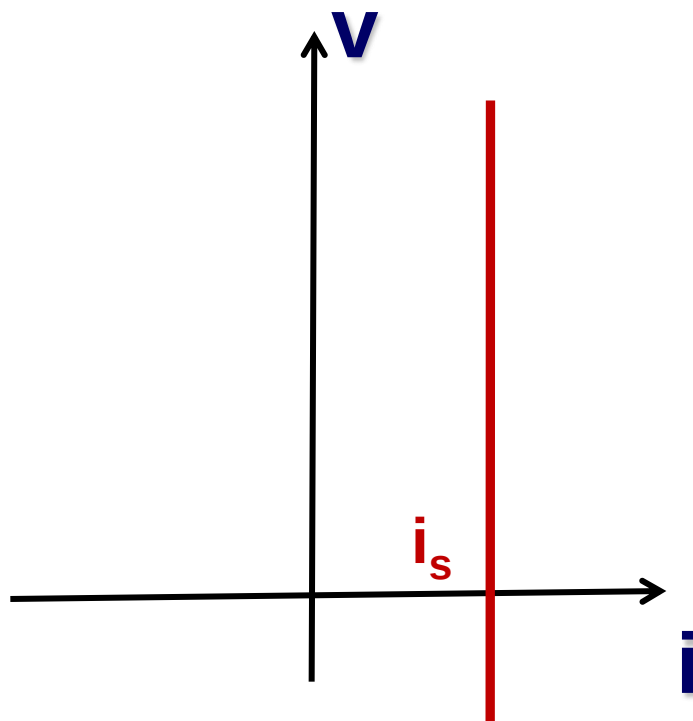
Τι συμβαίνει όταν $V_s = 0$? $\rightarrow$



Η χαρακτηριστική ταυτίζεται με τον οριζόντιο άξονα $\rightarrow$ βραχυκύκλωμα (νεκρή πηγή τάσης)



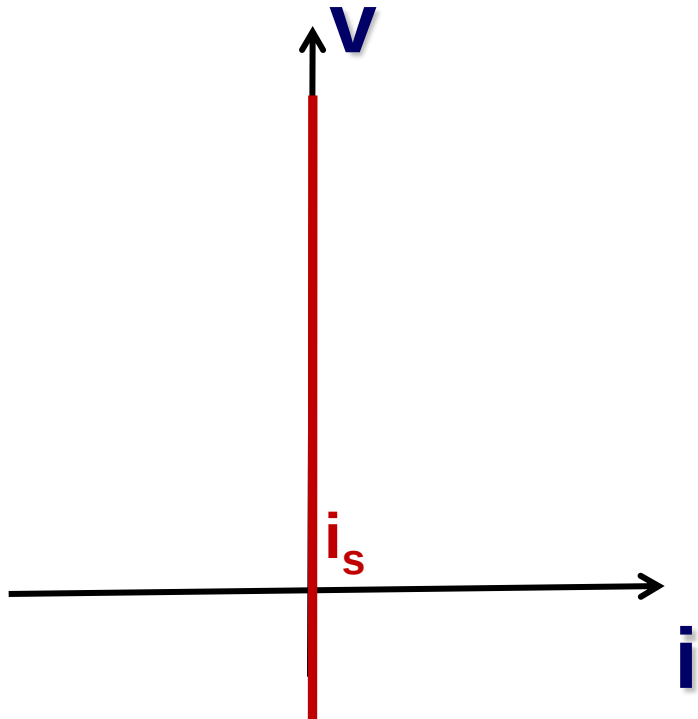
Σύμβολο



Χαρακτηριστική v-i

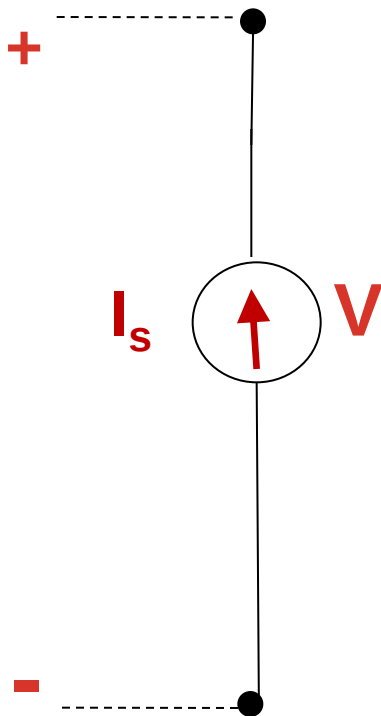
Το ρεύμα του κλάδου
είναι ανεξάρτητο από
την τάση κλάδου

Μη γραμμικό
στοιχείο → η
χαρακτηριστική
δεν διέρχεται από
την αρχή των
αξόνων



Η χαρακτηριστική ταυτίζεται με τον κάθετο άξονα $\rightarrow$ ανοικτό κύκλωμα (νεκρή πηγή ρεύματος)

Χαρακτηριστική $v-i$



Όμοια με την περίπτωση της πηγής τάσης $\rightarrow$ δεν χρησιμοποιούνται συζευγμένες φορές ρεύματος.

Σύμβολο

Η διασύνδεση δύο ή περισσότερων απλών στοιχείων κυκλώματος →λέγεται → **Ηλεκτρικό δίκτυο**

Εάν το δίκτυο περιέχει τουλάχιστον μια κλειστή διαδρομή είναι και **ηλεκτρικό κύκλωμα.**

Ένα δίκτυο που περιέχει τουλάχιστον ένα ενεργό στοιχείο (π.χ. ανεξάρτητη πηγή ρεύματος / τάσης) → λέγεται → ενεργό δίκτυο Διαφορετικά (μόνο παθητικά στοιχεία) λέγεται **παθητικό δίκτυο.**