

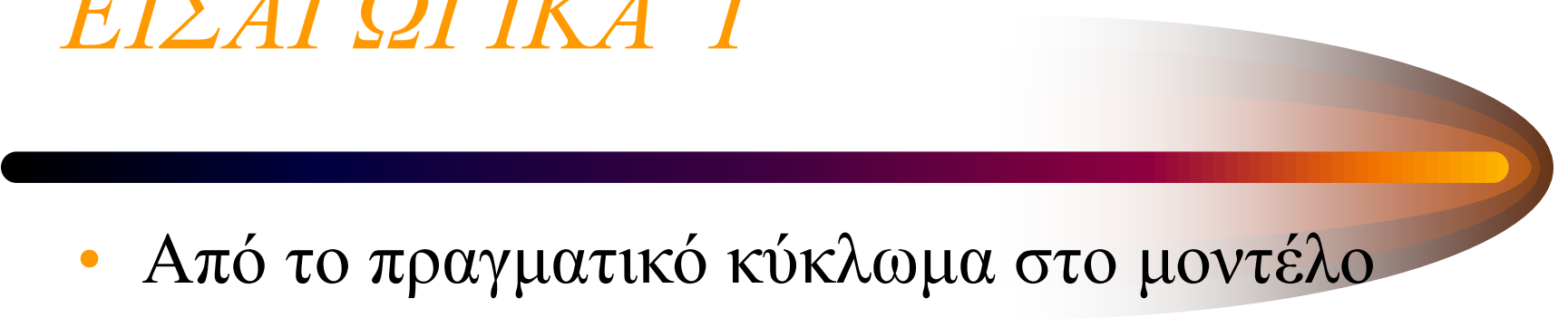
*ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ*



ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ Ι

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ I



- Από το πραγματικό κύκλωμα στο μοντέλο
- Μαθηματική μοντελοποίηση
- Η θεωρία κυκλωμάτων είναι ειδική περίπτωση της θεωρίας τού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και της θεωρίας συστημάτων
- Προσέγγιση βασισμένη στη θεωρία συστημάτων



Στην περίπτωση της ηλεκτρολογικής
επιστήμης το κουτί είναι σχεδόν λευκό

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ II



- Βασικές έννοιες: **ρεύμα, τάση, ισχύς**
- Συγκεντρωμένα κυκλώματα
(μικρό μέγεθος σε σχέση με τη μέγιστη συχνότητα λειτουργίας)
- Κλάδοι – Κόμβοι
- Τάση κλάδου—Ρεύμα κλάδου

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ II



- Διεύθυνση αναφοράς (**ΣΥΜΒΑΣΗ**) [για την έναρξη της ανάλυσης]
- Παραγωγή ή απορρόφηση ισχύος (**ΣΥΜΒΑΣΗ**)
- **Η πλήρης ανάλυση ενός κυκλώματος συνίσταται στον προσδιορισμό όλων των τάσεων των κλάδων και όλων των ρευμάτων των κλάδων**

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ II

- Βασικές έννοιες: ρεύμα, τάση, ισχύς
- Τάση κλάδου—Ρεύμα κλάδου
- Σημειώνετε ΠΑΝΤΑ:
 - Την πολικότητα κάθε τάσης που ορίζετε
 - Την κατεύθυνση κάθε ρεύματος που ορίζετε

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ



- Γραμμικά
- Μη γραμμικά
- Χρονικά αμετάβλητα
- Χρονικά μεταβαλλόμενα

$\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ Γραμμικά, χρονικά αμετάβλητα

NOMOI KIRCHHOFF



- **Νόμος ρευμάτων τού Kirchhoff (KCL)**

Για οποιοδήποτε συγκεντρωμένο κύκλωμα, για οποιονδήποτε από τους κόμβους του, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ρευμάτων κλάδου σε ένα κόμβο είναι μηδέν

- **Νόμος τάσεων τού Kirchhoff (KVL)**

Για οποιοδήποτε συγκεντρωμένο κύκλωμα, για οποιονδήποτε από τους βρόχους του, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, το αλγεβρικό άθροισμα όλων των τάσεων κλάδου σε ένα βρόχο είναι μηδέν

Στοιχεία κυκλωμάτων

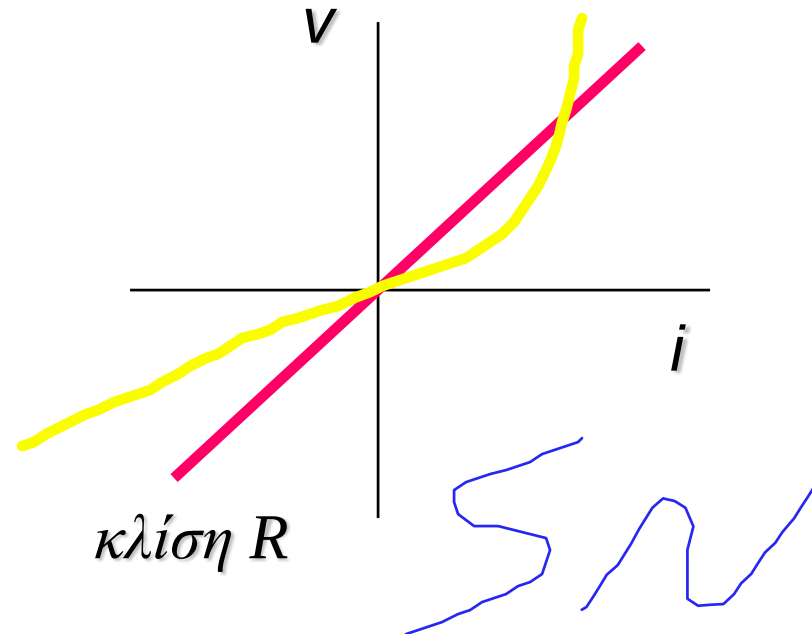
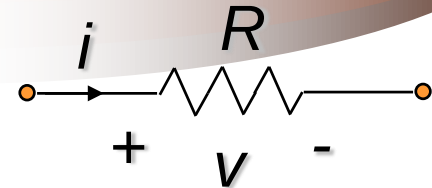
- 
- 
- Πραγματικά στοιχεία
 - Ιδανικά στοιχεία
 - Αντιστάτες
 - Πηγές τάσης
 - Πηγές ρεύματος
 - Πυκνωτές
 - Επαγωγοί
- Μοντελοποίηση

Αντιστάτης

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

Γραμμικός, χρονικά αμετάβλητος

- $i(t) = G(t) v(t)$
αγωγιμότητα

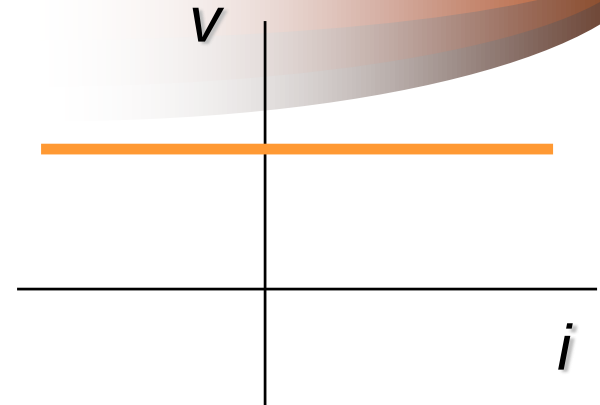


Πηγές

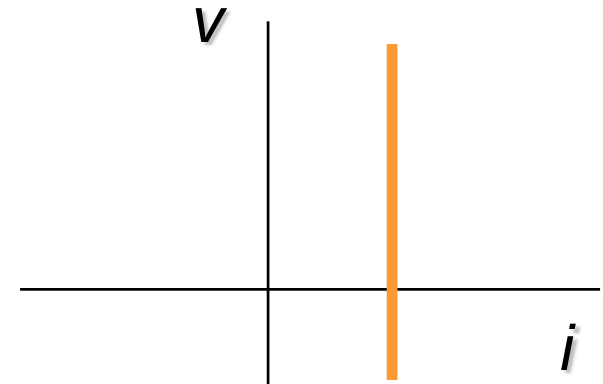
- Πηγή τάσης



dc

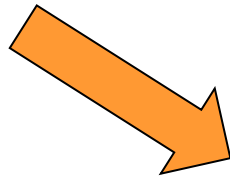


- Πηγή ρεύματος

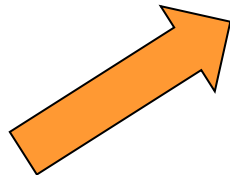


Πηγές

- Πηγές τάσης



- Πηγές ρεύματος



- **Ανεξάρτητες**
- **Εξαρτημένες**

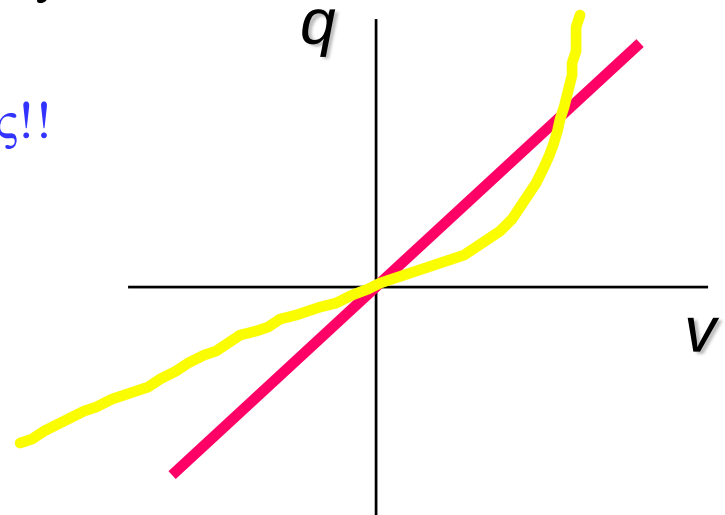
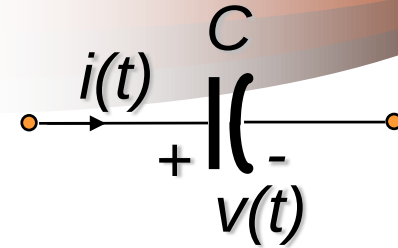
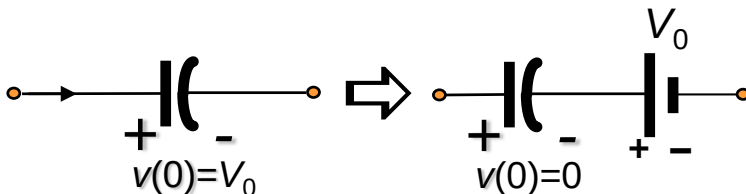
Πυκνωτής

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

Γραμμικός, χρονικά αμετάβλητος

- $i(t) = C dv(t) / dt$ συνεχής!!

$$v(t) = v(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau$$



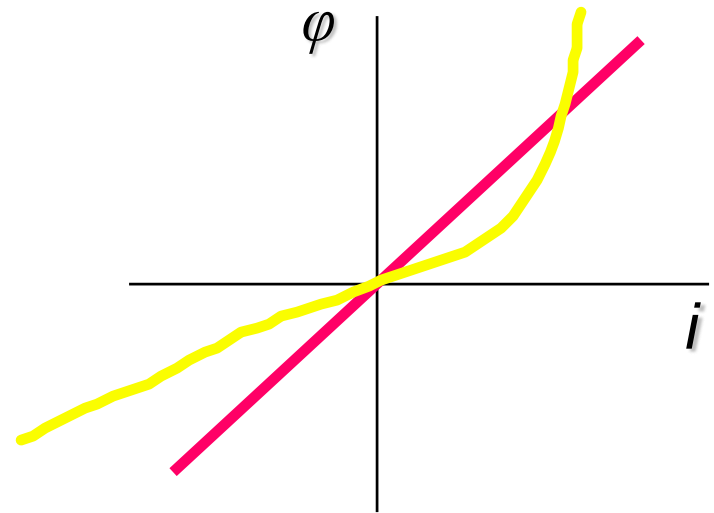
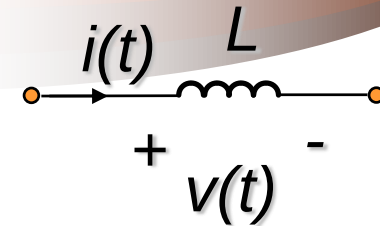
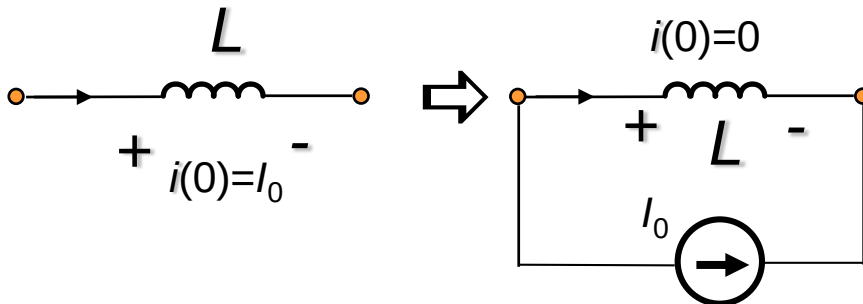
Επαγωγός

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

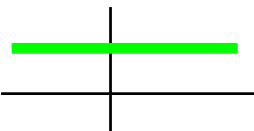
Γραμμικός, χρονικά αμετάβλητος

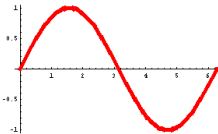
- $v(t) = L di(t) / dt$ συνεχής !!

$$i(t) = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t v(\tau) d\tau$$

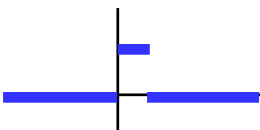


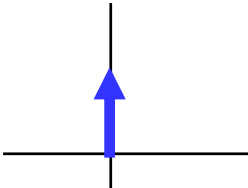
Κυματομορφές

- Σταθερή 

- Ημιτονοειδής 

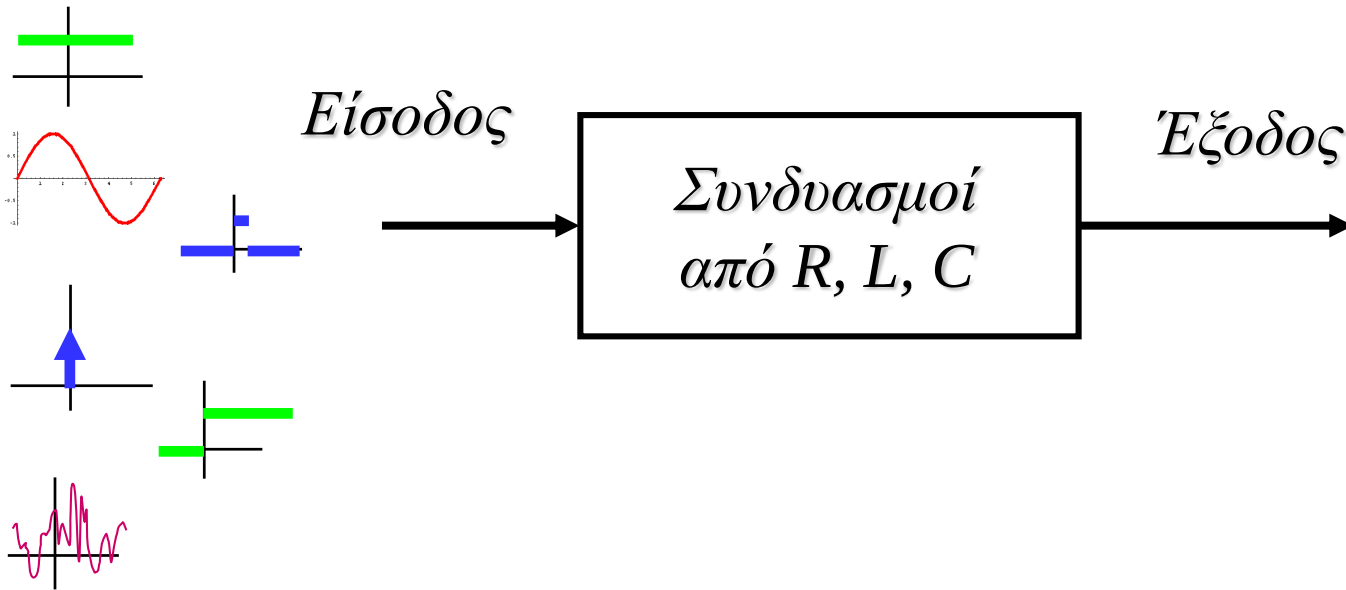
- Μοναδιαία βηματική 

- Παλμός 

- Μοναδιαία κρουστική 

Ανάλυση κυκλωμάτων

Προσδιορισμός τής εξόδου (απόκρισης) για συγκεκριμένη είσοδο (διέγερση)

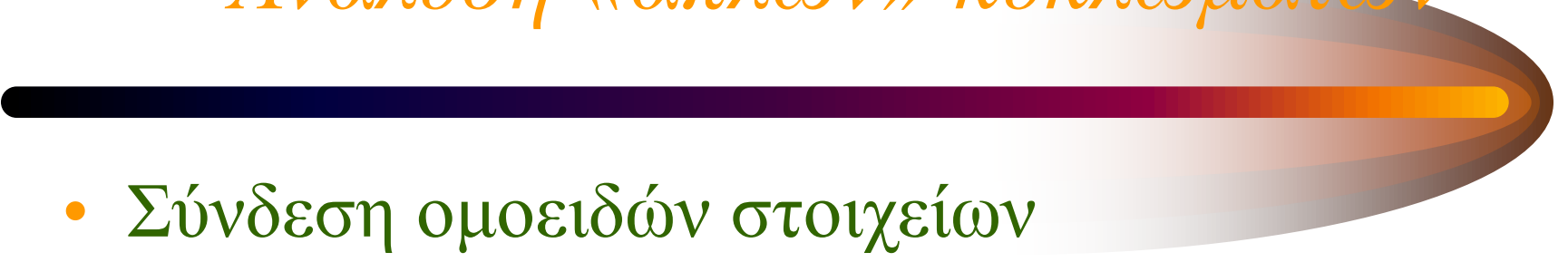


Ανάλυση κυκλωμάτων



- Τοπολογικοί περιορισμοί
(από τους νόμους τού Kirchhoff που δεν εξαρτώνται από τη φύση των στοιχείων αλλά μόνο από τον τρόπο που συνδέονται μεταξύ τους)
- Σχέσεις μεταξύ ρεύματος και τάσης για κάθε στοιχείο
- Αρχίζοντας από απλά κυκλώματα (αντιστάτες και πηγές) θα προχωρήσουμε προς τα πολύπλοκα
- Καταναλωνόμενη και αποδιδόμενη ισχύς

🔑 Ανάλυση «απλών» κυκλωμάτων



- Σύνδεση ομοειδών στοιχείων
 - Σύνδεση σε σειρά
 - Σύνδεση παράλληλα
- Απλοί συνδυασμοί με αντιστάτες
- Απλοί συνδυασμοί με πυκνωτές
- Απλοί συνδυασμοί με επαγωγούς

🔑 *Ανάλυση «απλών» κυκλωμάτων*

Κυκλώματα με αντιστάσεις και πηγές

- Διαιρέτης τάσης
- Διαιρέτης ρεύματος
- Γέφυρα Wheatstone
- Μετασχηματισμός αστέρα-τρίγωνου (Δ -Y)



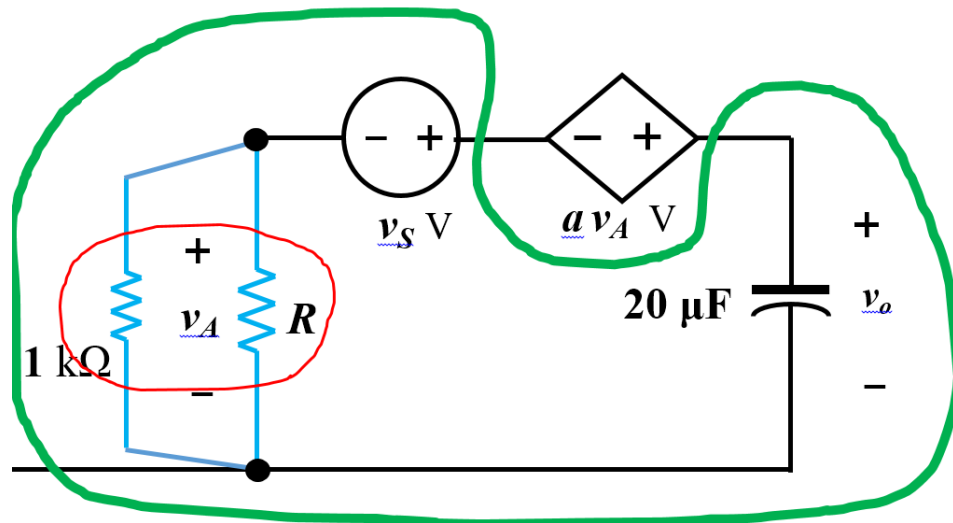
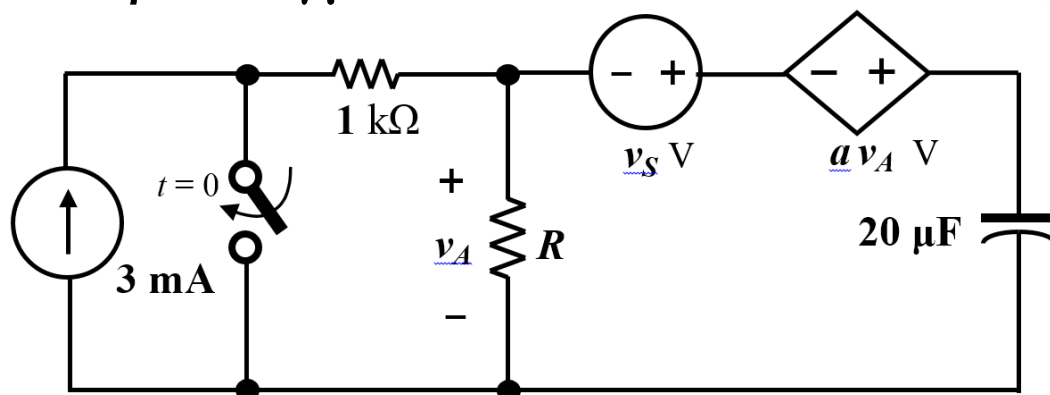
ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

- Στα ηλεκτρικά κυκλώματα, κάποιες διασυνδέσεις ή περιπτώσεις με εύκολη ή απλή λύση εμφανίζονται πολύ συχνά στην πράξη:
 - Διαιρέτης τάσης, Διαιρέτης ρεύματος
 - Γέφυρα Wheatstone
 - Μετασχηματισμός αστέρα-τριγώνου (Δ -Y)
 - Βηματική απόκριση κυκλώματος RC/RL
- Η απλή και εύκολη λύση ισχύει όταν το κύκλωμα που μας ενδιαφέρει είναι **ακριβώς ίδιο** με το κύκλωμα που μας έδωσε το «έτοιμο» αποτέλεσμα
- Η παραμικρή αλλαγή απαγορεύει την εφαρμογή τού «έτοιμου» αποτελέσματος (χωρίς επέμβαση)



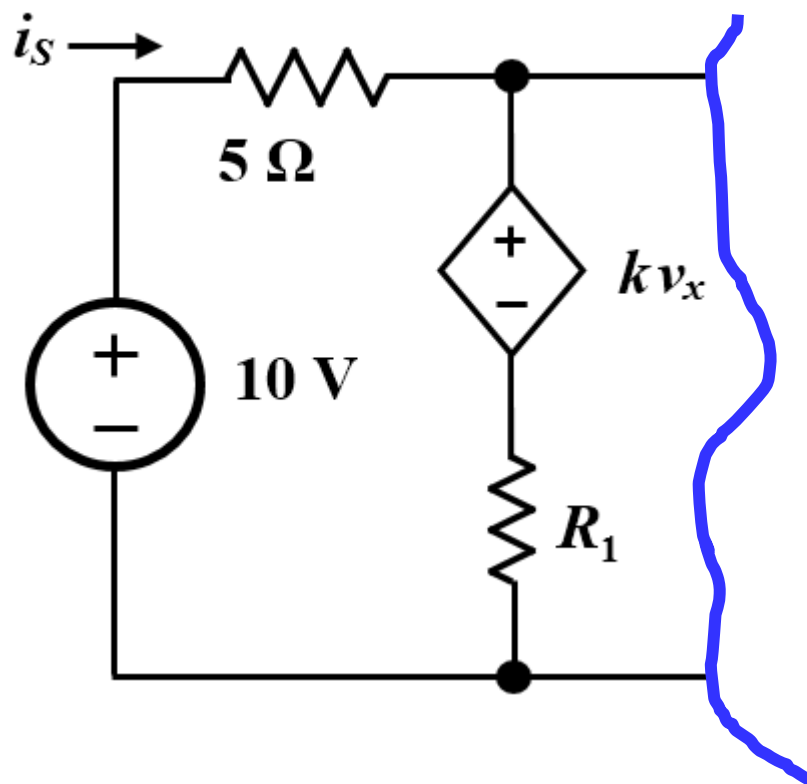
ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

- Παράδειγμα:



🔑 ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

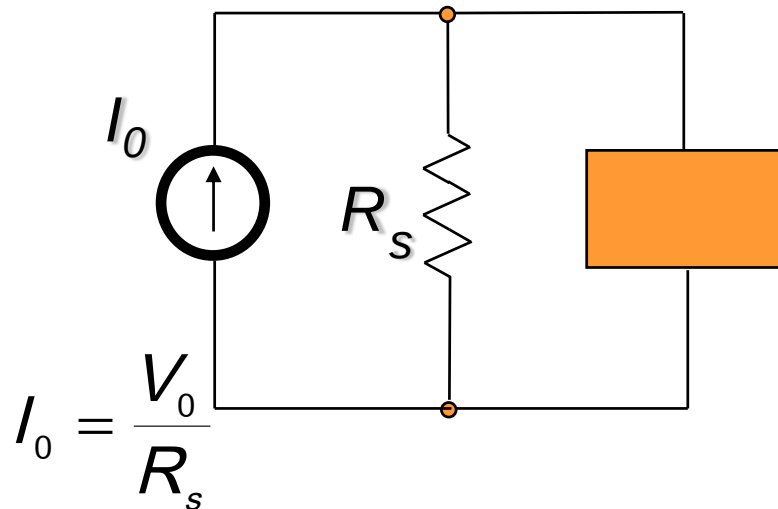
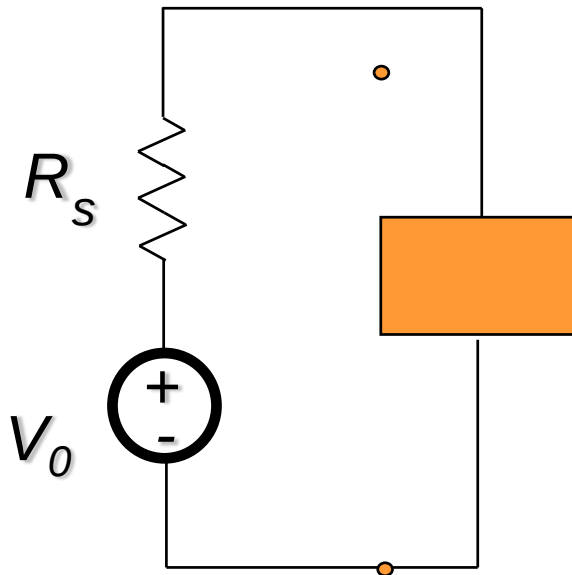
- Χειρότερο παράδειγμα:



$$\cancel{i_s = \frac{10}{5} = 2}$$

🔑 Απλοποίηση και ισοδύναμα κυκλώματα

- Μετασχηματισμοί πηγών
- Ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin-Norton
- Υπέρθεση (επαλληλία)





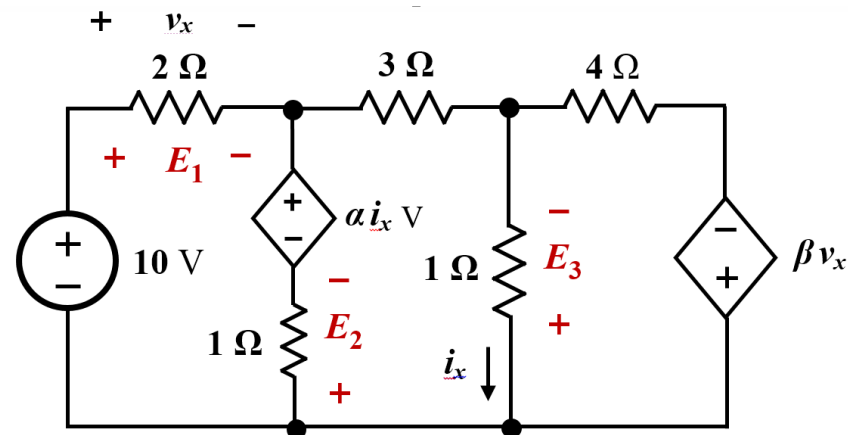
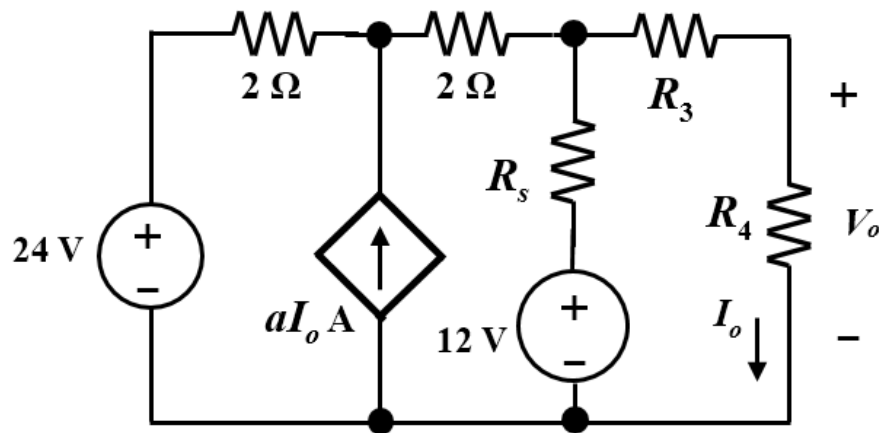
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

- Μέθοδος κομβικών τάσεων
- Μέθοδος βροχικών (διανοιγματικών) εντάσεων
- Προσεκτική προετοιμασία
 - επανασχεδιασμός του κυκλώματος, αν χρειάζεται
 - εκτίμηση αριθμού απαραίτητων εξισώσεων για την επίλυση
 - επιλογή μεθόδου



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

- Μέθοδος κομβικών τάσεων
- Μέθοδος βροχικών (διανοιγματικών) εντάσεων
- Ναι, λύνουν τα πάντα...
- ...αλλά όχι υπερβολές



«ΔΥΝΑΜΙΚΑ» ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Ανάλυση «σύνθετων» κυκλωμάτων



- Γραμμικά / Χρονικά αμετάβλητα
- Είδος διέγερσης (σήματος εισόδου)
 - Κρουστική (πιο «θεωρητική»)
 - **Βηματική** (πιο «πρακτική»)
 - **Ημιτονοειδής** (πιο «πρακτική»)

Ανάλυση «σύνθετων» κυκλωμάτων



- Είδος απόκρισης
 - Μηδενικής διέγερσης (φυσική απόκριση στην αποθηκευμένη ενέργεια)
 - Μηδενικής (αρχικής) κατάστασης
 - Πλήρης
- Τάξη (1η, 2η, ανώτερη)

ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ

- **Απόκριση μηδενικής διέγερσης (ΑΜΔ):**

όταν το κύκλωμα δεν δέχεται καμία διέγερση (είσοδο)

[οφείλεται αποκλειστικά στις αρχικές συνθήκες] λύση ομογενούς διαφ. εξισ.

- **Απόκριση μηδενικής κατάστασης (ΑΜΚ):**

απόκριση σε διέγερση όταν το κύκλωμα βρίσκεται αρχικά σε

ηρεμία (αρχικές συνθήκες μηδέν) [οφείλεται αποκλειστικά στην είσοδο]

λύση ομογενούς διαφ. εξισ. με μηδενικές αρχικές συνθήκες + μερική λύση

- **Πλήρης απόκριση (ΑΜΔ + ΑΜΚ):**

μεταβατική απόκριση

+

μόνιμη απόκριση



φυσική δυναμική + επίδραση εισόδου
από αποθηκευμένη ενέργεια

+

επίδραση εισόδου

... ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ (+ γραμμικά)

- Απόκριση σε βηματική διέγερση
- Απόκριση σε κρουστική διέγερση

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η απόκριση μηδενικής διέγερσης είναι γραμμική συνάρτηση της αρχικής κατάστασης
- Η απόκριση μηδενικής κατάστασης είναι γραμμική συνάρτηση της κυματομορφής διέγερσης
- Πλήρης απόκριση: Άθροισμα της απόκρισης μηδενικής διέγερσης και της απόκρισης μηδενικής κατάστασης

... ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ (+ χρονικά αμετάβλητα)

- Η απόκριση μηδενικής κατάστασης για μετατοπισμένη διέγερση είναι ίση με τη μετατόπιση της απόκρισης μηδενικής κατάστασης για κανονική διέγερση
- Η απόκριση σε κρουστική διέγερση είναι η παράγωγος της απόκρισης σε βηματική διέγερση

$$h(t) = ds(t)/dt$$

Κυκλώματα πρώτης τάξης

- Κυκλώματα RC, RL παράλληλα και σε σειρά
- Μαθηματικό μοντέλο: γραμμική διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης
- Προσοχή στις ανώμαλες εισόδους
 - Μετατροπή σε πιο εύκολο πρόβλημα (προσέγγιση με παλμική ή ολοκλήρωση $0^- \rightarrow 0^+$)
 - Έμμεση λύση
- Γενικός τύπος για την πλήρη απόκριση σε βηματική είσοδο

Κυκλώματα δεύτερης τάξης

- Κύκλωμα RLC παράλληλα και σε σειρά
- Μαθηματικό μοντέλο: γραμμική διαφορική εξίσωση δεύτερης τάξης
- ! Δυνατότητα ταλαντώσεων
(υποκρίσιμη περίπτωση)
- Αναπαράσταση των φυσικών συχνοτήτων στο μιγαδικό επίπεδο
- Δυσαικότητα

Κυκλώματα πρώτης και δεύτερης τάξης

- Για τον προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών:
- Μετά από πολύ χρόνο λειτουργίας, ο πυκνωτής γίνεται ανοιχτό κύκλωμα και το πηνίο γίνεται βραχυκύκλωμα...
- ...**ΜΟΝΟ ΟΤΑΝ** το κύκλωμα διεγείρεται μόνο από σταθερή είσοδο (dc)

ΜΟΝΙΜΗ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- **Σχέση-κλειδί** (Μετασχηματισμός στο πεδίο συχνότητας):

$$\mathbf{A} = A_m e^{j\varphi}$$

Φάσορας

$$\text{Re}[\mathbf{A}e^{j\omega t}] = A_m \cos(\omega t + \varphi)$$

Στρεφόμενος
φάσορας

- **Θεώρημα-κλειδί:**

Το αλγεβρικό άθροισμα οποιουδήποτε αριθμού ημιτονοειδών τής ίδιας γωνιακής συχνότητας και οποιουδήποτε αριθμού παραγώγων τους οποιασδήποτε τάξης, είναι επίσης ημιτονοειδής τής ίδιας γωνιακής συχνότητας

ΜΗΚ (steady state + sinusoidal)

Φάσορες και διαφορικές εξισώσεις

- Για ασυμπτωτικά ευσταθή, γραμμικά, χρονικά αμετάβλητα κυκλώματα, η απόκριση στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση είναι η απόκριση σε μια ημιτονοειδή είσοδο καθώς ο χρόνος τείνει στο άπειρο
- Η ΜΗΚ είναι ανεξάρτητη από την αρχική κατάσταση του κυκλώματος (οι αρχικές συνθήκες έχουν «ξεχαστεί»)
- Ίδιας συχνότητας με τη διεγείρουσα ημιτονοειδή
- Οι φάσορες ορίζουν άμεσα τη μερική λύση

ΜΗΚ: Εμπέδηση και δεκτικότητα στοιχείων κυκλωμάτων

- Χαρακτηρισμός στοιχείων στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση
- **ΕΜΠΕΔΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ**: ο λόγος τού φάσора της τάσης εξόδου προς τον φάσора του ρεύματος εισόδου

$$\mathbf{V} = \{R, j\omega L, 1/j\omega C\} \mathbf{I}$$

- **ΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ**: ο λόγος τού φάσора του ρεύματος εξόδου προς τον φάσора της τάσης εισόδου

$$\mathbf{I} = \{G, 1/j\omega L, j\omega C\} \mathbf{V}$$

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΜΗΚ

 (Απλοποιήσεις) +

- Μέθοδος κομβικών τάσεων στη ΜΗΚ
- Μέθοδος βροχικών εντάσεων στη ΜΗΚ
- Συντονισμός
- Απόκριση συχνότητας
- Ισχύς στη ΜΗΚ (στιγμιαία, μέση, ενεργός)

Μόνιμη Κατάσταση



- Ισχύει η αρχή τής επαλληλίας
(**ΠΡΟΣΟΧΗ**: Τελική άθροιση στο πεδίο τού χρόνου)
- **Συνάρτηση δικτύου** (συνάρτηση μεταφοράς):
Ο λόγος τού φάσορα εξόδου προς τον φάσορα εισόδου



ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΕΠΙΛΟΓΟΣ Ι



Η γραμμική θεωρία κυκλωμάτων
είναι απλή:

- Ρεύμα
- Τάση
- Νόμοι Kirchhoff

Η μη γραμμική όμως περιλαμβάνει ακόμα και
χαοτική συμπεριφορά.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ II



- Τι καταφέραμε:
 - Τη δημιουργία βάσης για την ανάλυση και τον σχεδιασμό ηλεκτρικών κυκλωμάτων
 - Την εισαγωγή και γνωριμία με τη φιλοσοφία και τις τεχνικές τής θεωρίας συστημάτων
 - Εφαρμογή τής θεωρίας συστημάτων και τεχνικών μαθηματικής μοντελοποίησης στην ανάλυση κυκλωμάτων
 - Πραγματικά κυκλώματα (θερμαινόμενο τζάμι, φλας, διακόπτης προσέγγισης, ηλεκτροπληξία)

ΕΠΙΛΟΓΟΣ III



- Ιδιότητες και χαρακτηριστικά για απλά στοιχεία κυκλωμάτων (αντιστάτης, πηγές, πυκνωτής, επαγωγός)
- Ισοδυναμία για ομοειδείς συνδεσμολογίες και τεχνικές απλοποίησης κυκλωμάτων
- Λεπτομερής ανάλυση γενικής συμπεριφοράς για βηματική, κρουστική, και ημιτονοειδή διέγερση

...ΕΠΙΛΟΓΟΣ III



- Απόκριση μηδενικής διέγερσης
- Απόκριση μηδενικής κατάστασης
- Πλήρης απόκριση
- Μεταβατική και μόνιμη κατάσταση
...για κυκλώματα 1ης και 2ης τάξης

...ΕΠΙΛΟΓΟΣ III

ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΓΝΩΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

Μέθοδος κομβικών τάσεων

και

Μέθοδος βροχικών εντάσεων

για

- 
- Απλά δίκτυα με πηγές και αντιστάτες
 - Γενικά δίκτυα (τελεστές εμπέδησης και δεκτικότητας)
 - Γενικά δίκτυα σε μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση (εμπέδηση και δεκτικότητα)

Συμβουλή για την ανάλυση



- Οι σχέσεις που μοντελοποιούν τη συμπεριφορά των στοιχείων, αν και απλές, εύκολα μπερδεύονται
- Ίσως λοιπόν αποδειχθεί καλό να υπάρχει ένας τρόπος ώστε ο παρακάτω πίνακας να μπορεί να αναπαραχθεί από μνήμης με 100% αξιοπιστία και στον οποίο μπορείτε εύκολα να ανατρέχετε κάθε φορά που χρειάζεται

ΠΙΝΑΚΑΣ-

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΓΕΝΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ		ΜΟΝΙΜΗ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	
R	$v = Ri$	$i = Gv$	$V = RI$	$I = GV$
L	$v = L \frac{di}{dt}$	$i = I_0 + \frac{1}{L} \int_0^t v d\tau$	$V = j\omega LI$	$I = \frac{-j}{L\omega} V$
	$v = L \mathbf{D}i$	$i = I_0 + \frac{1}{L \mathbf{D}} v$		
C	$v = V_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i d\tau$	$i = C \frac{dv}{dt}$	$V = \frac{-j}{C\omega} I$	$I = j\omega CV$
	$v = V_0 + \frac{1}{C \mathbf{D}} i$	$i = C \mathbf{D}v$		

ΠΡΟΣΕΧΩΣ...



- Αποδοτικές γενικές μέθοδοι ανάλυσης, ειδικά θέματα και γενικά θεωρήματα
- → Σήματα και συστήματα
- Εξειδικευμένες εφαρμογές τής θεωρίας:
 - Ενεργειακά κυκλώματα
 - Ηλεκτρονική (συμπεριλαμβανομένων μικρο/RF)
 - κλπ. κλπ. κλπ.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ—ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

