



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ Ι

Κωδ. ΜΚ18

Πρακτικές
συμβουλές
για την
καλύτερη
‘επαφή’ σας
με το μάθημα

1. Εγγραφή ως χρήστης στη σελίδα του μαθήματος στο e-class <https://eclass.uowm.gr/>
 - Υλικό (σημειώσεις, links, κ.ά.)
 - Επικοινωνία μέσω μηνυμάτων
 - npoulakis@uowm.gr για ζητήματα που αφορούν ΜΟΝΟ το θεωρητικό μέρος του μαθήματος
 - spaschoroulos@uowm.gr για ΟΠΟΙΔΗΠΟΤΕ ζήτημα αφορά το εργαστηριακό μέρος
2. Χρήση του on-line προγράμματος σχεδίασης και προσομοίωσης λειτουργίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων “MultisimLive” <https://www.multisim.com/>
2. Εγγραφή ως μέλος (member) στην ομάδα (Group) <https://www.multisim.com/groups/ece-uowm-mk18/>

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ I

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

Κεφάλαιο 1 - Ηλεκτρικά μεγέθη και στοιχεία κυκλωμάτων, Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI), τάση και ρεύμα, ενέργεια και ισχύς.

Κεφάλαιο 2 - Πηγές τάσης και ρεύματος, ηλεκτρική αντίσταση (νόμος του Ohm), νόμοι του Kirchhoff, ανάλυση κυκλώματος που περιέχει εξαρτημένες πηγές.

Κεφάλαιο 3 - Απλά ωμικά στοιχεία: Αντιστάσεις εν σειρά και παράλληλα, κυκλώματα διαιρέτη τάσης και διαιρέτη ρεύματος, μέτρηση τάσης και ρεύματος, μέτρηση αντίστασης – η γέφυρα Wheatstone, ισοδυναμία κυκλωμάτων τριγώνου και αστέρα (Π-σε-Τ)

Κεφάλαιο 4 - Τεχνικές ανάλυσης κυκλωμάτων: Μέθοδος τάσεων κόμβων με ανεξάρτητες ή/και εξαρτημένες πηγές και ειδικές περιπτώσεις . Μέθοδος των ρευμάτων βρόχων με ανεξάρτητες ή/και εξαρτημένες πηγές και ειδικές περιπτώσεις. Μετασχηματισμοί πηγών, ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin και Norton, Θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος, θεώρημα επαλληλίας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ I

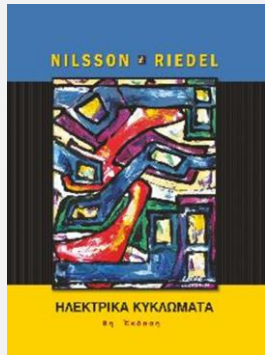
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

Κεφάλαιο 5 – Αυτεπαγωγή, χωρητικότητα: Συνδυασμοί σε σειρά και παράλληλα επαγωγών και χωρητικοτήτων, αμοιβαία επαγωγή

Κεφάλαιο 6 – Κυκλώματα πρώτης τάξης RL και RC: Φυσική και βηματική απόκριση, η γενική λύση για βηματικές και φυσικές αποκρίσεις.

Κεφάλαιο 7 – Φυσικές και βηματικές αποκρίσεις κυκλωμάτων RLC: Φυσική απόκριση παράλληλου RLC κυκλώματος, βηματική απόκριση παράλληλου RLC κυκλώματος, φυσική και βηματική απόκριση εν σειρά RLC κυκλώματος.

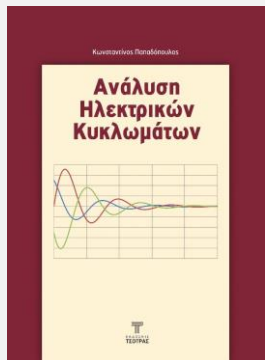
Προτεινόμενα βιβλία στο σύστημα ΕΥΔΟΞΟΣ



Ηλεκτρικά Κυκλώματα, 9^η έκδοση

Nilsson/Riedel

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: **50657746**



Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων, 2^η έκδοση

Παπαδόπουλος Κ.

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: **68374128**



Ηλεκτρικά Κυκλώματα, 4^η έκδοση

Alexander C., Sadiku M.

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: **18548946**

On-line
εφαρμογή για
σχεδίαση και
προσομοίωση
λειτουργίας
ηλεκτρικών,
ηλεκτρονικών
κυκλωμάτων

Multisim Live

© 2020 National Instruments

<https://www.multisim.com/>

- Πληκτρολογήστε τη διεύθυνση και επιλέξτε

‘SIGN UP FOR FREE’

- Απαιτεί δημιουργία λογαριασμού σαν χρήστης εφαρμογής της NI (National Instruments)

‘Create an NI User Account’

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ Ι

Κεφάλαιο 1

Ηλεκτρικά μεγέθη –
Ηλεκτρικά στοιχεία

- Ηλεκτρικά μεγέθη και στοιχεία κυκλωμάτων
- Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI)
- Τάση και ρεύμα
- Ενέργεια και ισχύς.

Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ηλεκτρικό ρεύμα (Current) ονομάζουμε τη διατεταγμένη κίνηση του ηλεκτρικού φορτίου

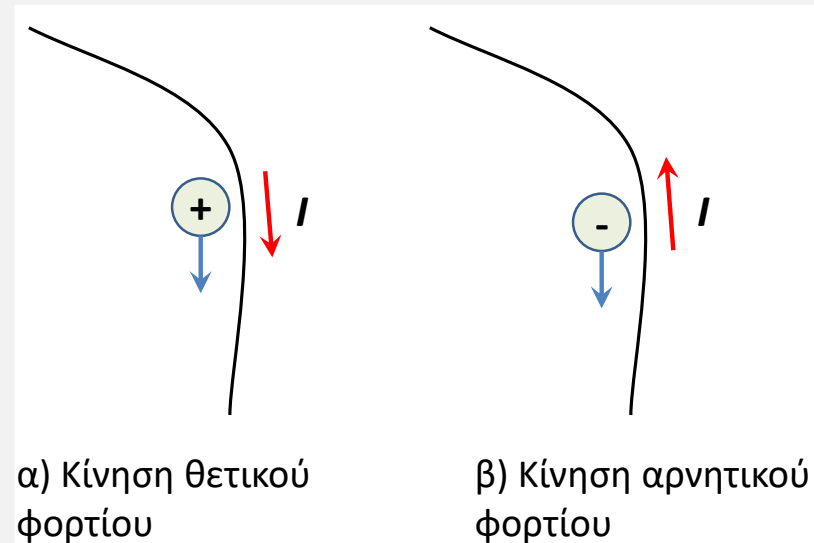
- π.χ., η κίνηση των ηλεκτρονίων σε ένα χάλκινο καλώδιο

Το ηλεκτρικό ρεύμα έχει **μέτρο (ένταση)** και **φορά**.

Σαν **ένταση** του ηλεκτρικού ρεύματος ορίζεται ο ρυθμός της ροής φορτίου ή το φορτίο ανά μονάδα χρόνου που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού.

- Στιγμαία τιμή της έντασης $i = \frac{dq}{dt}$

Ως **φορά** ορίζουμε **συμβατικά** τη φορά κίνησης του θετικού φορτίου (συμβατική φορά).



Συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα

- **Συνεχές ρεύμα (direct current – dc):** η ένταση του ρεύματος είναι σταθερή (ανεξάρτητη του χρόνου)

$$I = I_{dc} = \frac{q}{t}$$

Ampere: Η Μονάδα του Ρεύματος

Ένα **ampere** (A) είναι το ποσό ρεύματος που υπάρχει σε έναν αγωγό όταν μέσα από μία διατομή (cross-section) του υλικού περνά, μέσα σε ένα δευτερόλεπτο (1 s), ένας αριθμός ηλεκτρονίων που έχει ολικό φορτίο ενός coulomb (1 C)

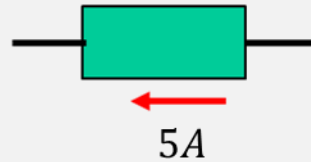
$$1A = \frac{1C}{1s}$$

- Υπενθυμίζεται ότι, ολικό φορτίο 1 C έχουν τα 6.25×10^{18} ηλεκτρόνια.
- Επομένως, ρεύμα 1 ampere σημαίνει ότι περνάνε 6.25×10^{18} ηλεκτρόνια ανά δευτερόλεπτο από μια διατομή του αγωγού.

Παράδειγμα

Τη χρονική στιγμή $t = 0$ αρχίζει να ρέει ρεύμα σταθερής έντασης $5A$ μέσα από το στοιχείο της εικόνας.

- (α) Βρείτε μια έκφραση για το φορτίο που διαρρέει το στοιχείο για $t > 0$
(β) Υπολογίστε το φορτίο που θα έχει διέλθει από το στοιχείο αν το ρεύμα σταματήσει μετά από 10 s



Απαντήσεις

(α)

$$\begin{aligned}dq &= i \cdot dt \\q &= \int_0^t i(\tau) d\tau \\q &= \int_0^t 5 d\tau = 5 \int_0^t d\tau \\q &= 5t \text{ C}\end{aligned}$$

(β)

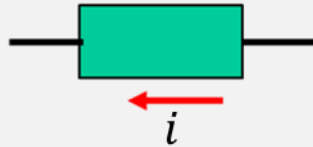
$$q = 5(10) = 50 \text{ C}$$

Παράδειγμα

Το ρεύμα στους ακροδέκτες του στοιχείου της εικόνας είναι

$$i = 0, \quad t < 0$$
$$i = 20e^{-5000t}, \quad t \geq 0$$

Υπολογίστε το ολικό φορτίο (σε microcoulomb) που διέρχεται από το στοιχείο.



Απάντηση

$$q_T = \int_0^{\infty} i(\tau) d\tau$$

$$q = \int_0^t 20e^{-5000\tau} d\tau = 20 \int_0^t e^{-5000\tau} d\tau = \frac{20}{-5000} (e^{-5000\tau}) \Big|_0^{\infty} =$$

$$q = 0.0004 \text{ C}$$

$$q = 400 \mu\text{C}$$

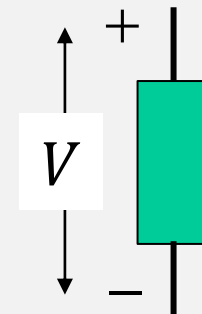
Τάση

Τάση ή **διαφορά δυναμικού** (V) μεταξύ δύο σημείων είναι η ενέργεια (W) που απαιτείται για τη μεταφορά φορτίου (q) μεταξύ των δύο σημείων.

$$V = \frac{W}{q}$$

- Δηλαδή, *τάση είναι η ενέργεια ανά μονάδα φορτίου*.
- Η μονάδα της τάσης εκφράζεται σε J/C και ονομάζεται **Volt** (V): $V = \frac{J}{C}$
- Ένα **Volt** είναι η διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ δύο σημείων όταν απαιτείται ένα joule ενέργειας για να μεταφέρουμε ένα coulomb φορτίου από το ένα σημείο στο άλλο

Πολικότητα της τάσης: όταν ορίζουμε μια ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων πρέπει οπωσδήποτε να ορίζουμε ποιο σημείο έχει το υψηλότερο δυναμικό (συμβολισμός με “+”) και ποιο το χαμηλότερο (συμβολισμός με “-”)



Ισχύς

Ισχύς (Power), γενικά, είναι ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται ή καταναλώνεται η ενέργεια, δηλαδή, είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου.

$$p = \frac{dW}{dt}$$

- Όταν η ισχύς είναι σταθερή (ανεξάρτητη του χρόνου) $P = \frac{W}{t}$
- Η Ισχύς μετριέται σε **Watts (W)**.

$$1W = \frac{1J}{1s}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Μη συγχέετε το “*W*”, σύμβολο του Watt, με το σύμβολο *W* για την ενέργεια.

Ηλεκτρική ισχύς: Σχέση ηλεκτρικής ισχύος με την ηλεκτρική τάση

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

επομένως $Watt = Volt \cdot Ampere$ ($W = VA$),

Τυπικές τιμές ισχύος (power ratings) σε watts για διάφορες οικιακές συσκευές (appliances)

APPLIANCE	POWER RATING (WATTS)
Air conditioner	860
Blow dryer	1300
Clock	2
Clothes dryer	4800
Dishwasher	1200
Heater	1322
Microwave oven	800
Range	12,200
Refrigerator	1800
Television	250
Washing machine	400
Water heater	2500

Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος

Η παραγωγή ή κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος σε ένα ηλεκτρικό στοιχείο εξαρτάται από τη *σχέση της φοράς του ρεύματος με την πολικότητα της τάσης*.

(α) Ροή ρεύματος από τον θετικό στον αρνητικό ακροδέκτη ($+ \rightarrow -$) σημαίνει μείωση της ενέργειας του ρεύματος, άρα **κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος**. [Εικ. (α)]

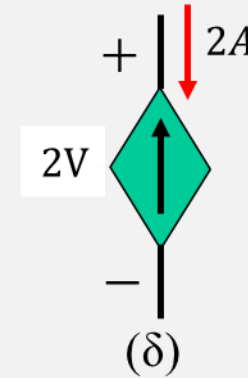
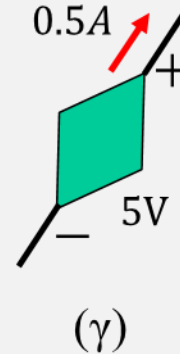
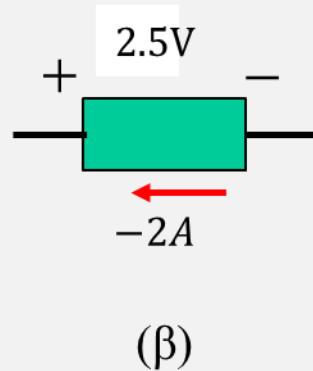
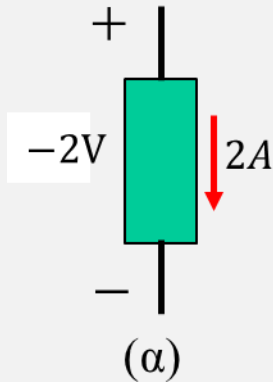


(β) Ροή ρεύματος από τον αρνητικό στο θετικό ακροδέκτη ($- \rightarrow +$) σημαίνει αύξηση της ενέργειας του ρεύματος, άρα **παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος** [Εικ. (β)]



Παράδειγμα

Υπολογίστε την ισχύ που αποδίδουν ή καταναλώνουν τα παρακάτω στοιχεία.



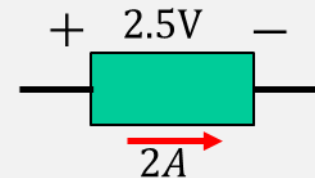
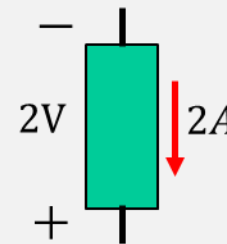
Απαντήσεις

(α) Το στοιχείο του σχήματος (α) ισοδυναμεί με
Επομένως, το στοιχείο αυτό παράγει ισχύ

$$P = V \cdot I = (2V)(2A) = 4W$$

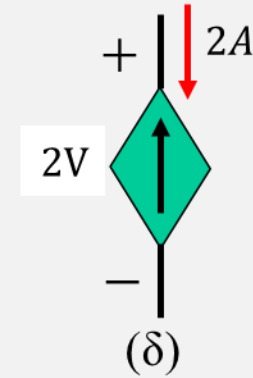
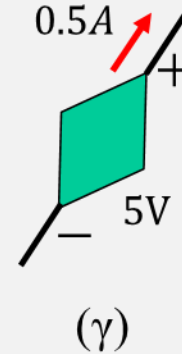
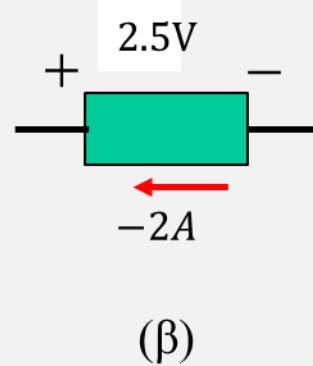
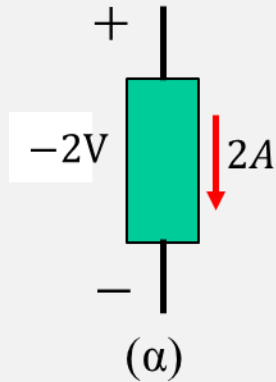
(β) Το στοιχείο του σχήματος (β) ισοδυναμεί με
Το στοιχείο αυτό είναι καταναλωτής.

Καταναλώνει ισχύ $P = (2.5V)(2A) = 5W$



Συνεχίζεται . . .

Απαντήσεις (... συνέχεια)



(γ) Το στοιχείο του σχήματος (γ) είναι πηγή.

Παράγει ισχύ $P = (5V)(0.5A) = 2.5W$

(δ) Το στοιχείο του σχήματος (δ) καταναλώνει ισχύ $P = (2V)(2A) = 4W$

Παράδειγμα

Βρείτε ποια στοιχεία του κυκλώματος δίπλα καταναλώνουν ισχύ και ποια αποδίδουν.

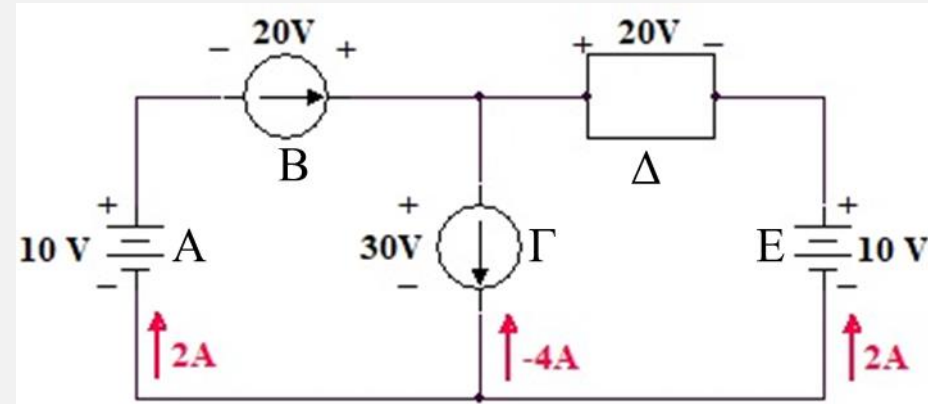
Ελέγξτε ότι ικανοποιείται το θεώρημα διατήρησης της ενέργειας, δηλαδή, η συνολικά παραγόμενη ισχύς ισούται με τη συνολικά καταναλισκόμενη.

Λύση

Ας ονομάσουμε τα στοιχεία με τα γράμματα Α ως Ε, όπως στο σχήμα

- Το στοιχείο Α παράγει ισχύ (ρεύμα από το - στο +) $P_A = (10V)(2A) = 20W$
- Το στοιχείο Β παράγει ισχύ $P_B = (20V)(2A) = 40W$
- Το στοιχείο Γ καταναλώνει ισχύ $P_\Gamma = (30V)(4A) = 120W$ (το ρεύμα που το διαρρέει είναι 4A με φορά από το θετικό στον αρνητικό ακροδέκτη του)
- Το στοιχείο Δ παράγει ισχύ $P_\Delta = (20V)(2A) = 40W$
- Το στοιχείο Ε παράγει ισχύ $P_E = (10V)(2A) = 20W$

Η ολική παραγόμενη ισχύς είναι $20W + 40W + 40W + 20W = 120W$ ίση με την καταναλισκόμενη, $120W$ (μόνο το στοιχείο Γ καταναλώνει).



Παράδειγμα

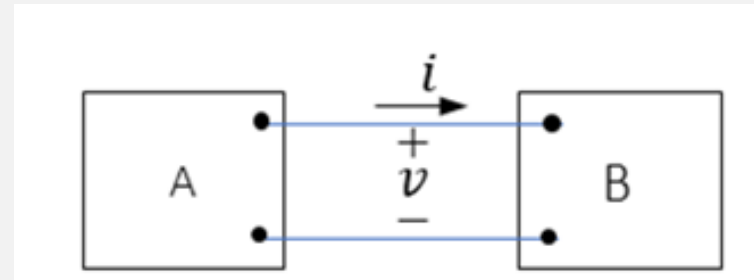
Τα ηλεκτρικά κυκλώματα A και B συνδέονται όπως δείχνει η εικόνα. Στην εικόνα δηλώνεται η φορά αναφοράς για το ρεύμα και πολικότητα αναφοράς για την τάση στη διασύνδεση. Για καθένα από τα παρακάτω ζεύγη τιμών, υπολογίστε την ισχύ στη διασύνδεση και δηλώστε αν η ισχύς ρέει από το A στο B ή αντίστροφα.

I. $i = 15 \text{ A}, v = 20 \text{ V}$

II. $i = -5 \text{ A}, v = 100 \text{ V}$

III. $i = 4 \text{ A}, v = -50 \text{ V}$

IV. $i = -16 \text{ A}, v = -25 \text{ V}$



Απάντηση

I. $p = (15\text{A})(20\text{V}) = 300 \text{ W}$ από A προς B

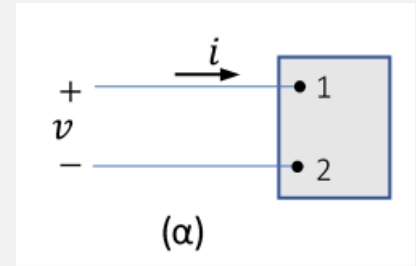
II. $p = (5\text{A})(100\text{V}) = 500 \text{ W}$ από B προς A

III. $p = (4\text{A})(50\text{V}) = 200 \text{ W}$ από B προς A

IV. $p = (16\text{A})(25\text{V}) = 400 \text{ W}$ από A προς B

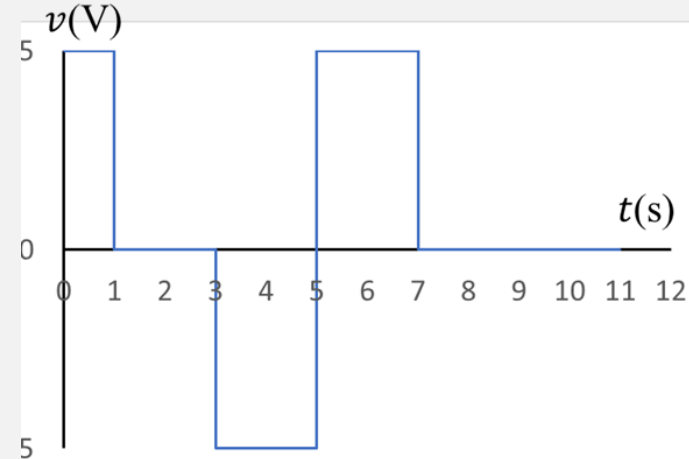
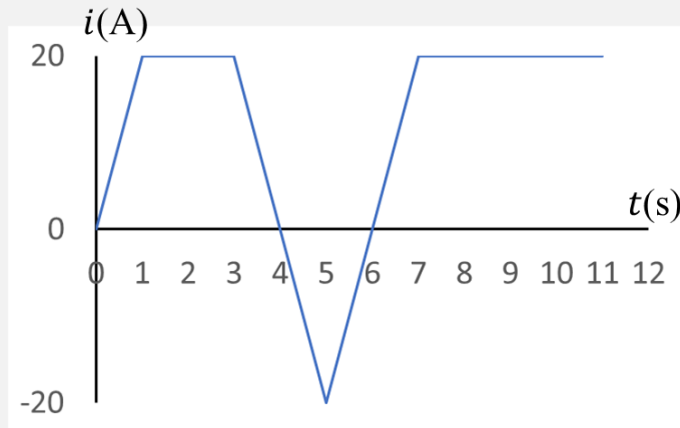
Παράδειγμα

Η τάση και το ρεύμα στους ακροδέκτες του στοιχείου στην Εικ. (α) φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα με το χρόνο.



(α) Σχεδιάστε την ισχύ ως προς το χρόνο για $0 \leq t \leq 10s$

(β) Υπολογίστε την ενέργεια που έχει αποδοθεί στο στοιχείο για $t = 10s$.



Λύση

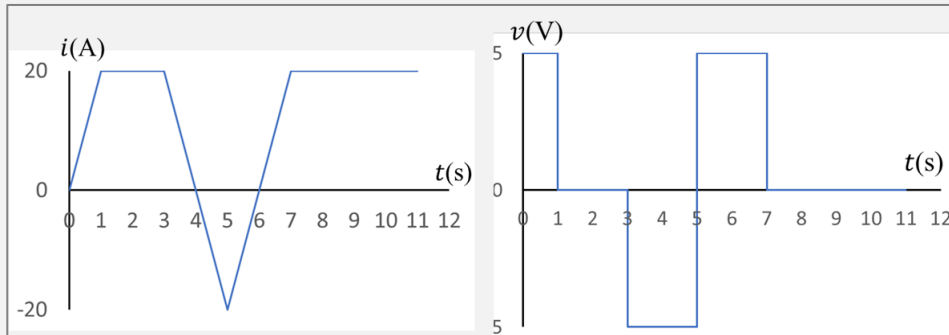
(α) Στο διάστημα $0 \leq t \leq 1s$, η εξίσωση του ρεύματος είναι $i(t) = 20t$ (A)

και της τάσης $v(t) = 5$ (V)

Η ισχύς που καταναλώνεται στο στοιχείο στο διάστημα αυτό δίνεται από την εξίσωση

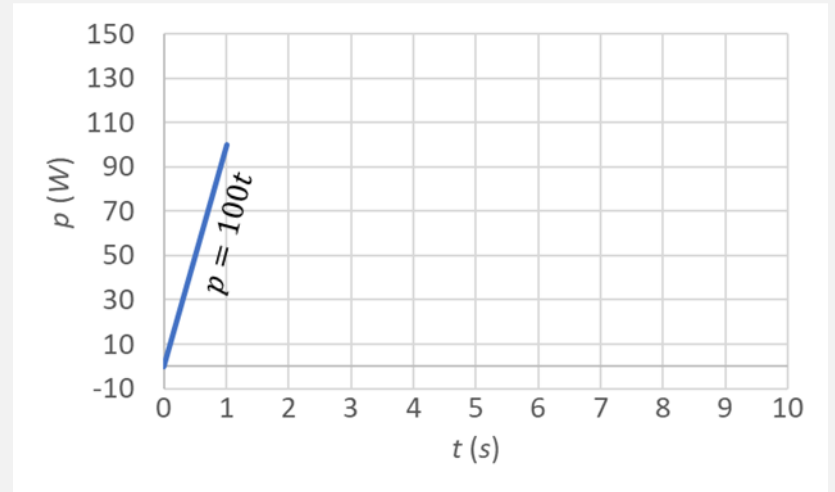
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = (5)(20t) = 100t \text{ W}$$

(συνεχίζεται ...)



Λύση (... συνέχεια)

$$0 \leq t \leq 1s, \quad p(t) = 100t \text{ W}$$

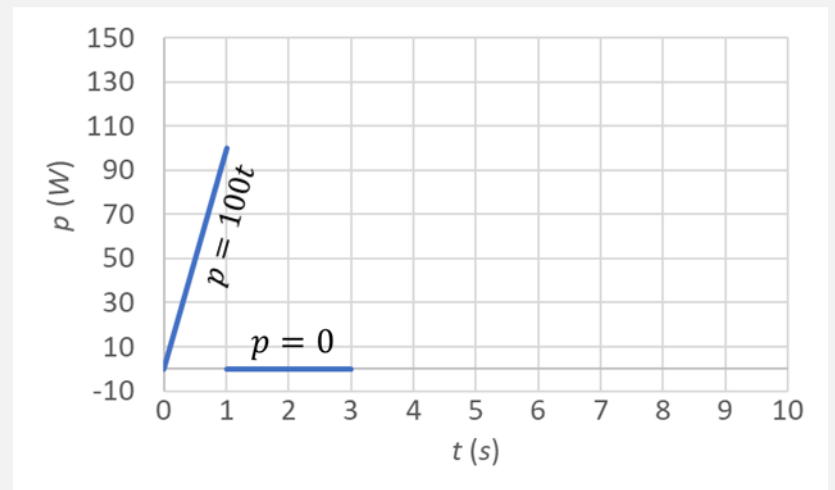


Στο διάστημα $1s \leq t \leq 3s$, η εξίσωση του ρεύματος είναι $i(t) = 20 \text{ (A)}$

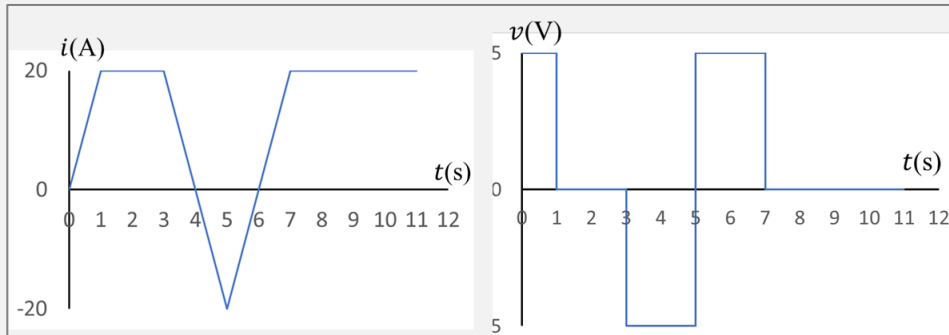
και της τάσης $v(t) = 0$

Επομένως, η ισχύς σε αυτό το διάστημα είναι

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = 0$$



(συνεχίζεται ...)



Λύση (... συνέχεια)

Στο διάστημα $3s \leq t \leq 5s$, η εξίσωση του ρεύματος είναι

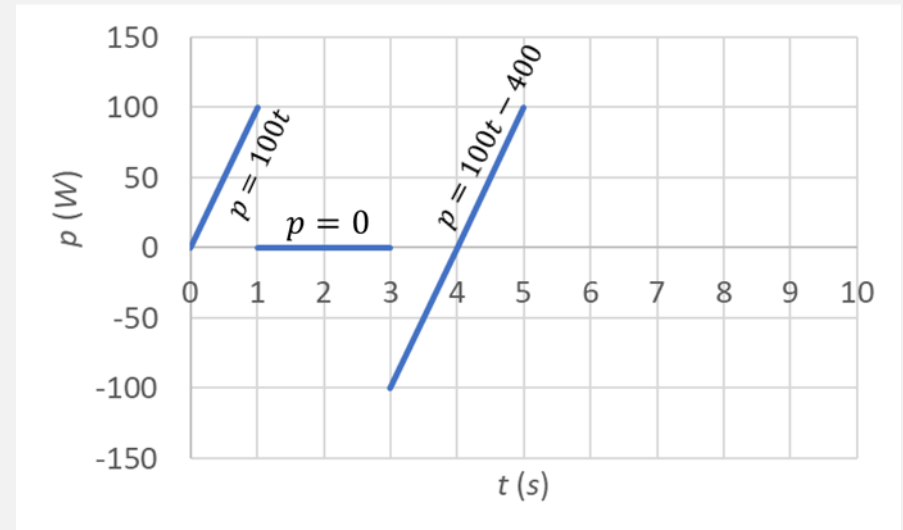
$$i(t) = -20t + 80 \text{ (A)}$$

και της τάσης

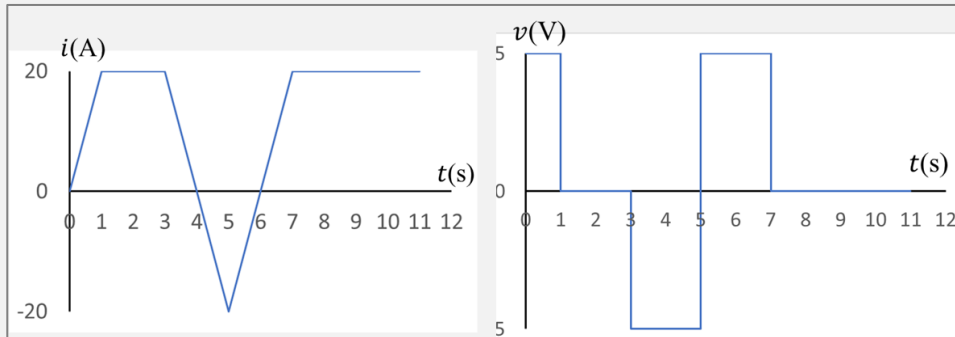
$$v(t) = -5 \text{ V}$$

Επομένως, η ισχύς που καταναλώνεται στο στοιχείο σε αυτό το διάστημα είναι

$$p(t) = (-5)(-20t + 80) = 100t - 400 \text{ (W)}$$



(συνεχίζεται ...)



Λύση (... συνέχεια)

Στο διάστημα $5s \leq t \leq 7s$, η εξίσωση του ρεύματος είναι

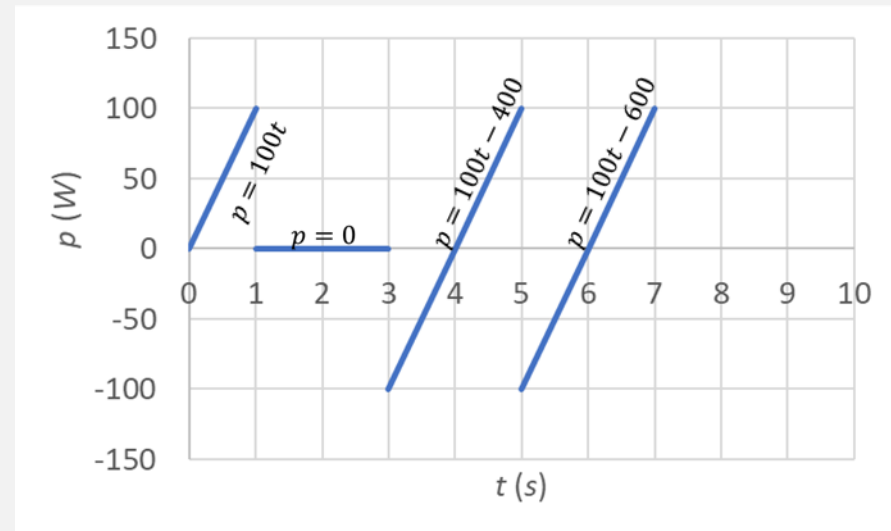
$$i(t) = 20t - 120 \text{ (A)}$$

και της τάσης

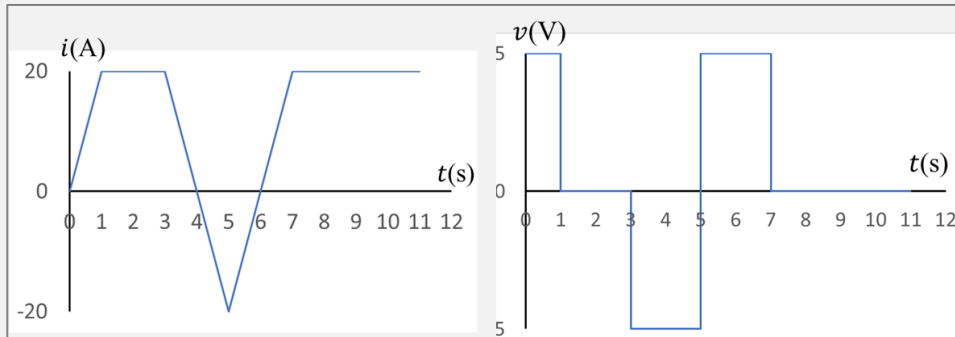
$$v(t) = 5 \text{ V}$$

Επομένως, η ισχύς που καταναλώνεται στο στοιχείο σε αυτό το διάστημα είναι

$$p(t) = (5)(20t - 120) = 100t - 600 \text{ (W)}$$



(συνεχίζεται ...)



Λύση (... συνέχεια)

Στο διάστημα $t \geq 7s$, η εξίσωση του ρεύματος είναι

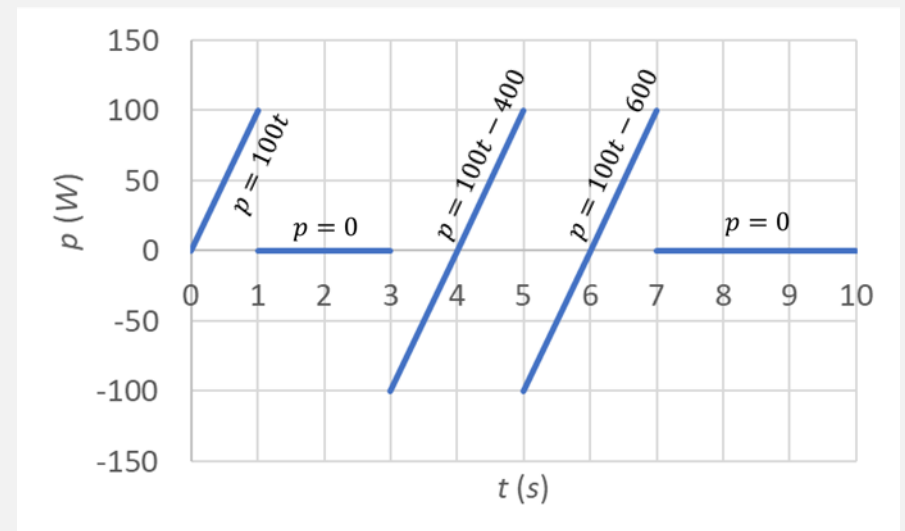
$$i(t) = 20 \text{ (A)}$$

και της τάσης

$$v(t) = 0$$

Επομένως, η ισχύς σε αυτό το διάστημα είναι

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = 0$$



(συνεχίζεται ...)

Λύση

(... συνέχεια)

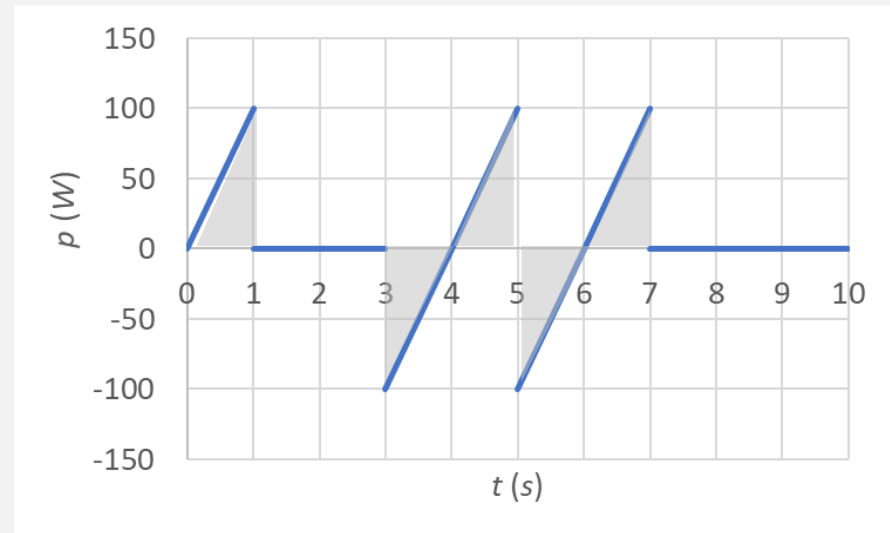
(β) Η ενέργεια που έχει αποδοθεί στο στοιχείο στο χρονικό διάστημα (t_1, t_2) υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα

$$\int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

Ο υπολογισμός γίνεται ευκολότερα γραφικά μετρώντας το εμβαδόν του χώρου που ορίζεται κάτω από την γραμμή της $p(t)$ και τον άξονα t .

Στην περίπτωση της εικόνας δίπλα, στο διάστημα $0 - 10s$ το εμβαδόν αυτό είναι

$$\frac{1}{2}(100)(1) + \frac{1}{2}(-100)(1) + \frac{1}{2}(100)(1) + \frac{1}{2}(-100)(1) + \frac{1}{2}(100)(1) = \mathbf{50 \text{ J}}$$



Ηλεκτρικά Μεγέθη και Μονάδες στο SI

SI = Διεθνές Σύστημα μονάδων

QUANTITY		SYMBOL	UNIT	SYMBOL
capacitance	(χωρητικότητα)	C	farad	F
charge	(φορτίο)	Q	coulomb	C
conductance	(αγωγιμότητα)	G	siemens	S
current	(ρεύμα)	I	ampere	A
energy	(ενέργεια)	W	joule	J
frequency	(συχνότητα)	f	hertz	Hz
impedance	(εμπέδηση)	Z	ohm	Ω
inductance	(αυτεπαγωγή)	L	henry	H
power	(ισχύς)	P	watt	W
reactance	(ανάδραση)	X	ohm	Ω
resistance	(αντίσταση)	R	ohm	Ω
voltage	(τάση)	V	volt	V

Μετρικά Προθέματα

Μετρικά προθέματα (metric prefixes): Χρησιμοποιούνται για να εκφράσουμε πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια των μονάδων

Σύμβολο	Πρόθεμα	Πολλαπλασιαστικός συντελεστής
p	pico	10^{-12}
n	nano	10^{-9}
μ	micro	10^{-6}
m	milli	10^{-3}
k	kilo	10^3
M	mega	10^6
G	giga	10^9
T	tera	10^{12}

Παραδείγματα

$$6800V = 6.8 \times 10^3V = 6.8kV$$

$$0.0045A = 4.5 \times 10^{-3}A = 4.5mA$$

Άλλες μονάδες Ισχύος και Ενέργειας

Για την ενέργεια και την ισχύ, στην καθημερινή ζωή, χρησιμοποιούνται και άλλες μονάδες που δεν ανήκουν στο SI.

Για την ισχύ, χρησιμοποιούμε τον **ίππο (hp)**: $1\text{hp} = 745.7\text{W}$

Για την ενέργεια, χρησιμοποιούνται

- **θερμίδα (cal)**: $1\text{ cal} = 4.187\text{ J}$
- **kilowatt-hour (kWh)**: $1\text{ kWh} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$

Παράδειγμα

Λαμπτήρας των 100 W που λειτουργεί (είναι αναμμένος) για 10 h καταναλώνει ενέργεια

$$W = P \cdot t = (100\text{W})(10\text{h}) = 1000\text{ Wh} = 10^3\text{ Wh} = 1\text{kWh}$$

Πρόβλημα

Προσδιορίστε τον αριθμό των kWh για κάθε μια από τις παρακάτω καταναλώσεις:

(α) 1400 W για 1 h,

(β) 2500 W για 2 h και

(γ) 100 000 W για 5 h.

Απάντηση

$$(α) \quad W = P \cdot t = (1.4 \text{ kW})(1\text{h}) = 1.4 \text{ kWh}$$

$$(β) \quad W = P \cdot t = (2.5 \text{ kW})(2\text{h}) = 5.0 \text{ kWh}$$

$$(γ) \quad W = (100 \text{ kW})(5\text{h}) = 500 \text{ kWh}$$

Η μονάδα φορτίου αμπερώριο

- **ampere-hour (Ah)**: χρησιμοποιείται για τη μέτρηση φορτίου (q) που μπορεί να αποθηκεύσει ένας συσσωρευτής (μπαταρία).
- Σχέση $Ah - C$

$$1Ah = (1A) \cdot (1h) = (1 \text{ C/s}) \cdot (3600s) = 3600 \text{ C}$$

Πρόβλημα

Υπολογίστε την ενέργεια σε kWh που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία ενός κινητού τηλεφώνου που αναγράφει 1320mAh, 3.7V.

Λύση

$$W = q \cdot V$$

$$W = (1320 \text{ mAh})(3.7 \text{ V})$$

$$W = 4884 (\text{mA} \cdot \text{V})h = 4884 \text{ mWh} = 4.884 \text{ Wh} \approx 4.88 \text{ Wh}$$

ή

$$W = 4,88 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$$

Πρόβλημα

Ηλεκτρικός βραστήρας έχει ονομαστική ισχύ 3000 W και μέγιστη χωρητικότητα νερού 1.7 l (λίτρα). Σε πόσο χρόνο βράζει το νερό όταν τον γεμίσουμε; Ποιο είναι το κόστος αν η χρέωση είναι 0.185 €/kWh ;

Λύση

Μία θερμίδα (1 cal) είναι η ενέργεια που πρέπει να δώσουμε σε ένα γραμμάριο (1 gr) νερού για να ανυψώσουμε τη θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό Κελσίου (1°C).

Επομένως, για να βράσουμε 1700 gr νερού (1.7 l έχουν μάζα 1700 gr), δηλαδή να το ζεστάνουμε από τους 20°C στους 100°C (ανύψωση θερμοκρασίας κατά 80°C), πρέπει να του δαπανήσουμε θερμική ενέργεια (θερμότητα)

$$W = \left(1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (1700\text{ gr})(80^\circ\text{C}) = 136000\text{ cal}$$

Η ενέργεια αυτή σε joules είναι $W = (136000\text{ cal}) \left(4.187 \frac{\text{J}}{\text{cal}}\right) = 596000\text{ J}$

Λύση (. . . συνέχεια)

Ο χρόνος, που απαιτείται, υπολογίζεται από τον τύπο της ισχύος

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow t = \frac{W}{P} = \frac{596000 J}{3000 W} = 199 s \approx 200 s$$

Η ενέργεια αυτή των 596000 J σε κιλοβατώρες είναι

$$W = \frac{596000 J}{3.6 \cdot 10^6 \frac{J}{kWh}} = 0.166 kWh$$

Με τιμή 0.185 €/kWh το κόστος για να βράσουμε τα 1.7 l νερού είναι

$$(0.166 kWh)(0.185 €/kWh) = 0.03 €$$