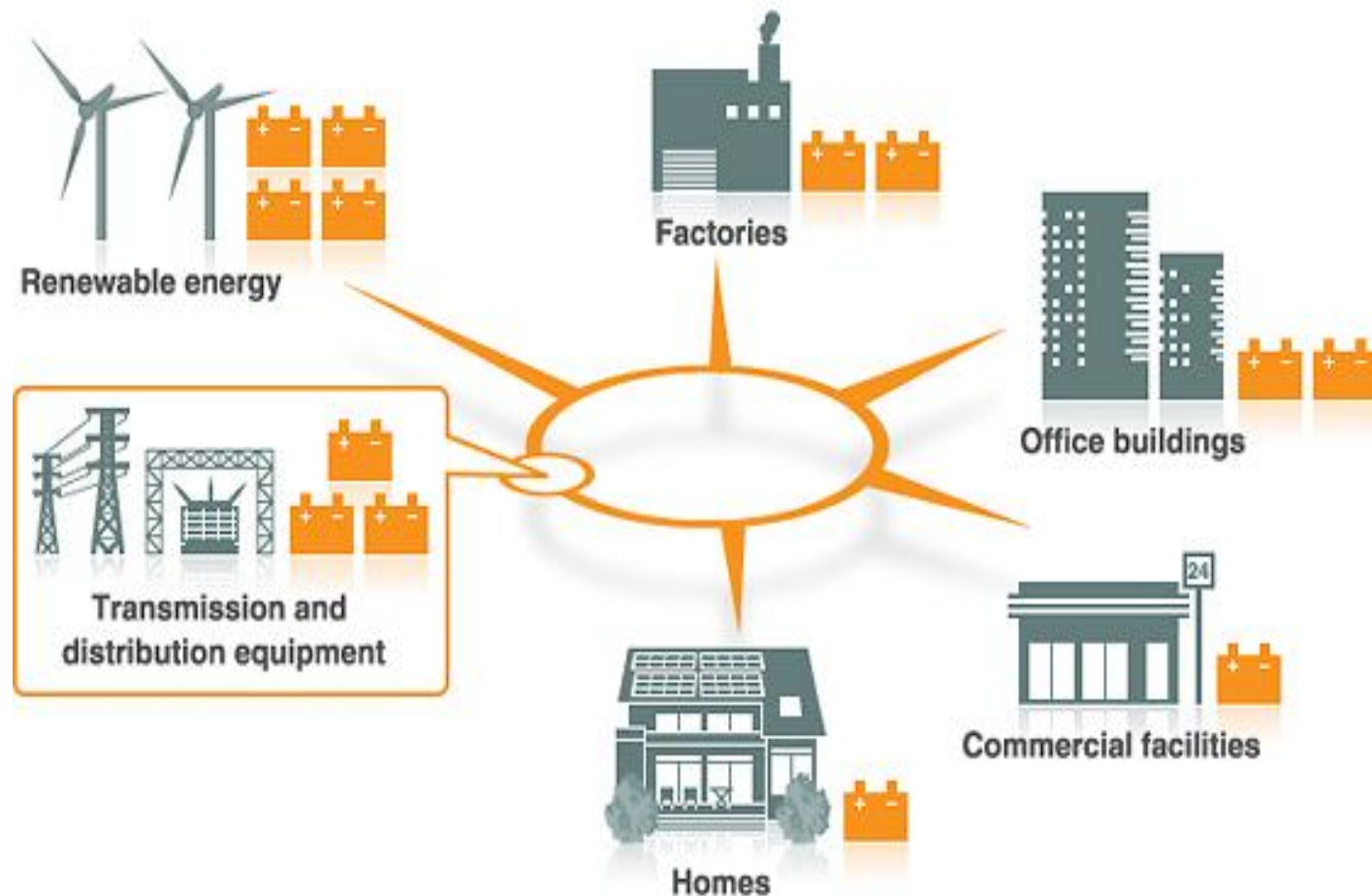
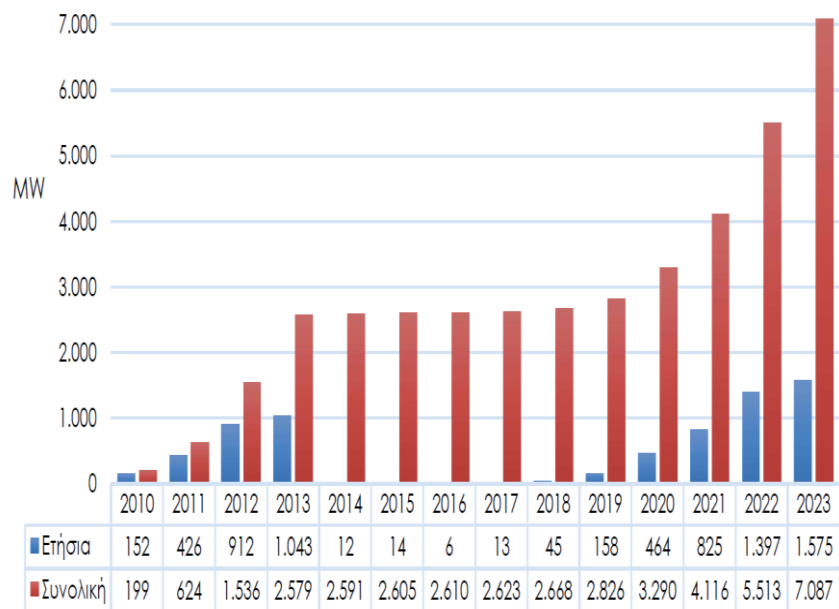


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

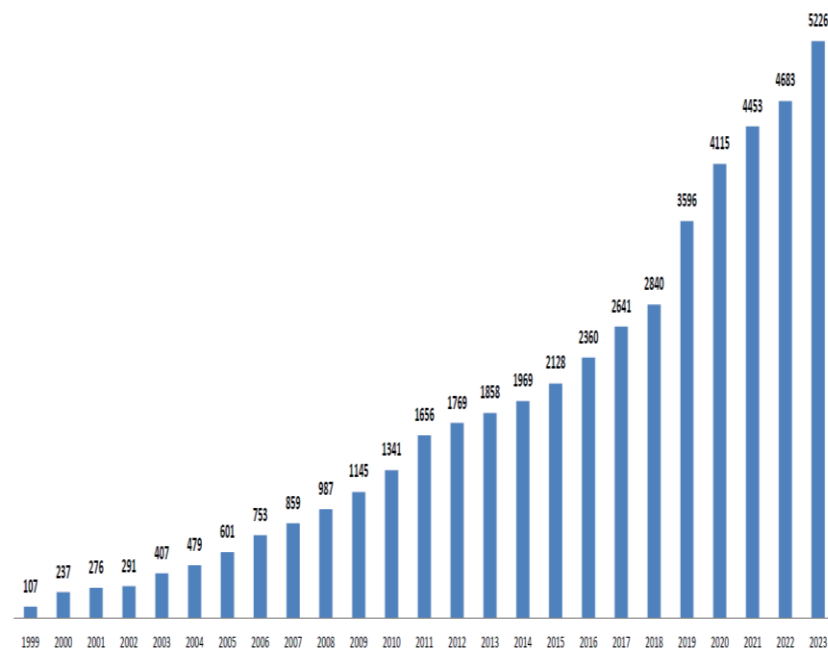


ENERGY STORAGE SYSTEMS

Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών 2010 – 2023

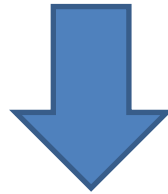


Εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών 1999 - 2023



Η Ανάγκη για Αποθήκευση ενέργειας

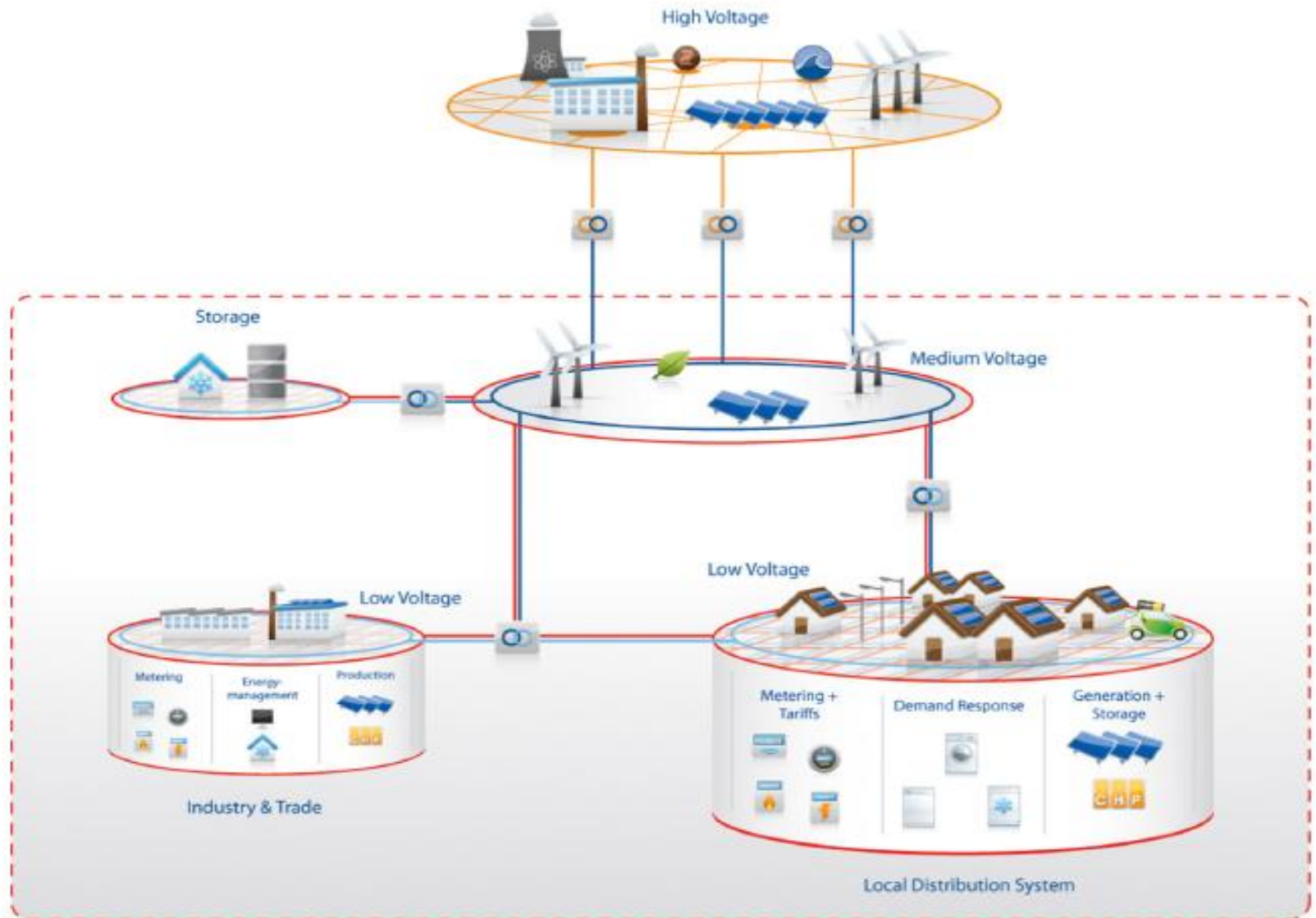
- Η ενέργεια που παράγεται από τις διατάξεις των ΑΠΕ, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πλαίσια και οι ανεμογεννήτριες, κυμαίνεται σημαντικά σε ωριαία, ημερήσια και εποχιακή βάση.

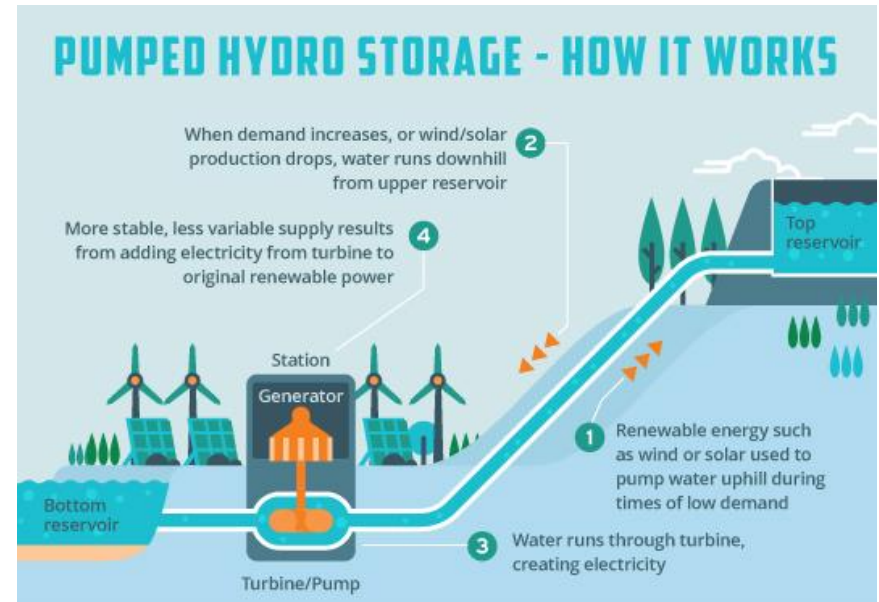
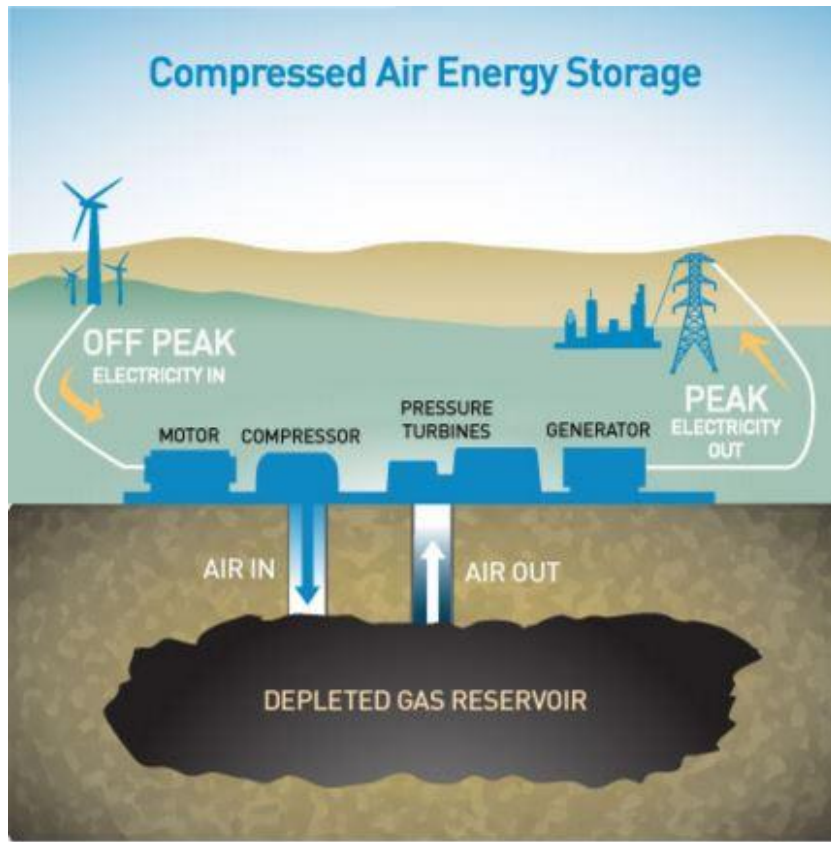


- Αναντιστοιχία της παραγωγής (προσφοράς), η οποία δεν επιδέχεται ανθρώπινο έλεγχο, με την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας.

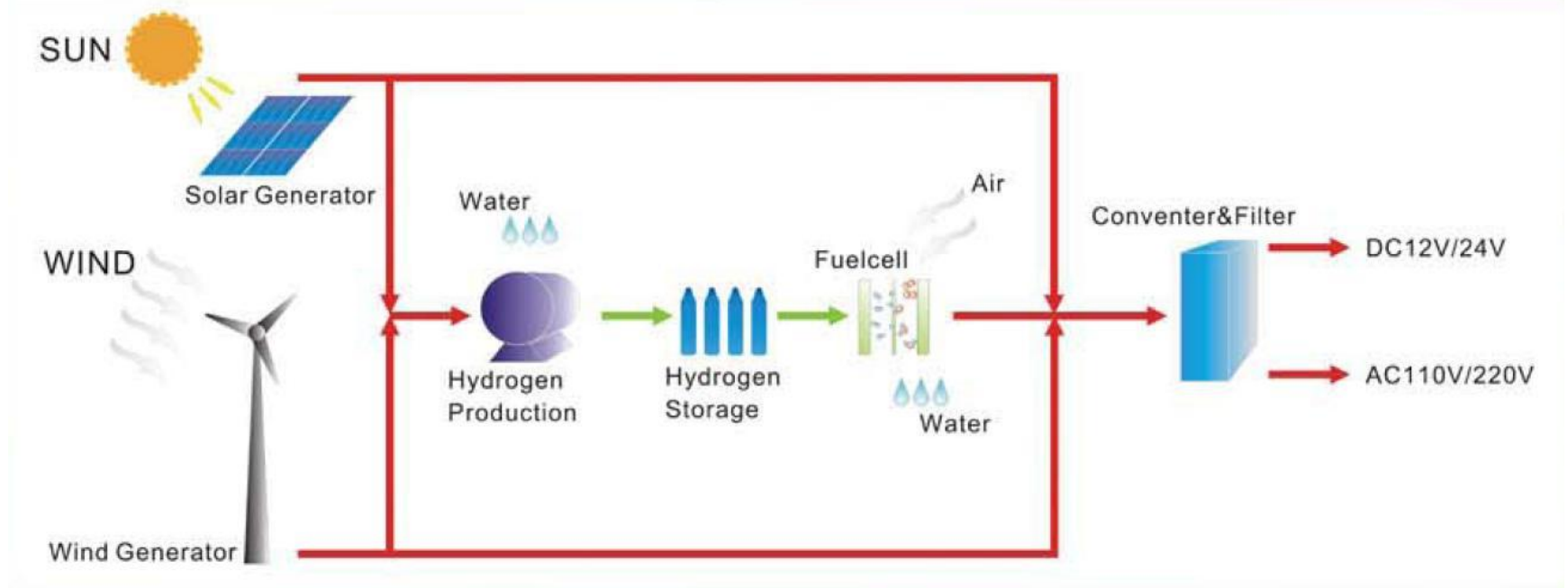
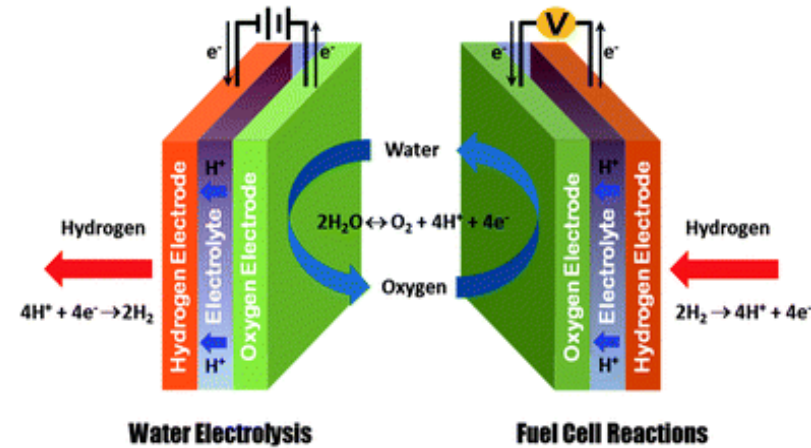


- Δημιουργείται, επομένως, η ανάγκη της ενσωμάτωσης της ενεργειακής αποθήκευσης στα συστήματα παραγωγής των ΑΠΕ

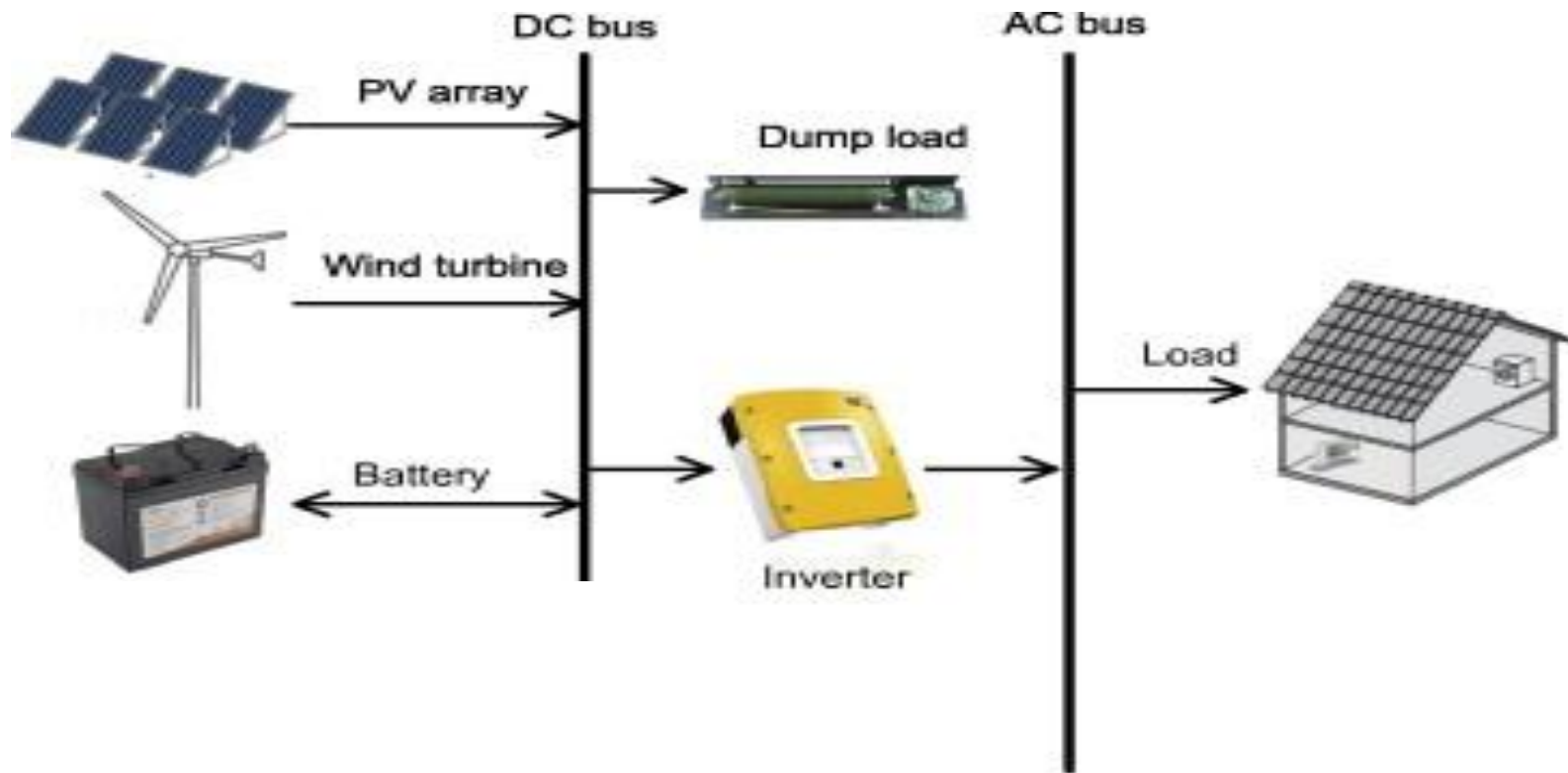




Μηχανική Αποθήκευση Ενέργειας



Χημική Αποθήκευση Ενέργειας

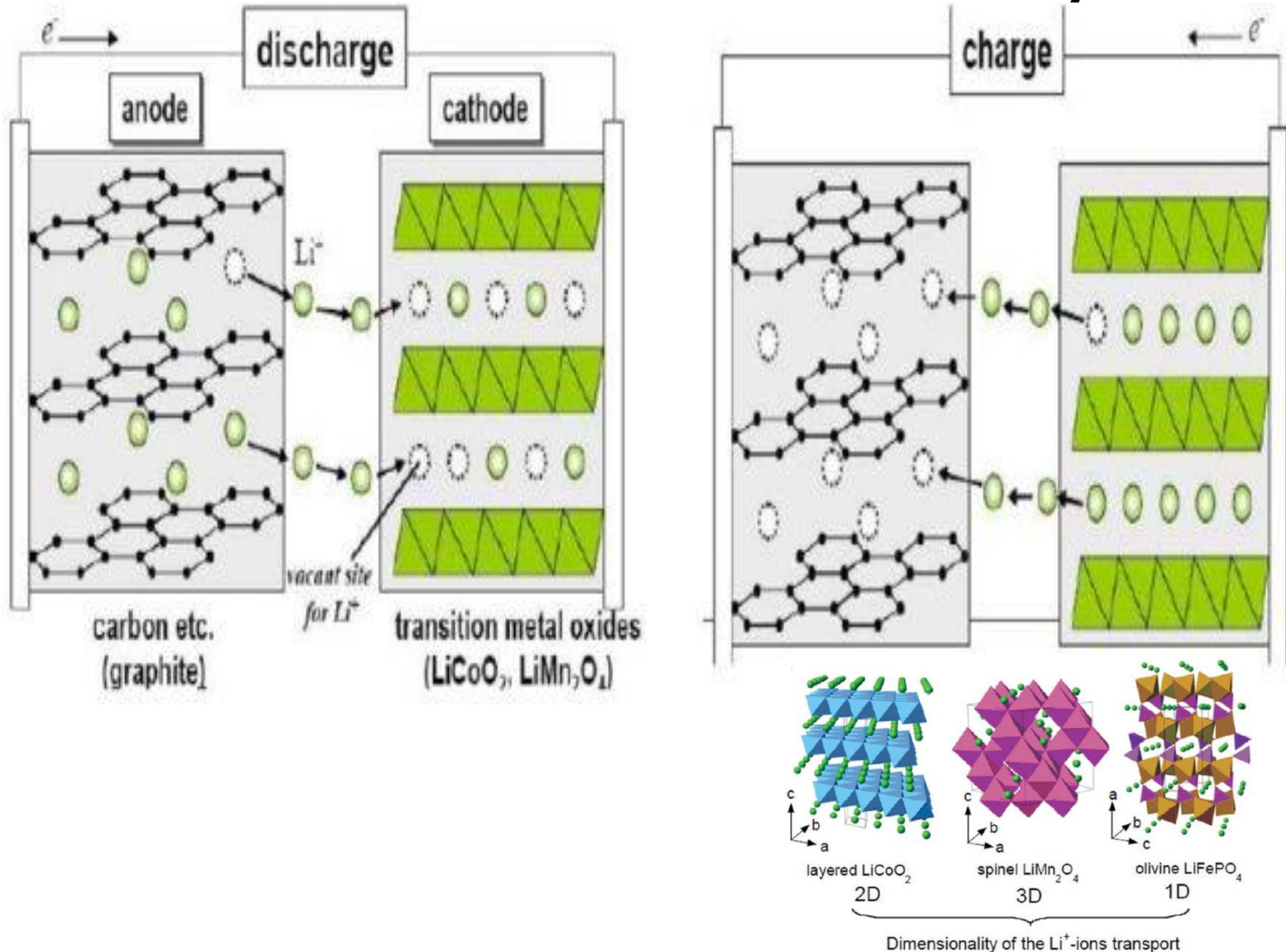


Ηλεκτροχημική Αποθήκευση Ενέργειας

Secondary Batteries commonly used in Hybrid Systems

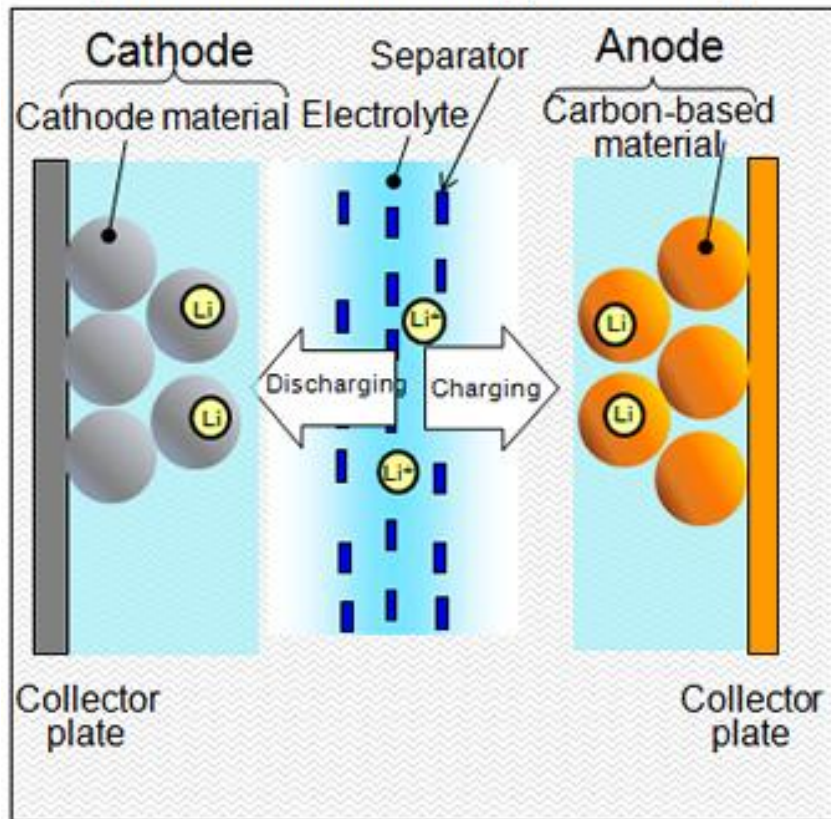
- Lead acid batteries
- Lithium ion Batteries

Charging and Discharging a Lithium - ion Battery

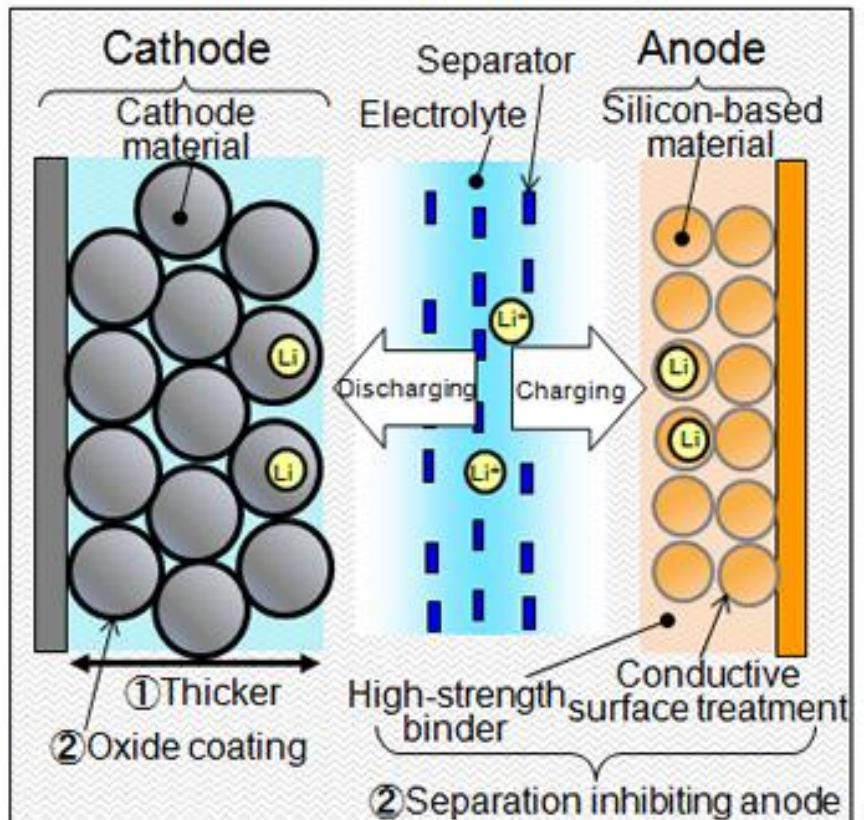


Charging and Discharging a Lithium - ion Battery

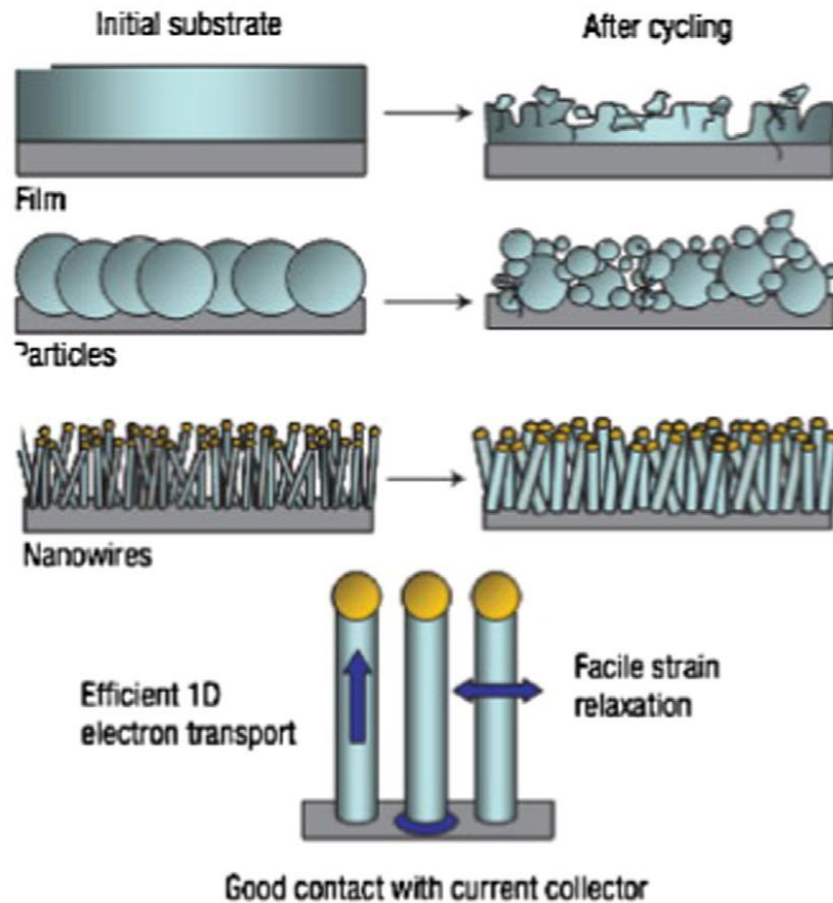
【Conventional battery structure】



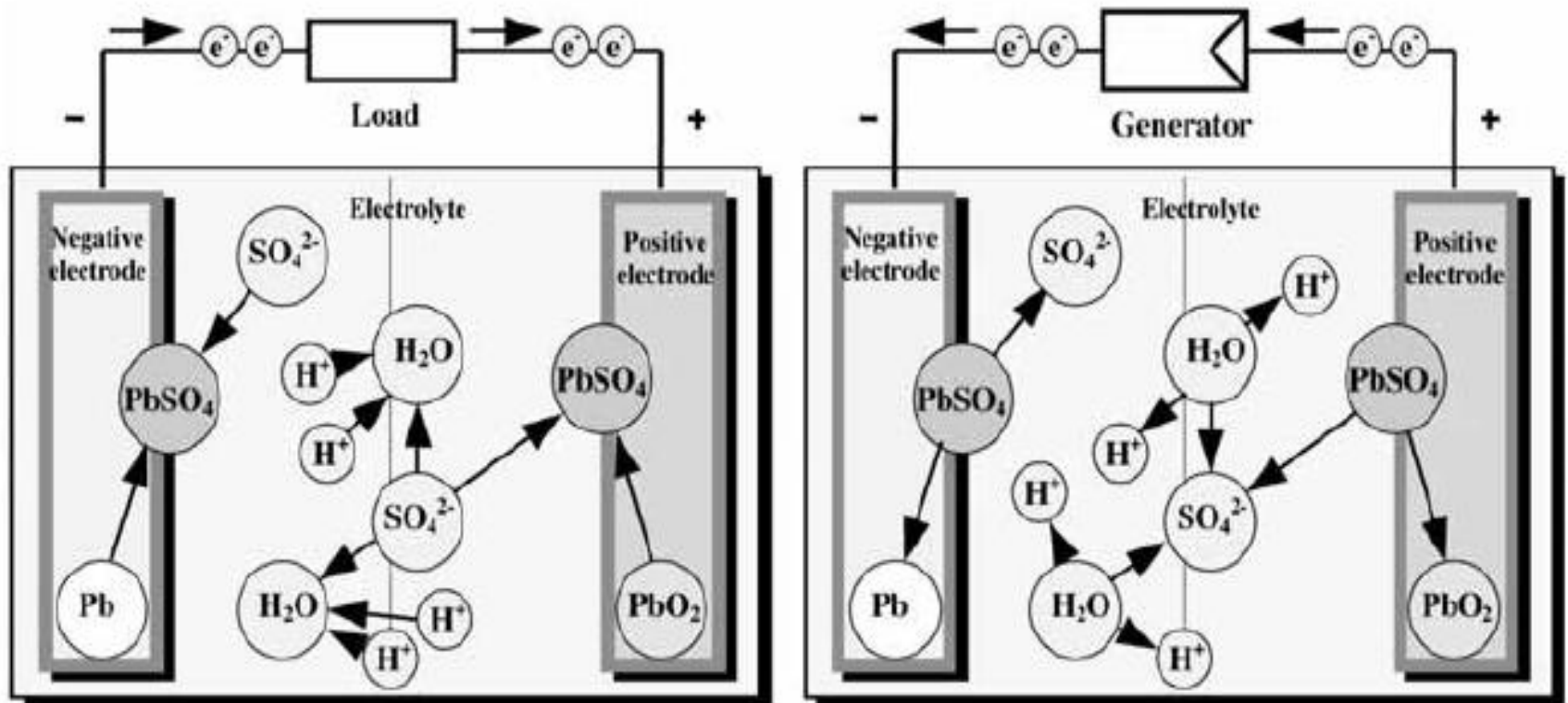
【New battery structure】



Schematic of morphological changes that occur in Si during electrochemical cycling.



Charging and Discharging a Lead–Acid Battery



Battery Specifications

- Voltage
- Battery Capacity and Energy
- Rate and Depth of Discharge
- Energy and Charge Efficiency
- Days of Autonomy
- Life Expectancy
- Environmental Conditions

Voltage Level

- Theoretical Voltage
- Open – circuit Voltage [$f(\text{SOC})$]
- Closed – circuit voltage [$f(\text{SOC}, T, I)$]
- Nominal voltage
- Working voltage
- Average voltage (Aver of Working Voltage)
- The end of discharge voltage
- The end of charge voltage

Τυπικά Δυναμικά Ηλεκτροχημικών Αντιδράσεων

Electrode reaction	E^0 , V
$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0.13
$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0.08
$\text{D}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2} \text{D}_2$	-0.003
$\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2} \text{H}_2$	0.000
$\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0.10
$\text{CuCl} + e \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Cl}^-$	0.14
$\text{AgCl} + e \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.22
$\gamma\text{-MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \alpha\text{-MnOOH} + \text{OH}^-$	0.30
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.34
$\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$	0.35
$\gamma\text{-MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \lambda\text{-MnOOH} + \text{OH}^-$	0.36
$\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 2\text{OH}^-$	0.40
$\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$	0.45
$\text{Cu}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.52
$\text{I}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	0.54
$2\text{AgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	0.57
$\text{LiCoO}_2 + 0.5e \rightleftharpoons \text{Li}_{0.5}\text{CoO}_2 + 0.5\text{Li}^+$	-0.70
$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	0.80
$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}$	0.80
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ (10^{-7} \text{ M}) + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	0.82
$\text{Pd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pd}$	0.83
$\text{Ir}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Ir}$	1.00
$\text{Br}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1.08
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	1.36
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.46
$\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.69
$\text{F}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	2.87

Electrode reaction	E^0 , V
$\text{Li}^+ + e \rightleftharpoons \text{Li}$	-3.01
$\text{Rb}^+ + e \rightleftharpoons \text{Rb}$	-2.98
$\text{Cs}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cs}$	-2.92
$\text{K}^+ + e \rightleftharpoons \text{K}$	-2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2.92
$\text{Li}^+ + 6\text{C} + e \rightleftharpoons \text{LiC}_6$	-2.90
$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sr}$	-2.89
$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2.84
$\text{Na}^+ + e \rightleftharpoons \text{Na}$	-2.71
$\text{Mg(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Mg} + 2\text{OH}^-$	-2.67
$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.38
$\text{Al(OH)}_3 + 3e \rightleftharpoons \text{Al} + 3\text{OH}^-$	-2.34
$\text{Ti}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1.75
$\text{Be}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Be}$	-1.70
$\text{Al}^3 + 3e \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66
$\text{Zn(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1.25
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1.05
$\text{Fe(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Fe} + 2\text{OH}^-$	-0.88
$2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{H}^+ + \text{M} + e \rightleftharpoons \text{MH}$	-0.83
$\text{Cd(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Cd} + 2\text{OH}^-$	-0.81
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76
$\text{Ni(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Ni} + 2\text{OH}^-$	-0.72
$\text{Ga}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Ga}$	-0.52
$\text{S} + 2e \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	-0.48
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0.40
$\text{PbSO}_4 + 2e \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.36
$\text{In}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{In}$	-0.34
$\text{Tl}^+ + e \rightleftharpoons \text{Tl}$	-0.34
$\text{Co}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}$	-0.27
$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.23
$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.14

ΤΥΠΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ =
ΑΝΟΔΟΣ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ) + ΚΑΘΟΔΟΣ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΝΑΓΩΓΗΣ)

- **Li – ion cell**

ΑΝΟΔΟΣ $Li C_6 \leftrightarrow C_6 + Li^+ + e^-$ +2.8V

ΚΑΘΟΔΟΣ $CoO_2 + Li^+ + e^- \leftrightarrow LiCoO_2$ +1.25V

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

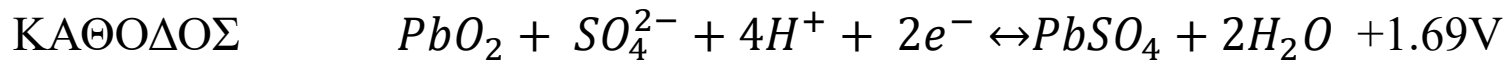
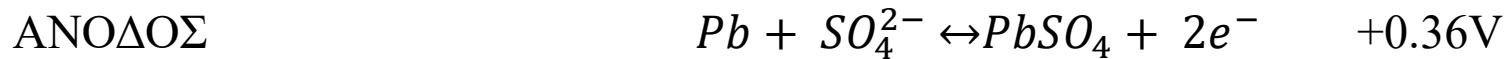


ΤΥΠΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

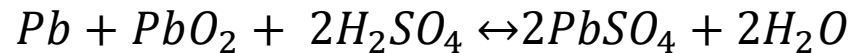
$$2.8V + 1.25V = 4.05V$$

ΤΥΠΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ =
ΑΝΟΔΟΣ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ) + ΚΑΘΟΔΟΣ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΝΑΓΩΓΗΣ)

- **Lead – acid cell**

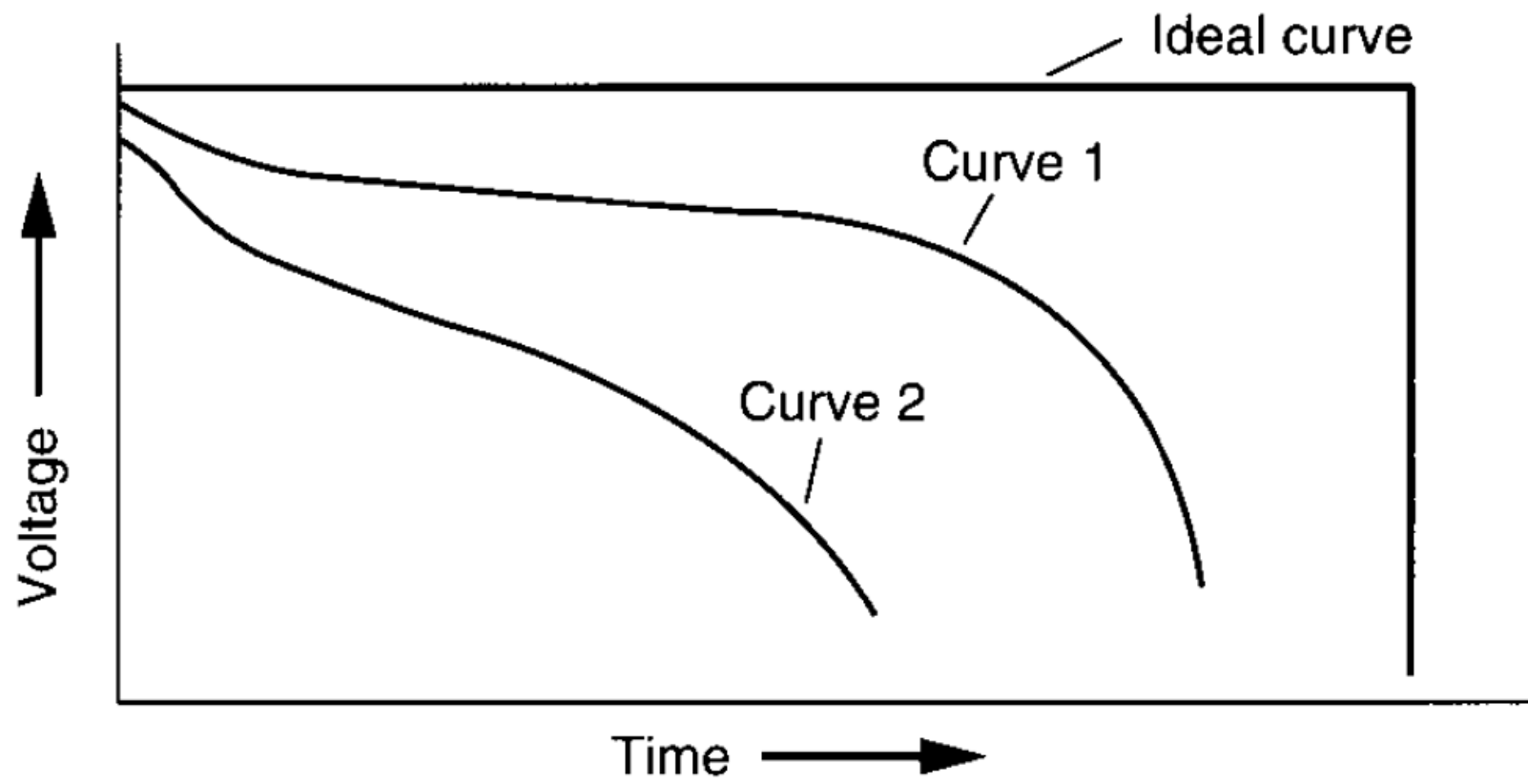


ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

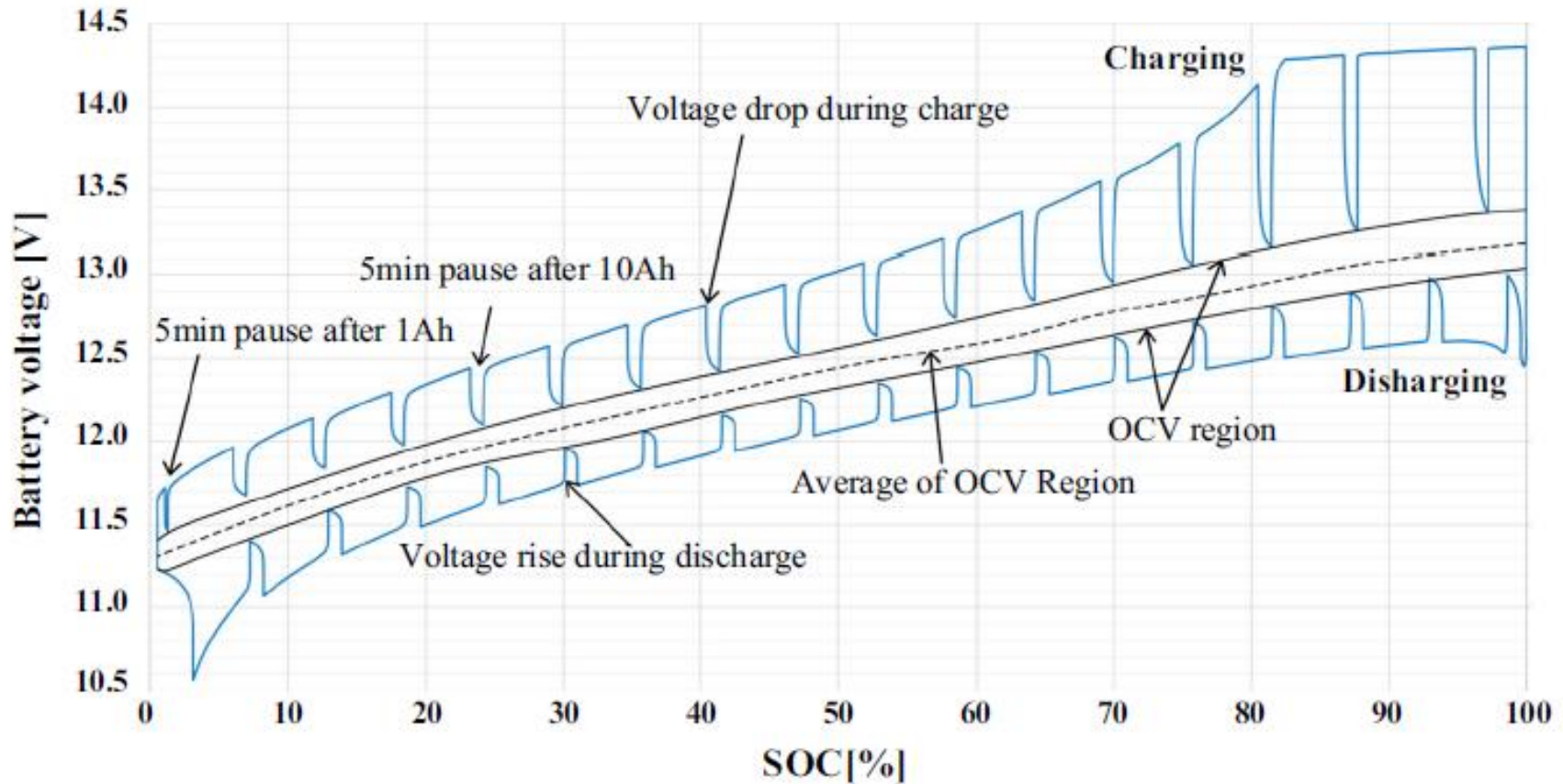


ΤΥΠΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

$$0.36V + 1.69V = 2.05V$$



Open and Closed Circuit Voltage



Battery Capacity

- A battery's **capacity** (*in ampere-hours (Ah)*) is the amount of electric charge it can deliver.
- Factors that affect battery capacity:
 - Rate of discharge
 - Depth of Discharge (DoD)
 - Temperature
 - Age
 - Recharging characteristics

Χαρακτηριστικά τυπικών υλικών ηλεκτροδίων

Material	Atomic or molecular weight, g	Standard reduction potential at 25°C, V	Valence change	Melting point, °C	Density, g/cm ³	Electrochemical equivalents		
						Ah/g	g/Ah	Ah/cm ³
Anode materials								
H ₂	2.01	0 −0.83 [†]	2	—	—	26.59	0.037	—
Li	6.94	−3.01	1	180	0.54	3.86	0.259	2.06
Na	23.0	−2.71	1	98	0.97	1.16	0.858	1.14
Mg	24.3	−2.38 −2.69 [†]	2	650	1.74	2.20	0.454	3.8
Al	26.9	−1.66	3	659	2.69	2.98	0.335	8.1
Ca	40.1	−2.84 −2.35 [†]	2	851	1.54	1.34	0.748	2.06
Fe	55.8	−0.44 −0.88 [†]	2	1528	7.85	0.96	1.04	7.5
Zn	65.4	−0.76 −1.25 [†]	2	419	7.14	0.82	1.22	5.8
Cd	112.4	−0.40 −0.81 [†]	2	321	8.65	0.48	2.10	4.1
Pb	207.2	−0.13	2	327	11.34	0.26	3.87	2.9
(Li)C ₆ [§]	72.06	−2.8	1	—	2.25	0.372	2.69	0.837
MH [†]		−0.83 [†]	2	—	—	0.305	3.28	—
CH ₃ OH	32.04	—	6	—	—	5.02	0.20	—
Cathode materials								
CuF ₂	101.5	3.55	2			0.528	1.89	
O ₂	32.0	1.23 0.40 [†]	4	—	—	3.35	0.30	
Cl ₂	71.0	1.36	2	—	—	0.756	1.32	
SO ₂	64.0	—	1	—	—	0.419	2.38	
MnO ₂	86.9	1.28 [‡]	1	—	5.0	0.308	3.24	1.54
NiOOH	91.7	0.49	1	—	7.4	0.292	3.42	2.16
CuCl	99.0	0.14	1	—	3.5	0.270	3.69	0.95
FeS ₂	119.9	—	4	—	—	0.89	1.12	4.35
AgO	123.8	0.57 [†]	2	—	7.4	0.432	2.31	3.20
Br ₂	159.8	1.07	2	—	—	0.335	2.98	
HgO	216.6	0.10 [†]	2	—	11.1	0.247	4.05	2.74
Ag ₂ O	231.7	0.35 [†]	2	—	7.1	0.231	4.33	1.64
PbO ₂	239.2	1.69	2	—	9.4	0.224	4.45	2.11
LiFePO ₄	163.8	~0.42	1	—	3.44	0.160	6.25	0.554
LiMn ₂ O ₄ (spinel)	148.8	~1.2	1	—	4.1	0.120	8.33	0.492
Li _x CoO ₂	98	~1.25	0.5	—	5.05	0.155	6.45	0.782
I ₂	253.8	0.54	2	—	4.94	0.211	4.73	1.04

Theoretical Battery Capacity, Ah

- 1g-equivalent of any active battery electrode material produces 96,487 C or 26.8 Ah.
- 1g-equivalent is the atomic or molecular weight of the active material in grams divided by the number of electrons involved in a reaction.

Theoretical Battery Capacity, Ah

Li – ion cell

$Li C_6$ MB = 72

1g-equivalent = $72/1 \rightarrow 26.8 \text{ Ah} \dot{\sim} 0.372 \text{ Ah/g}$

CoO_2 MB = 98

1g-equivalent = $98/1 \rightarrow 26.8 \text{ Ah} \dot{\sim} 0.273 \text{ Ah/g}$



0.372 Ah/g 0.273 Ah/g

$\dot{\sim}$ 2.69 g/Ah 3.66 g/Ah $\rightarrow$ 6.35 g/Ah $\dot{\sim}$ **0.157 Ah/g**

Theoretical Battery Capacity, Ah

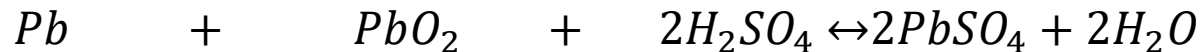
Lead – acid cell

$$Pb \quad AB = 207.2$$

$$1\text{g-equivalent} = 207.2/2 = 103.6\text{g} \rightarrow 26.8 \text{ Ah} \approx 0.26 \text{ Ah/g}$$

$$PbO_2 \quad MB = 239.2$$

$$1\text{g-equivalent} = 239.2/2 = 119.6\text{g} \rightarrow 26.8 \text{ Ah} \approx 0.22 \text{ Ah/g}$$



$$0.26 \text{ Ah/g} \quad 0.22 \text{ Ah/g}$$

$$\approx 3.85 \text{ g/Ah} \quad 4.55 \text{ g/Ah} \rightarrow 8.4 \text{ g/Ah} \approx \mathbf{0.12 \text{ Ah/g}}$$

Theoretical Specific Energy, Wh/kg

1. Li – ion cell

$$\text{Specific Energy} = (\text{Voltage}) \times (\text{Capacity}) = 4.05\text{V} \times 0.157\text{Ah/g} = 0.636 \text{ Wh/g} \approx \mathbf{635 \text{ Wh/kg}}$$

2. Lead – acid cell

$$\text{Specific Energy} = (\text{Voltage}) \times (\text{Capacity}) = 2.05\text{V} \times 0.12\text{Ah/g} = 0.246 \text{ Wh/g} \approx \mathbf{246 \text{ Wh/kg}}$$

Rate of Charge and Discharge

- The rate or current of charge or discharge a battery is typically expressed as a multiple of the battery capacity.

$$I \text{ (A)} = M \times C$$

- For example, a 1 C rate is the current expressed in amperes (A) that has equal numerical value to the battery capacity in Ah, i.e., it represents the current that would charge or discharge a battery in 1 h.
- A battery rated at 5 Ah, the specified current for a 10-h discharge, expressed as the 0.1C or C/10 C-rate, is 0.5 A.
- A 250 mAh battery, discharged at 50 mA, has a calculated C-rate as follows:

$$\text{C-rate} = \frac{0.05}{0.250} = \frac{C}{5} \text{ (or } 0.2C\text{)}$$

Rate of Charge and Discharge

More examples

1. What is the C-rate if a current of 300 mA is used to charge a cell with a rated capacity of 1200 mAh?

$$M = I / C = 300 \text{ mA} / 1200 \text{ mAh} = 1/4$$

The current chosen is expressed as C/4 or 0.25 C. The battery would be fully charged using this current in 4 h.

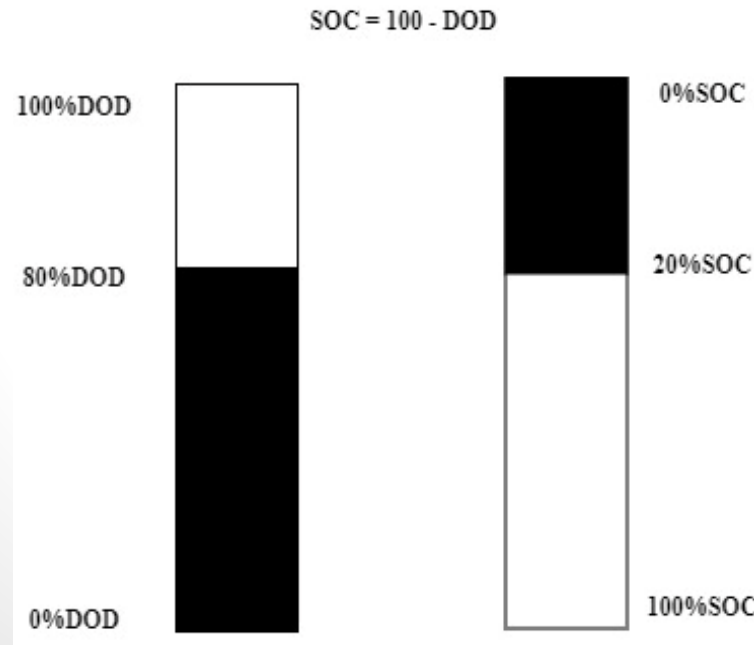
2. What is the C-rate if a battery has a capacity of 1200 mAh and is discharged using 2.4 A current?

$$M = 2400 \text{ mA} / 1200 \text{ mAh} = 2 \text{ or the C-rate is } 2C$$

The battery would be fully charged using this current in 0.5h.

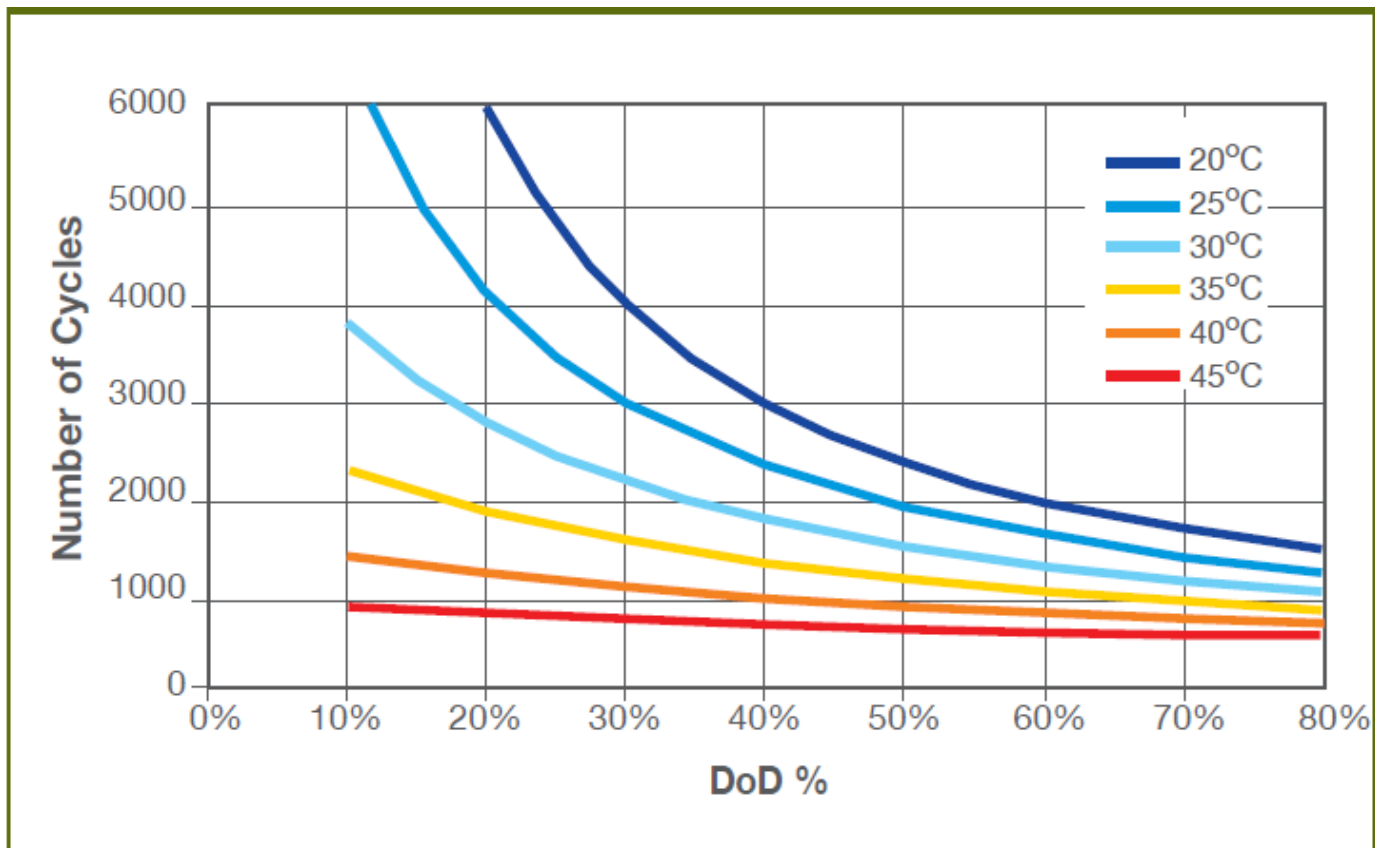
Depth of Discharge (DoD) and State of Charge (SOC)

- Depth of Discharge (DOD) refers to how much capacity will be withdrawn from a battery.
 - Battery life is directly related to how deep the battery is cycled.
- State of Charge (SOC) refers to how much capacity is available from a battery



Life Expectancy

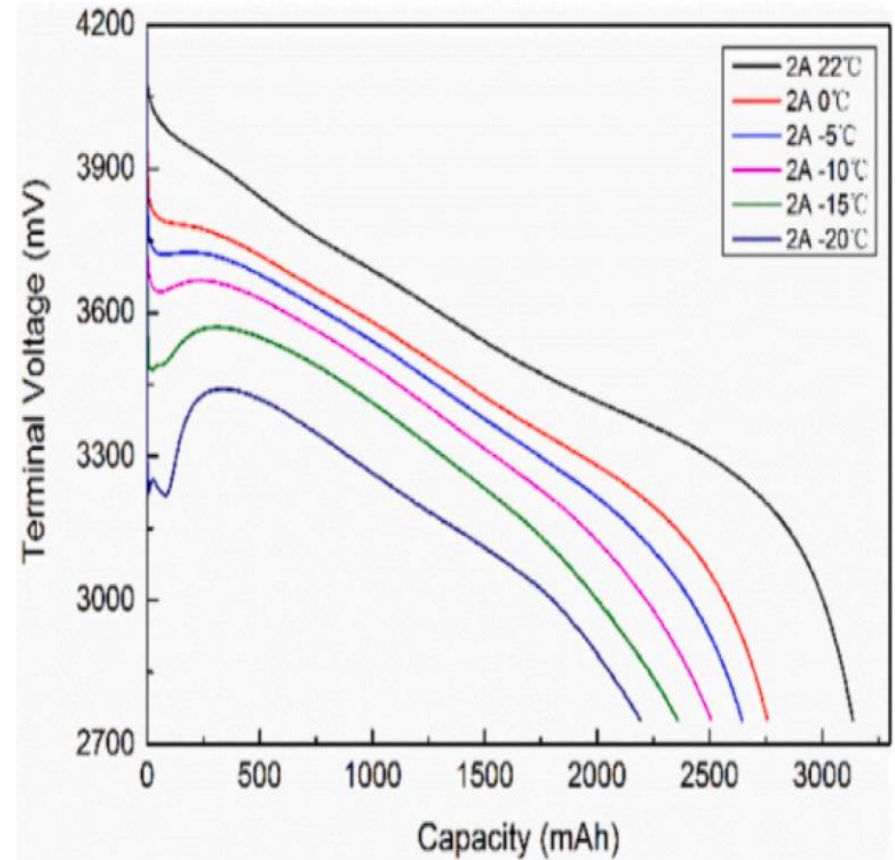
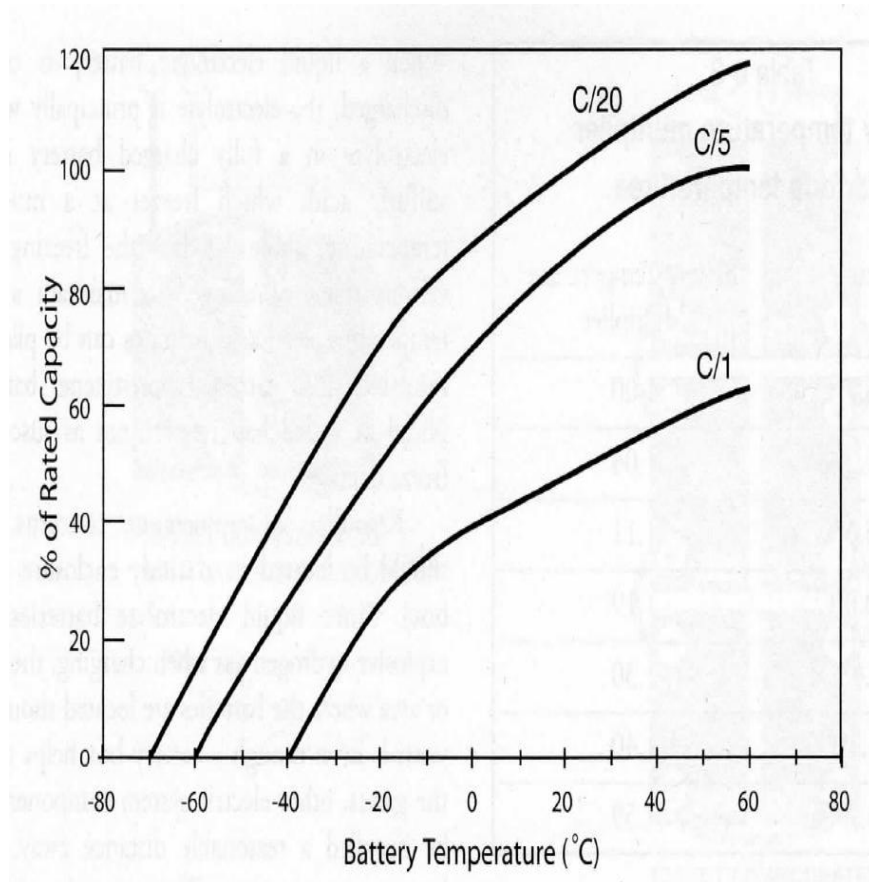
- Battery manufacturers specify life expectancy in terms of a quantity of cycles.
- Battery life (number of daily cycles) is affected by the depth of Discharge (in percent of battery capacity).



Environmental Conditions

- Batteries are affected by the environment's temperature
- Higher voltage charge termination points are required to complete charging as a battery's temperature drops (the opposite is true in warmer temperatures)
- Controllers with a temperature compensation feature can automatically adjust charge voltage based on a battery's temperature

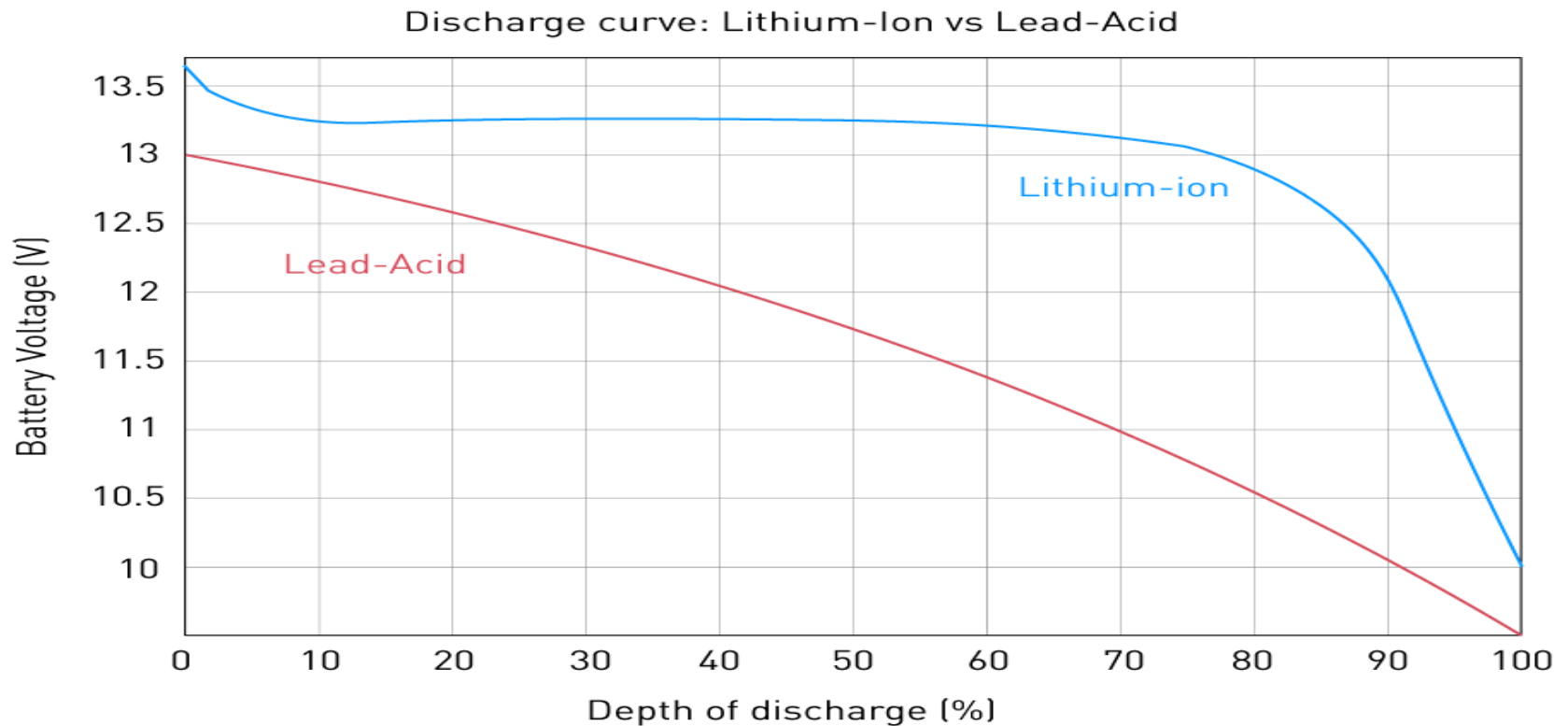
Environmental Conditions



Effect of Temperature on Battery Discharge Capacity

Energy Efficiency

$$\eta_{\text{en}} = W_{\text{disch}} / W_{\text{ch}} \quad (95\% \text{ Li-ion, } 85\% \text{ Lead-acid})$$



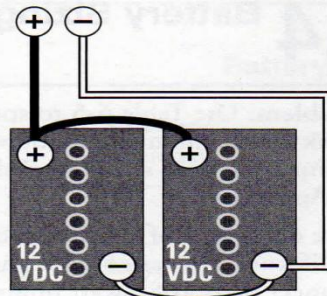
Days of Autonomy

- Autonomy refers to the number of days a battery system will provide a given load without being recharged.
- The number of days of autonomy is determined by
 - the location
 - total load
 - types of load
- The general range of autonomy is as follows:
 - 2 to 3 days for non-essential uses or systems with a generator back-up
 - 5 to 7 days for critical loads with no other power sources

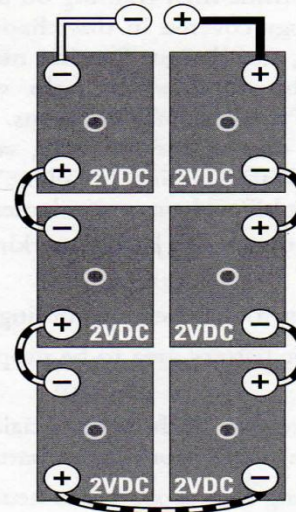
Comparison Table of Secondary Batteries

Specifications	Lead Acid	Li-ion ¹		
		Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy (Wh/kg)	30–50	150–250	100–150	90–120
Internal resistance	Very Low	Moderate	Low	Very low
Cycle life ² (80% DoD)	200–300	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Charge time ⁴	8–16h	2–4h	1–2h	1–2h
Overcharge tolerance	High	Low. No trickle charge		
Self-discharge/ month (room temp)	5%	<5% Protection circuit consumes 3%/month		
Cell voltage (nominal)	2V	3.6V ⁷	3.7V ⁷	3.2–3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	4.20 typical Some go to higher V		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75V	2.50–3.00V		2.50V
Peak load current Best result	5C ⁸ 0.2C	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C ⁹ (32 to 113°F)		
Discharge temperature	–20 to 50°C (–4 to °F)	–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
Maintenance requirement	3–6 months ¹⁰ (toping chg.)	Maintenance-free		
Safety requirements	Thermally stable	Protection circuit mandatory ¹¹		
In use since	Late 1800s	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Low		
Coulombic efficiency ¹²	~90%	99%		
Cost	Low	High ¹³		

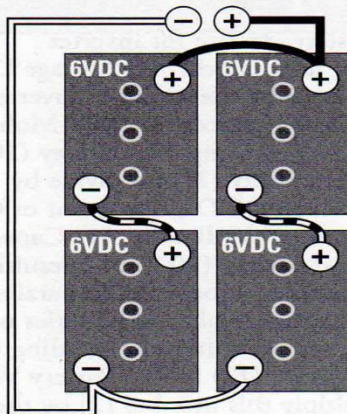
12 Volt Battery Configurations



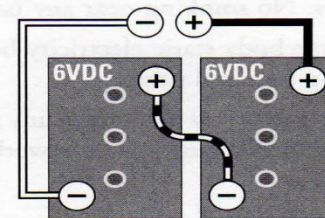
12-VOLT CONFIGURATION
with 12-volt batteries in *parallel*



12-VOLT CONFIGURATION
with 2-volt batteries in *series*



12-VOLT CONFIGURATION
with 6-volt batteries in *series/parallel*

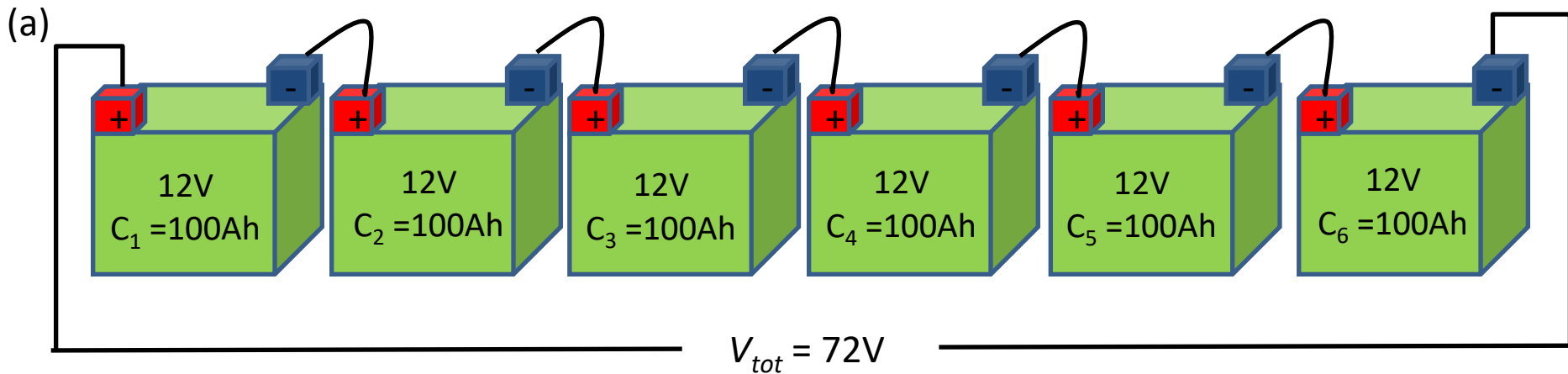


12-VOLT CONFIGURATION
with 6-volt batteries in *series*

Πρόβλημα 1^ο

Σε μια συστοιχία συσσωρευτών θα πρέπει να έχουμε τελική τάση εξόδου $V_{\text{tot}} = 72\text{V}$. Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία: $V_{\text{nom}} = 12\text{V}$ και $C_{\text{nom}} = 100\text{Ah}$.

- a) Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι 72V.
- b) Ποια είναι η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας και ποια η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια;
- c) Αν το βάθος εκφόρτισης της συστοιχίας είναι ίσο με 0.8 και ο βαθμός απόδοσης ίσος με 0.85, να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τη συστοιχία.
- d) Ποιο είναι το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας (ολικό ρεύμα), αν η ισχύς της κατανάλωσης που τροφοδοτείται είναι 360W;
- e) Ποιος είναι ο χρόνος με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση;



Οι συσσωρευτές που διαθέτουμε έχουν ονομαστική τάση $V_{nom} = 12\text{V}$ και η συστοιχία μας θα πρέπει να έχει συνολική τάση $V_{tot} = 72\text{V}$. Άρα η συστοιχία θα αποτελείται από:

$$\frac{V_{tot}}{V_{nom}} = \frac{72}{12} = 6$$

(b) Εφόσον είναι συνδεδεμένες σε σειρά θα ισχύει $C_{tot} = C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 100\text{Ah}$. Η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι: $E = C_{tot} \times V_{tot} = (100\text{Ah}) \times (72\text{V}) = 7200\text{Wh}$ ή 7.2kWh .

(c) Η ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε από τη μπαταρία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_R = n \times \text{DOD} \times E$$

Όπου $n = 0.85$ ο βαθμός απόδοσης
 $\text{DOD} = 0.8$ το βάθος εκφόρτισης

$$E_R = 0.85 \times 0.8 \times 7200 = 4896 \text{ Wh}$$

(d) Η ισχύς της μπαταρίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V_{tot} \times I$$

Όπου I το ρεύμα εκφόρτισης

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{360W}{72V} = 5A$$

(e) Ο χρόνος t με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση θα υπολογιστεί από τη σχέση:

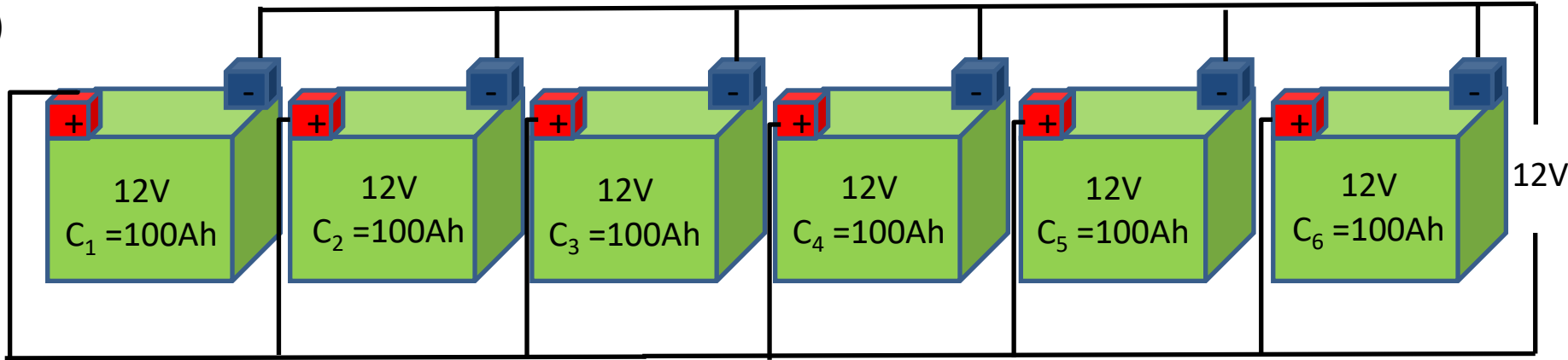
$$E_R = Pxt \Rightarrow t = \frac{E_R}{P} = \frac{4896 Wh}{360W} = 13.6h$$

Πρόβλημα 2^ο

Σε μια συστοιχία συσσωρευτών θα πρέπει να έχουμε ολική χωρητικότητα $C_{\text{tot}} = 600\text{Ah}$ με ολική τάση $V_{\text{tot}} = 12\text{V}$. Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία $V_{\text{nom}} = 12\text{V}$ και $C_{\text{nom}} = 100\text{Ah}$.

- a) Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, έτσι ώστε η ολική χωρητικότητα της συστοιχίας να είναι 600Ah.
- b) Ποια είναι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια;
- c) Αν το βάθος εκφόρτισης της συστοιχίας είναι ίσο με 0,8 και ο βαθμός απόδοσης είναι ίσος με 0,85, να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τη συστοιχία.
- d) Ποιο θα είναι το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας (ολικό ρεύμα) και ποιο το ρεύμα εκφόρτισης του κάθε συσσωρευτή, αν η ισχύς της κατανάλωσης που τροφοδοτείται είναι 360W;
- e) Ποιος είναι ο χρόνος με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί με ενέργεια την κατανάλωση;

(a)



Οι συσσωρευτές που διαθέτουμε έχουν ονομαστική χωρητικότητα $C_i = 100\text{Ah}$ και η συστοιχία μας θα πρέπει να έχει συνολική χωρητικότητα $C_{tot} = 600\text{Ah}$. Άρα ο αριθμός των στοιχείων “n” που θα πρέπει να συνδεθούν παράλληλα ώστε η συστοιχία να έχει την απαιτούμενη χωρητικότητα είναι: $C_{tot} = n \times C_i \Rightarrow n = C_{tot} / C_i \Rightarrow n = 600 / 100 = 6$

(b) Η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι: $E = C_{tot} \times V_{tot} = (600\text{Ah}) \times (12\text{V}) = 7200\text{Wh}$ ή 7.2kWh

(c) Η ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε από τη μπαταρία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_R = n \times \text{DOD} \times E$$

Όπου $n = 0.85$ ο βαθμός απόδοσης
 $\text{DOD} = 0.8$ το βάθος εκφόρτισης

$$E_R = 0.85 \times 0.8 \times 7200 = 4896 \text{ Wh}$$

(d) Η ισχύς της μπαταρίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V_{tot} \times I$$

Όπου I το ρεύμα εκφόρτισης

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{360W}{12V} = 30A$$

Επειδή τα στοιχεία είναι συνδεδεμένα παράλληλα το συνολικό ρεύμα προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων των στοιχείων:

$$I = \sum_{i=1}^6 I_i = 6I_c \Rightarrow I_c = \frac{I}{6} = \frac{30}{6} \Rightarrow I_c = 5A$$

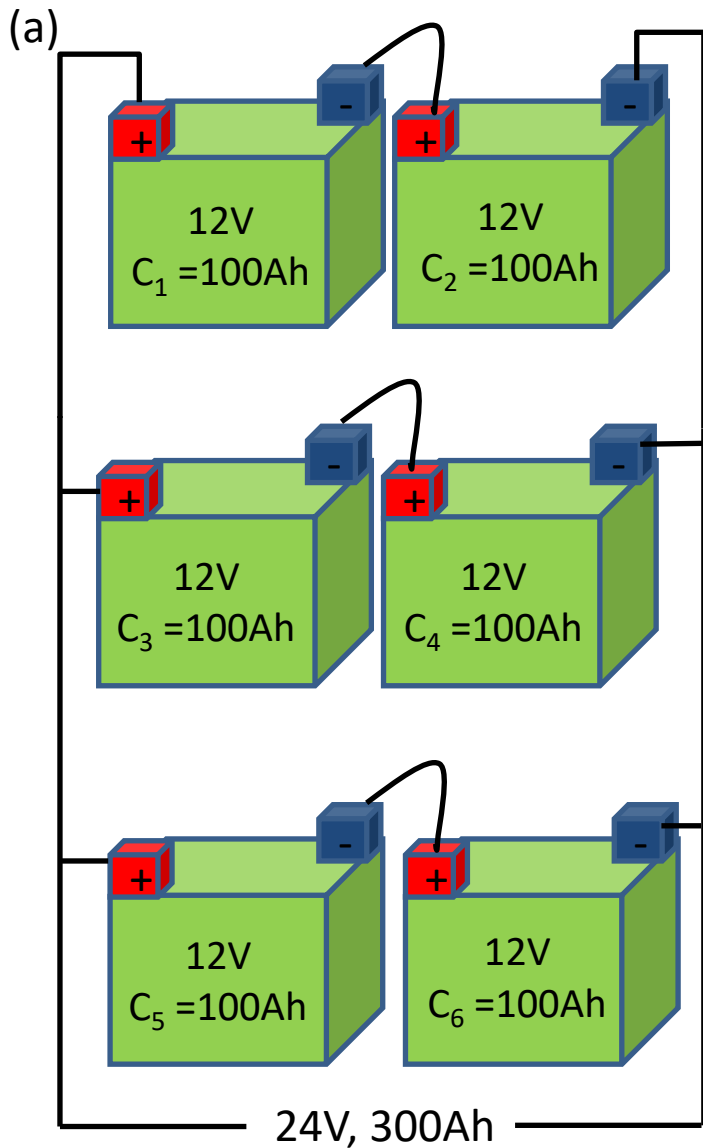
(e) Ο χρόνος t με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$E_R = Pxt \Rightarrow t = \frac{E_R}{P} = \frac{4896 Wh}{360W} = 13.6h$$

Πρόβλημα 3^ο

Σε μια συστοιχία συσσωρευτών θα πρέπει να έχουμε ολική τάση $V_{\text{tot}} = 24\text{V}$ και ολική χωρητικότητα $C_{\text{tot}} = 300\text{Ah}$. Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία $V_{\text{nom}} = 12\text{V}$ και $C_{\text{nom}} = 100\text{Ah}$.

- a) Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι 24V και η ολική χωρητικότητα 300Ah .
- b) Ποια είναι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια;
- c) Αν το βάθος εκφόρτισης της συστοιχίας είναι ίσο με 0.8 και ο βαθμός απόδοσης ίσος με 0.85 , να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τη συστοιχία.
- d) Ποιο θα είναι το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας (ολικό ρεύμα) και ποιο το ρεύμα εκφόρτισης του κάθε συσσωρευτή, αν η ισχύς της κατανάλωσης που τροφοδοτείται είναι 360W ;
- e) Ποιος είναι ο χρόνος με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί με ενέργεια την κατανάλωση;



Για να δημιουργήσουμε την τάση των 24V θα πρέπει να συνδέσουμε 2 στοιχεία των 12 V σε σειρά ενώ για τη δημιουργία μιας συστοιχίας με ονομαστική χωρητικότητα 300Ah θα πρέπει να συνδέσουμε τρία στοιχεία των 100Ah παράλληλα.

(b) Η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι: $E = C_{tot} \times V_{tot} = (300Ah) \times (24V) = 7200Wh$ ή $7.2kWh$

(c) Η ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε από τη μπαταρία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_R = n \times DOD \times E$$

Όπου

$n = 0.85$ ο βαθμός απόδοσης

$DOD = 0.8$ το βάθος εκφόρτισης

$$E_R = 4896 Wh$$

(d) Η ισχύς της μπαταρίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V_{tot} \times I$$

Όπου I το ρεύμα εκφόρτισης

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{360W}{24V} = 15A$$

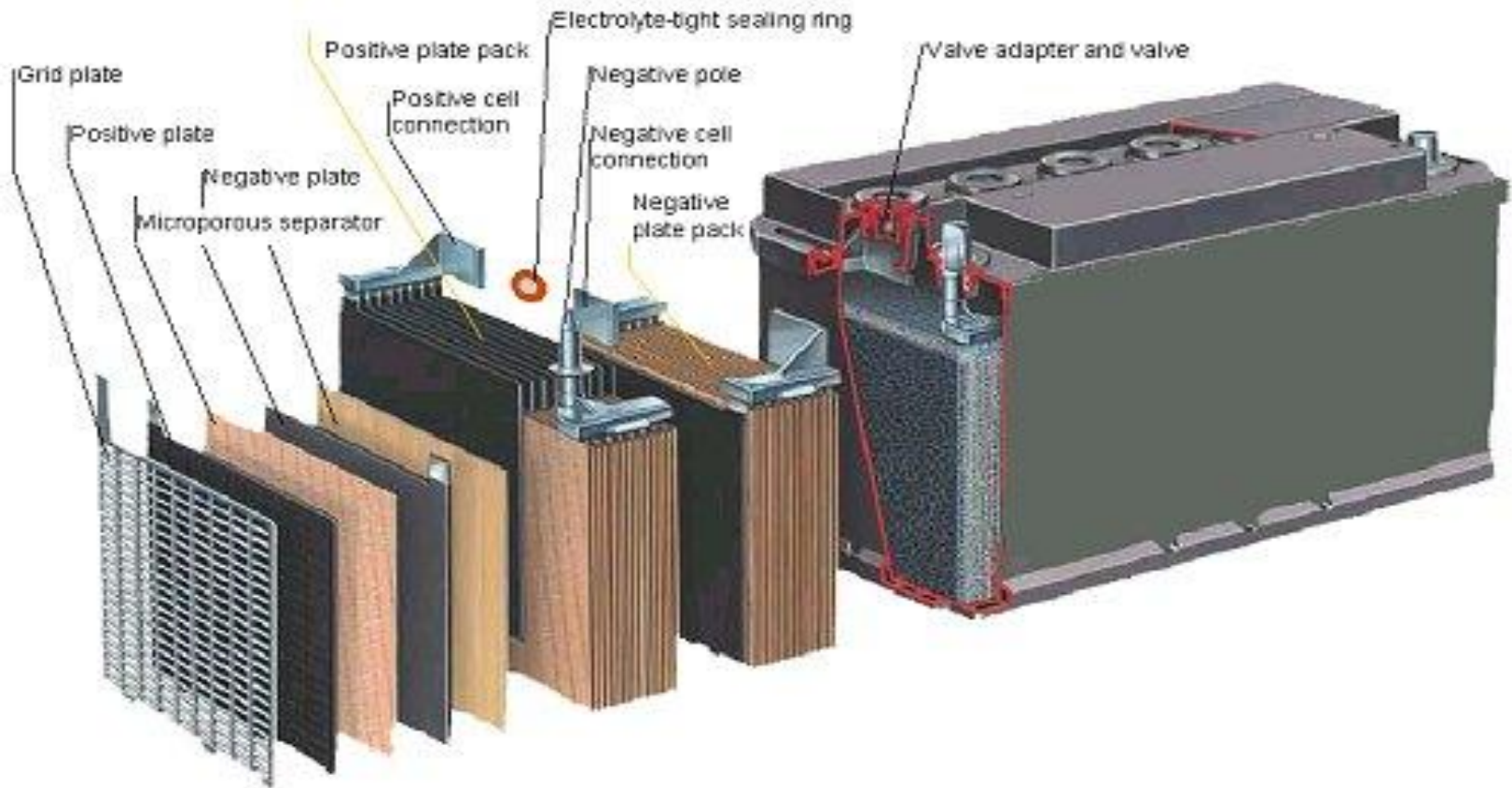
Επειδή τα στοιχεία ανά δύο είναι συνδεδεμένα παράλληλα το συνολικό ρεύμα προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων των στοιχείων:

$$I = \sum_{i=1}^3 I_i = 3I_c \Rightarrow I_c = \frac{I}{3} = \frac{15}{3} \Rightarrow I_c = 5A$$

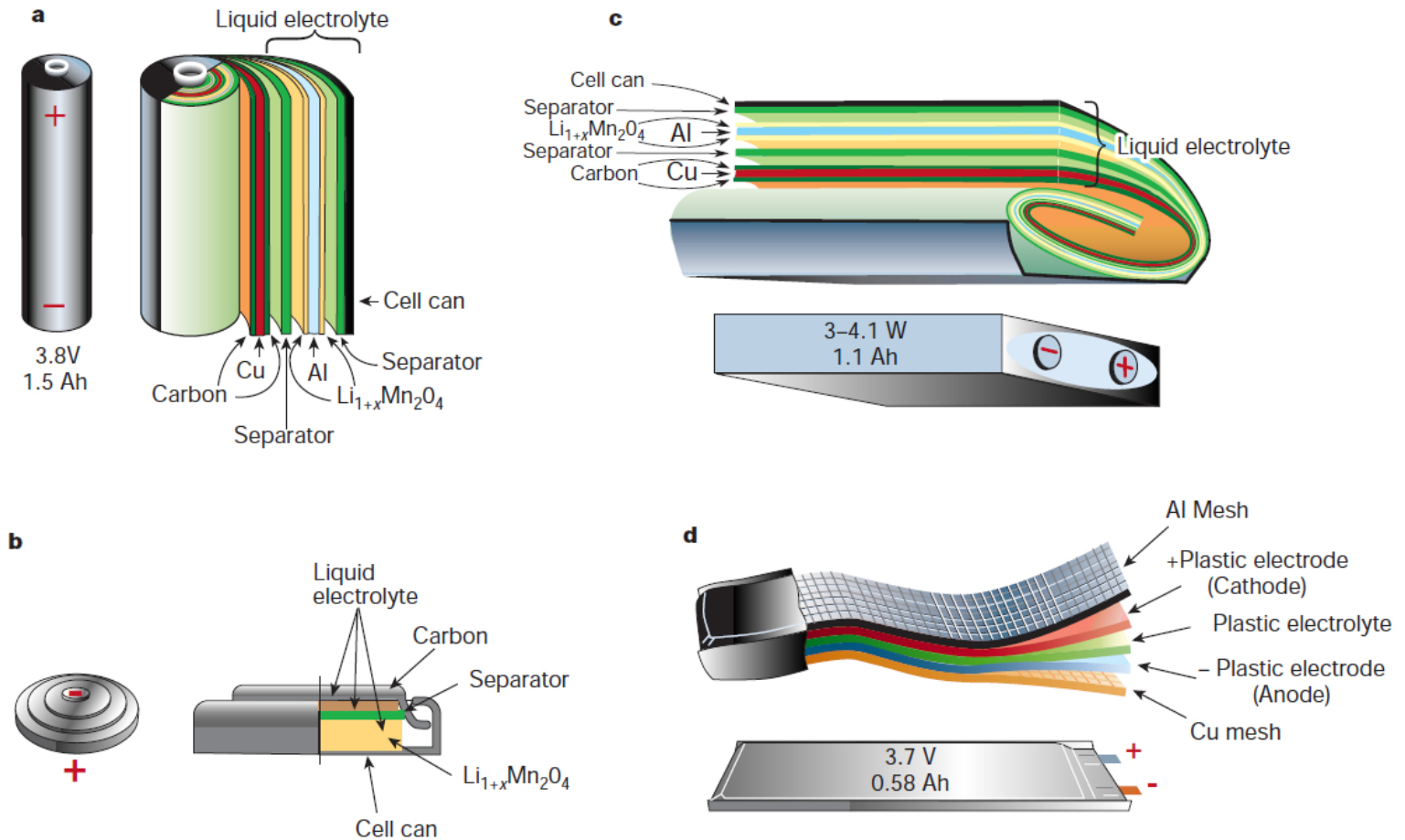
(e) Ο χρόνος t με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$E_R = Pxt \Rightarrow t = \frac{E_R}{P} = \frac{4896 Wh}{360W} = 13.6h$$

LEAD – ACID BATTERIES



Li-Ion Batteries



a. Cylindrical, **b.** coin, **c.** prismatic, and **d.** thin and flat.