

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας

Λοιπά Αποθηκευτικά Μέσα

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

1

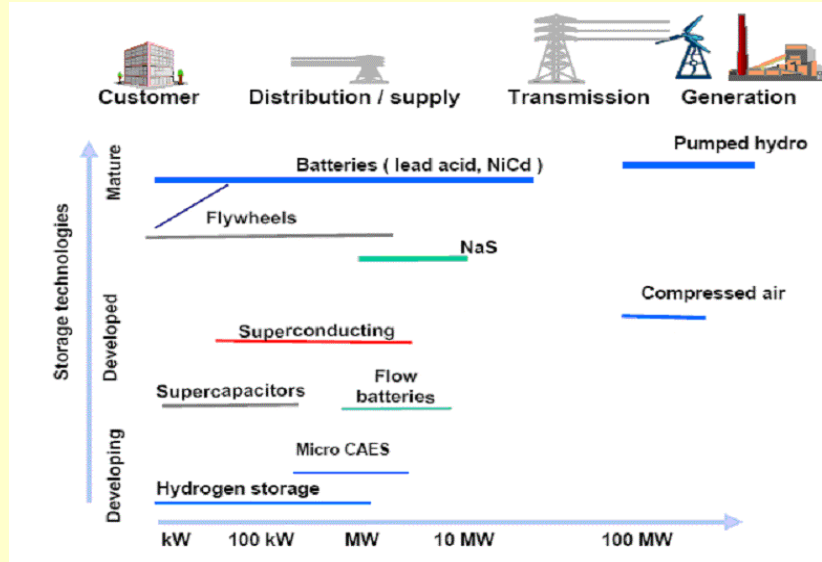
Διατάξεις μεγαλύτερης δυνατότητας παροχής ισχύος

- Είδαμε ότι οι μπαταρίες είναι αρκετά ικανοποιητικές για σταθερό φορτίο αλλά δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν γρήγορα εναλλαγές φορτίου. Αν αυτό χρειαστεί θα πρέπει οι συστοιχές μπαταριών να είναι σημαντικά μεγαλύτερες
- Σε αυτό μπορούν να συμβάλλουν διατάξεις με μεγάλη ικανότητα παροχής ισχύος κι όχι ενέργειας
- Ultracapacitors και Flywheels και λιγότερο εφαρμόσιμες SMES.
- Για ισχύ και ενέργεια μπορούν να προσφερθεί ενέργεια και από συστήματα πεπιεσμένου αέρα (CAES) που σε πιο πρόσφατη εφαρμογή είναι και μεταφέρσιμα

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

2

Τεχνολογική ωριμότητα



Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

3

Power vs. energy delivery profile technologies

	Lead-Acid	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion
Cell voltage (V)	2	1.2	1.2	3.6
Specific energy (Wh/kg)	1-60	20-55	1-80	3-100
Specific power (W/kg)	< 300	150 - 300	< 200	100 - 1000
Energy density (kWh/m ³)	25-60	25	70-100	80-200
Power density (MW/m ³)	< 0.6	0.125	1.5 - 4	0.4 - 2
Maximum cycles	200-700	500-1000	600-1000	3000
Discharge time range	> 1 min	1 min-8 hr	> 1 min	10 s-1 h
Cost (\$/kWh)	125	600	540	600
Cost (\$/kW)	200	600	1000	1100
Efficiency (%)	75 - 90	75	81	99

	Flywheel	Ultracapacitor
System power ratings (kW)	2 - 500	5 - 1000
Specific energy (Wh/kg)	15 - 150	0.5 - 4
Specific power (W/kg)	900 - 20000	50 - 3000
Energy density (kWh/m ³)	6 - 100	0.8 - 4
Power density (MW/m ³)	0.3 - 40	0.3 - 1
Maximum cycles	> 100 000	> 100 000
Discharge time range	4 - 60 s	1 - 60 s
Life expectancy (hours)	175 000	100 000
Cost (\$/kW)	300	500
Efficiency (%)	90 - 93	90 - 95

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

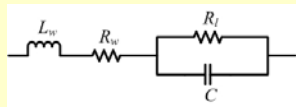
4

Ultracapacitors

- Αποθηκεύεται η ενέργεια με τη μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου

$$C = \frac{Q}{V} \qquad C = \epsilon \frac{A}{d}$$

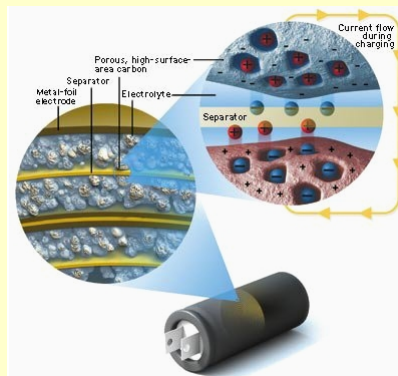
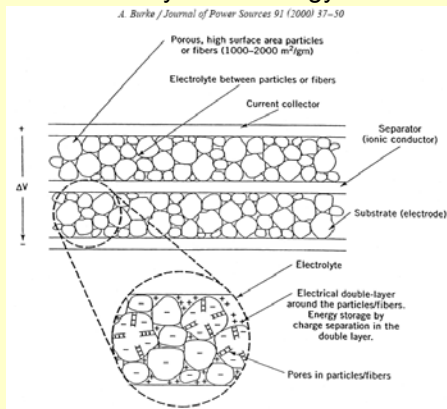
- Με ισοδύναμα τέτοια μοντέλα:



$$ESR = R_w + \frac{1}{\omega^2 R_l C^2}$$

Ultracapacitors

- Ultracapacitors technology: construction
 - Double-layer technology



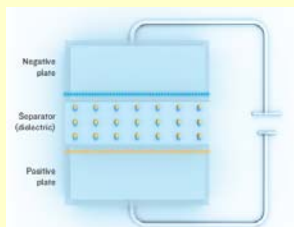
<http://www.ultracapacitors.org/img2/ultracapacitor-image.jpg>

- Electrodes: Activated carbon (carbon cloth, carbon black, aerogel carbon, particulate from SiC, particulate from TiC)
- Electrolyte: KOH, organic solutions, sulfuric acid.

Ultracapacitors

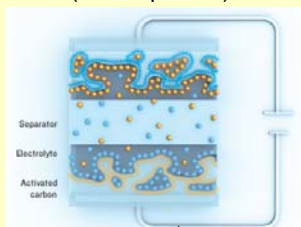
- Κατασκευή

Τυπικός Πυκνωτής



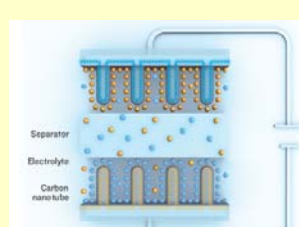
The charge of ultracapacitors, IEEE Spectrum Nov. 2007

Πυκνωτές διπλού στρώματος (ultracapacitor)



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

Ultracapacitor with με ηλεκτρίδα νανოსωλήνων



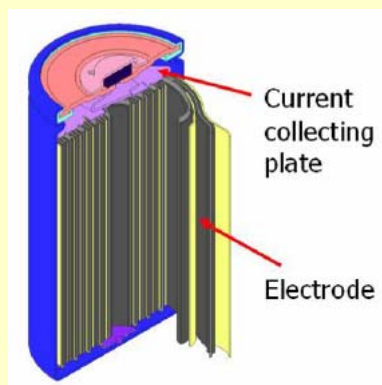
- Βασική αρχή: αυξάνεται η επιφάνεια και μειώνεται η απόσταση
- Αντίθετα με τις μπαταρίες δε στηρίζουν τη λειτουργία τους σε χημικές αντιδράσεις

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

7

Ultracapacitors

- Ultracapacitors technology: construction



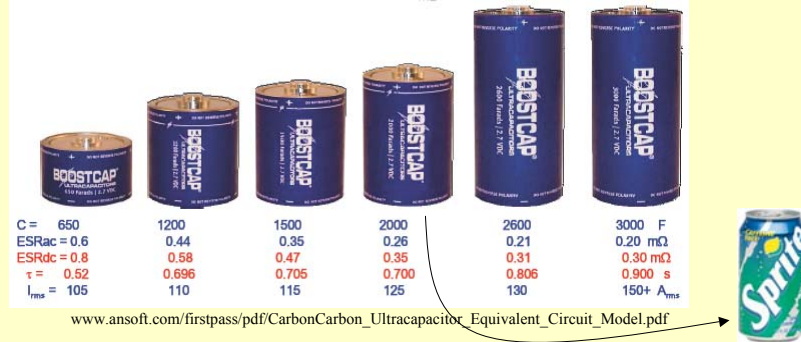
www.ansoft.com/firstpass/pdf/CarbonCarbon_Ultracapacitor_Equivalent_Circuit_Model.pdf

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

8

Ultracapacitors

- Τυπικοί υπερπυκνωτές



- Στα 2.7 V, ένας υπερ-πυκνωτής μπορεί να αποθηκεύσει περισσότερα από 7000 J σε όγκο ίσο με κουτάκι αναψυκτικού.
- Ο ίδιος όγκος αντιστοιχεί σε ηλεκτρολυτικό πυκνωτή των 1.5 mF, 500 V και αποθηκεύει λιγότερα από 200 J.

Ultracapacitors

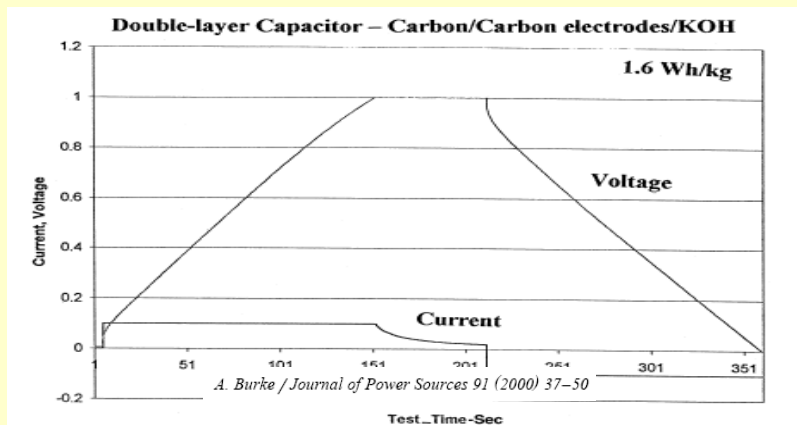
- Σύγκριση διαφόρων τεχνολογιών Υπερπυκνωτών

Capacitor Type	Current (pk/rms) (A)	Voltage (V)	Energy (Wh/liter)	Energy (Wh/kg)	Mass 1 MJ (kg)	Response Time (seconds)
Electrostatic Polymer Film Ceramic MLCC	200,000/300	900	0.03	0.024	12,000	10 ⁻³
Electrolytic Aluminum electrolytic	?/40	450	0.087	0.019	15,000	10 ⁻⁴
Electrochemical Carbon ultracapacitor	4,800/150	2.7	6.4	5.5	51	1
Electrochemical Lithium-Ion	2,000/150	3.8	286	123	2	10 ³

www.ansoft.com/firstpass/pdf/CarbonCarbon_Ultracapacitor_Equivalent_Circuit_Model.pdf

Ultracapacitors

- Φόρτιση-Εκφόρτιση:
 - Υπό σταθερό ρεύμα, η τάση προσεγγίζει γραμμική συνάρτηση με μεγάλη σταθερά χρόνου

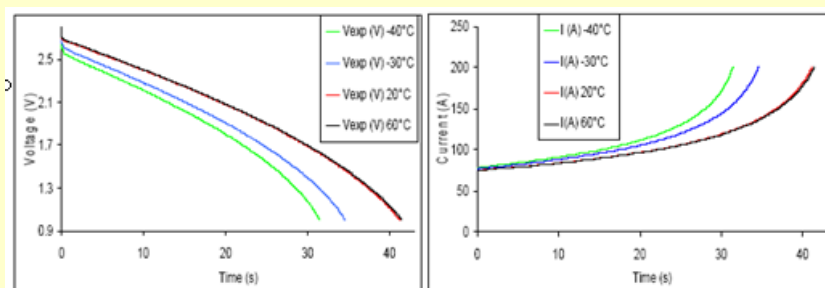


Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

11

Ultracapacitors

- Φόρτιση-Εκφόρτιση:
 - Επηρεάζεται υπο σταθερή φόρτιση από τη θερμοκρασία



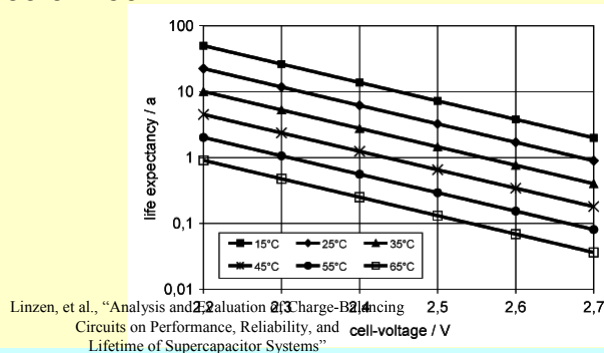
www.ansoft.com/firstpass/pdf/CarbonCarbon_Ultracapacitor_Equivalent_Circuit_Model.pdf

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

12

Ultracapacitors

- Γήρανση:
 - Δεν επηρεάζεται από τους κύκλους (όπως η μπαταρία) αλλά από τη γήρανση η οποία επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την τάση
 - Η γήρανση προέρχεται από την αφομοίωση του υλικού και τη μη καθαρότητα του υλικού

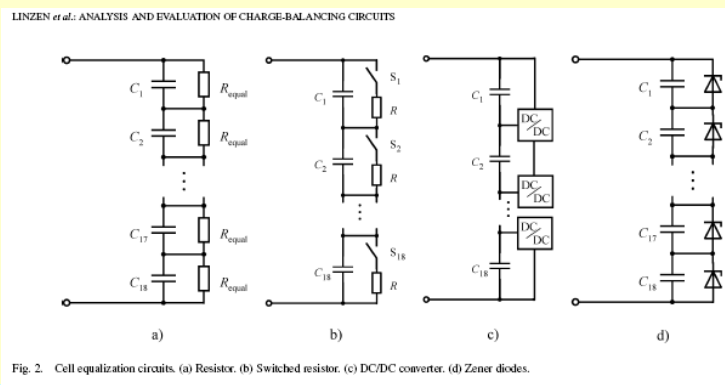


Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

13

Ultracapacitors

- Συνδεσμολογία Ηλεκτρονικών Ισχύος:
 - Συνίσταται για 2 λόγους:
 - Διατηρεί την τάση εξόδου σταθερή κατά την εκφόρτιση)
 - Εξισορροπεί τις τάσεις (ακολουθούν κυκλωματικά διαγράμματα)

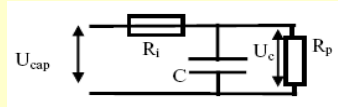


Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

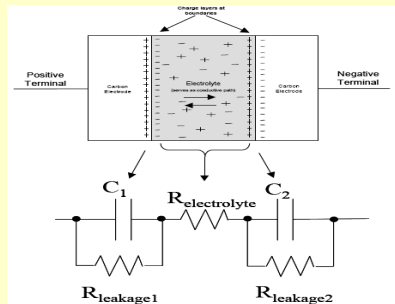
14

Ultra-capacitors

- Η μοντελοποίηση είναι αρκετά κοινή με τις μπαταρίες

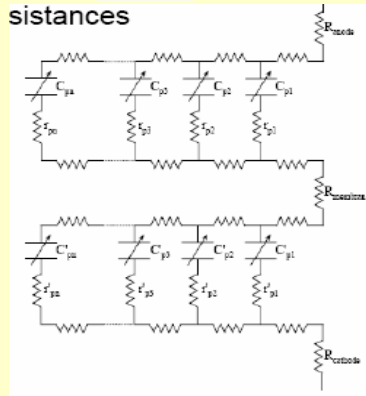


Mierlo et al., Journal of Power Sources 128 (2004) 76-89



Ultracapacitors for Use in Power Quality and Distributed Resource Applications, P. P. Barker

sistances

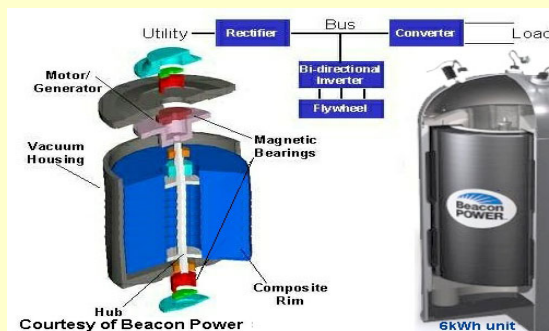


Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

15

Σφόνδυλοι-Στρεφόμενες Μάζες (Flywheels)

- Μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρισμό με περιστρεφόμενες διατάξεις πολύ υψηλής ταχύτητας
- Διαθέσιμες σε κλιμακωτά μεγέθη μερικών kW
- Κυρίως για εφαρμογές σύντομων χρονικών διαστημάτων
- Υψηλή ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης



30-80€/kW για χαμηλότερης ταχύτητας απόκρισης

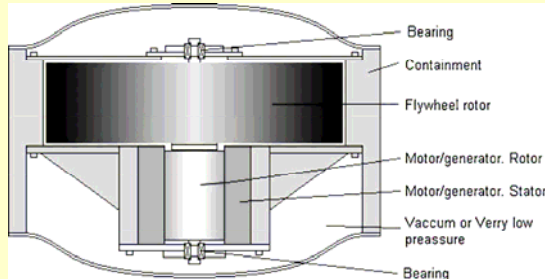


Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

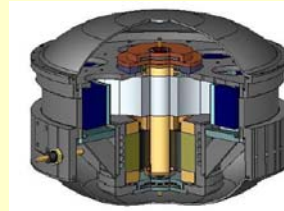
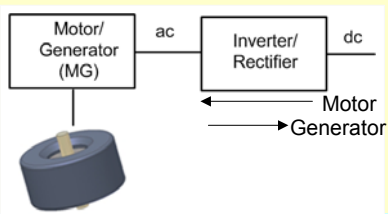
16

Flywheels

- Μηχανική Αποθήκευση (σε στρεφόμενο δίσκο)



B. Bolund et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 235-258

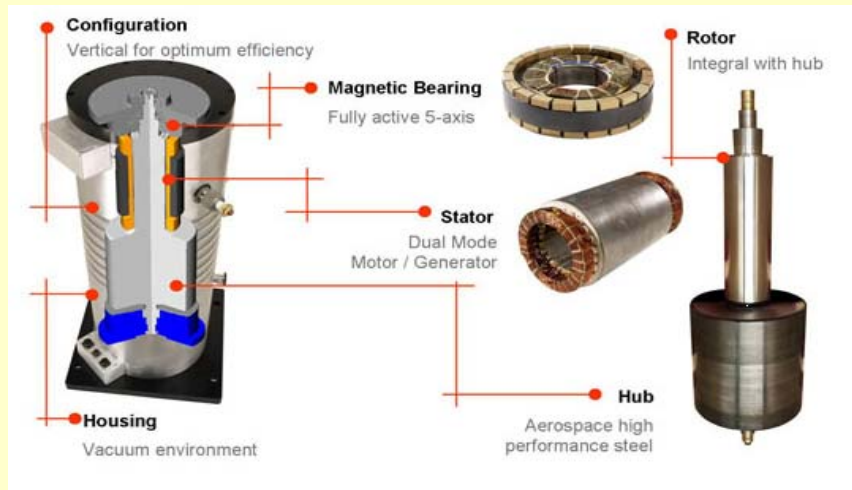


Flywheels Energy Systems

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

17

Flywheels



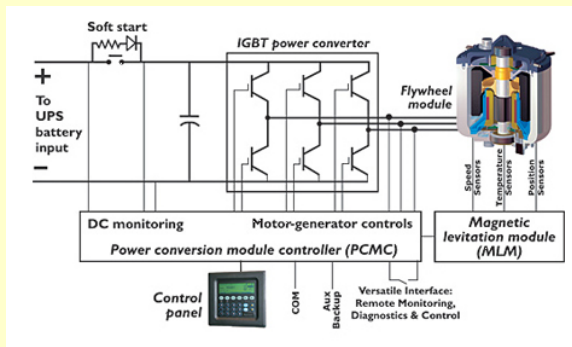
<http://www.vyconenergy.com>

<http://www.pentadyne.com>

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

18

Flywheels



<http://www.vyconenergy.com>



<http://www.pentadyne.com>

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

19

Flywheels-τυπολόγιο

- Κινητική Ενέργεια:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

όπου I η σταθερά αδράνειας και ω η γωνιακή ταχύτητα του στρεφόμενου δίσκου.

$$I = \int r^2 dm$$

- Για ένα κύλινδρο η σταθερά αδράνειας είναι:

$$I = \frac{1}{2} r^4 \pi a \rho$$

- Άρα αυξάνεται η ενέργεια αν αυξηθεί η γωνιακή ταχύτητα ή η σταθερά αδράνειας.

- Η αδράνεια εξαρτάται από το υλικό και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

- Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα και περισσότερη μάζα είναι εκτός του δίσκου υπάρχουν περισσότεροι μηχανικοί περιορισμοί

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

20

Flywheels τυπολόγιο

• καθώς

$$e_m = K \sigma_{\max} / \rho \quad (1)$$

και

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2)$$

και

$$I = r^2 m \quad (3)$$

τότε, από (2) και (3)

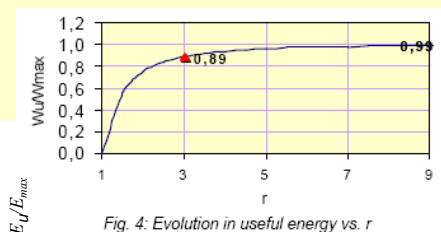
$$e_m = \frac{1}{2} r^2 \omega^2 = \frac{1}{2} v^2 \quad (4)$$

Έτσι η αντικατάσταση του (1) στην (4) δίνει τη μέγιστη ταχύτητα

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2K\sigma_{\max}}{\rho}}$$

Flywheels

- Πάντως, η μεγάλη ταχύτητα δεν είναι ο μόνος μηχανικός περιορισμός
- Αν θελήσουμε να κρατήσουμε την ισχύ εξόδου σταθερή κι όχι την τάση εξόδου σταθερή, τότε η ροπή πρέπει να αυξηθεί καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Επομένως υπάρχει μία ελάχιστη ταχύτητα στην οποία δεν μπορεί να εξαχθεί ενέργεια.



$$\frac{E_u}{E_{\max}} = \frac{V_r^2 - 1}{V_r^2}$$

Bernard et al., Flywheel Energy Storage Systems In Hybrid And Distributed Electricity Generation

Flywheels

• Av $r = \frac{v_{\max}}{v_{\min}}$

το ποσοτό της ενέργειας (W_u) είναι ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της ενέργειας του δίσκου στη μέγιστη και την ελάχιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα a

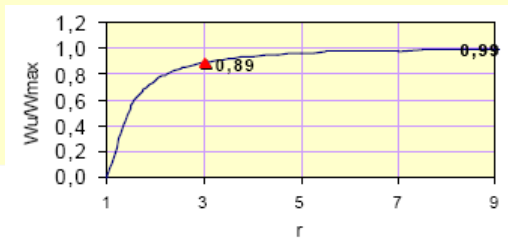
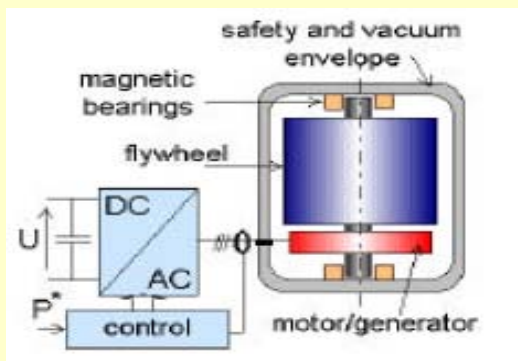


Fig. 4: Evolution in useful energy vs. r

$$\frac{W_u}{W_{\max}} = \frac{r^2 - 1}{r^2}$$

Flywheels

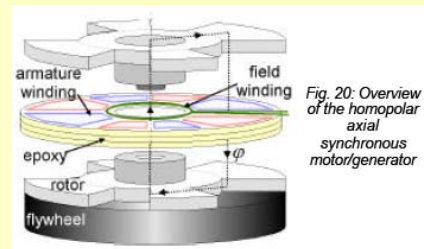
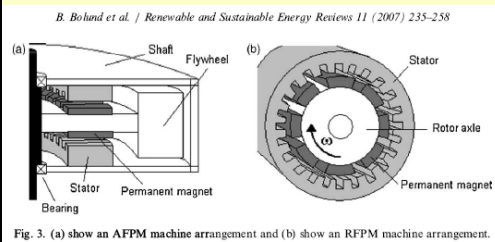
• Για να μειωθεί η τριβή (άρα και τις απώλειες) ο δίσκος βρίσκεται εντός κενού αέρος και χρησιμοποιεί μαγνητικά ρουλεμαν.



Bernard et al., Flywheel Energy Storage Systems In Hybrid And Distributed Electricity Generation

Flywheels

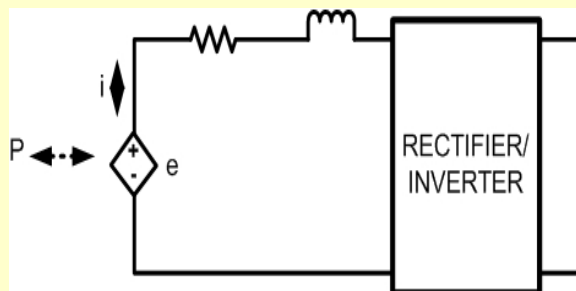
- Οι ηλεκτρικές μηχανές (Κινητήρες/Γεννήτριες) είναι τυπικά μονίμων μαγνητών Υπάρχουν 2 τύπων: Αξονικής ροής και ακτινικής ροής. Οι αξονικής ροής μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια και είναι ευκολότερο να ψυχθούν.



Bernard et al., Flywheel Energy Storage Systems In Hybrid And Distributed Electricity Generation

Flywheels

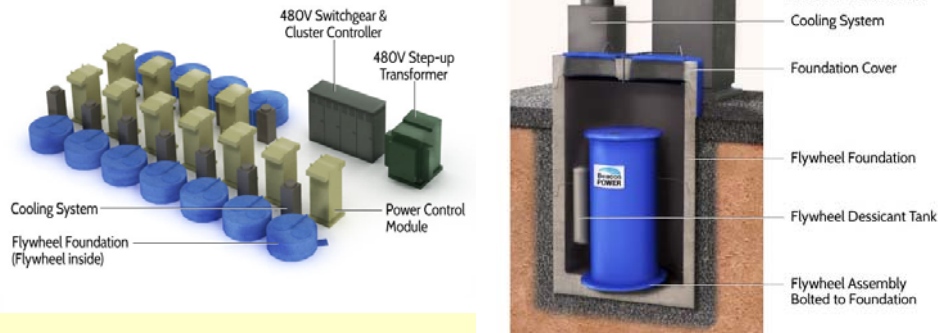
- Απλοποιημένο μοντέλο



Flywheels Energy Systems

Flywheels-τυπικές εικόνες

Representative Flywheel Energy Storage Module



<http://beaconpower.com/resources/50> σε ύψος-27” σε διάδρομο
Βάρος 1660lb

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

27

Flywheels-Υβριδική προσέγγιση με μπαταρίες

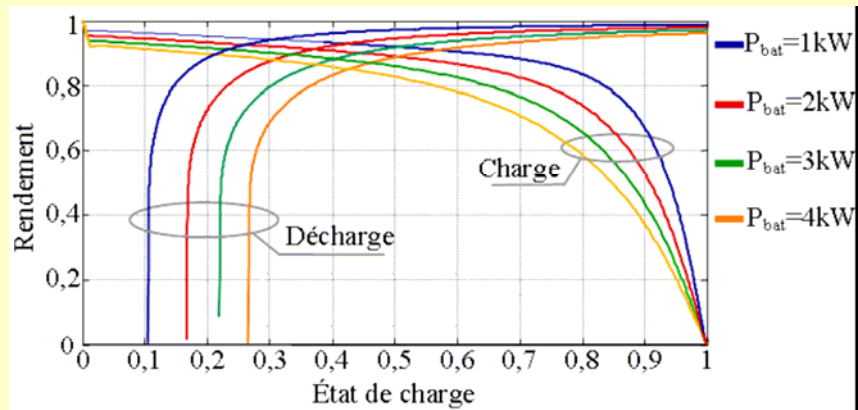
- Τα Flywheels μπορούν να προσφέρουν μεγάλη ισχύ σε μεγάλο αριθμό κύκλων.
- Δε χρειάζονται κλιματισμό
- Δεν έχουν χημικά κατά τη διάρκεια λειτουργία τους και η συντήρηση είναι κυρίως για το ηλεκτρικό μέρος διασύνδεσης
- Οι διατάξεις των 6kWh μπορούν να παρέχουν περίπου 250kW σε 1’
- Επομένως για μικρής διάρκειας εφαρμογές με μεγάλη ισχύ είναι ιδανικές
- Ειδικά για εγκαταστάσεις επικοινωνιών...
- Απαιτούνται 250kW-1MW για την εκπομπή για λίγα δευτερόλεπτα 12 (άρα γύρω στις 4kWh) και άλλες 4KWh για 1-2kW και για αρκετές ώρες...
- Σε ένα container μπορούν να χωρέσουν 250kWh,

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

28

Flywheels-Υβριδική προσέγγιση με μπαταρίες

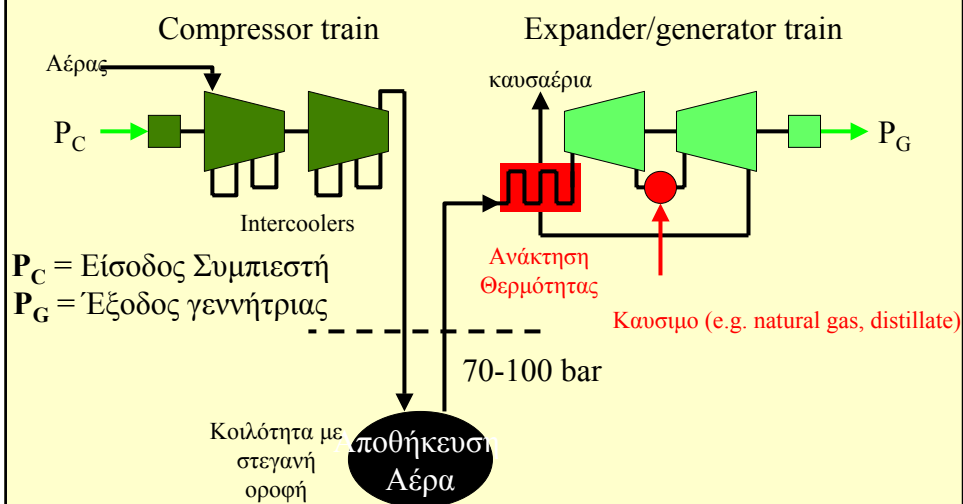
- Μοντέλο BHES-6
- 6kWh Με 2kW ισχύ στις 22,500ΣΑΛ



Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

29

Σύστημα Συμπιεσμένου Αέρα



Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

30

Σύστημα Συμπιεσμένου Αέρα

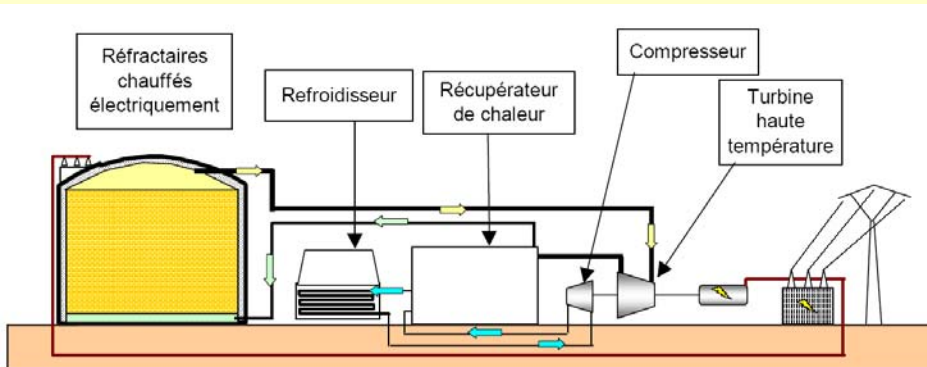
Διασημότερο Παράδειγμα Εφαρμογής : Hunttdorf(1979) στα 70 bar
2 Κοιλότητες 310 000m³
290MW εντός 2 ωρών
 P_G = Έξοδος γεννήτριας
Αρκετά πρόσφατα προτείνεται η T-CAES
Μικρότερη αποθηκευτική ικανότητα/ισχύς-φορητότητα



Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

31

Εναλλακτικά Αποθήκευση Θερμότητας...

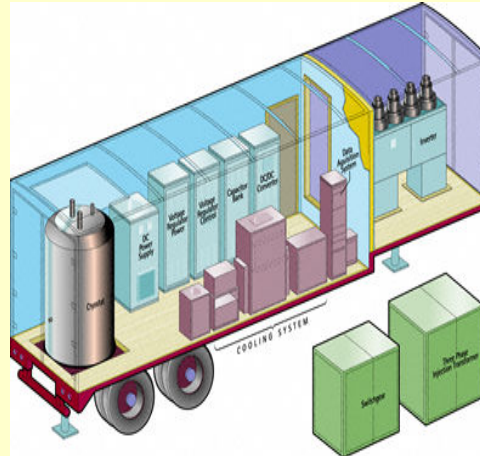


Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

32

Αποθήκευση σε Υπερ-αγώγιμα πηνία (SMES) Super-conducting Magnetic Energy Storage

- Υψηλή Απόδοση
- Διατάξεις για βελτίωση ποιότητας ισχύος
- Ευκολία και ευελιξία εγκατάστασης
- Εγκατάσταση κυρίως στο επίπεδο της διανομής



Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

33

Αποθήκευση σε Υπερ-αγώγιμα πηνία (SMES) Super-conducting Magnetic Energy Storage



- 3MVA

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

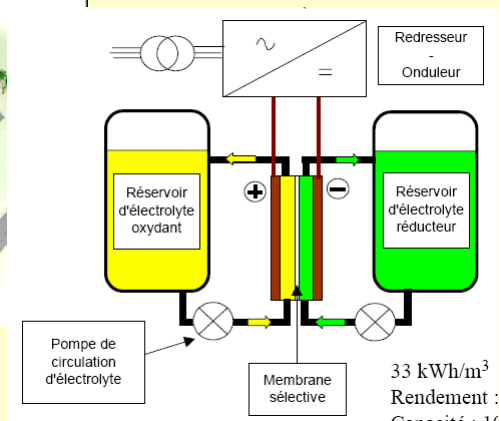
34

Flow Batteries



NAS batteries

Διαχωριζόμενου Ηλεκτρολύτη



Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

35

Βιβλιογραφία

- 1.Κ. Καγκαράκη, «Φωτοβολταϊκή τεχνολογία», Εκδόσεις συμμετρία, Αθήνα, 1987.
- 2.Συστήματα sunlight, κατασκευαστής μπαταριών www.sunlight.gr
- 3. Manual of OCM batteries-Διαθέσιμο: <http://www.tavkapsolat.hu/BATTERIE/HAGEN/GROE.PDF>
- 4. Αποθηκευτικές διατάξεις-Ερευνητικό πρόγραμμα STORIES, www.storiesproject.eu
- 5. *Energy Storage Association, (ESA)*, www.energystorage.org
- 6. Σημειώσεις εργαστηρίου ΗΠΠΕΣ I και II
- 7. ΔΕΗ Ανανεώσιμες Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α. Ε. <http://www.PpcR.gr> (Υβριδικό έργο Ικαρίας)
- Merge project (www.merge.eu) Για ηλεκτρικά οχήματα

Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας-Άλλα μέσα

36