

ΥπερΠυκνωτές – SuperCapacitors - SC

του εκπαιδευτικού Σιαμανδούρα Σωτήρη, υπεύθυνου τομέα Ηλεκτρολογίας, Ηλεκτρονικής και Αυτοματισμού του Εργαστηριακού Κέντρου Λιβαδειάς.

Οι υπερπυκνωτές ή supercapacitors, είναι μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία έχουν σκοπό να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες σε πολλές εμπορικές χρήσεις, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με αυτές.

Ο πυκνωτής είναι ένα σύστημα δυο γειτονικών αγωγών, ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται ένα μονωτικό υλικό, το οποίο ονομάζεται διηλεκτρικό του πυκνωτή. Οι δυο γειτονικοί αγωγοί ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή. Ο πυκνωτής έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει φορτίο (ενέργεια), οπότε όταν ένας πυκνωτής είναι φορτισμένος οι οπλισμοί του έχουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία με αποτέλεσμα μεταξύ των οπλισμών του να αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού (τάση), η οποία μπορεί να αποδοθεί άμεσα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η χρήση πυκνωτών είναι συνυφασμένη με τη σύγχρονη ηλεκτρονική και ηλεκτρική τεχνολογία. Δεν υπάρχει συσκευή χαμηλής ή μεγαλύτερης ισχύος που να μη χρησιμοποιεί τους πυκνωτές για τη λειτουργία της.

Ονομάζουμε υπερπυκνωτές (**SC**), τους πυκνωτές που έχουν πολλαπλάσια χωρητικότητα (Farads) σε σχέση με τους απλούς πυκνωτές. Η διαφορά στη χωρητικότητα είναι 1000-10000 φορές (τέσσερις τάξεις μεγέθους) πάνω απ' τους απλούς ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Το βασικό τους μειονέκτημα σε σχέση με τους απλούς πυκνωτές είναι η μέγιστη τάση λειτουργίας που περιορίζεται στα 2,7 Volts ανά στοιχείο.



Σχηματικό διάγραμμα ΥπερΠυκνωτή



Υπερπυκνωτές 350 farads – 2,7 Volts
5 cm ύψος – 2 cm διάμετρος

Από την δεκαετία του 1950 (General Electric), οι ερευνητές άρχισαν να πειραματίζονται με πυκνωτές και υπερπυκνωτές, κατασκευάζοντας διάφορες παραλλαγές. Οι επικρατέστερες παραλλαγές κατασκευής υπερπυκνωτών είναι τρεις και διαφέρουν στον τρόπο κατασκευής των ηλεκτροδίων και του διηλεκτρικού στρώματος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια.

A. Υπερπυκνωτές διπλού στρώματος με ηλεκτρόδια από ενεργό άνθρακα ή γραφένιο ή νανοσωλήνες άνθρακα τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη

B. Ψευδοπυκνωτές με ηλεκτρόδια οξειδίων μετάλλου ή αγώγιμα πολυμερή πάνω σε φορέα ενεργού άνθρακα τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη

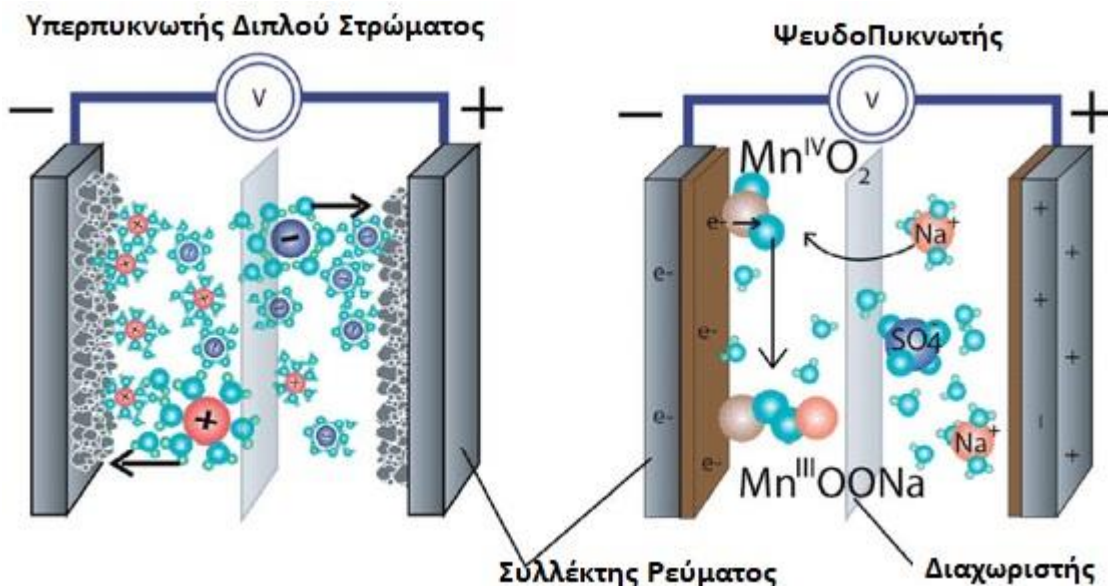
Γ. Υβριδικοί υπερπυκνωτές με ένα ηλεκτρόδιο από ενεργό άνθρακα και ένα ηλεκτρόδιο από οξείδια του μετάλλου τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη. Αυτή η παραλλαγή αποτελεί συνδυασμό των δυο προηγούμενων.

Μεγάλες χωρητικότητες

Οι υπερπυκνωτές είναι ο συνδυασμός κρικός των απλών πυκνωτών και των μπαταριών, καθώς παρουσιάζουν μεγάλες χωρητικότητες, οι οποίες μπορούν να τους καταστήσουν εμάξιους αντικαταστάτες των μπαταριών σε συστήματα άμεσης ζήτησης ενέργειας και όπου απαιτείται άμεση και πολυετής τροφοδοσία. Πιο συγκεκριμένα, οι χωρητικότητες των υπερπυκνωτών φτάνουν μέχρι και τα 20000 Farads (να σωστά διαβάσατε 20000 farads), με τάσεις λειτουργίας όμοιες με αυτές των αντίστοιχων στοιχείων των κοινών μπαταριών. Έτσι, συνδυάζοντας υπερπυκνωτές σε σειρά, μπορούμε να πετύχουμε ονομαστικές τάσεις λειτουργίας ίδιες με αυτές των μπαταριών αυτοκινήτου ή άλλων συσκευών.

Οπλισμοί υπερπυκνωτή

Σε έναν υπερπυκνωτή διπλού στρώματος οι οπλισμοί του αποτελούνται από μια **πορώδη** επιφάνεια με **μεγάλη εσωτερική ενεργό επιφάνεια**, ώστε να βοηθάει στην απορρόφηση ιόντων, παρέχοντας έτσι μεγάλη πυκνότητα φορτίων. Οι οπλισμοί βρίσκονται βυθισμένοι σε υγρό ηλεκτρολύτη, ο οποίος περιέχει ελεύθερα φορτία με τη μορφή ιόντων. Ανάμεσά τους παρεμβάλλεται μια πολύ λεπτή πορώδης διαπερατή μεμβράνη, η οποία εμποδίζει την επαφή των οπλισμών αφήνοντας όμως τα ιόντα να την διαπερνούν. Κατά τη φόρτισή του, τα ηλεκτρόδια φορτίζονται με αντίθετα φορτία, προκαλώντας ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο συγκρατεί στον πυκνωτή το συγκεντρωμένο φορτίο. Τα ηλεκτρόνια που είναι συγκεντρωμένα στο ένα ηλεκτρόδιο, έλκουν τα θετικά ιόντα του ηλεκτρολύτη και τα θετικά φορτία στο άλλο ηλεκτρόδιο έλκουν τα αρνητικά ιόντα του ηλεκτρολύτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των ιόντων και της επιφάνειας του οπλισμού.



Το όνομα υπερπυκνωτής διπλού στρώματος προκύπτει από τα δυο στρώματα ιόντων σε κάθε οπλισμό. Το πρώτο στρώμα που είναι κοντά στον οπλισμό λειτουργεί σαν διηλεκτρικό και το δεύτερο συγκρατεί τα φορτία. Αυτό συμβαίνει και στους δυο οπλισμούς του υπερπυκνωτή με αποτέλεσμα **να δημιουργούνται εντός του πυκνωτή δυο ξεχωριστοί πυκνωτές** που η συνολική τους χωρητικότητα προκύπτει από τις δυο χωρητικότητες συνδεδεμένες σε σειρά.

Η τεράστια επιφάνεια που επιτυγχάνεται λόγω της πορώδους δομής των οπλισμών σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση του φαινομένου του διπλού ηλεκτρικού στρώματος είναι που επιτρέπουν σε ένα υπερπυκνωτή διπλού στρώματος να έχει πολύ μεγάλη χωρητικότητα. Η κύρια διαφορά μεταξύ των υπερπυκνωτών διπλού στρώματος και των ψευδοπυκνωτών είναι οι οπλισμοί που στην πρώτη περίπτωση είναι κατασκευασμένοι από ενεργό άνθρακα και στη δεύτερη περίπτωση από οξείδια μετάλλων πάνω σε φορέα από ενεργό άνθρακα. Οι ψευδοπυκνωτές μπορούν να αποθηκεύσουν 80% περισσότερη ενέργεια από έναν ίδιων διαστάσεων υπερπυκνωτή διπλού στρώματος, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας των ηλεκτροδίων, τα οποία είναι κατασκευασμένα από οξείδια μετάλλων. Οι υβριδικοί υπερπυκνωτές αποτελούν συνδυασμό ψευδοπυκνωτών και υπερπυκνωτών διπλού στρώματος.

Χρήσεις :

1. Εφαρμογές όπου απαιτείται αποθήκευση σημαντικής ενέργειας σε μικρό χρονικό διάστημα (δευτερόλεπτα εως λεπτά) : πχ. Αποθήκευση ενέργειας από φρενάρισμα σε ηλεκτρικά οχήματα. Τροφοδοσία Αγωνιστικών Ηλεκτρικών οχημάτων (Toyota TS040 Hybrid – 480 HP για λίγο χρόνο)
2. Σε κυκλώματα μπαταριών για εξομάλυνση της ισχύος που παρέχουν.
3. Σε ανεμογεννήτριες για εξομάλυνση της πρωτογενούς ισχύος του αέρα.
4. Σε οχήματα υδρογόνου για εξομάλυνση της παροχής ισχύος.
5. Σε φλάς για φωτογραφικές μηχανές , φορητά ηχεία, σε ηλεκτρονικές συσκευές για σταθεροποίηση της τροφοδοσίας τους.
6. Σε βιομηχανικά συστήματα για τη μείωση των αρμονικών και των παρασιτικών ρευμάτων. κτλ.

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα σε σχέση με μπαταρίες ιόντων λιθίου:

Μπαταρίες (ιόντων λιθίου)	
<i>Πλεονεκτήματα :</i>	<i>Μειονεκτήματα:</i>
Πυκνότητα Ενέργειας (100-200 wh/kg)	Λίγοι κύκλοι Φόρτισης
Μεγάλη Δυνατότητα Αποθήκευσης Ενέργειας	Μικρά όρια σε Τάση και Ενταση
Μικρή Διαρροή	Μεγάλοι Χρόνοι Φόρτισης
Σταθερή Τάση όποτε τη χρειαζόμαστε	Ευαίσθητες σε οριακές θερμοκρασίες
ΥπερΠυκνωτές	
<i>Πλεονεκτήματα :</i>	<i>Μειονεκτήματα:</i>
Πολλοί κύκλοι φόρτισης (30000+ ώρες)	Μικρή πυκνότητα ενέργειας (5 wh/kg)
Υψηλά ρεύματα εκφόρτισης	Γραμμική πτώση Τάσης στην Αποφόρτιση
Μικροί Χρόνοι Φόρτισης (1sec – 5 min)	Υψηλοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης
Σταθερή Αποδοση σε ακραίες θερμοκρασίες	Υψηλή τιμή ανά παρεχόμενο Watt

Σύγκριση Απόδοσης ΥπερΠυκνωτών και μπαταριών ιόντων λιθίου

<u>Λειτουργία</u>	<u>ΥπερΠυκνωτής</u>	<u>Μπαταρία Ιόντων Λιθίου</u>
Χρόνος Φόρτισης	1sec – 5 min	10 – 60 mins
Κύκλοι Φόρτισης	1εκατομμύριο ή 30000 ώρες	500-1000 κύκλοι φόρτισης
Τάση Κυψέλης – Στοιχείου	2,3 – 2,7 Volts	3,6 – 3,7 Volts
Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/kg)	5-10	100-200
Πυκνότητα Ισχύος (W/kg)	Εως 10000	1000-3000
Κόστος αν Wh	17-20 ευρώ	0,5 – 1 ευρώ (μεγάλα συστήματα)
Διάρκεια Ζωής (σε οχήματα)	10-15 χρόνια	3-8 χρόνια
Θερμοκρασίες Φόρτισης	-40 ως 65° C	0 ως 45° C
Θερμοκρασίες Εκφόρτισης	-40 ως 65° C	-20 ως 60° C

Εξέλιξη της τεχνολογίας των Υπερπυκνωτών :

Το ελπιδοφόρο μέλλον των ΥπερΠυκνωτών έγκειται στον συνδυασμό των Υπερπυκνωτών διπλού στρώματος (EDLCs) με υπάρχουσες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Για παράδειγμα σε εφαρμογές κυψελών καυσίμου, σε εφαρμογές ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων και σταθμών φόρτισης. Το άμεσο μέλλον των υπερπυκνωτών έχει να κάνει με εφαρμογές εκκίνησης κινητήρων, με εφαρμογές εφεδρείας και φωτισμού ασφαλείας και εφαρμογές γρήγορης φόρτισης συσκευών.

Μια εμπορική μπαταρία που θα στηρίζεται αποκλειστικά σε υπερπυκνωτές θα εμφανιστεί αργότερα σε βάθος δεκαετίας περίπου.

Παρόλα αυτά οι υπερπυκνωτές μπήκαν ήδη στην τεχνολογική ζωή μας και μόνο καλύτερη την κάνουν.

Πηγές, Αναφορές : 1. Recent Advancements in Supercapacitor Technology : ResearchGate
2. Battery university, 3. Powerelectronics.com, 4. MachineDesign.com,
5. Explainthatstuff.com, 6. Illinois Capacitors : illcap.com