



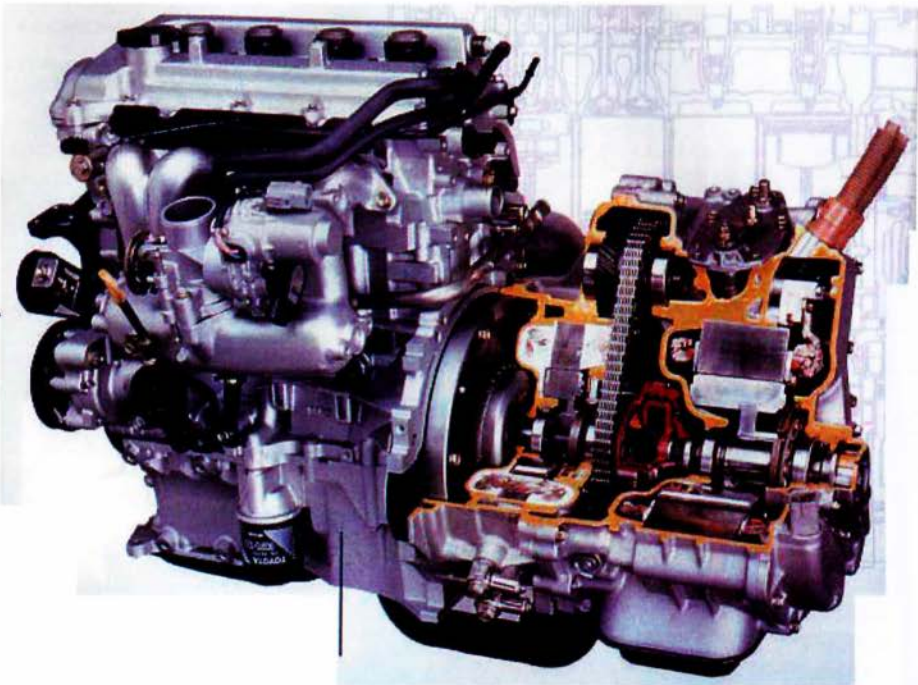
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

79
M

ΓΡΑΜΜΑΡΙΑ
ΜΗΧ/ΓΩΝ
ΜΗΧ/ΚΩΝ
Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ ΣΕ
ΟΧΗΜΑΤΑ»



ΓΚΟΥΒΕΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M. : 33567

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΚΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΑΘΗΝΑ.2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

(1)ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
(2)ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
(3)ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
(4)ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	10
(4.1) ΓΙΑΤΙ ΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	10
(5) Η ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ	11
(5.1) ΜΙΚΡΟΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (MICRO HYBRIDS, MILD HYBRIDS).....	14
(5.2) ΠΛΗΡΩΣ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ (FULL HYBRIDS).....	16
(5.3) ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΩΣΗΣ	20
(5.3.1) ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝ ΣΕΙΡΑ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	21
(5.3.2) ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	22
(5.3.3) ΜΙΚΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	22
(5.3.4) ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	24
(5.3.5) EREVS.....	24
(6) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΡΟΠΟ(ΣΦΟΝΔΥΛΟΣ) PORCHE	26
(7) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ F1.....	28
(8) ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥΣ.....	30
(8.1) ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΖΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	30
(8.2) ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΖΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	30
(8.3) ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	31
(9) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	32
(10) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ/ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ.....	34
(11) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	37

(11.1) TOYOTA PRIUS.....	37
(11.2) HONDA INSIGHT	44
(11.3) FORD ESCAPE	45
(11.4) MERCEDES-BENZ CITARO G BUS	46
(11.5) TESLA ROADSTER	46
(11.6) INDUS YOSPEED	49
(12) ΠΩΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΤΑΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	50
(13) ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	53
(13.1) ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	53
(13.1.2) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑ ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	54
(14) ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	63
(14.1) ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	63
(14.2) ΕΙΔΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	66
(14.3) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	69
(15) ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	70
(15.1) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ.....	70
(15.2) ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	71
(15.3)ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ	72
(15.4) ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....	78
(15.4.1) ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΑΤΡΙΟΥ (Na).....	89
(15.4.2) ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ (Li).....	93
(15.4.3)ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣ-ΜΕΤΑΛΛΟΥ	95
(15.5)ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	97
(15.6) ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ	98
ΣΥΝΟΨΗ	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103

(1) ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Ανδρέα Θεοδωρακάκο, ο οποίος αρχικά δέχτηκε να συνεργαστούμε και να τεθεί ως επιβλέπων για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Πειραιά για την διάθεση του κέντρου αναγνωστηρίου, την αίθουσα ηλεκτρονικών υπολογιστών αλλά και την Βιβλιοθήκη όπου με βοήθησαν σημαντικά για την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά και το φιλικό περιβάλλον μου, για την υπομονή και συμπαράσταση που μου έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής εργασίας.

(2) Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των προωστηρίων συστημάτων για τα αυτοκίνητα και στους λόγους για τους οποίους αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια η υβριδική τεχνολογία.

Τα σύγχρονα ενεργειακά προβλήματα και τα προβλήματα ρύπανσης και κλιματικών αλλαγών που απειλούν τον πλανήτη μας επανέφεραν επιτακτικά το ζήτημα της ριζικής αναθεώρησης της τεχνολογίας των αυτοκινήτων και ειδικότερα της αντικατάστασης των θερμικών κινητήρων από ηλεκτροκινητήρες.

Η αντικατάσταση των χαμηλών απόδοσης κινητήρων εσωτερικής καύσης οι οποίοι ρυπαίνουν και παράγουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου με ηλεκτροκινητήρες υψηλής ενεργειακής απόδοσης, καθαρούς στην λειτουργία τους, απλούς στην κατασκευή τους και εύκολους στην συντήρησή τους, οι οποίοι κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να παραχθεί από διάφορα καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ή ακόμα και από υδρογόνο, αποτελεί μονόδρομο ανεξαρτήτως της χρονικής διάρκειας των ενδιάμεσων που θα απαιτηθούν μέχρι τον τελικό στόχο.

Η υβριδική τεχνολογία γεφυρώνει με τον καλύτερο τρόπο το χάσμα που χωρίζει το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο των εξελιγμένων θερμικών κινητήρων από το μελλοντικό της πλήρους επικράτησης της ηλεκτροκίνησης για τα αυτοκίνητα.

ABSTRACT

In this work, is referred the development of car's propulsion systems and why hybrid technology has been thrived recently.

The new energy problems and the problems of pollution and climate change that threaten our planet, brought back the crucial problem of radical revision in car technology and especially the replacement of combustion engines by electric motor.

The replacement of low-efficiency internal combustion engines which pollute and produce large amounts of greenhouse gases by electrical energy-efficient, clean in their operation, simple in construction and easy to maintain, which run on electricity that can be produced by different fuels, renewable sources or even hydrogen, is a must regardless of the duration of the interim that will be needed until the final goal.

Hybrid technology combines with the best way the gap between the current technological levels of advanced combustion engines and the future prevalence of full electromobility of cars.

(3) Εισαγωγή

Η ηλεκτροκίνηση των αυτοκινήτων δεν αποτελεί βέβαια νεωτερισμό αφού τα πρώτα αυτοκίνητα που κατασκευάστηκαν ήταν ηλεκτροκίνητα. Ακριβώς οι ίδιοι λόγοι που επιβάλλουν σήμερα την επιστροφή της τεχνολογίας των αυτοκινήτων στην ηλεκτροκίνηση, με τη σύγχρονη όμως μορφή της που σχεδόν σε τίποτα δε μοιάζει με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε στις αρχές του περασμένου αιώνα, είναι εκείνοι που οδήγησαν και τότε στη χρήση του ηλεκτροκινήτηρα. Η απλότητα της κατασκευής του, ο μικρός όγκος του, η άμεση εκκίνηση και η ανταπόκριση στις απαιτήσεις του οδηγού, η μεγάλη ροπή κλπ. Όπως άλλωστε και οι ίδιοι λόγοι που δεν επέτρεψαν τότε την επικράτηση της ηλεκτροκίνησης είναι εκείνοι που ακόμα αντιστέκονται στην επιστροφή της παρά τη μεγάλη πρόοδο που σημειώθηκε εντωμεταξύ σε όλους τους τομείς.

Ο σημαντικότερος από αυτούς είναι το προτέρημα της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των υγρών καυσίμων και η ταχύτητα ανεφοδιασμού που επιτρέπουν. Χρησιμοποιώντας υγρά καύσιμα μπορούμε σε δυο λεπτά να γεμίσουμε τη δεξαμενή του αυτοκινήτου μας με ενέργεια ικανή να το κινήσει σε απόσταση πολλών εκατοντάδων χιλιομέτρων. Για να φορτίσουμε την ηλεκτροχημική αποθήκη ενός ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου με ηλεκτρική ενέργεια που να έχει ισοδύναμο αποτέλεσμα χρειαζόμαστε χρόνο αρκετών ωρών η ίδια δε η αποθήκη είναι πανάκριβη και έχει μεγάλο βάρος και όγκο.

Η επιστημονική έρευνα εργάζεται ακατάπαυστα για την επίλυση αυτού του προβλήματος και έχει μέχρι τώρα επιτύχει τόσο σημαντικά αποτελέσματα ώστε να διαγράφεται πλέον με σαφήνεια στον ορίζοντα η ευρεία εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης. Αυτή η τεχνολογική επανάσταση όχι μόνο χρειάστηκε πολύ χρόνο για να κάνει αισθητή την παρουσία της αλλά είναι βέβαιο ότι θα δημιουργήσει μεγάλες ανακατατάξεις στο τεχνολογικό και οικονομικό οικοδόμημα της αυτοκινητοβιομηχανίας, του μεγαλύτερου ίσως βιομηχανικού κλάδου της παγκόσμιας οικονομίας. Στο κρίσιμο σημείο αυτής της εξέλιξης κάνει την εμφάνισή της η υβριδική τεχνολογία.

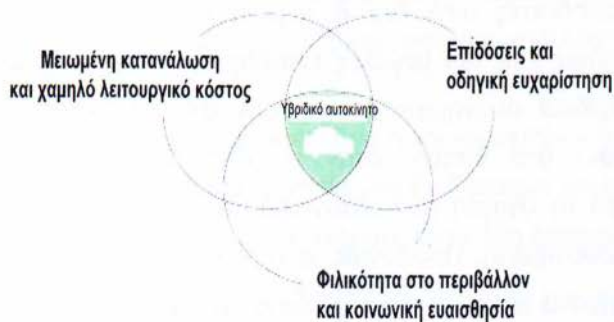
Πολλοί βιάστηκαν να την αφορίσουν λέγοντας ότι αντί να διευκολύνει τα πράγματα τα κάνει ακόμα πιο δύσκολα. Δυστυχώς στους πολέμιούς της στρατεύτηκε αρχικά σύσσωμη η Ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία και όχι

μόνο. Εν τούτοις η υβριδική τεχνολογία δικαίωσε όσους την εξέλιξαν και αποδείχθηκε ότι είναι η γέφυρα που θα χρειαστεί να περάσουμε για να φτάσουμε στον τελικό στόχο. Η εξήγηση είναι πολύ απλή. Συνεχίζει να χρησιμοποιεί το τεράστιο πλεονέκτημα της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των υγρών καυσίμων ενώ ταυτόχρονα ανοίγει διάπλατα το πεδίο εφαρμογής της ηλεκτροκίνησης και των αναγκών για αυτήν συστημάτων διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, των συστημάτων αποθήκευσης της και των συστημάτων ανάκτησης των ενεργειακών απωλειών της κίνησης του αυτοκινήτου. Τέλος προσφέρει άμεσα μια συνδυασμένη ενεργειακή απόδοση του ηλεκτροκινητήρα σε συνεργασία με τον θερμικό κινητήρα η οποία υπερτερεί σημαντικά εκείνης του θερμικού κινητήρα.

Στην πράξη η υβριδική τεχνολογία αφαίρεσε – και συνεχώς αφαιρεί- όλα τα εμπόδια με τα οποία ήταν φραγμένος ο δρόμος προς την ηλεκτροκίνηση των αυτοκινήτων. Ίσως αυτός να ήταν και ο λόγος για τον οποίο καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια παρεμπόδισής της ώστε να καθυστερήσουν εξελίξεις οι οποίες πιθανόν να μην συνέπλεαν με τα συμφέροντα κάποιων οικονομικών κύκλων.

Στο σχήμα 3.1 δίνεται μια οπτική απεικόνιση της βασικής ιδέας στην οποία στηρίχτηκε η υβριδική λύση όπως και της φιλοσοφίας σχεδιασμού της που προσβλέπει στο συνδυασμό τριών απαιτήσεων :

- Μειωμένης κατανάλωσης και χαμηλού λειτουργικού κόστους
- Επιδόσεων και οδηγικής ευχαρίστησης
- Φιλικότητας στο περιβάλλον και κοινωνικής ευαισθησίας



Σχήμα 3.1

(4)ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τα υβριδικά συστήματα. Ας θεωρήσουμε τον ακόλουθο:

Υβριδικό σύστημα καλείται ένα σύνολο από μονάδες που συνεργάζονται μεταξύ τους προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες ή και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Κατά κύριο λόγο, τα υβριδικά συστήματα είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, αλλά μπορούν επίσης να δουλεύουν και ανεξάρτητα από αυτό τροφοδοτώντας και ξεχωριστούς αποδέκτες από ένα ή περισσότερα σπίτια/αγροικίες, μικρές βιομηχανικές ζώνες έως και μεγάλες τοπικές κοινωνίες. Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο υβριδικά συστήματα επιτρέπουν στο πλεόνασμα ενέργειας να επιστρέφει πίσω στο δίκτυο, όταν η ποσότητα που παράγεται είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση των καταναλωτών σε συνδυασμό με τα τοπικά αποθηκευτικά συστήματα. Προφανώς, ο κύριος σκοπός που εξυπηρετούν τα υβριδικά συστήματα είναι να προμηθεύουν με ενέργεια απομονωμένες, μη συνδεδεμένες με το δίκτυο περιοχές όπου το κόστος σύνδεσης και διανομής σε τόσο μακρινές αποστάσεις είναι πολύ υψηλό.

(4.1)ΓΙΑΤΙ ΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται μια ταχύτατη εξάπλωση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτές οι πηγές είναι φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν ως βάση τους τον ήλιο, τον άνεμο, την βιομάζα κ.ά. χωρίζονται δε, σε δυο κατηγορίες : τις ελεγχόμενες και τις μη ελεγχόμενες. Με τον όρο **ελεγχόμενες πηγές** ενέργειας είναι αυτές που παρέχουν την δυνατότητα ελέγχου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ο άνθρακας. Είναι προφανές ότι η παραγωγή ενέργειας από **μη-ελεγχόμενες πηγές** είναι απρόβλεπτη και ανεξάρτητη από την ανθρώπινη δράση. Ο ήλιος και ο άνεμος είναι μη-ελεγχόμενες πηγές.

Έτσι ενώ, η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να μπορεί να παραχθεί ακριβώς τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε, η προϋπόθεση αυτή δεν πληρείται από τον ήλιο και τον άνεμο. Για το λόγο αυτό, θεωρείται επιβεβλημένη κατασκευή ειδικών

υβριδικών συστημάτων για την αποφυγή ελλειμμάτων ενέργειας, με τη χρήση όλου του διαθέσιμου ηλιακού και αιολικού δυναμικού. Ουσιαστικά αυτό συμβαίνει, με τον συνδυασμό δυο ή και περισσοτέρων πηγών ενέργειας με επιπρόσθετα στοιχεία ελέγχου. Η μια, τουλάχιστον, εκ των πηγών είναι αναγκαίο να είναι ελεγχόμενη.

Οι επιστήμονες και οι κατασκευαστές αναζητούν τρόπους για να συνδυάσουν τεχνολογίες, έτσι ώστε να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του εξοπλισμού παραγωγής. Ακολουθούν χαρακτηριστικά παραδείγματα υβριδικών συστημάτων :

1. κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλο
2. ανεμογεννήτριες με συσσωρευτές και εφεδρική ντιζελογεννήτρια

Τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν δυο ή και παραπάνω πηγές ενέργειας με σκοπό να επιτυγχάνεται μια ισορροπία μεταξύ δυνατών και αδύναμων σημείων αυτών. Έτσι πολλά τέτοια συστήματα είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμα, άλλα υπό ανάπτυξη και άλλα δεν είναι υλοποιήσιμα.

(5) Η ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ

Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται η πορεία που θα ακολουθήσει η τεχνολογία από τη σημερινή κατάσταση στην οποία πρωταγωνιστούν οι σύγχρονοι εξελιγμένοι θερμικοί κινητήρες, οι οποίοι πράγματι έχουν κάνει τεράστια βήματα προόδου τόσο όσο αφορά στην αντιρρυπαντική τους επίδοση όσο και στην αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων όπως είναι το φυσικό αέριο, τα βιοκαύσιμα 2^{ns} γενιάς και ακόμα το υδρογόνο, μέχρι να φτάσει στην τελική επικράτηση του απόλυτα καθαρού και εξαιρετικά αποδοτικού ηλεκτροκινητήρα ο οποίος όχι μόνο θα προσφέρει σημαντικότερη εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό από 50% μέχρι 100% αλλά θα επιτρέψει και την χρήση πολλών άλλων πηγών ενέργειας που σήμερα δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις μεταφορές όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι πυρηνικές (διάσπαση ή και σύντηξη στο μέλλον).

Στην πορεία αυτή διακρίνονται τέσσερα σημαντικά στάδια τα οποία ανήκουν όλα στην υβριδική τεχνολογία

A)Μικρουβριδική τεχνολογία

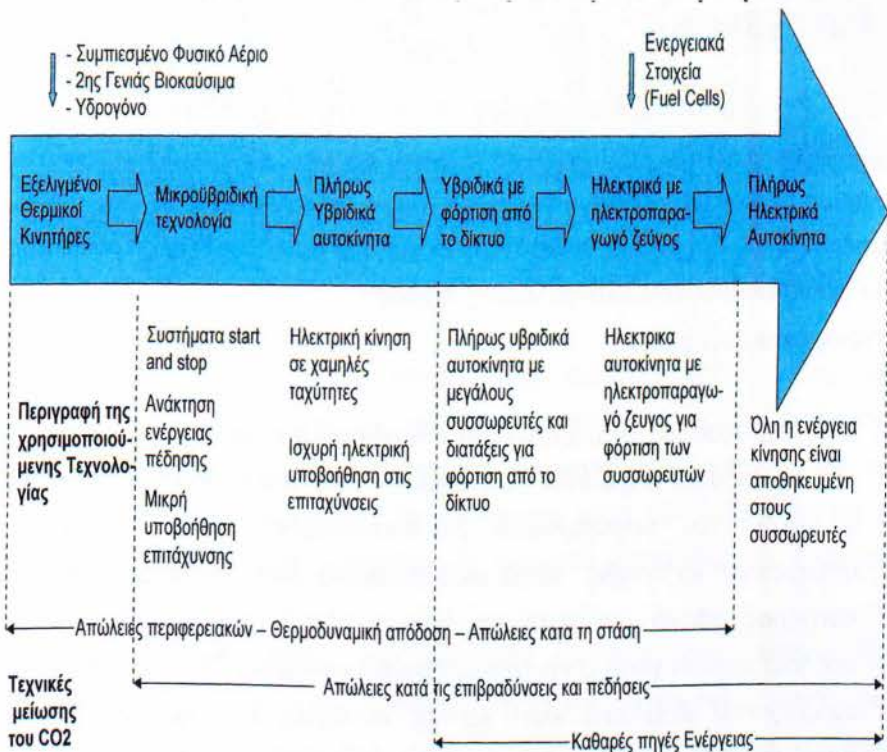
B)Πλήρως υβριδικά αυτοκίνητα

Γ)Πλήρως υβριδικά αυτοκίνητα τα οποία προσλαμβάνουν και αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο και

Δ)Ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα με πρόσθετο ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος για την επαύξηση της αυτονομίας τους τα οποία επίσης είναι υβριδικά και στο μέλλον θα μπορούν αντί του ηλεκτροπαραγωγικού ζεύγους που κινείται από θερμικό κινητήρα να κινούνται από μια συστοιχία ενεργειακών στοιχείων που θα λειτουργεί με υδρογόνο και θα παράγει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια.

Αυτή η εξελικτική πορεία βρίσκεται σχεδόν στο μέσο της διαδρομής της. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες παράγουν ήδη προϊόντα που ανήκουν στο πρώτο ή στο δεύτερο εξελικτικό στάδιο και αρκετές ετοιμάζονται να περάσουν στα δυο επόμενα σε δύο ή τρία χρόνια. Αν κρίνει κανείς από τα όσα έχουν μέχρι τώρα επιτευχθεί και από τους χρόνους ωρίμανσης που κάθε ένα από αυτά τα εξελικτικά στάδια χρειάστηκε προκειμένου να εισδύσει στην αγορά και να γίνει αποδεκτό από τους καταναλωτές εύκολα οδηγείται στο συμπέρασμα ότι η επόμενη δεκαετία θα είναι καθοριστική προκειμένου περί το τέλος της να φανούν τα πρώτα σημάδια ποσοτικής υπεροχής στις πωλήσεις των αυτοκινήτων νέας τεχνολογίας έναντι των συμβατικών.

Στο ίδιο σχήμα βλέπουμε επίσης σύντομες περιγραφές των χρησιμοποιημένων τεχνολογιών κάθε μιας από αυτές τις φάσεις όπως και τις αντίστοιχες τεχνικές με τις οποίες επιδιώκεται ο περιορισμός των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).



Σχήμα 5.1

(5.1) ΜΙΚΡΟΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (MIKRO HYBRIDS, MILD HYBRIDS)

Συνήθως ονομάζονται μικροβριδικές οι εφαρμογές εκείνες με τις οποίες ένα συμβατικό αυτοκίνητο προσλαμβάνει μερικά χαρακτηριστικά από εκείνα των πλήρως υβριδικών αυτοκινήτων χωρίς όμως να καθίσταται το ίδιο πλήρως υβριδικό αφού δεν έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τον ηλεκτροκινητήρα του για να κινηθεί, έστω και με μικρές ταχύτητες.

Τέτοιες εφαρμογές είναι :

A) Διάφορα συστήματα τα οποία του επιτρέπουν να διακόπτει τη λειτουργία του θερμικού κινητήρα όταν βρίσκεται σε στάση στους σηματοδότες ή όταν η πορεία του παρακωλύεται για οποιονδήποτε άλλο λόγο και το υποχρεώνει να σταθεί. Μετά από ορισμένα δευτερόλεπτα ο θερμικός κινητήρας σβήνει αυτόματα και όταν ο οδηγός αφήσει το φρένο και πατήσει πάλι το γκάζι ο κινητήρας ξεκινάει αυτόματα. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται stop and start και σε συνθήκες κυκλοφορίας μεγάλων αστικών κέντρων μπορούν να επιφέρουν εξοικονόμηση καυσίμου σε ποσοστό μέχρι και 5%. Αποτελούνται από μια ενισχυμένη μονάδα εκκινήτη-ηλεκτρογεννήτριας και από συσσωρευτή μεγαλύτερης της συνήθους χωρητικότητας



Εικόνα 5.2

Στην εικόνα 5.2 εικονίζεται εκκινήτης-ηλεκτρογεννήτρια του οίκου Valeo. Παρόμοια συστήματα του οίκου Bosch χρησιμοποιεί και η γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία.



Εικόνα 5.3

Στην εικόνα 5.3 εικονίζονται διάφορα σύγχρονα αυτοκίνητα εφοδιασμένα με συστήματα Stop and Start

Β) Συστήματα ανάκτησης της αδρανειακής ενέργειας της μάζας του αυτοκινήτου τα οποία κατά τις πεδησεις ή και κατά τις επιβραδύνσεις παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να καταναλώνουν καύσιμο, και την αποθηκεύουν στο συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά συνδυαζόμενα και με συστήματα Stop and Start ανεβάζουν το ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου σε 10%-15%.

Γ) Συστήματα υποβοήθησης του θερμικού κινητήρα στις φάσεις των επιταχύνσεων ή των πολύ χαμηλών στροφών λειτουργίας από έναν ενσωματωμένο ηλεκτροκινητήρα μικρής ισχύος. Το πιο γνωστό και πολύ επιτυχημένο σύστημα αυτής της κατηγορίας είναι το IMA (Integrated Motor Assist) της Honda. Ο εξοπλισμός του αυτοκινήτου με τέτοιο σύστημα σε συνδυασμό και με τα άλλα προαναφερθέντα συστήματα μπορεί να ανεβάσει την εξοικονόμηση καυσίμου σε ποσοστό 20%.



Εικόνα 5.4

Στην εικόνα 5.4 εικονίζεται ο δακτυλιοειδής ηλεκτροκινητήρας του συστήματος IMA της Honda.



Εικόνα 5.5

Στην εικόνα 5.5 το πλήρες προωστήριο συγκρότημα του συστήματος IMA της Honda



(5.2) ΠΛΗΡΩΣ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ (FULL HYBRIDS)

Το υβριδικό αυτοκίνητο είναι ένα αυτοκίνητο τελευταίας τεχνολογίας που επί πλέον σέβεται το περιβάλλον. Συνδυάζει την εύκολη μετακίνηση με την οικολογία. Είναι το αυτοκίνητο που θα μπορούσες να χρησιμοποιήσεις για να πας σε ένα μαγαζί στο κέντρο της πόλης αλλά επίσης θα μπορούσες να διανύσεις μεγάλες αποστάσεις κάνοντας ένα ταξίδι.

Στο παρελθόν πριν εφευρεθεί το αυτοκίνητο οι άνθρωποι είχαν άλλα μέσα για την μετακίνησή τους. Τα άλογα, οι καμήλες, τα λάμα, τα γαϊδούρια και πολλά άλλα είδη ζώων είχαν χρησιμοποιηθεί από τον



άνθρωπο ως μέσα μεταφοράς. Οι άμαξες ήταν από τα πρώτα μέσα μεταφοράς με τροχούς με κινητήρια δύναμη τα άλογα τα οποία τις έσερναν. Τα πλοία έκαναν την εμφάνισή τους αργότερα, πρώτα με κουπιά μετά με πανιά στη συνέχεια από το ατμόπλοιο του Φούλτον μέχρι τα σημερινά πυρηνοκίνητα και χρησιμεύουν στην επικοινωνία και το εμπόριο μεταξύ μακρινών και παραθαλάσσιων περιοχών. Με την πάροδο του χρόνου ο άνθρωπος κατάφερε να κατακτήσει τον αέρα και το διάστημα, σε μια μάχη αιώνων από το πρώτο μηχάνημα που σχεδίασε ο Leonardo da Vinci μέχρι τα σημερινά επανδρωμένα διαστημόπλοια. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε αυτή την πορεία που περιγράψαμε η μεγαλύτερη ανακάλυψη, από την αρχή του



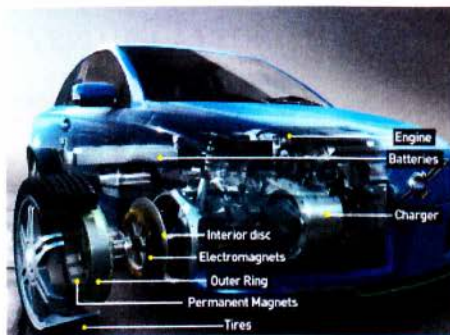
ανθρώπινου γένους μέχρι τον μεσαίωνα, για τα μεταφορικά μέσα ήταν ο τροχός και έγινε πριν 5.500 χρόνια. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα άλογα όπου ήταν η κινητήρια δύναμη έδωσαν την θέση τους στους κινητήρες. Ο κινητήρας έχει την ικανότητα να μετατρέπει κάποια μορφή ενέργειας που του προσφέρεται σε κινητική, ώστε να βάλει σε κίνηση το όλο σύστημα και η ισχύς του μετράτε σε ίππους (Hp). Έτσι τα άλογα από κινητήρια δύναμη της

άμαξας μπήκαν μέσα στους σημερινούς κινητήρες σαν μονάδα μέτρησης ισχύος του κινητήρα.

Τα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης κατασκευάστηκαν αρχικά στην Γερμανία από τους Καρλ Μπεντς και Γκότλιμπ Νταίμλερ ανάμεσα στο 1885 με το 1886, ήταν και το πρώτο σχεδιασμένο ως αυτοκίνητο. Το δεύτερο σημαντικό επίτευγμα στην ιστορία της αυτοκίνησης ήταν η δημιουργία ενός αυτοκινήτου όπου όλοι οι μέσοι πολίτες θα είχαν την δυνατότητα να το αγοράσουν και να το χρησιμοποιούν σε καθημερινή βάση (είναι το μοντέλο "Model-T").

Τέλος η πετρελαϊκή κρίση και η οικολογική επιβάρυνση του πλανήτη οδήγησαν στην εύρεση ενός νέου αυτοκινήτου δηλαδή του υβριδικού.

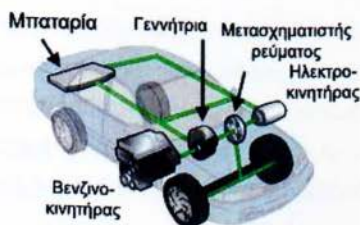
Βέβαια προτάσεις πάνω στο ίδιο ζήτημα είχαν παρουσιαστεί και νωρίτερα, όπως το 1900, όταν η εταιρία Lohner είχε παρουσιαστεί στην έκθεση του Παρισιού ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο βασισμένο στην ιδέα ενός 25χρονου τότε μηχανικού, του ιδρυτή της ομώνυμης μετέπειτα θρυλικής φίρμας Ferdinand Porsche. Το αυτοκίνητο αυτό διέθετε δυο ηλεκτροκινητήρες ενσωματωμένους στις πλήμνες των



μπροστινών τροχών χωρίς να γίνεται χρήση κιβωτίου ταχυτήτων, ημιαξονίων ή διαφορικού. Το 1902 ο Lohner παρουσίασε και υβριδική τετρακίνητη έκδοση του μοντέλου της με ηλεκτροκινητήρες σε όλους τους τροχούς, όπου ένας βενζινοκινητήρας κινούσε την απαραίτητη για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας γεννήτρια. Στην πορεία παρουσιάστηκαν διάφορα πρωτότυπα, όπως του Krieger το 1903, ορόσημο όμως στην εξέλιξη των υβριδικών οχημάτων αποτέλεσε το 1917, όταν ο Woods Motor Vehicle

Company παρουσίασε το μοντέλο Duel Power. Κερδίζοντας τις εντυπώσεις χάρη στην ευφυή κατασκευή του και τον απλό χειρισμό του, το Duel Power διαθέτει βενζινοκινητήρα και ηλεκτροκινητήρα οι οποίοι μπορούσαν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον.

Το υβριδικό αυτοκίνητο έχει σαν βάση του το διπλό τρόπο κίνησης του, αφού μπορεί είτε να κινείται όπως ένα απλό αυτοκίνητο δηλαδή



με βενζινοκινητήρα είτε με τον νέο αυτό τρόπο του ηλεκτροκινητήρα. Ο ηλεκτροκινητήρας, το πιο σημαντικό κομμάτι του υβριδικού (αυτό άλλωστε που το κάνει να ξεχωρίζει), λειτουργεί με μπαταρίες, τις οποίες όμως δεν χρειάζεται να φορτίζει ο ιδιοκτήτης αφού κατά κύριο λόγο φορτίζονται όταν ο οδηγός πατάει φρένο με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας η οποία δεν πάει χαμένη. Η όλη κατασκευή του παρ' όλ' αυτά δεν διαφέρει από ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Δηλαδή αποτελείται κυρίως από λαμαρίνα, ωστόσο υπάρχουν και κάποια άλλα υλικά ανάλογα με τον τύπο του αυτοκινήτου. Όπως είναι, το δέρμα (στα καθίσματα), το πλαστικό (στους προφυλακτήρες), το γυαλί (για τα τζάμια) κ.α.

Το υβριδικό αυτοκίνητο καλύπτει ένα μεγάλο εύρος μηχανημάτων, όπως είναι, το CD-Player, το air-condition και το καλοριφέρ, συστήματα κεντρικού κλειδώματος, ηλεκτρικοί καθρέπτες και παράθυρα, σε πιο σπάνιες περιπτώσεις θερμαινόμενα καθίσματα κ.α. Όσον αφορά τη λειτουργία και την κίνηση του αυτοκινήτου το σημαντικότερο μηχανήμα είναι, ο κινητήρας ο οποίος εμφανίζεται διπλός σ' ένα υβριδικό αυτοκίνητο αφού ή είναι ηλεκτρικός κυρίως σε μικρές ταχύτητες ή είναι βενζινοκίνητος σε μεγαλύτερες

Χαρακτηρίζουμε ως πλήρως υβριδικά τα αυτοκίνητα εκείνα που έχουν την δυνατότητα να κινηθούν όχι μόνο με τον συνδυασμό του θερμικού κινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα αλλά και με κάθε έναν από αυτούς τους κινητήρες ξεχωρισμένως. Στην ουσία το κύριο χαρακτηριστικό ενός πλήρως υβριδικού αυτοκινήτου είναι η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα σε συνδυασμό με την χωρητικότητα και την ισχύ της συστοιχίας των συσσωρευτών, αφού αυτά είναι τα στοιχεία από τα οποία εξαρτάται η ικανότης της κίνησής του μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα, έστω με χαμηλές ταχύτητες και σε μικρές αποστάσεις. Για τον θερμικό κινητήρα δεν τίθεται βέβαια τέτοιο ζήτημα αφού στην πράξη αυτός αποτελεί την κύρια μονάδα πρόωσης που εξασφαλίζει και τη μεγάλη αυτονομία. Προδιαγραφές των ορίων της πλήρους υβριδοποίησης δεν έχουν τεθεί επίσημα και επομένως επικρατεί σχετική ασάφεια στο χαρακτηρισμό των διαφόρων μοντέλων που διατίθενται στην αγορά πάντως η βασική αρχή που προαναφέρθηκε χρησιμοποιείται σε ευρεία.

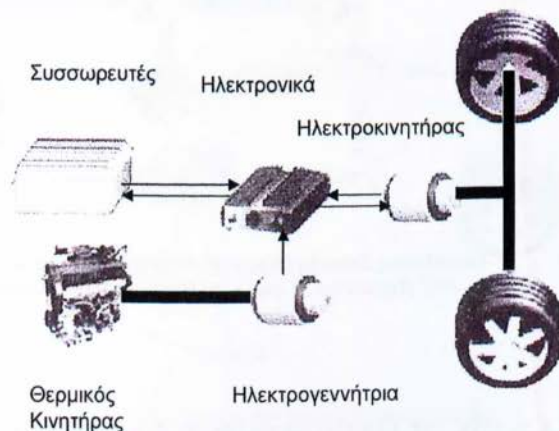
(5.3) ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΣΗΣ

Ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι δυο προωστήριες μονάδες (θερμικός κινητήρας και ηλεκτροκινητήρας) στους προωστήριους τροχούς του αυτοκινήτου δεν είναι μονοσήμαντος. Διακρίνονται οι κατωτέρω τρεις κύριες κατηγορίες αρχιτεκτονικής σχεδίασης ενός υβριδικού προωστήριου συστήματος χωρίς να αποκλείονται και κάποιες άλλες ακόμα επιλογές

- Παράλληλη διάταξη
- Εν σειρά διάταξη
- Μικτή διάταξη

(5.3.1) ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝ ΣΕΙΡΑ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

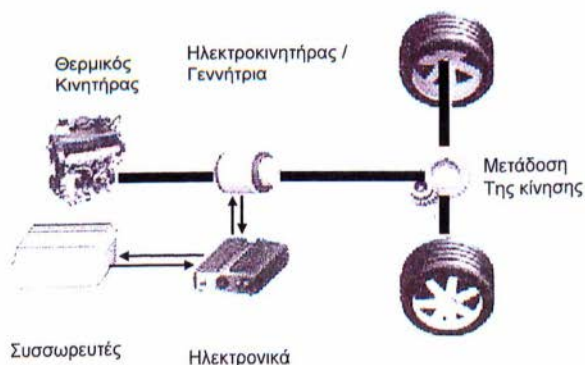
Στο σχήμα 5.6 εικονίζεται εν σειρά διάταξη ενός υβριδικού αυτοκινήτου. Όπως φαίνεται στο σχήμα μηχανική σύνδεση με τους κινητήριους τροχούς του αυτοκινήτου υπάρχει μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Στην ουσία πρόκειται για ένα ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο το οποίο όμως την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται για την κίνησή του την παίρνει από έναν ηλεκτροπαραγωγό ζεύγους θερμικού κινητήρα-ηλεκτρογεννήτριας και επικουρικά μόνο από τους συσσωρευτές τους. Φυσικά υπάρχουν και όλες οι άλλες λειτουργίες ενός υβριδικού αυτοκινήτου όπως είναι η ανάκτηση ενέργειας και η φόρτιση των συσσωρευτών από την ανακτώμενη ενέργεια ή και από το ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος. Το γεγονός ότι στην προκειμένη περίπτωση δεν υπάρχει η δυνατότητα της κίνησης του υβριδικού αυτοκινήτου σειράς μόνο με το θερμικό του κινητήρα διαφοροποίησε σε πολλές περιπτώσεις και την ονομασία του έτσι ώστε αντί να ονομάζεται <<υβριδικό>> να ονομάζεται <<ηλεκτρικό με σύστημα επέκτασης της αυτονομίας>> (electric vehicle with range extender)



**Διάταξη εν σειρά Θερμικού κινητήρα με Ηλεκτροκινητήρα
(Τεχνολογία GM Volt – Opel Ampera κλπ)**

(5.3.2) ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στο σχήμα 5.7 εικονίζεται η παράλληλη διάταξη θερμικού κινητήρα με ηλεκτροκινητήρα. Στη διάταξη αυτή τόσο ο θερμικός κινητήρας όσο και ο ηλεκτροκινητήρας συνδέονται μηχανικά με τους προωστήριους τροχούς του αυτοκινήτου. Ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί και ανάστροφα ως ηλεκτρογεννήτρια τόσο κατά τις φάσεις ανάκτησης της κινητικής ενέργειας όσο και στις περιπτώσεις που απαιτείται η φόρτιση των συσσωρευτών από το πλεόνασμα της ισχύος του θερμικού κινητήρα. Η διάταξη αυτή αποτελεί την απλούστερη μορφή υβριδικής λύσης και εφαρμόζεται σε πολλά αυτοκίνητα που διατίθενται σήμερα στην αγορά.



Παράλληλη Διάταξη Θερμικού κινητήρα με Ηλεκτροκινητήρα
(Τεχνολογία Honda – Integrated Motor Assist)

Σχήμα 5.7

(5.3.3) ΜΙΚΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στο σχήμα 5.8 εικονίζεται η μικτή διάταξη θερμικού κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα η οποία θεωρείται ως η πληρέστερη και δυνάμενη να ικανοποιήσει πολλές λειτουργικές απαιτήσεις κατά τον καλύτερο τρόπο. Η διάταξη αυτή λειτουργεί αυτόματα και κατά λειτουργική απαίτηση πότε ως εν

σειρά, χρησιμοποιώντας μόνο τον ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση του αυτοκινήτου μόνο με τον θερμικό κινητήρα ή με συνδυασμό θερμικού κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα. Το σημαντικότερο δομικό στοιχείο αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η μονάδα του Διανομέα Ισχύος (Power Splitter) η οποία συνδέει και αποσυνδέει αυτόματα όλους τους συνδεδεμένους με αυτήν επί μέρους μηχανισμούς όπως είναι ο θερμικός κινητήρας, ο ηλεκτροκινητήρας, η ηλεκτρογεννήτρια, και το σύστημα των προωσθηρίων τροχών. Οι λειτουργίες της ανάκτησης ενέργειας και της φόρτισης των συσσωρευτών από τον θερμικό κινητήρα εξυπηρετούνται πληρέστερα από την ανεξάρτητη ηλεκτρογεννήτρια του συστήματος αφήνοντας τον ηλεκτροκινητήρα ανεξάρτητο ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες της κίνησης κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.



**Μικτή διάταξη Θερμικού κινητήρα και Ηλεκτροκινητήρα
(Τεχνολογία Toyota Prius, Ford Escape Hybrid κλπ)**

Σχήμα 5.8

Στην εικόνα 5.9 εικονίζονται μερικά πλήρως υβριδικά αυτοκίνητα τα οποία κυκλοφορούν στις διεθνείς αγορές και αποδεικνύουν στην πράξη την αξιοπιστία και την τεχνολογική τελειότητα που τα διακρίνει. Αποτελούν στην ουσία την υλοποίηση προσπαθειών πολλών δεκαετιών για την εξέλιξη της τεχνολογίας των οχημάτων προς τον εξηλεκτρισμό τους



Εικόνα 5.9

(5.3.4) ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η ανεξάρτητη διάταξη διαθέτει ηλεκτροκινητήρα και ΜΕΚ όπως η παράλληλη διάταξη. Η διαφορά ανάμεσα τους είναι ότι στην ανεξάρτητη τοπολογία οι δύο κινητήρες δεν έχουν καμία σύνδεση μεταξύ τους. Η μηχανή εσωτερικής καύσης κινεί το ένα ζεύγος τροχών και ο ηλεκτροκινητήρας το άλλο. Η σύνδεση μεταξύ τους γίνεται μόνο μέσω του δρόμου. Αυτή η διάταξη μπορεί να βρει εφαρμογή σε τετρακίνητα οχήματα χωρίς να απαιτείται τοποθέτηση άξονα μετάδοσης και διαφορικού, όπως συμβαίνει στα συμβατικά του είδους.

(5.3.5) EREVs

Μία διάταξη, η οποία προτάθηκε σχετικά πρόσφατα, αποτελείται από έναν βενζινοκινητήρα, έναν ηλεκτρικό κινητήρα και συσσωρευτές. Τα αρχικά EREV σημαίνουν Extended Range Electric Vehicle. Με τη συγκεκριμένη τοπολογία ένα όχημα μπορεί να καλύψει τις, κατά μέσο όρο, καθημερινές ανάγκες του οδηγού αμιγώς ηλεκτρικά. Όμως, σε περίπτωση κατά την οποία εξαντληθούν

τα αποθέματα των μπαταριών ενεργοποιείται ο βενζινοκινητήρας και η διαχείριση της ενέργειας γίνεται, πλέον, με τη λογική της σειριακής διάταξης, δίνοντας στο αυτοκίνητο σημαντική αυτονομία. Ο βενζινοκινητήρας κινεί τη γεννήτρια κι αυτή με τη σειρά της φορτίζει τις μπαταρίες. Ο ηλεκτροκινητήρας εκμεταλλεύεται την αποθηκευμένη ενέργεια των μπαταριών για τη μεταφορά του οδηγού. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτού του είδους της τοπολογίας είναι τα Fisker Karma (εικόνα 5.10) και Opel Ampera (εικόνα 5.10). Το δε πρώτο προσφέρει με καθαρή ηλεκτροκίνηση μία αυτονομία περίπου 80 km, ενώ αν καταναλωθεί η ενέργεια των μπαταριών τίθεται σε λειτουργία ένας υπερτροφοδοτούμενος βενζινοκινητήρας, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα στον οδηγό να κινηθεί για ακόμη 483 km. Με την ίδια λογική το δεύτερο αυτοκίνητο έχει αυτονομία 60 km και στη συνέχεια ενεργοποιείται η ΜΕΚ για να προσθέσει 440 km αυτονομίας.



Fisker Karma
Υβριδικό σε εν σειρά διάταξη με
δυνατότητα Plug-in



Toyota Prius
Υβριδικό σε μικτή διάταξη με
δυνατότητα Plug-in



Opel Ampera
Υβριδικό σε εν σειρά διάταξη
με δυνατότητα Plug-in



Chevrolet Volt
Υβριδικό σε εν σειρά διάταξη με
δυνατότητα Plug-in

(6) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΡΟΠΟ (ΣΦΟΝΔΥΛΟ)PORSCHE

Με την βοήθεια των ηλεκτρονικών και την χρήση νέων υλικών τα χαρακτηριστικά των σφονδύλων βελτιώθηκαν παράγοντας πολύ μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και βρήκαν ευρεία χρήση στον βιομηχανικό και επιστημονικό κλάδο. Μόλις όμως τις τελευταίες δύο δεκαετίες υπάρχει η σκέψη της χρήσης σφονδύλων στην αυτοκινητοβιομηχανία. Σε πρωτότυπα λεωφορεία μηχανικοί σφόνδυλοι συνδυάστηκαν προ δεκαετιών με κιβώτια τύπου CVT ενώ οι νέας γενιάς σφόνδυλοι είναι οι ηλεκτρικοί.



Οι σφόνδυλοι χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν μηχανική ενέργεια εδώ και αιώνες (π.χ. η μηχανή ενός κεραμοποιού) ενώ βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στην αεροδιαστημική. Μία μεγάλη μάζα περιστρέφεται σε υψηλή ταχύτητα και η παραγόμενη/αποθηκευμένη ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική αφού η περιστρεφόμενη μάζα συνδέεται με μία γεννήτρια. Η απόδοση ενός σφονδύλου εξαρτάται από την περιστρεφόμενη μάζα (M) και είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας της περιστρεφόμενης μάζας (ισχύει MV^2).

Ένας σφόνδυλος ενέργειας μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλα ηλεκτρικά φορτία σε εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα ενώ μπορεί να τα διαθέσει το ίδιο γρήγορα. Πως λειτουργεί ένας σφόνδυλος ηλεκτρικής ενέργειας; Χονδρικά η λειτουργία του μας παραπέμπει σε αυτή του ηλεκτροκινητήρα αφού υπάρχει ένας στάτορας που λαμβάνει κίνηση όποτε ο οδηγός πατάει φρένο. Η κινητική

ενέργεια περιστρέφει τον στάτορα με ρυθμό άνω των 40.000-50.000 σ.α.λ. με αποτέλεσμα η μηχανική ενέργεια να «αποθηκεύεται» λόγω της «αμελητέας» κίνησης. Το μυστικό όμως ενός σφονδύλου κρύβεται στην μεγάλη ροπή αδράνειας.

Ο σφόνδυλος είναι κατασκευασμένος από ανθρακόνημα (η ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή αδράνεια και η μέγιστη επιτάχυνση ώστε η ταχύτητα περιστροφής να εκτοξεύεται στο μέγιστο σε ελάχιστο χρόνο. Φανταστείτε ένα μεγάλο τροχό όπου η μεγαλύτερη μάζα του είναι συγκεντρωμένη στην περιφέρεια του όπου κατά την περιστροφή του παράγει ροπή (στα KERS της F1 φτάνει περίπου τα 130 Nm).

Στο εσωτερικό του σφονδύλου υπάρχει κενό αέρος ώστε να αποφευχθεί αεροδυναμική υπερθέρμανση με επερχόμενες φθορές ενώ μαγνητικά έδρανα λειτουργούν σαν αμορτισέρ αποσβένοντας τους κραδασμούς διατηρώντας σταθερό τον σφόνδυλο χωρίς να «τραυματιστεί».

Η παραμικρή ταλάντωση σε τόσο υψηλή ταχύτητα περιστροφής θα μπορούσε εύκολα να διαλύσει τα «σωθικά» του.

Ένας σφόνδυλος δεν μπορεί να συνδυαστεί με μπαταρίες; Η συνεχόμενη και ταχεία μεταβολή των φορτίων από τους σφονδύλους ουσιαστικά αχρηστεύει και μικραίνει την διάρκεια ζωής των μπαταριών. Το πρόβλημα με την φόρτιση των μπαταριών είναι πως απαιτεί χρόνο με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες.



Με λίγα λόγια οι μπαταρίες χρειάζονται πολλαπλάσιο διάστημα για να φορτισθούν, έχουν μεγάλο βαθμό απώλειας, μικρότερο κύκλο ζωής, επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές και έχουν υψηλότερο βάρος. Ένας σφόνδυλος μπορεί να συνδράμει σε ένα όχημα για μικρά χρονικά διαστήματα σαν εφεδρικό boost και όχι για συνεχή παροχή ενέργειας (τουλάχιστον μέχρι να εξαντληθούν οι μπαταρίες). Για παράδειγμα, ένας σφόνδυλος ταιριάζει περισσότερο σε ένα σπορ μοντέλο όπου μπορεί να προσφέρει έξτρα ώθηση κατά την προσπέραση. Όχι όμως σε ένα SUV που χρειάζεται συνεχή επικουρική βοήθεια για να ξεκουράζεται ο MEK π.χ. στην διάρκεια ανηφορικής διαδρομής.

Στο σαλόνι αυτοκινήτου της Γενεύης, τον Μάρτιο 2010, είδαμε μια πρωτότυπη υβριδική **Porsche 911 GT3** που χρησιμοποιεί για την αποθήκευση ενέργειας, όχι μπαταρίες, αλλά ένα σφόνδυλο. Μάλιστα, η υβριδική Porsche συμμετείχε πριν από μερικές εβδομάδες σε αγώνα μακράς απόστασης στο Nürburgring κατακτώντας την 3η θέση.

(7)ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ F1 (KERS)

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ KERS ?

Με το ακρωνύμιο KERS (Kinetic Energy Recovery System) εννοούμε ένα σύστημα ανάκτησης κινητικής ενέργειας. Η συσκευή ανακτά την κινητική ενέργεια, η οποία εμφανίζεται στην θερμότητα που εκλύεται κατά την διαδικασία φρεναρίσματος του αυτοκινήτου. Στην συνέχεια, την αποθηκεύει μετατρέποντάς την σε δύναμη που μπορεί να κληθεί ώστε να αυξήσει περισσότερο την επιτάχυνση.

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Υπάρχουν κυρίως δυο είδη συστημάτων, με μπαταρία (ηλεκτρικό) και με σφόνδυλο (μηχανικό). Ωστόσο, οι ομάδες της φόρμουλας 1 χρησιμοποιούν μέχρι τώρα το ηλεκτρικό σύστημα με την μπαταρία. Τα ηλεκτρικά συστήματα χρησιμοποιούν έναν κινητήρα-γεννήτρια ενσωματωμένο στην μετάδοση του αυτοκινήτου, η οποία μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και το

αντίστροφο. Μόλις, η ενέργεια αξιοποιηθεί αποθηκεύεται σε μια μπαταρία και απελευθερώνεται όταν απαιτείται.



Τα μηχανικά συστήματα δεσμεύουν την ενέργεια κατά την πέδηση και την χρησιμοποιούν για να στρίψουν ένα μικρό βολάν, το οποίο μπορεί να στραφεί έως και 80000rpm. Όταν απαιτείται επιπλέον ισχύς, ο σφόνδυλος συνδέεται με τους πίσω τροχούς του αυτοκινήτου. Σε αντίθεση με έναν ηλεκτρικό KERS, η μηχανική ενέργεια δεν αλλάζει κατάσταση και είναι επομένως πιο αποτελεσματική.

Υπάρχει και μία άλλη επιλογή διαθέσιμη, υδραυλικό KERS, όπου η ενέργεια της πέδησης χρησιμοποιείται για να συσσωρεύσει υδραυλική πίεση η οποία στη συνέχεια αποστέλλεται στους τροχούς όταν απαιτείται.

(8) ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥΣ

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τον τρόπο ανεφοδιασμού τους από εξωτερική πηγή ενέργειας. Είναι πιθανό ένα όχημα να προσφέρεται για ανεφοδιασμό και με τους δύο τρόπους που θα αναφέρουμε.

(8.1) ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΖΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα οχήματα αυτά ανεφοδιάζονται μόνο από σταθμούς υγρών καυσίμων και αποτελούν την πλειοψηφία των υβριδικών οχημάτων.

(8.2) ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΖΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Τα οχήματα αυτά ανεφοδιάζονται και από το δίκτυο χαμηλής τάσης. Βασική προϋπόθεση είναι ένας φορτιστής κατάλληλος για τέτοιου είδους φόρτιση. Τέτοια μοντέλα είναι γνωστά με το όνομα PHEV (Plug-in HEV) και ήδη παρουσιάζονται από διάφορες εταιρίες, όπως η GENERAL MOTORS. Μία περαιτέρω διάκριση μπορεί να γίνει στα PHEV με βάση την αυτονομία τους αν κινηθούν αμιγώς ηλεκτρικά. Η αυτονομία τους δηλώνεται με τον αριθμό των χιλιομέτρων που μπορούν να διανύσουν. Για παράδειγμα ένα PHEV30 μπορεί να διανύσει ηλεκτρικά 30 χιλιόμετρα. Η αυτονομία τους αγγίζει με βάση τα σημερινά δεδομένα τα 60 χιλιόμετρα, ενώ αυξάνεται συνεχώς χρησιμοποιώντας ολοένα και αποδοτικότερες μπαταρίες. Έχει παρατηρηθεί η προσπάθεια ιδιωτών να μετατρέψουν τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα τους σε PHEV κατασκευάζοντας φορτιστές για τη φόρτιση από το δίκτυο χωρίς, πάντοτε, τα καλύτερα αποτελέσματα για το αυτοκίνητο τους.

(8.3) ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΤΟΥΣ ΜΕ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Όλοι οι τύποι των πλήρως υβριδικών αυτοκινήτων τα οποία διαθέτουν τον ηλεκτροκινητήρα με ισχύ ικανή να καλύψει τις ανάγκες κίνησής τους θα μπορούσαν βεβαίως να λειτουργούν για κάποιες αποστάσεις και ως αμιγώς ηλεκτροκίνητα υπό την προϋπόθεση ότι οι συσσωρευτές του θα είχαν την ικανότητα να αποθηκεύσουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Με το σκεπτικό αυτό και με στόχο την εκμετάλλευση του πολύ χαμηλού λειτουργικού κόστους ενός ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου σε συνδυασμό με την μηδενική ρύπανση που προκαλεί στο χώρο κίνησής του σχεδιάστηκαν υβριδικά αυτοκίνητα τα οποία εφοδιάστηκαν με μεγάλης χωρητικότητας και αντίστοιχης ισχύος συσσωρευτές. Τα αυτοκίνητα αυτά, μέσω μιας συσκευής φόρτισης, την οποία επίσης διαθέτουν, μπορούν να συνδέονται με το δίκτυο ηλεκτροπαραγωγής και να φορτίζουν για κάποιες ώρες τους συσσωρευτές τους με ηλεκτρική ενέργεια την οποία στη συνέχεια να χρησιμοποιούν για να κινηθούν ως αμιγώς ηλεκτροκίνητα. Όταν η ενέργεια αυτή τείνει να εξαντληθεί τα αυτοκίνητα συνεχίζουν απρόσκοπτα να λειτουργούν ως υβριδικά χρησιμοποιώντας την ενέργεια των υγρών ή αερίων καυσίμων της δεξαμενής τους μέχρι να τους δοθεί η δυνατότητα να ξαναφορτίσουν τους συσσωρευτές τους από το δίκτυο και να αρχίσει ένας νέος κύκλος λειτουργίας από ηλεκτροκίνητο σε υβριδικό. Τα αυτοκίνητα αποτελούν ιδανική λύση γιατί παρέχουν πλήρη ασφάλεια επάρκειας ενέργειας στους ιδιοκτήτες τους για οποιοδήποτε είδους ταξίδια όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ακριβά αυτοκίνητα ενώ ταυτόχρονα στην καθημερινή τους χρήση λειτουργούν ως αμιγώς ηλεκτρικά με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, με επίσης πολύ χαμηλό λειτουργικό κόστος, με μηδενική ρύπανση και με έμμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂ οι οποίες ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου ηλεκτροπαραγωγής θα κυμαίνονται μειωμένες σε σχέση με τα συμβατικά από 50% έως 100%.

(9) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Η ονομαστική ισχύς των υβριδικών αυτοκινήτων εξαρτάται απ την αρχιτεκτονική του προωστήριου συστήματος, την ισχύ του θερμικού κινητήρα, την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, και τη χωρητικότητα και ισχύ της συστοιχίας των συσσωρευτών του σε συνδυασμό με την ισχύ του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (για την περίπτωση της εν σειρά αρχιτεκτονικής).

Το θέμα του καθορισμού αυτής της ισχύος απασχόλησε τα τελευταία χρόνια την Διεθνή Ομοσπονδία Αυτοκινήτου η οποία ενδιαφέρεται για την αξιοποίηση της υβριδικής τεχνολογίας στο χώρο του μηχανοκίνητου αθλητισμού. Η Ελλάδα εκπροσωπείται στο αρμόδιο όργανο της Δ.Ο.Α. και έχει συμβάλει στις σχετικές διεργασίες με προτάσεις τρόπου υπολογισμού αυτής της ισχύος για τις διάφορες υβριδικές αρχιτεκτονικές όπως έκαναν και άλλες χώρες που εκπροσωπούνται στο όργανο αυτό. Η διεθνής ομοσπονδία αυτοκινήτου δημοσίευσε πρόσφατα τεχνικό κανονισμό για υβριδικά αυτοκίνητα στον οποίο περιλαμβάνεται άρθρο που καθορίζει τον τρόπο υπολογισμού αυτής της ισχύος με υποσημείωση βάσει της οποίας η προτεινόμενη μέθοδος υπολογισμού επιδέχεται βελτιώσεις ή αλλαγές τόσο μέχρι της ημερομηνίας έναρξης ισχύος του τεχνικού κανονισμού για υβριδικά αυτοκίνητα που ορίζεται για την 1/1/2010 όσο και μετά από αυτήν.

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων ετοίμασε έναν υπολογιστικό πίνακα με τη βοήθεια του οποίου υπολογίζεται αυτόματα η ισχύς οποιουδήποτε υβριδικού αυτοκινήτου με τη μέθοδο της Δ.Ο.Α. αλλά ταυτόχρονα και παράλληλα με τη μέθοδο που προτείνει το ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. Από τα παραδείγματα του πίνακα φαίνεται ότι πράγματι η προτεινόμενη από τη Δ.Ο.Α. μέθοδος χρήζει βελτίωσης ενώ αντίθετα η προτεινόμενη από το ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. μέθοδος δείχνει να προσεγγίζει με μεγάλη ακρίβεια τις τιμές που οι κατασκευαστές σε μερικές περιπτώσεις αναφέρουν.

Το θέμα παρουσιάζει επιστημονικό και εκπαιδευτικό ενδιαφέρον και αξίζει να ερευνηθεί περαιτέρω. Οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος μπορεί να κατεβάσει

και να δοκιμάσει να υπολογίσει με τη βοήθεια του την ισχύ διαφόρων υβριδικών αυτοκινήτων είτε αυτά είναι μοντέλα παραγωγής είτε ακόμα και πρωτότυπα για αγωνιστική χρήση.

COMPARATIVE TABLES OF HYBRID VEHICLES POWER CALCULATION ACCORDING TO THE FIA AND HEL.I.E.V.JELPÁ FORMULAE										
CAR DATA		TECHNICAL DATA				CALCULATED NOMINAL POWER OF THE CAR				
Car Model	Hybrid drive train type	ICE kW	EM kW	RESS kWh	RESS kW	FIA Nom. Power kW	HELLIEV Nom. Power kW			Manuf. kW
						From	Up to	on E motor	on RESS	
Toyota Prius III - Example 3	SPLIT TYPE	57	50	1,8	21	97,0	103,7			80,0
Lexus RX 400h		155	176	4,5	45	155,0	342,2			200,0
Lexus GS 450h		208	147	4,5	45	208,0	329,7			253,0
Lexus LS 600h		290	165	4,5	45	290,0	409,7			335,0
Toyota Prius III Converted - Ex. 4		57	120	20	80	57,0	219,7			137,0
Example 5		200	200	20	80	200,0	400,0			280,0
						#DIV/0!	#DIV/0!		0,0	
Toyota Prius prototype - Ex.8	PLUG-IN SPLIT TYPE	57	50	20	80	147,0	107,0			
Example 7		40	195	53	200	331,0	225,0			
						0,0	0,0			
Example 1	SERIES TYPE	40	185	53	200	40,0	185,0			
Example 2		120	50	53	200	120,0	50,0			
Chevy Volt without Charger		64	111	16	120	64,0	111,0			
						#DIV/0!				
Chevy Volt - Example 9	PLUG-IN SERIES TYPE	64	111	16	120	207,0	111,0			111,0
Example 1A		40	185	53	200	331,0	185,0			
Example 2A		120	50	53	200	276,0	50,0			
Flaker Karma		195	300	22,6	280	640,2	300,0			300,0
						0,0				
Honda Civic	PARALLEL TYPE	71	15	1,2	11	76,2			82,0	82,5
Example 5		57	75	20	80	142,2	132,0			
						#DIV/0!			0,0	
Example 6A	PLUG-IN PARALLEL TYPE	57	75	20	80	172,0	132,0			
						0,0				
Remarks on the Examples of Calculations demonstrated in the Table										
Nominal Power obtained by the HEL.I.E.V. formulae is almost the same as the vehicle power declared by the manufacturers										
Results obtained by the FIA Formulae for which some doubts are raised										
FIA Formulae produces only a range of power. According to this procedure the vehicle power remains unknown and left for future settlement										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
INSTRUCTIONS FOR THE NOMINAL POWER CALCULATION OF ANY HYBRID VEHICLE IN ACCORDANCE WITH FIA AND HEL.I.E.V. FORMULAE										
Step 1 - Choose the Hybrid Train type of the vehicle and use the corresponding blue line for the insertion of the vehicle's data										
Step 2 - Insert the name of the Hybrid vehicle model in the column A										
Step 3 - Insert the Internal Combustion Engine power in kW into column C										
Step 4 - Insert the Electric Motor power in kW in to column D										
Step 5 - Insert the Rechargeable Electric Storage System energy capacity in kWh into column E										
Step 6 - Insert the Rechargeable Electric Storage System power in kW into column F (if it is unknown put the product of energy capacity multiplied by 2 as FIA rule provides)										
Step 7 - Insert the nominal power of vehicle in kW as declared by the manufacturer's, if it is known, into column K for comparison purposes										
Results										
1. You can see in the columns G-H the calculated Nominal Power of the vehicle in accordance with the FIA formulae										
2. You can see in the columns I-J the calculated Nominal Power of the vehicle in accordance with the HEL.I.E.V. formulae										
3. In case which the manufacturer's declared power of vehicle is inserted into column K, you will see the comparison between the two methods of calculation										

Σχήμα 9.1

(10) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ :

- ❖ Ένα πλήρως υβριδικό σύστημα έχει τη δυνατότητα να κινεί το όχημα με τον βενζινοκινητήρα ή μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα ή και τους δυο ταυτόχρονα.
- ❖ Καταναλώνουν πολύ λιγότερο καύσιμο. Σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ότι ένα υβριδικό καταναλώνει από 20% έως 40% λιγότερο από ένα αντίστοιχης ισχύος συμβατικό αυτοκίνητο, ανάλογα με το που κινείται. Στην πόλη για παράδειγμα που ο ηλεκτροκινητήρας δουλεύει πιο πολύ μπορεί να φτάσει το 40%, ενώ στον αυτοκινητόδρομο που θέλουμε όλη την ισχύ η οικονομία 'πέφτει' στο 20%.
- ❖ Με την απόκτησή τους να συνοδεύεται από αρκετά μπόνους από πλευράς κράτους όπως η απαλλαγή σε μεγάλο ποσοστό από τους δασμούς, δεν έχουν τέλη κυκλοφορίας για τα 5 πρώτα χρόνια και μπαίνουν ελεύθερα στο δακτύλιο.
- ❖ Όταν χρησιμοποιούμε τα φρένα σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο, η κινητική ενέργεια που έχει όταν μετακινείται μετατρέπεται σε θερμότητα. Σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο, τα φρένα παίρνουν ένα ποσοστό από την ενέργεια αυτή και αντί να χαθεί στο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική μηχανή ως γεννήτρια την εναποθέτει πίσω στις μπαταρίες.
- ❖ Τα υβριδικά οχήματα επιτυγχάνουν μεγάλα οφέλη στην εξοικονόμηση καυσίμου και στις εκπομπές CO₂.
- ❖ Στα υβριδικά με κυψέλες καυσίμου η κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνοντας μια χημική αντίδραση υδρογόνου/οξυγόνου χωρίς να κάψει καθόλου υδρογόνο, αποτελώντας καθαρή και ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση. Τα ηλεκτρόνια και ιόντα του υδρογόνου αναμιγνύονται με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν νερό. Επίσης η κυψέλη καυσίμου δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα ή άλλους ρύπους. Το μόνο υποπροϊόν είναι το νερό.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.

- ❖ Τα υβριδικά αυτοκίνητα κοστίζουν περισσότερο από τα αντίστοιχα συμβατικά αν και πολλές φορές έχουν καλύτερες επιδόσεις.
- ❖ Το αυξημένο βάρος λόγω μπαταριών, που επιδρά στην οδική τους συμπεριφορά.
- ❖ Είναι άγνωστο προς το παρόν κόστος αντικατάστασης μπαταριών μετά την παρέλευση δεκαετίας από την αγορά τους.
- ❖ Τα περισσότερα έχουν μικρή χωρητικότητα στο πορτμπαγκάζ.
- ❖ Ένα σημαντικό πρόβλημα των υβριδικών αυτοκινήτων είναι οι μπαταρίες τους. Διότι υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι φόρτισης, αυτοί δεν είναι αρκετοί για να γεμίσουν γρήγορα τις μπαταρίες. Έτσι ο ηλεκτροκινητήρας δε μπορεί να λειτουργήσει για πολύ χρόνο με αποτέλεσμα σε μεγάλες αποστάσεις να χρησιμοποιείται και ο βενζινοκινητήρας. Σε αυτό το πρόβλημα οι υπεύθυνοι τεχνικοί και μηχανικοί ψάχνουν να βρουν μια λύση, αφού έτσι το υβριδικό αυτοκίνητο θα κάνει ακόμα ένα βήμα προς την <<τελειότητα>>.
- ❖ Ακόμα μέχρι πριν λίγο καιρό η τεχνολογική ανάπτυξη των υβριδίων δεν επέτρεπε την ύπαρξη 4×4 αυτοκινήτων. Ωστόσο πρόσφατα αυτό έγινε πραγματικότητα και τα 4×4 υβριδικά αυτοκίνητα βγήκαν στην αγορά. Αλλά παρότι βγήκαν χρειάζονται πολλές μελέτες για να μειωθεί η καύση τους, αφού είναι αρκετά υψηλή. Για αυτό το λόγο τα υβριδικά 4×4 έχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης.



Τα υβριδικά διαθέτουν όλα εκείνα τα στοιχεία που θα τους επιτρέψουν να πρωταγωνιστήσουν στην τρέχουσα δεκαετία. Χωρίς να χρησιμοποιούν επαναστατική ή ριζοσπαστική τεχνολογία, επιτυγχάνουν εντούτοις με έξυπνες λύσεις την χρυσή τομή μεταξύ επιδόσεων και κατανάλωσης. Τα σημερινά δεδομένα δείχνουν ότι σύντομα θα κάνουν την εμφάνισή τους και καθαρόαιμες σπορ κατασκευές με υβριδικά κινητήρια σύνολα δείχνοντας τον δρόμο για πρωταγωνιστικό ρόλο που αναμένονται να διαδραματίσουν κάποια στιγμή στο μέλλον.

(11) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα υβριδικά αυτοκίνητα αποτελούν, πλέον, συχνό φαινόμενο στους δρόμους και ικανοποιούν κάθε είδους ανάγκες και προτιμήσεις. Γνωστές αυτοκινητοβιομηχανίες παράγουν υβριδικά οικογενειακά, αγωνιστικά, μικρομεσαία και οχήματα με δυνατότητες εκτός δρόμου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποια υβριδικά μοντέλα καθώς κι οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται για την υβριδοποίηση τους. Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε κάποια ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν ήδη.

(11.1) TOYOTA PRIUS

Η νέα έκδοση του μικρομεσαίου οικογενειακού της TOYOTA είναι, όπως και οι προκάτοχοι του, ένα πλήρως υβριδικό όχημα σειριακής – παράλληλης διάταξης. Εισήλθε στην αγορά το Μάιο του 2009. Προσφέρει την ιδιαίτερα χαμηλή για τις επιδόσεις του κατανάλωση των 3,9 λίτρων ανά 100 km στο μεικτό κύκλο, και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα 89 γραμμάρια ανά χιλιόμετρο.

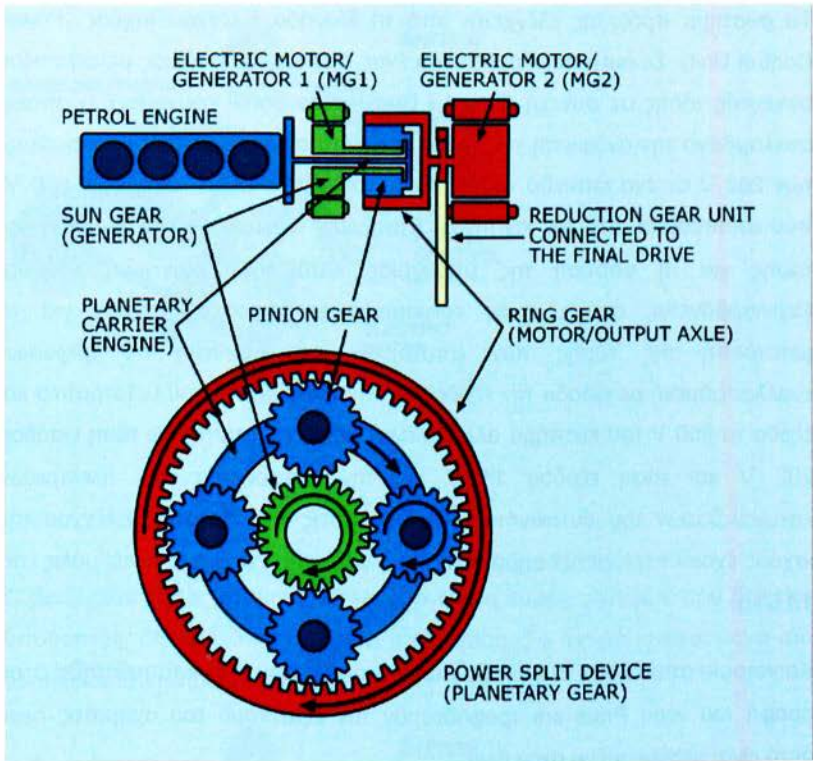


Εικόνα 11.1 TOYOTA PRIUS

Το σύστημα πρόωσης του αποτελείται από ένα βενζινοκινητήρα χωρητικότητας 1,8 λίτρων ισχύος 73 kW (98 ίππων) στις 5200 rpm και ροπής 142 Nm, έναν ηλεκτρικό κινητήρα σύγχρονο μόνιμου μαγνήτη ισχύος 60 kW (80 ίππων) και ροπής 206 Nm υπό τάση 650 V και μία σύγχρονη γεννήτρια. Οι συσσωρευτές είναι νικελίου - υδριδίου μετάλλου με τάση εξόδου 202 V αποτελούμενη από 168 κυψέλες των 1,2 V, μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ 27 kW, χωρητικότητα 6,5 Ah και μάζα μόλις 45 kg. Το όχημα μπορεί να κινηθεί αμιγώς ηλεκτρικά μόνο για 2 χιλιόμετρα λόγω της μικρής ποσότητας ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στις μπαταρίες.

Ο κινητήρας λειτουργεί με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο του Atkinson κι όχι του Otto, όπως η πλειοψηφία των συμβατικών οχημάτων. Η λειτουργία σε κύκλο Atkinson προσφέρει οικονομία καυσίμου αλλά μικρότερη απόδοση του κινητήρα. Βασίζεται στη μεγαλύτερη διαδρομή που εκτελεί το έμβολο όταν βρίσκεται σε φάση εκτόνωσης από αυτή που εκτελεί στη φάση συμπίεσης. Για να επιτευχθεί αυτό, στον κινητήρα του Prius η συμπίεση αρχίζει πολύ αργότερα από το Κατώτατο Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ), τη θέση, δηλαδή, του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο στο τέλος της φάσης της εκτόνωσης. Το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής του κυλίνδρου για τη φάση συμπίεσης εξαρτάται από τον επιθυμητό βαθμό πλήρωσης, δηλαδή την αναλογία στην ποσότητα αέρα – καυσίμου.

Η κατανομή της ισχύος μεταξύ του βενζινοκινητήρα, του ηλεκτροκινητήρα και της γεννήτριας γίνεται μέσω ενός επικυκλικού διαφορικού. Στον «ήλιο» του διαφορικού συνδέεται η γεννήτρια, στο φορέα των πλανητών η MEK και στη στεφάνη, μέσω της οποίας γίνεται η έξοδος της ισχύος, ο ηλεκτρικός κινητήρας. Συνεπώς, ο ηλεκτροκινητήρας είναι συνεχώς συνδεδεμένος με τον άξονα μετάδοσης της κίνησης, δηλαδή με σταθερή ταχύτητα του οχήματος στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών. Αντίθετα, ο βενζινοκινητήρας και η γεννήτρια έχουν συνεχώς μεταβαλλόμενο ρυθμό περιστροφής ανάλογα με τις απαιτήσεις κίνησης του οχήματος.



Εικόνα 11.2 Διάγραμμα πλανητικού συστήματος μετάδοσης

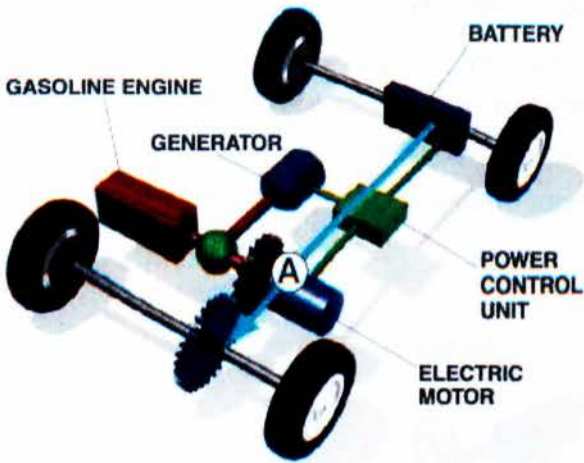
Το κιβώτιο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της κίνησης στους τροχούς είναι συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων (CVT). Ουσιαστικά, βασίζεται στην απλή ιδέα της ύπαρξης δύο γραναζιών μεταβλητής διαμέτρου, ώστε η σχέση μετάδοσης μεταξύ τους να αλλάζει ανάλογα με τις ανάγκες οδήγησης. Αποτελείται από δύο υγρούς πολύδισκους συμπλέκτες καθώς και το σύστημα ιμάντων – τροχαλιών. Στο CVT η επιλογή της σχέσης βασίζεται σε έναν πολύπλοκο αλγόριθμο, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα του οχήματος, το φορτίο και τις απαιτήσεις του οδηγού. Το εύρος των σχέσεων που προσφέρει είναι μεγαλύτερο από αυτό του πεντατάχτου κιβωτίου. Η πρώτη σχέση είναι πιο «κοντή» και η τελική πιο «μακριά» συγκριτικά με το συμβατικό κιβώτιο.

Το σύστημα πρόωσης ελέγχεται από τη Μονάδα Ελέγχου Ισχύος (Power Control Unit). Σε αυτή περιλαμβάνεται ένας αμφικατευθυντήριος μετατροπέας συνεχούς τάσης σε συνεχή (Boost / Buck bidirectional converter), ο οποίος αναλαμβάνει την ανύψωση της τάσης των μπαταριών από το επίπεδο τάσης των 202 V σε ένα επίπεδο τάσης πάνω από το επίπεδο τάσης των 650 V, που απαιτούνται από τον κινητήρα. Επιπλέον, αναλαμβάνει τη ρύθμιση της τάσης για τη φόρτιση της μπαταρίας κατά την ενεργειακή πέδηση. Περιλαμβάνεται, ακόμη, ένας τριφασικός αντιστροφέας ισχύος για τη μετατροπή της τάσης των μπαταριών από συνεχή σε τριφασική εναλλασσόμενη με είσοδο την έξοδο του αμφικατευθυντήριου μετατροπέα και έξοδο τα 650 V του κινητήρα αλλά κι ένας μετασχηματιστής με τάση εισόδου 202 V και τάση εξόδου 14 V για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών καταναλώσεων του αυτοκινήτου. Οι διαστάσεις της Μονάδας Ελέγχου της ισχύος έχουν περιοριστεί σημαντικά και η μάζα της έχει περιοριστεί μόλις στα 13,5 kg.

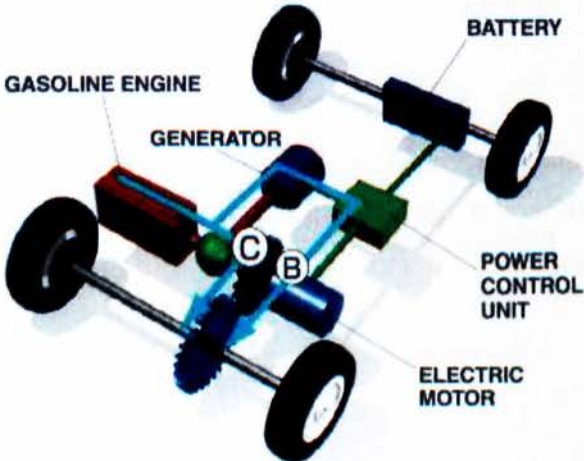
Καινοτομία αποτελούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που έχουν τοποθετηθεί στην οροφή του νέου Prius και τροφοδοτούν τον εξαερισμό του οχήματος όταν αυτό είναι σταθμευμένο στον ήλιο.

Η πορεία της TOYOTA για τα υβριδικά της οχήματα παραμένει στην υποβοήθηση του βενζινοκινητήρα από τον ηλεκτροκινητήρα και στην αμιγώς ηλεκτροκίνηση ανά διαστήματα μέσα στο αστικό περιβάλλον με ταχύτητα, συγκεκριμένα για το Prius, μέχρι 48 km/h. Τα PHEV αναμένεται να είναι εμπορικά διαθέσιμα στο εγγύς μέλλον. Εκπρόσωποι της εταιρίας έχουν δηλώσει ότι όλα τις τα μοντέλα θα είναι υβριδικά μέχρι το 2020.

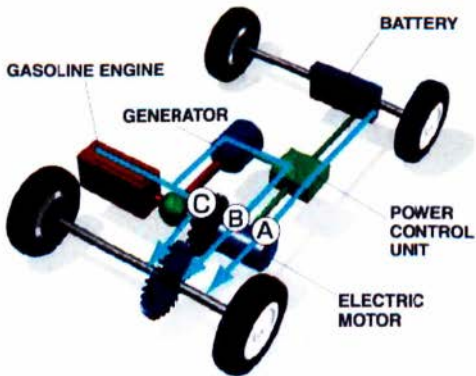
Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή της λειτουργίας του PRIUS σε όλες τις περιπτώσεις οδήγησης.



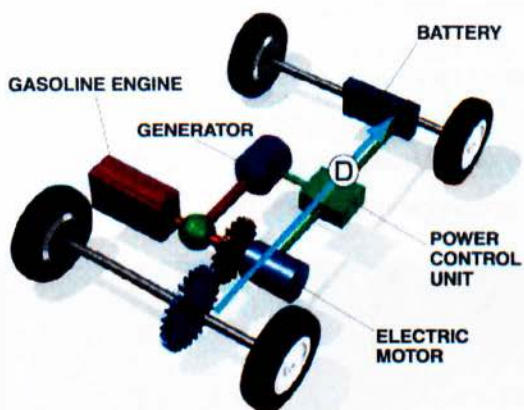
Ο βενζινοκινητήρας σταματά να λειτουργεί στο εύρος στροφών που δεν είναι αποδοτικός, δηλαδή στην εκκίνηση από στάση. Το όχημα κινείται μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα (A στο σχήμα).



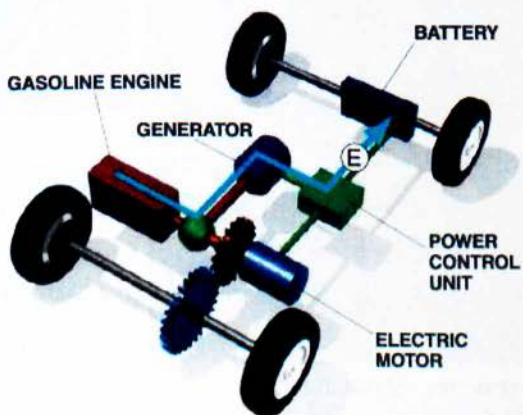
Η παρεχόμενη από τη ΜΕΚ ισχύς κατανέμεται από το επικυκλικό κιβώτιο. Ένα τμήμα της ισχύος περιστρέφει τη γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί τον ηλεκτρικό κινητήρα (Β στο σχήμα). Η υπόλοιπη ισχύς αποδίδεται απευθείας στους τροχούς (C). Με τον έλεγχο του καταμερισμού της ισχύος επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση.



Σε περίπτωση έντονης επιτάχυνσης προσφέρεται επιπλέον ισχύς από τους συσσωρευτές (A), ενώ η ΜΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας συμβάλλουν από κοινού στην κίνηση του οχήματος.



Αφήνοντας το πόδι από το πεντάλ του γκαζιού ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια στρεφόμενη από τους τροχούς.



Ο βενζινοκινητήρας φορτίζει τους συσσωρευτές μέσω της γεννήτριας, όποτε κρίνεται αναγκαίο από το σύστημα

(11.2) HONDA INSIGHT

Στην κατηγορία των μικρομεσαίων επιβατικών αυτοκινήτων κατατάσσεται το HONDA INSIGHT. Πρόκειται για ένα ήπιο υβριδικό (mild hybrid) όχημα, παράλληλης διάταξης, με μέση κατανάλωση στο μεικτό κύκλο 4,4 λίτρα ανά 100 km και εκπομπές CO₂ 101 γραμμάρια ανά χιλιόμετρο.



Εικόνα 11.5 Honda Insight

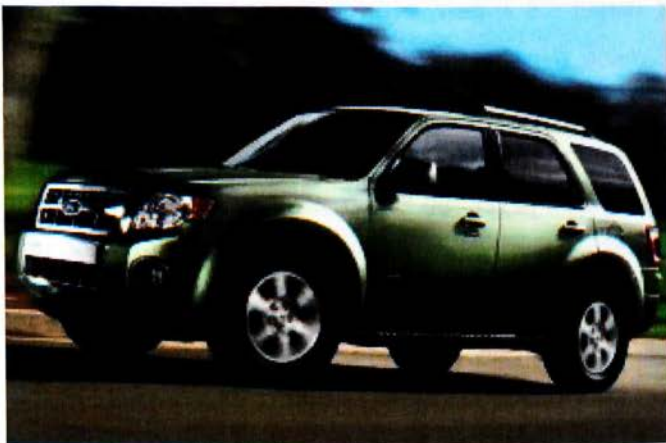
Το σύστημα πρόωσης του οχήματος αποτελείται από ένα βενζινοκινητήρα χωρητικότητας 1,3 λίτρων, μέγιστης ισχύος 73 kW (98 ίππων) και μέγιστης ροπής 120,6 Nm, έναν τριφασικό σύγχρονο κινητήρα ισχύος 10,4 kW (13 ίππων) και ροπής 78 Nm και συσσωρευτές νικελίου – μετάλλου υδριδίου με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας της τάξεως των 0,58 kWh.

Το όχημα έχει τη δυνατότητα αμιγούς ηλεκτροκίνησης όταν το φορτίο δεν υπερβαίνει τα 5 kW κι όσο επιτρέπεται από το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας. Εξαιτίας της έλλειψης γεννήτριας οι μπαταρίες φορτίζονται αποκλειστικά μέσω ενεργειακής πέδησης. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι διαρκώς συνδεδεμένος με το βενζινοκινητήρα και περιστρέφεται ως φορτίο από τη ΜΕΚ όταν δε τροφοδοτείται με τάση. Αντίθετα, κατά την κίνηση

αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα ανοίγουν οι βαλβίδες των κυλίνδρων του βενζινοκινητήρα, ώστε τα έμβολα του να κινούνται ελεύθερα κι ο ηλεκτροκινητήρας να έχει το ελάχιστο δυνατό φορτίο. Το κιβώτιο για τη μετάδοση της κίνησης είναι και σε αυτή την περίπτωση συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων (CVT).

(11.3) FORD ESCAPE

Πρόκειται για το πλήρες υβριδικό SUV της Ford. Επιτυγχάνεται κατανάλωση περίπου 8 λίτρων ανά 100 χιλιόμετρα στο μεικτό κύκλο και αυτονομία που αγγίζει τα 800 χιλιόμετρα. Κινείται από ένα βενζινοκινητήρα χωρητικότητας 2,3 λίτρων, ισχύος 97,8 kW (133 ίππων) στις 6000 rpm σε συνδυασμό με έναν τριφασικό, σύγχρονο μόνιμου μαγνήτη ηλεκτροκινητήρα ισχύος 69 kW (94 ίππων). Οι μπαταρίες του είναι νικελίου – μετάλλου υδριδίου με τάση εξόδου 330 V.



Εικόνα 11.6 Ford Escape Hybrid

Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μέσω ενός ηλεκτρονικά ελεγχόμενου κιβωτίου συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων (eCVT).

(11.4)MERCEDES - BENZ CITARO G BUS

Μία πρόταση στα μέσα μαζικής μεταφοράς είναι το λεωφορείο Citaro G της Mercedes – Benz. Πρόκειται για ένα τριαξονικό όχημα 18 μέτρων, το οποίο έχει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας έως και 30 % συγκριτικά με το συμβατικό πετρελαιοκίνητο μοντέλο.

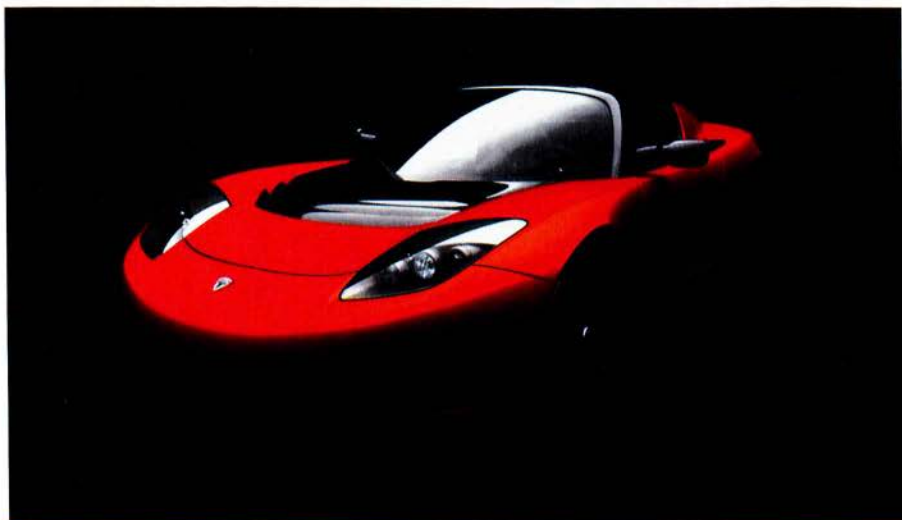


Εικόνα 11.7 Mercedes – Benz Citaro G bus

Η τοπολογία που έχει επιλεγεί είναι η σειριακή. Χρησιμοποιείται ένας κινητήρας diesel 4,8 λίτρων, ο οποίος αντικατέστησε τον 6 λίτρων κινητήρα του συμβατικού οχήματος, ώστε να φορτίζει τους συσσωρευτές. Τέσσερις τριφασικοί hub κινητήρες συνολικής ισχύος 320 kW έχουν προσαρμοστεί στους τροχούς του κεντρικού και του πίσω άξονα. Οι συσσωρευτές είναι Li – ion, παρέχουν ισχύ μέχρι 180 kW, ζυγίζουν 350 kg κι έχουν τοποθετηθεί στην οροφή. Η κυκλοφορία τους στο δρόμο έχει οριστεί στο τέλος του έτους 2009.

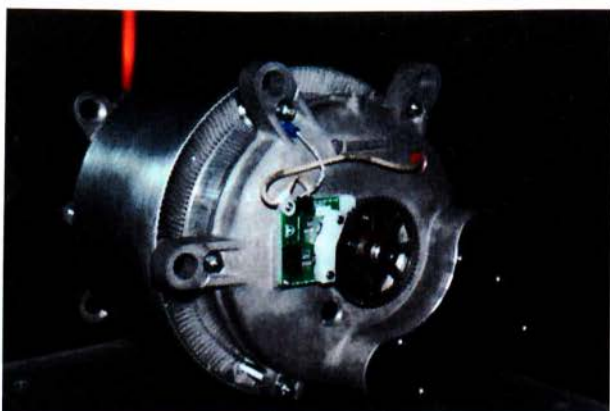
(11.5)TESLA ROADSTER

Πρόκειται για ένα αμιγώς ηλεκτροκίνητο σπορ όχημα, το οποίο κατασκευάζεται από την αμερικανική εταιρία Tesla Motors. Το Tesla Roadster είναι το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο υψηλών επιδόσεων που βγαίνει στη γραμμή παραγωγής. Βασίστηκε στη Lotus Elise, ώστε να αποφευχθούν ο χρόνος και το κόστος σχεδίασης ενός τέτοιου οχήματος. Το κόστος του είναι υψηλό αλλά όχι υπερβολικά αν το συγκρίνουμε με το κόστος αντίστοιχων συμβατικών μοντέλων. Η ταχύτητα των 100 km από στάση επιτυγχάνεται σε 3,9 δευτερόλεπτα, ενώ η αυτονομία του αγγίζει τα 400 km. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η αυτονομία αυτή επιτυγχάνεται μόνο με οικονομική οδήγηση και ότι με σπορ οδήγηση υποπολλαπλασιάζεται.



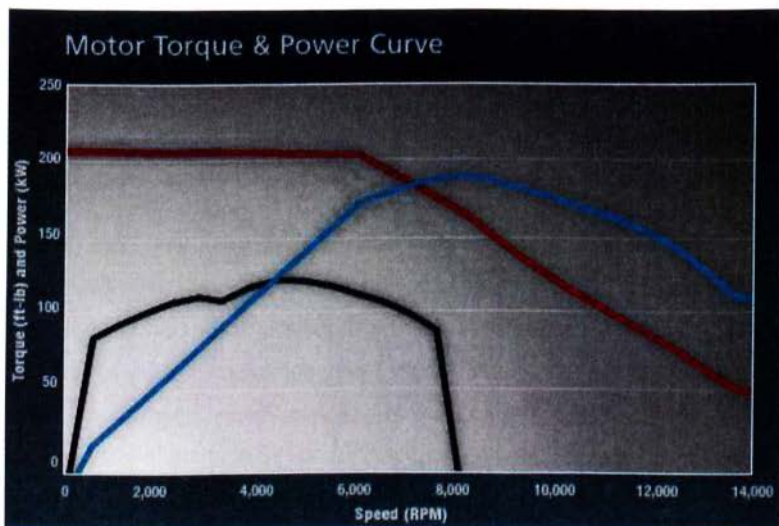
Εικόνα 11.8 Tesla Roadster

Ο κινητήρας του είναι τριφασικός επαγωγικός, τεσσάρων πόλων, αερόψυκτος, με ισχύ 189 kW από τις 5000 rpm έως τις 8000 rpm και ζυγίζει μόλις 32 kg. Μπορεί να στρέφεται μέχρι και τις 14.000 rpm. Η μέγιστη τιμή της ροπής του φτάνει τα 375 Nm από 0 έως 4500 rpm. Ο συντελεστής απόδοσης του είναι 92%, ενώ στο επίπεδο της μέγιστης ισχύος μειώνεται στο 85%, λόγω του υψηλότερου ρεύματος που συνεπάγεται μεγαλύτερη κατανάλωση. Ο έλεγχος του κινητήρα γίνεται μέσω της τεχνικής του διανυσματικού ελέγχου της ροής του στάτη.



Εικόνα 11.9 Τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας του Tesla Roadster sport

Οι συσσωρευτές είναι ιόντων λιθίου (Li-ion). Ζυγίζουν περίπου 430 kg και αποτελούνται από 6.831 στοιχεία (cells). Η διάρκεια ζωής των μπαταριών υπολογίζεται για 100.000 μίλια. Η διάρκεια φόρτισης τους είναι 7 ώρες σε δίκτυο τάσης 110 V. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μέσω χειροκίνητου κιβωτίου μόνο μίας σχέσης, εξαιτίας των εξαιρετικών τιμών ροπής που παρουσιάζει ο κινητήρας από μηδενικές στροφές.



Εικόνα 9.10 Καμπύλες ροπής και ισχύος του Tesla Roadster sport

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε με κόκκινο τη συνάρτηση ροπής – στροφών του αυτοκινήτου. Η ροπή διατηρείται σταθερή στη μέγιστη τιμή της σχεδόν μέχρι τις 6000 rpm. Με μπλε απεικονίζεται η καμπύλη ισχύος – στροφών. Η σχέση των δύο αυτών μεγεθών παρουσιάζει γραμμικότητα και η ισχύς αγγίζει τη μέγιστη τιμή της στις 8000 rpm. Με μαύρο διακρίνεται η γραφική παράσταση ροπής – στροφών για έναν **τετρακύλινδρο** βενζινοκινητήρα. Η ροπή, όπως φαίνεται, αρχίζει να παρέχεται λίγο κάτω από τις 1000 rpm και λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της περίπου στις 4000 rpm. Η σύγκριση των δύο αυτών ειδών κινητήρων μας δείχνει την υπεροχή του ηλεκτρικού κινητήρα στις χαμηλές και μεσαίες στροφές.

(11.6)INDUS YOSPEED

Εκτός από τα αυτοκίνητα, μία ιδιαίτερα οικονομική λύση για τη μετακίνηση εντός των ορίων μίας αστικής περιοχής προσφέρεται από την ιδιική εταιρία Indus, η οποία κατασκευάζει ηλεκτροκίνητα μοτοποδήλατα (scooters).



Εικόνα 11.11 Indus Yospeed

Η κίνηση δίνεται στους τροχούς από έναν τριφασικό σύγχρονο κινητήρα ισχύος 750 W στις 570 rpm και ροπής 45 Nm στις 150 rpm προσαρμοσμένο

στον μπροστινό τροχό (hub motor). Οι μπαταρίες είναι οξέος μολύβδου τεχνολογίας VRLA με τάση εξόδου 48 V και χωρητικότητα 33 Ah. Ο χρόνος φόρτισης είναι 6 – 8 ώρες. Η αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες αντιστοιχεί σε 1584 Wh. Η αυτονομία, η οποία παρέχεται είναι 70 με 75 km για έναν αναβάτη μέσου βάρους, αρκετή για τι καθημερινές ανάγκες ενός ατόμου. Με την τιμή της kWh να ισούται με 0,08 €, γίνεται αντιληπτό πόσο φθηνή είναι η μετακίνηση. Ουσιαστικά, η απόσταση των 70 km διανύεται με κόστος περίπου 0,13 €.

(12) ΠΩΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΤΑΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Το ερώτημα που απασχολεί σήμερα όλους όσους παρακολουθούν την πρόοδο της τεχνολογίας των αυτοκινήτων προκειμένου να γίνουν όσο το δυνατότερο περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον και περισσότερο ενεργειακά αποδοτικά ώστε να μη σπαταλιούνται άδικα πολύτιμοι ενεργειακοί πόροι είναι βέβαια οι διαγραφόμενες προοπτικές για μια ευρεία διείσδυση της υβριδικής (και κατ' ακολουθία της ηλεκτρικής) τεχνολογίας στη διεθνή αγορά του αυτοκινήτου.

Η μελλοντική πορεία αυτής της τεχνολογικής επανάστασης εξαρτάται όχι μόνο από τεχνοοικονομικούς παράγοντες αλλά κυρίως και πρωτίστως από κοινωνικοπολιτικούς.

Στο σχήμα 12.1 εικονίζεται ένα πολύ ενδιαφέρον διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τη θέση που κατέχει κάθε είδους γνωστή σήμερα τεχνολογία σε ένα σύστημα αξόνων αναφοράς που αναφέρεται στην επιδιωκόμενη με την τεχνολογία αυτή εκατοστιαία μείωση των εκπομπών του CO₂ (οριζόντιος άξονας) σε σχέση με το εκτιμώμενο πρόσθετο κόστος που θα επιφέρει η εφαρμογή της ανά αυτοκίνητο(κάθετος άξονας).

Η απεικόνιση αυτή δείχνει με εποπτικό τρόπο το πρόσθετο κόστος που θα πρέπει να αναληφθεί από τους κοινωνικούς εταίρους (μεμονωμένοι αγοραστές, ομάδες ή φορείς, κοινωνικό σύνολο μέσω της πολιτικής τους εκπροσώπησης).

Μερικές από τις τεχνολογίες αυτές (υβριδικά plug-in και πλήρως υβριδικά) αναφέρονται σε δυο διαφορετικές θέσεις του διαγράμματος. Η μία αντιστοιχεί

στα κοστολόγια των συσσωρευτών του έτους 2008 και η άλλη στα εκτιμώμενα κοστολόγια των συσσωρευτών του 2010.

Στο διάγραμμα προσδιορίζονται επίσης και τρία διαφορετικά πεδία τεχνικών λύσεων με τις οποίες επιδιώκεται η μείωση των εκπομπών CO₂. Το πρώτο περικλείει τις τεχνολογίες βελτιώσεων των θερμικών κινητήρων και εκτείνεται μέχρι του ποσοστού μείωσης 10%, το δεύτερο περικλείει τις τεχνικές εισαγωγής του ηλεκτρισμού στα προωστήρια συστήματα και από ποσοστό μείωσης 15% εκτεινόμενο και μέχρι 35% και το τρίτο αφορά στην εκμετάλλευση στη ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο και αρχίζει από το 40% εκτεινόμενο μέχρι του 50 % (ίσως και μέχρι του 100% για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας).

Τέλος για την ταχύτερη εκτίμηση της κάθε θέσης έχουν χαραχθεί τρεις διαγώνιοι οι οποίες αντιστοιχούν σε κοστολόγια 70,140 , και 280 δολαρίων ανά εκατοστιαία μονάδα μείωσης του CO₂.

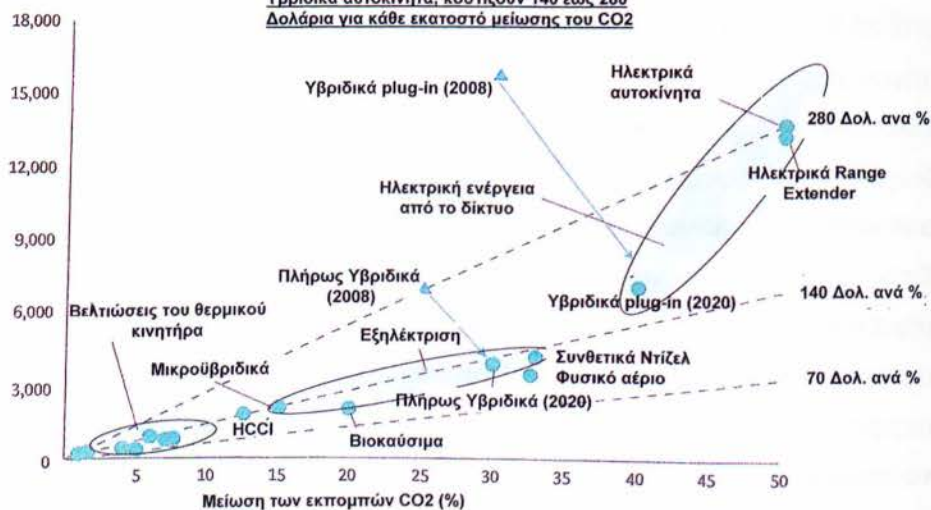
Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα υβριδικά εν σειρά με μονάδα Range Extender θα έχουν τιμές οι οποίες σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα θα είναι κατά 12000 δολάρια περίπου ακριβότερες και θα προσφέρουν μειώσεις του CO₂ σε ποσοστό 50 % και άνω, τα παράλληλα ή μικτά υβριδικά Plug-in θα είναι ακριβότερα κατά 7000 δολάρια περίπου και θα προσφέρουν μειώσεις του CO₂ σε ποσοστό 40% τα δε πλήρως υβριδικά θα κοστίζουν περίπου 3000 δολάρια επί πλέον των συμβατικών και θα προσφέρουν μειώσεις του CO₂ σε ποσοστό 30%.

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι για τη διεύθυνση αυτών των τεχνολογιών σε ευρύτερη κλίμακα και σε σχετικά βραχύ ορίζοντα θα πρέπει να αναληφθεί από τους αγοραστές ένα τμήμα του επιπλέον κόστους που θα αντιστοιχεί στις αποσβέσεις λόγω μειωμένων λειτουργικών δαπανών του αυτοκινήτου μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα τριών έως πέντε κατά μέγιστο ετών, το δε υπόλοιπο πρόσθετο κόστος θα πρέπει να αναληφθεί από το οικονομικοπολιτικό κατεστημένο με τη μορφή κατευθυντήριων οδηγιών και κινήτρων. Σημαντικότατο ρόλο για τις εξελίξεις θα παίξει η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας και η εκ ταύτης άσκηση πολιτικής πίεσης για την εφαρμογή αυστηρών προδιαγραφών για τους κατασκευαστές αλλά και για την θέσπιση κινήτρων προς τους αγοραστές, σε συνδυασμό με τις διαμορφούμενες διεθνείς τιμές των υγρών καυσίμων αλλά και με την ανάγκη άμεσης λήψης

μέτρων για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν τον πλανήτη.

Πρόσθετο κόστος ανά αυτοκίνητο σε Δολάρια

Υβριδικά αυτοκίνητα, κοστίζουν 140 έως 280 Δολάρια για κάθε εκατοστό μείωσης του CO₂



Σχήμα 12.1

(13) ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

(13.1) ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η επιλογή του κατάλληλου κινητήρα αποτέλεσε, ίσως, την πιο χρονοβόρα διαδικασία του εγχειρήματος. Η ιδιαίτερη προσοχή που δόθηκε σε αυτό το σημείο δικαιολογείται, διότι πρόκειται για τη βασικότερη μονάδα του κινητηρίου συστήματος, εφόσον όλα τα υπόλοιπα στοιχεία επιλέγονται ή και σχεδιάζονται με βάση αυτό. Οι πρωταρχικές προϋποθέσεις που καλείται να καλύψει ο κινητήρας του οχήματος είναι ποικίλες. Αρχικά, απαιτείται η ονομαστική ισχύς του, η ονομαστική ροπή του, ο ονομαστικός αριθμός στροφών του, η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας και γενικότερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του να τον καθιστούν ικανό να κινεί ικανοποιητικά το αμάξωμα στο οποίο προσαρμόζεται και να ανταποκρίνεται στη μέγιστη ροπή του φορτίου. Πρέπει, λοιπόν, να επιλεγεί μία μηχανή με τη σωστή ισχύ, αφού σε περίπτωση που προτιμηθεί μικρότερη ισχύς, θα προβούμε σε υπερφόρτιση του κινητήρα, διατρέχοντας τον κίνδυνο να προκαλέσουμε βλάβη. Σε περίπτωση, πάλι, που διαλέξουμε μεγαλύτερη ισχύ από την απαιτούμενη θα τον λειτουργούμε με χαμηλό συντελεστή απόδοσης, λύση διόλου οικονομική. Επιπλέον, κρίνεται αναγκαίο οι διαστάσεις του και η μάζα του να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερες τιμές, ώστε να είναι εύκολη η εγκατάσταση του και να μην επιβαρύνεται το όχημα μας με πρόσθετη μάζα. Δεν πρέπει, όμως, να αγνοήσουμε και τον τρόπο ψύξης του, ζωτικής σημασίας για την ασφαλή λειτουργία του και τη βέλτιστη απόδοση του. Είναι σημαντικό στην επιλογή μας να λάβουμε υπόψη την ευκολία ρύθμισης των στροφών του κινητήρα μας, ώστε να προχωρήσουμε στην κατασκευή του μετατροπέα μέσω του οποίου θα τον ελέγχουμε. Αυτό εξαρτάται από το είδος του. Συγκεκριμένα, υπήρξαν τρεις επιλογές: Σύγχρονος, ασύγχρονος και κινητήρας συνεχούς ρεύματος. Σε αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να περιγράψουμε σύντομα τη λειτουργία του καθενός, ώστε να γίνει σαφής η σύγκρισή τους.

(13.1.2) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

α) Κινητήρας συνεχούς ρεύματος

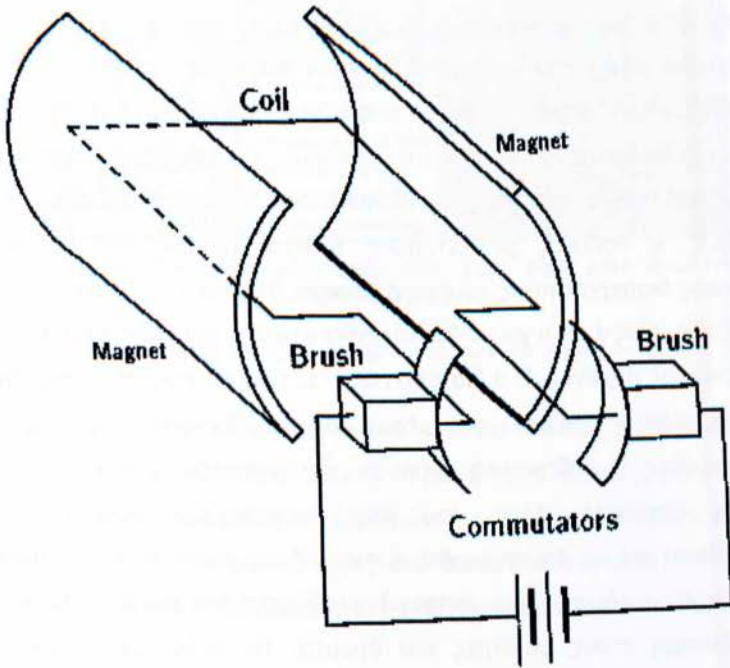
Οι αρχές λειτουργίας των τριών βασικών ειδών κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές κίνησης είναι αρκετά απλές συγκρινόμενες με τις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) , βασισμένες στους θεμελιώδεις νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού.

Αρχικά, χρειάζεται να αναφερθεί ότι κάθε ένα από τα είδη κινητήρων που θα περιγραφεί αποτελείται από το εξωτερικό ακίνητο μέρος, το στάτη, και το εσωτερικό κυλινδρικό τμήμα, το δρομέα, ο οποίος είναι ελεύθερος να περιστρέφεται.

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος διαθέτει μία περιέλιξη στο στάτη, η οποία τροφοδοτείται με συνεχή τάση. Ρυθμίζοντας αυτή την τάση, ελέγχεται το ρεύμα του στάτη, το λεγόμενο ρεύμα διέγερσης (I_f) , με συνέπεια τον έλεγχο της μαγνητικής ροής που προκαλείται λόγω του I_f στο εσωτερικό της μηχανής. Ο δρομέας περιέχει στις αυλακώσεις του, το τύλιγμα του οπλισμού, το οποίο τροφοδοτείται, επίσης, με συνεχές ρεύμα. Επειδή η διέγερση του στάτη και του δρομέα παρέχονται, συνήθως, από διαφορετικές πηγές σε αυτοκινητικές εφαρμογές , ο κινητήρας αυτός ονομάζεται ξένης διέγερσης. Η επιλογή αυτού του είδους τροφοδοσίας προσφέρει υψηλότερη ροπή ήδη από τις πολύ χαμηλές στροφές. Το μαγνητικό πεδίο του στάτη ασκεί δύναμη Laplace, στο ρευματοφόρο αγωγό του δρομέα, αναπτύσσοντας ροπή τέτοια, ώστε να περιστρέφει το δρομέα. Η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος του δρομέα.

Πρέπει να επισημανθεί ότι λόγω της περιστροφής του δρομέα, το ρεύμα που τον διαρρέει θα άλλαζε συνεχώς φορά, που σημαίνει ότι η ροπή που αναπτύσσεται θα άλλαζε και αυτή με τη σειρά της φορά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ο συλλέκτη και οι ψήκτρες. Το τύλιγμα του οπλισμού συνδέεται στους τομείς του συλλέκτη, που κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό. Οι τομείς περιστρέφονται συνεχώς μαζί με το δρομέα. Τουλάχιστον

ένα ζεύγος σταθερών ψηκτρών, συνήθως από άνθρακα, χρησιμοποιούνται για να έρχονται σε επαφή οι τομείς του συλλέκτη (και κατά συνέπεια με τους αγωγούς του σπλισμού) με τους σταθερούς ακροδέκτες της περιέλιξης του σπλισμού που παρέχουν την dc τάση. Επιτυγχάνεται, λοιπόν, μία μηχανική ανόρθωση του ρεύματος στο τύλιγμα του δρομέα.



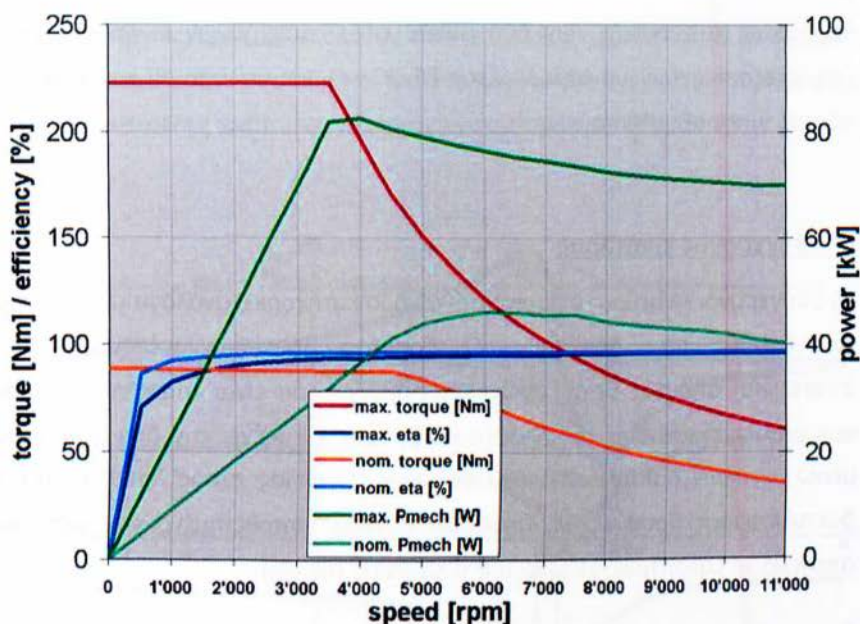
Εικόνα 13.1 Σχέδιο κινητήρα συνεχούς ρεύματος

Στην εικόνα 13.1 φαίνεται το ζεύγος των ψηκτρών, οι οποίες έρχονται σε επαφή με το συλλέκτη. Επιπλέον, βλέπουμε το τύλιγμα του δρομέα, το οποίο έρχεται σε επαφή με το συλλέκτη και το στάτη, ο οποίος δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο.

β) Σύγχρονος κινητήρας με μόνιμο μαγνήτη στο δρομέα

Η δεύτερη κατηγορία κινητήρων, που συναντάμε σε εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία, είναι οι σύγχρονοι κινητήρες, οι οποίοι μαζί με τους ασύγχρονους αποτελούν τις προτιμότερες λύσεις σήμερα, γεγονός που θα επιχειρήσουμε να αιτιολογήσουμε παρακάτω.

Οι σύγχρονοι κινητήρες διαθέτουν στο στάτη τριφασικό τύλιγμα, το οποίο τροφοδοτείται με τριφασικό σύστημα τάσεων, ενώ στο δρομέα έχουν τοποθετηθεί μόνιμοι μαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής ισχύος (μέχρι κάποια kW). Ο δρομέας μπορεί να λάβει δύο μορφές, κυλινδρικός ή με έκτυπους πόλους. Ο κυλινδρικός δρομέας έχει ομοιόμορφο σχήμα, συνεπώς η μαγνητική διαπερατότητα του είναι σταθερή. Αντιθέτως, ο δρομέας με έκτυπους πόλους εξαιτίας της διαφορετικής μαγνητικής διαπερατότητας του, χωρίζεται σε δύο νοητούς, κάθετους μεταξύ τους άξονες, τους d και q για να διευκολυνθεί η μελέτη του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό της μηχανής. Ο d διατρέχει όλον το δρομέα κατά το μήκος του, ενώ ο q τον «κόβει» εγκάρσια στο μέσον του. Με βάση αυτούς τους άξονες καταστρώνεται η μαθηματική ανάλυση του μοντέλου. Στο εσωτερικό της μηχανής παράγεται λόγω του στάτη στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Προϋπόθεση για να δημιουργηθεί τέτοιου είδους πεδίο είναι η τοποθέτηση των τυλιγμάτων του στάτη με διαφορά μεταξύ τους στο χώρο. Το πεδίο στάτη ασκεί δύναμη στους μαγνήτες του δρομέα. Το πεδίο, όμως, του στάτη περιστρέφεται συνεχώς και, συνεπώς, το πεδίο του δρομέα, άρα και ο δρομέας προσπαθεί να το ακολουθήσει και να συγχρονιστεί μαζί του, όπως, ακριβώς, τείνουν να ευθυγραμμιστούν δύο μαγνητικές ράβδοι. Ο κινητήρας οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι ο δρομέας περιστρέφεται στο σύγχρονο αριθμό στροφών, δηλαδή σε ταχύτητα ίση με τη συχνότητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου (συχνότητα του δικτύου). Καθώς αυξάνεται η γωνία μεταξύ του πεδίου του στάτη και του πεδίου του δρομέα, αυξάνεται και η ροπή που ασκείται στο δρομέα από το μαγνητικό πεδίο. Ο έλεγχος των στροφών της μηχανής πραγματοποιείται με αλλαγή της συχνότητας τροφοδοσίας.



Εικόνα 13.3 Χαρακτηριστικές ροπές – αριθμού στροφών και ισχύος – αριθμού στροφών σύγχρονου κινητήρα

Από τη χαρακτηριστική $M(n)$ στην εικόνα 13.3 για ένα σύγχρονο κινητήρα με το πορτοκαλί χρώμα συμπεραίνουμε ότι η ροπή της σύγχρονης μηχανής είναι σχεδόν ανεξάρτητη του αριθμού στροφών της. Με έντονο πράσινο χρώμα διακρίνεται η μέγιστη μηχανική ισχύς στο δρομέα συναρτήσει του αριθμού στροφών και φαίνεται η γραμμικότητα της συνάρτησης μέχρι περίπου τις 3500 rpm.

γ) Brushless DC motor (BLDC)

Πρόκειται, πάλι, για κινητήρα με τριφασικό τύλιγμα στο στάτη και μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα. Η μηχανή οδηγείται από παλμούς τάσης σχήματος ορθογωνίου ή τραπεζίου εναλλασσόμενης πολικότητας που παράγονται σύμφωνα με τη θέση του δρομέα. Στους παλμούς αυτούς συνεχούς τάσης οφείλει το όνομα του. Χρειάζονται, λοιπόν, αισθητήρες θέσης του δρομέα. Είναι σημαντικό η γωνία μεταξύ της μαγνητικής ροής του πεδίου του στάτη και του πεδίου του δρομέα να είναι κοντά στις 90 μοίρες, ώστε να παράγεται η μέγιστη ροπή. Η ύπαρξη αυτού του είδους της παραλλαγής του σύγχρονου κινητήρα οφείλεται στον ευκολότερο έλεγχο του, καθώς δεν απαιτούνται ημιτονοειδείς κυματομορφές στην τροφοδοσία του, μόνο παλμοί.

Το κόστος κατασκευής των δύο αυτών ειδών σύγχρονων κινητήρων είναι υψηλό εξαιτίας των μαγνητών. Στον BLDC πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος των αισθητήρων.

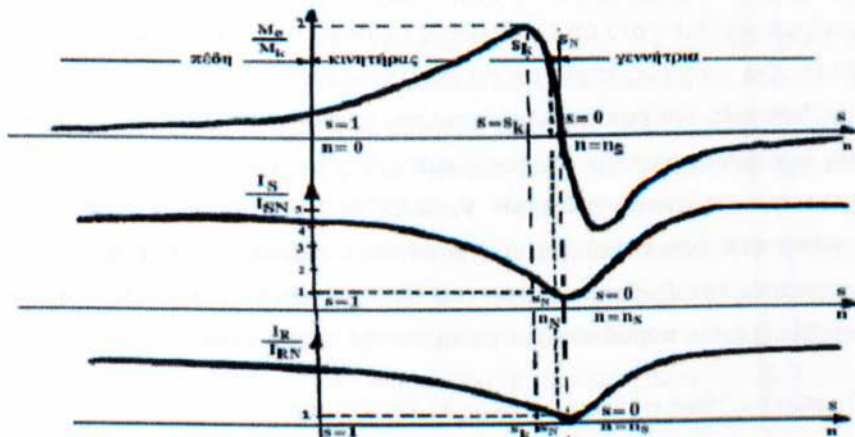
δ) Ασύγχρονος κινητήρας

Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του δρομέα που διαθέτουν. Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού αποτελείται από μία σειρά αγωγίμων ράβδων που είναι τοποθετημένες σε αυλάκια της επιφάνειας του δρομέα και βραχυκυκλωμένες στα δύο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων βραχυκύκλωσης. Ο άλλος τύπος δρομέα είναι ο δακτυλιοφόρος δρομέας, με τριφασικό τυλίγμα, τοποθετημένο έτσι ώστε να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του τυλίγματος του στάτη.

Στο στάτη εφαρμόζεται τριφασικό σύστημα τάσεων και τα τυλίγματα διαρρέονται από τριφασικό σύστημα ρευμάτων. Τα ρεύματα αυτά παράγουν ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Το πεδίο αυτό επάγει κάποια τάση στα άκρα των αγωγών του δρομέα (τυμπάνου), οι οποίοι αρχίζουν να διαρρέονται από ρεύμα. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται και η εναλλακτική ονομασία ως επαγωγικός του κινητήρα αυτού. Η λειτουργία του μας θυμίζει το μετασχηματιστή και πολλές εξισώσεις που διέπουν τη λειτουργία του είναι κοινές. Εξαιτίας των δυνάμεων Laplace, που αναπτύσσονται μεταξύ των ρευματοφόρων, πλέον, αγωγών του δρομέα και του μαγνητικού πεδίου λόγω του ρεύματος του στάτη, αναπτύσσεται ηλεκτρομαγνητική ροπή που τείνει να περιστρέψει το δρομέα κατά τη φορά του πεδίου και να αντισταθεί στην αιτία που το προκάλεσε (κανόνας του Lenz). Ο δρομέας δεν κατορθώνει να φτάσει τότε την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου (σύγχρονη ταχύτητα n_s), αφού πάντα πρέπει να υπερνικήσει τη ροπή του φορτίου, έστω κι αν αυτό είναι απλώς η αντίσταση του αέρα και η τριβή κατά την περιστροφή του δρομέα. Στην ιδανική περίπτωση θα έφτανε στη σύγχρονη ταχύτητα αλλά αμέσως θα επιβράδυνε, αφού δεν θα υπήρχε σχετική κίνηση μεταξύ δρομέα και στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, ώστε να επαχθεί τάση στα τυλίγματα του δρομέα.

Συνεπώς ο δρομέας παρουσιάζει κάποια καθυστέρηση (τη λεγόμενη

ολίσθηση s), ως προς το πεδίο του στάτη, δηλαδή περιστρέφεται ασύγχρονα. Η ροπή, που αναπτύσσεται, είναι ανάλογη της ολίσθησης. Εδώ, παραθέτουμε τις σημαντικότερες καμπύλες του επαγωγικού κινητήρα (Εικόνα 13.5).



Εικόνα 13.5 Χαρακτηριστικές ασύγχρονου κινητήρα

Ένα πρώτο σχόλιο που χρειάζεται να γίνει αφορά στις δύο πρώτες καμπύλες. Η πρώτη αποτελεί την κανονικοποιημένη καμπύλη $M_e / M_k(n)$, όπου M_k η ροπή ανατροπής, δηλαδή η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει η ροπή M . Μόλις ο αριθμός στροφών υπερβεί το σύγχρονο αριθμό στροφών, ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, φαινόμενο που εξυπηρετεί την επιστροφή ενέργειας στο αποθηκευτικό μας μέσον. Στην ονομαστική του λειτουργία ο κινητήρας στρέφεται με n στροφές, όπου n , βεβαίως, μικρότερο του n_s αλλά πάντα με ολίσθηση μικρότερη από s_k , τιμή που αν ξεπεραστεί οδηγεί τη μηχανή σε αστάθεια. Σημαντική παρατήρηση, επίσης, είναι ότι κατά την εκκίνηση του κινητήρα τόσο το ρεύμα του στάτη όσο και του δρομέα παίρνουν μεγάλες τιμές, πολλαπλάσιες των αντίστοιχων ονομαστικών ρευμάτων (για παράδειγμα $I_s \text{ start} = 4-6$ φορές το I_{SN}). Προφανώς, η τροφοδοσία του κινητήρα με τόσο μεγάλο ρεύμα είναι πολύ δύσκολη. Με το δεδομένο ότι ο κινητήρας μας είναι βραχυκυκλωμένου κλωβού, ένας τρόπος για να

Προηγουμένως, αναφέραμε ότι υπάρχουν κοινές εξισώσεις που καθορίζουν τη λειτουργία ασύγχρονου κινητήρα και μετασχηματιστή. Μία από αυτές που έχει εφαρμογή στο πρόβλημα μας είναι η $I_s = I_m + I_R$ (σχέση 13.1), όπου I_s , I_R τα ρεύματα του στάτη και του δρομέα και I_m το ρεύμα μαγνήτισης που προκαλεί τη μαγνητική ροή. Η υψηλή τιμή ρεύματος στο δρομέα κατά την εκκίνηση οφείλεται στο ότι είναι ευθέως ανάλογο της συχνότητας ολίσθησης f_{sl} (το ίδιο, συνεπώς, ισχύει και για την ηλεκτρομαγνητική ροπή T_e), δηλαδή της διαφοράς ανάμεσα στη συχνότητα του μαγνητικού πεδίου του στάτη και της συχνότητας περιστροφής του δρομέα. Εφόσον η συχνότητα ολίσθησης, κατά την εκκίνηση, ισούται με τη συχνότητα που παρέχεται από τον αντιστροφέα (και συχνότητα του μαγνητικού πεδίου), συμπεραίνουμε ότι μειώνοντας τη συχνότητα κατά την εκκίνηση μειώνουμε την τιμή του ρεύματος του δρομέα. Πιο παραστατικά με μαθηματικούς τύπους έχουμε:

$$T_{e \text{ start}} = c * f_{sl} = c * f_{\text{start}} \quad (\text{σχέση 13.2}) \quad \text{και}$$

$$T_{eN} = c * f_{slN} \quad (\text{σχέση 13.3})$$

όπου c σταθερά καθοριζόμενη από στοιχεία της μηχανής, $T_{e \text{ start}}$ η ηλεκτρομαγνητική ροπή εκκίνησης, T_{eN} η ονομαστική ηλεκτρομαγνητική ροπή, f_{start} η συχνότητα εκκίνησης και f_{slN} η ονομαστική συχνότητα ολίσθησης.

Διαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις 13.2, 13.3 προκύπτει:

$$f_{\text{start}} = (T_{\text{start}} / T_{eN}) * f_{slN}.$$

Με τον τρόπο αυτό, έχοντας ως δεδομένα τη ροπή εκκίνησης που απαιτείται αλλά και το ρεύμα εκκίνησης που μπορούμε να παρέχουμε στο στάτη, καθορίζουμε τη συχνότητα εκκίνησης, περιορίζοντας το ρεύμα του δρομέα. Συνεπώς, με σταθερό το ρεύμα μαγνήτισης, λόγω σταθερής μαγνητικής ροής, πετυχαίνουμε μείωση του I_s . Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του κινητήρα περιλαμβάνει μία λειτουργία ήπιας εκκίνησης του κινητήρα.

ε) Σύγκριση μεταξύ των ειδών των κινητήρων

Εν πρώτοις, θεωρούμε σωστό να διαχωρίσουμε τους κινητήρες με βάση το είδος της τάσης που τους παρέχουμε στο στάτη και εν συνεχεία να συγκρίνουμε τις κατηγορίες μεταξύ τους. Τους χωρίζουμε, λοιπόν, σε κινητήρες συνεχούς (dc) και εναλλασσόμενης (ac) τάσης. Προφανώς στους ac συγκαταλέγονται ο σύγχρονος και ο ασύγχρονος. Οι κινητήρες εναλλασσόμενης τάσης, που χρησιμοποιούνται στον τομέα της αυτοκίνησης είναι τριφασικοί, λόγω του μεγαλύτερου συντελεστή απόδοσης συγκριτικά με τους μονοφασικούς κινητήρες. Είναι γεγονός πως οι dc κινητήρες λειτουργούν με υψηλότερο ρεύμα συγκριτικά με τους ac, έχοντας πάντα την ίδια ισχύ ως δεδομένο. Συνεπώς, οι θερμικές απώλειες ($I^2 \cdot R$) στους αγωγούς είναι μεγαλύτερες στους dc. Το μεγαλύτερο ρεύμα προκαλεί πιο έντονες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI) στο κύκλωμα παλμοδότησης (χαμηλής τάσης), με την προϋπόθεση ότι βρίσκεται κοντά στο κύκλωμα ισχύος, με κίνδυνο την αλλοίωση των σημάτων. Ας δούμε τώρα τα επιμέρους χαρακτηριστικά κάθε είδους μηχανής.

Αρχίζοντας με τα πλεονεκτήματα του dc κινητήρα, πρέπει να αναφέρουμε την ευκολία στον έλεγχο του. Μέσω ενός μετατροπέα chopper ελέγχουμε το ρεύμα του δρομέα, πετυχαίνοντας την ταχύτατη ρύθμιση της ροπής και κατ' επέκταση της ταχύτητας. Το κύκλωμα του chopper είναι απλό. Λόγω, όμως της τοπολογίας του έχουμε μεγάλο ρεύμα και χρειαζόμαστε ιδιαίτερα ανθεκτικά ημιαγωγικά στοιχεία. Ο ακριβής έλεγχος έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη κυμάτωση στη ροπή. Όπως είπαμε, προσφέρει υψηλή ροπή από μηδενικές στροφές, ιδιότητα σημαντική για οχήματα που κινούνται εντός πόλης και εκκινούν συχνά ή για οχήματα που μεταφέρουν βαρύ φορτίο. Ο συντελεστής απόδοσης είναι υψηλός. Από την άλλη πλευρά είναι πιο ογκώδεις και βαρείς συγκριτικά με τα άλλα είδη κινητήρων. Το σύστημα ψηκτρών – συλλέκτη της dc μηχανής χρειάζεται τακτική συντήρηση και, ενδεχομένως, αντικατάσταση, γεγονός που την καθιστά αναξιόπιστη σε οχήματα. Η αντοχή της σε υπερφόρτιση είναι μικρή.

Πλεονεκτήματα του ασύγχρονου κινητήρα είναι οι μικρές διαστάσεις του, η πολύ απλή δομή και η λειτουργία του, που αυξάνουν την αξιοπιστία του, το χαμηλό κόστος του αφού είναι ο πιο διαδεδομένος σε ηλεκτρομηχανικές

εφαρμογές και το υψηλό επίπεδο τιμών ροπής που προσφέρει. Μπορεί να λειτουργήσει εύκολα και στα τέσσερα τεταρτημόρια της χαρακτηριστικής ροπής – στροφών (ως κινητήρας και ως γεννήτρια). Ο έλεγχος του είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος αλλά έχουν αναπτυχθεί διάφορες αποδοτικές τεχνικές που λύνουν αυτό το πρόβλημα. Με αυτόν τον τομέα θα ασχοληθούμε παρακάτω.

Η κατασκευή του αντιστροφέα και της παλμοδότησης του είναι πιο πολύπλοκη. Το θετικό είναι ότι λόγω της τοπολογίας του διέρχονται από τα ημιαγωγικά στοιχεία μικρότερα ρεύματα. Άρα, δεν απαιτείται πρόσθετο κόστος για την προμήθεια πιο ανθεκτικών στοιχείων. Τέλος, παρουσιάζει χαμηλότερο συντελεστή απόδοσης σε μικρότερη ροπή φορτίου και καταναλώνει άεργο ισχύ εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας του, μειώνοντας το συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$) και έχοντας την ανάγκη για αντιστάθμιση μέσω πυκνωτών.

Όσο αφορά τις δύο παραλλαγές σύγχρονου κινητήρα, έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό τον υψηλό συντελεστή απόδοσης, τις μικρές διαστάσεις και βάρος, την υψηλή ειδική ισχύ και μεγάλη ροπή από τις χαμηλές στροφές και σε ευρύ φάσμα στροφών. Ακόμη, ο λόγος ροπή προς αδράνεια των κινητήρων έχει υψηλή τιμή. Επιδεικνύουν ανοχή σε υπερφόρτιση. Μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, ο πιθανός απομαγνητισμός των μόνιμων μαγνητών του δρομέα και η πολυπλοκότητα στον έλεγχο τους, συγκριτικά με το dc. Συγκεκριμένα, ο BLDC λόγω της ιδιάζουσας τροφοδοσίας του παρουσιάζει κυμάτωση στη ροπή. Τέλος, ο έλεγχος του κινητήρα σύγχρονου μαγνήτη ταυτίζεται με αυτόν του ασύγχρονου κινητήρα

(14)ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

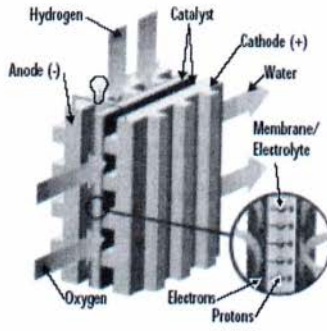
Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου, όπως θα δούμε παρακάτω και η έρευνα για τη βελτίωση της αποδόσεων της γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του νανομέτρου.

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Η πρώτη κυψελίδα φτιάχτηκε από τον Sir William Grove , το 1839. Ωστόσο, η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στο διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo ως φθηνότερη λύση από την ηλιακή ενέργεια.

(14.1) ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάση του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου (PEM).

Μία κυψέλη καυσίμου PEM αποτελείται εν συντομία από τα εξής μέρη:



Κύρια μέρη κυψέλης καυσίμου PEM

Δύο ηλεκτρόδια, τα οποία διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Αργότερα θα μελετήσουμε τα μέρη μιας κυψέλης αναλυτικότερα. Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.

Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγιμα υλικά.

Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης

αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του.

Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας. Τα δύο στρώματα (στηριζόμενα) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.

Στην άνοδο $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

Στην κάθοδο $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Ολική αντίδραση $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0.7 Volts . Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack).

(14.2)ΕΙΔΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

1)ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΕΝΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ (PEM)

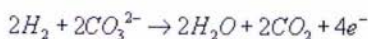
Αυτές οι κυψέλες (κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων (proton exchange membrane fuel cells, PEM) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους για την ικανοποίηση καθημερινών ενεργειακών αναγκών, όπως αυτή για την κίνηση ενός οχήματος. Σε αυτό βοηθά η ικανότητα τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των 50 και 250 kW. Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.

Η έρευνα πάνω στις κυψέλες καυσίμου όσων αφορά εφαρμογές τους στην τροφοδότηση οχημάτων αυτή τη στιγμή είναι επικεντρωμένη κυρίως σε αυτόν τον τύπο.

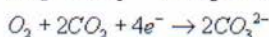
2)ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΤΗΓΜΕΝΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (MCFC)

Αυτές οι κυψέλες (molten carbonate fuel cells, MCFC) χρησιμοποιούν για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με λίθιο, νάτριο και κάλιο σε υγρή μορφή εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. Ενώ χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης λόγω των θερμοκρασιών όπου λειτουργούν (περίπου 650 °C) δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση. Ωστόσο, αυτή η υψηλή θερμοκρασία, η οποία απαιτείται προκειμένου ο ηλεκτρολύτης να γίνει ιοντικά αγώγιμος, επιτρέπει τη χρήση φτηνών καταλυτών αφού οι χημικοί δεσμοί καταστρέφονται και δημιουργούνται πολύ πιο εύκολα σε τέτοιες θερμοκρασίες. Η ίδια όμως υψηλή θερμοκρασία ευθύνεται για την αυξημένη διάβρωση και καταστροφή των μελών της κυψέλης. Ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο, προπάνιο και άλλα. Η ισχύς η οποία χαρακτηρίζει αυτόν τον τύπο κυψέλης κυμαίνεται ανάλογα τη χρήση από 10 kW μέχρι και 2 MW.

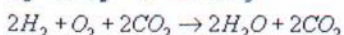
Στην άνοδο



Στην κάθοδο



Ολική αντίδραση



Παραπάνω φαίνονται οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο κυψέλης (το CO₂ παράγεται στην άνοδο και καταναλώνεται στην κάθοδο).

3)ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ (DMFC)

Σε όλες τις παραπάνω κυψέλες ως καύσιμο χρησιμοποιείται το υδρογόνο. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (direct methanol fuel cells, DMFC) χρησιμοποιεί ως καύσιμο μεθανόλη χωρίς να απαιτεί τη μετατροπή της σε υδρογόνο. Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο. Η κατηγορία αυτή είναι πιο πρόσφατη των κυψελίδων PEM με αρκετά ακόμα προβλήματα προς επίλυση όπως η μεγάλη ποσότητα καταλύτη που απαιτείται. Ωστόσο, εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στη θέση των PEM κυψελών δε θα υπήρχε η ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης του καυσίμου όπως γίνεται στη δεύτερη περίπτωση με το υδρογόνο ενώ δε θα ήταν αναγκαία και η ανάπτυξη αναμορφωτών.

4)ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ (SOFC)

Ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (solid oxide fuel cells, SOFC), όπως και ο προηγούμενος, ενδείκνυται για αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, με απόδοση στο 60% και παραγόμενη ισχύ μέχρι και 100kW. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια μικρή ποσότητα νατρίου, αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, επιτρέποντας έτσι θερμοκρασίες μέχρι και 1000 °C.

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο κυψέλης είναι

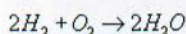
Στην άνοδο



Στην κάθοδο



Ολική αντίδραση

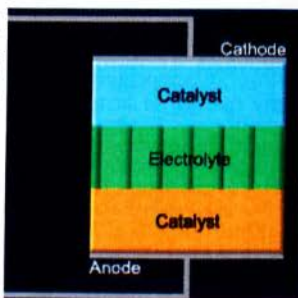


5)ΟΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ PAFC

Οι κυψέλες του τύπου φωσφορικού οξέος -PAFC, είναι από τις πιο προηγμένες τεχνολογικά και εμπορικά.

Μπορούν να λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία και ταιριάζουν έτσι με τις συνθήκες που επικρατούν συνήθως. Το φωσφορικό οξύ είναι σε υψηλή συγκέντρωση το οποίο ενώνεται με ένα ζελ που παίζει το ρόλο του καταλύτη.

Το PAFC θέλει ατμοσφαιρικό οξυγόνο και υδρογόνο σαν αέρια αναγωγής. Υπάρχει όμως ένα μειονέκτημα. Το φωσφορικό οξύ χαλάει όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 42°. Τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή κυψέλη.



Η ενεργειακή κυψέλη στην παρακάτω μορφή αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα --τους δύο καταλύτες-- ανάμεσά στα οποία υπάρχει ένας ηλεκτρολύτης (διάλυμα υδροξειδίου του καλίου).

Οι καταλύτες περιέχουν πλατίνα, για την διευκόλυνση των χημικών αντιδράσεων που ακολουθούν. Το τμήμα που εισάγεται το υδρογόνο θα αποτελέσει την άνοδο και στο τμήμα που εισάγεται το οξυγόνο θα αποτελεί την κάθοδο. Στους δύο πόλους συνδέεται η συσκευή που θέλουμε να λειτουργήσει.

(14.3) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ❖ Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός
- ❖ Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- ❖ Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65% . Εξοικονόμηση ενέργειας.
- ❖ Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από watt μέχρι megawatt.
- ❖ Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα.
- ❖ Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων, από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.
- ❖ Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα και για αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Ενώ τα άλλα καύσιμα έχουν μεγάλο χρόνο επικινδυνότητας έως ότου αυτά ξεφύγουν από την θέση τους.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ❖ "Πράσινος" κίνδυνος Η χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες ίσως βλάψει σημαντικά το στρώμα του όζοντος, σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύεται στο περιοδικό Science. Η ερευνητική ομάδα του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας (CalTech) υποστηρίζει ότι το υδρογόνο που διαρρέει στο περιβάλλον θα ανεβαίνει πολύ γρήγορα στη στρατόσφαιρα - το υδρογόνο είναι το πιο ελαφρύ στοιχείο - όπου θα αντιδρά με το οξυγόνο για το σχηματισμό νερού.

- ❖ Άγνωστες παράμετροι. Σύμφωνα με υπολογισμούς, η διαρροή από τις μονάδες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής του καυσίμου θα αντιστοιχεί στο 20% της ολικής ποσότητας υδρογόνου.
- ❖ Τέλος ένα μεγάλο μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι το μεγάλο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η χρήση τους.

(15)ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

(15.1)ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ

Η απευθείας αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι εφικτή και με τη χρήση των υπερπυκνωτών. Εφαρμόζοντας συνεχή τάση, η ενέργεια αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό πεδίο του πυκνωτή. Ένας αναστρέψιμος μετατροπέας ρεύματος παρουσία ενός συστήματος ελέγχου είναι απαραίτητος για τη σύνδεση των υπερπυκνωτών σε δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος. Η αρχή λειτουργίας των υπερπυκνωτών βασίζεται στην αντίστοιχη των συμβατικών πυκνωτών. Οι πυκνωτές θεωρούνται απαραίτητα δομικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος για την κατακράτηση του συνεχούς ρεύματος. Ένας συνηθισμένος πυκνωτής αποτελείται από δύο παράλληλους αγωγίμους οπλισμούς που διαχωρίζονται από διηλεκτρικό μονωτή. Οι οπλισμοί φέρουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία και έτσι παράγεται το ηλεκτρικό πεδίο. Σε αντίθεση με τις μπαταρίες όπου η ενέργεια αποθηκεύεται σε χημική μορφή, η ενέργεια στους πυκνωτές αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό πεδίο.

Το 1997 ερευνητές από την CSIRO ανέπτυξαν τον πρώτο υπερπυκνωτή. Πρόκειται για ένα πυκνωτή ο οποίος έχει δυνατότητα μεγαλύτερης αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιώντας για τη δημιουργία διηλεκτρικού στρώματος λεπτά φιλμς πολυμερών. Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται από πορώδη άνθρακα. Ο πορώδης άνθρακας και τα πολυμερή αποτελούν τα πιο κατάλληλα υλικά για την κατασκευή υπερπυκνωτών. Ο πρώτος εμφανίζει πορώδεις ιδιότητες, επιτρέποντας έτσι στα πολυμερή να επικάθονται και να δρουν ως διηλεκτρικά. Τα πολυμερή έχουν μηχανισμό μειωμένης οξειδωσης σε συνδυασμό με μεγάλη ενεργό επιφάνεια. Έρευνες διεξάγονται προς την κατεύθυνση αντικατάστασης του άνθρακα από κεραμικά υλικά.

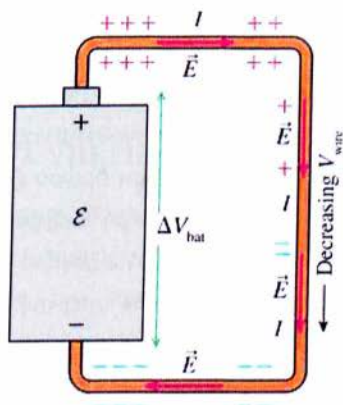
Ενώ οι συμβατικές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες και οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές πρέπει συχνά να αντικαθίστανται κατά τη διάρκεια ζωής τους, οι υπερπυκνωτές δεν αντικαθίστανται ποτέ, δεν υπόκεινται σε περιοριστικές και μη αναστρέψιμες χημικές αντιδράσεις και δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα dry out. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι πως η ενεργειακή τους πυκνότητα δεν πλησιάζει αυτή των μπαταριών. Οι υπερπυκνωτές, ή αλλιώς γνωστοί ως πυκνωτές διπλού στρώματος είναι σχετικά νέα τεχνολογία με εξαιρετική δυνατότητα αποθήκευσης ανά μονάδα επιφάνειας της τάξης των 5 F/cm^2 (ένας συνηθισμένος πυκνωτής μετά βίας πλησιάζει τα $40 \mu\text{F/cm}^2$). Έχουν απεριόριστη δρώσα ζωή, ταχείες φορτίσεις και εκφορτίσεις, και εμφανίζουν πολύ μικρή διαρροή ρεύματος. Ακόμη, εγγυώνται σταθερή και αξιόπιστη λειτουργία για μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των υπερπυκνωτών είναι η υψηλή τιμή της ογκομετρικής ενεργειακής πυκνότητας, από 10 έως 100 φορές μεγαλύτερη αυτής των συμβατικών πυκνωτών.

Οι υπερπυκνωτές αρχικά χρησιμοποιήθηκαν από το στρατό των Η.Π.Α. για την εκκίνηση τανκς και υποβρυχίων. Οι περισσότερες εφαρμογές σήμερα συναντώνται σε υβριδικά οχήματα και σε ηλεκτρονικές συσκευές χειρός ενώ η NASA μελετά τη χρήση υπερπυκνωτών σε ηλεκτρικά λεωφορεία.

(15.2) ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Η μπαταρία αποτελεί το πιο διαδεδομένο μέσο αποθήκευσης της ενέργειας και παροχής της με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελείται από ηλεκτρικά στοιχεία κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους, τα οποία είναι γνωστά ως cells. Το κάθε cell αποτελείται από ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο, καθώς και από τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος τοποθετείται ανάμεσα τους. Η φύση του ηλεκτρολύτη ποικίλει (στερεά, υγρή, αέρια). Ουσιαστικά, η μπαταρία αποθηκεύει χημική ενέργεια την οποία προσφέρει με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος πραγματοποιείται από τη χημική αντίδραση που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Οι συντελεστές της χημικής αντίδρασης διαφέρουν σε κάθε τύπο μπαταρίας. Η αντιστρεπτή διαδικασία της μετατροπής χημικής σε ηλεκτρική ενέργεια συναντάται σχεδόν σε όλους τους

τύπους μπαταριών. Η πειραματική εξέλιξη αυτού του αποθηκευτικού μέσου είναι διαρκής, για να επιτευχθεί η ικανοποιητικότερη δυνατή εφαρμογή του στα μέσα μεταφοράς. Κατά πολλούς, αποτελεί τη μεγαλύτερη ελπίδα για να λυθεί το πρόβλημα της οικολογικής μετακίνησης.



Εικόνα 15.1 Σχηματικό διάγραμμα μπαταρίας

(15.3) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ

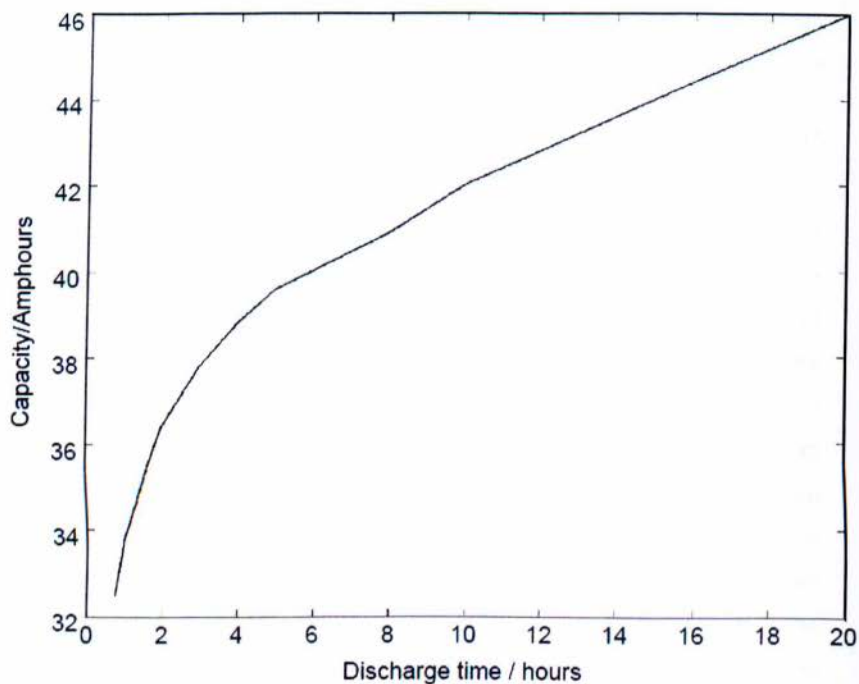
Αρχικά, κρίνεται αναγκαίο να παρουσιαστεί ένα απλουστευμένο ηλεκτρικό ισοδύναμο ενός cell (Εικόνα 15.1), ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τα στοιχεία που θα δοθούν στη συνέχεια. Η τάση του cell (V) είναι η τάση υπό τη οποία παρέχεται το ρεύμα (I) στο φορτίο, μειωμένη όμως κατά την πτώση τάσης $I * R$ λόγω της εσωτερικής αντίστασης R της μπαταρίας. Τα cell μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά για να επιτευχθεί η ζητούμενη τιμή της τάσης ή παράλληλα ώστε να παραχθεί το κατάλληλο ρεύμα τροφοδοσίας.

Η τάση που καταλήγει στα άκρα του φορτίου κατά την εκφόρτιση του στοιχείου είναι $V = E - IR$, όπου E η τάση της μπαταρίας. Κατά τη φόρτιση, η τάση με τη οποία φορτίζεται το στοιχείο πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση της μπαταρίας και συγκεκριμένα $V = E + I * R$. Συνεπώς, επιδιώκεται όσο γίνεται μικρότερη εσωτερική αντίσταση, αφού ισοδυναμεί με απώλεια ενέργειας κατά τη μεταφορά της.

Τα κρίσιμότερα χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας που καθορίζουν και την επιλογή της είναι τα εξής:

1) Χωρητικότητα σε φορτίο - Χωρητικότητα σε Ampere hours (Ah)

Πρόκειται για τα αποθέματα της μπαταρίας σε ενέργεια. Μονάδα μέτρησης του φορτίου στο S.I είναι το Coulomb. Ένα Coulomb ισοδυναμεί με ρεύμα ενός Amperes για διάρκεια ροής ένα δευτερόλεπτο. Το μέγεθος που διευκολύνει είναι οι αμπερώρες (Amperehours), δηλαδή η ροή ρεύματος ενός Amperes για μία ώρα. Αν υποθεθεί μία μπαταρία με χωρητικότητα 10 Ah, τότε αυτή μπορεί, θεωρητικά πάντα, για παράδειγμα να τροφοδοτεί ένα φορτίο με ρεύμα 1 A για δέκα ώρες ή 5 A για 2 ώρες. Πρακτικά, η χωρητικότητα της μπαταρίας ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο εκφόρτισης. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 15.2, ο ρυθμός εκφόρτισης του στοιχείου επηρεάζει τα αποθέματα του και συγκεκριμένα συνδέονται μεταξύ τους αντιστρόφως ανάλογα. Αυτό σημαίνει ρεαλιστικά ότι μία μπαταρία των 10 Ah μπορεί να παρέχει ρεύμα 1 A για 10 ώρες αλλά σε περίπτωση ρεύματος εκφόρτισης 10 A (υψηλός ρυθμός εκφόρτισης) , θα εκφορτιστεί σε λιγότερο από μία ώρα. Στο σχήμα 15.2 βλέπουμε το διάγραμμα της χωρητικότητας σε Ah συναρτήσεως του χρόνου εκφόρτισης για μία μπαταρία οξέος μολύβδου.



Σχήμα 15.2 Διάγραμμα χωρητικότητας συναρτήσει του χρόνου εκφόρτισης

Συχνά, χρησιμοποιείται ο εξής συμβολισμός: Για μία μπαταρία 40 Ah (10 ώρες εκφόρτισης) συμβολίζουμε με 0,5C10 την εκφόρτιση της με ρυθμό 20 A για 10 ώρες, όπου C η χωρητικότητα.

2) Αποθηκευμένη ενέργεια

Η αποθηκευμένη ενέργεια του στοιχείου εξαρτάται από την τάση και το αποθηκευμένο φορτίο του. Ενώ η μονάδα ενέργειας στο S.I είναι το Joule, είναι ευκολότερο η χρήση του Watthour (βατώρα). Έχουμε, λοιπόν: $\text{Watthour} = V * I * \text{hr} = V * C$, όπου $I * \text{hr}$ είναι η αμπερώρα. Βεβαίως, η τιμή της τάσης και της χωρητικότητας μεταβάλλεται με βάση τον τρόπο λειτουργίας της μπαταρίας, αφού όπως είπαμε η απότομη εκφόρτιση του στοιχείου έχει ως συνέπεια την πτώση των τιμών των V , C .

3) Ειδική ενέργεια

Πρόκειται για την ποσότητα της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας ανά χιλιόγραμμο μάζας της μπαταρίας (Wh / kg).

4) Ενεργειακή πυκνότητα

Ορίζεται ως η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο (Wh / m³).

Τόσο το 3) όσο και το 4) είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι παράγοντες για το σχεδιασμό ενός υβριδικού οχήματος και αποτελεί κύριο κριτήριο των σχεδιαστικών τμημάτων των αυτοκινητοβιομηχανιών, αφού το αποθηκευτικό μέσο είναι από τα πιο ογκώδη ζωτικά σημεία ενός υβριδικού οχήματος.

5) Ειδική ισχύς

Αποτελεί την ποσότητα ισχύος ανά χιλιόγραμμο μάζας (W / kg). Είναι μία μεταβαλλόμενη ποσότητα, αφού εξαρτάται από το φορτίο με το οποίο συνδέεται η μπαταρία. Οι μπαταρίες χαρακτηρίζονται από μία μέγιστη ισχύ, στην οποία όμως δε πρέπει να λειτουργούν πάνω από μερικά δευτερόλεπτα. Ο λόγος είναι η μείωση της διάρκειας ζωής και της απόδοσης τους. Κάποια είδη συσσωρευτών έχουν μεγάλη ειδική ενέργεια αλλά μικρή ειδική ισχύ. Μικρή ειδική ισχύς σημαίνει ότι η μπαταρία δε δύναται να προσδώσει σημαντική ενέργεια με ταχύ ρυθμό στο φορτίο. Οχήματα που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους συσσωρευτές δε μπορούν να αναπτύξουν μεγάλη ταχύτητα αλλά έχουν σημαντική αυτονομία. Η αύξηση της παρεχόμενης ισχύος, δηλαδή η αύξηση του ρυθμού παροχής ενέργειας ή αλλιώς η μείωση του χρόνου εκφόρτισης, μειώνει ταχύτερα τα αποθέματα του στοιχείου. Επηρεάζεται, **λοιπόν, η ειδική ενέργεια και η χωρητικότητα**. Συμπερασματικά, η ειδική ισχύς και η ειδική ενέργεια εξαρτώνται από τον τρόπο χρήσης, **δηλαδή τις** απαιτήσεις κίνησης του οχήματος.

6) Αποδοτικότητα στη φόρτιση σε Αμπερώρες

Είναι γεγονός ότι οι συσσωρευτές δεν ανακτούν πλήρως την ενέργεια τους κατά την επαναφόρτιση τους. Ο συντελεστής που καθορίζει το επίπεδο φόρτισης που θα φτάσει η μπαταρία εξαρτάται από τον τύπο της, από τη θερμοκρασία, το ρυθμό φόρτισης, καθώς και από την κατάσταση φόρτισης της (state of charge, SOC). Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι από το 20% στο 80% του SOC ο συντελεστής απόδοσης πλησιάζει τη μονάδα. Αντίθετα, στο υπόλοιπο 20% που απομένει για να φορτιστεί πλήρως, ο συντελεστής απόδοσης πέφτει κατακόρυφα. Οι λόγοι θα αναλυθούν εκτενώς παρακάτω.

7) Ενεργειακή απόδοση

Είναι η παράμετρος που ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται από μία μπαταρία προς την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται ώστε να επιστρέψει στο SOC πριν την εκφόρτιση. Πιο πρακτικά, είναι η σύγκριση του συντελεστή φόρτισης με το συντελεστή εκφόρτισης, πάντα για ίδιο ρυθμό φόρτισης - εκφόρτισης.

8) Ρυθμός αυτοεκφόρτισης

Δυστυχώς, ακόμη και η διατήρηση ενός στοιχείου σε αδρανή κατάσταση είναι ενεργοβόρα αφού οι περισσότεροι τύποι αυτοεκφορτίζονται. Χρειάζεται, λοιπόν, επίβλεψη και φόρτιση. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης διαφέρει από στοιχείο σε στοιχείο ανάλογα με τον τύπο και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι υψηλές θερμοκρασίες ενθαρρύνουν το φαινόμενο αυτό.

9) Γεωμετρία της μπαταρίας

Τα cells έχουν εμφανισθεί με διάφορα σχήματα (ορθογώνια, κυλινδρικά, πρισματικά, φυλλωτά, εξαγωνικά κ.α.). Τοποθετούνται ανά ομάδες σε ειδικές συσκευασίες, τα modules σχήματος, συνήθως, ορθογωνίου. Η γεωμετρία, ο

όγκος και το βάρος της μπαταρίας καθορίζουν το σημείο του οχήματος που θα τοποθετηθεί, ώστε να εξασφαλιστεί η προστασία της από καταπονήσεις όπως κρούσεις, πλευρικές επιταχύνσεις και ταλαντωτικές κινήσεις αλλά, κυρίως η ασφάλεια των επιβατών.

10) Θερμοκρασία της μπαταρίας, ανάγκες της για ψύξη ή θέρμανση

Υπάρχουν τύποι μπαταριών που χρειάζονται θέρμανση κατά την εκκίνηση και ψύξη κατά τη λειτουργία. Επιπλέον, η απόδοση τους πέφτει σε πολύ χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες. Άρα, η επιλογή του κατάλληλου συστήματος ψύξης ή θέρμανσης είναι ζωτικής σημασίας και επηρεάζει τη χωροταξία των συστημάτων που προσαρμόζονται στο όχημα.

11) Διάρκεια ζωής του συσσωρευτή και κύκλοι φόρτισης/ εκφόρτισης

Η ιδιαιτερότητα των μπαταριών που προορίζονται για υβριδικά αυτοκίνητα είναι η φόρτιση / εκφόρτιση με παλμικά ρεύματα για μικρά χρονικά διαστήματα. Λέγοντας παλμικά ρεύματα εννοούμε ρεύματα που αποκτούν απότομα υψηλή τιμή, σταθεροποιούνται σε αυτή και ακολουθεί πτώση της τιμής τους πάλι ακαριαία. Αυτό το είδος λειτουργίας μειώνει το χρόνο ζωής τους. Η σωστή εκφόρτιση/ εκφόρτιση δεν πραγματοποιείται καθώς το όχημα είναι σε κίνηση, παρά μόνο όταν βρίσκεται σε στάση ή αν διαθέτει plug-in λειτουργία (δυνατότητα φόρτισης από την πρίζα του σπιτιού μας). Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας καθορίζεται από τον αριθμό κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης μέχρι η χωρητικότητα της μπαταρίας να πέσει κάτω από τα 15 Ah. Συνεπώς, ο αριθμός κύκλων φόρτισης/ εκφόρτισης εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας και τον τρόπο λειτουργίας της.

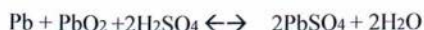
(15.4) ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Τα πιο κατάλληλα είδη μπαταριών για εφαρμογές σε υβριδικά οχήματα έχουν κριθεί τα εξής: Μπαταρίες οξέος μολύβδου, νικελίου - καδμίου, νικελίου - μετάλλου υδριδίου, λιθίου πολυμερούς και λιθίου - σιδήρου, νατρίου - θείου και νατρίου - χλωριδίου μετάλλου. Τέλος, υπάρχουν μπαταρίες που ανεφοδιάζονται μηχανικά όπως η αλουμινίου - αέρος και ψευδαργύρου - αέρος. Παρακάτω, παρουσιάζεται κάθε είδος στοιχείου.

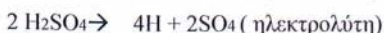
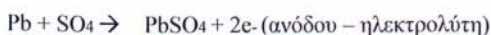
A) Συσσωρευτές οξέος μολύβδου (lead acid)

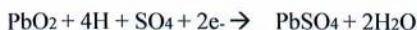
Περιγραφή ενός στοιχείου οξέος μολύβδου και φαινόμενα που συμβαίνουν κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση του:

Οι μπαταρίες οξέος μολύβδου που χρησιμοποιούνται στα υβριδικά οχήματα περιέχουν ηλεκτρολύτη σε μορφή ζελέ και όχι υγρό όπως αυτές των συμβατικών αυτοκινήτων. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο καλύπτεται στην επιφάνεια του με σπογγώδη μόλυβδο (Pb), καθιστώντας την επιφάνεια ιδιαίτερα απορροφητική. Το θετικό ηλεκτρόδιο είναι επιστρωμένο με διοξείδιο μολύβδου (PbO₂). Ο ηλεκτρολύτης, στον οποίο βυθίζονται τα δύο ηλεκτρόδια αποτελείται από διάλυμα θειικού οξέος (H₂SO₄). Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας, το θειικό οξύ αντιδρά με το μόλυβδο και το διοξείδιο του μολύβδου των δύο ηλεκτροδίων, παράγοντας νερό, θειικό μόλυβδο καθώς και ηλεκτρική ενέργεια που εκλύεται κατά τη διαδικασία. Ο ηλεκτρολύτης γίνεται όλο και πιο αραιός λόγω του νερού, χάνοντας το θειικό οξύ. Η αντίδραση περιγράφεται από τη χημική εξίσωση:

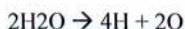
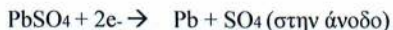


Οι επιμέρους χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ ανόδου – ηλεκτρολύτη, καθόδου – ηλεκτρολύτη είναι οι εξής:

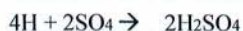




Κατά τη φόρτιση, τα ηλεκτρόδια ανακτούν τις αρχικές τους ιδιότητες, μετατρέπονται, δηλαδή πάλι σε μόλυβδο και διοξειδίο του μολύβδου και ο ηλεκτρολύτης σε θειικό οξύ, αυξάνοντας τη συγκέντρωση του διαλύματος του. Οι χημικές εξισώσεις, που διέπουν αυτήν την αντίστροφη διαδικασία είναι:



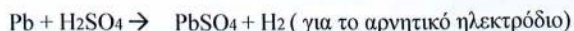
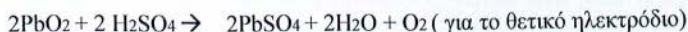
Το παραγόμενο Η συντελεί στην ακόλουθη χημική αντίδραση



Η οξέος - μολύβδου είναι το πιο διαδεδομένο είδος μπαταρίας, αφού αποτελεί μια φθηνή και αξιόπιστη λύση με σχετικά υψηλή τάση ανά cell (2V), που σημαίνει πιο περιορισμένος αριθμός τους (μείωση κόστους) στην εφαρμογή μας. Ακόμη, χαρακτηρίζεται από την πολύ μικρή εσωτερική της αντίσταση συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη, που, αυτομάτως, μεταφράζεται σε μικρότερη πτώση τάσης κατά τη λειτουργία της, δηλαδή λιγότερες απώλειες. Η εσωτερική αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη της επιφάνειας των ηλεκτροδίων.

Ειδικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας οξέος- μολύβδου

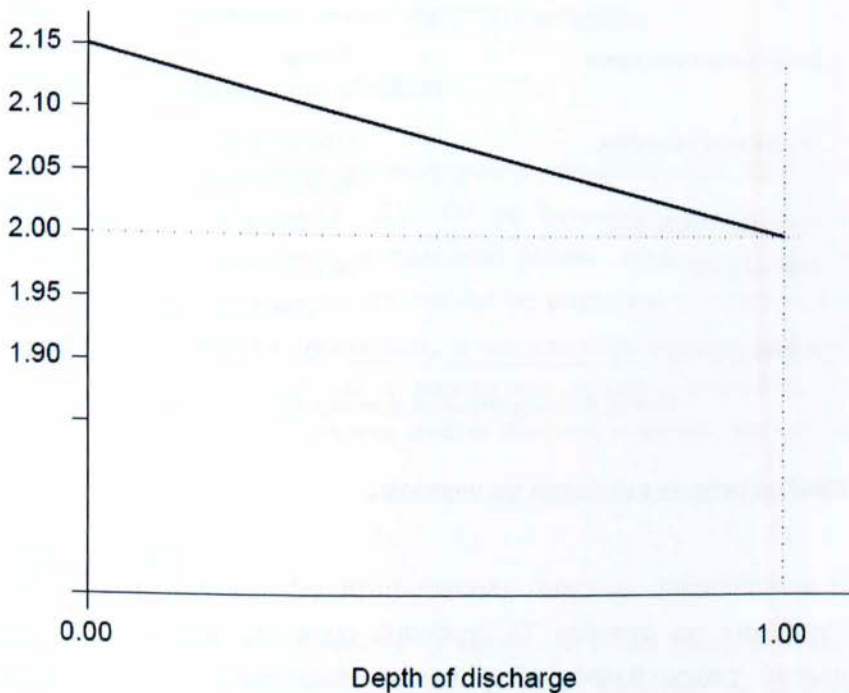
Οι αντιδράσεις, τις οποίες περιγράψαμε παραπάνω, δεν είναι οι μοναδικές που συμβαίνουν σε ένα cell. Δυστυχώς, αντιμετωπίζουμε και το πρόβλημα της αυτοεκφόρτισης. Τα υλικά των ηλεκτροδίων δε μένουν αδρανή, όσο η μπαταρία δε χρησιμοποιείται. Αντιθέτως, η ποσότητα τους μειώνεται με αργούς ρυθμούς, μέσω των αντιδράσεων:



Ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης είναι ευθέως ανάλογος της θερμοκρασίας του cell, της καθαρότητας των υλικών των ηλεκτροδίων (όσο λιγότερες προσμίξεις, τόσο καλύτερα). Τέλος, εξαρτάται από το κράμα, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για να στηρίξει τα ηλεκτρόδια στο cell.

Αυτές οι αντιδράσεις εξελίσσονται και κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας και ο ρυθμός τους είναι ανάλογος του ρυθμού εκφόρτισης της. Η εξάρτηση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι κατά την ταχεία εκφόρτιση αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία στο εσωτερικό του cell και επιταχύνεται η δραστηριότητα των ηλεκτροδίων. Αποτέλεσμα είναι η πρόσθετη απώλεια ενέργειας. Έτσι, αιτιολογείται η απότομη πτώση της χωρητικότητας της μπαταρίας κατά τη γρήγορη εκφόρτιση. Περαιτέρω, το φαινόμενο που περιγράψαμε δε συμβαίνει εξίσου σε όλα τα cells, εξαιτίας διαφορετικών συνθηκών (θερμοκρασία κυρίως) στο καθένα. Κάποια cells χάνουν περισσότερο φορτίο από άλλα. Απαιτείται να ληφθεί προσοχή στη φόρτιση της μπαταρίας, ώστε όλα τα στοιχεία να φορτιστούν το ίδιο. Αυτό σημαίνει ότι κάποια πρέπει να «υπομένουν» κάποια υπερφόρτιση, για να φορτιστούν όλα σωστά. Στους τρόπους φόρτισης θα επεκταθούμε παρακάτω. Από τη στιγμή που η μπαταρία είναι σχεδόν πλήρως φορτισμένη και για όσο χρονικό διάστημα εξακολουθούμε να τη φορτίζουμε πραγματοποιούνται κάποιες χημικές αντιδράσεις. Αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του νερού σε υδρογόνο, στην άνοδο, και σε οξυγόνο στην κάθοδο. Η ποσότητα του νερού, η οποία χάνεται, ζημιώνει τη λειτουργία της μπαταρίας, εφόσον είναι απαραίτητο, όπως είδαμε, στη διαδικασία επανάκτησης του ηλεκτρολύτη. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η δέσμευση αυτών των αερίων μέσα στη μπαταρία, ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή του νερού και να μην υπάρχει η ανάγκη για την προσθήκη του. Βέβαια, ο έλεγχος του ρυθμού παραγωγής αυτών των αερίων είναι αναγκαίος.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό, γενικά, των μπαταριών είναι η πτώση της τιμής της προσφερόμενης τάσης κατά την εκφόρτιση τους (Σχήμα 15.3). Στις σύγχρονες μπαταρίες αυτή η πτώση είναι κατά προσέγγιση γραμμική. Αυτό οφείλεται στη μεταβολή στις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου η μέτρηση της τάσης στα άκρα της μπαταρίας, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της, δεν είναι απόλυτα ακριβής.



Σχήμα 15.3 Διάγραμμα τάσης στοιχείου μπαταρίας συναρτήσει του βαθμού εκφόρτισης το

Εδώ παραθέτουμε σε ένα πίνακα τα ονομαστικά μεγέθη για μια lead- acid μπαταρία

Ειδική ενέργεια	20- 35 Wh / kg ανάλογα με ανάλογα με τη χρήση
Ενεργειακή πυκνότητα	54- 95 Wh / L
Ειδική ισχύς	250 W/ kg
Ονομαστική τάση	ανά cell 2V
Ενεργειακή απόδοση σε Ah	80%, ποικίλει ανάλογα με ρυθμό εκφόρτισης και θερμοκρασία
Εσωτερική αντίσταση	εξαιρετικά χαμηλή, 0.022 Ω ανά cell για cell ενός Ah
Διαθεσιμότητα στην αγορά	Προσφέρεται άμεσα από πολλούς προμηθευτές
Θερμοκρασία λειτουργίας	περιβάλλοντος, μικρή απόδοση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	2% περίπου την ημέρα
Διάρκεια ζωής	μέχρι 800 κύκλους για αποθηκευ- μένη ενέργεια 80%
Χρόνος φόρτισης	8 ώρες (στο 90% μόνο σε μία ώρα)

Πίνακας 15.4 Χαρακτηριστικά μπαταρίας οξέος – μολύβδου

Διάρκεια ζωής και συντήρηση της μπαταρίας

Η αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη με gel περιορίζει τη διαδικασία συντήρησης του στοιχείου. Το σφράγισμα, όμως, της μπαταρίας δεν είναι οριστικό. Υπάρχει βαλβίδα (VRLA, valve regulated sealed lead acid battery) που απελευθερώνει αέριο, το οποίο έχει παραχθεί από τις αντιδράσεις της μπαταρίας, σε συγκεκριμένη πίεση, και δε μπορεί να αντικατασταθεί. Η βαλβίδα τίθεται σε λειτουργία, αν εξελιχθούν πολύ γρήγορα οι αντιδράσεις σε περίπτωση υπερφόρτισης ή αν η τιμή της τάσης φόρτισης είναι πολύ μεγάλη. Τέτοια μεταχείριση της μπαταρίας μπορεί να την καταστρέψει. Μέσω του μηχανισμού VRLA, τα στοιχεία δε χρειάζονται συντήρηση. Τα στοιχεία λέγονται κλειστού τύπου και είναι ανθεκτικά στις βαθιές εκφορτίσεις.

Ακόμη και αν δεν υπάρχει απώλεια νερού, παρατηρούνται και άλλα φαινόμενα που επηρεάζουν αρνητικά τη μπαταρία όπως η θείωση. Αυτό συμβαίνει αν η μπαταρία μείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα αφόρτιστη. Η ποσότητα θειικού μολύβδου συγκροτείται σε μεγάλους κρυστάλλους που δημιουργούν ένα στρώμα στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων και χρειάζεται αργή φόρτιση ώστε να μετατραπεί πάλι σε Pb και PbO₂ (κάποιες φορές δε συμβαίνει αυτή η μετατροπή). Η ισχύουσα οδηγία που προκύπτει είναι ότι πρέπει να διατηρούμε τη μπαταρία σε κάποιο SOC ώστε να αποφύγουμε το φαινόμενο αυτό. Άλλο πρόβλημα είναι η διάβρωση των ηλεκτροδίων που αυξάνει την αντίσταση. Τα προβλήματα αυτά περιορίζουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας περίπου στους 700 με 800 κύκλους φόρτισης/ εκφόρτισης.

Φόρτιση της μπαταρίας οξέος μολύβδου

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές φόρτισης ενός συσσωρευτή οξέος μολύβδου, που αφορούν, κυρίως, στα HEV, EV με δυνατότητα plug-in. Η πιο διαδεδομένη λέγεται φόρτιση με πολλαπλά βήματα. Σύμφωνα με αυτή, η μπαταρία φορτίζεται μέχρι η τάση του cell να φτάσει μία προκαθορισμένη τιμή. Ακολουθεί διακοπή του ρεύματος, η τιμή της τάσης φόρτισης μειώνεται σε μία συγκεκριμένη τιμή και η παροχή του ρεύματος συνεχίζεται. Οι προκαθορισμένες τιμές εξαρτώνται από το είδος της μπαταρίας και από τη θερμοκρασία.

Μπαταρίες νικελίου

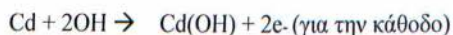
Οι μπαταρίες αυτές χρησιμοποιούν το νικέλιο στο θετικό ηλεκτρόδιο τους. Υπάρχουν δύο είδη μπαταριών νικελίου ικανά για εφαρμογές σε υβριδικά οχήματα.

Πρόκειται για τα στοιχεία νικελίου – καδμίου (NiCd) και για τα νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH) . Πρώτα, θα παρουσιάσουμε τις νικελίου- καδμίου.

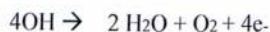
Οι NiCd χρησιμοποιούν οξυδροξείδιο του νικελίου στο θετικό ηλεκτρόδιο τους και μεταλλικό κάδμιο στο αρνητικό. Η χημική αντίδραση, η οποία πραγματοποιείται και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, εκφράζεται με τη χημική εξίσωση:



Οι μπαταρίες NiCad διαφέρουν στον τρόπο λειτουργίας τους, συγκριτικά με τις οξέος- μολύβδου σε δύο σημεία. Σε αντίθεση με τις lead - acid, κατά την εκφόρτιση του cell χάνεται νερό, με συνέπεια το διάλυμα του ηλεκτρολύτη να γίνεται συνεχώς πιο πυκνό. Η δεύτερη σημαντική διαφορά έχει να κάνει με τον τρόπο λειτουργίας κατά την υπερφόρτιση. Το στοιχείο, εκ κατασκευής, έχει πλεόνασμα υδροξειδίου του καδμίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Με αυτό το δεδομένο η άνοδος κατορθώνει, πάντα, να φορτίζεται πλήρως, διότι εξασφαλίζεται η ποσότητα υδροξυλίου που πρέπει να παραχθεί, ώστε να συμμετάσχει στην αντίδραση φόρτισης της ανόδου, όπως βλέπουμε και από τις εξισώσεις εκφόρτισης σε κάθε ηλεκτρόδιο (οι εξισώσεις φόρτισης ακολουθούν την αντίστροφη διαδικασία).



Εξακολουθώντας να φορτίζουμε το στοιχείο έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή οξυγόνου στην άνοδο μέσω της αντίδρασης



Το οξυγόνο που παράγεται αντιδρά με το αρνητικό ηλεκτρόδιο παράγοντας υδροξείδιο του καδμίου, το οποίο με τη σειρά του αντιδρά με τα ηλεκτρόνια της παραπάνω αντίδρασης παράγοντας κάδμιο, το συστατικό της καθόδου.

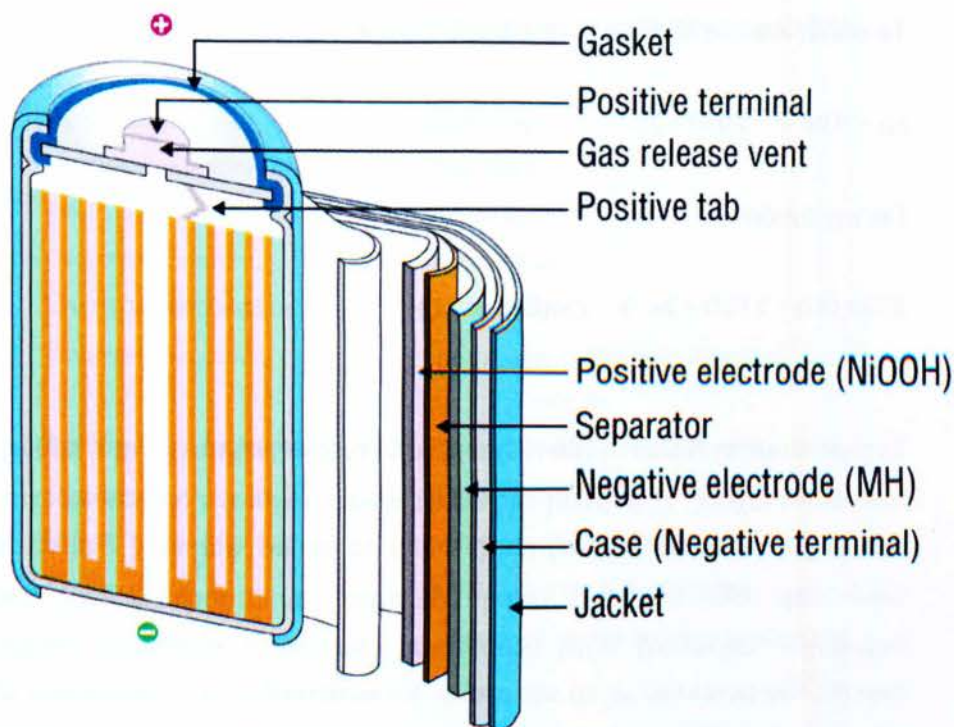
Με αυτόν τον τρόπο, ο ρυθμός παραγωγής υδροξειδίου του καδμίου εξισώνεται με τον αντίστοιχο του καδμίου, δηλαδή της αντίστροφης διαδικασίας. Το σύστημα, το οποίο περιγράψαμε, είναι απολύτως σταθερό και δεν παρουσιάζεται η ανάγκη για προσθήκη ή επίβλεψη της ποσότητας κάποιου αντιδρώντος, όπως, αντιθέτως, γίνεται στο στοιχείο lead - acid. Η υπερφόρτιση δεν βλάπτει το στοιχείο, μόνο αποτελεί άσκοπη δαπάνη ενέργειας. Η φόρτιση της πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένη διαδικασία. Αρχικά, φορτίζεται με σταθερό ρεύμα μέχρι ένα επίπεδο τάσης. Στο σημείο αυτό το ρεύμα διακόπτεται και η τάση πέφτει σε ένα μία προκαθορισμένη, μικρότερη τιμή. Στη συνέχεια, το ρεύμα κυκλοφορεί ξανά. Αυτά τα βήματα ακολουθούνται μέχρι να φορτιστεί πλήρως η μπαταρία.

Η μπαταρία NiCd έχει πολλά προτερήματα, όπως μεγάλη ειδική ενέργεια, μεγάλη διάρκεια ζωής, λειτουργία και σε ακραίες θερμοκρασίες, από -40 μέχρι 80 βαθμούς Κελσίου. Επιπλέον, λόγω της σταθερότητας της λειτουργίας της έχει χαμηλούς ρυθμούς αυτοεκφόρτισης. Απαλλασσόμαστε, λοιπόν, από τη διαδικασία της επίβλεψης και της συντήρησης της, όταν δεν τη χρησιμοποιούμε. Πρόκειται για ιδιαίτερα στιβαρή κατασκευή με υψηλό ρυθμό φόρτισης. Μειονέκτημα της NiCad είναι η χαμηλή τάση ανά cell που παρέχει, που σημαίνει αύξηση του αριθμού των cells και του κόστους αγοράς. Αν συνυπολογίσουμε τη μεγάλη εσωτερική αντίσταση συγκριτικά με την οξέος - μολύβδου, τότε έχουμε υψηλότερη κατανάλωση ισχύος στο εσωτερικό της μπαταρίας. Τέλος, το κάδμιο θεωρείται βλαβερό για το περιβάλλον και καρκινογόνο. Αυτό δυσχεραίνει την ευρεία παραγωγή και ανακύκλωση της NiCad και η εφαρμογή της στις μετακινήσεις έρχεται σε αντίθεση με το γενικότερο κλίμα της προστασίας του περιβάλλοντος. Παραθέτουμε σε πίνακα τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της.

Ειδική ενέργεια	40-55 Wh / kg, ανάλογα με το ρεύμα φόρτισης
Ενεργειακή πυκνότητα	70-90Wh /L, ανάλογα με το ρεύμα φόρτισης
Ειδική ισχύς	περίπου 125W/kg
Ονομαστική τάση	ανά cell 1.2V
Ενεργειακή απόδοση σε Ah	καλή
Εσωτερική αντίσταση	πολλή χαμηλή, 0.06Ω ανά cell για cell ενός Ah
Διαθεσιμότητα στην αγορά	δύσκολη στις απαιτούμενες για την
εφαρμογή διαστάσεις	
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40 μέχρι 80 βαθμούς Κελσίου
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	0.5% την ημέρα, πολύ χαμηλός
Διάρκεια ζωής	1200 κύκλοι για αποθηκευμένη ενέργεια
	80%
Χρόνος φόρτισης	1 ώρα, για φόρτιση μέχρι 60% 20 λεπτά

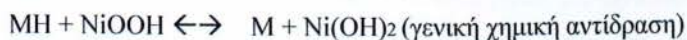
Πίνακας 15.5 Χαρακτηριστικά μπαταρίας νικελίου – καδμίου

Οι μπαταρίες νικελίου - μετάλλου υδριδίου αποτελούν δοκιμασμένη λύση αφού χρησιμοποιούνται, ήδη, σε υβριδικά οχήματα της TOYOTA (PRIUS) και της LEXUS(RX400h, 450h και αλλού) διακρίνονται από τις νικελίου - καδμίου, επειδή το αρνητικό ηλεκτρόδιο τους απαλλάσσεται από κάδμιο και κατασκευάζεται από άλλο μέταλλο. Η μεγάλη λειτουργική διαφορά είναι ότι το μέταλλο αυτό απορροφά υδρογόνο, λειτουργώντας κατά την εκφόρτιση σα fuel cell (τη λειτουργία του θα αναλύσουμε σε επόμενη ενότητα). Στο θετικό ηλεκτρόδιο, κατά την εκφόρτιση, εξελίσσεται η ίδια χημική αντίδραση με τη NiCad. Στο αρνητικό το υδρογόνο, το οποίο δεσμεύτηκε από το μέταλλο, απελευθερώνεται και αντιδρά παράγοντας νερό και ηλεκτρόνια.

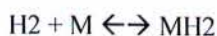


Εικόνα 15.6 Δομή στοιχείου NiMH

Η βασική αρχή λειτουργίας αυτού είναι μία αντιστρεπτή χημική αντίδραση, κατά την οποία το υδρογόνο πότε δεσμεύεται από το μέταλλο και πότε απελευθερώνεται. Το υδρογόνο πρέπει να διατηρείται σε συγκεκριμένη πίεση. Στο εσωτερικό του cell πρέπει, συνεπώς, να επικρατεί σταθερή πίεση αλλά και να μην έχει πρόσβαση ο αέρας, αφού σε αυτή την περίπτωση θα απορροφηθεί από το κράμα του μετάλλου καταλαμβάνοντας τις θέσεις που προορίζονταν για την απορρόφηση του υδρογόνου. Οι χημικές αντιδράσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται είναι οι εξής:



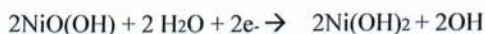
Για την κάθοδο



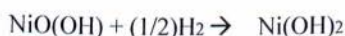
Το υδρογόνο απελευθερώνεται από το μέταλλο:



Για την άνοδο



Συγκριτικά με τη NiCad, η NiMH έχει μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, καθώς και πυκνότητα ισχύος. Η φόρτιση της NiMH γίνεται ταχύτατα (σημαντικότερο για εφαρμογές με ανάκτηση ενέργειας, όπου το ρεύμα φόρτισης διαρκεί λίγο) αλλά παρ' όλο που έχει μικρή εσωτερική αντίσταση εκλύεται αρκετή θερμότητα. Σημαντική πηγή θερμότητας είναι και η εξώθερμη αντίδραση ένωσης του μετάλλου με το υδρογόνο. Εν κατακλείδι, είναι αναγκαία η ψύξη του στοιχείου. Ένας τρόπος ψύξης, που εφαρμόζεται, είναι η προσαρμογή ανεμιστήρων στο κάλυμμα της μπαταρίας. Η διαδικασία φόρτισης ταυτίζεται με την NiCad. Μία ιδιότητα της είναι ότι η ποσότητα του ηλεκτρολύτη δε μεταβάλλεται κατά τη διαδικασία φόρτισης - εκφόρτισης και η τάση στα άκρα της μπαταρίας αλλά και η εσωτερική της αντίσταση παραμένουν σχεδόν σταθερές σε σύγκριση με άλλα είδη. Μειονέκτημα της είναι το υψηλό κόστος και ο ταχύς ρυθμός αυτοεκφόρτισης. Τα μόρια του υδρογόνου είναι πολύ μικρά και καταφέρνουν να «αποδράσουν» από το μέταλλο, κατευθυνόμενα προς το θετικό ηλεκτρόδιο, αντιδρώντας και δημιουργώντας υδροξείδιο του νικελίου, σύμφωνα με την εξίσωση



Εδώ, συμπεριλαμβάνονται τα πιο ουσιώδη στοιχεία της μπαταρίας NiMH

Ειδική ενέργεια	65 Wh/ kg
Ενεργειακή πυκνότητα	150 Wh/ L
Ειδική ισχύς	200 W/ kg
Ονομαστική τάση	ανά cell 1.2V
Ενεργειακή απόδοση σε Ah	πολύ καλή
Εσωτερική αντίσταση	πολύ μικρή, 0.06 Ω ανά cell για cell ενός Ah
Διαθεσιμότητα στην αγορά	γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες
Θερμοκρασία λειτουργίας	περιβάλλοντος
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	μέχρι και 5% την ημέρα
Διάρκεια ζωής	1000 κύκλοι για 80% εκφόρτιση
Χρόνος φόρτισης	μία ώρα, 20 λεπτά για φόρτιση μέχρι το 60%

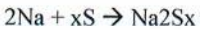
Πίνακας 15.7 Χαρακτηριστικά μπαταρίας νικελίου – μετάλλου υδριδίου

(15.4.1) ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΑΤΡΙΟΥ (Na)

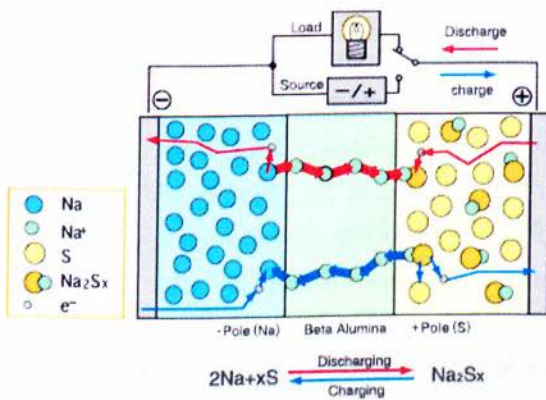
Τα είδη των μπαταριών, τα οποία βασίζονται στο νάτριο είναι τα στοιχεία θειούχου νατρίου και τα στοιχεία νατρίου - χλωριδίου μετάλλου ή αλλιώς zebra. Τα κοινά γνωρίσματα τους είναι η ύπαρξη υγρού νατρίου σε ένα ή και στα δύο ηλεκτρόδια τους και ο στερεός κεραμικός ηλεκτρολύτης. Επιπλέον, λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες (300- 350 βαθμούς Κελσίου) και τοποθετούνται σε ερμητικά κλεισμένα περιβλήματα.

Στο στοιχείο θειούχου νατρίου το αρνητικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από υγρό νάτριο και το θετικό από υγρό θειούχο πολυσουλφίδιο. Ο ηλεκτρολύτης είναι στερεό, κεραμικό αργιλιοξειδίο, το οποίο άγει τα ιόντα του νατρίου και δρα ως διαχωριστική επιφάνεια για τα δύο ηλεκτρόδια. Τα cells διακρίνονται για το πολύ μικρό τους μέγεθος. Είναι αναπόφευκτο ότι το στοιχείο πρέπει να προθερμαίνεται αργά στη θερμοκρασία λειτουργίας, για να είναι έτοιμο για χρήση. Κατά τη λειτουργία του θερμαίνεται μέσω των θερμικών απωλειών αγωγής, εξαιτίας της εσωτερικής του αντίστασης. Ένα μειονέκτημα είναι ότι

όταν δε λειτουργεί για πάνω από μία μέρα πρέπει να θερμαίνεται το εσωτερικό του. Ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω της ένωσης του νατρίου με το θείο, όπου προκύπτει θειούχο νάτριο. Η χημική αντίδραση είναι:



Η θέρμανση της μπαταρίας χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Η ύπαρξη αντενεργών στοιχείων στα δύο ηλεκτρόδια και ο διαχωρισμός τους, αποκλειστικά από ένα εύθραυστο κεραμικό υλικό σε σχήμα σωλήνα, δεν εγγυάται την ασφάλεια του οχήματος και των επιβατών.



Εικόνα 15.8 Μπαταρία Θειούχου Νατρίου

Ο πίνακας απεικονίζει τα γνωρίσματα της μπαταρίας θειούχου νατρίου:

Ειδική ενέργεια	100 W / kg (μέχρι και 200 W / kg)
Ενεργειακή πυκνότητα	150 Wh/ L
Ειδική ισχύς	200 W/ kg
Ονομαστική τάση	ανά cell 2V
Ενεργειακή απόδοση σε Ah	πολλή καλή
Εσωτερική αντίσταση	παρόμοια με τη NiCad
Διαθεσιμότητα στην αγορά	καθόλου!
Θερμοκρασία λειτουργίας	300- 350 βαθμοί κελσίου
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	πολύ αργός, απαιτείται θέρμανση όταν δε λειτουργεί!
Διάρκεια ζωής	περίπου 1000 κύκλοι για 80% αποθηκευμένη ενέργεια
Χρόνος φόρτισης	8 ώρες

Πίνακας 15.9 Χαρακτηριστικά μπαταρίας θειούχου νατρίου

Η μπαταρία νατρίου χλωριδίου - μετάλλου έχει όλα τα πλεονεκτήματα της χλωριούχου νατρίου και έχει απαλείψει τα περισσότερα από τα μειονεκτήματα της. Με αυτό το είδος στοιχείου αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της ασφάλειας, το οποίο αναφέραμε στο χλωριούχου νατρίου. Το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από χλωρίδιο νικελίου, το οποίο βρίσκεται πλέον σε στερεά κατάσταση και διαχωρίζεται από το αρνητικό (υγρό νάτριο) μέσω στερεού και υγρού ηλεκτρολύτη. Η αντοχή της έχει δοκιμαστεί επιτυχημένα σε ειδικές δοκιμές, οι οποίες περιλαμβάνουν κρούσεις με προκαθορισμένη ταχύτητα πάνω σε συγκεκριμένα υλικά.

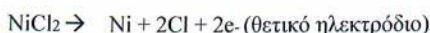


Εικόνα 15.10 Μπαταρία ZEBRA

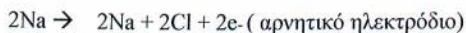
Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας από την αντίδραση του νατρίου με χλωρίδιο του νικελίου, δίνοντας νικέλιο και χλωρίδιο του νατρίου. Η χημική αντίδραση συμβολίζεται μέσω της εξίσωσης:



Τα ιόντα χλωρίου κινούνται μέσω του θετικού ηλεκτροδίου στο αρνητικό. Σε καθένα ηλεκτρόδιο συμβαίνουν οι εξής αντιδράσεις



Στο τέλος μένει μόνο Ni, αφού το Cl ταξιδεύει προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο



Ένα μειονέκτημα αυτού στοιχείου είναι ότι στο τελευταίο στάδιο της εκφόρτισης μειώνεται σημαντικά η τάση στα άκρα της μπαταρίας από 2.5V στα 1.6V. Η αύξηση της εσωτερικής αντίστασης οξύνει αυτό το φαινόμενο. Βεβαίως, χρειάζεται κι αυτή υψηλή θερμοκρασία για να λειτουργήσει σωστά (της τάξεως των 320 βαθμών Κελσίου). Η έξοδος της θερμότητας εκτός του στοιχείου εμποδίζεται, τοποθετώντας την σε ειδική συσκευασία από ατσάλι με διπλά τοιχώματα σε απόσταση 2 - 3cm μεταξύ τους.

Ο αέρας στο ενδιάμεσο των τοιχωμάτων έχει απομακρυνθεί με προσοχή, ώστε να επικρατεί κενό αέρος και να εμποδίζεται η απαγωγή της θερμότητας. Όπως και στην περίπτωση της θειούχου νατρίου, η μπαταρία αυτή, όταν δε λειτουργεί για κάποιες ώρες και πλέον, χρειάζεται να βρίσκεται συνδεδεμένη με πηγή ώστε να διατηρείται ζεστή μέσω των απωλειών Joule. Προφανώς, οι απώλειες για τη θέρμανση της έχουν μία τιμή συγκρίσιμη με την ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει, γεγονός διόλου ευκαταφρόνητο. Εννοείται ότι η μπαταρία μπορεί να αφεθεί να κρυώσει. Για να μπορέσουμε όμως να την ξαναχρησιμοποιήσουμε θα χρειάζεται να τη θερμάνουμε αργά και σταθερά για περίπου 24 ώρες.

Ακολουθεί ο πίνακας με τα στοιχεία της μπαταρίας νατρίου - χλωριδίου μετάλλου.

Ειδική ενέργεια	100 W/ kg
Ενεργειακή πυκνότητα	150 W/ L
Ειδική ισχύς	150 W/ kg
Ονομαστική τάση	ανά cell περίπου 2V(2.5 πλήρως φορτισμένη)
Ενεργειακή απόδοση σε Ah	πολλή υψηλή
Εσωτερική αντίσταση	πολλή χαμηλή αλλά υψηλή στο τέλος της εκφόρτισης
Διαθεσιμότητα στην αγορά	διαθέσιμη αλλά σε λίγους προμηθευτές
Θερμοκρασία λειτουργίας	300- 350 βαθμούς Κελσίου
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	όταν δε χρησιμοποιείται χρειάζεται να παραμένει σε κάποια υψηλή θερμοκρασία και η απώλεια ενέργειας αντιστοιχεί σε 10% αυτοεκφόρτιση ημερησίως
Διάρκεια ζωής	πάνω από 1000 κύκλοι

Πίνακας 15.11 Χαρακτηριστικά μπαταρίας χλωριδίου – μετάλλου

(15.4.2) ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ (Li)

Πρόκειται για την μπαταρία με τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα αλλά και το μεγαλύτερο κόστος. Χρησιμοποιείται σε μικρές και μεγάλες εφαρμογές. Υπάρχουν προβλήματα στο θέμα της ασφάλειας. Λόγω, όμως των μεγάλων δυνατοτήτων της, η εξέλιξη της είναι διαρκής. Θεωρείται ο πλέον υποσχόμενος τύπος μπαταρίας. Βρίσκεται στα πρώτα στάδια εξέλιξης, γι αυτό η τιμή της είναι, ακόμη, πολλή υψηλή συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη. Δύο είδη μπαταριών λιθίου που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι λιθίου - πολυμερούς και οι ιόντων λιθίου.

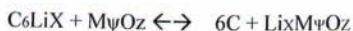
Τα στοιχεία λιθίου- πολυμερούς έχουν λίθιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο τους και μία στρώση οξειδίου μετάλλου στο θετικό. Το λίθιο αντιδρά με το οξείδιο του μετάλλου παράγοντας οξείδιο του λιθίου και εκλύοντας ενέργεια. Το λίθιο λειτουργεί ως αντιδρούν και, ταυτόχρονα, κινείται μέσα στον ηλεκτρολύτη. Η χημική εξίσωση, η οποία περιγράφει αυτό το φαινόμενο είναι:



Το λίθιο στερεάς κατάστασης στο αρνητικό ηλεκτρόδιο προξενεί προβλήματα ασφάλειας στο cell, τα οποία αντιμετωπίζονται με τη μπαταρία ιόντων λιθίου.

Η μπαταρία ιόντων λιθίου έχει στο θετικό της ηλεκτρόδιο μία στρώση οξειδίου μετάλλου, ενώ στο αρνητικό λιθιούχο άνθρακα. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υγρό οργανικό διάλυμα ή στερεό πολυμερές.

Η ηλεκτρική ενέργεια εκλύεται από την αντίδραση του λιθιούχου άνθρακα με το οξείδιο λιθιούχου μετάλλου. Η αντίδραση αυτή έχει ως προϊόντα άνθρακα και οξείδιο λιθιούχου μετάλλου. Η χημική εξίσωση, η οποία διέπει αυτή την αντίδραση είναι:



Πρέπει να αναφέρουμε ότι η φόρτιση της μπαταρίας γίνεται μόνο με άμεσο έλεγχο της τάσης φόρτισης με τη χρήση ειδικού φορτιστή.

Τα γνωρίσματα της μπαταρίας ιόντων - λιθίου αναγράφονται στον πίνακα:

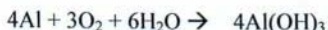
Ειδική ενέργεια	90 W/ kg
Ενεργειακή πυκνότητα	153 W/ L
Ειδική ισχύς	300 W/ kg
Ονομαστική τάση ανά cell	3.5V
Ενεργειακή απόδοση σε Ah	πολλή καλή
Εσωτερική αντίσταση	πολλή χαμηλή
Διαθεσιμότητα στην αγορά	σε λίγους προμηθευτές, κυρίως όμως για μικρές εφαρμογές
Θερμοκρασία λειτουργίας	περιβάλλοντος
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	πολύ χαμηλός, 10% ανά μήνα
Χρόνος φόρτισης	2- 3 ώρες

Πίνακας 15.12 Χαρακτηριστικά ιόντων λιθίου

(15.4.3) ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣ – ΜΕΤΑΛΛΟΥ

Οι μπαταρίες αέρος- μετάλλου βασίζονται σε μία εντελώς διαφορετική λογική σε σχέση με τις υπόλοιπες μπαταρίες. Η φόρτιση του στοιχείου δε μπορεί να διαδεχθεί την εκφόρτιση, απλά αντιστρέφοντας τη φορά του ρεύματος. Η φόρτιση του γίνεται αντικαθιστώντας τα μεταλλικά ηλεκτρόδια του (αλλά και τον ηλεκτρολύτη του) με νέα. Η μπαταρία είναι, πλέον, έτοιμη για εκφόρτιση. Υπάρχουν δύο είδη μπαταριών αέρος μετάλλου: οι αέρος αλουμινίου και οι αέρος ψευδαργύρου.

Στις μπαταρίες αέρος- αλουμινίου το αλουμίνιο του αρνητικού ηλεκτροδίου αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και του νερού έχοντας ως προϊόν υδροξείδιο του αλουμινίου. Το θετικό ηλεκτρόδιο έχει πορώδη μορφή και αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα πάνω στο οποίο έχει προσαρμοστεί μία στρώση από καταλυτικό άνθρακα. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα αλκαλικό διάλυμα. Ταυτόχρονα, εκλύεται ηλεκτρική ενέργεια. Η χημική αντίδραση, όπως αναφέραμε, είναι μη αντιστρεπτή:

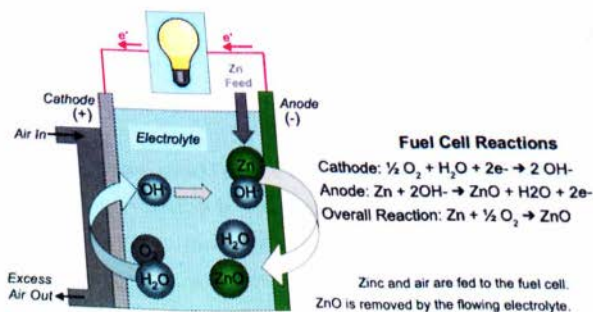


Το αλουμίνιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχει μορφή ελάσματος πάχους περίπου 1cm και κατά την εκφόρτιση συνεχώς συρρικνώνεται. Στο τέλος αντικαθιστούμε αυτά τα ηλεκτρόδια με νέα. Όπως, καταλαβαίνουμε η φόρτιση της γίνεται ιδιαίτερα γρήγορα. Το μεγάλο μειονέκτημα του στοιχείου είναι η εξαιρετικά μικρή ειδική ισχύς. Είναι χαρακτηριστικό ότι για να μας παρέχει στην έξοδο του 20kW ισχύ, απαιτούνται 2 τόνοι μπαταρίας. Αυτό το γεγονός αποκλείει τη μπαταρία από τις περισσότερες εφαρμογές στην αυτοκίνηση.

Ειδική ενέργεια	225 Wh/ kg
Ενεργειακή πυκνότητα	195 Wh/ L
Ειδική ενέργεια	10 W/ kg
Ονομαστική τάση ανά cell	1.4V
Εσωτερική αντίσταση	αρκετά υψηλή
Διαθεσιμότητα στην αγορά	σε άλλου είδους εφαρμογές
Θερμοκρασία λειτουργίας	περιβάλλοντος
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	πολύ υψηλός, κοντά στο 10% ημερησίως μπορεί να γίνει χαμηλός, αφαιρώντας τον ηλεκτρολύτη
Διάρκεια ζωής	τουλάχιστον 1000 κύκλοι
Χρόνος φόρτισης	10 λεπτά

Πίνακας 15.13 Χαρακτηριστικά μπαταρίας αέρος – αλουμινίου

Η λειτουργία της μπαταρίας αέρος - ψευδαργύρου είναι παρόμοια με αυτή της αέρος- αλουμινίου. Έχει, όμως, το πλεονέκτημα της σχεδόν δεκαπλάσιας ειδικής ισχύος, τιμή που πλησιάζει τα άλλα είδη μπαταριών. Το θετικό ηλεκτρόδιο της έχει πορώδη μορφή και το αρνητικό είναι στερεός ψευδάργυρος.



Εικόνα 15.14 Μπαταρία αέρος – ψευδαργύρου

Ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό αλκαλικό διάλυμα. Η ενέργεια εκλύεται συνδυάζοντας τον ψευδάργυρο με το οξυγόνο του αέρα και σχηματίζοντας οξείδιο ψευδαργύρου. Η διαδικασία είναι μη αντιστρεπτή. Η εύρεση του τύπου αυτού για τη ζητούμενη εφαρμογή στο εμπόριο είναι πολύ δύσκολη αλλά η διαρκής εξέλιξη της θα την κάνει πιο προσιτή.

Ειδική ενέργεια	230 Wh / kg
Ενεργειακή πυκνότητα	270 Wh / L
Ειδική ισχύς	105 W / kg
Ονομαστική τάση ανά cell	1.2V
Εσωτερική αντίσταση	μεσαία
Διαθεσιμότητα στην αγορά	ελάχιστοι προμηθευτές
Θερμοκρασία λειτουργίας	περιβάλλοντος
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης	υψηλός(δεν αφαιρείται ο ηλεκτρολύτης)
Διάρκεια ζωής	πάνω από 2000 κύκλοι
Χρόνος φόρτισης	10 λεπτά

Πίνακας 15.15 Χαρακτηριστικά μπαταρίας αέρος – ψευδαργύρου

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι και στα δύο αυτά είδη μπαταριών τα χρησιμοποιημένα αρνητικά ηλεκτρόδια μπορούν να συλλεχθούν και με κατάλληλη Ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό αλκαλικό διάλυμα. Η ενέργεια εκλύεται συνδυάζοντας τον ψευδάργυρο με το οξυγόνο του αέρα και σχηματίζοντας οξειδίο ψευδαργύρου. Η διαδικασία είναι μη αντιστρεπτή. Η εύρεση του τύπου αυτού για τη ζητούμενη εφαρμογή στο εμπόριο είναι πολύ δύσκολη αλλά η διαρκής εξέλιξη της θα την κάνει πιο προσιτή.

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι και στα δύο αυτά είδη μπαταριών τα χρησιμοποιημένα αρνητικά ηλεκτρόδια μπορούν να συλλεχθούν και με κατάλληλη επεξεργασία να χρησιμοποιηθούν ξανά.

(15.5) ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

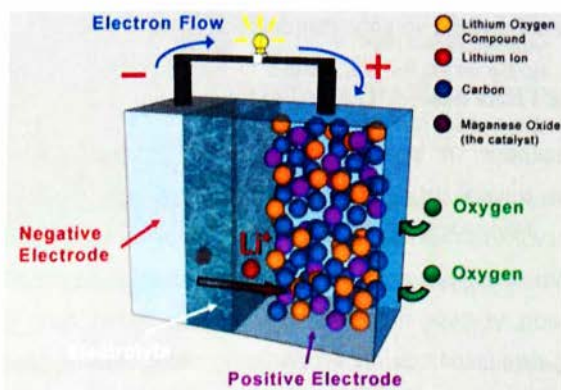
Όπως αναφέραμε, η φόρτιση κάθε τύπου μπαταρίας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και συγκεκριμένη τεχνική. Εκτός εξαιρέσεων, η φόρτιση της γίνεται από πηγή εναλλασσόμενης τάσης, η οποία πρέπει να υποστεί ανόρθωση, ώστε να γίνει συνεχής και να φορτίσει την μπαταρία. Το ανορθωμένο ρεύμα έχει κυμάτωση, γεγονός που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Αν η τάση λόγω της κυμάτωσης είναι μικρότερη της ονομαστικής τάσης φόρτισης της μπαταρίας, η μπαταρία δε φορτίζει. Αν, πάλι, η τάση φόρτισης υπερβεί κατά πολύ την ονομαστική τάση φόρτισης, μπορεί να προκληθούν βλάβες στην μπαταρία. Όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα προς ανόρθωση, τόσο δυσκολότερο είναι να απαλειφθεί η κυμάτωση. Είναι σημαντικό η μπαταρία να συνοδεύεται από κατάλληλο φορτιστή.

(15.6) ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε, οι συσσωρευτές που είναι πιο πιθανό να επικρατήσουν στο μέλλον της ηλεκτρικής αυτοκίνησης είναι αυτοί που χρησιμοποιούν ως βασικό τους συστατικό το λίθιο. Η διαρκής έρευνα στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας φέρνει, συνεχώς, στο προσκήνιο νέες τεχνολογίες μπαταριών λιθίου. Οι βασικότερες, οι οποίες συναντώνται είναι οι εξής:

Συσσωρευτές λιθίου – αέρος:

Οι μπαταρίες λιθίου – αέρος χρησιμοποιούν ως υλικό ανόδου το λίθιο κι ως καθόδου το οξυγόνο του αέρα περιορίζοντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, τη συνολική μάζα του στοιχείου. Προσφέρουν σχεδόν δεκαπλάσια χωρητικότητα συγκριτικά με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Μειονέκτημα των συσσωρευτών αυτών είναι η συγκέντρωση στερεών προϊόντων της χημικής αντίδρασης εκφόρτισης στην κάθοδο, γεγονός που δυσχεραίνει την επαφή του ηλεκτρολύτη με τον αέρα.



Εικόνα 15.16 Σχέδιο της αντίδρασης στο εσωτερικό στοιχείου λιθίου – αέρος

Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η τριπλάσια ποσότητα λιθίου που απαιτείται για τη λειτουργία τους. Πρόκληση αποτελεί η βελτίωση της διαδικασίας της επαναφόρτισης.

Συσσωρευτές λιθίου - θείου:

Οι συσσωρευτές αυτοί προσφέρουν σχεδόν πενταπλάσια ειδική ενέργεια συγκριτικά με τις πλέον εξελιγμένες μπαταρίες ιόντων λιθίου, δηλαδή περίπου 2600 Wh / kg έναντι 585 Wh / kg. Επιπλέον, είναι φθηνότερες από τις ιόντων – λιθίου. Βεβαίως, το είδος αυτό είναι, ακόμη, στο πρώτο στάδιο εξέλιξης.

Ιοί για την παραγωγή στοιχείων ιόντων λιθίου:

Πολύ ενδιαφέρουσα τεχνολογία είναι αυτή, όπου χρησιμοποιούνται ιοί για την παραγωγή της ανόδου και της καθόδου των στοιχείων ιόντων λιθίου. Ο τρόπος παραγωγής είναι φυσικός και φθηνός. Βεβαίως, ο ιός είναι τελείως ακίνδυνος για τον άνθρωπο και είναι δυνατόν να βλάψει μόνο βακτήρια. Η χωρητικότητα των στοιχείων που παράγονται με αυτόν τον τρόπο είναι ίδια με αυτή των συμβατικών στοιχείων ιόντων λιθίου.

Τι κάνει το στοιχείο λίθιο τόσο ξεχωριστό:

Το λίθιο έχει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα που το καθιστούν ανώτερο από τα υλικά στοιχείων άλλης τεχνολογίας. Πρωτίστως, είναι το πιο ελαφρύ στερεό στοιχείο σε θερμοκρασία δωματίου κι έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Έχει μικρή τιμή σταθεράς θερμικής επέκτασης. Η θερμική επέκταση δείχνει την τάση ενός υλικού να μεταβάλλει τον όγκο του με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Τέλος, είναι από τα πιο ενεργά στοιχεία. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες λιθίου είναι ελαφρύτερες από άλλες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ίδιας χωρητικότητας. Η υψηλή ικανότητα του στοιχείου να αντιδρά με άλλα στοιχεία δείχνει ότι μπορεί να αποθηκευθεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας στους δεσμούς του προσδίδοντας μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα στη μπαταρία.

Πηγές λιθίου

Οι ήδη υπάρχουσες και οι πιθανές μελλοντικές πηγές λιθίου είναι η άλμη, ο πηγματίτης, οι περιοχές άντλησης πετρελαίου, η γεωθερμική άλμη και το jadarite (νάτριο βόριο πυριτικό υδροξείδιο του λιθίου). Ο πηγματίτης είναι πυριγενές πέτρωμα που προέκυψε από την κρυστάλλωση μαγματικών υγρών. Πηγές λιθίου από άλμη βρίσκονται στη Χιλή, τη Βολιβία, την Αργεντινή, τη Δυτική Κίνα και το Θιβέτ. Πηγές πηγματίτη υπάρχουν πολλές στις ΗΠΑ και στην Κίνα.

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παραπάνω πτυχιακή εργασία αναφερθήκαμε εκτεταμένα στην εξέλιξη της υβριδικής τεχνολογίας, στα οχήματα με ηλεκτροκίνηση καθώς επίσης και το πώς τελικά επηρεάζουν τη ζωής μας. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά αναφέρεται ο ορισμός ενός υβριδικού συστήματος προσπαθώντας να κατανοήσουμε το πώς συνδυάζονται μονάδες, χρησιμοποιώντας νέες πηγές ενέργειας, προκειμένου να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια ή και θερμότητα. Στην συνέχεια, έγινε αναφορά για το λόγο που έγινε επιβεβλημένη η προσπάθεια για την κατασκευή τέτοιων συστημάτων προκειμένου να αποφευχθεί απώλεια ενέργειας και η σωστή χρήση της.

Σε όλη την πορεία προόδου της υβριδικής τεχνολογίας διαπιστώνεται ότι έχουν επιτευχθεί σημαντικοί στόχοι σε ότι αφορά την χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Κατά τη διάρκεια της πορείας αυτής διακρίνονται τα εξής στάδια

- A. Μικρουβριδική τεχνολογία
- B. Πλήρως υβριδικά αυτοκίνητα
- C. Πλήρως υβριδικά αυτοκίνητα τα οποία προσλαμβάνουν και αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο και
- D. Ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα με πρόσθετο ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος για την επαύξηση της αυτονομίας τους τα οποία επίσης είναι υβριδικά και στο μέλλον θα μπορούν αντί του ηλεκτροπαραγωγικού ζεύγους που κινείται από θερμικό κινητήρα να κινούνται από μια συστοιχία ενεργειακών στοιχείων που θα λειτουργεί με υδρογόνο και θα παράγει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια.

Μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, όπως η **Formula 1** και η **porche**, εκμεταλλεύονται την υβριδική τεχνολογία προκειμένου να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους αλλά και ταυτόχρονα την εμπορική τους δραστηριότητα. Ωστόσο, παρατηρείται μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο για τεχνοοικονομικά οφέλη αλλά γίνεται και μια μεγάλη προσπάθεια ώστε να είναι φιλική στο περιβάλλον, μειώνοντας τους ρύπους CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Μεγάλο ρόλο στην ηλεκτροκίνηση διαδραματίζει και ο τρόπος με τον οποίο ανεφοδιάζεται ένα όχημα. Για το λόγο αυτό, τα οχήματα κατηγοριοποιήθηκαν σε ανεφοδιαζόμενα από πρατήρια υγρών καυσίμων, από το δίκτυο και με δυνατότητα φόρτισης των συσσωρευτών τους από το δίκτυο. Αναμφισβήτητα, όλες αυτές οι κατηγορίες έχουν και τα δικά τους χαρακτηριστικά, και αυτό μπορεί κάποιος εύκολα να το διαπιστώσει παρατηρώντας τα υβριδικά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν. Αυτό βέβαια έγκειται και στις προτιμήσεις, όσον αφορά την τεχνολογία, κάθε υποψήφιου αγοραστή. Το θετικό είναι ότι όλες οι αυτοκινητοβιομηχανίες ασχολήθηκαν παράγοντας τέτοιου είδους αυτοκίνητα, όπως η TOYOTA, η HODA, η FORD, η MERCEDES, η Tesla και η INDUS.

Κύριο κριτήριο για αυτές τις εταιρίες αποτέλεσε και η σωστή επιλογή του κινητήρα κάθε οχήματος, με βάση τον οποίο θα επιλέξει και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του. Συνεπώς, με βάση την αρχή λειτουργίας τους, έχουμε κινητήρες με συνεχές ρεύμα, με μόνιμο μαγνήτη στο δρομέα, με τριφασικό τύλιγμα στο στάτη και μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα και τέλος ασύγχρονους κινητήρες, οι οποίοι διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο του δρομέα που διαθέτουν.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και ο τρόπος που αποθηκεύεται η ενέργεια σε ένα υβριδικό όχημα, χρησιμοποιώντας υπερπυκνωτές, ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές ή μπαταρίες.

Συνοψίζοντας, η υβριδική τεχνολογία σίγουρα απασχολεί και θα απασχολεί τον επιστημονικό χώρο αλλά και τον σύγχρονο άνθρωπο. Θα εξελίσσεται όλο και περισσότερο προκειμένου να βελτιώσει την καθημερινότητά μας αλλά πάντα με σεβασμό προς το περιβάλλον, αφού μην ξεχνάμε ότι η γενική η ιδέα της υβριδικής τεχνολογίας ξεκίνησε βασιζόμενη σε αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) Hybrid Vehicles in Relation to Legislation, Regulations and Policy
Richard Smokers, TNO Automotive, the Netherlands
- (2) Government Deployment Strategies for Hybrid, Electric and Alternative Fuel Vehicles Examined Sigrid Kleindienst, Engineers Office Muntwyler, Zollikofen CH
- (3) Government Deployment Strategies for Hybrid, Electric and Alternative Fuel Vehicles Examined Sigrid Kleindienst, Engineers Office Muntwyler, Zollikofen CH
- (4) Energy Efficiency of Fleet used electric Vehicles Tomio Onoda, Tokyo Electric Power Company
- (5) The Incentive Project for the Purchase of Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles in Japan (part 4) Tetsuo Tekeishi, Japan Electric Vehicle Association
- (6) Electric Vehicle Engineering Technology - Associated Degree Program
Robert Kozak, York Technical College, USA
- (7) www.evworld.com
- (8) www.nrel.gov
- (9) www.hybridcars.gr
- (11) www.teslamotors.com
- (12) www.toyota.gr

(13) www.enfo.gr

(14) ismini-fabiatou-news.blogspot.com

(15) www.wikipedia.com

(16) Sandeep Dhameja, «ELECTRIC VEHICLE BATTERY SYSTEMS
Newnes, 2002

(17) Ali Emadi, «Handbook of Automotive Power Electronics and Motor
Drives», CRC Press Taylor & Francis Group, 2005

(18) Bobby Maher, «Ultracapacitors and the Hybrid Electric Vehicle», Maxwell
Technologies

(19) www.evisol.com

(20) www.formula1.com

(21) www.texnikanea.gr

(22) www.allaboutenergy.gr

