ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

Γεώργιος Καρκάνης

Διπλ/χος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Επιβλέπων: Δρ.-Μηχ. Δ. Κουλοχέρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2015

Περίληψη

Στην εποχή που διανύουμε η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η υπερκατανάλωση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά τις μετακινήσεις, μας οδήγησαν στη χρήση εναλλακτικών τρόπων μετακίνησης «φιλικότερων» προς το περιβάλλον και οικονομικότερων ως προς τη χρήση.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία γίνεται μια εισαγωγή για τη ρύπανση του περιβάλλοντος που προκαλείται από τα οχήματα και αναφέρονται οι ρυπογόνες ουσίες που παράγονται κατά την χρήση τους. Εισαγωγικά, γίνεται μια μικρή αναφορά στους εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης με τα υβριδικά οχήματα.

Στη συνέχεια εντοπίζεται μια μικρή ιστορική αναδρομή στην τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων και περιγράφονται οι διάφορες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στη χρήση των υβριδικών οχημάτων. Αναφέρεται ο βαθμός υβριδοποίησης των οχημάτων και χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με αυτόν. Επίσης γίνεται μια μικρή ανάλυση σε δύο σημαντικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν τα υβριδικά οχήματα για την επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας καυσίμου και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας που χάνεται κατά την πέδηση του οχήματος.

Ακολουθεί μια εκτενέστερη ανάλυση στα επιμέρους υποσυστήματα των υβριδικών οχημάτων όπως ο ηλεκτρικός κινητήρας, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται και ο αντιστροφέας για την τροφοδότηση με εναλλασσόμενο ρεύμα στους ηλεκτρικούς κινητήρες. Μέσα από αυτή την ανάλυση φαίνεται και ο ηλεκτρικός χαρακτήρας των υβριδικών οχημάτων, στον οποίο οφείλεται ο «πράσινος» χαρακτήρας των οχημάτων αυτών.

Στο σημείο αυτό αναφερόμαστε σε μια ιδιαίτερη κατηγορία υβριδικών οχημάτων τα οποία παρά την ύπαρξη συμβατικού κινητήρα, θεωρητικά μπορούν να κινηθούν μόνο με ηλεκτροκίνηση. Αυτή η κατηγορία αποτελεί ουσιαστικά την εξέλιξη των υβριδικών οχημάτων.

Τέλος γίνεται μια παρουσίαση σε σημαντικά σύγχρονα μοντέλα υβριδικών οχημάτων τα οποία ενσωματώνουν τις τεχνολογίες που έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια.

Abstract

In our modern time, the increase of air pollution and the overconsumption of non renewable resources during our transportations, have lead as in using of alternative means of transportation more “friendly” for the environment and of course with less cost during usage of those means of transportation.

In this thesis there is an introduction for the pollution of the ecosystem with the usage of our vehicles and the most pollutant substances that are produced during the usage of vehicle are mentioned. Moreover, there is a small reference in alternate means of transportation with the use of hybrid vehicles.

In addition, there is a small historic flashback in the technologies for a hybrid vehicle and several technologies that are used in a hybrid vehicle are described. Hybridization grade for vehicles is mentioned and explained and vehicles are divided in several categories with the usage of this grade. Moreover, there is a reference in two very important technologies that are being used in hybrid vehicles for the achievement of greater fuel economy and reuse of energy that in other ways would be lost during a vehicle’s breaking.

In the next chapter, there is an extensive analysis of the subsystems of hybrid vehicles like the electric motor, the batteries and the inverter that is used to start an electric motor with the alternative current that they need. Through this analysis the electric character of the hybrid vehicles is seen, which is responsible for the ecology friendly character of those cars.

At this point, there is a reference in a special category of hybrid cars that despite the existence of an internal combustion engine, theoretically they can be used exclusively as electric vehicles. This category of hybrid cars can be called the revolution of hybrid vehicles.

Finally, there is a presentation about the most important modern hybrid vehicles that use the technologies which were mentioned in the previews chapters.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου κ. Κουλοχέρη Δημήτριο τόσο για την ανάθεση όσο και για την επίβλεψη της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια μου για την υποστήριξη και τη συμπαράσταση που μου παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια σε κάθε δύσκολη και εύκολη στιγμή της ζωής μου και της μέχρι τώρα πορείας μου.

Το σπουδαιότερο καθήκον του ανθρώπου στη ζωή είναι να δώσει πνοή στον εαυτό του, να γίνει αυτό που μπορεί να είναι. Το ουσιαστικό προϊόν των προσπαθειών του είναι ι ίδια η προσωπικότητά του.

Θ. Ρούζβελτ

Περιεχόμενα

Περίληψη **2**

Abstract **3**

Περιεχόμενα **5**

1. Ρύπανση του περιβάλλοντος **7**

1.1 Κατανάλωση Πετρελαίου στις μεταφορές 7

1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση – Περιβαλλοντικό πρόβλημα 8

1.3 Εναλλακτικές προτάσεις μετακίνησης 11

2. Υβριδική Τεχνολογία **17**

2.1 Ιστορική αναδρομή 17

2.2 Ορισμός Υβριδικού οχήματος 18

2.3 Ανάλυση υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος 19

2.3.1 Σειριακά Συστήματα μετάδοσης ισχύος 20

2.3.2 Παράλληλα συστήματα μετάδοσης ισχύος 22

2.3.3 Μικτά συστήματα μετάδοσης ισχύος 23

2.4 Είδη υβριδικών οχημάτων 25

2.4.1 Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV) 25

2.4.2 Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με κυψέλες καυσίμου (FCV) 25

2.4.3 Υβριδικό υδραυλικό όχημα 28

2.4.4 Υβριδικό πνευματικό όχημα 29

2.5 Βαθμός Υβριδοποίησης 31

2.5.1 Μικρο – υβριδικά (Micro Hybrid ή Power Assist Hybrid) 32

2.5.2 Ήπια υβριδικά (Mild Hybrid) 33

2.5.3 Πλήρως υβριδικά (Full Hybrid) 34

2.5.4 Υβριδικά με σύστημα εξωτερικής ηλεκτρικής φόρτισης (Plug – in Hybrid) 35

2.6 Συστήματα που εφαρμόζονται σε υβριδικά οχήματα 36

2.6.1 Σύστημα «start - stop» 36

2.6.2 Σύστημα ανάκτησης ενέργειας «Regenerative Braking» 37

2.7 Πλεονεκτήματα υβριδικών οχημάτων 38

3. Υποσυστήματα Υβριδικών Ηλεκτρικών οχημάτων **41**

3.1 Εισαγωγή 41

3.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες 41

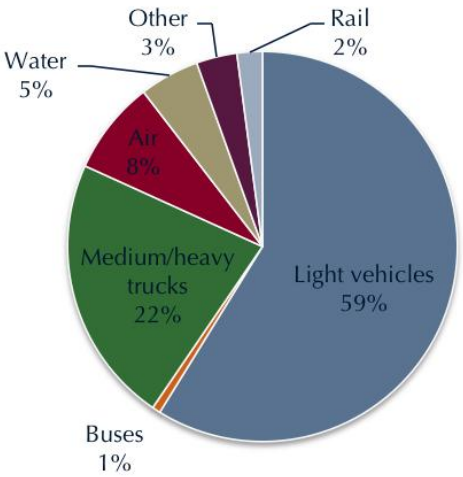
3.2.1 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC motor) 42
3.2.2 Σύγχρονος κινητήρας (Synchronous motor)..... 45
3.2.3 Ασύγχρονος κινητήρας (Asynchronous motor)..... 46
3.2.4 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες (DC brushless motor)..... 48
3.2.5 Σύγκριση ηλεκτρικών κινητήρων..... 48
3.3 Μέσα αποθήκευσης ενέργειας..... 50
3.3.1 Η μπαταρία NiMH..... 51
3.3.2 Η μπαταρία Li - ion 53
3.3.3 Σύγκριση μεταξύ NiMH και Li – ion για χρήση σε HEV 56
3.3.4 Μειονεκτήματα χρήσης μπαταριών στα σύγχρονα HEV 60
3.3.5 Ενεργειακές κυψέλες..... 61
3.3.6 Υπερπυκνωτές 62
3.3.7 Σφόνδυλοι..... 64
3.4 Αντιστροφείς (Inverters) 65
3.5 Ροή Ισχύος σε HEV..... 68
3.6 Βενζινοκινητήρας με κύκλο Atkinson..... 69
4. Plug – in υβριδικά οχήματα 73
4.1 Ορισμός – Περιγραφή 73
4.2 Τεχνολογία στα PHEVs..... 75
4.2.1 Συστήματα μετάδοσης ισχύος 76
4.2.2 Τρόποι λειτουργίας..... 77
4.2.3 Μπαταρίες σε ένα PHEV..... 79
4.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των PHEVs..... 80
5. Σύγχρονα υβριδικά οχήματα και τεχνολογίες.....82
5.1 Το σύστημα Synergy της Toyota..... 82
5.2 Honda Civic Hybrid 84
5.3 Chevrolet Volt (Opel Ampera)..... 86
5.4 Lexus LS 600h..... 90
6. Συμπεράσματα.....92
Βιβλιογραφία 93

1. Ρύπανση του περιβάλλοντος

1.1 Κατανάλωση Πετρελαίου στις μεταφορές

[1] – [5] Οι μετακινήσεις και οι μεταφορές αποτελούν καθοριστικό παράγοντα ανάπτυξης στο σύγχρονο κόσμο. Η κατανάλωση της ενέργειας σε αυτό τον τομέα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Το 60% της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαιοειδών απορροφάται στις μεταφορές. Αν και αναμένεται το ποσοστό υγρών καυσίμων στο σύνολο να μειωθεί, εντούτοις προβλέπεται αύξηση της ημερήσιας κατανάλωσης μέχρι το 2030 τουλάχιστον κατά 40%. Το ποσοστό ειδικά του τομέα μεταφορών στην κατανάλωση υγρών καυσίμων αναμένεται να ανέβει στο 70%. Αναφορά του Αμερικάνικου Υπουργείου Ενέργειας προβλέπει αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας τουλάχιστον κατά 50% μέχρι το 2030, με το μεγαλύτερο μερίδιο της αύξησης να προέρχεται από τις αναπτυσσόμενες χώρες. Τα μερίδια της Κίνας – Ινδίας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από το 8% (αθροιστικά) το 1980 θα ανέβουν στο 25% το 2030, ενώ της Αμερικής από το 22% που είναι, θα πέσει στο 17%. Σύμφωνα πάλι με την ίδια αναφορά και το πιο μετριοπαθές σενάριο, για την ίδια περίοδο οι τιμές του πετρελαίου θα παραμείνουν σχετικά υψηλές.

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέσο μεταφοράς είναι το αυτοκίνητο και ακολουθούν με μεγάλη διαφορά τα αεροπλάνα, τα πλοία και τα τρένα. Η αποκλειστική εξάρτηση των μεταφορικών μέσων από το πετρέλαιο και η κυριαρχία των οδικών μεταφορών δεν έχουν μόνο περιβαλλοντικές συνέπειες αλλά επίσης και οικονομικές. Οι οικονομικές συνέπειες γίνονται εμφανείς μετά από κάθε πετρελαϊκή κρίση. Είναι φυσικά προφανές ότι η τρέχουσα κατάσταση δε μπορεί να συνεχιστεί. Αν δεν υπάρξουν σοβαρές τεχνολογικές αλλαγές ή μείωση της κατανάλωσης, η βασική συνέπεια θα είναι η μεγάλη αύξηση στις τιμές των καυσίμων.



Εικόνα 1.1 Ποσοστιαία χρήση των μεταφορών ανά είδος μεταφοράς

Η εξοικονόμηση ενέργειας στις μεταφορές υπόσχεται καλύτερη ποιότητα ζωής σε πόλεις πιο ανθρώπινες και καθαρές και μπορεί να επιτευχθεί με αλλαγές στα μεταφορικά μέσα, με ορθολογική οργάνωση των συγκοινωνιών, μείωση των μετακινήσεων και εφαρμογή νέων τεχνολογιών.

1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση – Περιβαλλοντικό πρόβλημα

Αφήνοντας κατά μέρος ζητήματα επάρκειας , αλλά και το κατά το πόσο ο παγκόσμιος ενεργειακός τομέας θα μπορέσει να ικανοποιήσει αυτή την τεράστια αύξηση στο ζήτηση, το μεγάλο πρόβλημα είναι αυτό της μόλυνσης του περιβάλλοντος και της κλιματικής αλλαγής.

[1],[7] Οι βασικές εκπομπές από την καύση των συμβατικών ενεργειακών καυσίμων (στερεά καύσιμα, πετρέλαιο, φυσικά αέρια) οι οποίες είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ευθύνονται για το 90% της πρόκλησης της όξινης βροχής και του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ αποκλειστική είναι σχεδόν η ευθύνη τους για το νέφος των μεγάλων πόλεων. Αναφορικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ο τομέας των μεταφορών εκπέμπει το 23% περίπου του συνολικού CO_2 στην Ελλάδα ενώ τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ραγδαία αύξηση των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου (N_2O). Οι εκπομπές επικίνδυνων αέριων ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες, το βενζόλιο και τα σωματίδια (PM) που προέρχονται από τις μεταφορές αποτελούν την κύρια αιτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα αστικά κέντρα. Οι προβλέψεις κάνουν λόγο για αύξηση των εκπομπών του CO_2 τουλάχιστον κατά 70% μέχρι το 2030 στις αναπτυσσόμενες χώρες ενώ στις ανεπτυγμένες χώρες θα είναι περίπου σταθερές οι αντίστοιχες εκπομπές. Δευτερεύουσες αλλά επίσης σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες που απορρέουν από τις οδικές μεταφορές σε αστικό ή περιαστικό επίπεδο είναι το όζον, ο θόρυβος, η κατάληψη γης για τις υποδομές μεταφορών και η διάθεση των οχημάτων που αποσύρονται από την κυκλοφορία.

Πιο συγκεκριμένα, για τις βλαβερές εκπομπές των οχημάτων έχουμε:

Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από την ατελή καύση του καυσίμου μίγματος ή διαφεύγουν από την ελαιολεκάνη του κινητήρα. Πρόκειται για υδρογονάνθρακες αλδεϊδικούς, παραφινικούς εκτεταμένης κυκλικής αλύσου και αρωματικούς οι οποίοι είναι σε θέση να ενωθούν με το οξυγόνο. Οι εργαστηριακές έρευνες απέδειξαν ότι οι ενώσεις αυτές αντιδρούν παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας και ερεθίζουν τα ανθρώπινα μάτια, μολύνουν την ατμόσφαιρα και

προκαλούν ζημιές στη βλάστηση. Είναι ακόμα υπεύθυνες για την φωτοχημική αιθαλομίχλη και ορισμένες από αυτές (ιδιαίτερα το βενζόλιο) είναι καρκινογόνες.

Οξείδια του αζώτου (NOx)

Πρόκειται για έναν από τους βασικούς συντελεστές της δημιουργίας του φωτοχημικού νέφους. Τα οξείδια του αζώτου κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχουν σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή των άκαυστων υδρογονανθράκων στα λεγόμενα φωτοχημικά οξειδωτικά και την παραγωγή όζοντος που επίσης είναι τοξικό για το αναπνευστικό σύστημα. Με τη βοήθεια του όζοντος και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας τα οξείδια του αζώτου δημιουργούν κατόπιν ένα κύκλο δευτερογενούς ρύπανσης, η οποία κάτω από τις κατάλληλες καιρικές συνθήκες καταλήγει στο σχηματισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Προέρχεται κυρίως από τους βενζινοκινητήρες. Είναι βασικό προϊόν της ατελούς καύσης των υδρογονανθράκων (και του άνθρακα γενικότερα) και όταν η συγκέντρωση του στον αέρα ξεπεράσει κάποια επίπεδα προκαλεί πονοκεφάλους και προβλήματα στο κυκλοφορικό σύστημα. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (που μπορούν να υπάρξουν όμως μόνο σε κλειστό χώρο) μπορεί να αποβεί θανατηφόρο. Το CO, πάντως, είναι ασταθής ένωση και μόλις βρεθεί στον ελεύθερο αέρα μετατρέπεται αρκετά γρήγορα σε αβλαβές διοξείδιο του άνθρακα και γι' αυτό και έχει μόνο τοπική επίδραση.

Οι 3 παραπάνω ρύποι είναι και οι σημαντικότεροι που εκλύουν οι βενζινοκινητήρες.

Καπνός

Προέρχεται κυρίως από τους πετρελαιοκινητήρες (diesel). Λόγω της συνήθους ορατής χροιάς των καυσαερίων του κινητήρα Diesel στα πιο μεγάλα φορτία εξαιτίας των σωματιδιακών εκπομπών, στην πράξη γίνεται διάκριση του λεγόμενου Καπνού (smoke) των εκπεμπόμενων καυσαερίων του στις εξής τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την απόχρωση του:

- Λευκός Καπνός, που σύγκειται από ομίχλη υγρών ακαύστων σωματιδίων καυσίμου και εμφανίζεται κατά την εκκίνηση εν ψυχρώ.
- Κυανός Καπνός, που σύγκειται από ομίχλη υγρών ακαύστων σωματιδίων λιπαντικού ελαίου και εμφανίζεται όταν υπάρχει πρόβλημα με την λίπανση (π.χ. φθαρμένα ή κολλημένα ελατήρια εμβόλου)
- Μελανός Καπνός ή Καπνός "Τύπου Αιθάλης", που σύγκειται βασικά από λεπτά σωματίδια στερεού άκαυστου άνθρακα (ανθρακώδες υλικό), δηλαδή την αιθάλη που δημιουργείται από την πυρόλυση του καυσίμου

τοπικά σε ζώνες με σχετική ανεπάρκεια οξυγόνου, εμφανιζόμενος στην περιοχή των υψηλών φορτίων (π.χ. >85% του μεγίστου).

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι τοξικός. Χρησιμοποιούνταν στη βενζίνη για την αύξηση του βαθμού οκτανίου ώστε να αντέχει στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στους θαλάμους καύσης. Παίζει δηλαδή το ρόλο του αντικροτικού, εμποδίζοντας την αυτανάφλεξη της βενζίνης από την υψηλή συμπίεση πριν δημιουργηθεί ο σπινθήρας. Επειδή 'δηλητηριάζει' τους καταλύτες και τους αχρηστεύει, τα καταλυτικά αυτοκίνητα λειτουργούν μόνο με αμόλυβδη βενζίνη.

Διοξείδιο του θείου (SO2)

Δημιουργείται από την αντίδραση του θείου που περιέχεται στα καύσιμα με το οξυγόνο. Η ουσία αυτή προκαλεί ερεθισμό των βρόγχων και των βλεννογόνων της μύτης και ελάττωση της ορατότητας. Η ποσότητα των εκλυόμενων ανυδριτών εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Συνήθως η μεγαλύτερη ποσότητα εκλύεται στο ρελαντί ή όταν αφήνουμε ελεύθερο τον επιταχυντή.

Όζον

Το γεγονός ότι το όζον δεν αναφέρεται στους βασικούς ρύπους που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και τις άλλες εστίες καύσης, οφείλεται στο ότι δεν αποτελεί πρωτογενή ρύπο αλλά δευτερογενή που σχηματίζεται στον αέρα από την αντίδραση ανάμεσα στα οξείδια του αζώτου και στους υδρογονάνθρακες. Επειδή για την αντίδραση αυτή χρειάζεται και η παρουσία του ηλιακού φωτός, σε μέρη όπως η χώρα μας, όπου η ηλιοφάνεια αποτελεί συνηθισμένο φαινόμενο στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς πόσο αυξημένη μπορεί να είναι η παραγωγή όζοντος. Ιδιαίτερα μάλιστα όταν η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπερβολικά αυξημένη, όπως συμβαίνει στην Αθήνα.

Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκο από μια περίεργη αντίφαση. Τα αυτοκίνητα παράγουν και μονοξείδιο του αζώτου, που οξειδώνεται στον αέρα και μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου. Μόνο το τελευταίο μπορεί να πάρει μέρος στη δημιουργία του όζοντος αντιδρώντας με τους υδρογονάνθρακες. Αλλά το ίδιο το μονοξείδιο του αζώτου καταστρέφει το όζον. Παρατηρείται λοιπόν το περίεργο φαινόμενο, ότι παρόλο που τα αυτοκίνητα θεωρούνται υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος της δημιουργίας όζοντος, στο κέντρο των μεγάλων πόλεων τα επίπεδα του όζοντος μπορεί να είναι χαμηλά και να είναι υψηλότερα στην περιφέρεια! Κι αυτό γιατί στο κέντρο της πόλης, λόγω της πυκνής κυκλοφορίας, παράγονται μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του αζώτου, που καταστρέφουν το δημιουργημένο όζον. Αντίθετα, στην περιφέρεια των πόλεων η κυκλοφορία είναι χαμηλή κι έτσι υπάρχει πολύ λίγο μονοξείδιο του αζώτου. Καθώς λοιπόν ο άνεμος μεταφέρει προς τα εκεί τους διάφορους ρύπους (που βέβαια δεν προέρχονται μόνο από τα αυτοκίνητα), δημιουργείται βαθμιαία όζον από την αντίδραση υδρογονανθράκων και διοξειδίου

του αζώτου κι επειδή δεν υπάρχει αρκετό μονοξείδιο για να το καταστρέψει, τα επίπεδα του όζοντος αυξάνονται.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)

Βασικό συστατικό των καυσαερίων, αποτελεί ένα από τα κύρια προϊόντα της καύσης των υδρογονανθράκων και κάθε ανθρακούχου καυσίμου. Δεν είναι τοξικό και γι' αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ρύπος με την κλασική έννοια του όρου. Σε μακροπρόθεσμη βάση, όμως, πρέπει να ελεγχθούν οι εκπομπές του γιατί είναι υπεύθυνο για το 'φαινόμενο του θερμοκηπίου', που βαθμιαία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των θερμοκρασιών του πλανήτη μας.

Εικόνα 1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα οχήματα

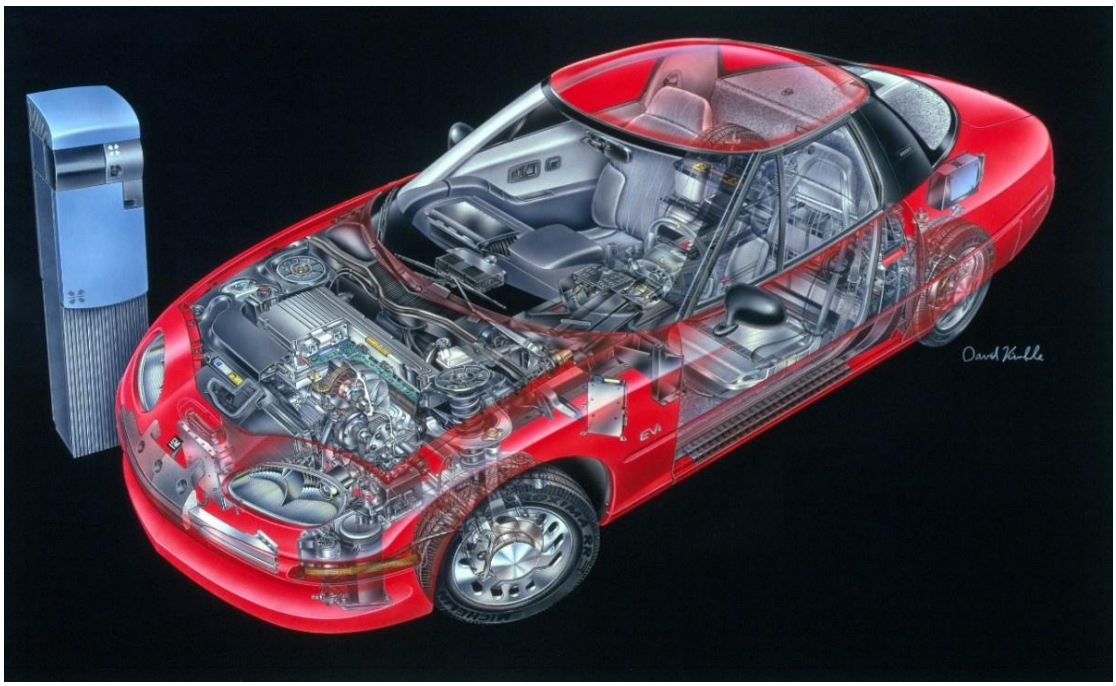
Από τα παραπάνω φαίνεται καθαρά η επιτακτική ανάγκη της μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων από τα οχήματα που κυκλοφορούν στις μεγαλουπόλεις. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί κάποια πρότυπα εκπομπών αλλά και οι αντίστοιχες διαδικασίες ελέγχου της συμμόρφωσης των οχημάτων με αυτά τα πρότυπα.

1.3 Εναλλακτικές προτάσεις μετακίνησης

Εξαιτίας των προαναφερθέντων θεμάτων σχετικά με τη ρύπανση αλλά και την οικονομία του καυσίμου έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές προτάσεις μετακίνησης με απώτερο σκοπό την κατασκευή οχημάτων φιλικότερων προς το περιβάλλον και την οικονομία. Τέτοιες προτάσεις αποτελούν το ηλεκτρικό όχημα, το όχημα ενεργειακών κυψελών και το υβριδικό όχημα.

- **Ηλεκτρικό όχημα**

[5] Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Electric Vehicle – EV) ως ιδέα αλλά και ως τεχνολογία έχει πάνω από 150 χρόνια προϊστορία με πρώτη εμφάνιση στα μέσα του 19ου αιώνα. Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κατείχε το ρεκόρ της μεγαλύτερης ταχύτητας σε οχήματα μέχρι περίπου το 1900. Το υψηλό κόστος, η χαμηλή μέγιστη ταχύτητα και η μικρή αυτονομία σε σχέση με τα μεταγενέστερα οχήματα μηχανής εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) οδήγησε σε μια παγκόσμια αποστροφή από τη χρήση τους. Στις αρχές του 21ου αιώνα το ενδιαφέρον προς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα αυτοκίνητα εναλλακτικών πηγών ενέργειας αυξήθηκε εξαιτίας του αυξανόμενου περιβαλλοντικού προβλήματος λόγω των εκπομπών ρύπων των συμβατικών αυτοκινήτων. Το πρώτο σύγχρονο ηλεκτρικό αυτοκίνητο ήταν το EV1, το οποίο παρουσιάστηκε το 1996 από την εταιρεία GENERAL MOTORS. Ήταν βασικά ένα πείραμα το οποίο διήρκησε τρία χρόνια και αποσύρθηκε το 1999.



Εικόνα 1.3 Το πρώτο ηλεκτρικό όχημα EV1 από τη GENERAL MOTORS

Εικόνα 1.4 Το τέλος του EV1 to 1999

Κύριο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η ύπαρξη ενός ηλεκτρικού κινητήρα, στον οποίο παρέχεται η ισχύς από επαναφορτιζόμενους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές. Βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η πλήρης ανυπαρξία ατμοσφαιρικών ρύπων κατά τη διάρκεια της κίνησης, η δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών από το σπίτι και η αθόρυβη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα. Για την πραγματική ύπαρξη όμως της οικολογικής κίνησης πρέπει να θεωρήσουμε ότι η πηγή από την οποία παρέχεται η ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση των μπαταριών είναι «πράσινη». Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να κάνουμε λόγο για πλήρη οικολογική κίνηση.

Στα αρνητικά αυτής της τεχνολογίας παραμένει η μικρή αυτονομία των μπαταριών και αυτός είναι και ο λόγος που η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε οχήματα που κινούνται για μικρές αποστάσεις και κυρίως μικρά αυτοκίνητα πόλης και μικρού μεγέθους και βάρους για την μέγιστη δυνατή αυτονομία. Συνεπώς ο συγκεκριμένος τύπος οχημάτων δεσμεύεται από την εξέλιξη των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών και όσο αυτή η τεχνολογία παραμένει στάσιμη ή εξελίσσεται με αργούς ρυθμούς, το ίδιο αργά θα εξελίσσονται και τα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτή τη στιγμή ο πιο πολλά υποσχόμενος τύπος μπαταριών είναι η μπαταρία ιόντος λιθίου (Li-ion), η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλό ειδικό βάρος και αυξημένη απόδοση.

Ένα δεύτερο αλλά εξίσου σημαντικό ζήτημα σχετικά με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η απαίτηση της εγκατάστασης υποδομής σταθμών φόρτισης παράλληλα με αυτή της υποδομής που υπάρχει για τα πρατήρια καυσίμων. Όμως το υπάρχον ενεργειακό δίκτυο είναι δύσκολο να υποστηρίξει μια τέτοια υποδομή καθώς η παραγόμενη ενέργεια δεν θα επαρκεί για την κάλυψη των επιπλέον απαιτήσεων ισχύος. Συνεπώς από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για να είναι εφικτή η στροφή στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, είναι απαραίτητες οι επιπρόσθετες επενδύσεις σε θέματα παραγωγής ενέργειας, η οποία όμως παραγωγή θα πρέπει να γίνεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων και

ανεμογεννητριών ώστε τελικά να μην επιβαρύνεται με ρύπους το περιβάλλον με τον ένα ή τον άλλο τρόπο.

- **Όχημα ενεργειακών κυψελών**

Το όχημα ενεργειακών κυψελών (FCV) αποτελεί ένα από τα πλέον φιλικότερα προς το περιβάλλον μέσα μετακίνησης, καθώς κατά τη λειτουργία του εκπέμπει μηδενικούς ρύπους. Είναι ένας τύπος οχήματος που χρησιμοποιεί ενεργειακές κυψέλες ως πηγή ενέργειας για την τροφοδοσία ενός ή περισσότερων ηλεκτρικών κινητήρων. Οι ενεργειακές κυψέλες παράγουν ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας οξυγόνο από τον αέρα και υδρογόνο. Ένα όχημα ενεργειακών κυψελών εκπέμπει μόνο νερό και θερμότητα για αυτό και θεωρείται ως όχημα μηδενικών ρύπων. Ακόμα είναι μια τεχνολογία σε πειραματικό στάδιο και ως βασικό της μειονέκτημα είναι η αδυναμία επιστροφής της ενέργειας στο συγκεκριμένο αποθηκευτικό μέσο κατά τη φάση της επιβράδυνσης του οχήματος.

[5] Το 1966 η GENERAL MOTORS κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο ενεργειακών κυψελών το οποίο είχε αυτονομία 200 περίπου χιλιομέτρων με μέγιστη ταχύτητα τα 100 km/h. Το αυτοκίνητο ήταν ένα βαν το οποίο όμως είχε μόνο 2 θέσεις καθώς το υπόλοιπο είχε καταλειφθεί από τις ενεργειακές κυψέλες. Το σχέδιο όμως εγκαταλείφθηκε και δημιουργήθηκε μόνο ένα όχημα καθότι η GENERAL MOTORS θεώρησε το εγχείρημα απαγορευτικού κόστους. Μέχρι σήμερα έχουν παραχθεί ελάχιστα οχήματα ενεργειακών κυψελών.

Εικόνα 1.5 Το πρώτο όχημα (βαν - δεξιά) ενεργειακών κυψελών της GM

- **Υβριδικό όχημα**

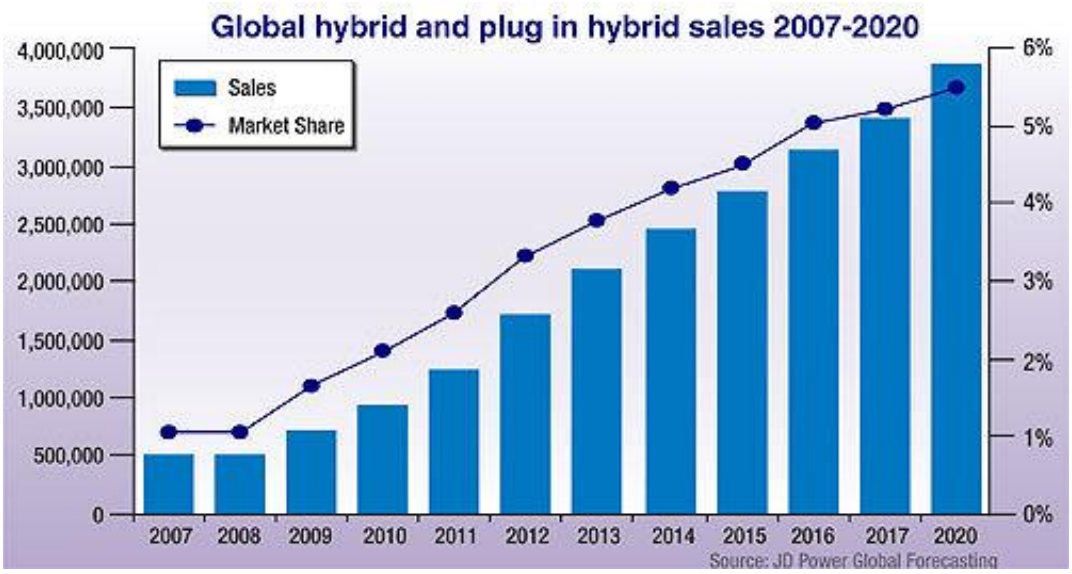
Το υβριδικό όχημα είναι ένα όχημα το οποίο χρησιμοποιεί 2 ή περισσότερες πηγές ενέργειας, συνήθως μία συμβατική και μια εναλλακτική πηγή για την κίνηση του οχήματος. Ως συμβατική πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται συνήθως η βενζίνη ή το πετρέλαιο για την τροφοδοσία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης, ενώ ως εναλλακτική πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται στις περισσότερες των περιπτώσεων η

ηλεκτροχημική ενέργεια για την παροχή ισχύος σε έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες.

Πέραν της αυξημένης αυτονομίας τους λόγω της συνύπαρξης των 2 κινητήριων συστημάτων, τα υβριδικά οχήματα έχουν και τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση, φορτίζοντας έτσι τις μπαταρίες τους.

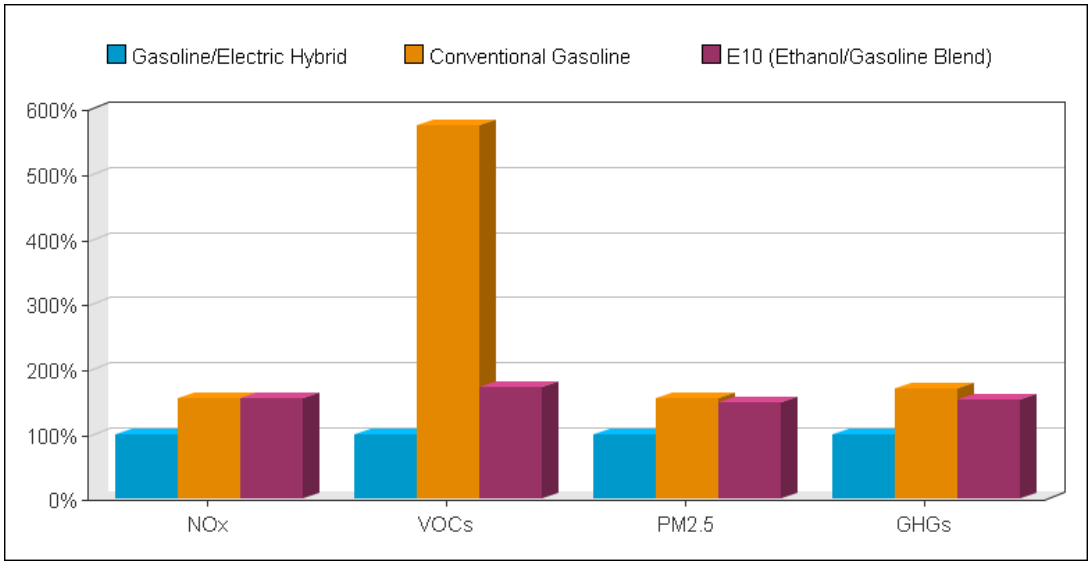
Εικόνα 1.6 Toyota PRIUS, το πιο διαδεδομένο υβριδικό όχημα

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι πωλήσεις των υβριδικών οχημάτων παγκοσμίως από το 2007 καθώς και οι εκτιμήσεις ως το 2020. Όπως παρατηρούμε υπάρχει μια σταθερή ανοδική πορεία τα τελευταία χρόνια η οποία θα διατηρηθεί και στο μέλλον.



Εικόνα 1.7 Πωλήσεις υβριδικών οχημάτων παγκοσμίως από το 2007 – 2020

Με τη χρήση της υβριδικής τεχνολογίας μπορούμε να φτάσουμε σε μια εξοικονόμηση ενέργειας ως και 30% σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Προφανώς δεν απαλλασσόμαστε πλήρως από την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων του οχήματος αλλά στην παρούσα φάση της τεχνολογικής εξέλιξης αποτελεί το ενδιάμεσο βήμα μέχρι την τελειοποίηση της τεχνολογίας των μέσων αποθήκευσης ενέργειας για το πέρασμα σε μια εποχή πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων και οχημάτων ενεργειακών κυψελών με απώτερο σκοπό «πράσινες» μετακινήσεις και οικονομία καυσίμου.



Εικόνα 1.8 Σύγκριση των ποσοστών εκπομπής ρύπων

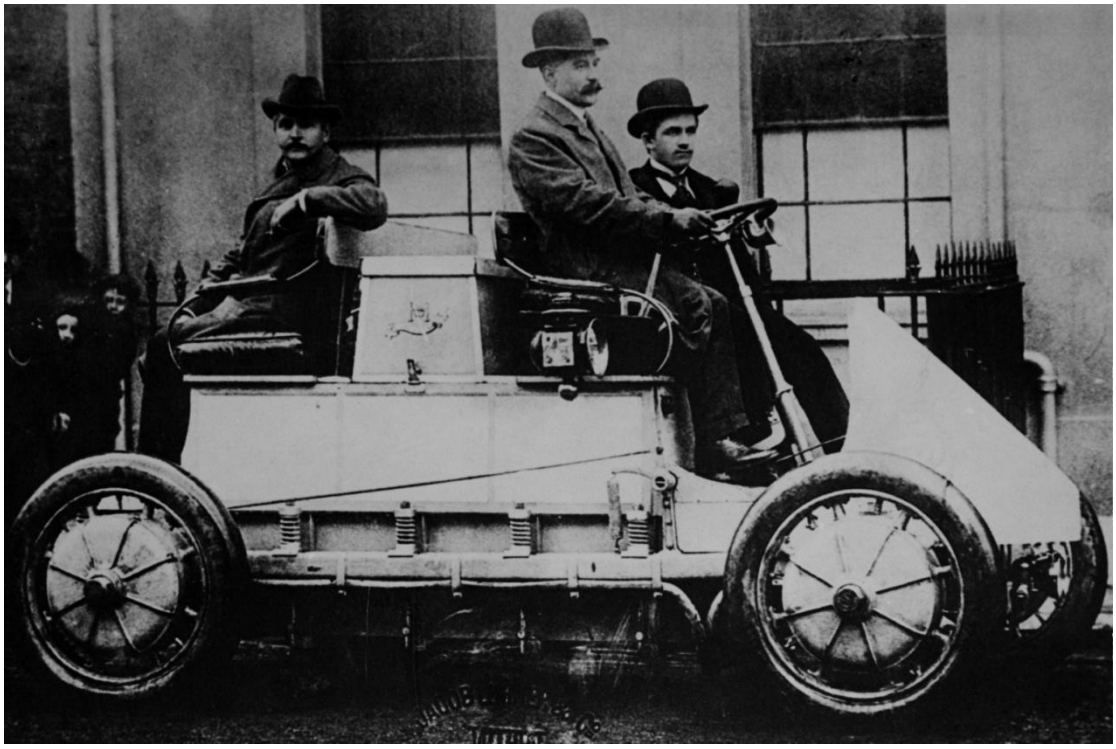
2. Υβριδική Τεχνολογία

2.1 Ιστορική αναδρομή

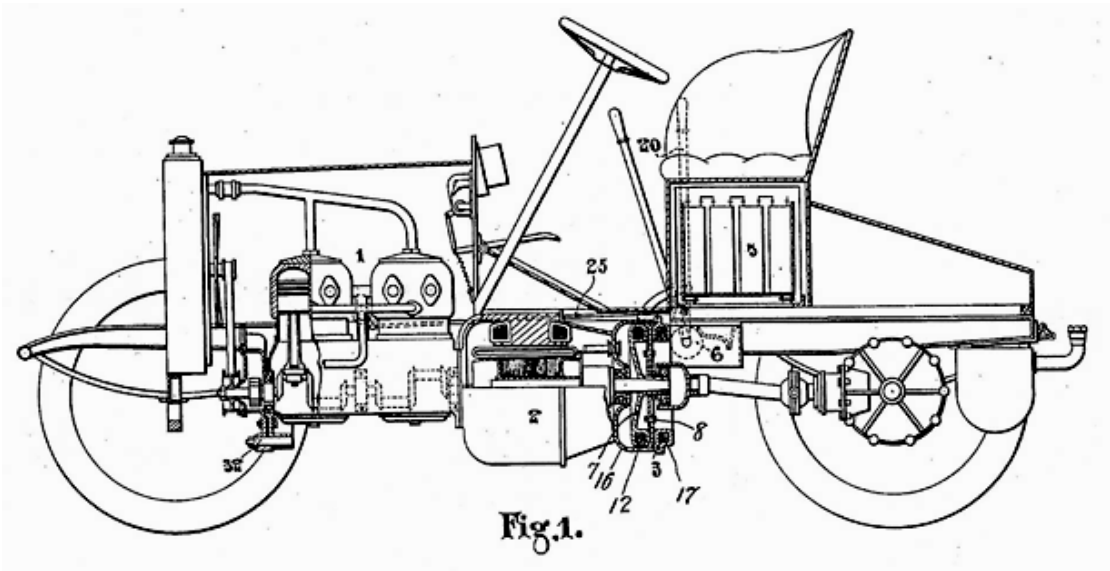
[5] Το πρώτο υβριδικό όχημα κατασκευάστηκε από τον Ferdinard Porsche το 1900, ιδρυτή και της γνωστής γερμανικής εταιρείας κατασκευής σπορ αυτοκινήτων, ο οποίος εργαζόταν τότε στην εταιρεία Jacob Lohner & Co. Το όχημα πήρε την ονομασία «Lohner – Porsche Mixte Hybrid». Πιο συγκεκριμένα ήταν ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα σειριακής διάταξης με κίνηση και στους τέσσερεις τροχούς. Το κινητήριο σύστημα του αποτελούσαν ένας βενζινοκινητήρας, μια ηλεκτρική γεννήτρια και τέσσερεις ηλεκτρικοί κινητήρες οι οποίοι είχαν προσαρμοστεί επάνω στους τροχούς του οχήματος.

Το 1905 ο Henri Pieper παρουσίασε ένα υβριδικό αυτοκίνητο με έναν ηλεκτρικό κινητήρα/ γεννήτρια, μπαταρίες και μία μικρή μηχανή καυσίμου. Χρησιμοποιούσε τον ηλεκτρικό κινητήρα για να φορτίσει τις μπαταρίες καθώς κινούταν υπό κανονικές συνθήκες ταξιδιού και χρησιμοποιούσε και τους 2 κινητήρες για να επιταχύνει το όχημα ή να ανέβει δρόμο υπό κλίση. Το εργοστάσιο του Pieper αγοράστηκε από την Imperia ύστερα από το θάνατο του Pieper. Το 1915 δημιουργήθηκε το όχημα «Dual Power» από την εταιρεία κατασκευής ηλεκτρικών οχημάτων Woods Motor Vehicle. Είχε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης τεσσάρων κυλίνδρων και έναν ηλεκτροκινητήρα. Κάτω από την ταχύτητα των 15 mph (24 km/h) ο ηλεκτροκινητήρας μόνο ήταν υπεύθυνος για την κίνηση του οχήματος αντλώντας την ισχύ του από μπαταρίες και άνω της προαναφερθείσας ταχύτητας αναλάμβανε ο κύριος κινητήρας εσωτερικής καύσης για να φτάσει το όχημα στη μέγιστη ταχύτητα των 35 mph (56 km/h). Μέχρι το 1918 κατασκευάστηκαν περίπου 1918 αλλά η εταιρεία είχε εμπορικές αποτυχίες καθότι το όχημα ήταν πολύ αργό για την τιμή του και πολύ δύσκολο να γίνουν οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης.

Ύστερα από αυτές τις απόπειρες των πρώτων υβριδικών οχημάτων χρειάστηκαν αρκετά χρόνια μέχρι το υβριδικό αυτοκίνητο να είναι ικανό να εισέλθει στη γραμμή παραγωγής και να διεκδικεί μερίδιο στην αγορά, προσφέροντας μια πιο οικολογική αλλά και οικονομική λύση στην τεχνολογία κίνησης.



Εικόνα 2.1 Το πρώτο υβριδικό όχημα Lohner – Porsche Mixte Hybrid το 1900



Εικόνα 2.2 Το υβριδικό όχημα που κατασκεύασε ο Henri Papier το 1905

2.2 Ορισμός Υβριδικού οχήματος

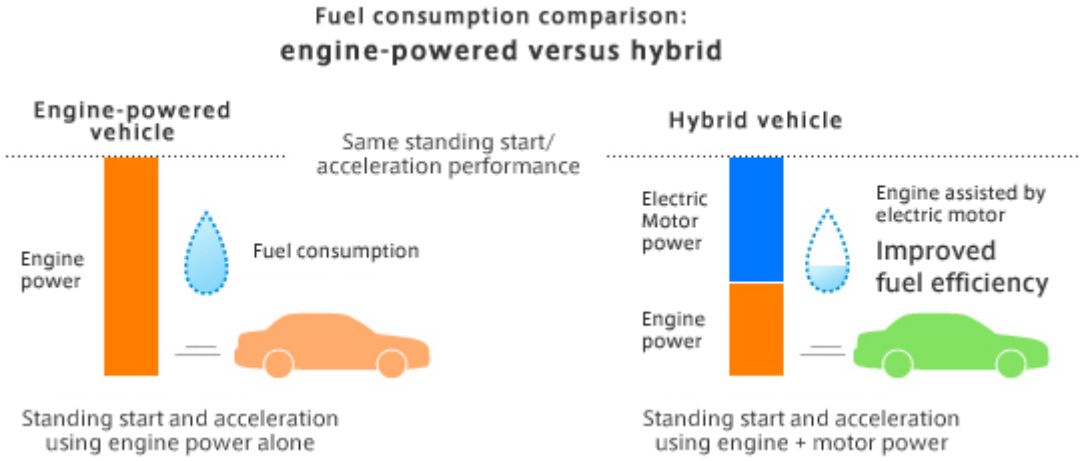
Ως εδώ έχει γίνει λόγος αρκετές φορές για την ύπαρξη των υβριδικών οχημάτων οπότε κρίνεται σκόπιμο να δοθεί ένας ορισμός για το τι ακριβώς είναι αυτή η τεχνολογία και τι εννοούμε με τον όρο υβριδικό όχημα.

[6] Ένα υβριδικό όχημα είναι το όχημα αυτό που συνδυάζει και χρησιμοποιεί τουλάχιστον δυο διαφορετικές πηγές ενέργειας προκειμένου να επιτύχει την κίνηση του. Οι πηγές ενέργειας κυρίως είναι μια συνήθης μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) και μια πιο «φιλική» προς το περιβάλλον τεχνολογία η οποία προσδίδει κίνηση στο όχημα κατά περίπτωση και αναλόγως των απαιτήσεων της κίνησης μέσω ηλεκτρικού κινητήρα, πνευματικής ή υδραυλικής κινητήριας διάταξης, θερμικού κινητήρα και άλλων τεχνολογιών. Πηγή ενέργειας για αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να θεωρηθεί η ηλιακή, η θερμική η ηλεκτρική ή η ενέργεια από τη βιομάζα όπως είναι το βιοκαύσιμο, το υγρό άζωτο, το φυσικό αέριο, το υδρογόνο κ.α.

Ο εναλλακτικός κινητήρας μπορεί να αναλάβει αποκλειστικά την κίνηση του οχήματος όταν αυτό κινείται με σταθερές συνθήκες και σε χαμηλές ταχύτητες κυρίως αλλά και να υποβοηθά την κίνηση με τον συμβατικό κινητήρα όταν αυτό απαιτείται όπως για παράδειγμα κατά την απαίτηση μέγιστης ισχύος που μπορεί να παρέχει το όχημα. Επίσης ο εναλλακτικός κινητήρας πρέπει να παρέχει και τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Σε κάθε υβριδικό όχημα ο κατασκευαστής επιλέγει τις συνθήκες με τις οποίες θα λειτουργεί ο εκάστοτε κινητήρας (Μ.Ε.Κ. ή εναλλακτικός κινητήρας) ή ακόμα και αν θα λειτουργούν κατά συνθήκη συνδυαστικά, ανάλογα με το χαρακτήρα που θέλει να προσδώσει και στο όχημά του.

2.3 Ανάλυση υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος

[8],[9] Η παγκόσμια ανησυχία, δεδομένου της συνεχούς ελάττωσης των αποθεμάτων πετρελαίου καθώς και της περιβαλλοντικής ρύπανσης, κινητοποίησε την έρευνα και την ανάπτυξη των εναλλακτικών συστημάτων μετάδοσης ισχύος στα οχήματα. Έτσι εδραιώθηκε η χρήση κυρίως των υβριδικών οχημάτων ως οχήματα «φιλικότερα» προς το περιβάλλον και η χρήση των HEV (Hybrid Electric Vehicle) θεωρείται ως το μεταβατικό στάδιο στην πορεία της εξέλιξης προς τα οχήματα μηδενικών εκπομπών (Zero Emission Vehicle). Η μέχρι τώρα πορεία δείχνει πως τα οχήματα μηδενικών εκπομπών θα έχουν συστήματα κίνησης με κυψέλες καυσίμου ή ακόμα και μόνο μπαταρίες, κάτι το οποίο εξαρτάται και από την εξέλιξη των τεχνολογιών στον τομέα αποθήκευσης της ενέργειας. Έτσι μια Μ.Ε.Κ. συνδυάζεται με ηλεκτροκινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές τάσης και συσσωρευτές για να αποτελέσουν όλα μαζί μέρος ενός υβριδικού συστήματος μετάδοσης ισχύος σε ένα όχημα. Συνεπώς με την συνδυαστική χρήση των 2 συστημάτων κίνησης αυξάνεται η βέλτιστη απόδοση του κινητήρα σε μεγαλύτερη έκταση κατά τη διάρκεια της ζωής του καθότι λειτουργεί σε πλήρη απόδοση λιγότερο σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα και αυξάνεται η μείωση της κατανάλωσης κατά ένα ποσοστό 15 – 20 % συγκριτικά πάλι με ένα συμβατικό όχημα.



Εικόνα 2.3 Συγκριτική αναπαράσταση κατανάλωσης καυσίμου συμβατικού και υβριδικού οχήματος

Οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν όσον αφορά τη χρήση των υβριδικών οχημάτων είναι:

- Το κόστος αγοράς του υβριδικού οχήματος το οποίο είναι περίπου κατά 50 % υψηλότερο από το αντίστοιχο συμβατικό όχημα
- Η βελτιστοποίηση των αποθηκευτικών μέσων σε συνδυασμό με την αύξηση της αυτονομίας κίνησης ώστε να επιτευχθεί ένα αποτέλεσμα ακόμα πιο κοντά στο όχημα μηδενικών εκπομπών.

Τα διάφορα στοιχεία στο σύστημα μετάδοσης ισχύος πρέπει να συντονιστούν προσεκτικά για τη μεγιστοποίηση των οφελών. Η βελτιστοποίηση απαιτείται στο σχεδιασμό και του συνολικού συστήματος και της διαδικασίας ελέγχου. Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριους τύπους ανάλογα με τη συνδεσμολογία:

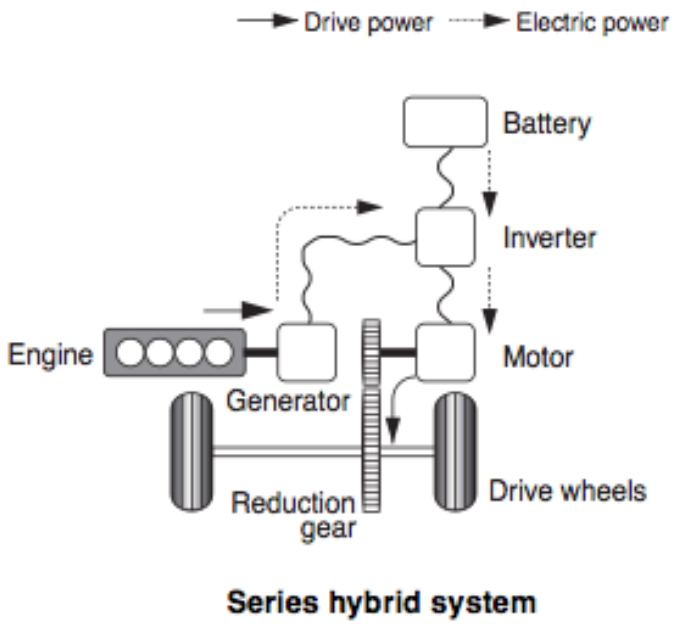
- Σειριακά
- Παράλληλα
- Μικτά, που ουσιαστικά είναι ο συνδυασμός σειριακών και παράλληλων συστημάτων

2.3.1 Σειριακά Συστήματα μετάδοσης ισχύος

[5],[11],[12] Σε ένα σειριακό υβριδικό σύστημα μετάδοσης ισχύος η κίνηση προέρχεται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα ο οποίος δέχεται την απαραίτητη ενέργειά του είτε από μια συστοιχία μπαταριών είτε από μια μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) μέσω γεννήτριας. Ο κινητήρας είναι συνήθως μικρότερος σε ένα σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος καθώς έχει να αντιμετωπίσει μέτριες σε ισχύ απαιτήσεις κίνησης. Συνεπώς, εφόσον δεν είναι συνδεδεμένος απευθείας στο κιβώτιο ταχυτήτων λειτουργεί σε συγκεκριμένες στροφές / φορτίο του εύρους λειτουργίας του

όπου η απόδοση είναι υψηλή ή μπορεί αν δεν χρειάζεται προσωρινά να είναι και εκτός λειτουργίας. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου για την Μ.Ε.Κ. Το σειριακό σύστημα μετάδοσης απαιτεί μεγάλη συστοιχία των μπαταριών καθώς το όχημα κινείται εξ' ολοκλήρου με τον ηλεκτροκινητήρα και πρέπει να είναι ικανός να παρέχει την απαραίτητη ισχύ για τις επιπλέον ανάγκες που μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια της κίνησης. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της απαίτησης είναι το επιπλέον βάρος που προστίθεται στο όχημα αλλά και το αυξημένο κόστος παραγωγής και συντήρησης. Επειδή οι επιδόσεις εξαρτώνται άμεσα από την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, επιβάλλεται ο ηλεκτροκινητήρας να διαθέτει μεγάλο μέγεθος το οποίο με τη σειρά του αυξάνει περαιτέρω το βάρος του οχήματος καθώς και το μέγεθος και το βάρος των συσσωρευτών ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε ισχύ, κυρίως όταν ο οδηγός επιταχύνει – ακόμα και αν υπάρχει δευτερεύουσα γραμμή που μεταφέρει το ρεύμα της γεννήτριας απευθείας στον ηλεκτροκινητήρα παρακάμπτοντας τους συσσωρευτές.

Αυτός ο τύπος συστήματος μετάδοσης ισχύος δεν έχει εφαρμογή σε εμπορικά οχήματα παραγωγής αλλά γίνονται προσπάθειες ενσωμάτωσής του από εταιρείες παραγωγής αυτοκινήτων.



Εικόνα 2.4 Σειριακή συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα με Μ.Ε.Κ

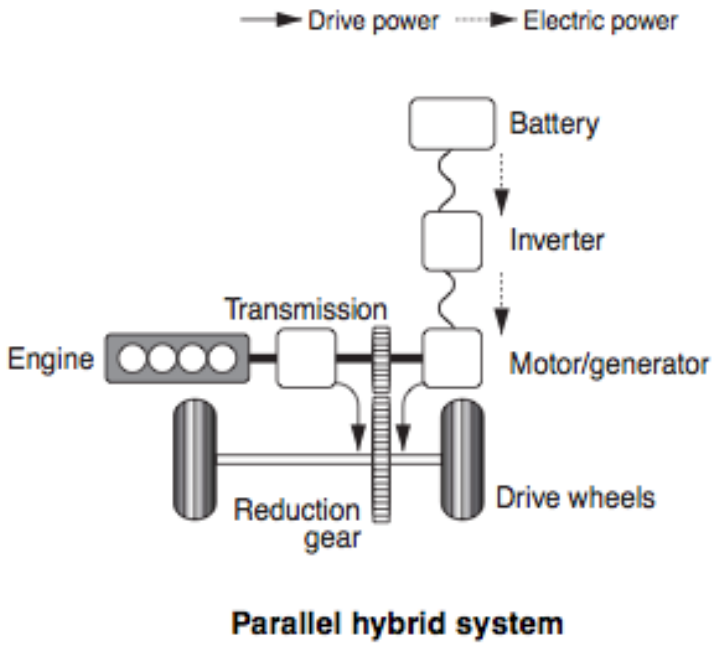
2.3.2 Παράλληλα συστήματα μετάδοσης ισχύος

[5],[10],[13] Σε ένα παράλληλο υβριδικό σχηματισμό και ο κινητήρας (Μ.Ε.Κ.) αλλά και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν την απαιτούμενη ισχύ για την κίνηση των τροχών όντας μόνιμα και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο κιβώτιο ταχυτήτων. Επειδή στο συγκεκριμένο σύστημα μετάδοσης ισχύος ο κινητήρας είναι απευθείας συνδεδεμένος στους τροχούς, εξαλείφεται η μείωση της απόδοσης κατά τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, κάτι το οποίο συμβαίνει στο σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος σε ένα HEV, και συνεπώς ένα όχημα με παράλληλο σύστημα μετάδοσης ισχύος καθίσταται κατάλληλο για οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους. Σε έναν τέτοιο σχηματισμό ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται κυρίως για τη μετακίνηση του οχήματος με μικρή ταχύτητα μέσα στην πόλη καθώς έχει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος για τις απαιτήσεις που έχουν οριστεί. Η Μ.Ε.Κ. σε αντίθεση έχει το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που απαιτείται προκειμένου το αυτοκίνητο να μπορεί να κινείται με την επιθυμητή μέγιστη ταχύτητα σε οριζόντιο επίπεδο. Εκτός από την ευθύνη της κίνησης που έχει σε μεγάλες ταχύτητες, η Μ.Ε.Κ. είναι επίσης υπεύθυνη να διοχετεύει ένα μικρό μέρος της ισχύος της στη γεννήτρια, με απώτερο σκοπό να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες για να παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για την ηλεκτροκίνηση σε χαμηλές ταχύτητες. Το πρώτο HEV με παράλληλο σύστημα μετάδοσης ισχύος ήταν το Honda Insight με την πρώτη γενιά του οχήματος να είναι από το 1999 έως το 2006. Είχε μια Μ.Ε.Κ. 67hp (50 kW), 1.0 lt και έναν ηλεκτροκινητήρα ισχύος 13 hp (10 kW). Οι συσσωρευτές ήταν NiMH και παρείχαν ισχύ 144 V DC.

Εικόνα 2.5 Πρώτη γενιά του Honda Insight με παράλληλο σύστημα μετάδοσης ισχύος

Το πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης εμβολοφόρου κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα βρίσκεται στη δυνατότητα που υπάρχει να αλληλοϋποστηρίζει ο

ένας τύπος κινητήρα τον άλλο τύπο. Έτσι, για παράδειγμα, στην περίπτωση που απαιτηθεί να αποδώσει μεγαλύτερη ισχύ ο κινητήρας κατά την επιτάχυνση ή την κίνηση σε ένα ανηφορικό επίπεδο, η συνεργασία των δυο κινητήρων θα δώσει την απαραίτητη ισχύ, η οποία και θα είναι μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί σε κανονικές συνθήκες απόδοσης. Συνεπώς και η Μ.Ε.Κ. με αυτό τον τρόπο δεν θα λειτουργήσει σε συνθήκες που θα αυξήσουν την κατανάλωση της και πιθανόν και τις εκπομπές καυσαερίων.

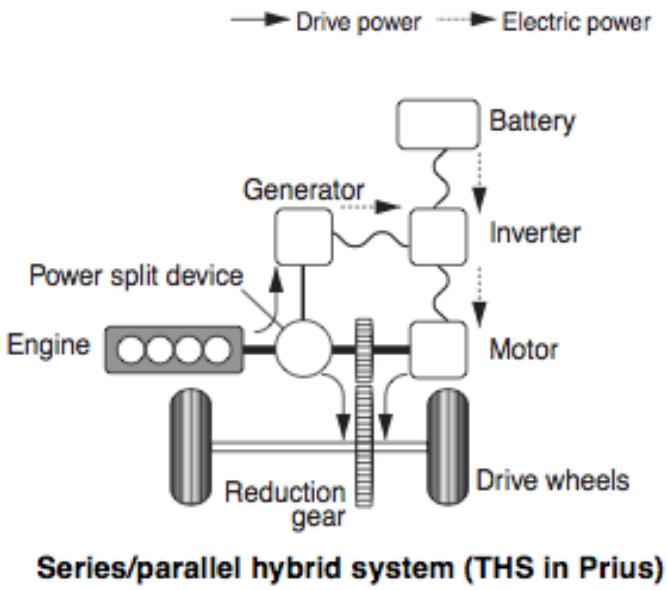


Εικόνα 2.6 Παράλληλη συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα με Μ.Ε.Κ

2.3.3 Μικτά συστήματα μετάδοσης ισχύος

[5],[10],[12] Ένας σειριακός/ παράλληλος (ή αλλιώς μικτός) σχηματισμός συστήματος μετάδοσης ισχύος εμφανίζει τόσο τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα που υπάρχουν στους παράλληλους και τους σειριακούς σχηματισμούς. Σε αυτή την περίπτωση ο κινητήρας μπορεί να κινήσει απευθείας τους τροχούς αλλά μπορεί να είναι και εντελώς αποσυνδεδεμένος από αυτούς ώστε να κινούνται μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι ο κάθε κινητήρας είναι υπεύθυνος για την κίνηση του οχήματος από 0 % έως 100 % και το τελικό 100 % της απόδοσης της ισχύος μπορεί να προέρχεται από οποιονδήποτε συνδυασμό ποσοστών χρήσης του ηλεκτροκινητήρα και της Μ.Ε.Κ. Επίσης ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπορεί να λειτουργήσει ως γεννήτρια για τις μπαταρίες που τροφοδοτούν τον ηλεκτροκινητήρα. Ο πιο διάσημος αντιπρόσωπος αυτής της τεχνολογίας είναι το Toyota Prius το οποίο έκανε και αυτή τη διάταξη διάσημη. Το σύστημα αυτό απαιτεί γεννήτρια, μεγαλύτερη συστοιχία μπαταριών συγκριτικά με αυτό του παράλληλου συστήματος αλλά και ένα πιο ανεπτυγμένο και σύνθετο σύστημα ελέγχου. Αυτό φυσικά αυξάνει το κόστος

παραγωγής του αλλά έχει τη δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της απόδοσης από ότι ο κάθε σχηματισμός ξεχωριστά.



Εικόνα 2.7 Σειριακή/ παράλληλη συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα με Μ.Ε.Κ

Εικόνα 2.8 Toyota Prius,ο κύριος εκπρόσωπος της μικτής συνδεσμολογίας.

Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα της υβριδοποίησης των οχημάτων είναι τα ακόλουθα:

1. Μικρότερο μέγεθος Μ.Ε.Κ.
2. Μικρότερη κατανάλωση καυσίμου καθώς μπορεί η Μ.Ε.Κ. να τίθεται προσωρινά εκτός λειτουργίας.
3. Η Μ.Ε.Κ. μπορεί να λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα/ φορτίο του εύρους λειτουργίας της σε σχετικά υψηλή απόδοση.

4. Υπάρχει η δυνατότητα ανάκτησης της ισχύος και φόρτισης των συσσωρευτών κατά την εφαρμογή της πέδησης.

2.4 Είδη υβριδικών οχημάτων

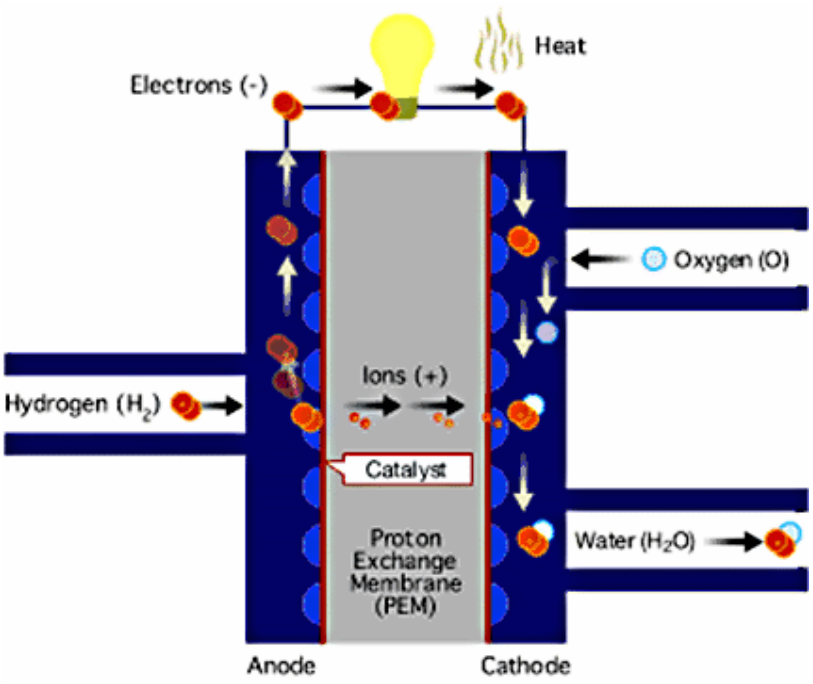
Ανάλογα με το είδος της εναλλακτικής πηγής ισχύος τα υβριδικά οχήματα χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

2.4.1 Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV)

Τα οχήματα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν όπως έχουμε αναφέρει μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μια ή περισσότερες ηλεκτρικές μηχανές. Η τοπολογία της διάταξης του κινητήριου συστήματος ποικίλει όπως είδαμε στα προηγούμενα.

2.4.2 Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με κυψέλες καυσίμου (FCV)

[5],[13],[14] Εδώ αξίζει να σημειωθεί το υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με κυψέλες καυσίμου με υδρογόνο. Οι κυψέλες καυσίμου με υδρογόνο (Hydrogen Fuel Cells) χρησιμοποιούνται εδώ και καιρό σε διαστημικές εφαρμογές και ως βοηθητικές μονάδες παραγωγής ενέργειας σε περίπτωση αιχμής. Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια μέσω χημικής αντίδρασης μεταξύ του υδρογόνου και του οξυγόνου χωρίς να παράγουν βλαβερές εκπομπές παρά μόνο θερμότητα και νερό. Ουσιαστικά δηλαδή μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης απευθείας σε ηλεκτρική. Η βασική δομή μιας κυψέλης καυσίμου υδρογόνου αποτελείται από μια λεπτή μεμβράνη ηλεκτρολύτη που έρχεται σε επαφή με μια πορώδη άνοδο από τη μια πλευρά και μια πορώδη κάθοδο από την άλλη πλευρά.

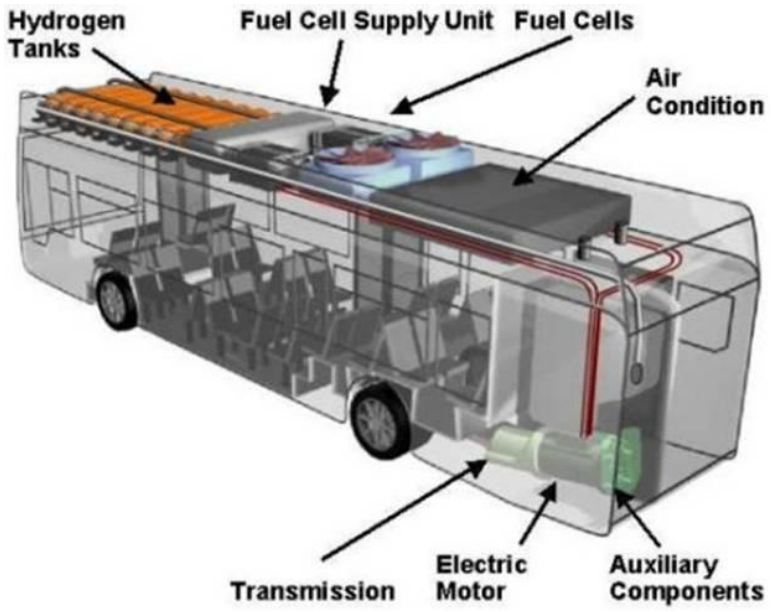


Εικόνα 2.9 Λειτουργία κυψέλης υδρογόνου

Τα καύσιμα αέριας μορφής τροφοδοτούνται συνεχώς προς την άνοδο (υδρογόνο) και ένα οξειδωτικό (οξυγόνο) τροφοδοτείται προς την κάθοδο. Έτσι, λαμβάνουν χώρα ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια και παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαφορά της κυψέλης καυσίμου σε σχέση με μια μπαταρία είναι ότι η μπαταρία είναι μονάδα αποθήκευσης ενέργειας και η μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια καθορίζεται από την ποσότητα χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι ότι η μπαταρία θα σταματήσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν καταναλωθεί η εναπομένουσα χημική ενέργεια ενώ η κυψέλη καυσίμου θεωρητικά μπορεί να παράγει ενέργεια όσο το καύσιμο και το οξειδωτικό παρέχονται στην άνοδο και την κάθοδο. Στην πραγματικότητα βέβαια η χημική διάβρωση και η δυσλειτουργία των υλικών περιορίζει τη χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου.

Τα υβριδικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCVs – Fuel Cell Vehicles) αποθηκεύουν το υδρογόνο σε δεξαμενές καυσίμου που εντοπίζονται μέσα στο όχημα και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τροφοδοτεί την μπαταρία που είναι υπεύθυνη να δώσει ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση του οχήματος. Επίσης τα FCVs μπορούν να τροφοδοτούνται με αέριο υδρογόνο πέραν της δεξαμενής καυσίμου και από την παραγωγή του υδρογόνου μέσα από ένα δευτερεύον καύσιμο όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη ή το φυσικό αέριο που εμπεριέχει οξυγόνο. Αυτά τα δευτερεύοντα καύσιμα μετατρέπονται δε αέριο υδρογόνο μέσω ενός αναμορφωτή καυσίμου που είναι επί του οχήματος. Εδώ καλό θα ήταν να σημειωθεί πως τα οχήματα που τροφοδοτούνται απευθείας υδρογόνο δεν εκπέμπουν ρύπους παρά μόνο θερμότητα και νερό ενώ όταν τροφοδοτούνται υδρογόνο μέσω δευτερευόντων καυσίμων παράγουν μικρές ποσότητες ρύπων. Τα FCVs έχουν στα

πλεονεκτήματα τους την αθόρυβη λειτουργία, την ομαλή κίνηση και την ευχάριστη οδήγηση. Ήδη λειτουργούν λεωφορεία κυψελών καυσίμου σε αρκετές πόλεις της Αμερικής επωφελούμενα των πλεονεκτημάτων που παρέχονται από αυτή την τεχνολογία.



Εικόνα 2.10 Λειτουργία λεωφορείου κυψελών καυσίμου

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου πέραν της οικολογικής τους φύσης όπου αποτελούν την προσφορά λύσης σε περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα, αφορούν και την ευκολία ενσωμάτωσής τους στα οχήματα καθότι λειτουργούν αθόρυβα, χωρίς κραδασμούς και δονήσεις και μεταφέρουν την ενέργειά τους σε μορφή ηλεκτρισμού και συνεπώς μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε σε ένα όχημα. Η ισχύς δεν χρειάζεται να μεταδοθεί μηχανικά από έναν κινητήρα στους τροχούς οπότε οι μηχανικοί έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια στο σχεδιασμό και τη διαχείριση του χώρου κατά την κατασκευή του οχήματος. Επειδή ακριβώς αναιρούν τους σχεδιαστικούς περιορισμούς, οι κυψέλες καυσίμου δίνουν νέες δυνατότητες και ιδέες στο σχεδιασμό των αυτοκινήτων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα οχήμαος με κυψέλες καυσίμου είναι το Toyota Fine – X το οποίο χρησιμοποιεί μια συμβατική κυψέλη καυσίμου κάτω από το δάπεδο του οχήματος και τέσσερεις ηλεκτροκινητήρες στους τέσσερεις τροχούς, προσφέροντας άνεση στην εσωτερική καμπίνα και αθόρυβη λειτουργία.

Εικόνα 2.11 Toyota Fine – X

[5] Το Toyota Fine –X χρησιμοποιεί πόρτες που ανοίγουν εξολοκλήρου προς τα πάνω για να διευκολύνει την πρόσβαση στο εσωτερικό του οχήματος αλλά δυστυχώς δεν μπορούν να ανοίξουν σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος. Όπως φαίνεται στις εικόνες παραπάνω οι θέσεις μπορούν να γυρίσουν προς τα έξω ενώ εξαιτίας της χρήσης τεσσάρων ξεχωριστών ηλεκτροκινητήρων στους τροχούς, μπορούν να στρίβουν αυτόνομα, γεγονός που διευκολύνει την αναστροφή και διευκολύνει το παρκάρισμα.

2.4.3 Υβριδικό υδραυλικό όχημα

[15] Τα υβριδικά υδραυλικά οχήματα, ακριβώς όπως όλα τα υβριδικά οχήματα, χρησιμοποιούν δυο πηγές ενέργειας για να μεταδώσουν την κίνηση στους τροχούς. Σε ένα υδραυλικό υβριδικό όχημα χρησιμοποιείται μια υδραυλική μηχανή η οποία συνδέεται στον κεντρικό άξονα μετάδοσης της κίνησης του οχήματος και κυκλοφορεί μια ποσότητα υδραυλικού λαδιού μεταξύ δυο δοχείων. Η παρουσία του υδραυλικού συστήματος έχει απώτερο σκοπό την αύξηση της οικονομίας καυσίμου συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα.

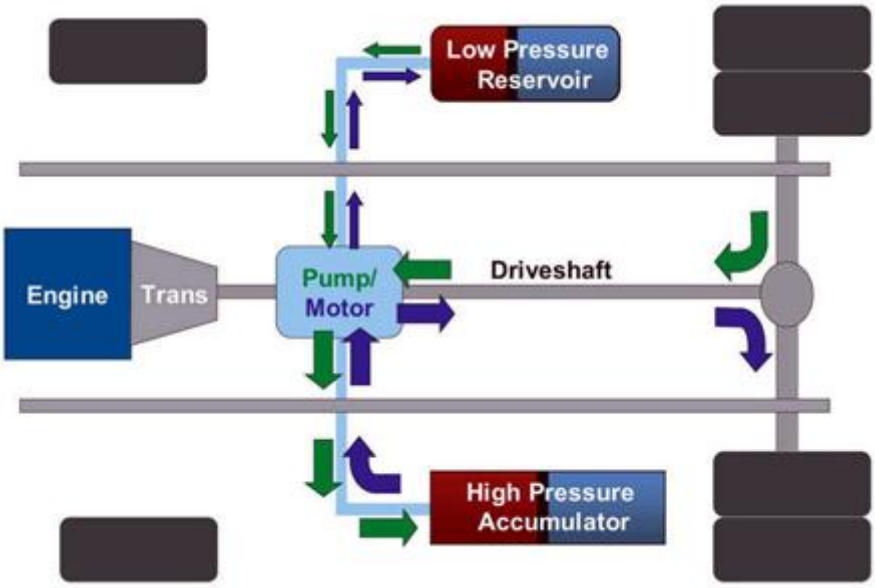
Η βασική διαφορά μεταξύ των υδραυλικών υβριδικών και ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων είναι ότι τα υδραυλικά οχήματα ανακτούν την κινητική ενέργεια του οχήματος κατά την πέδηση και τη μείωση ταχύτητας σημαντικά πιο αποτελεσματικά από τα ηλεκτρικά συστήματα. Τα υδραυλικά υβριδικά οχήματα είναι ικανά να ανακτήσουν και να ξαναχρησιμοποιήσουν το 70 – 80 % της ενέργειας που χρησιμοποιείται στο όχημα κατά την πέδηση συγκριτικά με το 25 % που είναι το αντίστοιχο ποσοστό για τα ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα. Ένα δεύτερο πλεονέκτημά τους είναι ότι κυρίως στα φορτηγά οχήματα και τα λεωφορεία, τα υδραυλικά συστήματα είναι πολύ πιο οικονομικά συγκριτικά με τα ηλεκτρικά καθώς τα ηλεκτρικά συστήματα περιλαμβάνουν και το κόστος των συσσωρευτών.

Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας τους, υπάρχουν δυο δοχεία υδραυλικού λαδιού, το ένα χαμηλής πίεσης και το άλλο υψηλής. Το δοχείο χαμηλής πίεσης χρησιμεύει για να αποθηκεύσει το υδραυλικό υγρό, ενώ το δεύτερο δοχείο (δοχείο υψηλής πίεσης) περιέχει ένα έμβολο το οποίο διαχωρίζει το υδραυλικό υγρό από μια ποσότητα αερίου (άζωτο).

Κατά την εκκίνηση και επιτάχυνση του οχήματος, η υδραυλική μηχανή λειτουργεί ως υδραυλικός κινητήρας και εκμεταλλεύεται την ενέργεια του πεπιεσμένου αερίου, εκτονώνοντάς το και προσδίδοντας την απαραίτητη ροπή στον κεντρικό άξονα μετάδοσης κίνησης του οχήματος.

Κατά την επιβράδυνση του οχήματος, η υδραυλική μηχανή λειτουργεί σαν αντλία που μεταφέρει το υδραυλικό υγρό από το δοχείο χαμηλής πίεσης στο δοχείο υψηλής πίεσης εκμεταλλευόμενη την κινητική ενέργεια των τροχών. Έτσι, η χαμένη σε άλλες περιπτώσεις ενέργεια στα δισκόφρενα αποθηκεύεται για νέα χρήση σε ποσοστό που αγγίζει το 75 % της υπάρχουσας ενέργειας.

Η λειτουργία του συστήματος αυτού ελέγχεται από έναν ψηφιακό μικροελεγκτή και αποφέρει μείωση στην κατανάλωση του καυσίμου και στην εκπομπή των ρύπων κατά 20 – 30 %. Αυτό το σύστημα εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλα οχήματα εξαιτίας του αυξημένου βάρους και όγκου που χρειάζεται για να υλοποιηθεί.



Εικόνα 2.12 Σχηματική αναπαράσταση υδραυλικού υβριδικού συστήματος

2.4.4 Υβριδικό πνευματικό όχημα

[5],[10],[16] Στο υβριδικό πνευματικό όχημα, εντοπίζεται αέρας σε συμπιεσμένη μορφή και αποτελεί το μέσο για την προώθηση ενός υβριδικού

οχήματος με συμπιεστή βενζίνης (gasoline compressor) για να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ. Ένα τέτοιο όχημα παράγεται από την M.D.I. (Moteur Developpement International) στη Γαλλία και ονομάζεται Minicat.

Ο τρόπος λειτουργίας ενός υβριδικού πνευματικού οχήματος είναι παρόμοιος με ένα ηλεκτρικό υβριδικό όχημα δεδομένου ότι η ενέργεια που προκύπτει από την πέδηση δεσμεύεται και αποθηκεύεται για να ενισχυθεί ο κινητήρας κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης. Ένα τέτοιο υβριδικό σύστημα λειτουργίας εξαλείφει συνήθως την ανάγκη για καύσιμα και καθιστά τα οχήματα μη ρυπογόνα καθώς αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν κινητήρα ο οποίος λειτουργεί με το συμπιεσμένο αέρα και προωθεί το όχημα. Ο συμπιεσμένος αέρας οδηγεί τα έμβολα που δίνουν κίνηση στους τροχούς του οχήματος. Ο αέρας συμπιέζεται χρησιμοποιώντας ένα μικρό ηλεκτροκινητήρα που τροφοδοτείται από μια μπαταρία 48 Volt, η οποία τροφοδοτεί και τον συμπιεστή αέρα και τον ηλεκτροκινητήρα. Όταν ο αέρας συμπιεστεί, αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή η οποία εντοπίζεται μέσα στο όχημα. Όταν το όχημα έχει μεγάλες απαιτήσεις ισχύος, κυρίως κατά την εκκίνηση και την επιτάχυνση, τότε χρησιμοποιείται ο συμπιεσμένος αέρας. Ο ηλεκτροκινητήρας μπαίνει σε λειτουργία κυρίως κατά την ομαλή κίνηση του οχήματος. Ένα τέτοιο σύστημα είναι εύκολο στην κατασκευή του και μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα οποιοδήποτε συμβατικό όχημα. Ουσιαστικά αποτελεί ένα σύστημα με 2 διαφορετικούς κινητήρες οι οποίοι όμως λειτουργούν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, και οι 2 όμως τη στιγμή που είναι πιο αποδοτικοί.

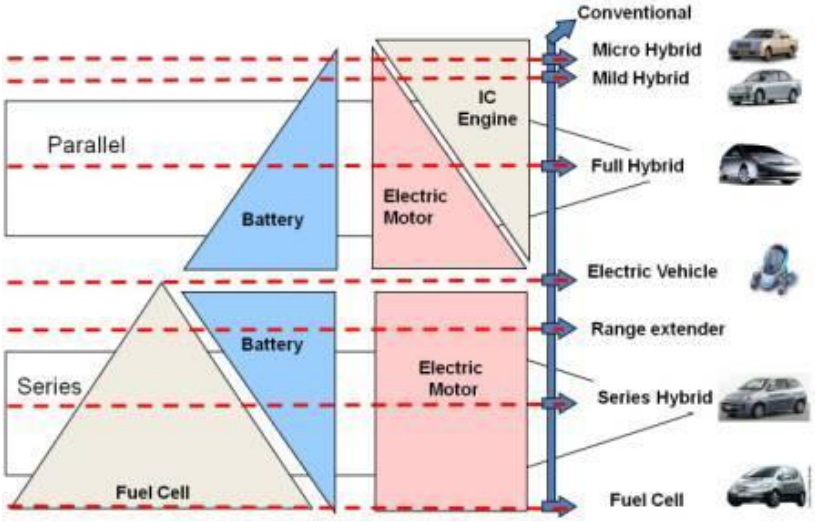
Εικόνα 2.13 Το Minicat τηςM.D.I

		Mono-energy	Dual-energy 2	Dual-energy 4
Lenght	m	2.65	2.65	2.65
Width	m	1.62	1.62	1.62
Height	m	1.66	1.66	1.66
Number of seats	-	3	3	3
Luggage compartment volume	Dm3	500/700	500/700	500/700
Weight	Kg	550	520	540
Engine	-	41P03	41P01	41P01/4
Power	cv	25	25	50
Max. speed	Km/h	110	125	140
Urban range (zero pollution)	Km	140/150	50	50
CO2 emission in urban use	g/Km	0	0	0
Non-urban range	Km	80	1650	1500
Non-urban consumption (petrol)	litres	-	1.8	2
CO2 emission in non-urban use	g/km	0	35	40
Price (from) taxes included	€		9200	

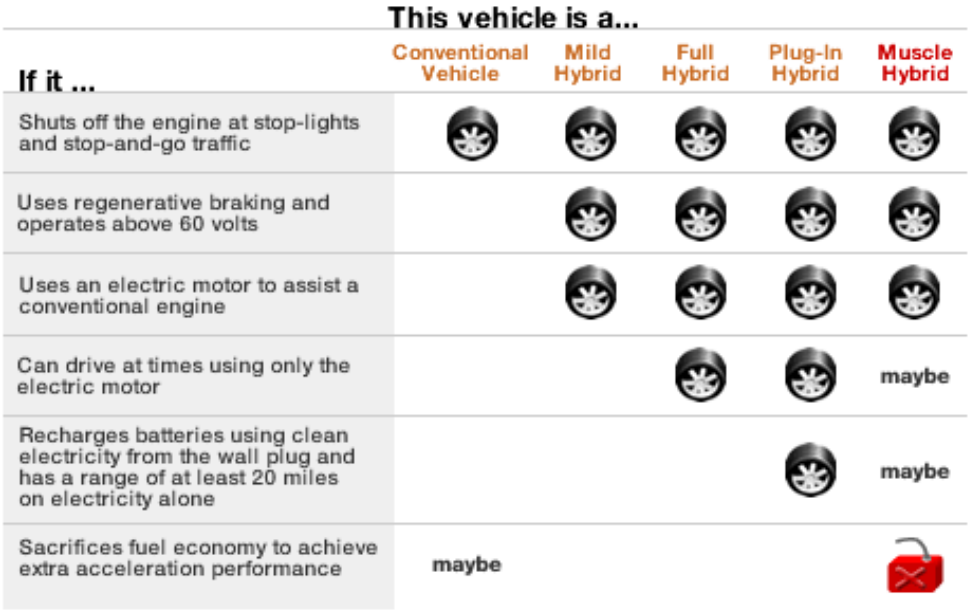
Εικόνα 2.14 Χαρακτηριστικά του Minicat της M.D.I

2.5 Βαθμός Υβριδοποίησης

[5],[10],[12] Χρησιμοποιώντας τον όρο «βαθμός υβριδοποίησης» ορίζουμε το ποσοστό της ισχύος που προσφέρει η εναλλακτική μονάδα κίνησης στο όχημα ως προς την ισχύ που προσφέρει μια συμβατική Μ.Ε.Κ. Ανάλογα λοιπόν με αυτό το ποσοστό μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες των μικρο – υβριδικών οχημάτων, των ήπιων υβριδικών και των πλήρων υβριδικών οχημάτων. Τα όρια του βαθμού υβριδοποίησης κάθε κατηγορίας δεν είναι απολύτως ξεκάθαρα καθώς ερμηνεύονται με διαφορετικό τρόπο από τον εκάστοτε κατασκευαστή.



Εικόνα 2.15 Διάγραμμα πηγής ενέργειας και κινητήριου συστήματος συναρτήσει του είδους υβριδικού οχήματος



If it ...	This vehicle is a... Conventional Vehicle	Mild Hybrid	Full Hybrid	Plug-In Hybrid	Muscle Hybrid
Shuts off the engine at stop-lights and stop-and-go traffic	✓	✓	✓	✓	✓
Uses regenerative braking and operates above 60 volts		✓	✓	✓	✓
Uses an electric motor to assist a conventional engine		✓	✓	✓	✓
Can drive at times using only the electric motor			✓	✓	maybe
Recharges batteries using clean electricity from the wall plug and has a range of at least 20 miles on electricity alone				✓	maybe
Sacrifices fuel economy to achieve extra acceleration performance	maybe				✗

Εικόνα 2.16 Βαθμός υβριδοποίησης ανάλογα με τις ιδιότητες που παρουσιάζει ένα όχημα

2.5.1 Μικρο – υβριδικά (Micro Hybrid ή Power Assist Hybrid)

Αυτή η κατηγορία οχημάτων χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό ποσοστό υβριδοποίησης και ενσωματώνει διάφορες τεχνολογίες για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Τέτοια οχήματα διαθέτουν ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες όμως δεν συνεισφέρουν στην κίνηση του οχήματος αλλά χρησιμοποιούνται για να παρέχουν βοηθητικά την απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ στα περιφερειακά υποσυστήματα. Ένα τέτοιο υποσύστημα που μπορεί να υποβοηθείται από μια ηλεκτρική μηχανή είναι το σύστημα αυτόματου σβησίματος και επανέναρξης της μηχανής εσωτερικής καύσης (το λεγόμενο σύστημα «start – stop») ή ένα άλλο σύστημα είναι η λειτουργία ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση του οχήματος για τη φόρτιση των μπαταριών («regenerative brake»). Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλά αλλά ικανοποιητικά για το βαθμό υβριδοποίησης επίπεδα της τάξεως του 5 % - 15 %.

Συγκριτικά με ένα πλήρως υβριδικό όχημα, τα μικρο – υβριδικά οχήματα μπορούν να προσφέρουν μερικά από τα πλεονεκτήματα των υβριδικών τεχνολογιών με λιγότερο κόστος από το κόστος που θα απαιτούνταν για την εγκατάσταση ενός πλήρως υβριδικού συστήματος. Προφανώς η εξοικονόμηση καυσίμου είναι μικρότερη σε αυτή την περίπτωση καθώς ο ηλεκτρικός κινητήρας που χρησιμοποιείται δεν μπορεί να υποστηρίξει τα υποσυστήματα εξοικονόμησης ενέργειας σε πλήρη λειτουργία και η Μ.Ε.Κ. δεν είναι μια μικρότερης ισχύος και κατανάλωσης Μ.Ε.Κ. όπως σε ένα πλήρως υβριδικό όχημα. Παρόλα αυτά, η BMW

έχει καταφέρει να δημιουργήσει μια ενδιαφέρουσα υλοποίηση με το συνδυασμό όλων των συστημάτων σε ένα μικρο – υβριδικό όχημα της σειράς 1.

2.5.2 Ήπια υβριδικά (Mild Hybrid)

Στην περίπτωση των ήπιων υβριδικών οχημάτων, το όχημα περιλαμβάνει ένα ηλεκτρικό κινητήριο σύστημα ικανό να συμμετάσχει στην κίνηση του οχήματος, χωρίς όμως να μπορεί να αναλάβει την εξ' ολοκλήρου κίνησή του. Ένα τέτοιο όχημα έχει την ικανότητα πέραν της υποβοήθησης της κίνησης ηλεκτρικά, να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ισχύ και τα επιμέρους υποσυστήματα του όπως ακριβώς αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο για τα μικρο – υβριδικά οχήματα. Σε αυτό το επίπεδο υβριδοποίησης μπορούμε να κάνουμε λόγο για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σ επίπεδα που κυμαίνονται μεταξύ του 15 % - 25 %.

Μερικά παραδείγματα τέτοιων οχημάτων έρχονται από διάφορες εταιρείες όπως η General Motors και η Honda. Πιο συγκεκριμένα η General Motors έχει παρουσιάσει το Parallel Hybrid Truck (PHT) και μερικά ακόμα αυτοκίνητα και Sport Utility Vehicles (SUVs) τα οποία εφοδιάζονται με το BAS Hybrid σύστημα και σαν πηγή ενέργειας έχουν μπαταρία από 36 έως 48 Volt για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της εκκίνησης του οχήματος. Το σύστημα BAS (Belt Alternator Starter) ξεκινάει τη μηχανή εσωτερικής καύσης και από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η Μ.Ε.Κ. χρησιμοποιείται για να φορτίσει τις μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα. Το προαναφερθέν σύστημα υποστηρίζει τεχνολογίες όπως η τεχνολογία «start – stop» και «regenerative braking» για να επαναφορτίσει τις μπαταρίες κατά την πέδηση. Το Saturn Vue Greenline, το οποίο χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα, σύμφωνα με την εταιρεία μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμο έως και 27 % συγκριτικά με την μη υβριδική έκδοσή του.

Εικόνα 2.17 General Motors Saturn Vue Greenline πρώτης γενιάς 2002 - 2007

Η Honda χρησιμοποιεί το σύστημα Integrated Motor Assist για να συνδέσει απευθείας στο συνολικό σύστημα τον ηλεκτροκινητήρα συνεχούς τάσης μεταξύ του βολάν (τροχός υπεύθυνος για την ταχύτητα του οχήματος) και του κιβωτίου ταχυτήτων βοηθώντας έτσι στην επιτάχυνση της Μ.Ε.Κ. αλλά και στην επανάκτηση της ενέργειας κατά την πέδηση. Αυτό το σύστημα έχει παραχθεί σε διάφορες τάσεις και αποδόσεις ισχύος. Μοντέλα αυτοκινήτων που το χρησιμοποιούν είναι το Honda Insight (1999 – 2006, 2009 - σήμερα), Honda Civic (2003 - σήμερα), Honda Accord (2005) και το Honda CR – Z (2010 – σήμερα).

Εικόνα 2.18 Honda CR –Z (2010 – σήμερα)

2.5.3 Πλήρως υβριδικά (Full Hybrid)

Σε αντίθεση με τα υβριδικά οχήματα που ανήκουν στις 2 προηγούμενες κατηγορίες, για τα πλήρως υβριδικά οχήματα εκτός από την ταυτόχρονη λειτουργία και των δυο πηγών ενέργειας, ο ένας ή οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες έχουν τη δυνατότητα της εξ ‘ ολοκλήρου κίνησης του οχήματος χωρίς την υποβοήθηση της Μ.Ε.Κ. Σε αυτή την κατηγορία οχημάτων, ο ηλεκτρικός κινητήρας που χρησιμοποιείται μπορεί να προσφέρει ισχύ μεγαλύτερη του 30 % της μέγιστης ισχύος του βενζινοκινητήρα ή κινητήρα Diesel του οχήματος. Τέτοιο παράδειγμα υβριδικού οχήματος είναι τα ευρέως διαδεδομένα Toyota Prius και Lexus RX 400H. Προφανώς τα πλήρως υβριδικά οχήματα επωφελούνται όλα τα οφέλη των υβριδικών οχημάτων όπως η ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση και η λειτουργία «start – stop».

Ο βενζινοκινητήρας του Lexus είναι ένας 3.3 lt και 208 hp (155 kW) και 288 Nm ροπής. Ο κινητήρας αυτός υποβοηθείται από 2 επιπλέον ηλεκτροκινητήρες, ο πρώτος 165 hp (123 kW) και 333 Nm ροπής, υπεύθυνος για την κίνηση στους εμπρός τροχούς ενώ ο δεύτερος είναι ένας ηλεκτροκινητήρας 67 hp (50 kW) και 130 Nm ροπής ο οποίος είναι υπεύθυνος για τους πίσω τροχούς. Το συνολικό σύστημα ονομάζεται Lexus Hybrid Drive και ο συνδυασμός του παράγει συνολικά 268 hp (200 kW). Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες χρησιμοποιείται μόνο ο μπροστά ηλεκτροκινητήρας και η Μ.Ε.Κ. ενώ ο πίσω ηλεκτροκινητήρας ενεργοποιείται μόνο

κατά την επιτάχυνση ή όταν οι μπροστινοί τροχοί χάσουν την πρόσφυση. Ο τύπος της μπαταρίας είναι Ni-MH κα φορτίζεται κατά την επιβράδυνση από γεννήτριες.

Εικόνα 2.19 Lexus RX 400H (2005 – σήμερα)

2.5.4 Υβριδικά με σύστημα εξωτερικής ηλεκτρικής φόρτισης (Plug – in Hybrid)

[5],[17] Τα υβριδικά οχήματα με σύστημα εξωτερικής ηλεκτρικής φόρτισης (Plug – in Hybrid, PHEV) μοιάζουν πλήρως με τα πλήρως υβριδικά οχήματα με τη μόνη διαφορά ότι ο ηλεκτροκινητήρας σε αυτή την περίπτωση είναι ο μόνος υπεύθυνος για την ισχύ που φτάνει στους τροχούς. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης του οχήματος είναι σχετικά μικρός και ο κύριος σκοπός του είναι να στρέφει μια κινεί μια γεννήτρια για τη φόρτιση των μπαταριών του οχήματος όταν αυτές εξαντλούνται. Επίσης ακόμα μια σημαντική διαφορά είναι ότι σε αυτά τα οχήματα παρέχεται η δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών μέσω μετασχηματιστή ο οποίος συνδέεται στο δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο. Οχήματα τέτοιου τύπου είναι ικανά να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς τη χρήση της Μ.Ε.Κ. (με τη σημερινή τεχνολογία η αυτονομία φτάνει έως και τα 100 χιλιόμετρα) και αυτός είναι και ο λόγος που διαθέτουν μεγαλύτερες συστοιχίες ηλεκτρικών συσσωρευτών. Τέτοια εμπορικά οχήματα είναι τα Toyota PHV, GM Chevrolet Volt και Daimler – Chrysler Sprinter.

Εικόνα 2.20 General Motors Chevrolet Volt (2011 – σήμερα)

2.6 Συστήματα που εφαρμόζονται σε υβριδικά οχήματα

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναφερθήκαμε σε 2 υποσυστήματα που χρησιμοποιούνται στα υβριδικά οχήματα και εμφανίζουν κάποια χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας, χωρίς όμως να αυξάνουν το βαθμό υβριδοποίησης. Αυτά τα συστήματα είναι το σύστημα «start – stop» και το σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση τα οποία περιγράφονται στις επόμενες υποπαραγράφους.

2.6.1 Σύστημα «start - stop»

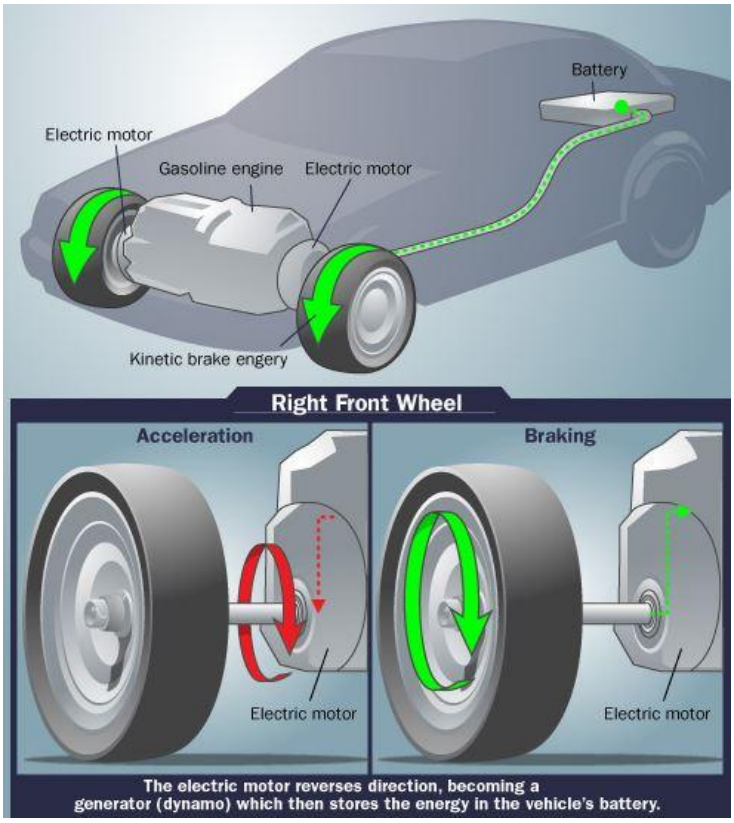
[5],[9] Το σύστημα αυτόματου σβησίματος του κινητήρα κατά την ακινητοποίηση του οχήματος και επανεκκίνησης του κατά την εκκίνηση του κινητήρα (ή αλλιώς σύστημα «start - stop») εφαρμόζεται σε όλα τα υβριδικά οχήματα. Αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα, το σύστημα ελέγχου για την κατάσταση «start – stop» και έναν αισθητήρα του οποίου σκοπός είναι να υπολογίσει την τρέχουσα και τη μελλοντική κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας. Όταν το όχημα είναι ακινητοποιημένο, ο συμβατικός κινητήρας απενεργοποιείται ύστερα από σύντομο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά, οι ηλεκτρικοί καταναλωτές του οχήματος όταν έχει απενεργοποιηθεί η Μ.Ε.Κ. συνεχίζουν αν τροφοδοτούνται και ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου η τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας. Με το πάτημα του συμπλέκτη ο κινητήρας επανέρχεται στην κανονική του λειτουργία για να συνεχίσει την πορεία του το όχημα. Αυτό το σύστημα έχει άμεση εφαρμογή κυρίως κατά την

κίνηση των οχημάτων μέσα στις πόλεις καθώς τα αυτοκίνητα ακινητοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα είτε λόγω φαναριών είτε λόγω ύπαρξης συμφόρησης των οχημάτων. Το αποτέλεσμα είναι περισσότερη οικονομία στο καύσιμο και μηδενικές εκπομπές ρύπων όταν το όχημα είναι ακινητοποιημένο.

2.6.2 Σύστημα ανάκτησης ενέργειας «Regenerative Braking»

[5],[9] Μέσω της τεχνολογίας ανάκτησης ενέργειας «regenerative braking» παρέχεται η δυνατότητα στο όχημα κατά τη φάση επιβράδυνσής του να ανακτήσει κάποιο ποσοστό της ενέργειας. Η ανάκτηση αυτή γίνεται μέσω του ηλεκτροκινητήρα ο οποίος σε αυτή τη συγκεκριμένη φάση θα λειτουργήσει σαν γεννήτρια ή μέσω ξεχωριστής γεννήτριας, ανάλογα με την τοπολογία που έχει επιλέξει ο εκάστοτε κατασκευαστής, θα επιστραφεί ενέργεια στους ηλεκτρικούς συσσωρευτές. Σε τέτοιες τοπολογίες, σύνηθες είναι να χρησιμοποιούνται υπερπυκνωτές, των οποίων το όφελος είναι ότι μπορούν να αποθηκεύσουν προσωρινά μεγάλα ποσά ενέργειας με πολύ γρήγορους χρόνους φόρτισης και αποφόρτισης. Με αυτό τον τρόπο καταπονούνται λιγότερο οι μπαταρίες, καθότι χρησιμοποιούνται υπερπυκνωτές, και εκμεταλλευόμαστε την κινητική ενέργεια των τροχών, η οποία σε ένα συμβατικό όχημα θα χανόταν με τη μορφή θερμικής ενέργειας λόγω τριβών στα δισκόφρενα του οχήματος, για να τη χρησιμοποιήσουμε στην αμέσως επόμενη επιτάχυνση του οχήματος. Έτσι μειώνεται και η καταπόνηση του συστήματος πέδησης.

Το σύστημα αναγεννητικής πέδησης εφαρμόζεται μόνο στους εμπρός τροχούς ενώ υπάρχει συμμετοχή και από το σύστημα της υδραυλικής πέδησης για το φρενάρισμα και στους τέσσερεις τροχούς. Η αναλογία συμμετοχής του κάθε συστήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ταχύτητα του οχήματος, η ασκούμενη δύναμη στο πεντάλ των φρένων από την οδηγό κ.α. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας από την πέδηση του οχήματος συνήθως λαμβάνεται σε συνθήκες κίνησης του οχήματος μέσα στην πόλη διότι υπάρχουν ομαλές αυξομειώσεις της ταχύτητας, η ταχύτητα κινείται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα και εμφανίζονται συνεχή φρεναρίσματα.



Εικόνα 2.21 Ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση του οχήματος

2.7 Πλεονεκτήματα υβριδικών οχημάτων

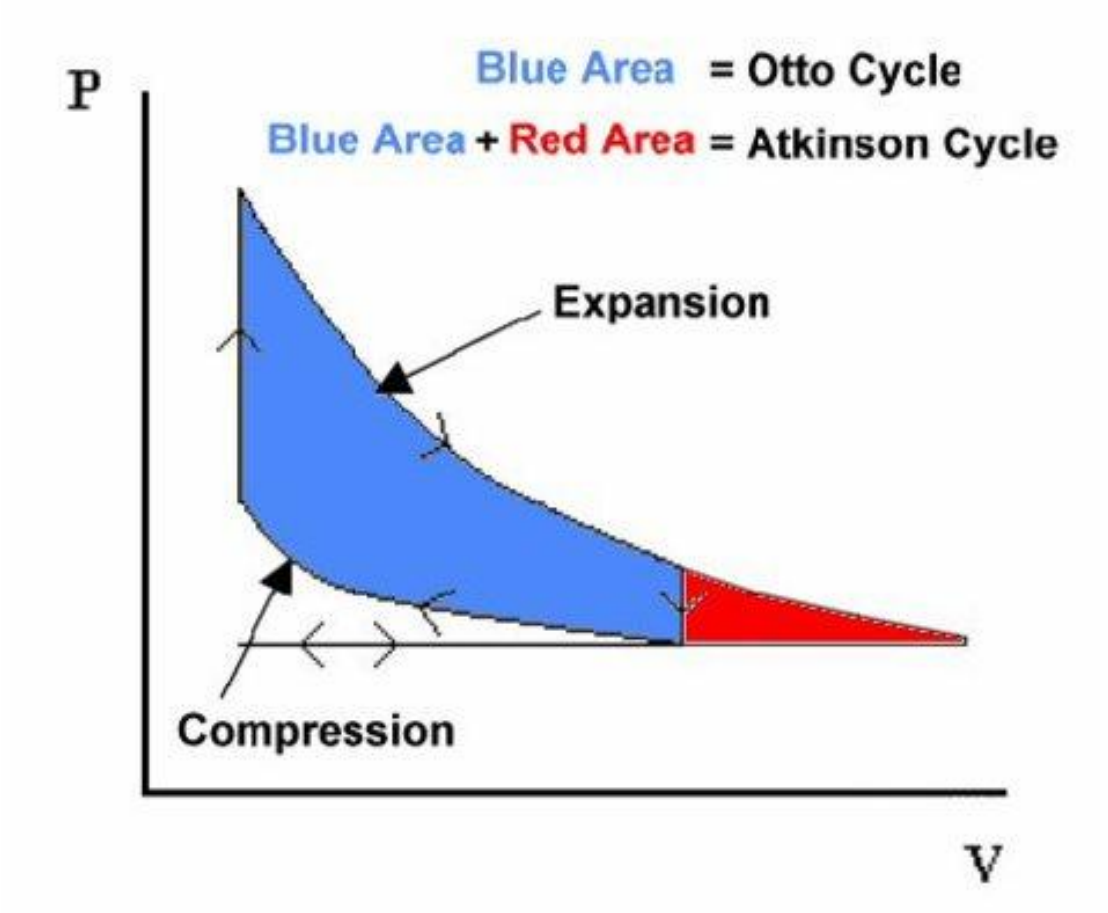
[12],[13] Από την παραπάνω ανάλυση των υβριδικών οχημάτων μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια πλεονεκτήματά τους έναντι των συμβατικών οχημάτων με μια Μ.Ε.Κ. Έτσι ο συνδυασμός δυο διαφορετικών κινητηρίων συστημάτων, μιας ηλεκτρικής μηχανής και μιας μηχανής εσωτερικής καύσης, μπορεί να μας προσφέρει τα εξής:

- Εξαιτίας της ύπαρξης 2 διαφορετικών τεχνολογιών σε ένα όχημα, οι ενεργειακές απαιτήσεις του οχήματος μοιράζονται με το βέλτιστο δυνατό τρόπο έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή διαχείριση της ενέργειας κατά την κίνηση του οχήματος. Για παράδειγμα σε ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV) ο ηλεκτρικός κινητήρας αναλαμβάνει την εκκίνηση του οχήματος όπου η Μ.Ε.Κ. θα είχε μεγαλύτερη κατανάλωση για να το επιτύχει καθώς επίσης ο ηλεκτρικός κινητήρας αναλαμβάνει και την κίνηση του οχήματος σε χαμηλές ταχύτητες καθώς παρουσιάζει μέγιστη ροπή σε χαμηλές στροφές αλλά και υποβοηθά τον συμβατικό κινητήρα όπου αυτό απαιτείται όπως η ανάβαση σε ανηφόρα ή η αύξηση των απαιτήσεων της ισχύος κατά την επιτάχυνση. Από την άλλη πλευρά, η Μ.Ε.Κ. αναλαμβάνει την κίνηση του οχήματος σε

μεσαίες και υψηλές ταχύτητες διότι εδώ παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης από τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι στο υβριδικό αυτοκίνητο απαιτείται μικρότερη σε μέγεθος Μ.Ε.Κ. συγκριτικά με ένα συμβατικό όχημα καθώς έχει μικρότερο εύρο ισχύος που πρέπει να αποδώσει. Γενικότερα, η ύπαρξη του ηλεκτρικού κινητήρα βελτιώνει την επιτάχυνση και την εκκίνηση του οχήματος ενώ παράλληλα μειώνονται οι δονήσεις και οι θόρυβοι εξαιτίας της υπό συνθήκης συνδυαστικής λειτουργίας της με τη μηχανή εσωτερικής καύσης.

- Σε ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα, η απαιτούμενη ισχύς των περιφερειακών συστημάτων του όπως το air condition, οι αντλίες νερού, λαδιού και βενζίνης, το ηλεκτρικό υδραυλικό σύστημα διεύθυνσης, οι διάφοροι ανεμιστήρες του ακόμα και το ηχοσύστημα μπορούν να τροφοδοτούνται απευθείας από τους συσσωρευτές. Συνεπώς δεν υπάρχει λόγος να αντλείται μηχανική ισχύς από τον άξονα του βενζινοκινητήρα και να μεταδίδεται μέσω ιμάντων και γραναζιών στα επιμέρους προαναφερθέντα υποσυστήματα όπως γίνεται στα συμβατικά οχήματα.
- Μέσω των διάφορων τεχνολογιών που εφαρμόζονται στα υβριδικά οχήματα, όπως αυτά που αναφερθήκαμε στις υποπαραγράφους 2.6.1 και 2.6.2 μειώνεται ακόμα περισσότερο η σπατάλη ενέργειας και η εκπομπή ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον εμφανίζοντας έτσι τον πιο «οικολογικό» χαρακτήρα των υβριδικών οχημάτων.
- Αν και το συνολικό κόστος απόκτησης ενός υβριδικού οχήματος είναι αυξημένο λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, το συνολικό κόστος συντήρησης ενός υβριδικού οχήματος είναι μικρότερο συγκριτικά με ένα συμβατικό όχημα δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται Μ.Ε.Κ. χαμηλότερου κυβισμού και ο ηλεκτροκινητήρας απαιτεί σχεδόν μηδενική συντήρηση εξαιτίας της μη ύπαρξης τριβών κατά τη λειτουργία του και της στιβαρότητας της κατασκευής του.
- Μέσω της υβριδικής τεχνολογίας στην αυτοκίνηση παρέχεται η δυνατότητα εναλλακτικής αρχής λειτουργίας της μηχανής εσωτερικής καύσης. Γενικά χρησιμοποιούνται για την καύση οι λεγόμενοι θερμοδυναμικοί κύκλοι και στα συμβατικά αυτοκίνητα επιλέγεται συνήθως η αρχή λειτουργίας του Otto («Otto Cycle») επειδή εμφανίζει ικανοποιητική απόδοση για ένα μεγάλο εύρος στροφών. Επειδή όμως στα υβριδικά αυτοκίνητα υπάρχει και ο ηλεκτροκινητήρας και συνεπώς γίνεται λόγος για μια συνδυαστική λειτουργία ηλεκτροκινητήρα – Μ.Ε.Κ. , εφαρμόζεται η αρχή λειτουργίας του Atkinson («Atkinson Cycle») η οποία είναι αποδοτικότερη για ένα συγκεκριμένο εύρος στροφών από την αντίστοιχη απόδοση της αρχής λειτουργίας του Otto. Σε έναν τετράχρονο κινητήρα κύκλου Atkinson δεν υπάρχει συμμετρία στις φάσεις συμπίεσης και εκτόνωσης καθώς υπάρχει βραδυπορία ως προς το κλείσιμο των βαλβίδων, γεγονός που καθυστερεί τη συμπίεση. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκτόνωση ενώ έχουμε

μικρότερη συμπίεση και η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι μικρότερη συγκριτικά με τους κινητήρες που χρησιμοποιούν την αρχή λειτουργίας του Otto.



Εικόνα 2.22 Σύγκριση κύκλων Otto και Atkinson

- Τέλος, η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου μας οδηγεί στον περιορισμό των εξόδων μετακίνησης, στην αύξηση της οικονομίας και στο προφανές συμπέρασμα των χαμηλότερων ρύπων όπως προαναφέρθηκε. Επιπλέον, πολλές κυβερνήσεις των ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών, αντιλαμβανόμενες τα πλεονεκτήματα της υβριδικής τεχνολογίας παρέχουν οικονομικά οφέλη για την απόκτηση υβριδικών οχημάτων αλλά και φορολογικές ελαφρύνσεις (π.χ. μηδενικά τέλη) και εφαρμόζουν ήδη τέτοιες τεχνολογίες στα μέσα μαζικής μεταφοράς όπως τα λεωφορεία.

3. Υποσυστήματα Υβριδικών Ηλεκτρικών οχημάτων

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα βασικά υποσυστήματα ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος τα οποία συνθέτουν το ηλεκτροκινητήριο σύστημα. Αυτά τα υποσυστήματα κατά βάση είναι ο ηλεκτρικός κινητήρας για την παροχή της κινητικής ενέργειας και τα μέσα αποθήκευσης της ενέργειας (ηλεκτρικοί συσσωρευτές κ.α). Επίσης θα αναφερθούμε και στον Inverter, τη διάταξη δηλαδή που χρησιμοποιείται για να μετατρέψει την συνεχή τάση που παρέχουν οι συσσωρευτές σε εναλλασσόμενη όταν απαιτείται για την τροφοδότηση ενός τριφασικού κινητήρα.

3.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες

[18] Ηλεκτρικό κινητήρα ονομάζουμε μια διάταξη (ηλεκτρική μηχανή) η οποία χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στη δύναμη Lorentz, σύμφωνα με την οποία όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε ασκείται σε αυτόν μια δύναμη που είναι ίση με $F_L = B \cdot I \cdot l$, όπου B είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου, I είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και l είναι το μήκος του αγωγού. Ένας ηλεκτροκινητήρας μπορεί να λειτουργήσει επίσης ως ηλεκτρική γεννήτρια, όπου σε αυτή την περίπτωση έχουμε την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια ενώ ταυτόχρονα αντιστρέφεται και η ροή της ισχύος.

Οι ηλεκτρικές μηχανές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως για παράδειγμα ανάλογα του ρεύματος τροφοδοσίας (συνεχές ή εναλλασσόμενο), τον αριθμό των φάσεων (μονοφασική ή πολυφασική) τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους. Για να επιτύχουμε κινητήρες μεγαλύτερης ισχύος απαιτείται η χρήση πολλών φάσεων στο σύστημα τροφοδοσίας.

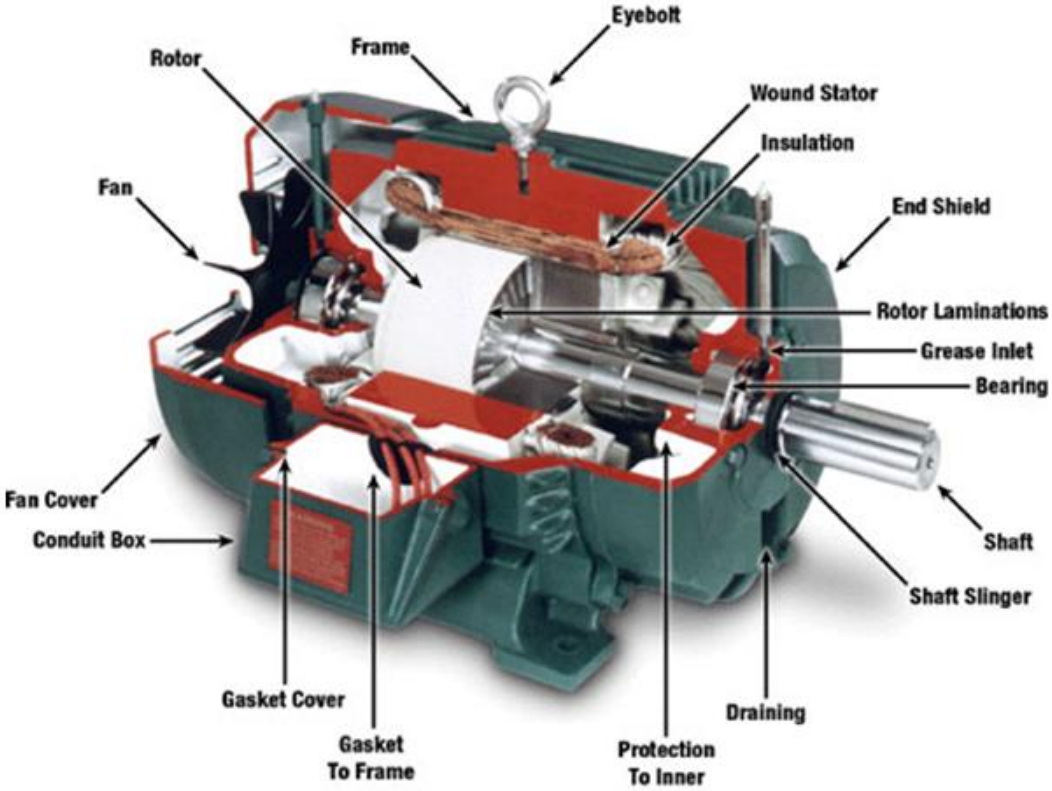
Για να επιλέξουμε κάποιο κινητήριο σύστημα σε ένα όχημα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια όπως η αξιοπιστία του κινητήρα η οποία πρέπει να είναι απόλυτη, η συντήρηση που απαιτείται, το βάρος και το μέγεθος του κινητήρα (για μικρότερους βαθμούς υβριδοποίησης είναι αρκετός ένας πιο μικρός κινητήρας). Σημασία επίσης πρέπει να δίνεται και στον τρόπο με τον οποίο θα ελέγχεται ο ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος πρέπει να παρουσιάζει ακρίβεια και αξιοπιστία.

Στη συνέχεια θα δούμε μια σύντομη περιγραφή και σύγκριση μεταξύ των βασικών ηλεκτρικών μηχανών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα.

3.2.1 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC motor)

[5],[18],[19],[20] Οι κινητήρες αυτής της κατηγορίας όπως φαίνεται και από την ονομασία τους είναι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν για την τροφοδοσία τους συνεχές ρεύμα. Ωστόσο, οι περισσότερες μηχανές συνεχούς ρεύματος μοιάζουν με τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος καθώς τα ρεύματα και οι τάσεις στο εσωτερικό των μηχανών είναι εναλλασσόμενα μεγέθη.

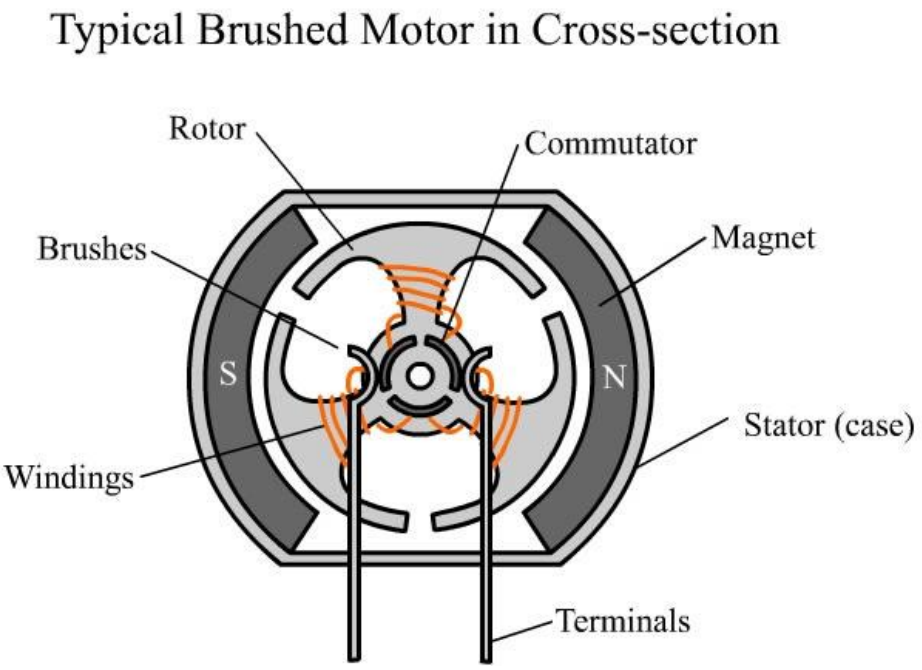
Τα κατασκευαστικά στοιχεία μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος είναι ο στάτης (stator), ο οποίος αποτελεί το ακίνητο μέρος της μηχανής, και ο δρομέας ή ρότορας (rotor), ο οποίος αποτελεί το κινούμενο μέρος της μηχανής.



Εικόνα 3.1 Ηλεκτρική μηχανή συνεχούς ρεύματος (DC motor)

Ο στάτης έχει σκοπό να δημιουργήσει μια καθορισμένη μαγνητική ροή και αποτελείται από το ζύγωμα, τους μαγνητικούς πόλους, τους βοηθητικούς μαγνητικούς πόλους, τον ψηκτροφορέα με τις ψήκτρες και τα καλύμματα όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2 παρακάτω. Το ζύγωμα ενώνει μηχανικά και μαγνητικά τους μαγνητικούς πόλους της μηχανής δομώντας το βασικό κορμό αυτής και έχει κυλινδρικό σχήμα. Ο

αριθμός των μαγνητικών πόλων κάθε ηλεκτρικής μηχανής είναι πάντα άρτιος και ανάλογα με τον αριθμό των πόλων η μηχανή ονομάζεται διπολική, τετραπολική κτλ.



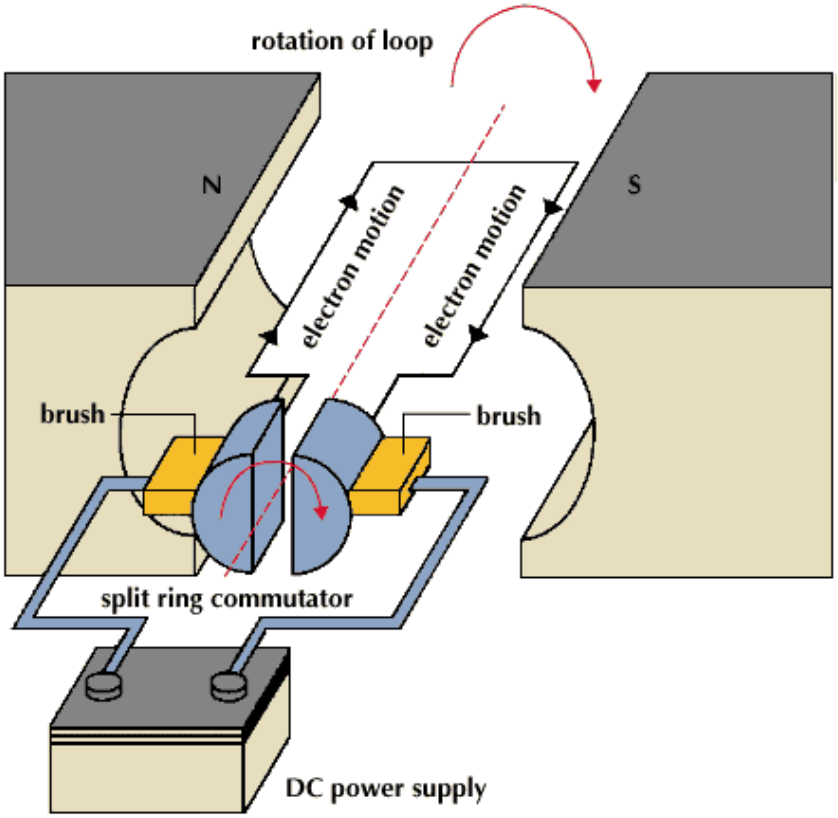
Εικόνα 3.2 Τομή ηλεκτρικής μηχανής συνεχούς ρεύματος (DC motor)

Οι μαγνητικοί πόλοι κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικό υλικό και δημιουργούν την απαραίτητη μαγνητική ροή στο διάκενο η οποία θα αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για τη στρέψη του επαγωγικού τυμπάνου. Κάθε πόλος αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμά του το οποίο συντίθεται από πολλές σπείρες χάλκινου μονωμένου σύρματος. Το σύνολο των τυλιγμάτων των μαγνητικών πόλων συγκροτεί το τύλιγμα διέγερσης της μηχανής. Οι βοηθητικοί πόλοι (εάν υπάρχουν) τοποθετούνται μεταξύ των κύριων πόλων και χρησιμεύουν για την αποφυγή σπινθηρισμών στο συλλέκτη οι οποίοι με τη σειρά τους μπορούν να οδηγήσουν σε βραχυκύκλωμα του επαγωγικού τυμπάνου. Η κατασκευή τους είναι ίδια με αυτή των κύριων πόλων αλλά είναι μικρότεροι σε μέγεθος. Ο ψηκτροφορέας αποτελείται από ένα σιδερένιο δακτύλιο, τους βραχίονες των ψηκτροθηκών και τις ψηκτροθήκες και στερεώνεται στο κάλυμμα της μηχανής στην πλευρά του συλλέκτη. Οι ψήκτρες κατασκευάζονται από άνθρακα ή μίγμα άνθρακα χαλκού και βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το συλλέκτη του δρομέα για να μετατραπεί η εσωτερική εναλλασσόμενη τάση της μηχανής σε συνεχή τάση στα άκρα της. Τα καλύμματα χρησιμεύουν για την υποστήριξη του άξονα του δρομέα και την προφύλαξη του εσωτερικού της μηχανής.

Ο δρομέας έχει σκοπό να μεταδώσει την κίνηση που δημιουργεί η ηλεκτρική μηχανή και αποτελείται από το επαγωγικό τύμπανο, τον άξονα και το συλλέκτη. Το επαγωγικό τύμπανο περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι μαγνητικοί πόλοι. Αποτελείται από δυναμοελάσματα τα οποία είναι μεμονωμένα μεταξύ τους και είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να αφήνουν αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετούνται οι αγωγοί. Ο συλλέκτης σκοπό έχει να παίρνει να μεταβιβάζει

ρεύμα ανάλογα αν η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια ή κινητήρας αντίστοιχα και αποτελείται από πολλά χάλκινα ελάσματα κατάλληλα διαμορφωμένα τα οποία συγκροτούν τους τομείς του συλλέκτη.

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στις δυνάμεις αλληλεπίδρασης που εφαρμόζονται μεταξύ στάτη και δρομέα. Στο στάτη δημιουργείται μαγνητικό πεδίο μέσω του συνεχούς ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα διέγερσης. Το τύλιγμα του δρομέα λοιπόν βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ενώ παράλληλα τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα. Έτσι ασκούνται δυνάμεις εφαπτομενικής διεύθυνσης στο τύλιγμα του δρομέα, οι οποίες προκαλούν ροπή και τείνουν να τον περιστρέψουν προς μια κατεύθυνση. Καθώς ο δρομέας περιστρέφεται, η ροή του ρεύματος στο τύλιγμα του τυμπάνου εναλλάσσεται με τη βοήθεια του συλλέκτη και των ψηκτρών. Ο συλλέκτης ακολουθεί την περιστροφική κίνηση του δρομέα ενώ οι ψήκτρες παραμένουν σε σταθερή θέση. Ανάλογα με τη θέση του συλλέκτη ως προς τις ψήκτρες έχουμε εναλλαγή αυτής της ροής του ρεύματος. Δηλαδή, παρά το γεγονός ότι η μηχανή τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα, το τύλιγμα του τυμπάνου διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Έτσι κάθε στιγμή, οι δυνάμεις που ασκούνται στο δρομέα δημιουργούν ροπή ίδιας κατεύθυνσης και ο άξονας της μηχανής στρέφεται προς την επιθυμητή φορά.



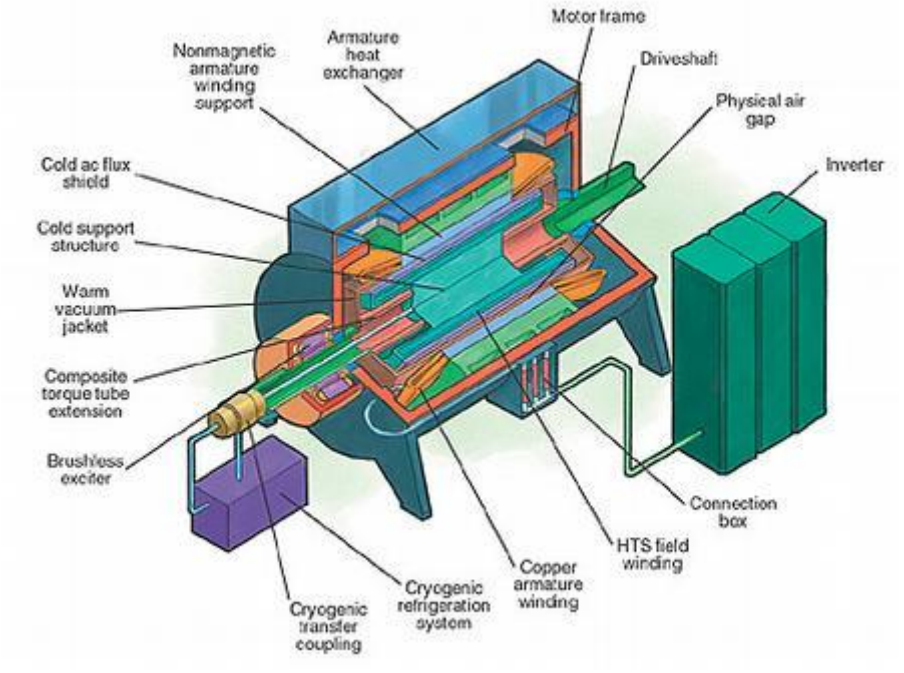
Εικόνα 3.3 Αρχή λειτουργίας κινητήρα συνεχούς ρεύματος (δυο πόλων)

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος ποικίλουν ανάλογα με τη συνδεσμολογία του τυλίγματος διέγερσης τους με το τύλιγμα του τυμπάνου και κατατάσσονται σε

κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σε σειρά, κινητήρες συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης και κινητήρες συνεχούς ρεύματος με παράλληλη διέγερση. Τέλος, οι κινητήρες που δημιουργούν το μόνιμο μαγνητικό πεδίο του στάτη μέσω μόνιμου μαγνήτη και όχι μέσω τυλίγματος, ονομάζονται κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μόνιμο μαγνήτη.

3.2.2 Σύγχρονος κινητήρας (Synchronous motor)

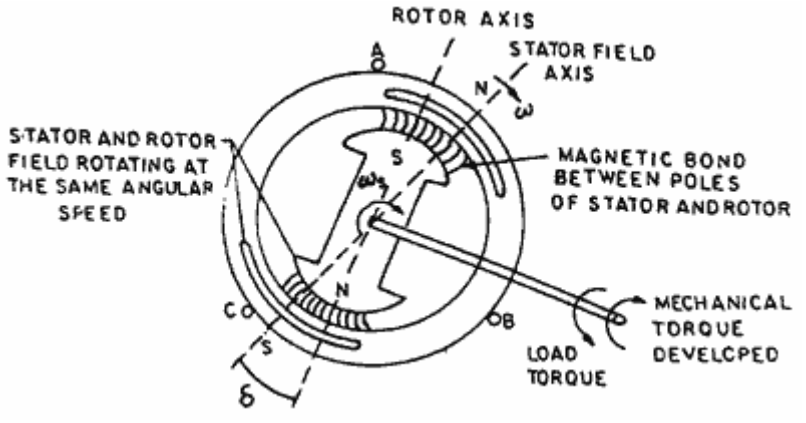
[5],[19],[20] Ο σύγχρονος κινητήρας αποτελείται από το στάτη ο οποίος φέρει ένα τριφασικό τύλιγμα και από το δρομέα ο οποίος φέρει το τύλιγμα διέγερσης και τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Επίσης υπάρχουν και σύγχρονοι κινητήρες οι οποίοι στο δρομέα έχουν μόνιμο μαγνήτη και με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ύπαρξη επιπλέον εξωτερικής τροφοδοσίας για το τύλιγμα της διέγερσης. Ο χαρακτηρισμός «σύγχρονος» προέρχεται από το γεγονός ότι ο δρομέας στρέφεται με την ίδια ταχύτητα με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο εσωτερικό της μηχανής, ανεξάρτητα του φορτίου, μέχρι κάποιο όριο ισχύος.



Εικόνα 3.4 Αρχή Σύγχρονος κινητήρας (Synchronous motor)

Η αρχή λειτουργίας ενός σύγχρονου κινητήρα έχει ως εξής: ο δρομέας διαρρέεται από ένα συνεχές ρεύμα διέγερσης το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου του δρομέα. Στο στάτη της μηχανής εφαρμόζεται ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων το οποίο παράγει στο εσωτερικό της μηχανής ένα στρεφόμενο ομοιογενές μαγνητικό πεδίο. Έτσι στο εσωτερικό του κινητήρα

υπάρχουν πλέον δυο πεδία τα οποία τείνουν να ευθυγραμμιστούν, όπως δυο μαγνητικοί ράβδοι. Επειδή όμως το πεδίο του στάτη περιστρέφεται συνεχώς (λόγω του τριφασικού συστήματος ρευμάτων που έχουν το ίδιο πλάτος και διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους), το πεδίο του δρομέα (και ο δρομέας ο ίδιος) προσπαθεί συνεχώς να το ακολουθήσει. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία μεταξύ των δυο πεδίων τόσο μεγαλύτερη είναι και η ροπή που ασκεί στο δρομέα το μαγνητικό του πεδίο. Έτσι το μαγνητικό πεδίο του δρομέα «κυνηγάει» συνεχώς το μαγνητικό πεδίο του στάτη.



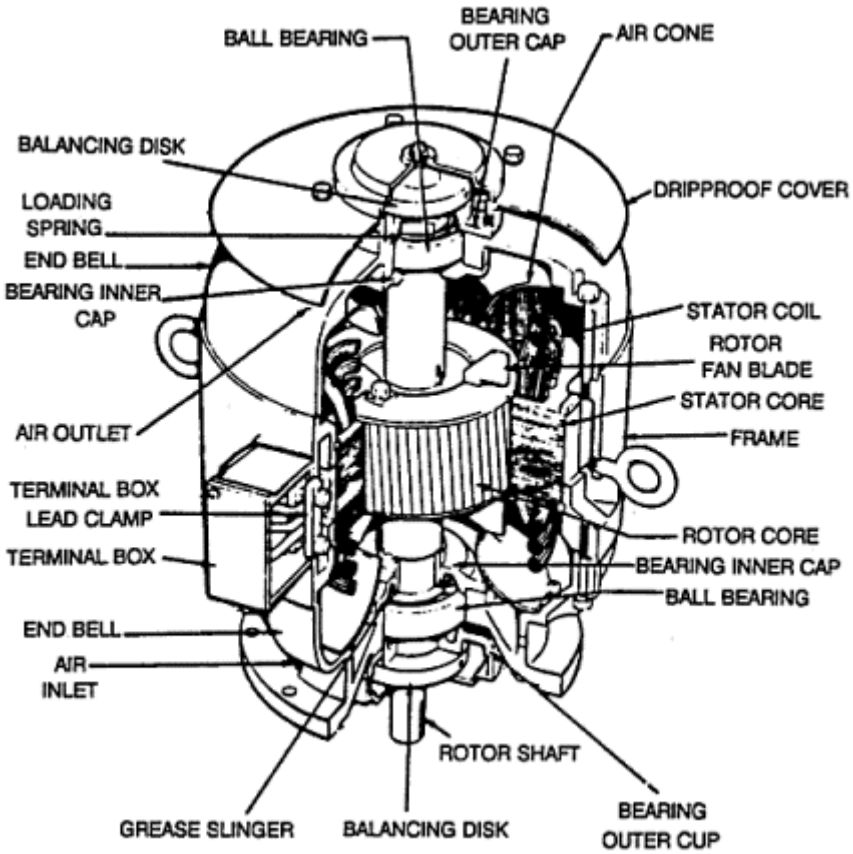
Εικόνα 3.5 Αρχή λειτουργίας σύγχρονου κινητήρα

Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται από μηδενικές στροφές και διατηρείται σταθερή για ένα μεγάλο εύρος στροφών. Ο έλεγχος της ταχύτητας του κινητήρα επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τη συχνότητα τροφοδοσίας.

3.2.3 Ασύγχρονος κινητήρας (Asynchronous motor)

[5],[20] Ο ασύγχρονος επαγωγικός κινητήρας είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα είδη κινητήρα, καθώς διακρίνεται για τη στιβαρή κατασκευή του και την υψηλή αξιοπιστία του. Αποτελείται από ένα μονοφασικό ή πολυφασικό τύλιγμα το οποίο τοποθετείται στον στάτη (ίδιας δομής όπως και σε μια σύγχρονη μηχανή), ενώ ο δρομέας διακρίνεται σε τρείς κατασκευαστικούς τύπους, τον δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού, τον δακτυλιοφόρο δρομέα και τον δρομέα χωρίς κλωβό. Στην πρώτη περίπτωση, ο δρομέας αποτελείται από ένα σύνολο αγώγιμων ράβδων οι οποίες τοποθετούνται σε αυλάκια στην επιφάνειά του, παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής και βραχυκυκλώνονται στα δυο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων βραχυκύκλωσης. Στη δεύτερη περίπτωση, του δακτυλιοφόρου δρομέα, ο δρομέας περιβάλλεται από τα τυλίγματα, στα οποία βραχυκυκλώνεται η μια άκρη τους ενώ η άλλη ενώνεται, κατά ομάδες, με τόσους δακτυλίους όσες είναι και οι φάσεις του κινητήρα. Οι δακτύλιοι αυτοί συνδέονται με τη βοήθεια ψηκτρών με εξωτερικό κύκλωμα. Τέλος, στην τρίτη περίπτωση, του δρομέα χωρίς κλωβό, ο δρομέας κατασκευάζεται από σίδερο, στον οποίο δημιουργούνται δινορεύματα και αυτά μαζί με το μαγνητικό πεδίο δημιουργούν ροπή.

Η αρχή λειτουργίας ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα προέρχεται από το φαινόμενο της ανάπτυξης ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων με επαγωγή στους αγωγούς του δρομέα και έτσι προκύπτει και το όνομα επαγωγικός κινητήρας. Ο στάτης της μηχανής τροφοδοτείται από ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων το οποίο δημιουργεί ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της μηχανής. Το πεδίο αυτό περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της μηχανής με τη σύγχρονη ταχύτητα, η οποία καθορίζεται από τη συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας και του αριθμού πόλων του στάτη. Στους αγωγούς του δρομέα επάγονται λοιπόν ρεύματα τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν ένα διαφορετικό μαγνητικό πεδίο . Η αλληλεπίδραση αυτών των δυο μαγνητικών πεδίων παράγει μια ροπή η οποία περιστρέφει τον δρομέα και συνεπώς τον άξονα της μηχανής. Η διαφορά της σύγχρονης ταχύτητας από την πραγματική ταχύτητα του δρομέα οφείλεται στο φορτίο που είναι συνδεδεμένο στον άξονα.

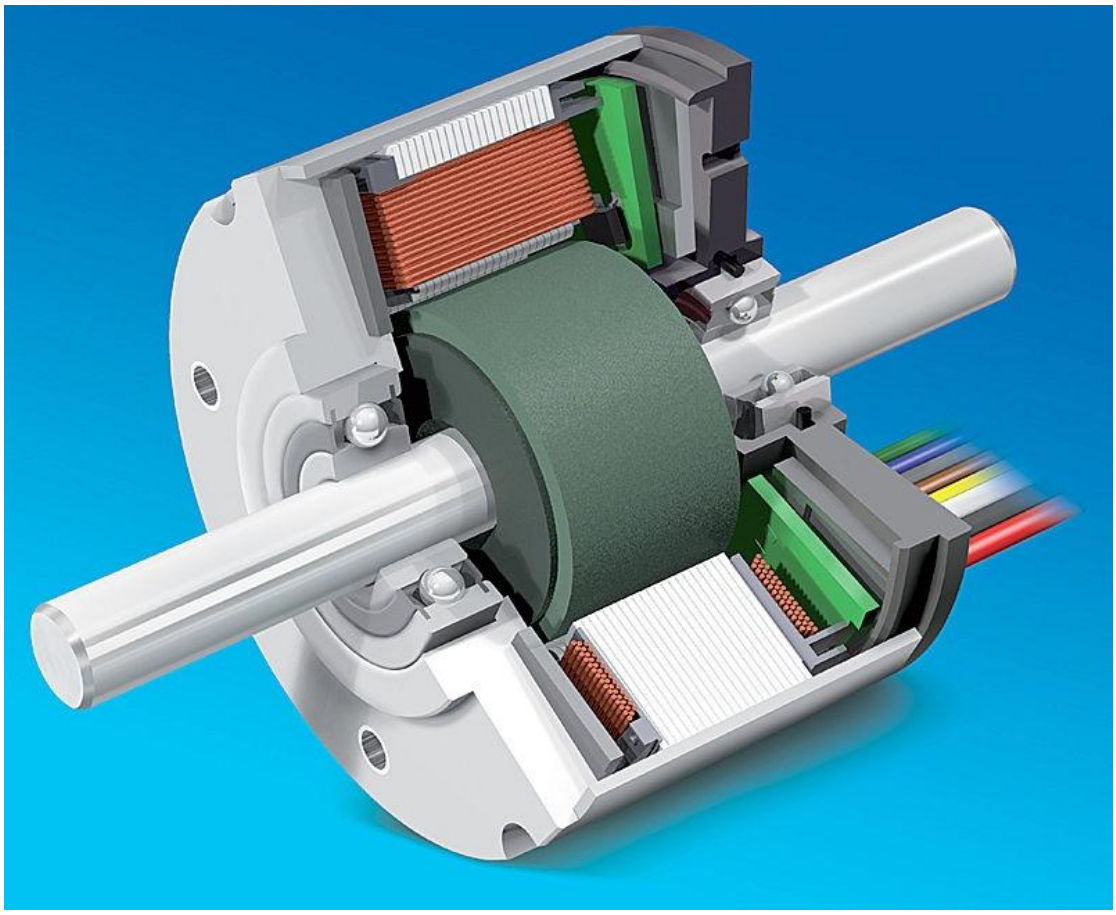


Εικόνα 3.6 Ηλεκτρικός ασύγχρονος κινητήρας

.

3.2.4 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες (DC brushless motor)

[5],[20] Αυτό το είδος κινητήρα μοιάζει με τον τριφασικό σύγχρονο κινητήρα με τη διαφορά ότι τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα, για αυτό και έχει αυτή τη συγκεκριμένη ονομασία. Στο στάτη του είναι τοποθετημένο ένα τριφασικό τύλιγμα, ενώ στο δρομέα έχει μόνιμο μαγνήτη, και όχι το τύλιγμα διέγερσης. Η τροφοδοσία του κινητήρα αυτού παρέχεται από μια πηγή συνεχούς ρεύματος το οποίο μέσω ενός τριφασικού αντιστροφέα (inverter) μετατρέπεται σε τριφασικό εναλλασσόμενο. Ο άξονας της μηχανής στρέφεται με το σύγχρονο αριθμό στροφών όπως ένας σύγχρονος κινητήρας. Στη συγκεκριμένη διάταξη δεν απαιτείται συλλέκτης όπως στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 3.7 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες

3.2.5 Σύγκριση ηλεκτρικών κινητήρων

Αρχικά, τα περισσότερα κινητήρια συστήματα μεταβλητών στροφών χρησιμοποιούσαν κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Αυτός ο τύπος κινητήρων παρουσιάζει γενικά απλή και στιβαρή κατασκευή και είναι ιδανικός για εφαρμογή σε οχήματα που εκκινούν συχνά καθώς αποδίδει μέγιστη ροπή από μηδενικές στροφές.

Τέτοιοι κινητήρες δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιούνται σε αστικά περιβάλλοντα για την κίνηση των οχημάτων σε μικρές ταχύτητες, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες απαιτείται η χρήση κιβωτίου ταχυτήτων για την προσαρμογή της ροπής. Ο έλεγχος των κινητήρων συνεχούς ρεύματος καθίσταται εύκολος και το κόστος των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος ου απαιτούνται είναι χαμηλό. Τέλος το κόστος συντήρησης είναι σχετικά υψηλό καθώς απαιτείται περιοδική αντικατάσταση των ψηκτρών λόγω της τριβής τους με το συλλέκτη.

Μαζί με την τεχνολογική εξέλιξη των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος και των μεθόδων ελέγχου, αναπτύχθηκαν μετατροπείς κατάλληλοι για την οδήγηση των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος με αποτέλεσμα η λύση αυτή να επικρατεί στα συστήματα μεταβλητών στροφών σε εφαρμογές συνεχώς αυξανόμενης ισχύος. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των τριφασικών επαγωγικών κινητήρων, στα οποία οφείλεται η επικράτηση τους είναι η υψηλή αξιοπιστία τους, το χαμηλό κόστος λόγω της απλότητας κατασκευής τους, η μειωμένη συντήρηση που απαιτούν, η απουσία προβλημάτων μεταγωγής και σπινθηρισμών, η δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισής του κινητήρα με φορτίο πολύ μεγαλύτερο του ονομαστικού και η ανθεκτικότητα του στάτη σε σκόνη και υγρασία. Από την άλλη πλευρά, απαιτείται η χρήση μειωτήρα για την προσαρμογή του αριθμού των στροφών καθώς δίνουν είτε υψηλή ροπή στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής είτε χαμηλή ροπή στις υψηλές ταχύτητες αλλά όχι και τα δύο. Το πρόβλημα αυτό έρχονται να ξεπεράσουν οι πολυφασικοί επαγωγικοί κινητήρες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα ομαλής μετάβασης από συνθήκες λειτουργίας υψηλής ροπής σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής σε συνθήκες χαμηλής ροπής σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής, χωρίς την απαίτηση χρήσης πολύπλοκου μειωτήρα.

Ο σύγχρονος κινητήρας παρουσιάζει μεγάλο συντελεστή απόδοσης και έχει μικρό βάρος. Ο έλεγχος των στροφών του μέσω της συχνότητας τροφοδοσίας τον καθιστά ιδανικό για χρήση σε υβριδικά οχήματα καθώς παρουσιάζει μέγιστη ροπή από μηδενικές στροφές και για μεγάλο εύρος. Ως μειονεκτήματα καταγράφονται το υψηλό κόστος κατασκευής του λόγω της ύπαρξης του μόνιμου μαγνήτη καθώς και το ενδεχόμενο απομαγνήτισης του μόνιμου μαγνήτη, κάτι το οποίο ισχύει και για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες. Ηλεκτροκινητήρες με μόνιμο μαγνήτη έχουν ανάγκη από δραστική ψύξη, συνήθως χρησιμοποιείται υδρόψυξη, διαφορετικά μειώνεται η απόδοσή τους, πλεονεκτούν όμως σε σχέση με τα άλλα είδη κινητήρων στη διαδικασία ανάκτησης της ενέργειας κατά την πέδηση.

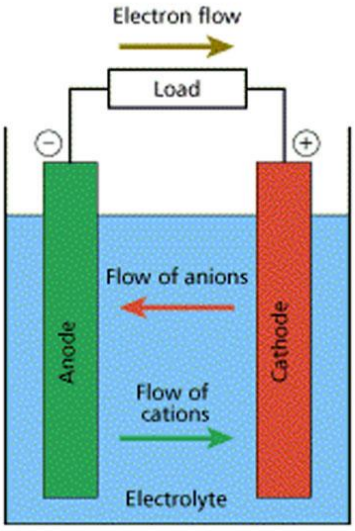
Παρά το γεγονός όμως ότι υπάρχουν κινητήρια συστήματα με μεγαλύτερη απόδοση, όπως οι μηχανές μονίμων μαγνητών που παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος, τα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης που επιλέγονται κατά κύριο λόγο στα υβριδικά οχήματα είναι αυτά των κινητήρων επαγωγής εξαιτίας του χαμηλού κόστους κατασκευής, της απλότητας και της αξιοπιστίας του κινητήρα αλλά και της βελτιωμένης δυναμικής συμπεριφοράς που επιτυγχάνεται με τους σύγχρονους αντιστροφείς. Η απόδοση κατά τη δυναμική λειτουργία των συστημάτων αυτών σε τροφοδοσία αντιστροφέα αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας και η βελτίωσή

της αναμένεται να τα καθιερώσει ως μια από τις επικρατέστερες επιλογές σε εφαρμογές ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων.

3.3 Μέσα αποθήκευσης ενέργειας

Στην εξέλιξη των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων σημαντικό ρόλο προφανώς κατέχει και η αποθήκευση ενέργειας. Επιδιώκεται η αποθήκευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ποσών ενέργειας και η άμεση διαθεσιμότητα αυτής, χωρίς απώλειες. Παρακάτω ακολουθεί μια επιμέρους περιγραφή των μέσων αποθήκευσης της ενέργειας καθώς αυτή διακρίνεται σε ηλεκτρική και μηχανική. Για την ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, ενεργειακές κυψέλες και υπερπυκνωτές, ενώ για τη μηχανική ενέργεια χρησιμοποιούνται σφόνδυλοι.

[5] Όσον αφορά τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές συγκεκριμένα, αποτελούν το πιο διαδεδομένο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και είναι μια διάταξη η οποία μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Κάθε μπαταρία αποτελείται από ένα η περισσότερα κελιά (cells) μέσα στα οποία λαμβάνει χώρα αυτή μια ηλεκτροχημική αντίδραση. Το κάθε κελί αποτελείται από δυο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο, τα οποία αντιδρούν μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη. Τα στοιχεία αυτά είναι ουσιαστικά οι πόλοι του κελιού και όταν στα του συνδεθεί κάποιο φορτίο, τότε κλείνει κύκλωμα μέσω του ηλεκτρολύτη και ανταλλάσσονται ηλεκτρόνια μεταξύ ανόδου και καθόδου. Αυτή η ροή ηλεκτρονίων εκφράζεται ως ηλεκτρικό ρεύμα όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.8 Ηλεκτροχημικός συσσωρευτής ενέργειας

Οι παράμετροι που προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ηλεκτροχημικού συσσωρευτή είναι η ειδική ενεργειακή πυκνότητα (Wh/kg – specific energy density), η ειδική ισχύς (W/kg – specific power), η ογκομετρική ενεργειακή

πυκνότητα (Wh/L – volumetric energy density), ο αριθμός των κύκλων φόρτισης και αποφόρτισης μέχρι την αχρήστευση του συσσωρευτή (life cycles), ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης.

3.3.1 Η μπαταρία NiMH

[5],[21],[22],[23] Στα σύγχρονα εμπορικά υβριδικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κατά βάση είναι η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου υδριδίου (NiMH). Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρόμοια με τη μπαταρία Νικελίου – Καδμίου (NiCd), με τη διαφορά ότι αντί για κάδμιο στην άνοδο της έχει ένα κράμα απορροφητικό σε υδρογόνο. Στην κάθοδο, όπως και στις NiCd μπαταρίες, χρησιμοποιεί νικέλιο. Μια NiMH μπαταρία έχει δύο με τρεις φορές τη χωρητικότητα μιας ισοδύναμου μεγέθους μπαταρίας NiCd και το «φαινόμενο μνήμης» (memory effect) της δεν είναι τόσο σημαντικό όπως στις μπαταρίες τύπου NiCd. Ωστόσο συγκρινόμενη με τη μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium – ion battery), η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλότερη και η αυτοεκφόρτιση μεγαλύτερη. Η ειδική ενεργειακή πυκνότητα για την NiMH είναι περίπου 80 Wh/kg, με την ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα να είναι γύρω στις 200 Wh/L. Η αντίδραση που συμβαίνει στην άνοδο μιας μπαταρίας NiMH είναι η ακόλουθη:

$$\mathbf{H_2 0 + M + e^- \leftrightarrow OH^- + M - H}$$

Η μπαταρία φορτίζεται κατά τη δεξιά κατεύθυνση της εξίσωσης και αποφορτίζεται προς την αριστερή.

Το υδροξείδιο του νικελίου είναι αυτό που σχηματίζει την κάθοδο. Το «Μέταλλο» στην άνοδο μιας NiMH μπαταρίας είναι ουσιαστικά μια σύνθετη μεταλλική ένωση. Πολλές χημικές ενώσεις έχουν αναπτυχθεί για την εφαρμογή αυτή αλλά αυτές που εφαρμόζονται ανήκουν σε δύο κατηγορίες. Ο πιο κοινός χημικός τύπος είναι ο AB_5, όπου Α είναι ένα μίγμα σπάνιων γαιών, λανθανίου , δημητρίου, νεοδυμίου, πρασινοδυμίου και Β είναι νικέλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, και αλουμίνιο. Μερικές άλλες μπαταρίες κάνουν χρήση αρνητικών ηλεκτροδίων υψηλότερης χωρητικότητας, βασισμένα σε χημικές ενώσεις τύπου AB_2, όπου Α είναι τιτάνιο ή βανάδιο και Β είναι ζιρκόνιο ή νικέλιο, τροποποιημένο με χρώμιο, κοβάλτιο, σίδηρο και μαγγάνιο, εξαιτίας της μειωμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες NiMH αποτελούνται από έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη, συνήθως υδροξείδιο καλίου. Η τάση φόρτισης είναι 1.4 - 1.6 V/στοιχείο. Ένα πλήρως φορτισμένο στοιχείο έχει τάση 1.35 - 1.4 V και παρέχει ονομαστική τάση 1.2V κατά μέσο όρο στη διάρκεια της αποφόρτισης και μέχρι 1.0V, διότι περαιτέρω αποφόρτιση μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά στο στοιχείο της μπαταρίας. Το «φαινόμενο μνήμης» από την επαναλαμβανόμενη μερική αποφόρτιση μπορεί να συμβεί, κάτι όμως που είναι αναστρέψιμο μέσω του κύκλου φόρτισης. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης επηρεάζεται κατά πολύ από τη θερμοκρασία στην οποία οι μπαταρίες είναι αποθηκευμένες με τις

πιο ψυχρές θερμοκρασίες αποθήκευσης να έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερο ρυθμό αποφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη τα υψηλότερης χωρητικότητας στοιχεία που υπάρχουν στην αγορά (> 2700 mAh) φαίνονται να έχουν τους υψηλότερους ρυθμούς αποφόρτισης.

Εικόνα 3.9 Μπαταρία NiMH της Toyota

Όσον αφορά τις επιδράσεις των μπαταριών NiMH στο περιβάλλον, αυτές είναι τουλάχιστον πολύ πιο φιλικές από τις μπαταρίες NiCd οι οποίες περιέχουν το δηλητηριώδες κάδμιο. Το κόστος τους δεν είναι υψηλό και η τάση τους και η επίδοση τους είναι παρόμοιες με τις πρότυπες αλκαλικές μπαταρίες του ίδιου μεγέθους. Η ικανότητα τους να επαναφορτίζονται εκατοντάδες φορές οδηγεί στην εξοικονόμηση πόρων και χρημάτων. Οι μπαταρίες NiMH είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για εφαρμογές υψηλής εντάσεως ρεύματος λόγω της χαμηλής τους εσωτερικής αντίστασης. Οι αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες έχουν περίπου 3000 mAh χωρητικότητα σε απαιτήσεις χαμηλής έντασης ρεύματος (200 mA), θα έχουν λιγότερο από 1000 mAh χωρητικότητα σε απαίτηση ρεύματος 1000 mA, για παράδειγμα. Οι μπαταρίες NiMH από την άλλη μπορούν να διαχειριστούν αυτά τα υψηλής έντασης ρεύματα διατηρώντας την πλήρη χωρητικότητα τους. Επίσης στον κύκλο αποφόρτισης οι μπαταρίες NiMH, λόγω της μικρής τους εσωτερικής αντίστασης, μπορούν και τροφοδοτούν το σύστημα με σταθερή περίπου τάση μέχρι να αποφορτιστούν πλήρως. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι τα υδρίδια μετάλλων είναι σχετικά ασφαλή υλικά για την αποθήκευση ενέργειας και έτσι η προτεινομένη λύση μέχρι τώρα στα υβριδικά οχήματα, της χρήσης ηλεκτροκινητήρων/ηλεκτρογεννητριών σε συνδυασμό με μια συστοιχία μπαταριών NiMH, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όσον αφορά την

ευκολία διαχείρισης των αποθεμάτων ενέργειας κάτω από καθεστώς σχετικά αυξημένης ασφάλειας.

3.3.2 Η μπαταρία Li - ion

[21],[22],[23] Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου παρουσιάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και χρησιμοποίησης στο χώρο των υβριδικών οχημάτων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών τύπου ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες Li – ion είναι επαναφορτιζόμενες και χρησιμοποιούνται ευρέως στο χώρο των ηλεκτρονικών. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες κυρίως στο χώρο των φορητών ηλεκτρονικών (laptop, tablet, κινητά τηλέφωνα) εξαιτίας μερικών βασικών πλεονεκτημάτων τους όπως οι καλύτερες αναλογίες που έχουν ως προς το βάρος τους, ο αργός ρυθμός αποφόρτισης αλλά και η απουσία του «φαινομένου μνήμης». Μια ανεπτυγμένη μπαταρία είναι η μπαταρία στοιχείων λιθίου πολυμερών (Li – Pol, Lithium polymer cell).

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα μεγέθη και σχήματα αποτελεσματικά για την καλύτερη εξοικονόμηση χώρου της συσκευής που τροφοδοτούν. Είναι επίσης ελαφρύτερες από άλλες ισοδύναμες μπαταρίες. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτές τις μπαταρίες διαμέσου της κίνησης των ιόντων λιθίου. Το λίθιο είναι το τρίτο πιο ελαφρύ χημικό στοιχείο, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με άλλες μπαταρίες που χρησιμοποιούν βαρύτερα μέταλλα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχουν οι μπαταρίες Li – ion είναι η υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτυγχάνουν σε σχέση με άλλες υδάτινες μπαταρίες όπως οι μπαταρίες μολύβδου, οι μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου και οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου. Επιπλέον, οι Li – ion μπαταρίες δεν χαρακτηρίζονται από το «φαινόμενο μνήμης» (memory effect). Έχουν επίσης, χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημά τους έναντι των άλλων τύπων μπαταριών είναι η μεγάλη τιμή της ειδικής ενέργειας (ακόμα και διπλάσια συγκριτικά με μπαταρίες NiMH), γεγονός που τις καθιστά ελαφρύτερες για δεδομένη ισχύ. Η ονομαστική τάση εξόδου κάθε κελιού (3.6 V) είναι τριπλάσια σε σχέση με τους συσσωρευτές νικελίου (1.2 V). Μπαταρίες τύπου ιόντων λιθίου χαρακτηρίζονται από μικρό ρυθμό αυτοεκφόρτισης (περίπου 10% ανά μήνα) ενώ απαιτείται ακριβής έλεγχος της τάσης κατά τη διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών, καθώς εάν η τάση υπερβεί κάποιο όριο μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή των συσσωρευτών.

Μοναδικό μειονέκτημα, ωστόσο, των μπαταριών Li – ion είναι ότι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται και από το χρόνο που έχει περάσει από τη στιγμή της κατασκευής τους, ανεξάρτητα από το αν αυτές έχουν φορτιστεί και ανεξάρτητα από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/ αποφόρτισης. Έτσι, μια παλιότερη χρονολογικά μπαταρία θα διαρκέσει λιγότερο απ’ ότι μια καινούρια εξαιτίας της ηλικίας της και

μόνο, κάτι που δεν συμβαίνει με τις άλλες μπαταρίες. Η μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας ξεκινά λοιπόν από τη στιγμή της κατασκευής της, ανεξάρτητα αν αυτή χρησιμοποιείται και εξαρτάται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές μειώσεις της χωρητικότητας της. Έτσι σε πλήρη φόρτιση της μπαταρίας (100%) έχουμε: 6% μείωση στους 0 °C (32 °F), 20% μείωση στους 25 °C (77 °F) και 35% μείωση στους 40 °C (104 °F). Όταν το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας είναι στο 40%, αυτές οι τιμές μειώνονται σε 2%, 4%, 15% στους 0, 25 και 40 βαθμούς °C αντίστοιχα. Όσο η διάρκεια ζωής των μπαταριών μεγαλώνει, η εσωτερική τους αντίσταση αυξάνει. Αυτό προκαλεί πτώση της τάσης στους πόλους κάτω από το απαιτούμενο φορτίο, μειώνοντας το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να πάρει το σύστημα από αυτούς. Σταδιακά λοιπόν φτάνουν σε ένα σημείο όπου η μπαταρία δεν μπορεί να λειτουργήσει άλλο. Οι μπαταρίες Li – ion αντιμετωπίζουν επίσης μια κατάσταση που ονομάζεται «πλήρης αποφόρτιση» (deep discharge). Σε αυτήν την κατάσταση, η μπαταρία μπορεί να κάνει πολύ καιρό να επαναφορτιστεί ή μπορεί και να μην επαναφορτιστεί. Η «πλήρης αποφόρτιση» λαμβάνει χώρα μόνο όταν τα συστήματα ή οι συσκευές των μπαταριών αυτών μείνουν για πολύ καιρό αχρησιμοποίητα (συνήθως 2 ή περισσότερα χρόνια) ή όταν επαναφορτίζονται τόσο συχνά με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διατηρήσουν το φορτίο τους. Κάθε στοιχείο μπαταρίας Li – ion ξεχωριστά δεν πρέπει να αποφορτίζεται κάτω από μια συγκεκριμένη τάση για την αποφυγή μη αναστρέψιμης ζημιάς. Επομένως, όλα τα συστήματα μπαταριών Li – ion εξοπλίζονται με ένα κύκλωμα που κλείνει το σύστημα όταν η μπαταρία αποφορτιστεί κάτω από τη συγκεκριμένη αυτή τιμή τάσης. Έτσι, κατά τη διάρκεια κανονικής χρήσης σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα είναι αδύνατον να συμβεί η «πλήρης αποφόρτιση». Όταν το συγκεκριμένο κύκλωμα ελέγχου είναι κατασκευασμένο μέσα στη μπαταρία (η επονομαζόμενη «έξυπνη» μπαταρία) και όχι στον εξοπλισμό, τότε αυτό αντλεί συνεχώς ένα μικρής εντάσεως ρεύμα από την μπαταρία, ακόμα και αν αυτή δεν χρησιμοποιείται. Επιπλέον, η μπαταρία δεν πρέπει να μένει πλήρως φορτισμένη για μεγάλα διαστήματα γιατί έτσι κινδυνεύει να οδηγηθεί στο φαινόμενο της «πλήρους αποφόρτισης» και να καταστραφεί.

Από χημικής πλευράς, η μπαταρία Li – ion εμπεριέχει πολλούς κινδύνους και έτσι για ένα στοιχείο της μπαταρίας είναι υποχρεωτικές αρκετές συσκευές ασφαλείας για να μπορεί να θεωρείται ασφαλές. Τέτοιες συσκευές είναι ο διαχωριστής κλεισίματος (χρησιμοποιείται για την υπερθέρμανση), το στόμιο (χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση της πίεσης) και ο θερμικός διακόπτης (ο λόγος ύπαρξης του είναι η αποφυγή υπερφόρτωσης). Αυτές οι συσκευές εντοπίζονται μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας και καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο, αυξάνοντας έτσι αρκετά τα επίπεδα αναξιοπιστίας της μπαταρίας. Παρόλα αυτά, γίνονται συνεχώς νέες έρευνες για την βελτίωση αυτής της τεχνολογίας που αφορά αυτό τον τύπο μπαταρίας. Αυτές οι μπαταρίες έχουν ονομαστική τάση ανοιχτού κυκλώματος 3.6 V και τυπική τιμή φόρτισης στα 4.2 V. Η διαδικασία φόρτισης γίνεται υπό σταθερή τάση. Τα σύγχρονα στοιχεία αυτού του τύπου συσσωρευτών συνήθως απαιτούν κάπου 45 λεπτά για να φορτιστούν πλήρους συγκριτικά με τις 2 ώρες περίπου που ήθελαν στο παρελθόν

Υπάρχουν ακόμα κα μπαταρίες Li – ion που φτάνουν στο 90 % της πλήρους φόρτισης τους μέσα στα πρώτα 10 λεπτά. Η άνοδος ενός συμβατικού Li – ion στοιχείου κατασκευάζεται από άνθρακα, ενώ η κάθοδος είναι οξείδιο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε ένα στοιχείο Li – ion για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι:

$$\mathbf{Li_{1-x}CoO_2 + Li_xC_6 \leftrightarrow C_6 + LiCoO_2}$$

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα ιόντα λιθίου δεν οξειδώνονται. Αντιθέτως, σε μια μπαταρία Li – ion τα ιόντα λιθίου μεταφέρονται από και προς την κάθοδο ή την άνοδο με το μέταλλο Κοβάλτιο (Co) στην χημική ένωση Li_xCoO_2 να οξειδώνεται από Co^{3+} σε Co^{4+} κατά τη φόρτιση και να ανάγεται από Co^{4+} σε Co^{3+} κατά την αποφόρτιση.

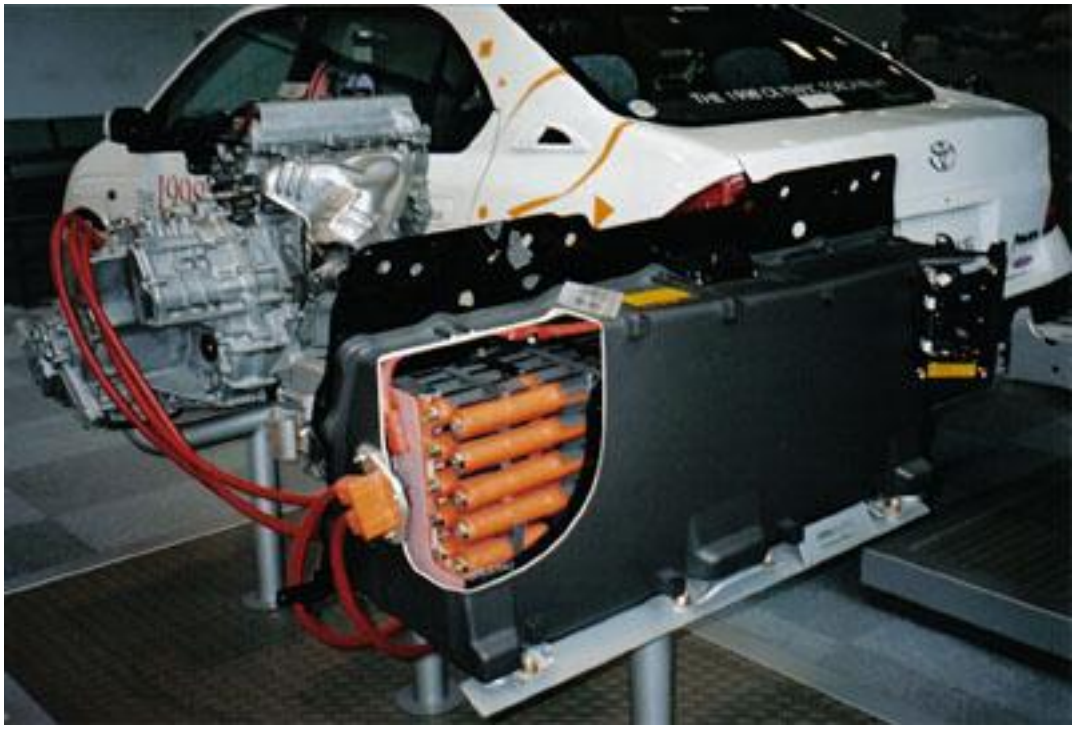
Υπάρχει στην αγορά μια προοπτική αντικατάστασης των μπαταριών NiMH στα υβριδικά οχήματα από τις μπαταρίες Li – ion. Υπάρχει η πεποίθηση πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ασφάλεια της μπαταρίας, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους της, θα έχουν ως αποτέλεσμα τη χρήση της μπαταρίας Li – ion στα υβριδικά συστήματα. Με τις μπαταρίες να αποτελούν το 33% του κόστους ενός υβριδικού συστήματος και την τιμή του νικελίου να αυξάνει σε παγκόσμια κλίμακα τα τελευταία χρόνια, αναμένονται βελτιώσεις στις επιδόσεις, στη λειτουργία και στην τιμή ενός HEV με την προτίμηση στη χρήση των μπαταριών Li – ion.

Εικόνα 3.10 Η μπαταρία Li – ion που κατασκευάζει η CPI, θυγατρική εταιρεία της LG

Επίσης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές μπαταριών, επενδύουν αρκετά στην ανάπτυξη των μπαταριών Li – ion. Η εταιρεία CPI χρησιμοποιεί μια κάθοδο λιθίου βασισμένη στο μαγγάνιο αντί για το κοβάλτιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου των φορητών υπολογιστών, των κινητών τηλεφώνων και των άλλων φορητών συσκευών. Το κοβάλτιο είναι ακριβότερο ($40/kg) και σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης και εσωτερικού βραχυκυκλώματος μπορεί να προκληθούν φωτιά και εκρήξεις. Αντιθέτως το υλικό του μαγγανίου προσφέρει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Τα «επίπεδα» στοιχεία μπαταριών που έχει κατασκευάσει η CPI διαφέρουν από τα κυλινδρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις NiMH μπαταρίες, στο γεγονός ότι εξοικονομούν περισσότερο χώρο. Είναι επίσης λιγότερο ακριβές και λιγότερο επιρρεπείς στη διάβρωση, σύμφωνα με την εταιρεία. Το νέο αυτό σχέδιο, λόγω της μεγαλύτερης του επιφάνειας παρέχει μεγαλύτερη ισχύ ενώ ενισχύει περισσότερο τη θερμική διαχείριση. Από την άλλη, η ημιδιαπερατή του μεμβράνη που χωρίζει τα ηλεκτρόδια είναι μηχανικά και θερμικά ανώτερη από τους διαχωριστές που χρησιμοποιούνται σε άλλα στοιχεία συσσωρευτών Li –ion, κάτι που αυξάνει την ασφάλεια της μπαταρίας. Διάφοροι έλεγχοι στο πολυμερές αλουμινένιο λεπτό φύλλο που προστατεύει το στοιχείο κατέδειξαν προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του στοιχείου, 15 έτη, σύμφωνα με την CPI. Η εταιρεία έχει επίσης αναπτύξει και πρόκειται να προμηθεύσει το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστές.

3.3.3 Σύγκριση μεταξύ NiMH και Li – ion για χρήση σε HEV

[21],[22],[23] Τα πρώτα υβριδικά μοντέλα έκαναν χρήση μπαταριών μολύβδου διότι δεν υπήρχε εναλλακτική λύση. Σήμερα, η Honda και η Toyota χρησιμοποιούν μπαταρίες Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH) στα υβριδικά τους συστήματα. Χημικά αυτές οι μπαταρίες είναι φυσικά ελαφρύτερων υλικών και περιβαλλοντικά φιλικότερες από τα προηγούμενα συστήματα, τα βασισμένα στις μπαταρίες μολύβδου. Η μπαταρία αυτή αποτελείται από κυλινδρικά στοιχεία που συνδέονται σε σειρά για την επίτευξη αρκετών εκατοντάδων βολτ, ενώ είναι έτσι διατεταγμένα ώστε να επιτρέπουν την καλύτερη δυνατή ψύξη τους. Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια συστοιχία μπαταριών NiMH ενός υβριδικού οχήματος της Toyota. Η μπαταρία όπως φαίνεται τοποθετείται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Τα κυλινδρικά στοιχεία της μπαταρίας διακρίνονται με το πορτοκαλί χρώμα.



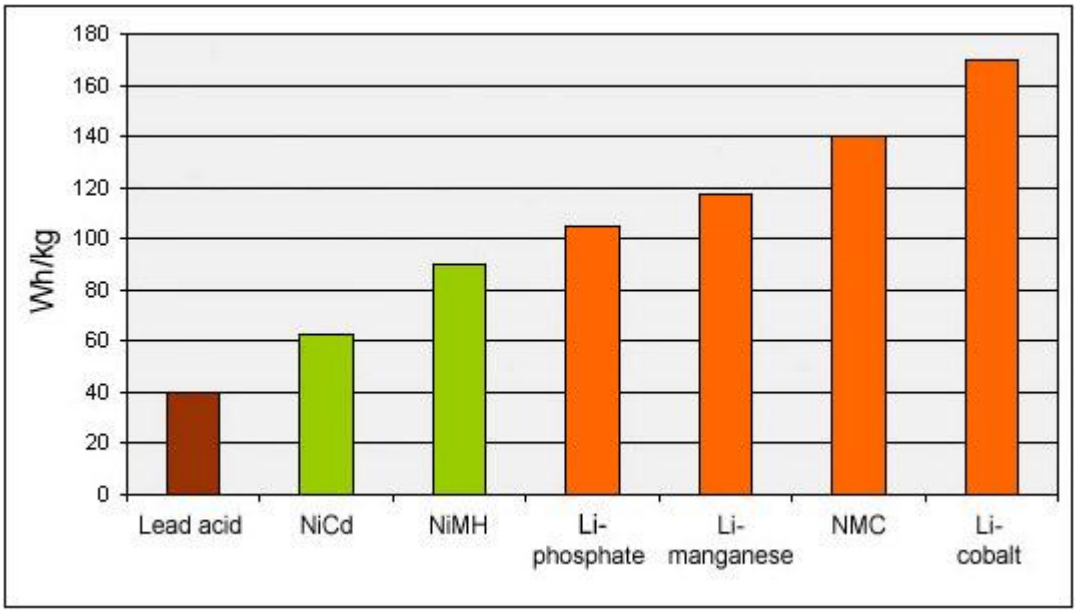
Εικόνα 3.11 Μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου σε υβριδικό όχημα της Toyota

Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για τη χρήση των μπαταριών σε υβριδικές εφαρμογές είναι η μακροβιότητα τους. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για τυπικά εμπορικά προϊόντα συνήθως διαρκούν δυο με τρία χρόνια. Αυτή η σύντομη διάρκεια δεν αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα για τα κινητά τηλέφωνα, τους φορητούς υπολογιστές και τις ψηφιακές κάμερες διότι αυτές οι συσκευές γρήγορα αχρηστεύονται. Αντιθέτως, τα $2.000 με $3.000 για κάθε συστοιχία μπαταριών, που είναι και το κόστος αντικατάστασης της σε ένα υβριδικό όχημα, αποτελούν μεγάλη δαπάνη. Οι περισσότερες μπαταρίες για τα υβριδικά οχήματα έχουν εγγύηση για οχτώ χρόνια. Για να πετύχουν την αξιοπιστία σε αυτό το μεγάλο χρονικό διάστημα, τα στοιχεία των μπαταριών βελτιστοποιούνται στον τομέα της μακροβιότητας και όχι στο μέγεθος και το βάρος, όπως στην περίπτωση των φορητών συσκευών. Εφόσον η μπαταρία κινείται μαζί με το όχημα, το αυξημένο μέγεθος και βάρος δεν είναι τόσο κρίσιμοι παράγοντες. Μια NiMH μπαταρία για ένα HEV όχημα μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί 1.000 φορές, με το ποσοστό αποφόρτισης να φτάνει μέχρι 80% του συνολικού φορτίου της μπαταρίας. Σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο μια πλήρης αποφόρτιση της μπαταρίας συμβαίνει σπάνια, εκτός κι αν ο ιδιοκτήτης του για παράδειγμα κατοικεί σε μια αρκετά ορεινή περιοχή και χρειάζεται όλη την ενέργεια της μπαταρίας για να φτάσει στην κατοικία του. Μια τέτοια κατάσταση επιβαρύνει την μπαταρία και μειώνει τη διάρκεια ζωής της. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ωστόσο, το υβριδικό όχημα χρησιμοποιεί μόνο το 10% της χωρητικότητας της μπαταρίας. Αυτό επιτρέπει χιλιάδες κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης. Ένας από τους περιορισμούς των μπαταριών NiMH είναι η μέση απόδοση μετατροπής της ενέργειας. Αυτό εξηγεί γιατί η μπαταρία ζεσταίνεται αρκετά σε κάθε φόρτιση και αποφόρτιση. Η απόδοση φόρτισης είναι μέγιστη όταν η μπαταρία βρίσκεται σε επίπεδο φόρτισης

50 - 70%. Όταν βρίσκεται πάνω από το 70% του φορτίου της, η μπαταρία δεν μπορεί να απορροφήσει καλά το επιπλέον φορτίο και έτσι η περισσότερη ενέργεια φόρτισης χάνεται με τη μορφή θερμότητας.

Λειτουργώντας την μπαταρία σε μερικό φορτίο, υπάρχει η απαίτηση μεγαλύτερης μπαταρίας η οποία όμως μειώνει το λόγο ενέργειας προς βάρος καθώς και την απόδοση. Οι Ιάπωνες κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν δοκιμάσει πολλά σενάρια για την κατάλληλη μπαταρία στο υβριδικό αυτοκίνητο, ακόμα και τις μπαταρίες μολύβδου. Στις μέρες μας η προσοχή έχει στραφεί στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Η μπαταρία λιθίου βασισμένη στο κοβάλτιο είναι μια από τις πρώτες εκδοχές στην οικογένεια αυτών των μπαταριών και προσφέρει μια πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Δυστυχώς, αυτό το σύστημα μπαταριών δεν μπορεί να μεταφέρει υψηλής εντάσεως ρεύματα και περιορίζεται σε φορητές συσκευές.

Οι κατασκευαστές των HEV πειραματίζονται με τις εκδοχές του μαγγανίου και των φωσφορικών αλάτων στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν μια υπερβολικά χαμηλή εσωτερική αντίσταση, μεταφέρουν υψηλής εντάσεως ρεύματα και δέχονται γρήγορη φόρτιση. Αντίθετα με την εκδοχή του κοβαλτίου, η αντίσταση παραμένει χαμηλή για όλη τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Για την απόδειξη αυτού του χαρακτηριστικού στις μπαταρίες ιόντων λιθίου βασισμένες στο μαγγάνιο, πραγματοποιήθηκε μια εργαστηριακή έρευνα που εφάρμοσε 30.000 κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης σε μια περίοδο επτά χρόνων. Αν και η χωρητικότητα έπεσε από το 100% στο 20%, το στοιχείο διατήρησε τη χαμηλή του εσωτερική αντίσταση. Το μειονέκτημα των μπαταριών αυτών με το μαγγάνιο και τα φωσφορικά άλατα είναι η χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας αλλά αυτά τα συστήματα παρέχουν 20% περισσότερη χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους απ' ότι οι μπαταρίες NiMH και τρεις φορές περισσότερη απ' ότι οι μπαταρίες μολύβδου.



Εικόνα 3.12 Πυκνότητες ενέργειας διάφορων τύπων μπαταρίας

Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει τις πυκνότητες ενέργειας των μπαταριών μολύβδου, νικελίου και ιόντων λιθίου στις τρεις εκδοχές του. Παρατηρείται εύκολα ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης πυκνότητας ενέργειας με το κόστος όμως της χαμηλότερης ασφάλειας και του μειωμένου κύκλου ζωής.

Οι μπαταρίες Li –ion φαίνονται πολλά υποσχόμενες για τη χρήση τους στα υβριδικά οχήματα αλλά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα εμπόδια που πρέπει να αρθούν:

- **Ανθεκτικότητα**: Ο αγοραστής απαιτεί μια εγγύηση των δέκα ετών και παραπάνω. Προς το παρόν, οι κατασκευαστές των μπαταριών για τα υβριδικά οχήματα δίνουν εγγύηση οχτώ ετών για τις NiMH. Η μακροβιότητα των Li –ion μπαταριών δεν έχει αποδειχτεί ακόμα και η επίτευξη ακόμα και των οχτώ ετών αποτελεί πρόκληση.
- **Κόστος**: Αν το κόστος αντικατάστασης των $2,000 ως $3,000 μιας μπαταρίας Νικελίου – Υδριδίου Μετάλλου είναι απαγορευτικό, το αντίστοιχο κόστος με τις μπαταρίες Li –ion θα είναι υψηλότερο. Αυτά τα συστήματα είναι περισσότερο δαπανηρά για να παραχθούν αλλά έχουν τη δυνατότητα μείωσης της τιμής με βελτιωμένες μεθόδους παραγωγής. Οι μπαταρίες NiMH έχουν φτάσει το χαμηλότερο δυνατό κόστος το οποίο δεν μπορεί να μειωθεί λόγω των υψηλών τιμών του νικελίου.
- **Ασφάλεια**: Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που βασίζονται στο μαγγάνιο και στα φωσφορικά άλατα είναι περισσότερο ασφαλείς από τις αντίστοιχες του κοβαλτίου. Το κοβάλτιο γίνεται θερμικά ασταθές σε μια μέση θερμοκρασία των 150 °C (300 °F). Τα στοιχεία από μαγγάνιο και φωσφορικά άλατα μπορούν να φτάσουν τους 250 °C (480 °F) πριν γίνουν επικίνδυνα. Εκτός από την αυξημένη θερμική σταθερότητα, η μπαταρία απαιτεί ακριβά κυκλώματα προστασίας που θα επιβλέπουν τις τάσεις των στοιχείων και θα περιορίζουν τις διαρροές ρεύματος. Τα κυκλώματα προστασίας πρέπει να προστατεύουν σε περίπτωση αστοχίας του στοιχείου, που συμβαίνει φυσικά με την ηλικία της μπαταρίας.
- **Διαθεσιμότητα**: Οι κατασκευαστές των στοιχείων μαγγανίου και φωσφορικών αλάτων δύσκολα ίσως να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση. Μια ραγδαία αύξηση στη χρήση λιθίου στις μπαταρίες των υβριδικών οχημάτων, θα είχε αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Με 7 kg (15 lb) λιθίου ανά μπαταρία, τίθεται θέμα έλλειψης των ακατέργαστων υλικών. Οι περισσότερες γνωστές διαθέσιμες ποσότητες βρίσκονται στην Βόρεια Αμερική, στην Αργεντινή, στη Χιλή και στη Βολιβία.

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σε λίγο καιρό θα αντικαταστήσουν τις NiMH καθώς η τεχνολογία των πρώτων έχει προχωρήσει κατά

πολύ. Με βάση δεδομένα και μετρήσεις παρατίθεται πιο κάτω συγκριτικός πίνακας με τις ιδιότητες των δυο ειδών μπαταριών, των NiMH και των Li –ion.

Μπαταρία	NiMH	Li – ion
Ενεργειακή πυκνότητα (Wh/kg)	80	200
Πυκνότητα Ισχύος (W/kg)	1600	>3600
Ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα (Wh/L)	200	550
Κόστος ($ / kWh)	35	30 – 35
Ρυθμός αυτοεκφόρτισης (% ανά μήνα)	15	5
Βαθμός απόδοσης (%)	90	>95
Εύρος θερμοκρασιών (°C)	-10 έως + 40	-30 έως +50
Ημερολογιακός χρόνος Ζωής (χρόνια)	>10	>10

3.3.4 Μειονεκτήματα χρήσης μπαταριών στα σύγχρονα HEV

Σε αυτό το σημείο, θα ήταν καλό να αναφερθούμε μετά τα πλεονεκτήματα των μπαταριών όπως η ευκολία διαχείρισης των αποθεμάτων της ενέργειας και ο τομέας της ασφάλειας και σε κάποια μειονεκτήματα τους κατά τη χρησιμοποίηση τους στα ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα τα οποία εντοπίζονται κυρίως στο ποσοστό που είναι ικανοί οι εμπορικοί συσσωρευτές μέχρι σήμερα να διαχειρίζονται μεγάλα ρεύματα.

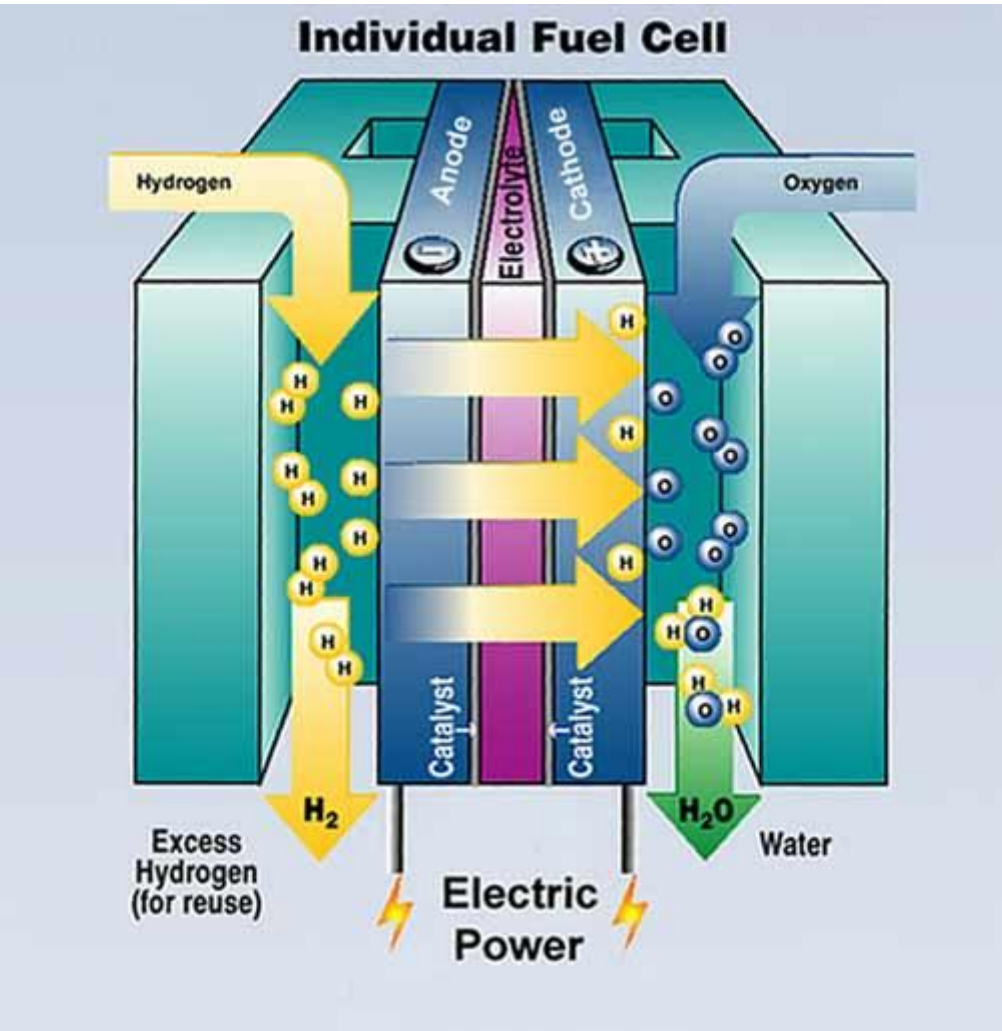
Έτσι λοιπόν, είναι αδύνατη η «ακαριαία φόρτιση» των συσσωρευτών και αυτός είναι ο λόγος που τα υβριδικά αυτοκίνητα, κατά την πέδηση, ανακτούν ένα μικρό μόνο ποσοστό της κινητικής τους ενέργειας. Το μέγεθος της ενέργειας που είναι δυνατόν να ανακτηθεί κατά την πέδηση καθορίζεται από το μέγιστο ανεκτό ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας, το οποίο είναι απείρως μικρότερο από αυτό που μπορούν να παράγουν οι ηλεκτρογεννήτριες του οχήματος, όταν χρησιμοποιούνται ως μονάδες πέδησης. Είναι γνωστό, επίσης, το γεγονός ότι η μέγιστη αποδιδόμενη στους τροχούς ισχύς ενός υβριδικού οχήματος δεν είναι ίση με το άθροισμα των ισχύων θερμικού κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα αλλά αισθητά μικρότερη. Η αιτία βρίσκεται στο ότι το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης της μπαταρίας είναι περιορισμένο σε επίπεδα πολύ μικρότερα από αυτά που αντιστοιχούν στη μέγιστη ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, ενώ το υπόλοιπο ρεύμα, όταν ο ηλεκτροκινητήρας κινείται με τη μέγιστη ισχύ του, προέρχεται αναγκαστικά από τη γεννήτρια την οποία κινεί ο θερμικός κινητήρας, αναλώνοντας μέρος της ισχύος του που κάτω από άλλες συνθήκες θα τροφοδοτούσε τους τροχούς. Ένας τεραστίων διαστάσεων συσσωρευτής μπορεί να αποθηκεύσει σχεδόν (πάντα υπάρχουν απώλειες) όλη την ανακτηθείσα κατά την πέδηση ενέργεια και να τη μετατρέψει (πάλι με ελάχιστες απώλειες) σε κινητική ενέργεια. Το όχημα όμως, μαζί με τον τεράστιο συσσωρευτή, θα αποκτήσει και τεράστιο βάρος, άρα θα χρειαστεί πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια για την επιτάχυνση του, μια ενέργεια, που ο τεράστιος συσσωρευτής δεν μπορεί να προσφέρει. Ούτε όμως θα μπορεί ο συσσωρευτής αυτός να αποθηκεύσει την τεράστια ανακτηθείσα ενέργεια που προέρχεται από τη δική του αδράνεια. Δημιουργείται, έτσι, ένας φαύλος κύκλος. Το ιδανικό, στην περίπτωση αυτή, θα ήταν να έδινε όλη του την ισχύ ο θερμικός

κινητήρας αποκλειστικά στους τροχούς και ταυτόχρονα οι μπαταρίες να παρείχαν στον ηλεκτροκινητήρα όλο εκείνο το ρεύμα που απαιτεί για να κινηθεί με τη μέγιστη ισχύ του. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να γίνει, δεδομένου ότι το περιορισμένο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να αποδώσει κάθε συστοιχία μπαταριών είναι τέτοιο ώστε να απαιτείται ένας (ιδιαίτερα αντιοικονομικός) πολλαπλασιασμός τους, σε σχέση με το πλήθος των μπαταριών που έχουν τα σημερινά υβριδικά οχήματα, ώστε να είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτροκινητήρων, με τη μέγιστη ισχύ τους και με ρεύμα το οποίο να προέρχεται αποκλειστικά από τους συσσωρευτές. Φυσικά, ακόμα κι αν γινόταν η τοποθέτηση σε ένα υβριδικό όχημα όλων εκείνων των μπαταριών που θα τροφοδοτούσαν με ρεύμα έναν ισχυρό ηλεκτροκινητήρα(45 kW για παράδειγμα), τα προβλήματα δεν θα είχαν τελειώσει. Το νέο πρόβλημα ονομάζεται μέγιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/ολικής εκφόρτισης, πέρα από το οποίο η χωρητικότητα της μπαταρίας αρχίζει να πέφτει και συνολικά η λειτουργία της να υποβαθμίζεται πέρα από ένα αποδεκτό όριο. Μια κοινή μπαταρία μολύβδου, για παράδειγμα, μόλις που ξεπερνά τους 200 κύκλους, ενώ το όριο αυτό κυμαίνεται στο εύρος 500 με 1000 κύκλων στις μπαταρίες NiMH.

3.3.5 Ενεργειακές κυψέλες

[5],[14] Οι ενεργειακές κυψέλες (fuel cells) αποτελούν δεξαμενές στις οποίες αποθηκεύεται, σε υγρή μορφή, υδρογόνο σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Η κατηγοριοποίηση των κυψελών παραγωγής υδρογόνου γίνεται βάσει του ηλεκτρολύτη τους. Μερικοί από αυτούς τους τύπους είναι οι ενεργειακές κυψέλες φωσφορικού οξέως (PAFC), στερεού οξειδίου (SOFC), τηγμένου άνθρακα (MCFC), μεθανόλης (DMFC), οι κυψέλες επιτόπου παραγωγής υδρογόνου από μεθανόλη (IR-SPFC) αλλά και οι κυψέλες ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC). Ο τύπος ενεργειακών κυψελών που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι οι κυψέλες ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC). Η κυψέλη αποτελείται από την άνοδο, όπου βρίσκεται αποθηκευμένο υδρογόνο, την κάθοδο στην οποία εισέρχεται το οξυγόνο του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι μια μεμβράνη η οποία έχει την ιδιότητα να επιτρέπει μόνο στα πρωτόνια να τη διαπερνούν. Στην άνοδο γίνεται ο ιονισμός του υδρογόνου σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα πρωτόνια διέρχονται μέσα από τη μεμβράνη με προορισμό την κάθοδο ενώ τα ηλεκτρόνια οδηγούνται στο τροφοδοτούμενο ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλώντας ηλεκτρικό ρεύμα και στη συνέχεια τα τελευταία εισέρχονται στην κάθοδο. Στην κάθοδο σχηματίζεται υδρογόνο, το οποίο αντιδρά με το οξυγόνο παράγοντας νερό. Οι ενεργειακές κυψέλες παρουσιάζουν σχετικά υψηλό συντελεστή απόδοσης. Το επίπεδο της τάσης εξόδου της διάταξης όμως είναι χαμηλό και απαιτείται ανύψωση μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα συνεχούς τάσης σε συνεχή. Επίσης παρουσιάζεται αδυναμία επιστροφής ενέργειας στις ενεργειακές κυψέλες κατά τη διαδικασία της αναγεννητικής πέδησης. Απαιτείται λοιπόν η παράλληλη χρήση συστοιχίας συσσωρευτών ή υπερπυκνωτών για την αποθήκευση της ανακτώμενης ισχύος. Δυστυχώς, το γεγονός ότι το υδρογόνο

αποθηκεύεται σε υψηλή πίεση ελλοχεύει τον κίνδυνο έκρηξης σε περίπτωση ατυχήματος θέτοντας σε κίνδυνο τη σωματική ακεραιότητα των επιβατών.



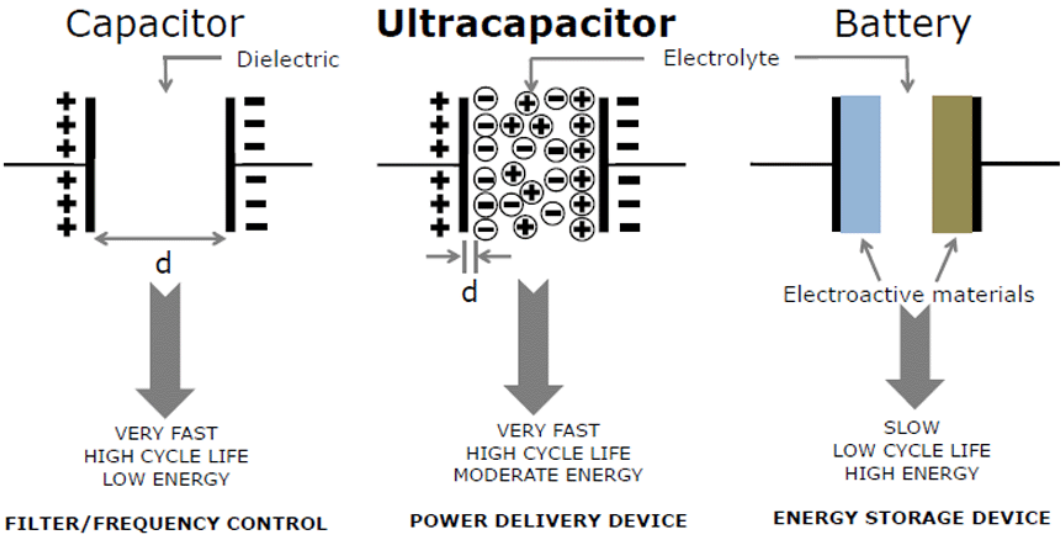
Εικόνα 3.13 Παραγωγή υδρογόνου από κυψέλη καυσίμου

3.3.6 Υπερπυκνωτές

[23] Οι υπερπυκνωτές (supercapacitors) χαρακτηρίζονται από την ίδια αρχή λειτουργίας με τους συνήθεις πυκνωτές. Οι συνήθεις πυκνωτές εντοπίζονται σε πολλές εφαρμογές που απαιτείται «βίαια» και απότομη εκφόρτιση όπως για παράδειγμα στα φλας των φωτογραφικών μηχανών, στα «ηλεκτρικά» όπλα της αστυνομίας, στα συστήματα συγκόλλησης μετάλλων, σε συστήματα πυροδότησης των αερόσακων και των προεντατήρων των ζωνών ασφαλείας. Βρίσκονται επίσης στους αποταμιευτές ήπιας εκφόρτισης όπως το κύκλωμα προσωρινής διατήρησης των δεδομένων στη μνήμη RAM. Η διαφορά των υπερπυκνωτών από τους συνήθεις πυκνωτές είναι ότι έχουν τη δυνατότητα φόρτισης και εκφόρτισης σε ακόμα πιο γρήγορους χρόνους και παρέχουν μεγάλη χωρητικότητα σε μικρό σχετικά όγκο.

Εμφανισιακά, μοιάζουν με τις κοινές μπαταρίες ενώ κατασκευαστικά αποτελούνται από δυο στρώσεις έχοντας δυο ηλεκτρόδια άνθρακα εμβαπτισμένα σε οργανικό ηλεκτρολύτη.

Εικόνα 3.14 Διάφορα είδη υπερπυκνωτών



Εικόνα 3.15 Σύγκριση πυκνωτή – υπερπυκνωτή – μπαταρίας

Η ενεργειακή πυκνότητα ενός υπερπυκνωτή κυμαίνεται από 1 έως 10 Wh/kg. Αυτή η τιμή είναι πολύ μεγαλύτερη από ένα κοινό πυκνωτή αλλά είναι δέκα φορές μικρότερη από μια μπαταρία νικελίου – μετάλλου υδριδίου. Η χωρητικότητά τους μπορεί να φτάσει μέχρι κα μερικά Farad, ενώ ο χρόνος φόρτισής τους είναι μερικά δευτερόλεπτα. Κατά τη διάρκεια φόρτισης ενός άδειου υπερπυκνωτή απαιτείται σύστημα περιορισμού του ρεύματος φόρτισης, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος καταστροφής. Σε αντίθεση με τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές, οι υπερπυκνωτές

δεν διατρέχουν κίνδυνο λόγω υπερφόρτισης. Επίσης έχουν μεγάλο χρόνο ζωής (10 – 12 χρόνια), αντέχουν πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης (500,000 κύκλους) και δεν εμπεριέχουν τοξικά στοιχεία. Ως μειονεκτήματα τους καταγράφονται το υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης το οποίο κυμαίνεται έως και 50 % ανά μήνα και το υψηλό κόστος που έχουν.

Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούς τους υπερπυκνωτές ιδανικούς για χρήση σε υβριδικά οχήματα. Κατά την εκκίνηση ενός οχήματος που απαιτείται άμεση παροχή ισχύος, οι υπερπυκνωτές μπορούν να παρέχουν το υψηλό ρεύμα τροφοδοσίας της ηλεκτρικής μηχανής – κινητήρα. Οι υπερπυκνωτές δεν έχουν την ικανότητα να τροφοδοτούν σε μόνιμη βάση τον ηλεκτροκινητήρα και για αυτό το λόγο τοποθετούνται παράλληλα με τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές του οχήματος. Όσον αφορά την περίπτωση της επιβράδυνσης, και ειδικότερα όταν προκληθεί έναν απότομο φρενάρισμα, επιτυγχάνεται η αποθήκευση μεγαλύτερου ποσοστού ενέργειας στους υπερπυκνωτές το οποίο θα επιστρέψει στον ηλεκτροκινητήρα κατά την επόμενη επιτάχυνση του οχήματος. Το ρεύμα που επιστρέφει στους συσσωρευτές από την ηλεκτρική μηχανή – γεννήτρια κατά την επιβράδυνση περιέχει αιχμές οι οποίες δεν μπορούν να αξιοποιηθούν από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές και σε ατή την περίπτωση αναλαμβάνουν οι υπερπυκνωτές την αποθήκευση αυτής της ενέργειας. Στο μέλλον αναμένεται η καθιέρωσή τους στα υβριδικά οχήματα καθώς με τη χρήση τους βελτιστοποιείται η διαχείριση της ενέργειας.

3.3.7 Σφόνδυλοι

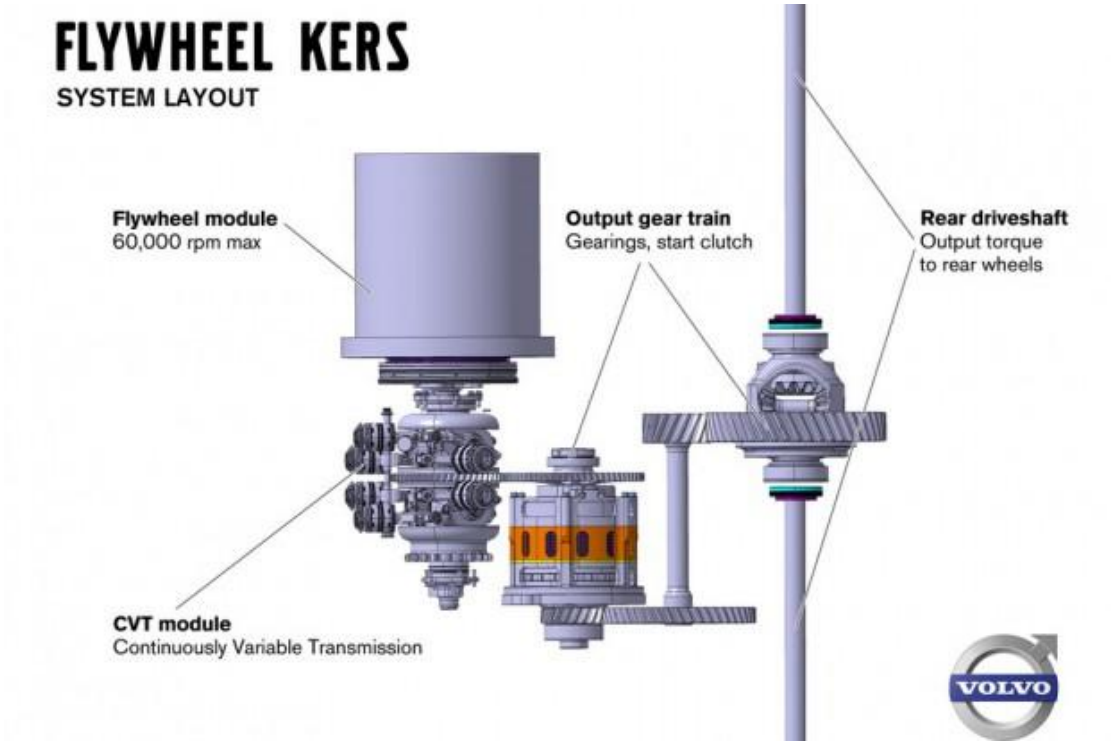
[5],[24] Εκτός από τα μέσα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης και της μηχανικής ενέργειας. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται οι σφόνδυλοι. Ο σφόνδυλος είναι μια μηχανική συσκευή η οποία εκμεταλλεύεται την αδράνεια της μάζας της για την αποθήκευση ενέργειας με την μορφή της κινητικής. Η κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται στο σφόνδυλο δίνεται από τον τύπο:

$$\mathbf{E_{\kappa} = \frac{1}{2} I\omega^2}$$

Όπου **I** είναι η ροπή αδράνειας και **ω** η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής. Όπως παρατηρείται, η αποθηκευμένη ενέργεια αυξάνεται γραμμικά με τη ροπή αδρανείας της μάζας και είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας. Οι σφόνδυλοι αντιστέκονται στη μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης για μικρές μεταβολές της ροπής, γεγονός που βοηθά να παραμένει σταθερή η ταχύτητα περιστροφής του άξονά τους.

Η κινητική ενέργεια του σφονδύλου απελευθερώνεται όταν μειώνεται η ταχύτητα του. Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας προσαρμόζεται στον άξονα

του σφονδύλου, με το κατάλληλο σύστημα μετάδοσης, μια ηλεκτρική μηχανή η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια. Με αυτό τον τρόπο η γεννήτρια μπορεί να φορτίσει κάποιες μπαταρίες μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική (αναγεννητική πέδηση). Από την άλλη μεριά για να αποθηκευτεί ενέργεια στο σφόνδυλο, θα πρέπει να έχουμε παροχή ηλεκτρικής ισχύος και λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής ως κινητήρα ή σύνδεση του σφονδύλου με κάποιον άλλο άξονα κίνησης για απευθείας αποθήκευση κινητικής ενέργειας. Σε μια ακόμα πιο εξελιγμένη μορφή, ο σφόνδυλος μπορεί να φέρει μαγνήτες ενσωματωμένους στη μάζα του και περιστρεφόμενος γύρω από ένα τύλιγμα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



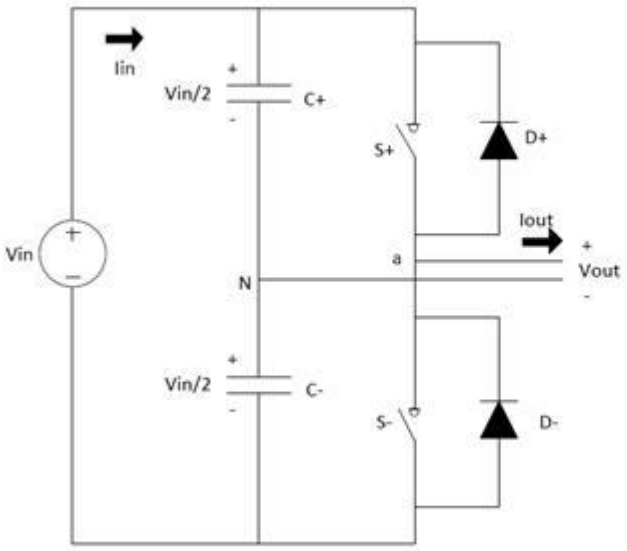
Εικόνα 3.16 Περιστρεφόμενος σφόνδυλος της Volvo για 25 % περισσότερη οικονομία

3.4 Αντιστροφείς (Inverters)

[25] Όπως Αναφέραμε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, η τροφοδότηση ενός τριφασικού κινητήρα χρειάζεται τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά σε ένα υβριδικό όχημα η μόνη πηγή που υπάρχει είναι συνεχές ρεύμα από τις μπαταρίες του οχήματος. Έτσι για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο χρειάζεται ένας τριφασικός αντιστροφέας (inverter). Αντιστροφείς ονομάζονται τα κυκλώματα που έχουν ως σκοπό να βγάζουν στην έξοδό τους AC κυματομορφή από DC πηγή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντιστροφέων οι οποίοι κατασκευάζονται για διάφορες χρήσεις οι οποίες δεν μας απασχολούν.

Οι αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται στα υβριδικά οχήματα ονομάζονται διακοπτικοί αντιστροφείς και είναι και οι βασικοί αντιστροφείς για μεγάλο αριθμό εφαρμογών, περιλαμβανομένης και της οδήγησης ηλεκτροκινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτού του είδους οι αντιστροφείς εκμεταλλεύονται την τεχνική της διαμόρφωσης εύρους παλμού (Pulse Width Modulation – PWM) για να βγάλουν στην έξοδό τους εναλλασσόμενη κυματομορφή ελεγχόμενης συχνότητας και φάσης. Δυο βασικοί τύποι διακοπτικών αντιστροφέων είναι οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας διακοπτών (full – bridge switches inverters) και οι αντιστροφείς μισής γέφυρας διακοπτών (half – bridge switches inverters).

Ένας μονοφασικός αντιστροφέας μισής γέφυρας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Για να λειτουργήσει ο αντιστροφέας αυτός θα πρέπει οι διακόπτες ή καλύτερα το mosfet να ανοιγοκλείνουν με συγκεκριμένο τρόπο έτσι ώστε στην έξοδο να βλέπουμε εναλλασσόμενο τετραγωνικό σήμα.

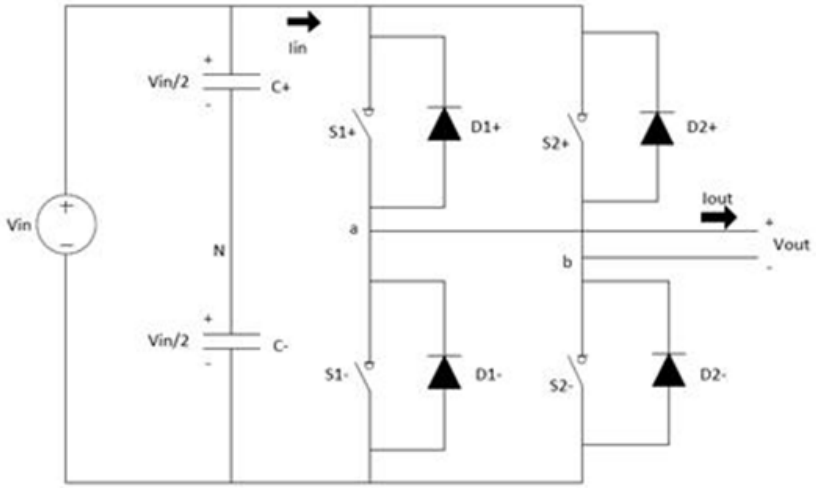


Εικόνα 3.17 Αντιστροφέας μισής γέφυρας

Οι διακόπτες θα πρέπει να αλλάζουν κατάσταση παράλληλα, δηλαδή όταν ο πάνω διακόπτης είναι κλειστός, ο κάτω θα πρέπει να είναι ανοικτός και το αντίστροφο. Ενδιάμεσα από κάθε εναλλαγή της κατάστασης των διακοπτών θα πρέπει να υπάρχει ένας πολύ μικρός χρόνος όπου και οι δύο διακόπτες θα είναι ανοικτοί ώστε να μην σημειώνεται βραχυκύκλωμα. Καθώς ανοιγοκλείνουν οι διακόπτες στην έξοδο εμφανίζεται τετραγωνική κυματομορφή ανάλογη της DC εισόδου. Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να καθορίζουν το σημείο μηδέν της εξόδου. Έτσι ανάλογα με την τιμή της DC τάσης εισόδου καθορίζεται το μέγιστο πλάτος της AC εναλλασσόμενης τάσης εξόδου.

Οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας δουλεύουν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και λογική όπως και οι μισής γέφυρας. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι στους αντιστροφείς

πλήρους γέφυρας χρησιμοποιούνται τέσσερεις διακόπτες για να καθορίζουν την κατάσταση της εξόδου αντί για δύο.



Εικόνα 3.18 Αντιστροφέας πλήρους γέφυρας

Εικόνα 3.19 Αντιστροφέας ο οποίος παράγει 115 V AC από πηγή 12 V DC

Το PWM είναι μια πολύ χρήσιμη τεχνική στα ηλεκτρονικά ισχύος η οποία μεταβάλει το χρόνο που μένει σε κατάσταση λογικού «1» ένας τετραγωνικός παλμός περιόδου T. Με άλλα λόγια η τεχνική αυτή μεταβάλει το duty cycle ενός τετραγωνικού παλμού από 0 % έως 100 %. Το όφελος από τη μεταβολή του duty cycle είναι ότι ανάλογα με το πόσο % είναι το duty cycle του ψηφιακού σήματος

μπορεί να αλλάξει την αναλογική τάση εξόδου του. Έτσι μπορούμε να παράγουμε το απαραίτητο σήμα που χρειάζεται με την κατάλληλη μορφή και τάση για να τροφοδοτήσουμε έναν τριφασικό ηλεκτροκινητήρα.

3.5 Ροή Ισχύος σε HEV

Όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, στόχος από τη δημιουργία του HEV ήταν η μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα αυτοκίνητα μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας ή καλύτερα της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με κατάλληλο σύστημα ελέγχου. Η σύμπλεξη στο κιβώτιο ταχυτήτων δεσμεύει ή αποδεσμεύει τον ηλεκτροκινητήρα ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του υβριδικού. Έτσι, η Μ.Ε.Κ. και ο ηλεκτροκινητήρας συνδέονται στον άξονα μετάδοσης κίνησης που δίνει κίνηση στο διαφορικό και σε δύο ημιαξόνια. Ο ηλεκτροκινητήρας φορτίζει τη συστοιχία των μπαταριών όταν λειτουργεί ως γεννήτρια (π.χ. ανάκτηση ισχύος κατά τη διάρκεια της αναγεννητικής πέδησης) και αποφορτίζει τις μπαταριές όταν βοηθάει τον συμβατικό κινητήρα στην πρόωση του οχήματος (π.χ. κατά τη διάρκεια μια επιτάχυνσης) λειτουργώντας ο ίδιος ο ηλεκτροκινητήρας σαν κανονικός κινητήρας. Συνολικά από όσα έχουν ειπωθεί μέχρι τώρα προκύπτει το εξής συμπέρασμα. Σε έναν υβριδικό σχηματισμό συνολικά υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τρόποι οδήγησης, οι οποίοι ονομαστικά είναι:

1. Λειτουργία οχήματος μηδενικών εκπομπών (ZEV) όπου ο κινητήρας είναι σβηστός και η κίνηση πραγματοποιείται μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα.
2. Κανονική λειτουργία κινητήρα (όπως σε ένα συμβατικό όχημα).
3. Υβριδική λειτουργία συμβατικού κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα για την πρόωση του οχήματος.
4. Υβριδική λειτουργία συμβατικού κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα όπου ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια (ο συμβατικός κινητήρας παρέχει την ισχύ πρόωσης του οχήματος και παράλληλα φορτίζει τις μπαταρίες).
5. Λειτουργία ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα.

Η μικτή συνδεσμολογία κινητήρα – γεννήτριας – ηλεκτροκινητήρα επιτρέπει την αξιοποίηση, κατά περίπτωση, των μελών εκείνων του συνολικού υβριδικού συστήματος που η συνεργασία τους θα επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα με την ελάχιστη κατανάλωση ισχύος.

Έτσι όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη και η κίνηση του αυτοκινήτου γίνεται σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, ο συμβατικός κινητήρας του αυτοκινήτου σβήνει και η κίνηση πραγματοποιείται μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι μπορούμε και κάνουμε λόγο για μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Κάτω από κανονικές συνθήκες οδήγησης και κυρίως από κάποια ταχύτητα και πάνω, η ισχύς του συμβατικού κινητήρα μοιράζεται μεταξύ των τροχών και της γεννήτριας. Ένα μέρος από το ρεύμα που παράγεται από τη γεννήτρια διοχετεύεται στη μπαταρία, φορτίζοντας την και το υπόλοιπο πηγαίνει στον ηλεκτροκινητήρα που με τη σειρά του συνεισφέρει στην κίνηση των τροχών. Οι επιμέρους κατανομές ισχύος και ρεύματος επιλέγονται ως προς τα ποσοστά τους ώστε να επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης του συστήματος.

Στην περίπτωση που απαιτείται έντονη επιτάχυνση, ολόκληρη η παραγόμενη ισχύς από τον κινητήρα διοχετεύεται στους τροχούς όπως και η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα ο οποίος τροφοδοτείται από τη μπαταρία. Το ποσοστό της ισχύος που θα καταλήξει στους τροχούς από τον κινητήρα και τον ηλεκτροκινητήρα καθορίζεται και πάλι από τα κριτήρια μεγιστοποίησης του βαθμού απόδοσης.

Όταν το αυτοκίνητο επιβραδύνει, ο ηλεκτροκινητήρας μετατρέπεται σε ισχυρή γεννήτρια ικανή να απορροφήσει μεγάλα ποσά κινητικής ενέργειας η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η επενέργεια των ηλεκτρικά ελεγχόμενων υδραυλικών φρένων καθορίζεται από την ένταση της αιτούμενης επιβράδυνσης και από τις ανάγκες για τη σωστή κατανομή των επιβραδυντικών φορτίων ανάμεσα στους εμπρός και τους πίσω τροχούς.

Τέλος, όταν το αυτοκίνητο ακινητοποιείται και η μπαταρία βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο φόρτισης, ο συμβατικός κινητήρας ενεργοποιείται και τη «γεμίζει» μέσω της γεννήτριας.

3.6 Βενζινοκινητήρας με κύκλο Atkinson

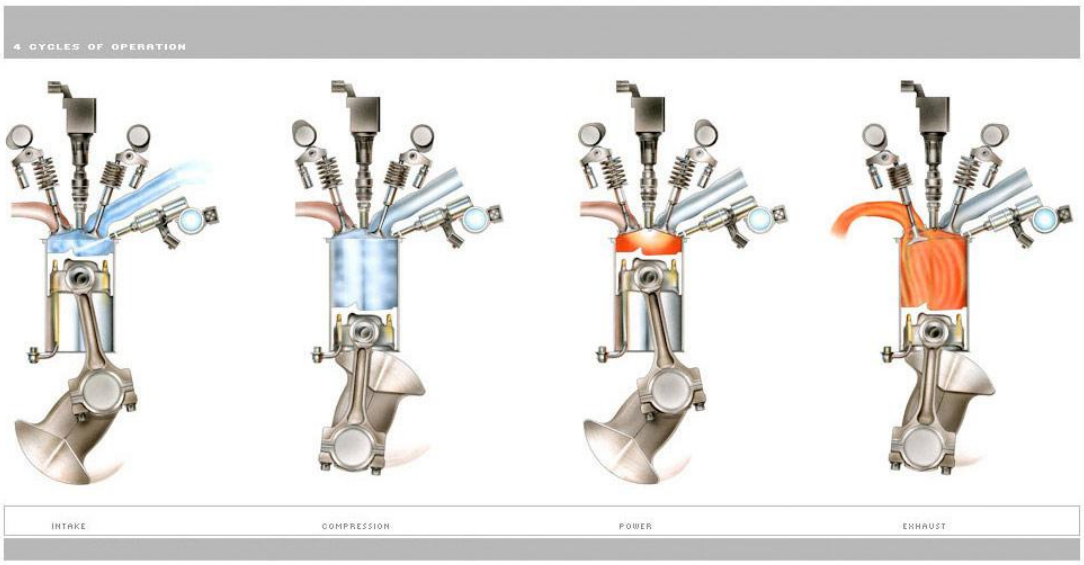
[5] Πρακτικά, ένα υβριδικό αυτοκίνητο κινείται στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του με τον συμβατικό κινητήρα σε λειτουργία. Ακόμα και σταματημένο μέσα σε ένα μποτιλιάρισμα, το αυτοκίνητο εξακολουθεί να καταναλώνει ενέργεια, τόσο για να συντηρεί τις «ζωτικές του λειτουργίες» (τροφοδοσία της κεντρικής ψηφιακής μονάδας και των παρελκόμενων της, των «by wire» φρένων αλλά και των φώτων) όσο και για να μην χρειαστεί ο οδηγός να στερηθεί, όσο είναι ακινητοποιημένος των συστημάτων θέρμανσης ή κλιματισμού, του ηχοσυστήματος του ή του συστήματος πλοήγησης. Η επιλογή των κατασκευαστών υβριδικών οχημάτων μαζικής παραγωγής είναι να μην υπάρχουν, κατά τη διάρκεια μιας μετακίνησης, μεγάλα διαστήματα με το συμβατικό κινητήρα σβηστό. Το ζητούμενο είναι να υπάρχει κατά διαστήματα ένα ρεύμα φόρτισης των μπαταριών έτσι ώστε αυτές να μην αναγκαστούν να αποδώσουν ρεύμα στον ηλεκτροκινητήρα όταν η στάθμη τους είναι κοντά στο «μηδέν». Η λύση που έχει δοθεί είναι απλή. Κάθε φορά που το αυτοκίνητο σταματάει, ο κινητήρας σβήνει, αφήνοντας το αυτοκίνητο να καταναλώνει την ενέργεια των μπαταριών του για την ενεργοποίηση των ηλεκτρικών συσκευών του. Και κάθε φορά που ο οδηγός ξαναπατάει γκάζι, ο κινητήρας παίρνει

μπροστά, παράγοντας ρεύμα τόσο για την φόρτιση των μπαταριών όσο και για την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα. Και στις δυο, όμως αυτές περιπτώσεις, το ζητούμενο είναι να εξαναγκαστεί ο κινητήρας να λειτουργήσει (για μικρό, έστω, χρονικό διάστημα) σε φορτίο αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που αντιστοιχεί στο ρελαντί. Ο στόχος είναι να παραχθεί το απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο με τρόπο ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί όσο γίνεται πιο κοντά στην περιοχή της μέγιστης θερμικής του απόδοσης. Μόνο που η μέγιστη θερμική απόδοση του κινητήρα δεν επιτυγχάνεται στις ίδιες στροφές με αυτές της μέγιστης ροπής, όπως είναι γνωστό από τους βενζινοκινητήρες που λειτουργούν με τον κύκλο Otto.

Στα τέλη του19ου αιώνα, ο Βρετανός James Atkinson πρότεινε έναν αρκετά ενδιαφέροντα θερμικό κύκλο λειτουργίας των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Ο κύκλος αυτός είχε μεγαλύτερη θερμική απόδοση από τον κύκλο του Otto αλλά για την υλοποίηση του απαιτούσε από τον κινητήρα να έχει μια εξαιρετικά αυξημένη μηχανική πολυπλοκότητα, γεγονός που τον καθιστούσε, πρακτικά, μη αξιοποιήσιμο. Η αρχή του κύκλου του Atkinson βασιζόταν σε μια απλή διαπίστωση: στο ότι, όταν το έμβολο φτάσει στο Κάτω Νεκρό Σημείο του χρόνου της εκτόνωσης, τα αέρια στον κύλινδρο εξακολουθούν να έχουν αρκετά μεγάλη πίεση η οποία δεν μπορεί πλέον να εκτονωθεί και να μετατραπεί σε μηχανικό έργο. Αν το έμβολο δεν είχε φτάσει στο τέλος της προς τα κάτω διαδρομής του, η βαλβίδα εξαγωγής θα εξακολουθούσε να παραμένει κλειστή και η πίεση των αερίων του κυλίνδρου θα συνέχιζε να «αξιοποιείται» μέχρι να πέσει σε μη – εκμεταλλεύσιμα επίπεδα. Και φυσικά, για την ίδια ποσότητα καυσίμου, το έργο που θα έφτανε στο στρόφαλο θα ήταν πολύ περισσότερο. Συνεπώς, τα αέρια της εξάτμισης θα είχαν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία και ταχύτητα, στην έξοδο τους από τον κύλινδρο. Με άλλα λόγια, σύμφωνα με τη θεωρία του Atkinson, το μεγάλο μειονέκτημα του κύκλου του Otto δεν είναι άλλο από το γεγονός ότι η διαδρομή του εμβόλου κατά το χρόνο της εκτόνωσης είναι ίση, σε μέγεθος, με αυτή που το έμβολο διανύει κατά τους χρόνους της εισαγωγής ή της συμπίεσης. Ο κινητήρας του Atkinson διέθετε ένα μηχανισμό μέσω του οποίου η διαδρομή του εμβόλου, κατά το χρόνο της εκτόνωσης, ήταν αρκετά μεγαλύτερη από την αντίθετη διαδρομή, την οποία το έμβολο εκτελούσε κατά το χρόνο της συμπίεσης. Και το πιο σημαντικό στοιχείο της εφεύρεσης αυτής ήταν το γεγονός ότι το μέγεθος καθεμιάς από αυτές τις δυο διαδρομές, μπορούσε να ρυθμιστεί ανεξάρτητα από την άλλη.

Η μηχανή του Atkinson έμεινε στα αζήτητα για πάρα πολλά χρόνια, όχι όμως και η θεωρία του, την οποία κάποιοι ερευνητές προσπαθούσαν να υλοποιήσουν σε ένα πιο πρακτικό επίπεδο. Τη λύση τελικά τη βρήκε πριν από μισό αιώνα ο Αμερικάνος R. H. Miller, του οποίου οι ιδέες άρχισαν να εξετάζονται με ενδιαφέρον από τους Ιάπωνες, τις τελευταίες δεκαετίες. Η ιδέα του Miller (από όπου και ο ομώνυμος κύκλος) ήταν απλή και πάνω σε αυτή βασίστηκε και η Toyota στις υβριδικές της εφαρμογές. Η διαδρομή του εμβόλου, κατά την εκτόνωση, θα παρέμενε σταθερή – η μέγιστη δυνατή. Αντιθέτως, μεταβλητή θα ήταν η διαδρομή του εμβόλου κατά την οποία θα πραγματοποιείτο η συμπίεση. Κατά συνέπεια, θα ήταν μεταβλητός

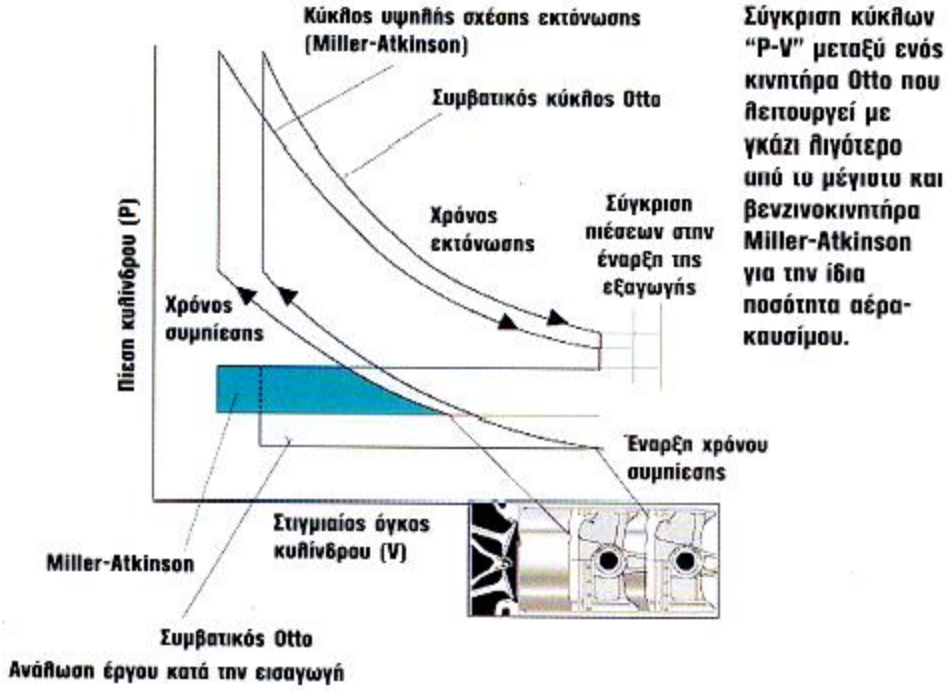
και ο λόγος συμπίεσης. Όλη αυτή η διαδικασία βασίζεται στην επιλογή του χρονισμού που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής. Όταν είναι επιθυμητός ο χαμηλός λόγος συμπίεσης, τότε διατηρείται ανοικτή η βαλβίδα εισαγωγής κατά την άνοδο του εμβόλου. Με την προς τα πάνω κίνηση του εμβόλου, ένα μέρος του μίγματος εκτοπίζεται από τον κύλινδρο και επιστρέφει στον αυλό εισαγωγής. Η εναπομένουσα ποσότητα αρχίζει να συμπιέζεται από τη στιγμή που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής και καθώς ο χρονισμός κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής είναι μεταβλητός, επόμενο είναι να μεταβάλλεται μαζί του και ο «ενεργός» λόγος συμπίεσης αλλά και ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα. Το μειονέκτημα της «ατμοσφαιρικής» εκδοχής του κύκλου Miller (όπως στην περίπτωση του Toyota Prius) εντοπίζεται στο γεγονός ότι ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα αυξομειώνεται, ταυτόχρονα, με το βαθμό συμπίεσης. Εκείνο όμως που χρειάζεται, προκειμένου να εξαντληθούν τα όρια αποδοτικότητας του κινητήρα, είναι το ακριβώς αντίστροφο: ο βαθμός συμπίεσης να είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μικρότερος είναι ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα. Από την άλλη, είναι προφανές ότι η λειτουργία με κύκλο Miller «ευνοείται» από την παρουσία ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή, μέσω του οποίου καθορίζεται η πίεση που θα επικρατεί στον κύλινδρο τη στιγμή που θα κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής και θα αρχίζει η συμπίεση του μίγματος. Το γεγονός είναι, πάντως, ότι εφόσον ο κινητήρας λειτουργεί με κύκλο Miller, η αξιοποίηση του καυσίμου του βρίσκεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα απ' ότι όταν αυτός λειτουργεί σε κύκλο Otto. Η εξήγηση γι' αυτό είναι απλή.



Εικόνα 3.20 Αναπαράσταση του κύκλου Miller

Στην εκδοχή Miller ακόμα κι όταν δεν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις ισχύος, η ρυθμιστική δικλείδα παραμένει πλήρως ανοιχτή, όπως ακριβώς και στους κινητήρες πτωχού μείγματος όταν ο οδηγός δεν πατάει το πεντάλ ως το τέρμα. Και αντί η ροή αέρα να στραγγαλίζεται, μέσω της «πεταλούδας», προκειμένου να αποδοθεί ισχύς μικρότερη από τη μέγιστη, ο περιορισμός της ποσότητας μίγματος επιτυγχάνεται μέσω του καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής – άρα και της επιστροφής του πλεονάζοντος μίγματος προς τον αυλό εισαγωγής. Έτσι, στη φάση

της εισαγωγής, ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν να είχε κυβισμό μικρότερο από τον ονομαστικό του – και ανάλογο, προφανώς, της αιτούμενης ισχύος. Στην εκτόνωση αξιοποιείται ολόκληρη η προς τα κάτω διαδρομή του εμβόλου. Άρα, πρόκειται ακριβώς για την περίπτωση ενός «μικρότερου» κινητήρα που λειτουργεί ως Atkinson. Για να λειτουργήσει, όμως, ένας κινητήρας σε κύκλο Miller, οι σχεδιαστές του θα πρέπει ευθύς εξ' αρχής να «απαρνηθούν» την παρουσία δυναμικών (κυματικών) φαινομένων στον αυλό εισαγωγής – άρα να απαρνηθούν και τις μεγάλες ογκομετρικές αποδόσεις προς χάριν της μικρής κατανάλωσης.



Εικόνα 3.21 Σύγκριση κύκλων P – V (Πίεσης κυλίνδρου – Στιγμιαίου Όγκου) κινητήρων Otto και Atkinson

4. Plug – in υβριδικά οχήματα

4.1 Ορισμός – Περιγραφή

[5],[17],[26] Ένα plug – in υβριδικό όχημα (Plug – in Hybrid Electric vehicle – PHEV) είναι ένα υβριδικό όχημα με μπαταρίες που επαναφορτίζονται συνδέοντας το όχημα σμε μια πρίζα σε μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα υβριδικά οχήματα αυτού του τύπου έχουν χαρακτηριστικά τόσο των συμβατικών υβριδικών αυτοκινήτων όσο και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Ενώ τα PHEVs αναμένονται στη μορφή των επιβατικών οχημάτων, ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν και εμπορικά ελαφρά φορτηγά, επιχειρησιακά φορτηγά, σχολικά λεωφορεία, scooters και στρατιωτικά οχήματα. Τα PHEVs αλλιώς αποκαλούνται και ως «οχήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο» ή GO – HEVs.

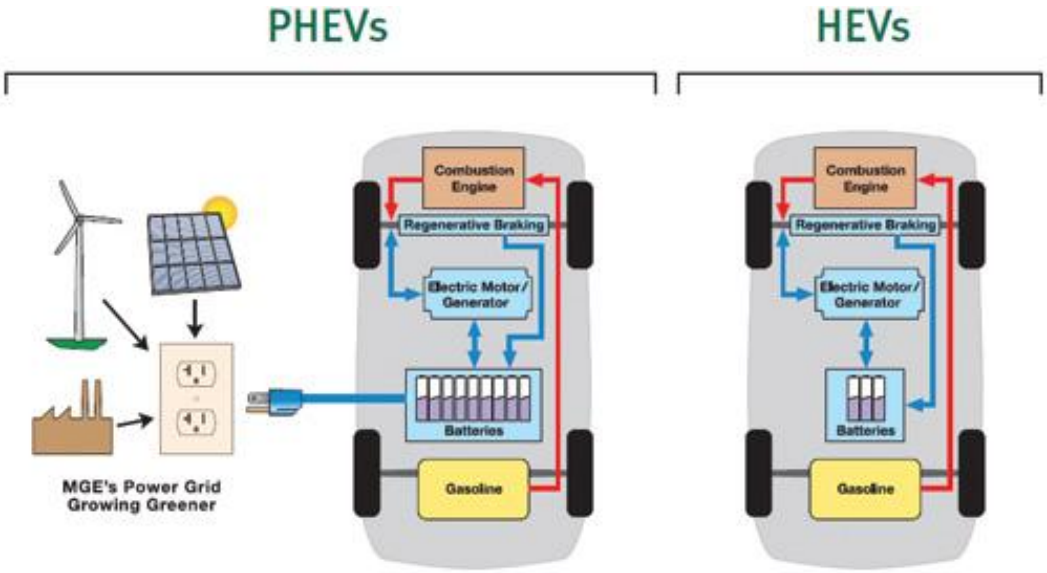
Εικόνα 4.1 Φόρτιση οχήματος PHEV

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση των plug – in υβριδικών οχημάτων κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας υπολογίστηκε λιγότερο στην California από το ένα τέταρτο του κόστους της βενζίνης που θα χρησιμοποιούσαν στη συμβατική τους μορφή. Σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα υβριδικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης και της εξάρτησης από το πετρέλαιο και να ελαττώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα plug – in υβριδικά οχήματα δεν χρησιμοποιούν κάποιο φυσικό καύσιμο κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας, εάν οι μπαταρίες τους φορτίζονται βέβαια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Δυστυχώς αυτά τα αυτοκίνητα δεν έχουν μπει ακόμα στη μαζική παραγωγή, ωστόσο έχουν δημιουργηθεί ήδη κάποια πρωτότυπα μοντέλα από την Toyota, την General Motors και τη Ford, αυτοκινητοβιομηχανίες που ήδη έχουν εκφράσει την επιθυμία τους για την παραγωγή τέτοιων οχημάτων.

Η απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα plug – in υβριδικό μόνο με τη χρήση του ηλεκτροκινητήρα και χωρίς τη βοήθεια κάποιας συμβατικής Μ.Ε.Κ. αποτυπόνεται με τον όρο PHEV – «αριθμός μιλίων ή αριθμός χιλιομέτρων km». Δηλαδή εάν ένα plug – in υβριδικό όχημα μπορεί να κάνει 20 μίλια (32 χιλιόμετρα) με τη χρήση και μόνο του ηλεκτροκινητήρα τότε αυτό το όχημα συμβολίζεται ως PHEV – 20 ή PHEV – 32 km.

Τα οχήματα λοιπόν αυτά αποτελούν τη σημερινή εξέλιξη των συμβατικών πλήρως υβριδικών οχημάτων. Ένα πλήρως υβριδικό όχημα όπως έχουμε πει και σε προηγούμενο κεφάλαιο έχει τη δυνατότητα να εκκινεί, να κινεί σε χαμηλές ταχύτητες και να επιταχύνει χωρίς τη χρήση ενός συμβατικού κινητήρα, καθαρά και μόνο με τη χρήση της μπαταρίας, με τη μπαταρία όμως να φορτίζεται αποκλειστικά από τη χρήση του συμβατικού κινητήρα και από το σύστημα ανάκτησης ισχύος κατά τη διάρκεια εφαρμογής της πέδησης.

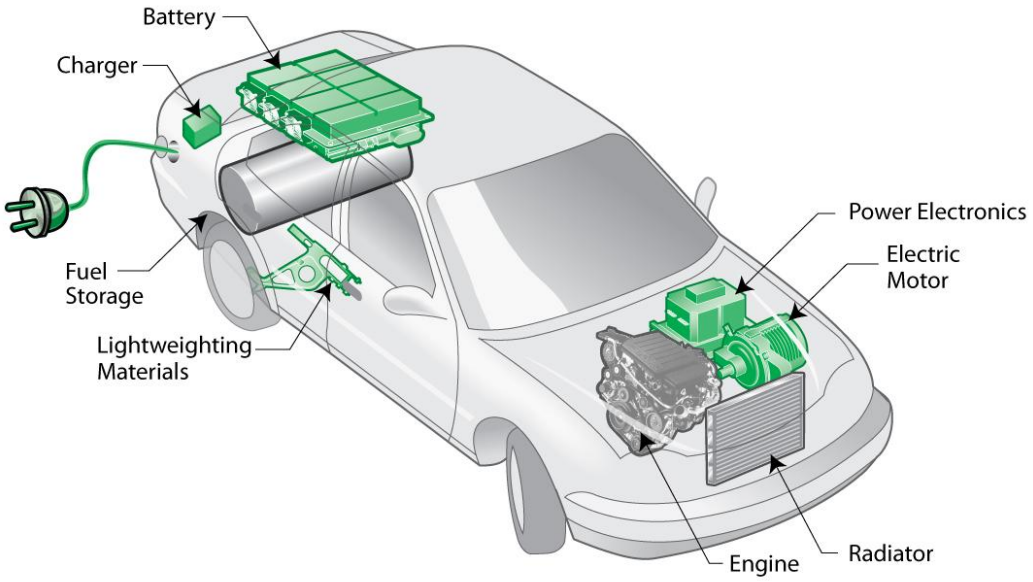
Η διαφορά λοιπόν με το PHEV είναι ότι ενώ λειτουργεί όπως ένα συμβατικό πλήρως υβριδικό όχημα, αλλάζει ο τρόπος με τον οποίο μπορείς να επαναφορτίσεις τις μπαταρίες του, καθώς σου δίνει την επιλογή να το φορτίσεις στο σπίτι σου μέσα από το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού με άμεσο αποτέλεσμα να κινεί κανείς το όχημα αποκλειστικά με τη χρήση ηλεκτρισμού.



Εικόνα 4.2 Σύγκριση PHEV με HEV

Συνήθως η φόρτιση του αυτοκινήτου αυτού πραγματοποιείται τη νύχτα που είναι ακινητοποιημένο για αρκετή ώρα. Έτσι και τα PHEVs και τα HEVs κάνουν χρήση ηλεκτροκινητήρων που τροφοδοτούνται από μπαταρίες και Μ.Ε.Κ., για την εξοικονόμηση καυσίμου, ωστόσο τα PHEVs μπορούν να αναβάλλουν ακόμη περισσότερο τη χρήση καυσίμου με τη φόρτιση του οχήματος από το σπίτι. Καλό είναι να σημειωθεί επίσης ότι τα plug – in υβριδικά έχουν πλεονέκτημα έναντι των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων στο ότι οι οδηγοί τους δεν χρειάζεται να ανησυχούν για το ενδεχόμενο «αποφόρτισης» του οχήματος τους. Και αυτό διότι όταν η μπαταρία

αποφορτίζεται, τα plug – in οχήματα λειτουργούν όπως και τα συμβατικά και κάνουν χρήση του κινητήρα τους και του συστήματος ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα για τη φόρτιση της μπαταρίας και την προώθηση του οχήματος. Επειδή, λοιπόν, χρησιμοποιούν και κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα, τα PHEVs διαθέτουν μικρότερες και φτηνότερές συστοιχίες μπαταριών από ότι τα αντίστοιχα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τα σημερινά εμπορικά υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν, όπως έχει αναφερθεί μπαταρίες NiMH, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μικρές αποστάσεις με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα αντίστοιχα plug – in υβριδικά. Για τα PHEVs λοιπόν, η μεγαλύτερη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και οι μεγαλύτερες απαιτήσεις αυτής θα επιτευχθούν με την τεχνολογία των μπαταριών ιόντων λιθίου (Li – ion), όπως αναμένεται.



Εικόνα 4.3 Τα επιμέρους συστήματα ενός PHEV

4.2 Τεχνολογία στα PHEVs

Τα plug – in υβριδικά οχήματα τεχνολογικά είναι όμοια με τα συμβατικά πλήρως υβριδικά οχήματα. Ουσιαστικά ένα PHEV θεωρείται η εξέλιξη του HEV καθώς μπορεί να κινηθεί αμιγώς με ηλεκτρική ενέργεια παρά το γεγονός ότι εμπεριέχει μια Μ.Ε.Κ. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη σταθμών φόρτισης από το δημόσιο δίκτυο ανά τακτές αποστάσεις. Σε αυτό το σημείο θα ήταν καλό να δούμε λίγο πιο αναλυτικά τα βασικά συστήματα που απαρτίζουν την τεχνολογία ενός PHEV όπως το σύστημα μετάδοσης ισχύος, τους τρόπους λειτουργίας του και τις μπαταρίες που χρησιμοποιεί για την κίνησή του.

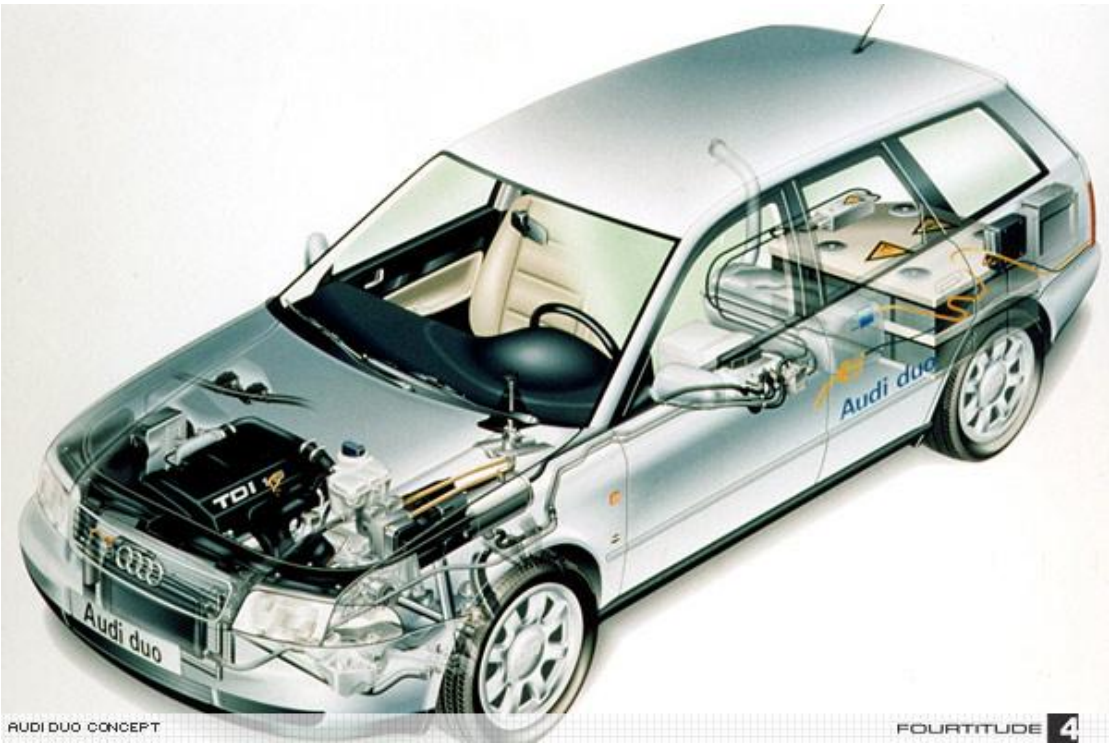
4.2.1 Συστήματα μετάδοσης ισχύος

Τα PHEVs βασίζονται στα ίδια τρία συστήματα μετάδοσης ισχύος που ισχύουν και στα συμβατικά υβριδικά:

Στα σειριακά PHEVs, που χρησιμοποιούν μια Μ.Ε.Κ. για να τροφοδοτήσουν τη γεννήτρια που με τη σειρά της παρέχει ρεύμα σε έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος δίνει ώθηση στους τροχούς του οχήματος. Μια συστοιχία μπαταριών ή πυκνωτών ή συνδυασμός και των δυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση του επιπλέον φορτίου. Παραδείγματα τέτοιων σειριακών PHEVs είναι το Toyota Coaster που αποτελεί ελαφρύ επιβατηγό λεωφορείο και κυκλοφορεί μόνο στην Ιαπωνία, το Chevrolet Volt που αποτελεί concept όχημα και πολλές diesel – ηλεκτρικές σιδηροδρομικές αμαξοστοιχίες. Με μια κατάλληλη εξισορρόπηση των στοιχείων του, αυτό το είδος PHEV μπορεί να λειτουργήσει πλήρως με ηλεκτρική ενέργεια σε μια μεγάλη απόσταση χωρίς τη χρήση του κινητήρα. Όπως και στα άλλα συστήματα μετάδοσης ισχύος, έτσι και τα σειριακά μπορούν να λειτουργούν χωρίς να επαναφορτιστούν, όσο υπάρχει υγρό καύσιμο στο ντεπόζιτο τους.

Στα παράλληλα PHEVs, τα οποία μπορούν ταυτόχρονα να μεταδώσουν ισχύ στους κινητήριους τροχούς από τις δυο διακριτές πηγές ενέργειας, όπως είναι μια Μ.Ε.Κ. και ένας ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτούμενος από τις μπαταρίες. Αν και τα περισσότερα παράλληλα υβριδικά εμπεριέχουν έναν ηλεκτροκινητήρα μεταξύ του κινητήρα και του κιβωτίου ταχυτήτων, ένα παράλληλο υβριδικό μπορεί να χρησιμοποιήσει τον κινητήρα του για την προώθηση του ενός ακραξονίου και τον ηλεκτροκινητήρα του για το άλλο ακραξόνιο. Το Audi Duo plug – in που αποτελεί υβριδικό concept όχημα, είναι παράδειγμα αυτής της παράλληλης υβριδικής δομής. Τα παράλληλα υβριδικά μπορούν να προγραμματιστούν στο να χρησιμοποιούν μόνο τον ηλεκτροκινητήρα σε χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και να λειτουργούν με αρκετά μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου, συγκρινόμενα με τα συμβατικά οχήματα.

Στα σειριακά – παράλληλα PHEVs, που έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και ως σειριακά αλλά και ως παράλληλα υβριδικά. Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούνται από τις Ford, Lexus, Nissan και Toyota είναι αυτής της μορφής. Από το 2007, οι περισσότερες plug – in μετατροπές των σύγχρονων εμπορικών υβριδικών οχημάτων χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα μετάδοσης της ισχύος.



Εικόνα 4.4 Audi Duo plug – in concept

4.2.2 Τρόποι λειτουργίας

[9],[17],[26] Ανεξάρτητα από το σύστημα μετάδοσης ισχύος, ένα plug – in υβριδικό αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα των λειτουργιών «Μείωσης φόρτισης» (charge depleting mode) και «Διατήρησης φόρτισης» (charge sustaining mode). Συνδυασμός και των δυο αυτών λειτουργιών ονομάζεται συνδυασμένη λειτουργία (blended mode). Αυτά τα οχήματα μπορούν να σχεδιαστούν για να διανύουν εκτεταμένες αποστάσεις μόνο με την ηλεκτρική τους ενέργεια, είτε σε χαμηλές μόνο ταχύτητες είτε σε όλες τις ταχύτητες. Αυτοί οι τρόποι λειτουργίας ελέγχουν το σύστημα αποφόρτισης της μπαταρίας και η χρήση τους έχει άμεση επίδραση στο μέγεθος και τον τύπο της απαιτούμενης μπαταρίας.

Η λειτουργία «Μείωσης φόρτισης» επιτρέπει ένα πλήρως φορτισμένο PHEV να λειτουργεί αποκλειστικά (ή σχεδόν αποκλειστικά, πάντα βέβαια με το όχημα και εκτός ίσως κάποιων έντονων επιταχύνσεων) με την ηλεκτρική ενέργεια μέχρι το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας να μειωθεί έως ένα προκαθορισμένο επίπεδο, στο οποίο θα αρχίσει να λειτουργεί ο κινητήρας (ή οι κυψέλες καυσίμου). Αυτή είναι και η στιγμή που το όχημα έχει διανύσει όλη την απόσταση που δύναται μόνο με την ηλεκτρική του ενέργεια. Αυτή είναι και η στιγμή που ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα θα σταματήσει να λειτουργεί, λόγω της περιορισμένης του αποκλειστικής λειτουργίας με την ενέργεια των μπαταριών του.

Η λειτουργία «Διατήρησης φόρτισης» χρησιμοποιείται από τα σύγχρονα εμπορικά υβριδικά οχήματα και συνδυάζει τη λειτουργία των δυο πηγών ενέργειας του οχήματος με τέτοιο τρόπο που το αυτοκίνητο λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά χωρίς να επιτρέπει την αποφόρτιση της μπαταρίας κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο ενέργειας. Σε μια διαδρομή, λοιπόν, με ένα HEV το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας μπορεί να διακυμαίνεται αλλά δεν πρόκειται να φτάσει σε σημείο πλήρους αποφόρτισης. Έτσι, η μπαταρία σε ένα HEV μπορεί να θεωρείται ως ενεργειακός συσσωρευτής παρά σαν συσκευή αποθήκευσης ενέργειας.

Σε ένα plug – in υβριδικό όχημα, δίνεται η δυνατότητα αυτόματης αλλαγής από τη λειτουργία «Μείωσης φόρτισης» στη λειτουργία «Διατήρησης φορτίου», όταν αυτό έχει διανύσει όλη την απόσταση που δύναται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια. Η «συνδυασμένη λειτουργία» είναι ένα είδος της λειτουργίας «Μείωσης φόρτισης» που χρησιμοποιείται από οχήματα που δεν έχουν αρκετή ηλεκτρική ισχύ για να διατηρήσουν υψηλές ταχύτητες χωρίς τη βοήθεια μέρους της ισχύος του κινητήρα. Μια τέτοια «συνδυασμένη λειτουργία» επιτρέπει σε ένα όχημα την κάλυψη περισσότερων χιλιομέτρων πριν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου απ' ότι η λειτουργία «Μείωσης φόρτισης». Μετατροπές του μοντέλου Toyota Prius 2004 και επόμενων μοντέλων μπόρεσαν να φτάσουν μόλις την ταχύτητα των 42 mph (68 km/h) χωρίς τη χρήση του κινητήρα, εξαιτίας περιορισμών του λογισμικού του συστήματος ελέγχου. Ωστόσο, σε μεγαλύτερες ταχύτητες η ηλεκτρική ενέργεια εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, αντικαθιστώντας το καύσιμο, βελτιώνοντας την οικονομία καυσίμου και διπλασιάζοντας την απόδοση του καυσίμου. Υπάρχει, τέλος, και η λειτουργία που είναι συνδυασμός των τριών παραπάνω λειτουργιών, η μικτή δηλαδή λειτουργία.

Εικόνα 4.5 Toyota Prius 2004 PHEV

4.2.3 Μπαταρίες σε ένα PHEV

[21] Τα PHEVs συνήθως απαιτούν περισσότερους κύκλους πλήρους φόρτισης και αποφόρτισης των μπαταριών τους από ότι τα συμβατικά υβριδικά. Έτσι, επειδή ο αριθμός των κύκλων πλήρους φόρτισης/ αποφόρτισης επηρεάζει τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, η μπαταρία στα HEVs διαρκεί περισσότερο διότι αυτά δεν μειώνουν το φορτίο της μπαταρίας σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Θέματα σχεδιασμού, μέγιστου αριθμού κύκλων φόρτισης/ αποφόρτισης, χωρητικότητας, έκλυσης θερμότητας, βάρους, κόστους και ασφάλειας των μπαταριών πρέπει να ερευνηθούν περαιτέρω. Ήδη η τεχνολογία στο χώρο των μπαταριών έχει προχωρήσει, δημιουργώντας μπαταρίες με μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και διάρκεια ζωής. Οι τιμές των υβριδικών οχημάτων είναι αυξημένες και ένα μέρος αυτής της αύξησης οφείλεται στο κόστος των μπαταριών. Ωστόσο υπάρχει η περίοδος αποπληρωμής χάρη στην οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνει ένα υβριδικό όχημα. Αυτή η περίοδος απόσβεσης κόστους είναι μεγαλύτερη στα PHEVs εξαιτίας των μεγαλύτερων και ακριβότερων μπαταριών που χρησιμοποιούν. Υπάρχουν επίσης προγράμματα ανακύκλωσης των μπαταριών NiMH και των Li – ion, όπως αυτό της Toyota, για παράδειγμα, που για κάθε μπαταρία που επιστρέφεται δίνει μια πίστωση ενός ποσού. Ωστόσο, τα plug – in υβριδικά χρειάζονται περισσότερους πόρους για την κάλυψη τους σε ανάγκες από μπαταρίες, καθώς χρησιμοποιούν μεγαλύτερες συστοιχίες μπαταριών από τα συμβατικά.

Πρόσφατα έγινε μια πρόταση ώστε τελικά οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες να επαναχρησιμοποιούνται για σκοπούς backup και για σκοπούς εξισορρόπησης φορτίου, αφού η εναπομένουσα χωρητικότητα τους παραμένει σημαντικά χρήσιμη.

Εικόνα 4.6 Συστοιχία μπαταριών Li – ion με ανοιχτό το κάλυμμα στο PHEV Prius +, μετατροπή του υβριδικού Toyota Prius

4.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των PHEVs

Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου οχημάτων αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω:

- Όταν το όχημα κινείται από ηλεκτρική ενέργεια, είναι πολύ πιο οικονομικό από το να προωθείται με καύσιμο. Ως «καύσιμο μεταφοράς» με την ευρύτερη έννοια, η ηλεκτρική ενέργεια είναι 50 – 75% λιγότερο ακριβή από το ισοδύναμο κόστος του γαλονιού της βενζίνης.
- Η χρήση των υβριδικών αυτού του τύπου θα οδηγήσει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Τα PHEVs παράγουν λιγότερους ρύπους από τους αντίστοιχους των συμβατικών οχημάτων φυσικά αλλά λιγότερους ρύπους ακόμα και από τα αντίστοιχα πλήρως υβριδικά οχήματα.
- Η plug – in υβριδική τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και έτσι μπορούμε να κάνουμε λόγο για μια εντελώς «πράσινη» και φιλική προς το περιβάλλον μετακίνηση, όταν χρησιμοποιούμε τέτοια ενέργεια για τη φόρτιση των μπαταριών του οχήματος.
- Τα PHEVs μπορούν να αποτελέσουν μέρος μιας τεχνολογίας που θα περιλαμβάνει σταθμούς ανεφοδιασμού σε κάθε σπίτι και ένα ανεπτυγμένο ηλεκτρικό δίκτυο ικανό να υποστηρίξει τις αυξημένες απαιτήσεις σε ρεύμα.
- Τα PHEVs έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την απόδοσή τους συγκριτικά με τα αντίστοιχα συμβατικά υβριδικά οχήματα καθώς η ακόμα πιο περιορισμένη χρήση του κινητήρα του επιτρέπει να λειτουργεί ακόμα πιο κοντά στο μέγιστο θερμικό βαθμό της απόδοσής του. Έτσι για παράδειγμα, ενώ ένα συμβατικό υβριδικό Prius μπορεί να μετατρέπει το καύσιμο σε κινητική ενέργεια με απόδοση περίπου 30 %, ο κινητήρας του αντίστοιχου PHEV – 70 θα λειτουργήσει πιο συχνά κοντά στο μέγιστο βαθμό της απόδοσής του διότι οι μπαταρίες μπορούν να καλύψουν ένα μέρος της απαίτησης ισχύος.

Αντίθετα με την πληθώρα των πλεονεκτημάτων, εντοπίζονται και μειονεκτήματα, αλλά και κάποια από τα πλεονεκτήματα που εντοπίζονται σε αυτή την κατηγορία υβριδικών οχημάτων μπορούν να θεωρηθούν ως αρνητικά ανάλογα με τη σκοπιά που θα εξεταστεί. Τέτοια μειονεκτήματα είναι:

- Σε περιοχές όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο προέρχεται από άνθρακα, οι τοπικές καθαρές εκπομπές CO_2 θα αυξηθούν από τη χρήση των PHEVs καθώς θα αυξηθούν οι απαιτήσεις της ενέργειας.
- Η μη ύπαρξη σταθμών ανεφοδιασμού ανά τακτές αποστάσεις καθιστά αδύνατη την παρούσα στιγμή την κίνηση τω οχημάτων χωρίς τη χρήση

της Μ.Ε.Κ. Η δημιουργία αυτών των σταθμών απαιτεί μεγάλη επένδυση τόσος στην κατασκευή τους όσο και στο δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο για την υποστήριξη τους.

- Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα θα αυξηθούν, άρα και η ρύπανση του περιβάλλοντος από τις μονάδες παραγωγής αν δεν χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Εικόνα 4.7 Σταθμός ταχείας φόρτισης PHEV από την εταιρεία EPYON στην Ευρώπη

Εικόνα 4.8 Σταθμός φόρτισης PHEV στο San Francisco

5. Σύγχρονα υβριδικά οχήματα και τεχνολογίες

5.1 Το σύστημα Synergy της Toyota

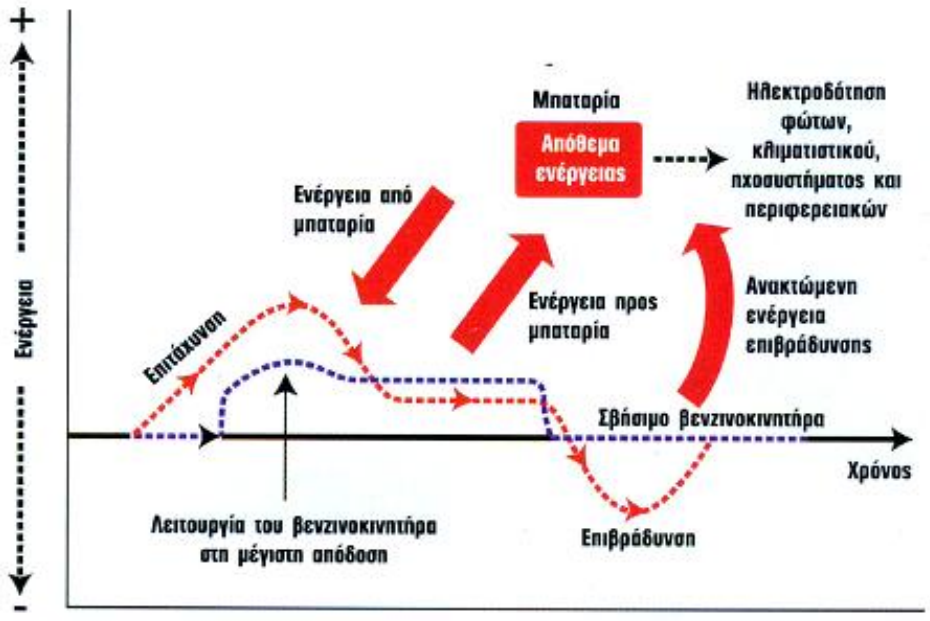
[5],[27] Με αυτήν την ελληνική λέξη η Toyota επιδιώκει να οριοθετήσει σημειολογικά τον τρόπο που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους τα υποσυστήματα που απαρτίζουν τη σύνθετη κινητήρια μονάδα του υβριδικού της οχήματος, του Prius. Και όλη αυτή η «Συνέργεια» δεν έχει άλλο σκοπό από το να επιλέγει συνεχώς την κατάλληλη λειτουργική κατάσταση με το μέγιστο, συνολικά, βαθμό απόδοσης. Πρέπει όμως να διευκρινιστεί ότι σε καμία (σχεδόν) περίπτωση δεν επιδιώκεται η «ιδανική» λειτουργία του βενζινοκινητήρα ή του ηλεκτροκινητήρα, καθενός από μόνο του. Εκείνο που επιδιώκεται είναι η ιδανική λειτουργία, στη μονάδα του χρόνου, του συνολικού συστήματος που απαρτίζεται όχι μόνο από τους δυο κινητήρες αλλά και από τους συσσωρευτές και τη γεννήτρια. Όταν ο οδηγός επιταχύνει, για παράδειγμα, ο προγραμματισμός της κεντρικής μονάδας θα ανατρέξει σε όλα τα πιθανά σενάρια και θα αναζητήσει τον συνδυασμό εκείνο «σύνθεσης ισχύος» από τις δυο πηγές της που τη συγκεκριμένη στιγμή θα κριθεί ως ο ιδανικός σε σχέση με τις προθέσεις του οδηγού, την ταχύτητα, την κλίση του δρόμου και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών. Με άλλα λόγια, διαφορετικός θα πρέπει να είναι ο «κατά Miller» χρονισμός των βαλβίδων εισαγωγής του βενζινοκινητήρα στην περίπτωση που η μπαταρία διαθέτει ρεύμα για τον ηλεκτροκινητήρα και διαφορετικός όταν η μπαταρία θα είναι αδειανή. Και το πιο σπουδαίο είναι ότι από τη στιγμή που ο βενζινοκινητήρας δεν συνδέεται απευθείας με το κιβώτιο αλλά μέσω επικυκλικού διαφορικού, το φορτίο που αντιμετωπίζει στην έξοδο του δεν έχει σχέση με το ίδιο το «αυτοκίνητο» και με τις αντιστάσεις του αλλά με τις αποφάσεις της κεντρικής μονάδας και μόνο. Με απλά λόγια, η αντίσταση που θα αντιμετωπίσει ο βενζινοκινητήρας (και συνακόλουθα οι στροφές που θα του επιτραπεί να κινηθεί) εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από το «τεχνητό» (και κυμαινόμενο) φορτίο που θα του ασκηθεί από τη γεννήτρια. Όλα αυτά σημαίνουν ότι τα πεντάλ δεν μεταφέρουν τις εντολές του οδηγού απευθείας στα αντίστοιχα συστήματα αλλά απλώς «γνωστοποιούν τις προθέσεις του» στην κεντρική μονάδα, αφήνοντας σε αυτή την πρωτοβουλία περί του τι μέλλει γενέσθαι. Από το πάτημα του πεντάλ του φρένου, για παράδειγμα, η κεντρική μονάδα θα συμπεράνει το βαθμό επιβράδυνσης που επιδιώκει ο οδηγός και στη συνέχεια θα αποφασίσει ποιο θα είναι το ποσοστό που θα αναλάβουν τα φρένα και ποιο αυτό που θα αναλάβει η μονάδα ανάκτησης ενέργειας – αφού συνεκτιμηθεί η κινητική κατάσταση του αυτοκινήτου και η στάθμη φόρτισης των μπαταριών. Προφανώς τα φρένα είναι ηλεκτρικά. Το πεντάλ του φρένου καταλήγει σε ένα ποτενσιόμετρο και όχι στην κεντρική αντλία ενός υδραυλικού συστήματος. Ηλεκτρικός όμως είναι και ο έλεγχος του πεντάλ του γκαζιού. Το πεντάλ δεν έχει εδώ την παραμικρή σχέση με την “πεταλούδα” – τον έλεγχο της τον έχει αναλάβει αποκλειστικά η κεντρική μονάδα (ECU) η οποία και αποφασίζει για τη συγκεκριμένη «αιτούμενη» ισχύ (με βάση και την ταχύτητα του αυτοκινήτου), πόσο

θα ανοίξει η “πεταλούδα” και πόσο νωρίτερα ή αργότερα θα κλείσουν οι βαλβίδες εισαγωγής. Και κατά πόσο, βεβαίως, θα «συνδράμει» την προσπάθεια και ο ηλεκτροκινητήρας, αν υπάρχει εκείνη τη στιγμή (και πόσο) ρεύμα στην μπαταρία.

Εικόνα 5.1 Toyota Synergy Drive

Το ζητούμενο από την τεχνολογία Synergy της Toyota είναι να διαθέτει η κεντρική μονάδα στη μνήμη της μια πολλαπλότητα εναλλακτικών λύσεων για κάθε περίπτωση και όχι μόνο μια λύση. Και να είναι σε θέση να ανακαλεί στην επιφάνεια εκείνη τη «σύνθεση» που τη συγκεκριμένη στιγμή θα καταναλώσει τη λιγότερη βενζίνη. Η γενίκευση αυτών των συστημάτων θα αναπτύξει μια νέα γενιά προγραμματιστών στο χώρο των κινητήρων. Αυτό που θα ζητείται εφεξής δεν θα είναι απλά η «τρισδιάστατη χαρτογράφηση» της κεντρικής μνήμης αλλά η εκπόνηση πολλαπλών σεναρίων και η ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης τους. Με άλλα λόγια αυτού του είδους η κλιμάκωση του ψηφιακού ελέγχου των αυτοκινήτων απαιτεί την κατανάλωση ακόμα μεγαλύτερων ποσοτήτων φαιάς ουσίας απ’ ότι στο παρελθόν. Το επόμενο βήμα είναι η χρήση «τεχνητής νοημοσύνης» στα υβριδικά συστήματα, μέσω της οποίας αυτά θα αποκτήσουν και την ικανότητα να αυτοδιδάσκονται.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα υλοποίησης της «Συνέργειας» του Prius THS II κατά τη διάρκεια της εκκίνησης του μέχρι την τελική ακινητοποίηση του, αφού εν τω μεταξύ διανύσει μια απόσταση «υπό κανονικές συνθήκες». Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η συνεισφορά του βενζινοκινητήρα και με κόκκινο του ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 5.2 Το σύστημα Synergy της Toyota

5.2 Honda Civic Hybrid

[5],[28] Το Honda Civic Hybrid είναι η υβριδική εκδοχή του Honda Civic Sedan. Στο μοντέλο Civic του 2003 η Honda προσέθεσε το συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης κιβώτιο ταχυτήτων (CVT) και το Integrated Motor Assist υβριδικό σύστημα, παρόμοιο με αυτό του Honda Insight (το πρώτο υβριδικό της Honda) δημιουργώντας έτσι ένα υβριδικό Sedan με καλή οικονομία καυσίμου. Δεν ανήκει στα πλήρως υβριδικά οχήματα αλλά στην κατηγορία των power assist hybrid, δηλαδή υβριδικό όχημα του οποίου ο ηλεκτροκινητήρας κατά κανόνα δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα. Το 2004 η νέα έκδοση, μαζί με το συμβατικό Civic, ήταν αναβαθμισμένη στιλιστικά, ενώ ανασχεδιάστηκε το 2006 και απέκτησε τη νέα μορφή που έχει και το συμβατικό Civic.

Η τεχνολογία IMA (Integrated Motor Assist) είναι τεχνολογία που υιοθετήθηκε από τη Honda για την κατασκευή των υβριδικών οχημάτων της και εισήχθη για πρώτη φορά το 1999 στο πρώτο υβριδικό μοντέλο της Honda, το Insight. Κάνει χρήση ενός ηλεκτροκινητήρα που είναι τοποθετημένος μεταξύ του κινητήρα και του κιβωτίου ταχυτήτων και ο οποίος ενεργεί σαν κινητήρας εκκίνησης, σαν κινητήρας εξισορρόπησης και σαν βοηθητικός κινητήρας προώθησης. Η πρώτη γενιά της τεχνολογίας IMA δεν μπορούσε να προωθήσει το όχημα μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα αλλά έκανε χρήση του ηλεκτροκινητήρα για την υποβοήθηση του κινητήρα ή για την εκκίνηση του οχήματος. Το μοντέλο 2006 Civic Hybrid, ωστόσο, μπορεί σε μέσες ταχύτητες ταξιδιού να ενεργοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα για την αποκλειστική προώθηση του οχήματος, όμως σε αντίθεση με το σύστημα Synergy της

Toyota ή τα αντίστοιχα υβριδικά συστήματα των εταιριών General Motors και Daimler – Chrysler, το IMA έχει ένα λιγότερο ισχυρό ηλεκτροκινητήρα/ γεννήτρια που επιτρέπει στο όχημα να μειώνει το ρυθμό επιβράδυνσης του σε μικρότερο βαθμό. Η θεωρία πίσω από το IMA και ο στόχος ήταν να γίνει χρήση της ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα για την αξιοποίηση της ενέργειας που χάνεται στην επιβράδυνση έτσι ώστε αυτή να χρησιμοποιείται εκ νέου για την επιτάχυνση του οχήματος σε μεταγενέστερο χρόνο. Αυτό έχει δυο αποτελέσματα: αυξάνει το ρυθμό επιτάχυνσης του οχήματος και μειώνει το έργο του βενζινοκινητήρα. Αυτή η αύξηση στην επιτάχυνση είναι σημαντική διότι επιτρέπει την μείωση του μεγέθους του κινητήρα, ενός κινητήρα με καλύτερη οικονομία καυσίμου, χωρίς να καθιστά το αυτοκίνητο πιο αργό. Αυτός ο μικρότερος κινητήρας είναι ο πρωταρχικός λόγος γιατί τα αυτοκίνητα που είναι εξοπλισμένα με το σύστημα IMA έχουν καλύτερη επίδοση σε mpg (μίλια ανά γαλόνι) από τα αντίστοιχα συμβατικά. Επιπρόσθετα, οχήματα με τεχνολογία IMA μπορούν να σβήσουν τον βενζινοκινητήρα τους όταν το όχημα είναι ακινητοποιημένο και να χρησιμοποιήσουν τον ηλεκτροκινητήρα τους για μια γρήγορη εκκίνηση. Μπορούν επίσης να εκκινήσουν και με τον συμβατικό τρόπο, επιλέγοντας την απενεργοποίηση του ηλεκτρικού τους συστήματος και χρησιμοποιώντας μόνο τον κινητήρα, κάτι το οποίο λειτουργεί περισσότερο σαν εφεδρικό σύστημα σε περίπτωση ανάγκης.

Οι τρόποι λειτουργίας του νέου Civic Hybrid είναι οι παρακάτω:

- Όχημα σε στάση - Ο κινητήρας είναι σβηστός και η κατανάλωση καυσίμου είναι μηδενική.
- Εκκίνηση και επιτάχυνση - Ο κινητήρας λειτουργεί με χρονισμό βαλβίδων βελτιστοποιημένο για χαμηλές στροφές (low – speed valve timing mode), με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα.
- Απότομη Επιτάχυνση - Ο κινητήρας λειτουργεί με χρονισμό βαλβίδων βελτιστοποιημένο για υψηλές στροφές (high – speed valve timing mode), με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα.
- Σταθερή πορεία χαμηλής ταχύτητας - Οι βαλβίδες και των τεσσάρων κυλίνδρων του κινητήρα κλείνουν και η καύση σταματάει. Ο ηλεκτροκινητήρας κινεί αποκλειστικά το όχημα.
- Ομαλή επιτάχυνση σε πορεία υψηλής ταχύτητας - Ο κινητήρας λειτουργώντας με χρονισμό βαλβίδων βελτιστοποιημένο για χαμηλές στροφές (low – speed valve timing mode) προωθεί το όχημα.
- Επιβράδυνση - Οι βαλβίδες και των τεσσάρων κυλίνδρων κλείνουν και η καύση σταματάει. Ο ηλεκτροκινητήρας δρα ως γεννήτρια και ανακτά μέρος της κινητικής ενέργειας από το φρενάρισμα, το οποίο το αποθηκεύει στις μπαταρίες.

Εικόνα 5.3 Honda Civic Hybrid

Εικόνα 5.4 Ο κινητήρας του Honda Civic Hybrid

5.3 Chevrolet Volt (Opel Ampera)

[5],[29],[30] Το Chevrolet Volt είναι ένα PHEV το οποίο κατασκευάζεται από την General Motors και πωλείται με διαφορετική μάρκα υπό την ονομασία Holden

Volt στην Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία και διαφορετική όψη ως Vauxhall Ampera στο Ηνωμένο Βασίλειο και Opel Ampera στην υπόλοιπη Ευρώπη.

Οι πωλήσεις του Chevrolet Volt του 2011 ξεκίνησαν στις Η.Π.Α. στα μέσα του Δεκεμβρίου το 2010 και συνεχίστηκαν στις υπόλοιπες διεθνείς αγορές το 2011. Μέχρι το Νοέμβρη του 2014, τα μοντέλα Volt και Ampera έφτασαν τις 87,000 πωλήσεις παγκοσμίως. Το μεγαλύτερο ποσοστό πωλήσεων εντοπίζεται στις Η.Π.Α. με τον αριθμό των 72,000 πωλήσεων ενώ μέσα στο 2014 πωλήθηκαν σχεδόν 10,000 μοντέλα στην Ευρώπη. Αγγίζοντας αυτά τα νούμερα στις πωλήσεις, τα μοντέλα Volt και Ampera είναι πλέον τα αυτοκίνητα αυτής της κατηγορίας με τις περισσότερες πωλήσεις στον κόσμο.

Το Volt λειτουργεί ως ένα καθαρά ηλεκτροκίνητο όχημα μέχρι η ισχύς της μπαταρίας του να φτάσει ένα κατώφλιο όριο συγκριτικά με την πλήρη φόρτιση. Από εκείνο το σημείο και έπειτα αναλαμβάνει η Μ.Ε.Κ. για να τροφοδοτήσει τον εσωτερικό ηλεκτροκινητήρα ο οποίος λειτουργεί πλέον σαν γεννήτρια ώστε να αυξήσει την αυτονομία του οχήματος. Η αναγεννητική πέδηση του Volt συνεισφέρει επίσης στην δημιουργία επιπλέον ισχύος. Το Volt έχει μια καθαρά ηλεκτρική αυτονομία 38 μιλίων (61 km) και με το συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα βενζίνης φτάνει σε μια μικτή κατανάλωση των 62 mpg .

Η δεύτερη γενιά του Volt θα παρουσιαστεί επίσημα τον Ιανουάριο του 2015 στη διεθνή επίδειξη αυτοκινήτων που θα πραγματοποιηθεί στη Βόρεια Αμερική. Το νέο μοντέλο θα φέρει μια αναβαθμισμένη μπαταρία καθώς και καινούργιο σύστημα μετάδοσης ισχύος. Η πρώτη παρουσίαση του πρωτοτύπου έγινε τον Ιανουάριο του 2007 στην ίδια έκθεση που θα παρουσιαστεί και η δεύτερη γενιά 8 χρόνια μετά.

Το αυτοκίνητο αυτό έχει μπαταρίες Li – ion και μπορεί να φορτιστεί από μια τυπική πρίζα 120 – 240 V AC. Δεν απαιτείται λοιπόν ειδικός σταθμός φόρτισής του. Το αυτοκίνητο κινείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα 111 kW (149 hp) και 370 Nm ροπής. Η χωρητικότητα της μπαταρίαςείναι 16.5 KWh για τα μοντέλα του 2013, γεγονός που αυξάνει την ικανότητα οδήγησης μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα στα 38 μίλια (61 χιλιόμετρα).

Μετά την πτώση της ισχύος της μπαταρία του Chevrolet Volt σε ένα ορισμένο κατώτατο όριο σε σχέση με την πλήρη φόρτιση, αναλαμβάνει ένας μικρός κινητήρας 1.4 L, ο οποίος τροφοδοτείται με βενζίνη με περίπου 60 kW (80 hp) ισχύ να τροφοδοτήσει μια γεννήτρια 55 kW για να αυξήσει την αυτονομία του οχήματος. Το όχημα με την αναγεννητική πέδηση παράγει επίσης ισχύ, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στον ηλεκτροκινητήρα κατά την επιτάχυνση αλλά και η περισσευούμενη ισχύς κατευθύνεται στις μπαταρίες για αποθήκευση, ανάλογα με την κατάσταση της φόρτισης της συστοιχίας συσσωρευτών και της απαίτησης ισχύος στους τροχούς.

Εικόνα 5.5 Το πρωτότυπο Chevrolet Volt του 2007

Εικόνα 5.6 Το πλαίσιο του Chevrolet Volt με τους κινητήρες

Οι κινητήρες (ηλεκτρικοί και Μ.Ε.Κ.) του Volt είναι:

- Ο κύριος ηλεκτροκινητήρας/ γγεννήτρια προσφέρει καλές επιταχύνσεις κατά την κίνηση σε χαμηλές ταχύτητες και επανάκτηση της ισχύος κατά την εφαρμογή της πέδησης.
- Ένας δεύτερος ηλεκτροκινητήρας/ γεννήτρια λειτουργεί κυρίως σαν γεννήτρια με ικανότητα παραγωγής 55 kW ή όταν είναι απαραίτητο λειτουργεί σαν βοηθητικό σύστημα πρόωσης, βοηθώντας τον βασικό ηλεκτροκινητήρα ισχύος 111 kW.
- Μηχανή Εσωτερικής Καύσης η οποία μπαίνει σε λειτουργία όταν η αποφόρτιση των μπαταριών φτάσει σε ένα κατώφλιο όριο.

Οι τέσσερεις πιθανοί τρόποι που μπορούν να συνεργαστούν οι 2 ηλεκτροκινητήρες και η Μ.Ε.Κ. αναγράφονται παρακάτω:

- Να λειτουργεί μόνο ο κύριος ηλεκτροκινητήρας, η ισχύς πρόωσης είναι 111 kW.
- Να λειτουργούν μαζί και οι 2 ηλεκτροκινητήρες για την πρόωση. Αυτός ο συνδυασμός μειώνει την ισχύ του κύριου ηλεκτροκινητήρα αλλά αυξάνει την συνολική αποδοτικότητα του συστήματος. Η ισχύς πρόωσης παραμένει στα 111 kW.
- Όταν η μπαταρία φτάσει τα κατώτατα όρια ενεργοποιείται η Μ.Ε.Κ. Η μηχανή πλέον κάνει το δευτερεύον ηλεκτροκινητήρα να λειτουργήσει ως γεννήτρια για να διατηρήσει τα κατώτατα όρια φόρτισης της μπαταρίας και να τη φορτίσει. Ο κύριος ηλεκτροκινητήρας μπορεί ακόμα να παρέχει την ισχύ του για επιτάχυνση του οχήματος αλλά δεν μπορεί να διατηρήσει την παρεχόμενη ισχύ.
- Οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται μαζί με την Μ.Ε.Κ. η οποία παρέχει την ισχύ πρόωσης και ο «τριπλός» συνδυασμός χρησιμοποιείται για τη μέγιστη δυνατή παροχή ισχύος.

Εικόνα 5.7 Το Opel Ampera.

Εικόνα 5.8 Φόρτιση του Chevrolet Volt

5.4 Lexus LS 600h

[5],[31] Η Lexus εισήγαγε το μοντέλο LS 600h L, το πρώτο με κινητήρα V8 πλήρως υβριδικό όχημα, στο New York Auto Show, το 2006. Το LS 600h L είναι εξοπλισμένο με το σύστημα Lexus Hybrid Drive, που είναι ουσιαστικά το σύστημα

Synergy που έχει αναπτύξει η Toyota. Το σύστημα αυτό της Lexus χαρακτηρίζεται από τον 5.0 L 2UR-FSXE V8 κινητήρα που συνεργάζεται με τον υψηλής ισχύος ηλεκτροκινητήρα και τη συστοιχία των NiMH μπαταριών. Η συνολική ισχύς του συστήματος φτάνει τα 438 hp (327 kW), ισχύς συγκρίσιμη με αυτήν των V12 sedan, όπως της BMW 760Li (η οποία επίσης παράγει 438 hp). Ο ηλεκτροκινητήρας είναι τριφασικός, μόνιμου μαγνήτη, AC σύγχρονος στα 650 V και μεταφέρει παραπάνω από 160 kW (215 hp).

Επιπρόσθετα οι εκπομπές CO2 είναι λιγότερες από 220 g/km, μια τιμή που αντιστοιχεί στα λιγότερο ρυπογόνα diesel της κατηγορίας.

Εικόνα 5.9 Lexus LS 600h

6. Συμπεράσματα

Από όλα τα παραπάνω βλέπουμε την επιτακτική ανάγκη χρήσης των υβριδικών οχημάτων καθώς η αναζήτηση ενός μέλλοντος πιο «πράσινου» είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για να πορευτούμε προς το μέλλον μας. Η συνεχής αύξηση της ρύπανσης είναι υπεύθυνη για πολλά προβλήματα υγείας και όσο μπορούμε να την περιορίσουμε, πρέπει να το προσπαθήσουμε.

Με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υβριδικών οχημάτων μπορούμε να έχουμε ένα καλύτερο μέλλον πιο «πράσινο». Ακόμα υπάρχει πολύς δρόμος να γίνει ως προς αυτό αλλά έχουμε σταθερές βάσεις για να πορευτούμε σωστά. Η εξέλιξη των υβριδικών οχημάτων είναι ακόμα στην αρχή αλλά έχει κάνει μεγάλα βήματα και ήδη μπορούμε να μιλάμε για πράσινες μετακινήσεις. Ακόμα υπάρχουν εμπόδια να υπερπηδήσουμε όπως η χρήση των μπαταριών η οποία μας περιορίζει αρκετά ως προς την αυτονομία, αλλά η μέχρι τώρα πορεία σε αυτό τον τομέα μας δείχνει ότι όλα είναι πιθανά, καθώς υπάρχουν τα υβριδικά οχήματα που χρησιμοποιούν το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο για τη φόρτισή τους και με τις κατάλληλες υποδομές δεν θα απαιτούν καθόλου τη χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσης. Τα αυτοκίνητα του μέλλοντος είναι εδώ και είναι φιλικά προς το περιβάλλον με την ικανότητα να γίνουν ακόμα πιο φιλικά και πιο «πράσινα». Τα διάφορα υποσυστήματα που έχουν παραχθεί είναι ικανά να προσδώσουν αυτό το χαρακτήρα στα υβριδικά οχήματα και να παρέχουν ασφαλείς, οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον μετακινήσεις.

Βιβλιογραφία

[1] http://iceal.wikidot.com/atmosfairiki-rypansi#toc0, 11/2014

[2] http://www.cres.gr/kape/index.html , 11/2014

[3] http://www.eia.gov/ , 12/2014

[4] ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ Α.Ε., Energy Point, «Καύσιμα αυτοκινήτου: το μέλλον», Τεύχος 25, Ιούλιος – Αύγουστος 2009

[5] www.wikipedia.org , 12/2014

[6] http://www.hybrid-vehicle.org/, 12/2014

[7] http://www.nrdc.org/ , 12/2014

[8] C.C. Chan, A. Bouscayrol, K. Chen, «Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling», IEEE Vehicular Technology Society, Vol 59, No 2, 2/2010

[9] http://auto.howstuffworks.com/, 12/2014

[10] http://www.hybridcars.com/hybrid-technology/, 12/2014

[11] http://www.nrel.gov/learning/avf_hybrid_electric.html, 12/2014

[12] Ali Emadi, «Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives», CRC Press Taylor & Francis Group, 2005

[13] C.C. Chan, «The State of the Art of Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles», Proceedings of the IEEE | Vol. 95, No. 4, April 2007

[14] http://www.renewableenergyworld.com/rea/tech/hydrogen, 12/2014

[15] http://www.epa.gov/otaq/technology/research/research-hhvs.htm, 12/2014

[16] http://www.aircarcatvolution.com/air-car-model/minicat-eng.php, 12/2014

[17] http://www.plugincars.com/, 12/2014

[18] Stephen J. Chapman, «Electric Machinery Fundamentals» 4th Edition

[19] A.J. Coker, «Questions and Answers on Electric Motors»

[20] H. Wayne Beaty, I. James Kirtley, «Electric Motor Handbook», 1st Edition

[21] http://www.batteryuniversity.com/, 12/2014

[22] James Larminie, John Lowry, «Electric Vehicle Technology Explained», 2nd Edition

[23] http://www.mpoweruk.com/supercaps.htm, 12/2014

[24] http://www.drive.gr/galleries/volvo-peristrefomenos-sfondylos-gia-25-oikonomia, 12/2014

[25] Bimal K. Bose, «Modern Power Electronics and AC Drives»

[26] Δημόπουλος Ι. Ιωάννης, «Η Τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων. Σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις με επίκεντρο την προστασία του περιβάλλοντος και των συμβατικών ενεργειακών πόρων», Πτυχιακή Εργασία, Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2013

[27] http://www.toyota.com.au/hybrid-synergy-drive/hybrid-technology/how-hybrid-works, 12/2014

[28] http://automobiles.honda.com/civic-hybrid/, 12/2014

[29] http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html, 12/2014

[30] http://www.opel.com/vehicles/technology/mobility.html, 12/2014

[31] http://www.lexus.gr/hybrid/index.tmex, 12/2014