



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή εργασία

Ευφροσύνη Ζώτου

Διπλ/χος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Επιβλέπων: Δρ.-Μηχ. Δ. Κουλοχέρης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2016

.....
Ευφροσύνη Θ. Ζώτου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ευφροσύνη Θ. Ζώτου, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και η εξάντληση των φυσικών πόρων έχουν καταστεί ένα σοβαρό παγκόσμιο πρόβλημα. Ο τομέας των μεταφορών είναι ο πιο ραγδαία αναπτυσσόμενος καταναλωτής ενέργειας στον κόσμο, καταναλώνοντας το 49% των πετρελαϊκών πόρων. Ακόμη, εκτιμάται ότι, αν η ανακάλυψη και η κατανάλωση πετρελαίου ακολουθήσουν τις τρέχουσες τάσεις, οι πόροι του πετρελαίου παγκοσμίως θα έχουν εξαντληθεί ως το 2038. Αυτά οδηγούν τις έρευνες της αυτοκινητοβιομηχανίας σε εναλλακτικά συστήματα ενέργειας αποσκοπώντας αφενός στη μείωση των εκπομπών των οχημάτων και αφετέρου στη μείωση από την εξάρτηση από το πετρέλαιο. Ως εκ τούτου, παρατηρείται ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον προς υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη αυτών των υβριδικών ηλεκτροκίνητων οχημάτων και μια συγκριτική ανάλυση αυτών. Συνολικά, η εργασία καταπιάνεται τόσο με τη γενική παρουσίαση και περιγραφή αυτού του είδους των οχημάτων όσο και με τον τρόπο λειτουργίας τους, ενώ επικεντρώνεται στα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτροκίνητα Οχήματα, Αρχιτεκτονική Υβριδικών Οχημάτων, Υποσυστήματα Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων, Αναγεννητική Πέδηση

Abstract

In recent years, greenhouse gas emissions and the depletion of natural resources have become a serious global problem. The transportation sector is the fastest growing energy consumer in the world, consuming 49% of the oil resources. Also, it is estimated that if the discovery and consumption of oil follow current trends, oil resources worldwide will have been exhausted by 2038. These concerns lead the automotive researches to alternative power systems aiming on the one hand at reduced vehicle emissions and on the other hand at a reduced dependency on oil. As the result, there is a growing interest in hybrid electric vehicles.

The purpose of this thesis is to study such hybrid electric vehicles and a comparative analysis thereof. Overall, the thesis deals with both the general presentation and description of such vehicles and the way they operate, while it focuses on their basic technical characteristics.

Keywords: Electric Vehicles, Hybrid Vehicles Architecture, Electric Vehicles Subsystems, Regenerative Braking

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Κατάλογος Σχημάτων	11
Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος Εικόνων.....	15
Εισαγωγή.....	17
Κεφάλαιο 1: Ιστορία των ηλεκτρικών οχημάτων.....	19
Κεφάλαιο 2: Ηλεκτροκίνητα και Υβριδικά Οχήματα.....	23
2.1. Κατηγοριοποίηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων	23
2.2. Τύποι ηλεκτροκίνητων οχημάτων.....	23
2.2.1. Υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs).....	24
2.2.2. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs).....	27
2.2.3. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended-Range Electric Vehicles ER-EVs).....	30
2.2.4. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEVs).....	30
2.2.5. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cells Electric Vehicles – FCEVs) ...	31
Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική Υβριδικών Οχημάτων	33
3.1. Αρχιτεκτονικές ηλεκτρικών υβριδικών συστημάτων μετάδοσης.....	35
3.1.1. Σειριακό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Series Hybrid)	37
3.1.2. Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Parallel Hybrid)	39
3.1.3. Σειριακό/Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Combined Hybrid ή Series-Parallel Hybrid)	49
3.1.4. Σύνθετη διάταξη (Complex Hybrid).....	50
3.1.5. Ανεξάρτητη διάταξη (Independent Hybrid)	50
Κεφάλαιο 4: Αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα (EV).....	51
4.1. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	51
4.2. Αρχιτεκτονική δομή ηλεκτρικού οχήματος.....	54
Κεφάλαιο 5: Υποσυστήματα ηλεκτροκίνητων οχημάτων	57
5.1. Ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης.....	57
5.1.1. Ηλεκτρικός κινητήρας	58

5.1.2.	Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος.....	61
5.2.	Πηγές ενέργειας	62
5.2.1.	Ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (μπαταρίες).....	62
5.2.2.	Υπερπυκνωτές (Ultracapacitors)	75
5.2.3.	Σφόνδυλοι (flywheels).....	80
5.2.4.	Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells)	83
5.2.5.	Υβριδοποίηση των πηγών ενέργειας	85
Κεφάλαιο 6:	Αναγεννητική πέδηση	87
6.1.	Κατανάλωση ενέργειας κατά την πέδηση	87
6.2.	Σύστημα πέδησης των EVs και HEVs.....	88
6.2.1.	Πέδηση σειράς – Βέλτιστη αίσθηση	88
6.2.2.	Πέδηση σειράς – Βέλτιστη ανάκτηση ενέργειας	89
6.2.3.	Παράλληλη πέδηση.....	89
Κεφάλαιο 7:	Κυκλοφορούντα σύγχρονα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα	91
7.1.	Παραδείγματα οχημάτων και τεχνικά στοιχεία.....	91
7.1.1.	Μοντέλα 2015	91
7.1.2.	Μοντέλα 2014	100
7.1.3.	Μοντέλα ως το 2012	106
7.2.	Συγκριτικά Αποτελέσματα.....	108
7.2.1.	Σύγχρονα μοντέλα (2013-σήμερα).....	108
7.2.2.	Παλαιότερα μοντέλα (1969-2012)	111
Κεφάλαιο 8:	Συμπεράσματα-Επίλογος	113
Βιβλιογραφία		115

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Κατηγοριοποίηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων	23
Σχήμα 2 Είσοδος στην αγορά νέων μοντέλων Ηλεκτρικών Οχημάτων έως το έτος 2012	23
Σχήμα 3 Διάγραμμα ροής ενέργειας PHEV οχήματος.	29
Σχήμα 4 Διαδρομές ισχύος σε ένα υβριδικό όχημα	33
Σχήμα 5 Κατηγορίες υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων	36
Σχήμα 6 Ροή ενέργειας στα υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα	36
Σχήμα 7 Δομή υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος σειράς.....	37
Σχήμα 8 Δομή παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος.....	39
Σχήμα 9 Συσσκευή μηχανικής σύζευξης ροπής	40
Σχήμα 10 Συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις μηχανικής σύζευξης ροπής	40
Σχήμα 11 Διάταξη δύο αξόνων (1).....	41
Σχήμα 12 Ελκτική δύναμη και ταχύτητα του οχήματος με διαφορετικά συστήματα μετάδοσης.....	42
Σχήμα 13 Διάταξη δύο αξόνων (2).....	43
Σχήμα 14 Pretransmission σύστημα κίνησης συνδυασμού ροπής ενός άξονα παράλληλου HEV	44
Σχήμα 15 Posttransmission σύστημα κίνησης συνδυασμού ροπής ενός άξονα παράλληλου HEV.....	44
Σχήμα 16 Διάταξη με δύο ξεχωριστούς άξονες.	45
Σχήμα 17 Σύζευξη ταχύτητας.....	45
Σχήμα 18 Τυπικές διατάξεις σύζευξης ταχύτητας	46
Σχήμα 19 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με σύζευξη ταχύτητας με πλανητικό σύστημα	47
Σχήμα 20 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με σύζευξη ταχύτητας με transmotor	47
Σχήμα 21 Παράλληλο ηλεκτρικό υβριδικό σύστημα μετάδοσης με σύζευξη ταχύτητας και ροπής με πλανητικό σύστημα.....	48
Σχήμα 22 Παράλληλο ηλεκτρικό υβριδικό σύστημα μετάδοσης με σύζευξη ταχύτητας και ροπής με transmotor	48
Σχήμα 23 Ολοκληρωμένο υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με σύζευξη ταχύτητας και ροπής (Toyota Prius).....	49
Σχήμα 24 Αρχιτεκτονική δομή ηλεκτρικού οχήματος.....	54
Σχήμα 25 Διασύνδεση συστημάτων σε ένα ηλεκτρικό όχημα	55
Σχήμα 26 Πιθανές δομές ηλεκτρικού οχήματος.....	56
Σχήμα 27 Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης.....	57
Σχήμα 28 Κατηγοριοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων	58
Σχήμα 29 Ταξινόμηση των ηλεκτρικών κινητήρων για EV και HEV εφαρμογές.....	59
Σχήμα 30 SRM σύστημα κίνησης	61
Σχήμα 31 Ένα τυπικό κελί μπαταρίας.....	63
Σχήμα 32 Μεταβολή της χωρητικότητας μπαταρίας ανάλογα με το χρόνο εκφόρτισης	70
Σχήμα 33 Τυπική απόδοση φόρτισης και εκφόρτισης μπαταρίας.....	73
Σχήμα 34 Μπλοκ διάγραμμα της ροής ενέργειας και ισχύος κατά τη χρήση υπερ-πυκνωτών σε ένα υβριδικό όχημα	75
Σχήμα 35 Βασικές αρχές ενός τυπικού υπερπυκνωτή.....	76
Σχήμα 36 Ισοδύναμο κύκλωμα υπερπυκνωτή	77

Σχήμα 37 Μπλοκ διάγραμμα του μοντέλου του υπερπυκνωτή.....	77
Σχήμα 38 Χαρακτηριστικές εκφόρτισης του υπερπυκνωτή 2600F της Maxwell Technologies.....	78
Σχήμα 39 Απόδοση εκφόρτισης του υπερπυκνωτή 2600F της Maxwell Technologies.....	78
Σχήμα 40 Κατάσταση φόρτισης υπερπυκνωτή ως προς την τάση του	79
Σχήμα 41 Διάγραμμα <i>ragone</i> ηλεκτροχημικών συσκευών αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές προώθησης.....	79
Σχήμα 42 Βασική δομή ενός τυπικού συστήματος σφονδύλου (μηχανική μπαταρία).....	80
Σχήμα 43 Τυπικά διαγράμματα ροπής και τάσης ως προς την ταχύτητα περιστροφής.....	81
Σχήμα 44 Βασική δομή ενός τυπικού συστήματος σφονδύλου	82
Σχήμα 45 Κυψέλη καυσίμου τύπου PEM.....	83
Σχήμα 46 Λειτουργία ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος.....	85
Σχήμα 47 Μεταβολή δυνάμεων πέδησης με το ρυθμό επιβράδυνσης στο παράλληλο σύστημα πέδησης	90
Σχήμα 48 Χρησιμοποιούμενες σε σύγχρονα ηλεκτροκίνητα οχήματα μπαταρίες	108
Σχήμα 49 Χρησιμοποιούμενοι σε σύγχρονα ηλεκτροκίνητα οχήματα κινητήρες.....	108
Σχήμα 50 Χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταρίας για μοντέλα ετών 1969-2012	111
Σχήμα 51 Χρησιμοποιούμενοι τύποι ηλεκτροκινητήρων για μοντέλα ετών 1969-2012	112

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά των οχημάτων BEV, HEV και FCV.....	24
Πίνακας 2 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών οξέως μολύβδου	64
Πίνακας 3 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών νικελίου - καδμίου	64
Πίνακας 4 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών νικελίου - μετάλλου υδριδίου.....	65
Πίνακας 5 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών νικελίου - χλωριούχου νατρίου	65
Πίνακας 6 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών ιόντων λιθίου	66
Πίνακας 7 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών πολυμερών λιθίου.....	67
Πίνακας 8 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών θειούχου νατρίου.....	67
Πίνακας 9 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών αέρος - αλουμινίου	68
Πίνακας 10 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών αέρος - ψευδαργύρου	68
Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά λειτουργίας συσσωρευτών κατάλληλων για ηλεκτρικά οχήματα	69
Πίνακας 12 Στοιχεία Ειδικής Ένέργειας Μπαταριών για εφαρμογές αυτοκίνησης.....	72
Πίνακας 13 Κατάσταση συστημάτων μπαταριών για εφαρμογές στην αυτοκίνηση.....	74
Πίνακας 14 Σύνθετα Υλικά για σφονδύλους	83
Πίνακας 15 Σύγκριση Τεχνολογιών Κυψελών Καυσίμου	84
Πίνακας 16 Στοιχεία κίνησης επιβατηγού οχήματος	88
Πίνακας 17 Αντιπροσωπευτικά ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορίας ως το 2012.....	107
Πίνακας 18 Αντιπροσωπευτικά ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορίας 2013-2016 – Μέρος Α	109
Πίνακας 19 Αντιπροσωπευτικά ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορίας 2013-2016 – Μέρος Β.....	110
Πίνακας 20 Τύποι κινητήρων ανά τύπο μπαταρίας (μοντέλα ετών 1969-2012)	112

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Ο Thomas Edison και το ηλεκτροκίνητο όχημά του	19
Εικόνα 2 Μια σύντομη ιστορία των Ηλεκτρικών Οχημάτων	21
Εικόνα 3 Τμήματα ενός υβριδικού οχήματος.....	25
Εικόνα 4 Συστήματα PHEV και HEV	27
Εικόνα 5 Σύγκριση συστήματος HEV και PHEV.....	28
Εικόνα 6 Το σύστημα λειτουργίας ενός PHEV οχήματος	29
Εικόνα 7 Ηλεκτρικό όχημα με χρήση κυψελών καυσίμου	31
Εικόνα 8 Σύγκριση των διάφορων τεχνολογιών μπαταρίας από την άποψη ογκομετρικής και βαρυμετρικής ενεργειακής πυκνότητας	74
Εικόνα 9 Tesla Model S P85D.....	91
Εικόνα 10 Σύστημα κινητήρων του Tesla Model S P85D.....	91
Εικόνα 11 2016 Tesla Model S P85D – Κινητήρας	91
Εικόνα 12 Infiniti Q50 Hybrid.....	92
Εικόνα 13 Κινητήρας Infiniti Q50 Hybrid	92
Εικόνα 14 Kia Soul EV.....	93
Εικόνα 15 Κινητήρας Kia Soul EV	93
Εικόνα 16 Ταμπλό και κεντρική LCD οθόνη.....	94
Εικόνα 17 Toyota Avalon Hybrid.....	95
Εικόνα 18 Κινητήρας Toyota Avalon Hybrid	95
Εικόνα 19 Toyota Camry Hybrid	96
Εικόνα 20 Toyota Highlander Hybrid	96
Εικόνα 21 Κινητήρας Toyota Highlander Hybrid	96
Εικόνα 22 Honda Accord Hybrid	97
Εικόνα 23 Lexus CT 200h.....	98
Εικόνα 24 Lexus RX 450h	98
Εικόνα 25 Κινητήρας Lexus RX 450h.....	98
Εικόνα 26 Ford Fusion Energi.....	99
Εικόνα 27 Κινητήρας Ford Fusion Energi	99
Εικόνα 28 Porsche Plug-In S E-Hybrid	100
Εικόνα 29 Κινητήρας Porsche Plug-In S E-Hybrid	100
Εικόνα 30 Honda Civic Hybrid.....	101
Εικόνα 31 Engine Honda Civic Hybrid	101
Εικόνα 32 Lexus GS 450h	102
Εικόνα 33 Engine Lexus GS 450h	102
Εικόνα 34 Toyota Prius v.....	103
Εικόνα 35 Κινητήρας Toyota Prius v	103
Εικόνα 36 Toyota Prius c.....	104
Εικόνα 37 Toyota Prius Liftback	104
Εικόνα 38 Κινητήρας Toyota Prius Liftback	104
Εικόνα 39 Ford C-Max Hybrid	105
Εικόνα 40 Κινητήρας Ford C-Max Hybrid.....	105
Εικόνα 41 Lexus ES 300h.....	106

Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των αυτοκινήτων με θερμικές μηχανές είναι από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας. Ωστόσο, ο ιδιαίτερα ανεπτυγμένος τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας και ο μεγάλος αριθμός των αυτοκινήτων που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο προκάλεσαν και εξακολουθούν να προκαλούν σοβαρά προβλήματα για την κοινωνία και την ανθρώπινη ζωή. Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, η υπερθέρμανση του πλανήτη και η μείωση των πετρελαϊκών πόρων καθίστανται κύριες απειλές για τον άνθρωπο. Όλο και περισσότερο, αυστηρότατοι κανονισμοί σχετικά με τις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμων εγείρουν το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ασφαλών, καθαρών και υψηλών αποδόσεων μεταφορών. Έχει, επίσης, αναγνωριστεί ότι τα ηλεκτρικά ή υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και οι τεχνολογίες μετάδοσης κίνησης με χρήση κυψελών καυσίμου είναι οι πιο ελπιδοφόρες λύσεις για το πρόβλημα των χερσαίων μεταφορών στο μέλλον και έχουν προταθεί για να αντικαταστήσουν τα συμβατικά οχήματα.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις υπάρχουσες τεχνολογίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων και αποσκοπεί στη σύγκριση των τεχνικών στοιχείων τέτοιων οχημάτων που κυκλοφορούν ήδη στη διεθνή αγορά.

Στο κεφάλαιο 1 επιχειρείται μια αναδρομή στην ιστορία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και παρουσιάζονται οι πρώτες εφαρμογές τους.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι ηλεκτροκίνητων οχημάτων καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτών.

Το κεφάλαιο 3 αναφέρεται στις αρχιτεκτονικές των ηλεκτρικών υβριδικών συστημάτων μετάδοσης, όπου αναλύονται εκτενώς οι διαφορετικές αρχιτεκτονικές ανάμεσα σε ένα σειριακό και παράλληλο υβριδικό όχημα.

Το κεφάλαιο 4 καταπιάνεται κατ'αποκλειστικότητα με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Αφού αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τη χρήση τους, εξηγείται η αρχιτεκτονική της δομής τους.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά υποσυστήματα ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Μελετάται το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης και η «καρδιά» αυτού, δηλαδή ο ηλεκτρικός κινητήρας. Παράλληλα, εξετάζονται και οι διάφορες πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτά τα οχήματα.

Το 6^ο κεφάλαιο αναφέρεται στην αναγεννητική πέδηση, ένα βασικό και ιδιαιτέρως χρήσιμο χαρακτηριστικό των ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων.

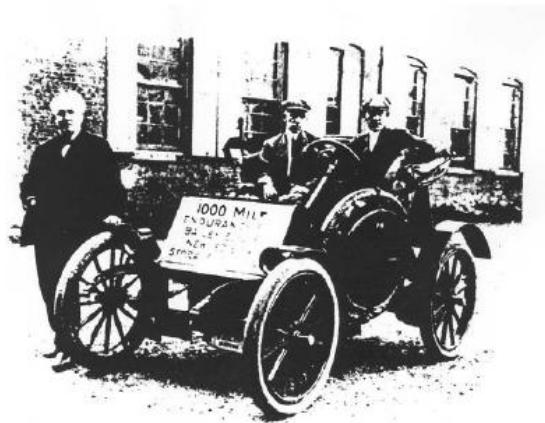
Στο 7^ο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση ενδεικτικών ηλεκτροκίνητων μοντέλων των τελευταίων ετών και περιγραφή της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών τους. Παράλληλα, συγκρίνονται ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους τόσο πρόσφατα όσο και παλαιότερα οχήματα.

Το 8^ο κεφάλαιο αφιερώνεται στα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και αποτελεί και τον επίλογο αυτής.

Κεφάλαιο 1: Ιστορία των ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση αντί να στηρίζονται στην ενέργεια που παράγεται με την καύση των καυσίμων. Οι μπαταρίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν τις ηλεκτρικές μηχανές προκειμένου να παραχθεί η κίνηση ροδών ή αξόνων, είναι η κύρια πηγή ενέργειας.

Παρότι τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη «νέα» αυτή τεχνολογία, η εμφάνιση των ηλεκτρικών οχημάτων εντοπίζεται αρκετά πίσω στο χρόνο, κατά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Οι πρώτες προσπάθειες για δημιουργία ηλεκτροκινούμενου οχήματος χρονολογούνται τη δεκαετία του 1830, ως εφευρέσεις με καθαρά δοκιμαστικό-πειραματικό χαρακτήρα. Περισσότερο πρακτικά και επιτυχή οχήματα ήταν αυτά που φτιάχτηκαν από τον Αμερικανό Thomas Davenport (1834) και από τον σκωτσέζο Robert Davidson περί το 1842. Το 1847 ο Αμερικανός Moses Farmer κατασκεύασε ένα όχημα που μπορούσε να μεταφέρει δύο άτομα, ο καθηγητής Charles Page έφτιαξε ένα όχημα με 100 συσσωρευτές και κινητήρα 16 ίππων που μετέφερε 12 άτομα με ταχύτητα μέχρι και 19 μίλια/ώρα, ενώ οι Lilly και Colton έφτιαξαν ένα ηλεκτρικό όχημα που τροφοδοτούνταν από κεντρικό σταθμό χάρη σε ηλεκτροφόρες ράγες. Σημαντικό, βέβαια, πρόβλημα που αντιμετώπιζαν όλες αυτές οι πρώιμες κατασκευές ήταν οι συσσωρευτές με τα μειονεκτήματά τους, όπως τον χαμηλό λόγο ενέργειας προς όγκο και βάρος αλλά κυρίως τη μη δυνατότητα επαναφόρτισης. Το 1859, ωστόσο, ο Γάλλος Gaston Plante ανακάλυψε για πρώτη φορά το στοιχείο Μολύβδου-Οξέως (Pb-Acid) που έχει δυνατότητα επαναφόρτισης, λύνοντας έτσι το πρόβλημα επαναφόρτισης. Το 1881 ο Camille Faure χρησιμοποίησε στην πράξη τους συσσωρευτές μόλυβδου. Κάποια χρόνια αργότερα εμφανίστηκαν διάφοροι βελτιωμένοι τύποι συσσωρευτών, μεταξύ των οποίων ξεχώρισε ένας συσσωρευτής Νικελίου-Σιδήρου (Ni-Fe), που κατασκευάστηκε το 1910 από τον Thomas Edison. Ήταν το πιο προηγμένο τεχνολογικά στοιχείο την εποχή εκείνη και χρησιμοποιήθηκε μάλιστα σε ένα όχημα που κατασκεύασε ο ίδιος ο Edison.



Εικόνα 1 Ο Thomas Edison και το ηλεκτροκίνητο όχημά του

Στη διάρκεια αυτών των δεκαετιών η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά μεγάλη τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Οι τεχνικές επιδόσεις μάλιστα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ήταν αρκετά αξιόλογες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το όχημα του Βέλγου Camille Jenatzy το οποίο κατά τη δεκαετία του 1890 έσπασε το φράγμα των 100 χλμ./ώρα.

Μέχρι τη δεκαετία του 1920 η αγορά των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ανθούσε. Μάλιστα, υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν το 1890 ο αριθμός των αυτοκινήτων που πουλήθηκαν στην Αμερική ήταν περίπου 4200 εκ των οποίων 38% ήταν ηλεκτροκίνητα, 22% βενζινοκίνητα και το 40% ατμοκίνητα. Ανάμεσα στις διάφορες χρονολογίες επίσης ξεχωρίζει το έτος 1912, το οποίο στις ΗΠΑ ήταν η πιο γόνιμη χρονιά των ηλεκτρικών οχημάτων, αφού 34000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα βρισκόνταν σε κυκλοφορία, αρκετά μεγάλος αριθμός για την εποχή, με επιδόσεις ταχύτητας που κυμαίνονταν από 32 έως 48 χλμ./ώρα και ήταν αρκετά ικανοποιητικές.

Βασικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τα βενζινοκίνητα και τα ατμοκίνητα ήταν ότι είχαν πολύ ευκολότερη εκκίνηση, αφού αρκούσε το “κλείσιμο” ενός διακόπτη για να ξεκινήσει απ’ ευθείας. Αντίθετα, τα βενζινοκίνητα οχήματα απαιτούσαν χειροκίνητη εκκίνηση, ενώ τα ατμοκίνητα απαιτούσαν μια προθέρμανση που διαρκούσε περίπου 3 τέταρτα της ώρας. Συνεπώς τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν ευρεία απήχηση στις υψηλά κοινωνικές τάξεις και αποτελούσαν οχήματα πολυτελείας.

Επιπλέον, το οδικό δίκτυο διασύνδεσης των πόλεων δεν ήταν κατάλληλο για υπεραστικές μετακινήσεις. Όντας, λοιπόν, περιορισμένα για αστική χρήση και μόνο, τα ηλεκτρικά οχήματα επικρατούσαν έναντι των άλλων τύπων μέχρι τη δεκαετία του 1920.

Ωστόσο, στη δεκαετία του 1920 έγινε μεταστροφή της αγοράς στα βενζινοκίνητα οχήματα στις ΗΠΑ για τους παρακάτω, κυρίως, λόγους:

- Η βελτίωση του υπεραστικού οδικού δικτύου αύξησε την ανάγκη για οχήματα μεγάλης αυτονομίας
- Η ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου κατέστησε ιδιαίτερα χαμηλό το κόστος των καυσίμων
- Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση
- Η μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford σε αρκετά χαμηλές τιμές, σε αντίθεση με τις τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων που συνεχώς αυξάνονταν.

Η μεταστροφή αυτή εμφανίστηκε κατόπιν και στην Ευρώπη. Ως αποτέλεσμα, σταδιακά αποσύρθηκαν τα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτή η περίοδος της παρακμής των ηλεκτρικών οχημάτων κράτησε περίπου από το 1930 έως το 1990. Στο διάστημα αυτό ελάχιστες προσπάθειες έγιναν στην έρευνα των ηλεκτρικών οχημάτων.

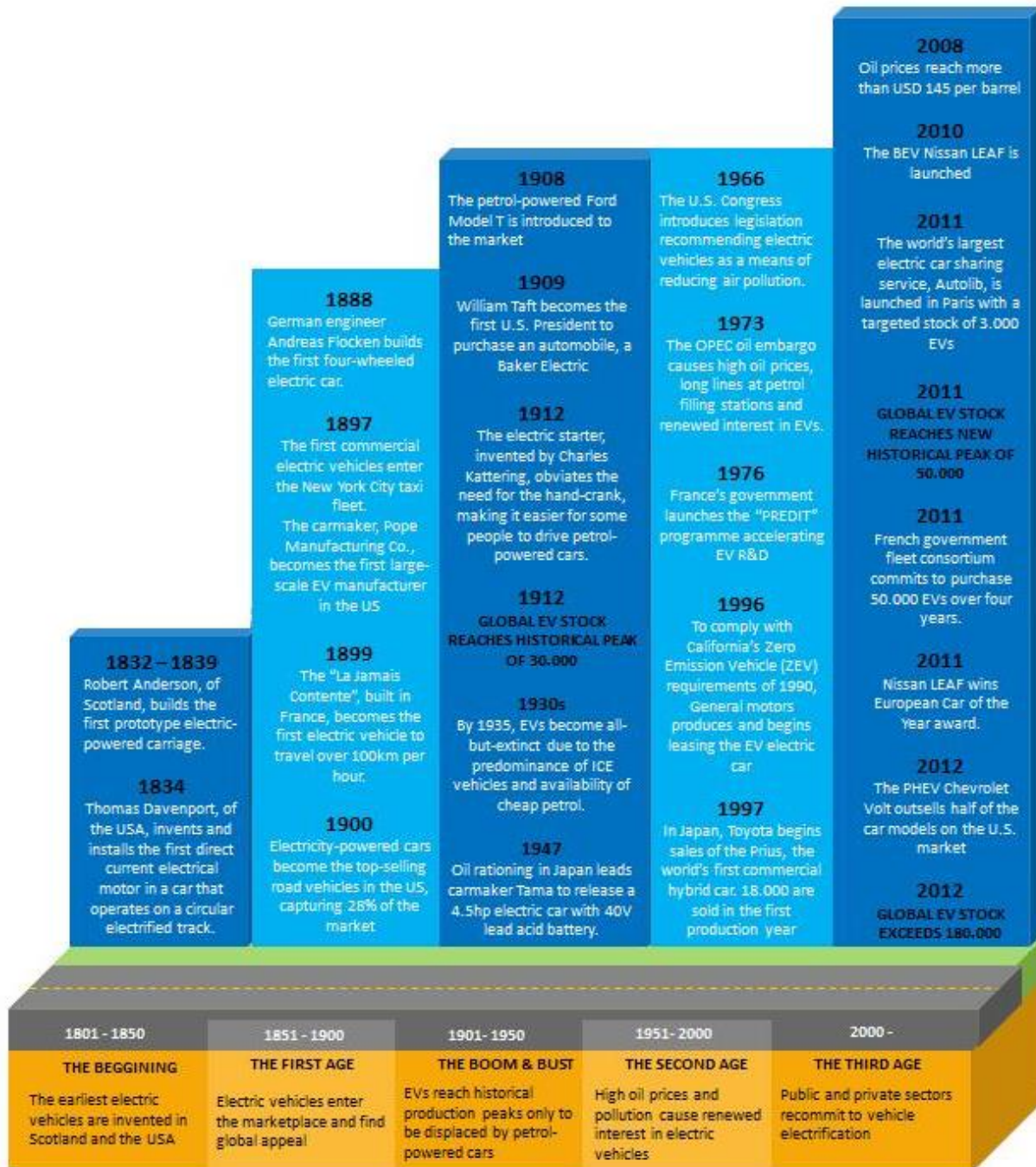
Μέχρι το 1960 μάλιστα, η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έπαψε εντελώς, αλλά στη συνέχεια άρχισε και πάλι να αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον. Βασικοί λόγοι ήταν, αφενός, ότι το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αυτοκίνητα στα αστικά κέντρα είχε αρχίσει να γίνεται ορατό, αφετέρου έπρεπε να αναζητηθούν εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις. Έτσι, διάφορες εταιρίες μεταξύ των οποίων η General Motors, η Ford και η American Motors, η Fiat, η Mercedes, η Volkswagen, η Nissan, η Toyota κατασκεύασαν ηλεκτροκίνητα μοντέλα.

Ανάμεσα στα διάφορα οχήματα που παρουσιάστηκαν μέσα στην περίοδο αυτή αξίζει να αναφερθεί το όχημα GMC Handivan του 1966, με καινοτομικό σύστημα τροφοδοσίας που αποτελούνταν από κυψέλες καυσίμου (fuel cells) υδρογόνου, ωστόσο με αρκετά μειονεκτήματα, όπως μεγάλο βάρος και κόστος, διαρροές υδρογόνου και πολυπλοκότητα κατασκευής.

Παράλληλα με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, την εποχή εκείνη παρουσιάστηκαν από πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες και ορισμένα υβριδικά οχήματα, με συνδυασμένη χρήση ηλεκτροκινήτηρα και

βενζινοκινητήρα, τα οποία, ως γνωστόν, συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών και των συμβατικών οχημάτων.

Με αυτές τις προσπάθειες και την τεχνολογική ανάπτυξη αυτών, φτάνουμε στην τρίτη χρονολογική περίοδο της εξέλιξης των ηλεκτρικών οχημάτων που εκτείνεται ως σήμερα, κατά τη διάρκεια της οποίας το ενδιαφέρον για τη χρήση τους έχει αλλάξει ριζικά εξ' αιτίας της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της τιμής και εξάντλησης του πετρελαίου. Σήμερα, το ηλεκτρικό όχημα, μετά από πολύ καιρό είναι για άλλη μια φορά στο προσκήνιο, πλέον σαν βιώσιμο μέσον διατήρησης της ποιότητας του αστικού μας περιβάλλοντος.

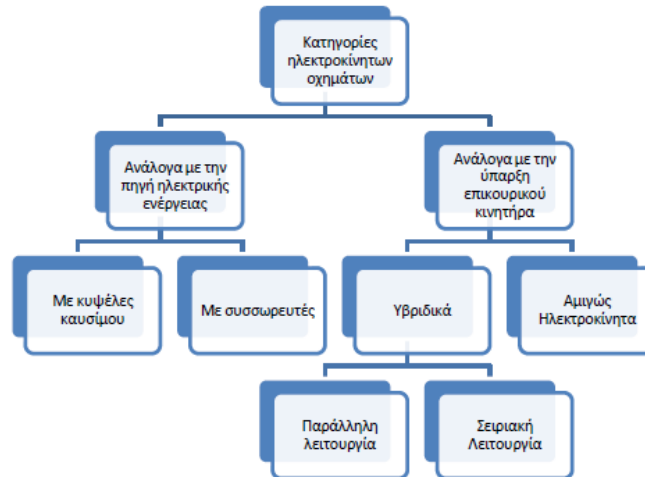


Εικόνα 2 Μια σύντομη ιστορία των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Κεφάλαιο 2: Ηλεκτροκίνητα και Υβριδικά Οχήματα

2.1. Κατηγοριοποίηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων

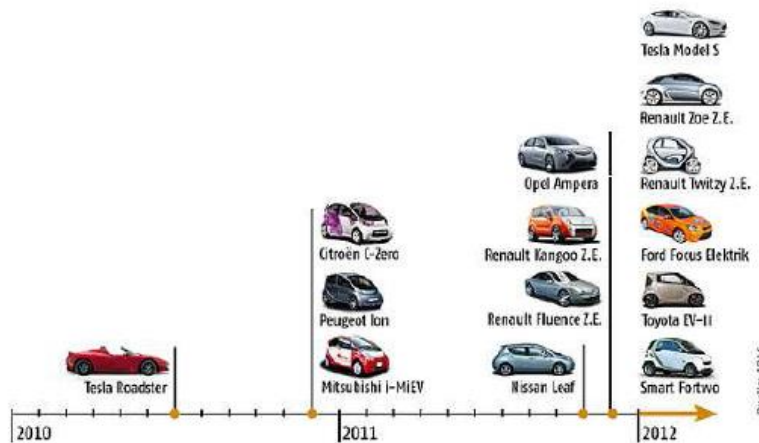
Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα κατηγοριοποιούνται με βάση διάφορα κριτήρια, όπως η εκπομπή μηδενικών ή μη μηδενικών ρύπων, η πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται αλλά και ο τρόπος παραγωγής της κίνησης. Βασικό κοινό χαρακτηριστικό για όλες τις κατηγορίες, ωστόσο, είναι η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την κίνηση του οχήματος.



Σχήμα 1 Κατηγοριοποίηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων

2.2. Τύποι ηλεκτροκίνητων οχημάτων

Η ανάπτυξη και η χρήση των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (Η/Ο) παρουσίασαν αρκετές δυσκολίες σε παγκόσμιο επίπεδο στις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι οποίες, κυρίως, αφορούσαν τα τεχνολογικά θέματα εξέλιξής τους, τα οικονομικά συμφέροντα που σχετίζονται με τους διάφορους κλάδους της αυτοκινητοβιομηχανίας και τη συσχέτιση της λειτουργίας τους με τη χρησιμοποίηση των ΑΠΕ.



Σχήμα 2 Είσοδος στην αγορά νέων μοντέλων Ηλεκτρικών Οχημάτων έως το έτος 2012

Όμως, τα τελευταία χρόνια, παρά το ότι η διεθνής αυτοκινητοβιομηχανία έχει αναπτύξει συμβατικούς κινητήρες με καλύτερους βαθμούς απόδοσης και μειωμένες στάθμες ρύπων, υπάρχουν ορατές

ενδείξεις ότι έχει αποφασίσει να στραφεί οριστικά προς την ανάπτυξη ηλεκτροκίνητων οχημάτων με πολύ σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Τα πρώτα προϊόντα της νέας τεχνολογίας Η/Ο από πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά ενώ οι ανακοινώσεις για την παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού προϊόντων παρουσιάζουν έναν αρκετά αυξημένο ρυθμό. Τα Η/Ο που είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά ή αναμένεται να κατασκευαστούν και θα είναι διαθέσιμα στην αγορά στα επόμενα έτη διακρίνονται σε πέντε βασικές κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται ενδεικτικά στη συνέχεια.

Το σχήμα 2 δείχνει ότι τα Η/Ο έχουν αρχίσει να εισέρχονται στην αγορά με αυξανόμενους αριθμούς νέων μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ακόμη, να σημειωθεί ότι έχει αναπτυχθεί έντονη δραστηριότητα για την κατασκευή διαφόρων μοντέλων όλων των κατηγοριών των Η/Ο.

	BEV	HEV	FCV
Propulsion	<ul style="list-style-type: none"> • Electric motor drives 	<ul style="list-style-type: none"> • Electric motor drives • Internal combustion engines 	<ul style="list-style-type: none"> • Electric motor drives
Energy storage subsystem (ESS)	<ul style="list-style-type: none"> • Battery • Supercapacitor 	<ul style="list-style-type: none"> • Battery • Supercapacitor • Fossil or alternative fuels 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen tank • Battery / supercapacitor needed to enhance power density.
Energy source & infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Electrical grid charging facilities 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasoline stations • Electrical grid charging facilities (for Plug-In Hybrid) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen • Hydrogen production and transportation infrastructure
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Zero local emissions • High energy efficiency • Independent of fossil fuel • Relatively short range • High initial cost • Commercially available 	<ul style="list-style-type: none"> • Low local emissions • High fuel economy • Long driving range • Dependence on fossil fuels • Higher cost than ICE vehicles • Commercially available 	<ul style="list-style-type: none"> • Zero low local emissions • High energy efficiency • Independent of fossil fuels (if not using gasoline to produce H₂) • High cost • Under development
Major issues	<ul style="list-style-type: none"> • Battery sizing and management • Charging facilities • Cost • Battery Lifetime 	<ul style="list-style-type: none"> • Battery sizing and management • Control, optimization and management of multiple energy sources. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuel cell cost, life cycle and reliability • Hydrogen production and distribution infrastructure • Cost

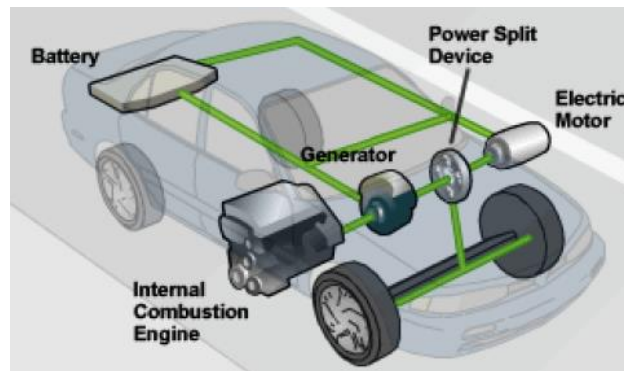
Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά των οχημάτων BEV, HEV και FCV

2.2.1. Υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs)

Τα HEV αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο που συνδέει το συμβατικό βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο όχημα με το ηλεκτροκίνητο όχημα και διαθέτουν δύο προωστήριες μονάδες. Αυτές είναι ένας θερμικός κινητήρας που λειτουργεί με υγρό ή αέριο καύσιμο (ορυκτό ή βιοκαύσιμο) και ένας ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από μία ηλεκτρογεννήτρια μηχανικά συνδεδεμένη με το θερμικό κινητήρα ή από τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ίδιου του οχήματος που συλλέγεται και αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του κατά τις φάσεις επιβράδυνσης, πέδησης και κίνησης σε κατωφέρειες. Εφαρμόζεται μία παράλληλη ή μικτή αρχιτεκτονική διασύνδεσης των δύο προωστηρίων μονάδων σε μία ηλεκτρομηχανική μονάδα η οποία διαχειρίζεται αυτόματα από κατάλληλο λογισμικό επιτυγχάνοντας βελτιωμένο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμηση καυσίμου. Τα πέντε κύρια μέρη που συνθέτουν ένα υβριδικό όχημα είναι η μπαταρία, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης (Internal Combustion Engine – ICE), η γεννήτρια, η συσκευή διαχωρισμού ισχύος και ο ηλεκτρικός κινητήρας.

Ο κύριος λόγος κατασκευής αυτών των οχημάτων σχετίζεται με τις προσπάθειες επιπρόσθετης μείωσης της κατανάλωσης των συμβατικών οχημάτων με θερμικό κινητήρα διαμέσου της αξιοποίησης μέρους των απωλειών κινητικής ενέργειας κατά τις πεδήσεις και επιβραδύνσεις αλλά και της μεγιστοποίησης των ωφέλημάτων του συνδυασμού των ροπών που προσφέρουν ο θερμικός κινητήρας σε συνδυασμό με τον ηλεκτροκινητήρα σε κάθε κινητική κατάσταση των οχημάτων. Η εφαρμογή της υβριδικής τεχνολογίας απέδειξε τα μεγάλα πλεονεκτήματα της εισαγωγής της ηλεκτροκίνησης στα οχήματα και, ουσιαστικά, επιτάχυνε σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη προς την κατεύθυνση της πλήρους ηλεκτροκίνησης των οχημάτων, εξοικειώνοντας τους χρήστες και το προσωπικό υποστήριξης με τη διαχείριση των

υπαρχόντων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και καλωδιώσεων αλλά και αποδεικνύοντας την παρεχόμενη αξιοπιστία και ασφάλεια λειτουργίας τους.



Εικόνα 3 Τμήματα ενός υβριδικού οχήματος

Τα υβριδικά οχήματα δεν έχουν τη δυνατότητα φόρτισης των συσσωρευτών τους από εξωτερική πηγή, διότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τα ίδια τα οχήματα. Για αυτό το λόγο, η διείσδυσή τους στην αγορά αποδείχτηκε σχετικά εύκολη διότι χρησιμοποιούν τις ίδιες υποδομές προμήθειας ενέργειας (υγρών καυσίμων) που χρησιμοποιούνται από τα συμβατικά οχήματα και, επομένως, δεν απαιτούν επενδύσεις σε νέες υποδομές υποστήριξης. Επίσης, προσφέρουν στο χρήστη σημαντική οικονομία καυσίμου, την ίδια ή και μεγαλύτερη αυτονομία σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα και πολύ πλούσιο εξοπλισμό συνδυασμένο με αυτόματη λειτουργία και πολύ άνετη οδήγηση. Το σχετικά υψηλό κόστος κτήσης τους εξισορροπείται κατά ένα μέρος από τα σχετικά φορολογικά κίνητρα που εφαρμόζονται. Τα υβριδικά αυτοκίνητα έχουν, πλέον, αποκτήσει ένα μερίδιο στην αγορά το οποίο αυξάνεται συνεχώς, ενώ όλο και περισσότερα εργοστάσια κατασκευής διαθέτουν ένα αυξανόμενο αριθμό υβριδικών μοντέλων που προσφέρουν διάφορες μορφές και τεχνολογικές λύσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι με την πάροδο του χρόνου όλο και περισσότερα οχήματα τείνουν να χαρακτηρίζονται ως υβριδικά, αν και πολλά από αυτά δεν ανήκουν στην κατηγορία των πλήρως υβριδικών αυτοκινήτων αλλά έχουν ενσωματώσει διάφορες μικροϋβριδικές εφαρμογές. Μία σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη λειτουργία τους είναι ο **συντελεστής υβριδοποίησης** ο οποίος υπολογίζεται ως ο λόγος της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα (ή των ηλεκτροκινητήρων) ως προς τη συνολική ισχύ του οχήματος (άθροισμα της ισχύος του θερμικού κινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα ή των ηλεκτροκινητήρων). Ανάλογα με αυτό το ποσοστό, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα διακρίνονται στις κατηγορίες των μικροϋβριδικών, των ήπιων/ελαφρώς υβριδικών και των πλήρως υβριδικών οχημάτων. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια βαθμού υβριδοποίησης δεν είναι απόλυτα ορισμένα και ξεκάθαρα, καθώς ερμηνεύονται διαφορετικά από κάθε κατασκευαστή.

- **Μικροϋβριδικά (Micro Hybrid):** Τα μικροϋβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρικό κινητήρα περιορισμένης ισχύος ως εκκινητήρα ενώ για την πρόωση του οχήματος υπεύθυνος είναι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Ο ηλεκτροκινητήρας βοηθά τον κινητήρα εσωτερικής καύσης να πετύχει καλύτερη λειτουργία κατά την εκκίνηση. Τα οχήματα αυτά διαθέτουν τη λειτουργία της αυτόματης κράτησης (διακοπής λειτουργίας) και επανεκκίνησης του κινητήρα (stop and start). Ο ηλεκτροκινητήρας είναι ισχύος της τάξης των 4-6kW, ο συντελεστής υβριδοποίησης, ενδεικτικά, είναι ίσος με 5% ενώ αναμένεται μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης, εύρους 2% - 10% για αστικό κύκλο.
- **Ελαφρώς Υβριδικά (Mild Hybrid):** Είναι αυτά που διαθέτουν τη λειτουργία της αυτόματης κράτησης και επανεκκίνησης και, επιπρόσθετα, τη συμμετοχή του ηλεκτροκινητήρα στην πρόωση και την ανάκτηση ενέργειας. Ο ηλεκτρικός κινητήρας αποδίδει τη ροπή του για να βοηθήσει την εκκίνηση και την επανεκκίνηση, και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται κατά τη

λειτουργία γεννήτριας αποθηκεύεται σε ειδικές μπαταρίες. Τα Ελαφρώς Υβριδικά είναι, επίσης, σε θέση να αποθηκεύουν ενέργεια κατά το φρενάρισμα. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα δουλεύει σε λειτουργία γεννήτριας και αναπτύσσει αντίσταση την οποία προσθέτει στην πέδηση κινητήρα. Διαθέτουν ηλεκτροκινητήρα (ή ηλεκτροκινητήρες) με ισχύ ίση με 10 - 15kW, συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 10% ενώ αναμένεται μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 10% - 20%.

- **Πλήρως Υβριδικά (Full Hybrid):** Τα πλήρως υβριδικά οχήματα διαθέτουν ένα πλήρως ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, που σημαίνει ότι ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να εξασφαλίσει την πρόωση του οχήματος. Με άλλα λόγια, είναι τα οχήματα που διαθέτουν τη λειτουργία της αυτόματης κράτησης και επανεκκίνησης, τη συμμετοχή του ηλεκτροκινητήρα στην προώθηση, την ανάκτηση ενέργειας και, επιπρόσθετα, έχουν τη δυνατότητα να κινούνται ως αμιγώς ηλεκτρικά (EV Mode). Διαθέτουν ηλεκτροκινητήρα (ή ηλεκτροκινητήρες) με ισχύ ίση με 30kW - 50kW, συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 25% ενώ αναμένεται μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης, εύρους 20% - 25%.

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων και η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου είναι σύμφωνοι με την παραπάνω διάκριση των υβριδικών οχημάτων στις τρεις υποκατηγορίες.

2.2.1.1. Μικροϋβριδικά και η λειτουργία Stop-Start

Τα μικροϋβριδικά είναι κανονικά αυτοκίνητα που κινούνται με κινητήρα εσωτερικής καύσης και είναι εξοπλισμένα με τη λειτουργία Stop-Start. Η λειτουργία Stop-Start απενεργοποιεί προσωρινά τον κινητήρα όταν το αυτοκίνητο σταματά. Αυτό το σύστημα μειώνει την κατανάλωση καυσίμου σε αστική κυκλοφορία (κατά τις στάσεις στα φανάρια, μποτιλιαρίσματα, κλπ.) κατά περίπου 10% στις αστικές μεταφορές, κατά 6% σε κανονικές μεικτές συνθήκες και έως 16% σε πυκνή κυκλοφορία. Η τεχνολογία που εμπλέκεται είναι αρκετά απλή: ένα δυναμό που ενεργεί ως μίζα, ένα ηλεκτρονικό σύστημα εντολών και μια μπαταρία. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια κατά την επιβράδυνση σε ένα νέο είδος πυκνωτή που ονομάζεται υπερπυκνωτής. Αυτή η νέα γενιά όχι μόνο θα αποθηκεύει ενέργεια κατά το φρενάρισμα, αλλά θα παρέχει επιπλέον ροπή στον κινητήρα.

Το Citroen C3 ήταν το πρώτο αυτοκίνητο εφοδιασμένο με αυτή την καινοτομία το 2004, ακολουθούμενη από το C2. Αυτή η τεχνολογική πρόοδος ήταν επίτευγμα του κατασκευαστή εξοπλισμού Valeo, που ανέπτυξε για πρώτη φορά το σύστημα Stop-Start.

2.2.1.2. Ελαφρώς Υβριδικά

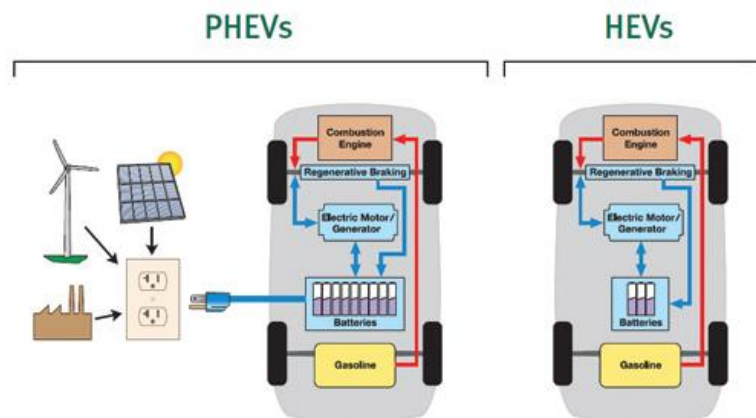
Αυτή η κατηγορία, επίσης γνωστή ως ημιυβριδικά, εμφανίστηκε για πρώτη φορά σε αυτοκίνητα που παράγονται από την Honda, που πρωτοστάτησε στην τεχνολογία. Υπάρχουν δύο κινητήρες: ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης και ένας ηλεκτροκινητήρα εργάζονται από κοινού. Ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει πρόσθετη ισχύ κατά την εκκίνηση και την επιτάχυνση, αλλά δεν τροφοδοτεί το αυτοκίνητο από μόνος του. Η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παράγεται συνεχώς ή κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης, αποθηκεύεται σε μια πιο ισχυρή συστοιχία μπαταριών σε σχέση με τις απλές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση στα μικροϋβριδικά. Ένας υπολογιστής, συνδεδεμένος με πολλούς αισθητήρες, ελέγχει την κατανομή της ισχύος των δύο κινητήρων και τη ροπή σε πραγματικό χρόνο. Κατά την οδήγηση σε αστική κίνηση, το σύστημα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως η λειτουργία Stop-Start. Η ποσότητα καυσίμου που εξοικονομείται σε σύγκριση με το κανονικά αυτοκίνητα φυσικά ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης, αλλά κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20% υπό αστική κυκλοφορία.

2.2.1.3. Πλήρως Υβριδικά

Τα πλήρως υβριδικά είναι τα πιο γνωστά και πιο συχνά υβριδικά οχήματα, κυρίως χάρη στον πρώτο παγκοσμίως κατασκευαστή τέτοιων αυτοκινήτων, την Toyota. Όπως και στα Ελαφρώς Υβριδικά, ένας κινητήρας καύσης συνδέεται με έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Η διαφορά έγκειται στην μεγαλύτερη δύναμη του ηλεκτρικού κινητήρα που είναι σε θέση να τροφοδοτήσει το αυτοκίνητο από μόνος του με τον κινητήρα καύσης σβηστό σε μικρές αποστάσεις. Τα πλήρως υβριδικά δουλεύουν σε ηλεκτρική λειτουργία κατά την εκκίνηση, σε χαμηλές ταχύτητες, σε κυκλοφοριακή συμφόρηση και κατά τη διάρκεια της στάθμευσης. Αυτό περιλαμβάνει μια πιο ισχυρή μπαταρία από εκείνη των ημιυβριδικών, ένα ιδιαίτερο είδος μετάδοσης και ένα πολύ αποτελεσματικό υπολογιστή εντολών. Τα συστήματα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σε οχήματα στην αγορά μέχρι σήμερα είναι τύπου "ΣΕΚ" (CVT-Continuous Variable Transmission), ενός συστήματος που καθιστά δύο κινητήρες ικανούς να λειτουργήσουν στις πιο αποτελεσματικές ταχύτητες. Οι μηχανικοί που σχεδιάζουν αυτό το είδος αυτοκινήτου επιδιώκουν πάνω απ' όλα την αύξηση της ροπής, που σημαίνει αυξημένη ευελιξία και επιτάχυνση μιας μικρής, χαμηλών εκπομπών μηχανής, αντί της συνήθους διάταξης κινητήρα/κιβωτίου ταχυτήτων.

2.2.2. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs)

Τα PHEV αποτελούν εξέλιξη της υβριδικής τεχνολογίας στα οποία ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κίνησή τους παρέχεται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση των συσσωρευτών τους. Ένα plug-in υβριδικό όχημα είναι, δηλαδή, ένα ηλεκτρικό υβριδικό όχημα που επαναφορτίζεται συνδέοντας το όχημα με μια πρίζα σε μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, έχει χαρακτηριστικά και των συμβατικών υβριδικών ηλεκτρικών αλλά και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Με τη χρήση αυτών των οχημάτων δημιουργείται ένα πολύ σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της ηλεκτροκίνησης και επιτυγχάνεται η διεύρυνση του φάσματος των ενεργειακών πηγών που χρησιμοποιούνται για τις οδικές μεταφορές. Ένα σημαντικό μέρος ή ακόμα και το σύνολο της συνήθους καθημερινής κίνησης αυτών των οχημάτων μπορεί να επιτευχθεί τοπικά με μηδενικές εκπομπές ρύπων CO₂ διότι μπορούν να κινούνται σε σημαντικές αποστάσεις (από 20 έως 60 χιλιόμετρα) ως αμιγώς Η/Ο με συσσωρευτές. Η λύση αυτή συνδυάζει με τον καλύτερο τρόπο τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης για τις αστικές μετακινήσεις, χωρίς την υπάρχουσα περιορισμένη απόσταση αυτονομίας των Η/Ο με συσσωρευτές και χωρίς να απαιτούνται εκτεταμένες εγκαταστάσεις κοινόχρηστων δικτύων φόρτισης διότι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τα συμβατικά πρατήρια καυσίμων για ανεφοδιασμό τους όταν απαιτείται.

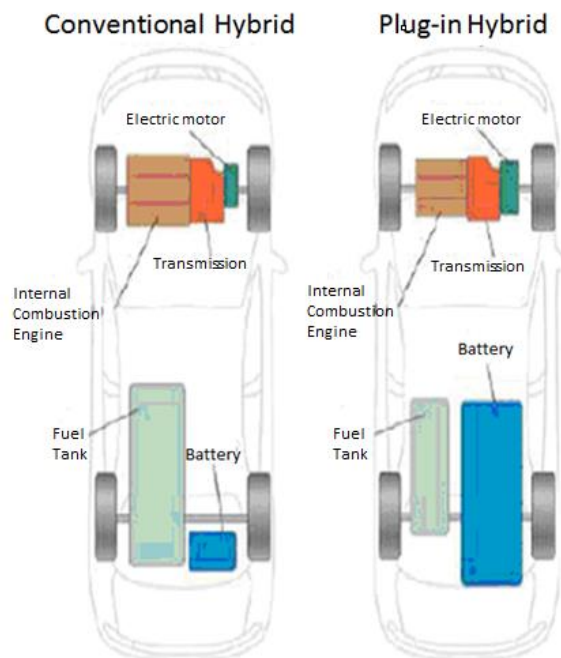


Εικόνα 4 Συστήματα PHEV και HEV

Από τεχνολογικής πλευράς, τα οχήματα αυτά είναι όμοια με τα πλήρως υβριδικά οχήματα έτσι ώστε ο ηλεκτροκινητήρας τους να διαθέτει την απαιτούμενη ισχύ για τις αστικές μετακινήσεις. Επιπρόσθετα, πρέπει να είναι εφοδιασμένα με συσσωρευτές μεγάλης χωρητικότητας στους οποίους θα αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται από το δίκτυο διανομής και αυτή που παράγεται από το υβριδικό σύστημα λειτουργίας τους. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να διαθέτουν έναν ειδικό ακροδέκτη για τη σύνδεσή τους στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής και μία κατάλληλη συσκευή φόρτισης των συσσωρευτών τους (φορτιστής).

Γενικά, ένα πλήρως υβριδικό αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα να εκκινεί και να επιταχύνει σε χαμηλές ταχύτητες χωρίς τη χρήση του κινητήρα, με την μπαταρία να φορτίζεται, ωστόσο, αποκλειστικά από τον κινητήρα και το σύστημα ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα. Ένα plug-in υβριδικό όχημα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο αλλά έχει μεγαλύτερη μπαταρία και δίνει στον οδηγό την επιλογή να την φορτίζει στο σπίτι του χρησιμοποιώντας μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και έτσι μπορεί να κινεί το όχημα του μόνο με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως, η φόρτιση του αυτοκινήτου θα γίνεται τη νύχτα που θα είναι και 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.

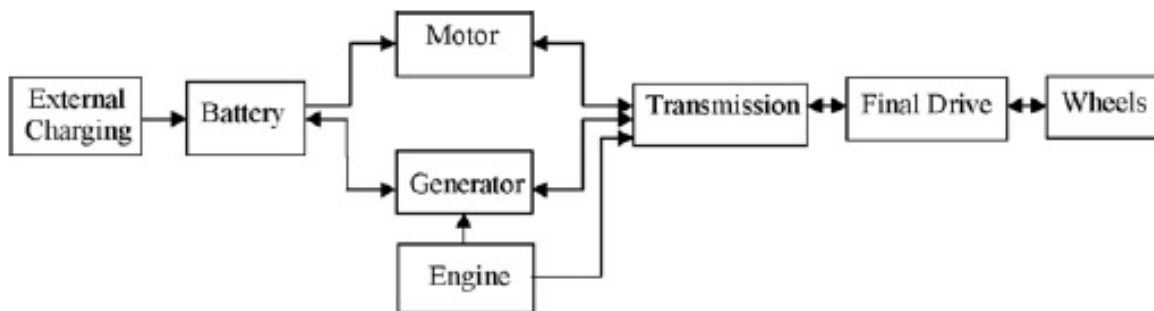
Επίσης, τα plug-in υβριδικά πλεονεκτούν έναντι των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων καθώς οι οδηγοί τους δεν χρειάζεται να ανησυχούν για το ενδεχόμενο “αποφόρτισης” του οχήματός τους. Και αυτό διότι όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, τα plug-in οχήματα λειτουργούν όπως και τα συμβατικά κάνοντας χρήση του κινητήρα 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 φτηνότερες συστοιχίες μπαταριών απ’ ότι τα αντίστοιχα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τέλος, εκτός από το όφελος εξοικονόμησης πετρελαίου/βενζίνης που επιτυγχάνεται, ένα ακόμα πλεονέκτημα για τον ιδιοκτήτη ενός PHEV οχήματος είναι ότι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει το σπίτι ή ηλεκτρικές συσκευές όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια ή σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.



Εικόνα 5 Σύγκριση συστήματος HEV και PHEV

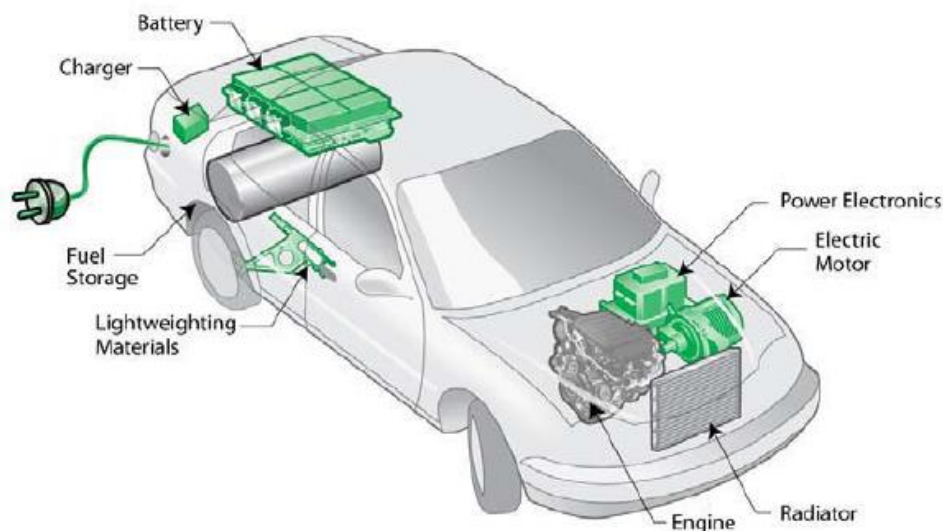
Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση των plug-in υβριδικών κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας υπολογίστηκε στην California λιγότερο από το ένα τέταρτο του κόστους της βενζίνης που θα χρησιμοποιούσαν στη συμβατική τους μορφή. Σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα PHEVs 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 δεν χρησιμοποιούν κάποιο φυσικό καύσιμο κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας, εάν οι μπαταρίες τους φορτίζονται βέβαια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα PHEV συνήθως διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την απόσταση αυτονομίας τους ως αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (π.χ. 20, 40, 60 χιλιόμετρα, κλπ.) και με τη χωρητικότητα των συσσωρευτών τους. Προφανώς, το κόστος αγοράς τους εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά αυτά.



Σχήμα 3 Διάγραμμα ροής ενέργειας PHEV οχήματος.

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων και η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου έχουν συμφωνήσει ότι για να χαρακτηριστεί ένα όχημα ως PHEV, θα πρέπει να διαθέτει όλες τις λειτουργίες που αναφέρονται προηγουμένως για τα Πλήρως Υβριδικά Οχήματα (Full Hybrid) και, επιπρόσθετα, να έχει τη δυνατότητα να συνδέεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για να του παρέχεται άμεσα η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κίνησή του ως αμιγώς Η/Ο.



Εικόνα 6 Το σύστημα λειτουργίας ενός PHEV οχήματος

2.2.3. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended-Range Electric Vehicles ER-EVs)

Τα E-REV αποτελούν μία περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας και αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη μετάβαση από τις υβριδικές λύσεις στην πλήρη ηλεκτροκίνηση ακόμα και για μεγάλα οχήματα τα οποία μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες των ιδιοκτητών τους για μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς το γνωστό “άγχος της απόστασης αυτονομίας” που καταλαμβάνει μερικές φορές τους χρήστες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με συσσωρευτές. Η διαφορά τους από τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα έγκειται στο ότι η μονάδα του θερμικού κινητήρα που διαθέτουν δεν συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος και, επομένως, δεν σχετίζεται καθόλου με την πρόωσή του. Το όχημα κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα (ή τους ηλεκτροκινητήρες) που σημαίνει ότι η κίνησή του είναι πάντοτε ηλεκτρική, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά οχήματα. Η θερμική μονάδα αξιοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση μίας συζευγμένης ηλεκτρικής γεννήτριας. Η μοναδική σύνδεση που υπάρχει μεταξύ αυτής της αυτόνομης ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας (“range extender”) και των άλλων συστημάτων του οχήματος αποτελείται από ηλεκτρικούς αγωγούς έτσι ώστε να υπάρχει μεγάλη ελευθερία χωροθέτησης και δυνατότητα χρησιμοποίησης μικρών πολύστροφων θερμικών κινητήρων οι οποίοι λειτουργούν σε σταθερό αριθμό στροφών και στη μέγιστη τιμή της απόδοσής τους. Στο άμεσο μέλλον, σχεδιάζεται να εμφανιστούν στην αγορά πρωτοποριακές σε σχεδίαση και μικρές σε όγκο και βάρος τέτοιες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες που θα κινούνται από μικρούς στροβίλους ή μηχανές περιστροφικής τύπου Wankel.

Από όλους σχεδόν τους ειδικούς της αγοράς των Η/Ο θεωρείται ότι η κατασκευή και διάθεση των E-REV σηματοδοτεί ένα πολύ σπουδαίο βήμα προόδου προς την επικράτηση της ηλεκτροκίνησης. Η λειτουργία τους είναι απλή διότι λειτουργούν όπως και τα οχήματα με συσσωρευτές. Όταν η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια των συσσωρευτών γίνει μικρότερη από μία οριακή τιμή, τίθεται αυτόματα σε λειτουργία η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα, που χρησιμοποιεί συμβατικό ή εναλλακτικό καύσιμο (υγρό, αέριο) και η οποία τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ή/και φορτίζει το συσσωρευτή έτσι ώστε το όχημα να συνεχίζει απρόσκοπτα την κίνησή του. Η κατανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται αυτόματα και η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα σταματά τη λειτουργία της όταν η στάθμη της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών γίνει μεγαλύτερη από μία αντίστοιχη οριακή τιμή. Σημειώνεται ότι η απόσταση αυτονομίας αυτών των οχημάτων είναι τουλάχιστον ίση με αυτή των συμβατικών οχημάτων.

2.2.4. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEVs)

Τα BEV αποτελούν τον τελικό στόχο της ηλεκτροκίνησης που επιτυγχάνει μετακινήσεις με τοπικά μηδενικές εκπομπές αερίων ρύπων CO₂ διότι η κίνησή τους παρέχεται αποκλειστικά από ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές τους.

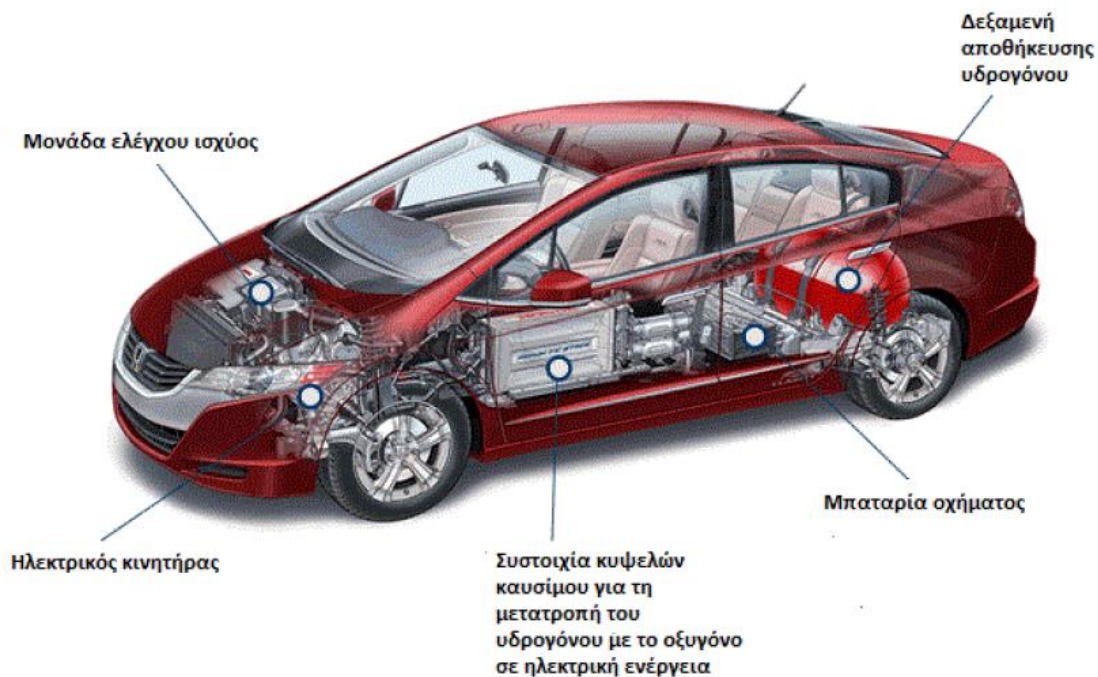
Ιστορικά, αυτά τα οχήματα προϋπήρχαν των συμβατικών οχημάτων αλλά δεν μπόρεσαν να επικρατήσουν λόγω των γνωστών μειονεκτημάτων της τεχνολογίας αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μειονεκτήματα αυτά έχουν τώρα σε μεγάλο βαθμό αρθεί αλλά δεν έχουν ακόμα πλήρως εκλείψει. Οι συσσωρευτές είναι ακριβοί, έχουν σημαντικό βάρος και όγκο ενώ χρειάζονται μεγάλο χρόνο επαναφόρτισης. Συγκρινόμενοι με τη δεξαμενή καυσίμου των συμβατικών οχημάτων αντιστοιχούν σε ένα μικρό μέρος της ενεργειακής χωρητικότητάς της. Επιπρόσθετα, τα BEV σε μοντέλα μικρού οχήματος πόλης έχουν τεράστια πλεονεκτήματα διότι είναι οικονομικά, αθόρυβα, δεν ρυπαίνουν τοπικά, είναι απλά στην κατασκευή τους, δεν απαιτούν συντήρηση και προσφέρουν ανεξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα στις μεταφορές. Οι σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις

επιτρέπουν την κατασκευή και διάθεση στην αγορά σύγχρονων BEV με απόσταση αυτονομίας 120 έως 200 χιλιομέτρων. Οι ανάγκες της καθημερινής μετακίνησης καλύπτονται πλήρως με εξαίρεση μόνο των ταξιδιών μεγάλης απόστασης.

2.2.5. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cells Electric Vehicles – FCEVs)

Μια κυψέλη καυσίμου είναι μια χημική μηχανή που παράγει ηλεκτρική ενέργεια έχοντας ως βάση το υδρογόνο και εκπέμπει μόνο υδρατμούς. Πιο συγκεκριμένα, στα FCEV η αντίστροφη δράση της ηλεκτρόλυσης παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλεκτροχημική σύνθεση υδρογόνου και οξυγόνου με ταυτόχρονη παραγωγή καθαρού νερού. Τα υπάρχοντα ενεργειακά στοιχεία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα και τη φόρτιση του συσσωρευτή εξισορρόπησής τους. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο ή υδρογονάνθρακες (όπως μεθανόλη, φυσικό αέριο, κλπ.), τα οποία αποθηκεύονται σε ειδική δεξαμενή ή ακόμα μπορεί να παράγονται επί των οχημάτων, ενώ το απαραίτητο οξυγόνο απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Τα FCEV εκπέμπουν στο περιβάλλον μόνο υδρατμούς.

Η τεχνολογία των οχημάτων αυτών έχει εφαρμοστεί μόνο πιλοτικά, ενώ στην παρούσα δεκαετία δεν προβλέπονται ευρύτερες εφαρμογές της για λόγους που σχετίζονται με το κόστος της, την ασύμφορη ενεργειακή παραγωγή υδρογόνου και τις δυσχέρειες μεταφοράς και διανομής του. Μακροπρόθεσμα, ωστόσο, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία διότι μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή οχημάτων τοπικής μηδενικής ρύπανσης και μεγάλης απόστασης αυτονομίας ενώ η δυνατότητα αθόρυβης και καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτά τα οχήματα θα επιτρέψει τη χρησιμοποίησή τους και ως κινητές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής.

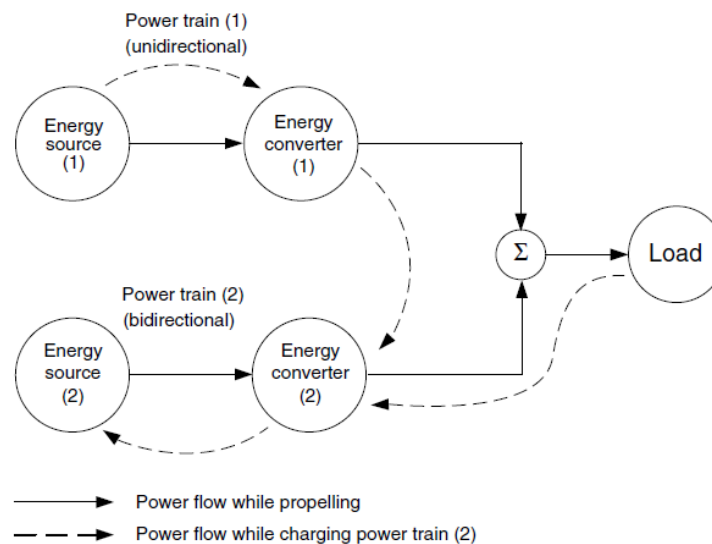


Εικόνα 7 Ηλεκτρικό όχημα με χρήση κυψελών καυσίμου

Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική Υβριδικών Οχημάτων

Κάθε σύστημα μετάδοσης ενός οχήματος απαιτείται να i) αναπτύσσει επαρκή ισχύ ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις επιδόσεων του οχήματος, ii) φέρει αρκετή ενέργεια στο όχημα (on board) ώστε να υποστηρίζει την οδήγηση του οχήματος σε δεδομένο εύρος αποστάσεων, iii) καταδεικνύει υψηλή απόδοση, iv) εκπέμπει χαμηλούς περιβαλλοντικούς ρύπους. Σε γενικές γραμμές, όπως έχει αναφερθεί, ένα όχημα μπορεί να έχει παραπάνω από μία πηγές ενέργειας και μετατροπείς ενέργειας, όπως σύστημα θερμικού κινητήρα βενζίνης (ή πετρελαίου), σύστημα ηλεκτροκινητήρα κυψελών καυσίμου, σύστημα ηλεκτροκινητήρα με μπαταρίες κτλ. Ένα όχημα που έχει δύο ή περισσότερες πηγές ενέργειας και μετατροπείς ενέργειας ονομάζεται υβριδικό όχημα. Ένα υβριδικό όχημα του οποίου η μία τουλάχιστον διαδρομή ενέργειας (ηλεκτρική πηγή ενέργειας, μετατροπείς ενέργειας) είναι καθαρά ηλεκτρική ονομάζεται υβριδικό ηλεκτρικό όχημα.

Ένα υβριδικό σύστημα μετάδοσης συνήθως αποτελείται από το πολύ δύο συστήματα μετάδοσης κίνησης. Χρήση παραπάνω των δύο συστημάτων θα έκανε το σύστημα πολύ περίπλοκο. Έχοντας ως στόχο την επανάκτηση μέρους της ενέργειας πέδησης που αποβάλλεται με τη μορφή θερμότητας στις συμβατικές ICE μηχανές, ένα υβριδικό σύστημα έχει συνήθως μια αμφίδρομη πηγή ενέργειας όπως και μετατροπέα. Το δεύτερο σύστημα είναι είτε αμφίδρομο είτε μονόδρομο. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η έννοια ενός υβριδικού συστήματος μετάδοσης και οι πιθανές διαφορετικές διαδρομές ροής ισχύος.



Σχήμα 4 Διαδρομές ισχύος σε ένα υβριδικό όχημα

Σε ένα υβριδικό σύστημα υπάρχουν πολλά διαθέσιμα πρότυπα συνδυασμού ροών ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις του φορτίου του οχήματος. Οι εννιά πιθανές καταστάσεις λειτουργίας των παραπάνω πηγών είναι οι εξής:

1. Μόνο η πηγή ενέργειας 1 παρέχει ενέργεια στο φορτίο
2. Μόνο η πηγή ενέργειας 2 παρέχει ενέργεια στο φορτίο
3. Και η πηγή ενέργειας 1 και η 2 παρέχουν ενέργεια στο φορτίο ταυτόχρονα

4. Το σύστημα μετάδοσης 2 λαμβάνει ενέργεια από το φορτίο (regenerative braking)
5. Το σύστημα μετάδοσης 2 λαμβάνει ενέργεια από το σύστημα μετάδοσης 1
6. Το σύστημα μετάδοσης 2 λαμβάνει ενέργεια από το σύστημα μετάδοσης 1 και από το φορτίο ταυτόχρονα
7. Το σύστημα μετάδοσης 1 παρέχει ενέργεια στο φορτίο και σύστημα μετάδοσης 2 ταυτόχρονα
8. Το σύστημα μετάδοσης 1 παρέχει ενέργεια στο σύστημα μετάδοσης 2 και το σύστημα μετάδοσης 2 παρέχει ενέργεια στο φορτίο
9. Το σύστημα μετάδοσης 1 παρέχει ενέργεια στο φορτίο και το φορτίο παρέχει ενέργεια στο σύστημα μετάδοσης 2

Στην περίπτωση υβριδοποίησης με μια μηχανή υγρού καυσίμου-IC (σύστημα μετάδοσης 1) και μιας μηχανής μπαταρίας-ηλεκτρική (σύστημα μετάδοσης 2), το πρότυπο 1. είναι η λειτουργία μόνο IC κινητήρα (engine-alone propelling mode). Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν οι μπαταρίες έχουν σχεδόν πλήρως εξαντληθεί και ο κινητήρας δεν έχει καθόλου ενέργεια να απομένει ώστε να φορτίσει τις μπαταρίες, ή όταν οι μπαταρίες έχουν φορτιστεί πλήρως και ο IC κινητήρας είναι σε θέση να παρέχει επαρκή ισχύ ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ισχύος του οχήματος. Το πρότυπο 2. είναι η αμιγώς ηλεκτρική λειτουργία πρόωσης, κατά την οποία ο IC κινητήρας είναι ανενεργός. Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου ο IC κινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά, όπως σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ή σε περιοχές όπου οι εκπομπές απαγορεύονται αυστηρά. Το πρότυπο 3. είναι η υβριδική λειτουργία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν χρειάζονται μεγάλα ποσά ενέργειας, όπως κατά τη διάρκεια απότομων επιταχύνσεων ή κατά την ανάβαση απότομων λόφων. Το πρότυπο 4. αφορά τη λειτουργία αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking mode), κατά την οποία η κινητική ή δυναμική ενέργεια του οχήματος ανακτάται μέσω του ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί ως γεννήτρια. Η ανακτώμενη ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες και επαναχρησιμοποιείται αργότερα. Το πρότυπο 5. είναι η λειτουργία κατά την οποία ο IC κινητήρας φορτίζει τις μπαταρίες ενώ το όχημα βρίσκεται εν στάσει, πορεύεται με κεκτημένη ταχύτητα (χωρίς τη χρήση του κινητήρα) ή κατηφορίζει υπό ελαφρά κλίση, κατά την οποία δε μεταφέρεται ενέργεια από και προς το φορτίο. Το πρότυπο 6. είναι η λειτουργία κατά την οποία οι μπαταρίες φορτίζονται ταυτόχρονα τόσο μέσω του κινητήρα όσο και μέσω της πέδησης με ανατροφοδότηση. Το πρότυπο 7. είναι η λειτουργία κατά την οποία η κινητήρας κινεί το όχημα και παράλληλα φορτίζει τις μπαταρίες. Το πρότυπο 8. αφορά τη λειτουργία κατά την οποία ο κινητήρας φορτίζει τις μπαταρίες και οι μπαταρίες παρέχουν ενέργεια στο φορτίο. Τέλος, το πρότυπο 9. αφορά τη λειτουργία όπου η ενέργεια ρέει προς τις μπαταρίες από τη θερμική μηχανή μέσω της μάζας του οχήματος. Η τυπική διάρθρωση συστήματος αυτής της λειτουργίας είναι δυο συστήματα ενέργειας ξεχωριστά τοποθετημένα στο εμπρόσθιο και οπίσθιο άξονα του οχήματος.

Οι ποικίλες καταστάσεις λειτουργίας σε ένα υβριδικό όχημα δημιουργούν μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με ένα όχημα ενός μόνο συστήματος. Με την κατάλληλη διαμόρφωση και έλεγχο, η εφαρμογή του ειδικού τρόπου λειτουργίας ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες μπορεί να βελτιστοποιήσει τη συνολική απόδοση, την αποτελεσματικότητα, και τις εκπομπές του οχήματος. Ωστόσο, στην πράξη, κατά τον σχεδιασμό η απόφαση για τη λειτουργία που πρέπει να εφαρμοστεί υπό τις διάφορες συνθήκες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η φυσική διαμόρφωση του συστήματος μετάδοσης, τα χαρακτηριστικά απόδοσης του συστήματος μετάδοσης, τα χαρακτηριστικά του φορτίου κτλ.

Η λειτουργία κάθε συστήματος ενέργειας στην περιοχή βέλτιστης αποδοτικότητας είναι απαραίτητη για τη συνολική αποδοτικότητα του οχήματος. Ένας IC κινητήρας γενικά έχει την περιοχή λειτουργίας βέλτιστης αποδοτικότητας με την πεταλούδα τέρμα ανοιχτή. Λειτουργώντας ο κινητήρας μακριά από αυτή την περιοχή, η αποδοτικότητα θα χαλάσει σημαντικά. Σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, από την άλλη, οι επιπτώσεις στην αποδοτικότητα δεν είναι τόσο εκτενείς όσο σε έναν IC κινητήρα που λειτουργεί εκτός της βέλτιστης περιοχής.

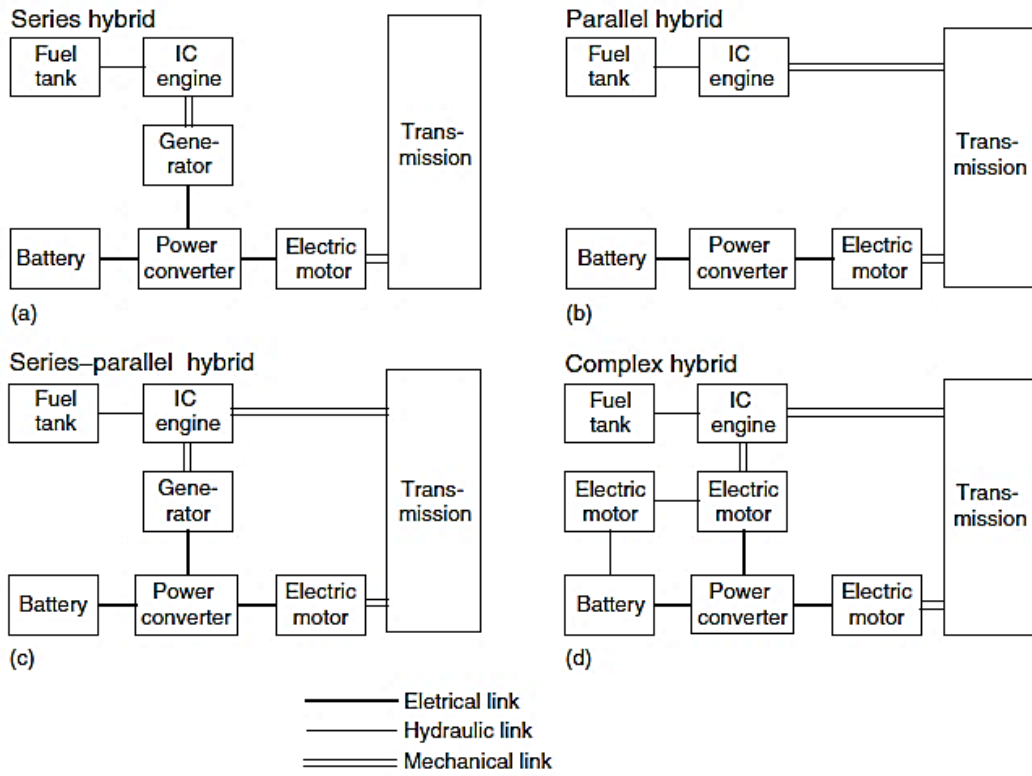
Η ισχύς του φορτίου ενός οχήματος μεταβάλλεται με τυχαίο τρόπο υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, λόγω των συχνών επιταχύνσεων, επιβραδύνσεων και την κίνηση υπό κλίση. Στην πραγματικότητα, η ισχύς του φορτίου αποτελείται από δύο συνιστώσες: η μία είναι η σταθερή (μέση) ισχύς, η οποία έχει μια σταθερή τιμή, και η άλλη είναι η δυναμική ισχύς, η οποία σχετίζεται με τις αυξομειώσεις ισχύος που παρατηρούνται κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του οχήματος, που είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη αλλά έχει μηδενικό μέσο όρο. Κατά το σχεδιασμό υβριδικών οχημάτων, μια πηγή ενέργειας που ευνοεί τη λειτουργία σταθερής κατάστασης, όπως μια IC μηχανή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή της μέσης ισχύος. Από την άλλη, ένας ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή της δυναμικής ενέργειας. Η συνολική παραγωγή ενέργειας από το δυναμικό σύστημα κίνησης θα είναι μηδέν σε έναν ολόκληρο κύκλο οδήγησης. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή ενέργειας του δυναμικού συστήματος δεν χάνει το ενεργειακό δυναμικό της στο τέλος του κύκλου οδήγησης.

Σε ένα υβριδικό όχημα, η σταθερή ισχύς μπορεί να προσφέρεται από μια IC μηχανή, μια μηχανή Stirling, μια κυψέλη καυσίμου κλπ. Η IC μηχανή ή η κυψέλη καυσίμου μπορούν να είναι πολύ μικρότερες από ότι σε ένα όχημα με σχεδιασμό μοναδικής πηγής ενέργειας, επειδή η δυναμική ενέργεια αντλείται από τη δυναμική πηγή ενέργειας και μπορεί κατόπιν το όχημα να λειτουργεί σταθερά στην πιο αποδοτική περιοχή του. Η δυναμική ενέργεια μπορεί να παρέχεται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα που τροφοδοτείται από ηλεκτροχημικές μπαταρίες, υπερπυκνωτές, σφονδύλους (μηχανικές μπαταρίες), και συνδυασμούς αυτών.

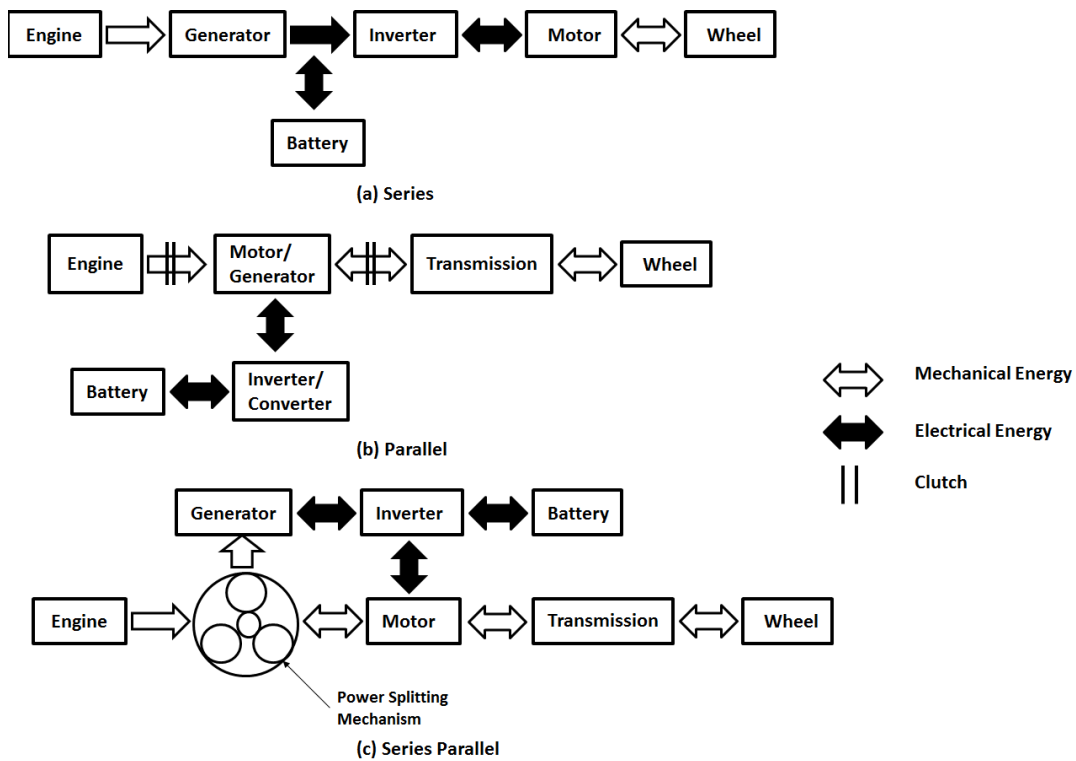
3.1. Αρχιτεκτονικές ηλεκτρικών υβριδικών συστημάτων μετάδοσης

Η αρχιτεκτονική ενός υβριδικού οχήματος ορίζεται, σε γενικές γραμμές, ως η σχέση και η σύνδεση μεταξύ των διατάξεων που ορίζουν τις διαδρομές ροής ενέργειας και τις θύρες ελέγχου. Παραδοσιακά, τα HEV οχήματα είχαν κατηγοριοποιηθεί σε δυο βασικούς τύπους: Τα σειράς και τα παράλληλα. Ωστόσο, από το 2000 παρατηρήθηκε ότι κάποια νεοεμφανιζόμενα HEVs δεν μπορούσαν να ταξινομηθούν σε αυτούς τους τύπους. Ως εκ τούτου, τα HEVs πλέον ταξινομούνται, κατά βάση, σε τέσσερα είδη: σειράς υβριδικά, παράλληλα υβριδικά, σειράς-παράλληλα υβριδικά και σύνθετα υβριδικά. Επιπλέον, όμως, μπορεί να θεωρηθεί μια πέμπτη διάταξη, τα ανεξάρτητα υβριδικά.

Οι διαφορετικές αυτές κατηγορίες αποτυπώνονται σχηματικά παρακάτω. Στο σχήμα, μια δεξαμενή καυσίμου-IC μηχανή και ένας ηλεκτρικός κινητήρας-μπαταρία έχουν χρησιμοποιηθεί, αντίστοιχα, ως κύρια πηγή ενέργειας (πηγή σταθερής ενέργειας) και δευτερεύουσα πηγή ενέργειας (πηγή δυναμικής ενέργειας). Ασφαλώς, ο IC κινητήρας μπορεί να αντικατασταθεί από άλλους τύπους πηγών ενέργειας, όπως οι κυψέλες καυσίμου. Παρομοίως, οι μπαταρίες μπορούν να αντικατασταθούν από υπερπυκνωτές ή από σφονδύλους (flywheels) και συνδυασμούς αυτών.



Σχήμα 5 Κατηγορίες υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων



Σχήμα 6 Ροή ενέργειας στα υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα

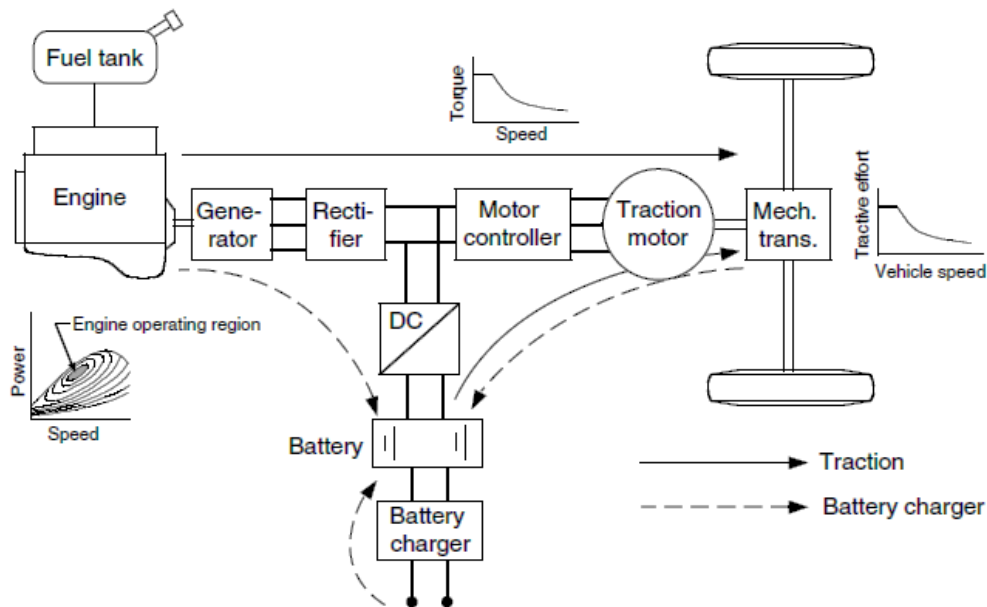
3.1.1. Σειριακό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Series Hybrid)

Ένα σειριακό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα αποτελείται από δύο πηγές ενέργειας οι οποίες τροφοδοτούν έναν ηλεκτροκινητήρα που προωθεί το όχημα. Η πιο κοινή δομή ενός τέτοιου οχήματος παρατίθεται στο σχήμα 7. Η μονοκατευθυντική πηγή ενέργειας είναι μια δεξαμενή καυσίμου και ο μονοκατευθυντικός μετατροπέας ενέργειας είναι μια ΜΕΚ συζευγμένη με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Η έξοδος της γεννήτριας συνδέεται με κατάλληλη γραμμή μεταφοράς μέσω ενός ηλεκτρικού ανορθωτή (rectifier). Η αμφίδρομη πηγή ενέργειας είναι μια ηλεκτροχημική μπαταρία που συνδέεται με την ίδια γραμμή μεταφοράς μέσω ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος (DC/DC converter). Η γραμμή μεταφοράς ενέργειας συνδέεται επίσης στον ηλεκτρονικό ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα. Η γραμμή μεταφοράς ενέργειας συνδέεται επίσης στον ηλεκτρονικό ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα.

Σε αυτή τη διάταξη, λοιπόν, ο βενζινοκινητήρας δε συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς αλλά σκοπός του είναι να φορτίσει το μέσο αποθήκευσης ενέργειας, συνήθως τις μπαταρίες. Αυτό επιτυγχάνεται στρέφοντας μια γεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη μηχανικώς με τον άξονα του βενζινοκινητήρα και λειτουργεί ως μίζα και δυναμό, αντικαθιστώντας τα συμβατικά συστήματα. Η πρόωση του οχήματος επιτυγχάνεται χάρη σε έναν δεύτερο ηλεκτροκινητήρα, συνδεδεμένο με τους τροχούς του οχήματος, που αντλεί ενέργεια από τις μπαταρίες ή από τη γεννήτρια.

Συνεπώς, η κίνηση του οχήματος είναι καθαρά ηλεκτρική, ενώ ο ρόλος του βενζινοκινητήρα είναι να μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου του σε ηλεκτρική ώστε να διατηρεί σε υψηλά επίπεδα τη στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών.

Επίσης, το σύστημα είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ανάκτηση ενέργειας όταν η ηλεκτρική μηχανή που είναι συνδεδεμένη με τους τροχούς λειτουργήσει ως γεννήτρια. Τότε, φορτίζει τους συσσωρευτές μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.



Σχήμα 7 Δομή υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος σειράς

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα σειράς έχουν τις ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας:

1. Καθαρά ηλεκτρική λειτουργία. Στη λειτουργία αυτή η ΜΕΚ είναι σβηστή και το όχημα κινείται μόνο από την ισχύ του συσσωρευτή.
2. Καθαρά λειτουργία ΜΕΚ. Η τροφοδότηση του φορτίου γίνεται μόνο από τη ΜΕΚ, ενώ ο συσσωρευτής ούτε παρέχει ούτε απορροφά ισχύ.
3. Υβριδική λειτουργία. Τόσο η ΜΕΚ όσο και ο συσσωρευτής χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν το φορτίο.
4. Λειτουργία χρήσης της ΜΕΚ και φόρτισης μπαταρίας. Η ΜΕΚ παρέχει ενέργεια για την κίνηση του οχήματος και για την φόρτιση του συσσωρευτή.
5. Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking). Η ΜΕΚ είναι σβηστή ενώ ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και φορτίζει το συσσωρευτή.
6. Λειτουργία φόρτισης μπαταρίας. Ο ηλεκτροκινητήρας δε λαμβάνει καθόλου ισχύ ενώ η γεννήτρια της ΜΕΚ χρησιμοποιείται για να φορτίσει το συσσωρευτή.
7. Λειτουργία υβριδικής φόρτισης μπαταρίας. Τόσο ο ηλεκτροκινητήρας όσο και η γεννήτρια της ΜΕΚ λειτουργούν ως γεννήτριες προκειμένου να φορτίσουν το συσσωρευτή.

Τα υβριδικά οχήματα σειράς προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα.

1. Το ηλεκτρικό κινητήριο σύστημα είναι, σε αυτή την περίπτωση, μηχανικά απομονωμένο. Με αυτό τον τρόπο, η συνολική απόδοση βελτιστοποιείται. Τα επιμέρους συστήματα (Μ.Ε.Κ., ηλεκτρική γεννήτρια) δε χρειάζεται, κατά τη λειτουργία τους, να ακολουθούν τις εκάστοτε διακυμάνσεις του φορτίου που θα «βλέπει» ο ηλεκτροκινητήρας βάσει της πορείας που ακολουθεί το όχημα, ειδικά σε έναν υψηλό κύκλο φορτίσεων ξεκινήματος-στάσης. Ως εκ τούτου, η Μ.Ε.Κ. μπορεί να λειτουργεί συνεχώς στην ονομαστική της κατάσταση, μιας και δεν απαιτείται να μεταβάλλονται οι στροφές της. Έτσι, η κατανάλωση της μηχανής και οι ρύποι είναι μικρότεροι, ενώ, ακόμη, η ίδια η μηχανή είναι μικρότερη σε όγκο και σε ισχύ σε σχέση με την αντίστοιχη μηχανή ενός συμβατικού αυτοκινήτου.
2. Υπάρχει μεγάλος βαθμός ελευθερίας ως προς τη χωροταξική προσαρμογή του κινητήριου συστήματος πάνω στο όχημα, χάρη στη μηχανική ανεξαρτησία του ηλεκτρικού κινητήρα από τη μηχανή εσωτερικής καύσης και τη γεννήτρια.
3. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης (κιβώτιο ταχυτήτων) απλοποιείται αρκετά.

Όπως θα ήταν αναμενόμενο, βέβαια, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα αυτού του τύπου έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα.

1. Η συνολική απόδοση της διάταξης για τη μετατροπή της ενέργειας και τη μετάδοση της κίνησης στους τροχούς, λόγω της σειριακής σύνδεσης των υποσυστημάτων, δεν είναι ικανοποιητική. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος με το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των επιμέρους συστημάτων. Η ενέργεια από τον κινητήρα μετατρέπεται δύο φορές (από μηχανική σε ηλεκτρική στον κινητήρα και από ηλεκτρική σε μηχανική στον ηλεκτρικό κινητήρα). Οι ανεπάρκειες του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του ηλεκτρικού κινητήρα συναθροίζονται και οι απώλειες μπορεί να είναι σημαντικές.
2. Ο ηλεκτρικός κινητήρας επιφέρει επιπρόσθετο βάρος και κόστος.

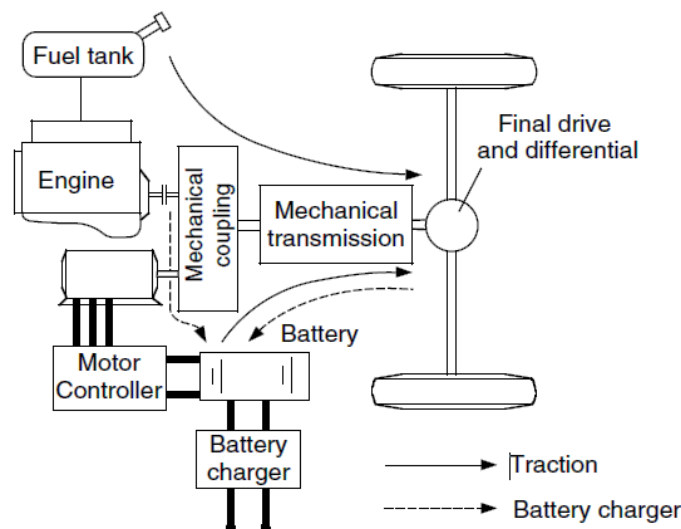
3. Ο ηλεκτρικός κινητήρας πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος που να τον καθιστά ικανό να ανταποκρίνεται επιτυχώς στις μέγιστες απαιτήσεις, δεδομένου ότι είναι το μόνο προωθητικό μέσο του οχήματος.
4. Για τη διάνυση μεγάλων αποστάσεων, η συγκεκριμένη τοπολογία δεν ενδείκνυται, γιατί αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του ηλεκτροκινητήρα και συνεπώς η ισχύς, το βάρος και το κόστος των υπολοίπων συστημάτων που τον τροφοδοτούν.

3.1.2. Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Parallel Hybrid)

Στο παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα η ισχύς παρέχεται μηχανικά στους τροχούς όπως συμβαίνει σε ένα συμβατικό όχημα. Υποβοηθείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος είναι μηχανικά συζευγμένος με το σύστημα μετάδοσης. Η ισχύς του θερμικού κινητήρα και η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα είναι συζευγμένες μέσω μηχανικής σύζευξης, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.

Σε αυτή τη διάταξη, λοιπόν, η κίνηση των τροχών επιτυγχάνεται είτε από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης είτε από τον ηλεκτροκινητήρα είτε και από τους δύο ταυτόχρονα. Ένας μικροελεγκτής ελέγχει τη συνεργασία και τη συμμετοχή στην κίνηση των δυο διαφορετικών κινητήριων μονάδων.

Σε σύγκριση με τη σειριακή διάταξη, σε αυτήν χρησιμοποιείται μικρότερος σε ισχύ ηλεκτροκινητήρας, αφού αυτός λειτουργεί παράλληλα με τη μηχανή εσωτερικής καύσης. Λόγω αυτού, είναι μικρότεροι και οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές αποθήκευσης ενέργειας. Ωστόσο, το κόστος για την παράλληλη διάταξη είναι ίδιο με της σειριακής, εξαιτίας της ανάγκης για ύπαρξη κιβωτίου ταχυτήτων και μηχανικού συστήματος για τη σύμπλεξη της ηλεκτρικής μηχανής και της μηχανής εσωτερικής καύσης με τον άξονα μετάδοσης της κίνησης. Παράλληλα, είναι δυσκολότερος ο έλεγχος της συνεργασίας των δυο κινητήρων για τη διαχείριση της ισχύος.

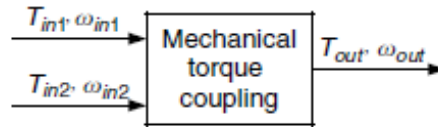


Σχήμα 8 Δομή παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος

Η μηχανική σύζευξη της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα επιτρέπει την εμφάνιση διαφόρων παραλλαγών στη διαμόρφωση του οχήματος, οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Η μηχανική αυτή σύζευξη μπορεί να είναι είτε σύζευξη ροπής είτε σύζευξη ταχύτητας.

3.1.2.1. Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με σύζευξη ροπής

Στην περίπτωση της σύζευξης ροπής, αυτό που συμβαίνει είναι να προστίθενται οι ροπές της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα ή η ροπή της ΜΕΚ διαμοιράζεται σε δύο τμήματα, ένα για προώθηση και ένα για φόρτιση της μπαταρίας.



Σχήμα 9 Συσκευή μηχανικής σύζευξης ροπής

Το σχήμα 9 δείχνει μια μηχανική σύζευξη ροπής η οποία έχει δύο εισόδους, μία από τη ΜΕΚ και μία από τον ηλεκτροκινητήρα. Η έξοδος του συστήματος σύζευξης συνδέεται με το σύστημα μηχανικής μετάδοσης.

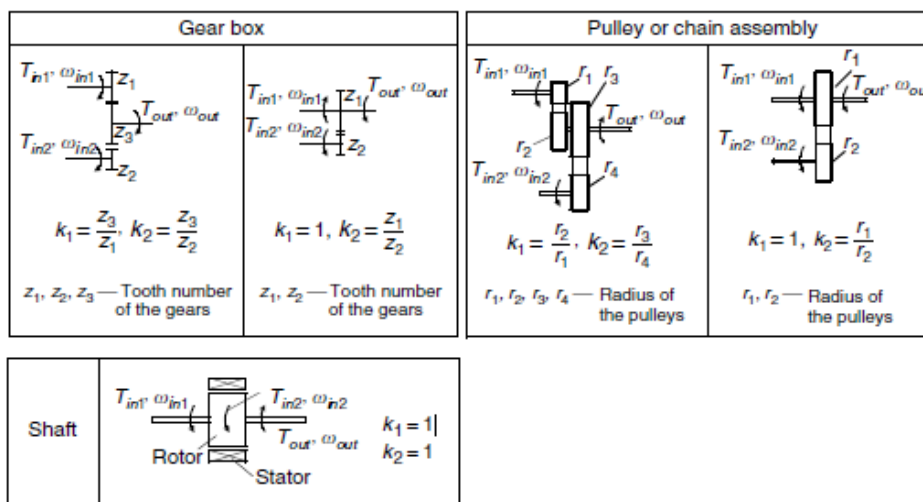
Αμελώντας τις απώλειες, η ροπή εξόδου και η ταχύτητα εξόδου μπορούν να υπολογιστούν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$T_{out} = k_1 T_{in1} + k_2 T_{in2} \quad (3.1)$$

$$\omega_{out} = \frac{\omega_{in1}}{k_1} = \frac{\omega_{in2}}{k_2} \quad (3.2)$$

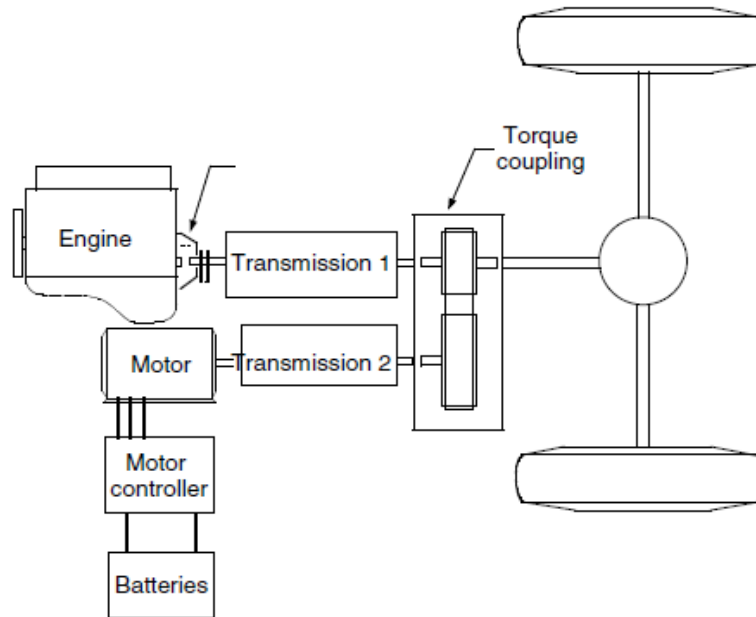
Τα k_1 και k_2 είναι σταθερές που καθορίζονται από το σύστημα μηχανικής σύζευξης.

Ως προς τις δομές της μηχανικής σύζευξης ροπής, αν και υπάρχει μεγάλη ποικιλία μπορούν να διακριθούν σε δυο κατηγορίες, τις διατάξεις **ενός άξονα** και τις διατάξεις **δύο αξόνων**. Σε κάθε περίπτωση το σύστημα μετάδοσης μπορεί να τοποθετηθεί σε διαφορετικές θέσεις και να σχεδιαστεί με διαφορετικές σχέσεις οδηγώντας σε διαφορετικά χαρακτηριστικά έλξης. Ο βέλτιστος σχεδιασμός θα εξαρτηθεί κυρίως από τις απαιτήσεις έλξης, το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του κινητήρα, το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροκινητήρα κ.λπ.



Σχήμα 10 Συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις μηχανικής σύζευξης ροπής

Τα σχήματα 11 και 13 δείχνουν δύο διατάξεις παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος με δύο άξονες. Στη διάταξη του σχήματος 11 χρησιμοποιούνται 2 συστήματα μετάδοσης για τη σύζευξη των δύο μηχανών με το σύστημα σύζευξης, από τα οποία το ένα είναι τοποθετημένο μεταξύ της ΜΕΚ και της σύζευξης ροπής και το άλλο μεταξύ του ηλεκτροκινητήρα και της σύζευξης ροπής. Κάθε σύστημα μετάδοσης μπορεί να είναι μιας ή περισσότερων σχέσεων.



Σχήμα 11 Διάταξη δύο αξόνων (1)

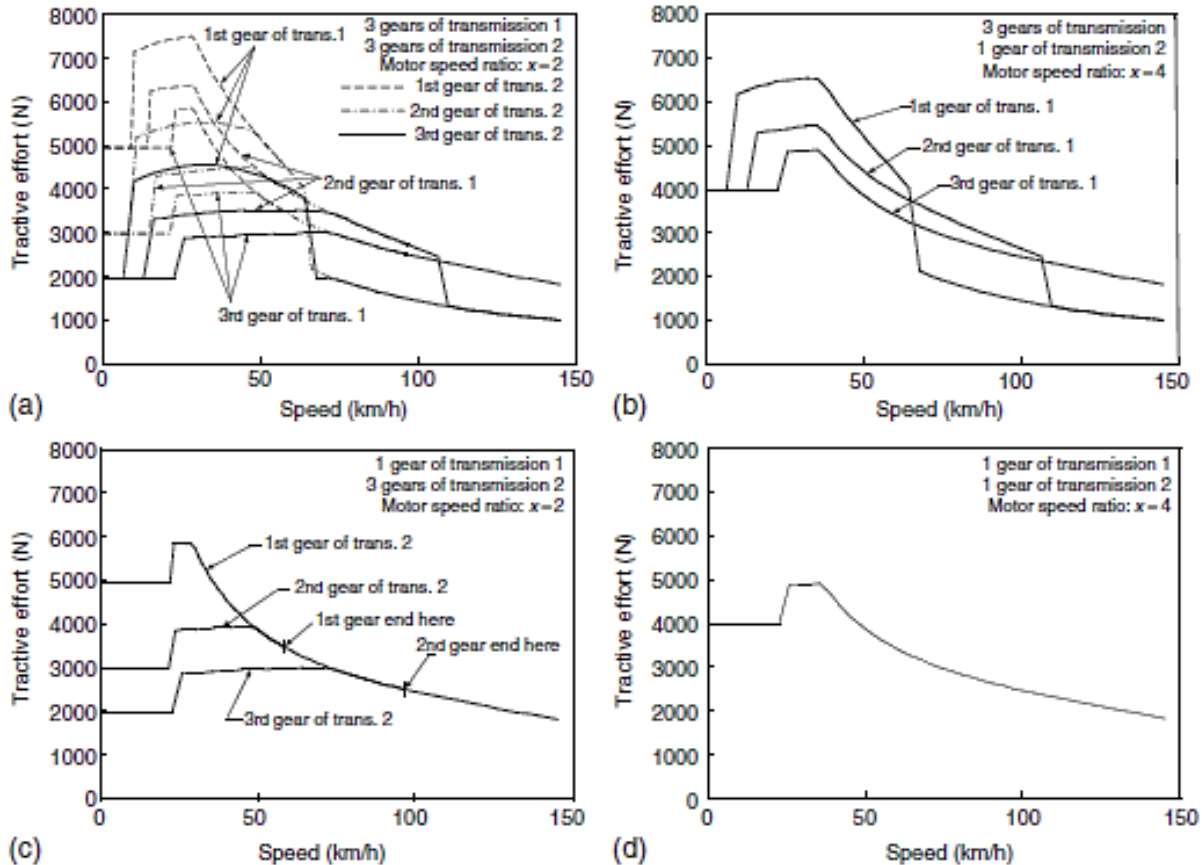
Το σχήμα 12 δείχνει τα προφίλ ελκτικής δύναμης - ταχύτητας ενός οχήματος με διαφορετικές παραμέτρους μετάδοσης. Όπως είναι προφανές, δυο συστήματα μετάδοσης πολλαπλών σχέσεων παράγουν πολλά προφίλ ελκτικής δύναμης (σχήμα 12(α)). Η απόδοση και συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος μετάδοσης της κίνησης μπορεί να είναι καλύτερη σε σχέση με άλλους σχεδιασμούς, καθώς δίνεται η δυνατότητα τόσο στη ΜΕΚ όσο και στον ηλεκτροκινητήρα να λειτουργούν στη βέλτιστη περιοχή τους και ταυτόχρονα, αυτή η προσέγγιση παρέχει μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό των χαρακτηριστικών της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα. Ωστόσο, έχει σοβαρό αντίκτυπο καθώς μεγαλώνει αισθητά η πολυπλοκότητα.

Εναλλακτικά, αν χρησιμοποιηθεί ως πρώτο σύστημα (transmission 1) πολλαπλών σχέσεων και ως δεύτερο (transmission 2) ένα σύστημα μιας σχέσης, καταλήγουμε στις χαρακτηριστικές του σχήματος 12 (b). Η χρήση του συστήματος μιας ταχύτητας έχει το πλεονέκτημα της χαρακτηριστικής των ηλεκτρικών μηχανών με τις υψηλές ροπές σε χαμηλές ταχύτητες. Το σύστημα μετάδοσης πολλαπλών ταχυτήτων χρησιμοποιείται για να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα των χαρακτηριστικών ταχύτητας-ροπής του κινητήρα εσωτερικής καύσης (επίπεδη ροπή εξόδου ως προς την ταχύτητα). Επίσης, η μετάδοση πολλαπλών ταχυτήτων τείνει να βελτιώσει την απόδοση του κινητήρα και μειώνει το εύρος της ταχύτητας του οχήματος, -στο οποίο μια ηλεκτρική μηχανή μόνο πρέπει να ωθήσει το όχημα- μειώνοντας, κατά συνέπεια, την ενέργεια εκφόρτισης της μπαταρίας.

Σε αντίθεση με τον παραπάνω σχεδιασμό, το σχήμα 12(c) δίνει αποτελέσματα για την περίπτωση όπου έχουμε ως σύστημα 1 ένα σύστημα μιας σχέσης και ως σύστημα 2 ένα σύστημα πολλαπλών σχέσεων

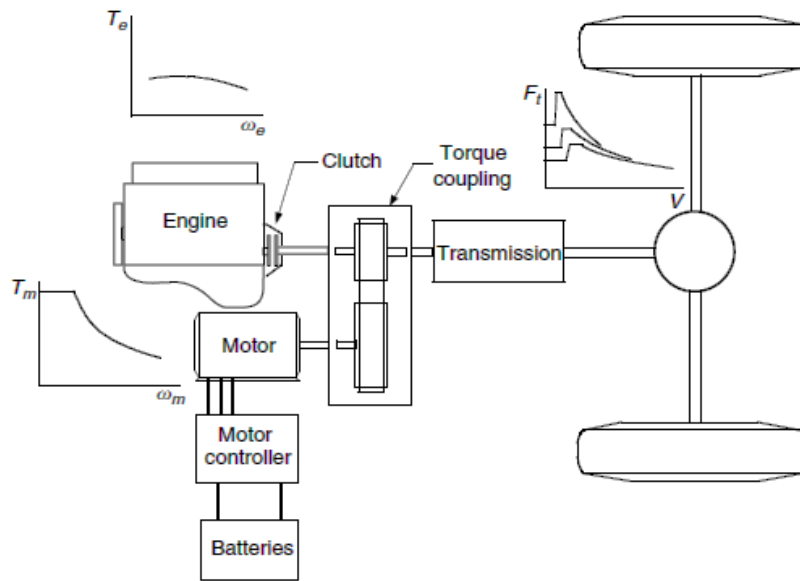
ταχυτήτων. Μια τέτοια διαμόρφωση δεν ενδείκνυται καθώς δεν εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι δυο πηγές ενέργειας.

Τέλος, στο σχήμα 12(d) και τα δύο συστήματα είναι μιας ταχύτητας. Η επιλογή αυτή οδηγεί σε απλή διαμόρφωση και έλεγχο. Ο περιορισμός, ωστόσο, που προκύπτει σε αυτή την περίπτωση αφορά τη μέγιστη δύναμη έλξης.



Σχήμα 12 Ελκτική δύναμη και ταχύτητα του οχήματος με διαφορετικά συστήματα μετάδοσης

Μια άλλη διαμόρφωση ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος με σύζευξη ροπής δυο αξόνων δίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται μόνο ένα σύστημα μετάδοσης, το οποίο είναι τοποθετημένο ανάμεσα από τη σύζευξη ροπής και τον άξονα της κίνησης. Το σύστημα μετάδοσης ενισχύει τις ροπές τόσο της ΜΕΚ όσο και του ηλεκτρικού κινητήρα με την ίδια κλίμακα. Κατάλληλη επιλογή των συντελεστών k_1 και k_2 επιτρέπει στον ηλεκτροκινητήρα να έχει διαφορετικό εύρος ταχύτητας από ότι η ΜΕΚ και συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες (μικρή ροπή και μέγεθος). Πρακτικά, η δομή είναι χρήσιμη όταν χρησιμοποιούνται σχετικά μικρή ΜΕΚ και μικρός ηλεκτροκινητήρας. Για τη βελτίωση της ροπής σε χαμηλές ταχύτητες το σύστημα μετάδοσης μπορεί να είναι περισσότερων της μιας σχέσεων.

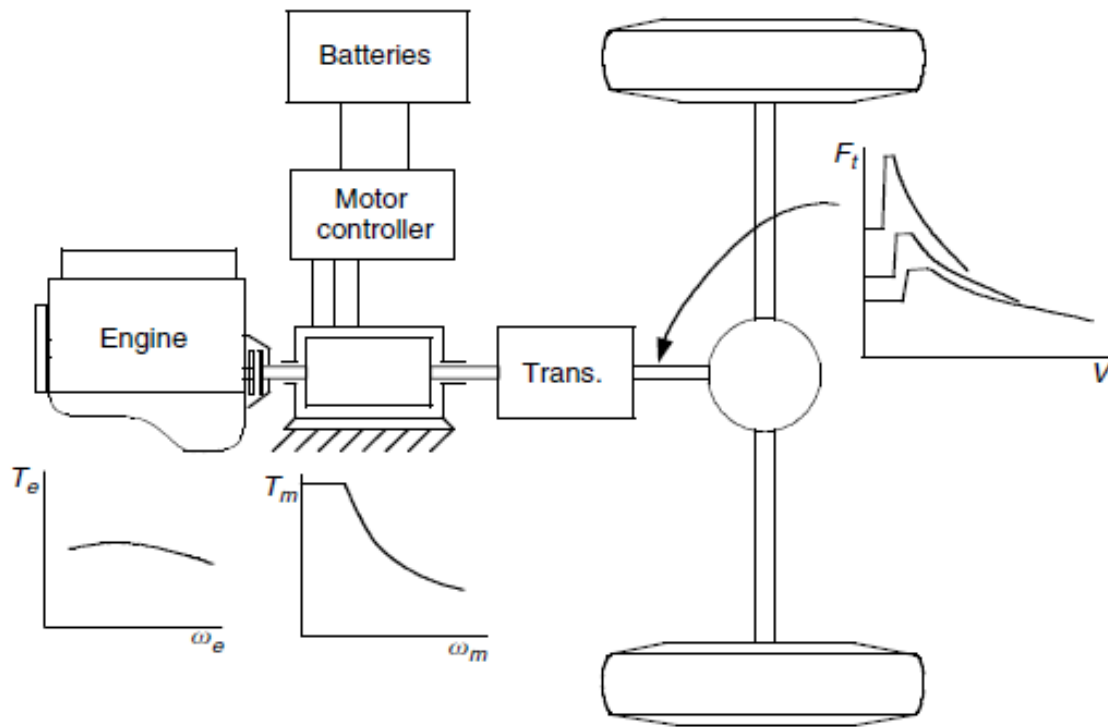


Σχήμα 13 Διάταξη δύο αξόνων (2)

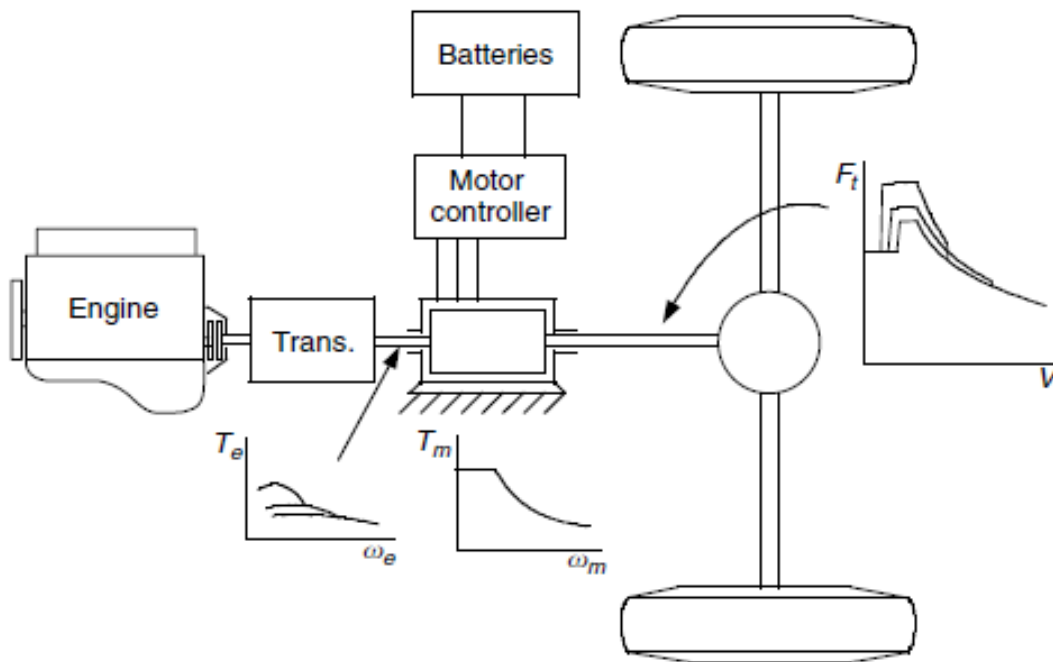
Η απλή και συμπαγής αρχιτεκτονική της σύζευξης ροπής ενός παράλληλου HEV είναι η διαμόρφωση ενός άξονα, όπου ο ρότορας του ηλεκτροκινητήρα λειτουργεί ως σύζευξη ροπής ($k_1=0$ και $k_2=0$). Τέτοιες δομές παρουσιάζονται στα σχήματα 12 και 13. Ένα σύστημα μετάδοσης μπορεί να τοποθετηθεί είτε πίσω από τον ηλεκτροκινητήρα που συνδέεται με τη ΜΕΚ μέσω συμπλέκτη είτε μεταξύ της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα. Στην πρώτη περίπτωση η διαμόρφωση αναφέρεται ως “pretransmission” (ο ηλεκτροκινητήρας είναι μπροστά από το σύστημα μετάδοσης), ενώ στη δεύτερη ως “posttransmission” (ο ηλεκτροκινητήρας είναι πίσω από το σύστημα μετάδοσης).

Στην περίπτωση της δομής pretransmission, τόσο η ροπή της ΜΕΚ όσο και η ροπή του ηλεκτροκινητήρα τροποποιούνται από το σύστημα μετάδοσης. Η ΜΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας πρέπει να έχουν το ίδιο εύρος ταχυτήτων. Η δομή αυτή συνήθως χρησιμοποιείται στην περίπτωση μικρού ηλεκτροκινητήρα ο οποίος λειτουργεί περισσότερο ως εκκινητής, ηλεκτρογεννήτρια, βοηθητικός παροχέας ισχύος και φορτιστής κατά την πέδηση.

Αντίθετα, στην περίπτωση της δομής posttransmission, το σύστημα μετάδοσης χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τη ροπή της ΜΕΚ ενώ η ροπή του ηλεκτροκινητήρα μεταφέρεται απ’ ευθείας στους τροχούς. Συνήθως χρησιμοποιείται όταν ο ηλεκτροκινητήρας είναι μεγάλος και με μεγάλο εύρος ταχυτήτων σταθερής ισχύος. Το σύστημα μετάδοσης στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται μόνο για να αλλάξει τα σημεία λειτουργίας του θερμικού κινητήρα ώστε να βελτιώσει την απόδοση του οχήματος και την αποδοτικότητα της λειτουργίας του κινητήρα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι μπαταρίες δεν μπορούν να φορτιστούν από τη ΜΕΚ με τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα ως γεννήτρια όταν το όχημα είναι σταματημένο και ο ηλεκτροκινητήρας είναι σταθερά συνδεδεμένος στους τροχούς.

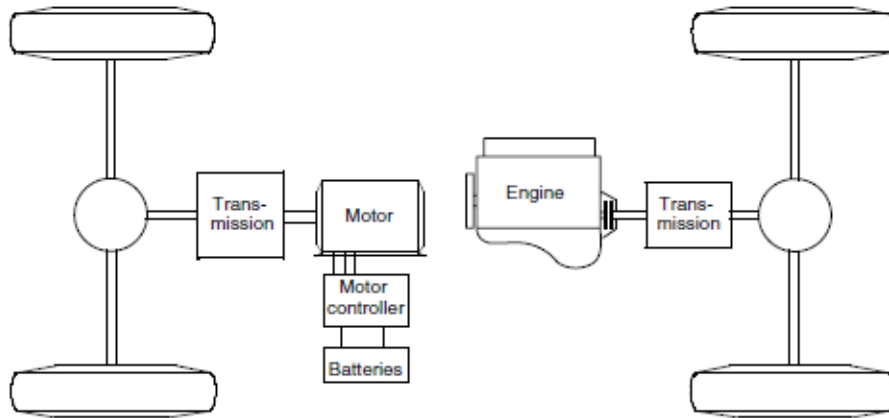


Σχήμα 14 Pretransmission σύστημα κίνησης συνδυασμού ροπής ενός άξονα παράλληλου HEV



Σχήμα 15 Posttransmission σύστημα κίνησης συνδυασμού ροπής ενός άξονα παράλληλου HEV

Τέλος, μια ακόμη δομή παράλληλου HEV με σύζευξη ροπής είναι η αρχιτεκτονική με **ξεχωριστούς άξονες**, στην οποία ένας άξονας τροφοδοτείται από τη ΜΕΚ και ο άλλος άξονας τροφοδοτείται από τον ηλεκτροκινητήρα. Η ελκτική δύναμη από τα δύο συστήματα ενέργειας προστίθεται μέσω του πλαισίου του οχήματος και του δρόμου. Η αρχή λειτουργίας είναι ίδια με αυτή του συστήματος με δύο άξονες. Και τα δύο συστήματα μετάδοσης μπορεί να είναι είτε μονοσχεσιακά είτε πολυσχεσιακά. Το πλεονέκτημα αυτής της δομής είναι ότι διατηρεί το σύστημα ΜΕΚ/μετάδοσης αμετάβλητο σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα προσθέτοντας μόνο τον ηλεκτροκινητήρα. Επίσης, μπορεί να έχει τετρακίνηση κατά την υβριδική λειτουργία και των δύο κινητήρων. Ωστόσο, έχει το μειονέκτημα ότι ο ηλεκτροκινητήρας και το σύστημα μετάδοσής του καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο, περιορίζοντας έτσι το χώρο επιβατών. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί με αντικατάσταση του ηλεκτροκινητήρα από δύο μικρότερους που θα τοποθετούνταν στους δύο τροχούς. Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι η μπαταρία δεν είναι δυνατό να φορτιστεί από τη ΜΕΚ όταν το όχημα βρίσκεται εν στάση.



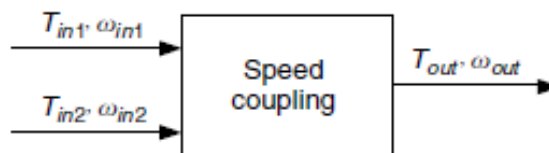
Σχήμα 16 Διάταξη με δύο ξεχωριστούς άξονες.

3.1.2.2. Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με σύζευξη ταχύτητας

Σε ένα παράλληλο υβριδικό όχημα με σύζευξη ταχύτητας προστίθενται οι ταχύτητες των δυο αξόνων και οι σχέσεις που δίνουν την ταχύτητα και τη ροπή εξόδου είναι, αμελώντας τις απώλειες, οι παρακάτω, όπου k_1 και k_2 είναι σταθερές που καθορίζονται από το σύστημα μηχανικής σύζευξης:

$$\omega_{out} = k_1 \omega_{in1} + k_2 \omega_{in2} \quad (3.3)$$

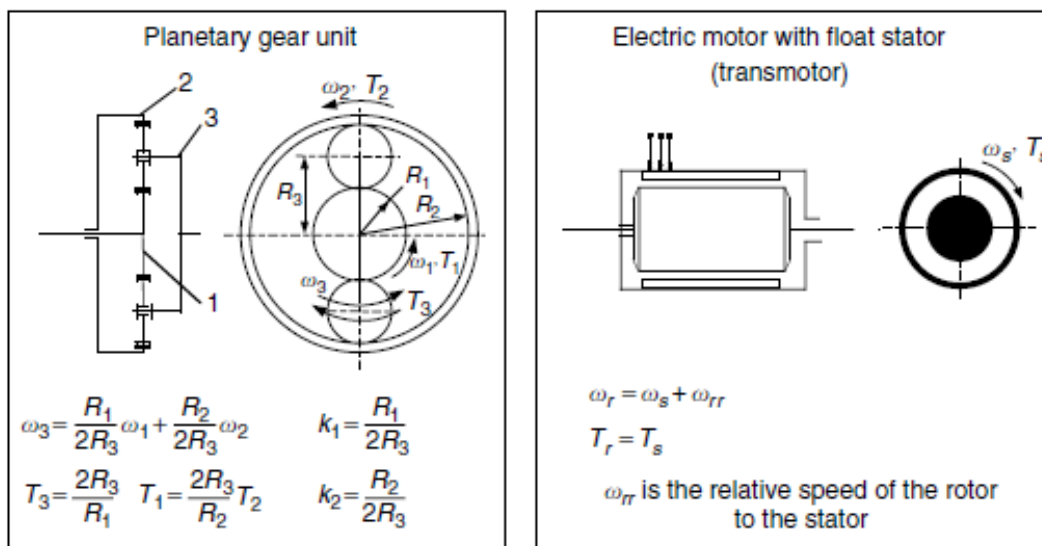
$$T_{out} = \frac{T_{in1}}{k_1} = \frac{T_{in2}}{k_2} \quad (3.4)$$



Σχήμα 17 Σύζευξη ταχύτητας

Το σχήμα 18 δείχνει δυο τυπικές συσκευές σύζευξης ταχύτητας: ένα πλανητικό σύστημα σχέσεων και έναν ηλεκτροκινητήρα του οποίου ο στάτης είναι ελεύθερος να περιστρέφεται (transmotor). Το πλανητικό σύστημα αποτελείται από τρεις θύρες εκ των οποίων οι δύο (1-2) είναι είσοδοι της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα και η τρίτη (3) έξοδος προς τους τροχούς. Η σχέση ταχύτητας και ροπής μεταξύ των τριών θυρών καταδεικνύει ότι το σύστημα είναι όντως μια συσκευή σύζευξης ταχύτητας. Οι σταθερές k_1 και k_2 εξαρτώνται μόνο από την ακτίνα της κάθε ταχύτητας ή από τον αριθμό δοντιών της καθεμιάς.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα διάταξη είναι αυτή του ηλεκτροκινητήρα με ελεύθερα κινούμενο στάτη. Οι άλλες δύο θύρες είναι ο ρότορας και το διάκενο μέσω του οποίου η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κίνηση. Η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα είναι η σχετική ταχύτητα ανάμεσα στο ρότορα και το στάτη. Λόγω των αποτελεσμάτων του νόμου της δράσης και αντίδρασης, η δράση της ροπής επί του στάτη και του ρότορα είναι πάντα η ίδια και οδηγεί στις σταθερές $k_1=1$ και $k_2=1$.

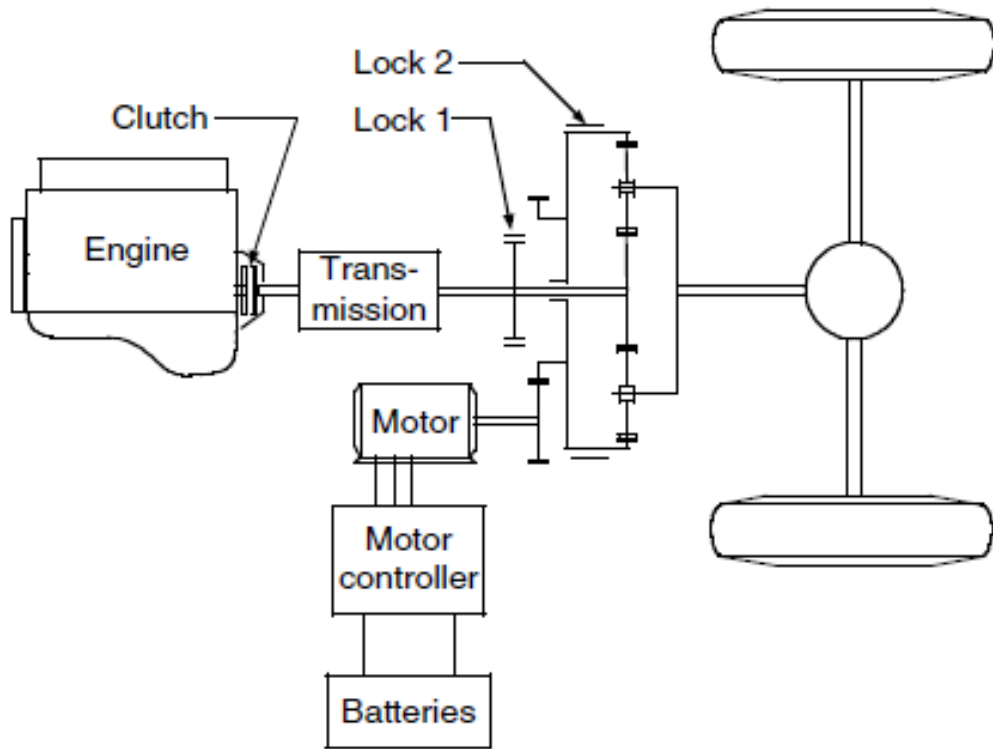


Σχήμα 18 Τυπικές διατάξεις σύζευξης ταχύτητας

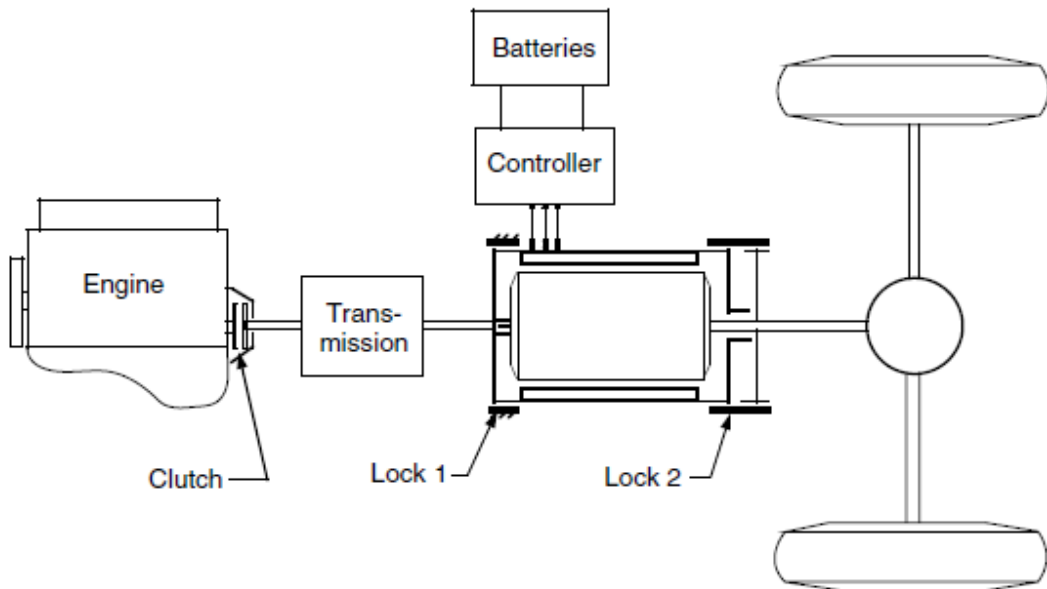
Ακριβώς όπως στην περίπτωση της σύζευξης ροπής, οι μονάδες σύζευξης ταχύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύσταση διάφορων υβριδικών συστημάτων μετάδοσης. Τα σχήματα 19 και 20 δείχνουν δύο παραδείγματα υβριδικών συστημάτων κίνησης με σύζευξη ταχύτητας.

Οι καταστάσεις λειτουργίας που μπορούν να υποστηρίξουν οι παραπάνω αρχιτεκτονικές δομές είναι:

- (1) Υβριδική κίνηση με σύμπραξη της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα
- (2) Κίνηση παραγόμενη μόνο από τη ΜΕΚ
- (3) Κίνηση παραγόμενη μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα
- (4) Αναγεννητική πέδηση
- (5) Φόρτιση μπαταρίας από τη ΜΕΚ



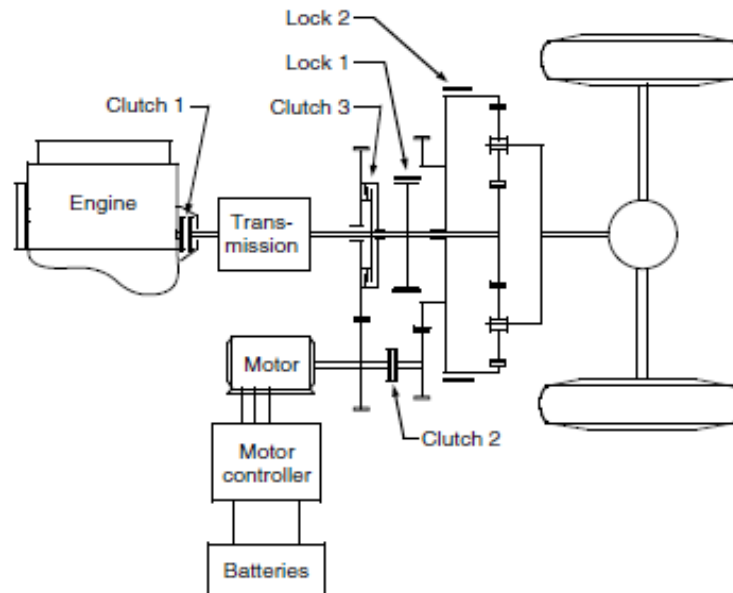
Σχήμα 19 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με σύζευξη ταχύτητας με πλανητικό σύστημα



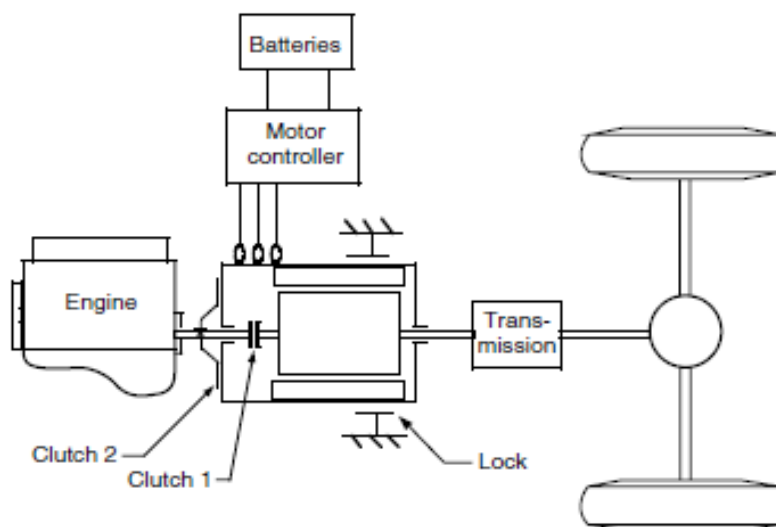
Σχήμα 20 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με σύζευξη ταχύτητας με transmotor

3.1.2.3. Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με σύζευξη ροπής και ταχύτητας

Συνδυάζοντας τις συζεύξεις ροπής και ταχύτητας καταλήγουμε σε ένα υβριδικό όχημα στο οποίο οι καταστάσεις σύζευξης ροπής και ταχύτητας μπορούν να επιλεγθούν εναλλακτικά. Ασφαλώς, στην περίπτωση αυτή το σύστημα είναι μεν πιο πολύπλοκο, ωστόσο επιτυγχάνεται με τον τρόπο αυτό μεγαλύτερη ευελιξία κινήσεων και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα μεγαλύτερων δυνατοτήτων. Δύο τέτοιες δομές απεικονίζονται στα σχήματα 21 και 22.

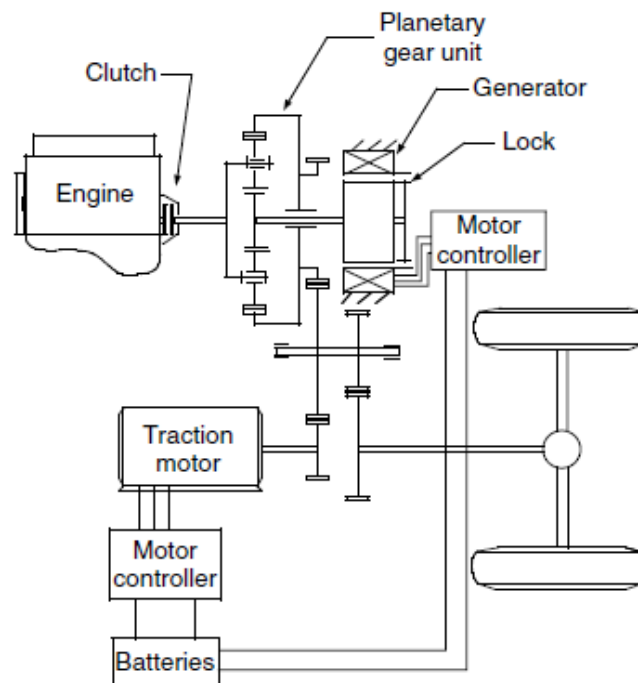


Σχήμα 21 Παράλληλο ηλεκτρικό υβριδικό σύστημα μετάδοσης με σύζευξη ταχύτητας και ροπής με πλανητικό σύστημα



Σχήμα 22 Παράλληλο ηλεκτρικό υβριδικό σύστημα μετάδοσης με σύζευξη ταχύτητας και ροπής με transmotor

Ένα καλό παράδειγμα παράλληλου υβριδικού οχήματος που χρησιμοποιεί σύζευξη ροπής και ταχύτητας είναι το μοντέλο Prius της Toyota. Ένας μικρός ηλεκτροκινητήρας ή μια γεννήτρια (μερικά kW) συνδέεται μέσω ενός πλανητικού συστήματος σχέσεων (σύζευξη ταχύτητας). Το πλανητικό σύστημα σχέσεων χωρίζει την ταχύτητα της ΜΕΚ σε δύο επιμέρους ταχύτητες. Η μία δίνει κίνηση στον άξονα του μικρού κινητήρα/γεννήτριας ενώ η άλλη στους τροχούς μέσω μιας σταθερής μονάδας σχέσεων του άξονα (σύζευξη ροπής). Ένας μεγάλος ηλεκτροκινητήρας (μέχρι 10 kW) συνδέεται επίσης σε αυτή τη μονάδα σχέσεων για να δημιουργήσει μια παράλληλη σύζευξη ροπής. Σε χαμηλές ταχύτητες, ο μικρός κινητήρας απορροφά τμήμα της ισχύος της ΜΕΚ. Σε υψηλές ταχύτητες, ο μικρός κινητήρας περιστρέφεται με αντίθετη ταχύτητα ώστε να μεταφέρει ισχύ στο πλανητικό σύστημα σχέσεων και έτσι να περιορίσει την κατανάλωση καυσίμου. Έτσι επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 23 Ολοκληρωμένο υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με σύζευξη ταχύτητας και ροπής (Toyota Prius)

3.1.3. Σειριακό/Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Combined Hybrid ή Series-Parallel Hybrid)

Πρόκειται, ουσιαστικά, για έναν συνδυασμό των δυο προηγούμενων διατάξεων. Στη σειριακή-παράλληλη διάταξη (ή αλλιώς, συνδυαστική διάταξη - Combined Hybrid) παρατηρείται τόσο η ύπαρξη γεννήτριας όσο και η σύνδεση της ΜΕΚ και του ηλεκτρικού κινητήρα με τους τροχούς. Αυτή η διάταξη έχει τα πλεονεκτήματα τόσο της σειριακής όσο και της παράλληλης τοπολογίας. Είναι ευρέως διαδεδομένη λύση αν και αρκετά πιο πολύπλοκη και ακριβή. Η κίνηση παρέχεται και από τους δύο κινητήρες ή από καθέναν ξεχωριστά. Ο βενζινοκινητήρας μπορεί να φορτίζει, απλώς, τις μπαταρίες ή και να συμβάλει συγχρόνως στην κίνηση.

Τα διάφορα υποσυστήματα συνεισφέρουν στην κίνηση, όπως συμβαίνει και στην παράλληλη διάταξη. Η διαφορά της συγκεκριμένης διάταξης από την παράλληλη έγκειται στο γεγονός πως η μηχανή

εσωτερικής καύσης μπορεί να προσδίδει κίνηση στους τροχούς του οχήματος όταν είναι συμπλεγμένη με το σύστημα μετάδοσης ή εναλλακτικά να φορτίζει τις μπαταρίες μέσω της ηλεκτρικής γεννήτριας, αλλά όχι και τα δύο ταυτόχρονα.

Σε χαμηλές ταχύτητες, η συγκεκριμένη διάταξη παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της σειριακής, με τη μηχανή εσωτερικής καύσης να είναι αποσυνδεδεμένη από το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Ως εκ τούτου, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπορεί σε αυτή την περίπτωση να δουλεύει στο βέλτιστο βαθμό απόδοσής του και η πρόωση του οχήματος επιτυγχάνεται από τον κινητήρα τροφοδοτούμενο από τις μπαταρίες. Σε πιο υψηλές ταχύτητες ή επιταχύνσεις, περιορίζεται η λειτουργία της σειριακής διάταξης και υπεύθυνη για την κίνηση καθίσταται η παράλληλη, καθώς η μηχανή εσωτερικής καύσης μπορεί να προσφέρει πιο αποδοτικά ισχύ για την κίνηση του οχήματος. Η επιλογή της σειριακής ή παράλληλης λειτουργίας γίνεται μέσω μιας υπολογιστικής μονάδας ελέγχου.

3.1.4. Σύνθετη διάταξη (Complex Hybrid)

Το σύνθετο υβριδικό σύστημα (Σχήμα 5d) περιλαμβάνει μια πολύπλοκη διαμόρφωση που δεν μπορεί να ταξινομηθεί στις ανωτέρω τρεις κατηγορίες. Η σύνθετη διάταξη είναι παρόμοια με σειριακή-παράλληλη διάταξη δεδομένου ότι η γεννήτρια (generator) και ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι και οι δύο ηλεκτρικές μηχανές. Ωστόσο, η βασική διαφορά οφείλεται στην αμφίδρομη ροή ισχύος του ηλεκτροκινητήρα στα σύνθετα υβριδικά και της μονοκατευθυντικής ροής της γεννήτριας στα σειριακά-παράλληλα υβριδικά. Το κύριο μειονέκτημα των σύνθετων υβριδικών είναι η υψηλότερη πολυπλοκότητα.

3.1.5. Ανεξάρτητη διάταξη (Independent Hybrid)

Την ανεξάρτητη διάταξη μπορεί να τη θεωρήσει κανείς ως μια παραλλαγή της παράλληλης. Βέβαια, είναι απλούστερη ως προς την τοπολογία του κινητήριου συστήματος καθώς απαιτεί λιγότερες και απλούστερες μηχανικές συνδέσεις.

Στην περίπτωση αυτή, οι δύο κινητήρες δεν είναι μηχανικά συνδεδεμένοι μέσω κάποιου άξονα. Για τη σύνδεση των δυο μερών υπεύθυνος είναι ο δρόμος στον οποίο κινείται το όχημα, μέσω της μετάδοσης κίνησης στους τροχούς.

Το σύνθετες είναι η κίνηση στους μπροστινούς τροχούς να παρέχεται από τη μηχανή εσωτερικής καύσης, ενώ στους πίσω τροχούς από τον ηλεκτροκινητήρα. Η ισχύς για την κίνηση μπορεί να παρέχεται είτε από τη μία είτε από τις δύο μηχανές ταυτόχρονα.

Η συγκεκριμένη τοπολογία παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα στην κίνηση με αυτά της παράλληλης, παρέχοντας επιπλέον τη δυνατότητα κίνησης και στους τέσσερις τροχούς. Η συμβολή του κάθε κινητήρα στην πρόωση του οχήματος ελέγχεται από μικροϋπολογιστή. Τέλος, η ανεξάρτητη διάταξη πλεονεκτεί ως προς την χωροταξική προσαρμογή της επί του οχήματος ενώ διατηρεί τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας κατά την επιβράδυνση.

Κεφάλαιο 4: Αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα (EV)

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα διαφοροποιούνται από τα συμβατικά ως προς τη δομή του κινητήριου συστήματος. Αν και μεταξύ τους τα ηλεκτρικά οχήματα διαφοροποιούνται βάσει της πηγής της ηλεκτρικής ενέργειας ή τον τρόπο παραγωγής της κίνησης, είναι κοινό βασικό χαρακτηριστικό τους η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα. Ειδοποιός διαφορά των αμιγώς ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι η απουσία βενζινοκινητήρα και η εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας για την κίνηση του οχήματος από την απόδοση του ηλεκτρικού κινητήρα και μόνο.

Έτσι, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρικό κινητήρα για την κίνηση του οχήματος και χημικές μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου, υπερπυκνωτές και/ή σφονδύλους για πηγές ενέργειας. Το ηλεκτρικό όχημα έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το συμβατικό όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV), όπως απουσία εκπομπών, υψηλή απόδοση, ανεξαρτησία από το πετρέλαιο και ήσυχη και ομαλή λειτουργία, τα οποία θα αναφερθούν πιο αναλυτικά στη συνέχεια.

4.1. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα ηλεκτρικά οχήματα, σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα, προσφέρουν πλεονεκτήματα αλλά έχουν, όπως είναι φυσικό, και κάποια μειονεκτήματα.

A. Πλεονεκτήματα

Ο ηλεκτρικός κινητήρας (ειδικά όταν η λειτουργία αυτού συνδυάζεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας), σε αντίθεση με τις Μ.Ε.Κ., δεν παράγει καθόλου αέρια κατάλοιπα ενώ παρουσιάζει και πολλά κατασκευαστικά αλλά και λειτουργικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, έχει καλύτερο τρόπο λειτουργίας, ελέγχεται καλύτερα, έχει πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης, δεν απαιτεί συχνή συντήρηση κλπ. Το κυριότερο πλεονέκτημα λοιπόν του ηλεκτρικού οχήματος είναι η συνεισφορά του στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας οφείλεται στους ρύπους των συμβατικών οχημάτων. Το ηλεκτρικό όχημα έχει θεωρητικά μηδενικούς ρύπους προκαλώντας ελάχιστη ρύπανση του αέρα και μηδενική ρύπανση του χώρου που κινείται.

Το επόμενο πλεονέκτημά του αφορά στη μείωση της ηχορύπανσης, πρόβλημα που κάνει την ατμόσφαιρα των μοντέρνων πόλεων ανυπόφορη. Το ηλεκτρικό όχημα είναι, ουσιαστικά, αθόρυβο συγκρινόμενο με τα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσεως. Μάλιστα, λόγω της μη εκπομπής ρύπων και θορύβου κατά την κίνησή του, επιτρέπει την κίνηση σε περιοχές «ιστορικά ευαίσθητες» όπως το ιστορικό κέντρο των πόλεων.

Η ηλεκτρική τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην επαναφόρτιση του οχήματος.

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αποτελέσουν μέρος ενός συστήματος που θα περιλαμβάνει σταθμούς ανεφοδιασμού σε κάθε σπίτι και ένα αναπτυγμένο ηλεκτρικό δίκτυο που θα μπορεί να συνεισφέρει στην κίνηση των οχημάτων.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των EVs είναι η προβλεπόμενη μείωση στις εκπομπές CO₂, εάν βέβαια η χρήση τους εξαπλωθεί και γίνει ευρεία. Αυξημένη απόδοση στο σύστημα μετάδοσης ισχύος αυτών των οχημάτων οδηγεί σε σημαντικές μειώσεις των ρύπων που οδηγούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ακόμα και αν ληφθούν υπόψη οι απώλειες ενέργειας κατά την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου και οι απώλειες κατά τη φόρτιση της μπαταρίας.

Τα EVs προσφέρουν τη δυνατότητα αποδοτικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οχήματα αυτά φορτίζονται πρωτίστως σε περιόδους όπου υπάρχει χαμηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. τη νύχτα, ή εξοπλίζονται με τεχνολογία διακοπής της φόρτισης στη διάρκεια περιόδων αιχμής της ζήτησης.

Η plug-in τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην επαναφόρτιση του οχήματος. Στην περίπτωση αυτή, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της χρήσης ενός EV οχήματος είναι σημαντικά μικρότερο απ' ό,τι ένα συμβατικό όχημα ίδιας κατηγορίας. Ωστόσο, εάν ένα EV χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από ένα θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο με καύσιμη ύλη άνθρακα ή λιγνίτη, τότε η ρύπανση που προκαλεί μπορεί να είναι μεγαλύτερη από ένα συμβατικό όχημα.

Άλλο πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των plug-in οχημάτων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αυτόνομων δικτύων όπως π.χ. στα νησιά του Αιγαίου, είναι η ικανότητα εξισορρόπησης του φορτίου, με την παροχή της αποθηκευμένης ενέργειας από αυτά στο δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής. Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνολογία μεταφοράς ενέργειας από το όχημα στο δίκτυο. Χρησιμοποιώντας την πλεονάζουσα ενέργεια από τις μπαταρίες τους, μπορούν να στείλουν ενέργεια πίσω στο δίκτυο και να επαναφορτιστούν αργότερα όταν θα έχει πάψει η αιχμή του δικτύου.

Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται πιο αξιόπιστα από τα συμβατικά οχήματα.

Η κατασκευή του ηλεκτρικού οχήματος είναι πιο εύκολη γιατί ο ηλεκτροκινητήρας είναι πολύ απλός στη δομή του σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Εφόσον τροφοδοτείται μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, οι οποίοι ελέγχονται εύκολα ηλεκτρονικά, δεν απαιτείται συνήθως νερό για την ψύξη τους και δεν χρησιμοποιούνται φίλτρα και λάδι, με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει προβλήματα που δημιουργούνται από τη χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Καταναλώνει ενέργεια μόνο όταν κινείται. Όταν δεν κινείται, π.χ. κατά τη στάση σε σηματοδότες ή σε μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν καταναλώνει ενέργεια. Άρα είναι πολύ καλή επιλογή για χρήση σε αστικά κέντρα.

Το κόστος της λειτουργίας του, σύμφωνα με υπολογισμούς των General Motors και Chrysler είναι πολύ μικρότερο από αυτό των συμβατικών οχημάτων.

Η ηλεκτρική μηχανή έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκρινόμενη με αυτή του συμβατικού οχήματος. Υπολογίζεται μάλιστα ίση με 1.000.000 μίλια εν αντιθέσει με τα 100.000 μίλια του συμβατικού.

Η εμπορική χρήση ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρει επίσης, σύμφωνα με τη «Διακήρυξη για το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο» που υπεγράφη τον Μάρτιο του 2009, αρκετά οφέλη για τη βιώσιμη κινητικότητα σε επίπεδο Ε.Ε.:

- Προσφέρει ουσιαστική βοήθεια στην επίτευξη των κύριων στόχων της Ε.Ε. για ενέργεια και περιβάλλον: αντικαθιστώντας συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα εξασφαλισθούν σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές CO₂ και βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, ιδιαίτερα στις πόλεις. Ηλεκτροδοτώντας τις οδικές μεταφορές θα ενισχυθεί η ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού της Ευρώπης, φρενάροντας την αυξανόμενη εξάρτηση από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.
- Η τεχνολογία ηλεκτρικού αυτοκινήτου προσφέρει μια ευκαιρία να προωθηθεί μια πράσινη οικονομία, η οποία θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης: παρέχεται η δυνατότητα στην Ευρώπη να προηγηθεί στην παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων.

- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι περισσότερο αποδοτικά από άλλα που χρησιμοποιούν εναλλακτικές τεχνολογίες. Λαμβάνοντας υπόψη τα υφιστάμενα επίπεδα τεχνολογίας και υποδομών, μπορεί να γίνουν πραγματικότητα οχήματα που θα συνδέονται με δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η προώθηση ηλεκτρικών οχημάτων σε ευρεία κλίμακα θα έχει περιορισμένη επίδραση στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ θα ενθαρρύνει την ανάπτυξη «έξυπνων δικτύων».

B. Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα που αφορούν τα ηλεκτρικά οχήματα προέρχονται κυρίως από τους συσσωρευτές και αυτό γιατί μέχρι σήμερα, παρά τη μακρόχρονη πορεία τους, παρουσιάζουν δύο αδύνατα σημεία. Το ένα σχετίζεται με την πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή το λόγο της αποθηκευμένης ενέργειας του συσσωρευτή προς τον όγκο και το βάρος του, η οποία είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με τη βενζίνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζεται η αυτονομία του οχήματος αφού όσο αυξάνει η ενεργειακή ζήτηση απαιτείται και μεγαλύτερος όγκος και βάρος συσσωρευτών. Για παράδειγμα, 1 χιλιόγραμμο βενζίνης έχει ειδική ενέργεια της τάξεως των 12.000 wh. Αντίθετα 1 χιλιόγραμμο από τον καλύτερο συσσωρευτή Νατρίου-Θείου έχει ειδική ενέργεια της τάξεως των 80-85 wh. Το μέγεθος αυτό διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή. Σήμερα, αν και η πυκνότητα ενέργειας έχει βελτιωθεί σημαντικά σε ορισμένα πειραματικά μοντέλα συσσωρευτών, εξακολουθεί να παραμένει ένα από τα βασικά μειονεκτήματα αυτών των στοιχείων αποθήκευσης.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η διάρκεια φόρτισης των συσσωρευτών καθώς μια πλήρης επαναφόρτιση με χαμηλό ρεύμα φόρτισης, ώστε να υπάρχει εκμετάλλευση του νυχτερινού τιμολογίου κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, διαρκεί κάποιες ώρες. Επιπλέον, άλλα προβλήματα, όπως η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, εμποδίζουν την ευρεία εξάπλωση των οχημάτων. Η έρευνα στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων εστιάζεται εκτός των άλλων στο αδύνατο αυτό σημείο. Για την επίλυση των προβλημάτων έχουν προταθεί διάφορες λύσεις όπως νέοι τύποι συσσωρευτών, κατάλληλες κυκλωματικές τοπολογίες φόρτισης, εναλλακτικές μέθοδοι φόρτισης, μέθοδοι διαχείρισης της συστοιχίας των συσσωρευτών. Επίσης, για το μέλλον, η επιστημονική κοινότητα συνεχίζει με εντατικό ρυθμό την έρευνα για ανάπτυξη και εναλλακτικών πηγών ενέργειας όπως οι ενεργειακές κυψέλες.

Επίσης, το ηλεκτρικό όχημα έχει μικρότερες επιδόσεις από το συμβατικό, εξαιτίας της ανεπάρκειας των συσσωρευτών και πολύ μικρότερη αυτονομία σε σχέση με τα συμβατικά.

Ακόμα, το κόστος των συσσωρευτών είναι υψηλό. Μάλιστα, αυτό επηρεάζει αισθητά το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού οχήματος και κάνει δυσκολότερη την αγορά του.

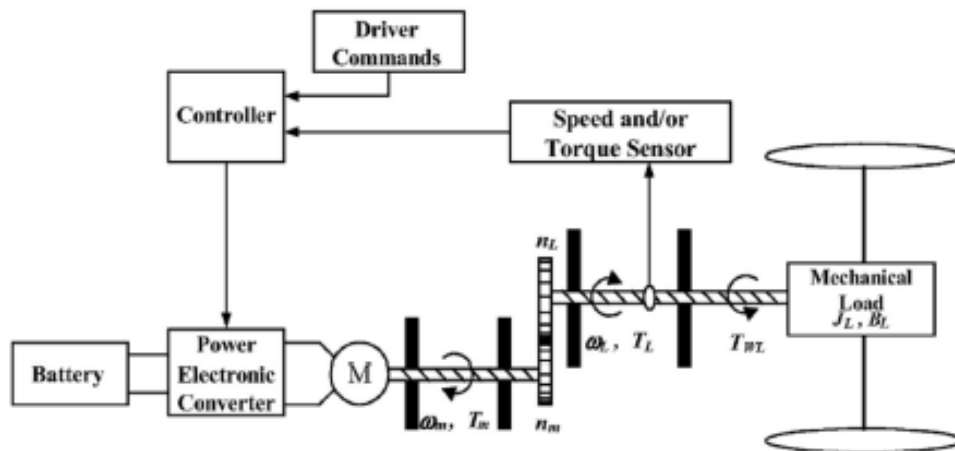
Μια σημαντική δυσκολία στη χρήση του ηλεκτρικού οχήματος είναι η δυσκολία πρόσβασης σε φορτιστή, σε αντίθεση με τους σταθμούς καυσίμων που συναντάμε παντού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τους φορητούς φορτιστές ή τους σταθμούς φόρτισης, που πλέον συναντάμε όλο και συχνότερα σε κάποιες πόλεις του εξωτερικού.

Παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει ο ηλεκτρικός κινητήρας, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι ακόμα σε θέση να ανταγωνιστούν τα συμβατικά οχήματα λόγω της ενεργειακής πηγής τους. Η έρευνα λοιπόν εστιάζεται στην επίλυση τέτοιων προβλημάτων ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να καταστούν ικανά να λειτουργούν ανταγωνιστικά με τα συμβατικά οχήματα.

4.2. Αρχιτεκτονική δομή ηλεκτρικού οχήματος

Η κατασκευή ενός ηλεκτρικού οχήματος έχει αλλάξει σε σχέση με τα πρώτα EV οχήματα, τα οποία προκύπταν από τη μετατροπή των συμβατικών οχημάτων με αντικατάσταση της μηχανής εσωτερικής καύσης και της δεξαμενής καυσίμου από έναν ηλεκτροκινητήρα και ένα συσσωρευτή, με διατήρηση όλων των υπολοίπων διατάξεων. Η προσέγγιση αυτή είχε μειονεκτήματα όπως μεγάλο βάρος, μικρή ευελιξία και μειωμένη απόδοση, γεγονός που οδήγησε προς την εγκατάλειψή της. Αντί αυτού, τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα κατασκευάζονται βάσει νέων και πρωτότυπων σχεδίων για το σύνολο της δομής.

Η δομή ενός τέτοιου ηλεκτρικού οχήματος φαίνεται στα σχήματα 24 και 25. Αποτελείται από ένα συσσωρευτή (Battery), έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα (Power Electronic Converter), έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες (Motor, M) και αισθητήρες ροπής και ταχύτητας (Speed, Torque Sensor). Δεδομένου ότι η προώθηση επιτυγχάνεται μέσω των ηλεκτροκινητήρων, τα EVs θεωρούνται οχήματα μηδενικής εκπομπής ρύπων (Zero Emission Vehicles, ZEVs). Βασικό ρόλο στη λειτουργία αυτού του οχήματος παίζει ο ηλεκτρονικός ελεγκτής (Controller) του όλου συστήματος.

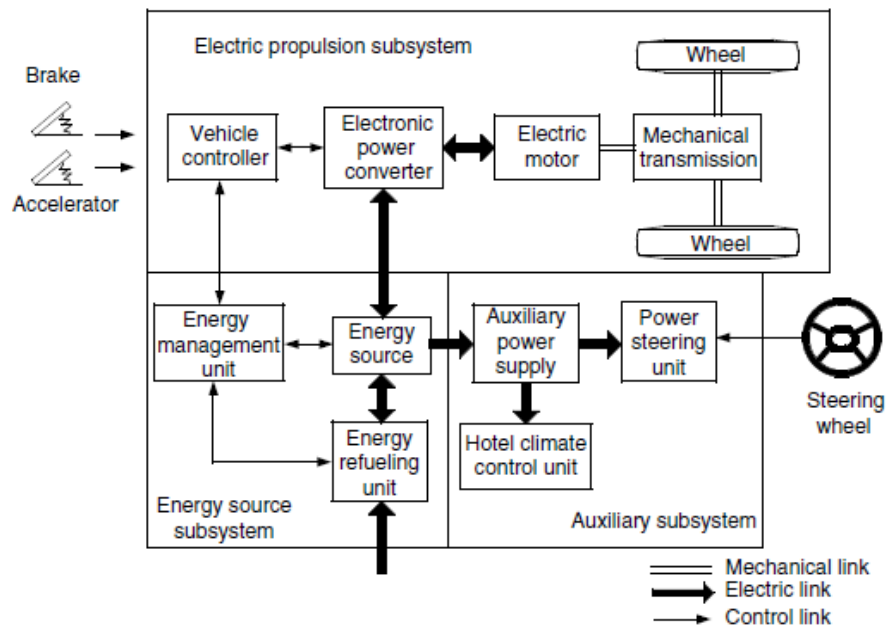


Σχήμα 24 Αρχιτεκτονική δομή ηλεκτρικού οχήματος

Η διαδρομή ισχύος (drive train) του οχήματος αποτελείται από τρία μεγάλα υποσυστήματα: i) την **ηλεκτρική προώθηση** (Electric Propulsion), ii) **την πηγή ενέργειας** (Energy Source) και iii) τα **βοηθητικά συστήματα** (Auxiliary). Το σύστημα ηλεκτρικής προώθησης αποτελείται από έναν ελεγκτή του οχήματος (Vehicle Controller), έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος (Electronic Power Converter), τον ηλεκτροκινητήρα (Electric Motor), το σύστημα μηχανικής μετάδοσης (Mechanical Transmission) και τους τροχούς (Wheel). Το υποσύστημα πηγής ενέργειας περιλαμβάνει την πηγή ενέργειας (Energy Source), τη μονάδα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Unit) και τη μονάδα επαναφόρτισης ενέργειας (Energy Refueling Unit). Τέλος, το βοηθητικό υποσύστημα αποτελείται από τη μονάδα οδήγησης ισχύος (Power Steering Unit), τη μονάδα κλιματικού ελέγχου (Temperature Control Unit) και τη μονάδα βοηθητικής υποστήριξης (Auxiliary Power Supply).

Με βάση τις εισόδους που δέχεται από τα πεντάλ επιτάχυνσης και πέδησης, ο ελεγκτής του οχήματος παρέχει κατάλληλα σήματα ελέγχου στον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος ο οποίος λειτουργεί για να ελέγχει τη ροή ισχύος ανάμεσα στον ηλεκτροκινητήρα και την πηγή ενέργειας. Η αντίστροφη ροή ισχύος

οφείλεται στην εφαρμογή της αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking) και αυτή η επαναπαραγόμενη ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στην πηγή ενέργειας, με την προϋπόθεση ότι η τελευταία είναι σε θέση να την αποθηκεύσει. Οι περισσότεροι συσσωρευτές EV όπως και οι υπερπυκνωτές έχουν την ικανότητα να δέχονται εύκολα επαναπαραγόμενη ενέργεια. Η μονάδα διαχείρισης ενέργειας συνεργάζεται με τον ελεγκτή του οχήματος για να ελέγξει τη διαδικασία της αναγεννητικής πέδησης και την ανάκτηση ενέργειας. Επίσης, συνεργάζεται με τη μονάδα επαναφόρτισης ενέργειας για να ελέγξει τη μονάδα επαναφόρτισης καθώς και τη δυνατότητα χρήσης της πηγής ενέργειας. Η μονάδα βοηθητικής υποστήριξης παρέχει την απαιτούμενη ισχύ στα απαιτούμενα επίπεδα τάσης για όλες τις βοηθητικές διατάξεις του οχήματος.



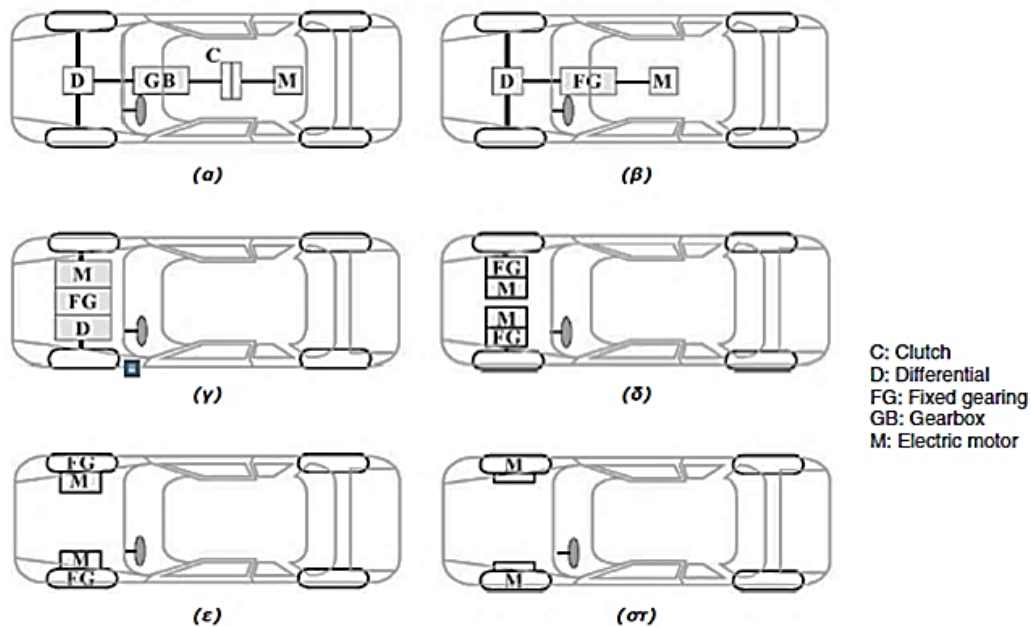
Σχήμα 25 Διασύνδεση συστημάτων σε ένα ηλεκτρικό όχημα

Λόγω των αρκετών παραλλαγών ως προς τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής προώθησης και των πηγών ενέργειας, υπάρχει, κατ' επέκταση, μια ποικιλία πιθανών αρχιτεκτονικών δομών ενός ηλεκτρικού οχήματος όπως φαίνεται στα σχήματα 26.α-στ

- α) Συμβατικός τύπος: Στο σχήμα 26α απεικονίζεται η πρώτη εναλλακτική, στην οποία ένα σύστημα ηλεκτρικής προώθησης αντικαθιστά τη ΜΕΚ ενός συμβατικού οχήματος. Αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα (M), ένα συμπλέκτη (C), ένα κιβώτιο ταχυτήτων (GB) και ένα διαφορικό (D). Ο συμπλέκτης και το κιβώτιο ταχυτήτων μπορούν να αντικατασταθούν από ένα σύστημα αυτόματης μετάδοσης. Ο συμπλέκτης χρησιμοποιείται για να συμπλέξει ή να αποσυμπλέξει την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα από τους τροχούς. Το κιβώτιο ταχυτήτων παρέχει ένα σύνολο σχέσεων για να διαφοροποιήσει το προφίλ ταχύτητας-ισχύος (ροπή) ώστε να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις του φορτίου. Το διαφορικό επιτρέπει στους τροχούς των δύο πλευρών να οδηγούνται με διαφορετικές ταχύτητες όταν το όχημα κινείται σε καμπύλη τροχιά.
- β) Τύπος χωρίς σύστημα μετάδοσης (RF): Με έναν ηλεκτροκινητήρα (M) που παρέχει σταθερή ισχύ σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων, ένα σύστημα σταθερής σχέσης (FG) μπορεί να αντικαταστήσει το κιβώτιο ταχυτήτων και να περιορίσει την ανάγκη για συμπλέκτη (σχήμα

26β). Αυτή η δομή όχι μόνο μειώνει το μέγεθος και το βάρος του μηχανικού συστήματος μετάδοσης αλλά επίσης απλοποιεί και τη συνολική διαδρομή ισχύος, αφού δεν απαιτείται αλλαγή ταχυτήτων.

- γ) Τύπος χωρίς σύστημα μετάδοσης (front engine – front wheel, FF): Ομοίως με την περίπτωση β, ο ηλεκτροκινητήρας (M), το σύστημα σταθερής σχέσης (FG) και το διαφορικό (D) μπορούν να ολοκληρωθούν περαιτέρω σε μια ενιαία διάταξη που μέσω των δύο ημιαξονίων συνδέεται με τους τροχούς οδήγησης (σχήμα 26γ). Η διαδρομή ισχύος απλοποιείται ακόμη περισσότερο και περιορίζεται σε όγκο.
- δ) Τύπος χωρίς διαφορικό: Στο σχήμα 26δ, το μηχανικό διαφορικό αντικαθίσταται από τη χρήση δύο κινητήρων έλξης. Καθένας από αυτούς κινεί τον τροχό μιας πλευράς και λειτουργεί σε διαφορετική ταχύτητα όταν το όχημα κινείται κατά μήκος μιας καμπύλης διαδρομής
- ε) Τύπος εντός τροχού (με σταθερή σχέση): Για να απλοποιηθεί ακόμη περισσότερο η διαδρομή ισχύος, κάθε ηλεκτροκινητήρας μπορεί να ενσωματωθεί με τον τροχό (σχήμα 26ε). Η δομή αυτή λέγεται in-wheel drive. Ένα λεπτό πλανητικό σύστημα σχέσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα και να βελτιώσει τη ροπή του.
- στ) Τύπος εντός τροχού (χωρίς σταθερή σχέση): Αφαιρώντας τελείως κάθε μηχανικό σύστημα σχέσεων ανάμεσα στον ηλεκτροκινητήρα και τον τροχό οδήγησης, ο ρότορας του ηλεκτροκινητήρα συνδέεται απ' ευθείας στον τροχό (σχήμα 26στ). Ο έλεγχος ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα ισοδυναμεί με τον έλεγχο της ταχύτητας του τροχού και άρα του οχήματος. Ωστόσο, αυτή η δομή απαιτεί ηλεκτροκινητήρα με υψηλότερη ροπή για την εκκίνηση και την επιτάχυνση του οχήματος και άρα μεγαλύτερο όγκο.



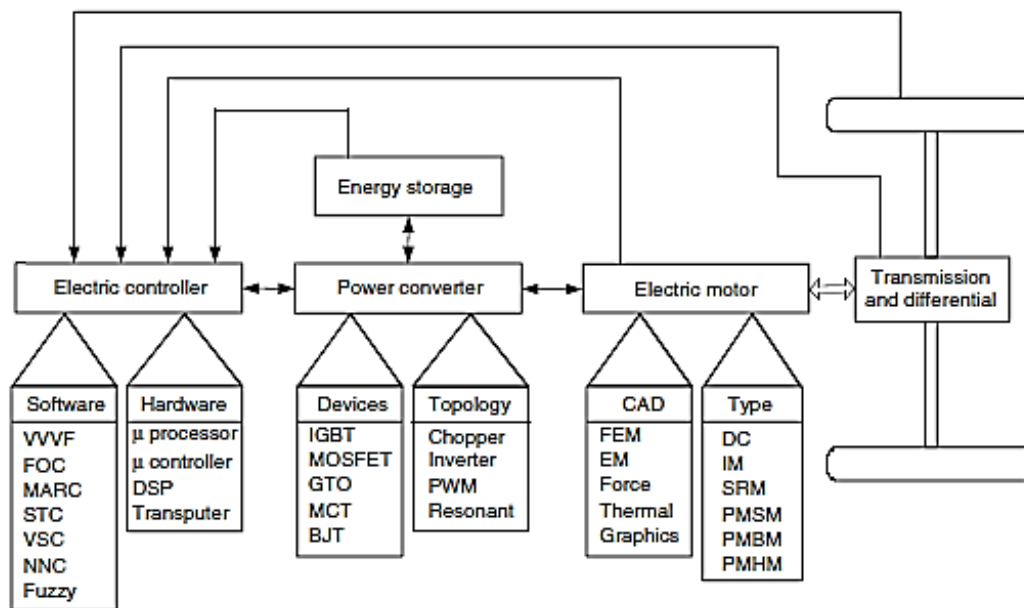
Σχήμα 26 Πιθανές δομές ηλεκτρικού οχήματος

Από τους τύπους που περιγράφηκαν παραπάνω, δεν είναι εύκολο να αποφασίσει κανείς ποιος είναι ο καλύτερος για EVs. Η επιλογή των δομών καθορίζεται από το μέγεθος, το βάρος, την απόδοση και το κόστος του οχήματος.

Κεφάλαιο 5: Υποσυστήματα ηλεκτροκίνητων οχημάτων

5.1. Ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης

Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης αποτελεί την «καρδιά» των ηλεκτρικών (EVs) και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEVs). Αποτελείται από ηλεκτροκινητήρα, μετατροπέα ισχύος και ηλεκτρονικό ελεγκτή. Ο **ηλεκτρικός κινητήρας** μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια για την κίνηση του οχήματος, ή, αντίστροφα, για την ενεργοποίηση της αναγεννητικής πέδησης ή/και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τη φόρτιση του επί του οχήματος μέσου αποθήκευσης ενέργειας. Ο **μετατροπέας ισχύος** χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα με την κατάλληλη τάση και ρεύμα. Ο **ηλεκτρονικός ελεγκτής** δίνει εντολή στον μετατροπέα ρεύματος με παροχή σημάτων ελέγχου σε αυτόν και, στη συνέχεια, ελέγχει τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα ώστε να παράγει την κατάλληλη ροπή και την ταχύτητα, ανάλογα με την εντολή από τη μονάδα. Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε τρεις λειτουργικές μονάδες – τον αισθητήρα, το κύκλωμα διεπαφής και τον επεξεργαστή. Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για να μεταφράσει μετρήσιμες ποσότητες, όπως το ρεύμα, η τάση, η θερμοκρασία, η ταχύτητα, η ροπή και η ροή, σε ηλεκτρικά σήματα μέσω του κυκλώματος διασύνδεσης. Αυτά τα σήματα προετοιμάζονται στο κατάλληλο επίπεδο πριν τροφοδοτηθούν στον επεξεργαστή. Τα σήματα εξόδου του επεξεργαστή συνήθως ενισχύονται μέσω του κυκλώματος διασύνδεσης ώστε να οδηγήσουν τις συσκευές ημιαγωγών ισχύος του μετατροπέα ισχύος. Το λειτουργικό διάγραμμα ενός ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 27 Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης

Η επιλογή των ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης για τα EVs και HEVs εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, μεταξύ των οποίων η προσδοκία του οδηγού (driver expectation), οι περιορισμοί του οχήματος και η πηγή ενέργειας.

Η «προσδοκία του οδηγού» καθορίζεται από ένα προφίλ οδήγησης, το οποίο περιλαμβάνει την επιτάχυνση, τη μέγιστη ταχύτητα, την ικανότητα αναρρίχησης, την πέδηση και το εύρος λειτουργίας. Οι περιορισμοί του οχήματος, συμπεριλαμβανομένου του όγκου και του βάρους, εξαρτώνται από τον τύπο και το βάρος του οχήματος και το ωφέλιμο φορτίο. Η πηγή ενέργειας σχετίζεται με τις μπαταρίες, τις κυψέλες καυσίμου, τους υπερπυκνωτές, τους σφονδύλους και διάφορες υβριδικές πηγές.

Ως εκ τούτου, η διαδικασία προσδιορισμού των προτιμώμενων χαρακτηριστικών για την ηλεκτρική πρόωση πρέπει να διεξάγεται σε επίπεδο συστήματος. Πρέπει να εξεταστεί η αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων και των πιθανών trade-offs.

5.1.1. Ηλεκτρικός κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί το ουσιαστικό τμήμα του μηχανισμού εξοικονόμησης καυσίμου, αφού εξασφαλίζει τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική. Τα απαραίτητα στοιχεία για κάθε ηλεκτροκινητήρα είναι τα εξής:

- Η απαιτούμενη τάση για την τροφοδοσία του σε Volts (V)
- Το είδος του ρεύματος, συνεχές ή εναλλασσόμενο (DC ή AC) και στην περίπτωση του εναλλασσόμενου σε μονοφασικό (1PH) ή τριφασικό (3PH)
- Η συχνότητα του ρεύματος, για την περίπτωση εναλλασσόμενου ρεύματος, σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο κ/δ (c/s) ή Hertz (Hz).
- Η ισχύς του κινητήρα σε Watt (W) ή ίππους (HP)
- Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα σε Ampere (A)
- Η αποκτώμενη ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό (rpm).

Τα στοιχεία αυτά προσδιορίζουν εμπορικά τον κινητήρα και φέρονται χαραγμένα από τους κατασκευαστές σε ειδική ενσωματωμένη πινακίδα στον ηλεκτροκινητήρα, όπως και ο αριθμός της έγκρισης του Υπουργείου Βιομηχανίας για εμπορική διάθεση ή άλλα σύμβολα πιστοποίησης ασφαλούς λειτουργίας.

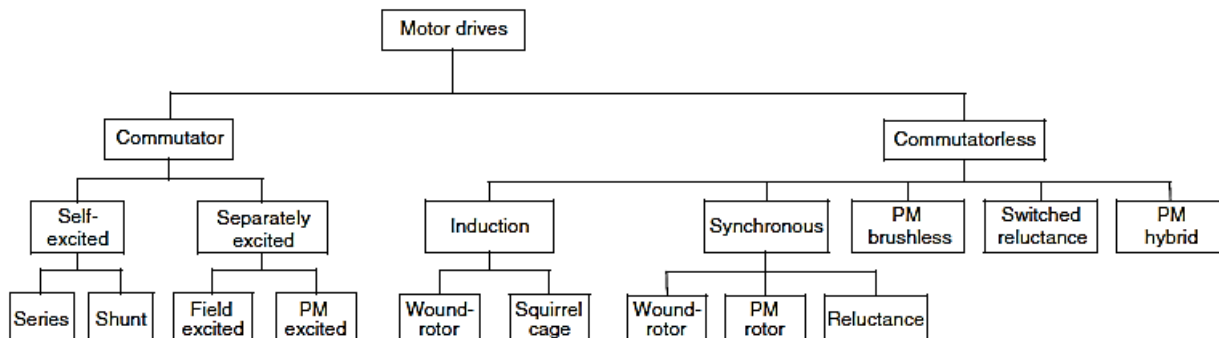


Σχήμα 28 Κατηγοριοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων

Οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε συνεχούς ρεύματος (DC motors) και σε εναλλασσόμενου ρεύματος (AC motors). Οι ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται επιπρόσθετα σε μονοφασικούς και πολυφασικούς. Και οι δυο αυτές κατηγορίες (μονοφασικοί-πολυφασικοί) διακρίνονται στους ασύγχρονους (ή επαγωγικούς) κινητήρες και στους σύγχρονους κινητήρες. Σύγχρονοι κινητήρες είναι οι κινητήρες στους οποίους η μέση ταχύτητα περιστροφής είναι ευθέως ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης εναλλασσόμενης τάσης.

Σε αναντιστοιχία με τις βιομηχανικές εφαρμογές, οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα EVs και HEVs συνήθως απαιτούν συχνές εκκινήσεις και σταματήματα (starts&stops), υψηλούς ρυθμούς επιτάχυνσης/επιβράδυνσης, υψηλής ροπής και χαμηλής ταχύτητας ανάβαση, χαμηλής ροπής και υψηλής ταχύτητας πλοήγηση, καθώς και ένα πολύ μεγάλο φάσμα ταχυτήτων λειτουργίας.

Οι κινητήρες των EVs και HEVs μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες ομάδες, δηλαδή τους κινητήρες με συλλέκτη (commutator motors) και τους κινητήρες χωρίς συλλέκτη (commutatorless motors). Οι κινητήρες με συλλέκτη είναι κυρίως οι παραδοσιακοί **κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC motors)**, που διακρίνονται στους κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης (separately excited), παράλληλης διέγερσης (shunt excited), διέγερσης σειράς (series excited), σύνθετης διέγερσης (compound excited) και τους DC κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη (permanent magnet (PM) excited motors). Οι DC κινητήρες χρειάζονται συλλέκτες (commutators) και ψήκτρες (brushes) για να τροφοδοτήσουν με ρεύμα το τύλιγμα του σπλισμού, γεγονός που τους καθιστά ακατάλληλους και λιγότερο αξιόπιστους για maintenance-free λειτουργία και υψηλή ταχύτητα. Παρ' όλα αυτά, λόγω της ώριμης τεχνολογίας τους και τον απλό έλεγχο, οι DC κινητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά στα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης.



Σχήμα 29 Ταξινόμηση των ηλεκτρικών κινητήρων για EV και HEV εφαρμογές

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν, πρόσφατα, οδηγήσει τους ηλεκτροκινητήρες χωρίς συλλέκτη σε μια νέα εποχή. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους περιλαμβάνουν υψηλότερη απόδοση, υψηλότερη πυκνότητα ισχύος και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Είναι πιο αξιόπιστα και maintenance-free σε σύγκριση με τους DC κινητήρες με συλλέκτη. Έτσι, οι ηλεκτροκινητήρες χωρίς συλλέκτη έχουν, πλέον, γίνει πιο ελκυστική επιλογή.

Οι **κινητήρες επαγωγής (Induction motors)** είναι ευρέως αποδεκτοί ως ένα είδος κινητήρα χωρίς συλλέκτη για την πρόωση EV και HEV οχημάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός του χαμηλού τους κόστους, της υψηλής αξιοπιστίας, και της maintenance-free λειτουργίας. Ειδικά σε σύγκριση με τους DC κινητήρες, οι AC κινητήρες επαγωγής έχουν πρόσθετα πλεονεκτήματα, όπως ελαφριά φύση, μικρό όγκο, χαμηλό κόστος και υψηλή απόδοση, τα οποία είναι μεγάλης σημασίας στις EV και HEV

εφαρμογές. Ωστόσο, οι συμβατικοί τρόποι ελέγχου των κινητήρων επαγωγής όπως αυτός της μεταβλητής τάσης μεταβλητής συχνότητας (Variable-Voltage Variable Frequency - VVVF) δεν μπορεί να παρέχει την επιθυμητή απόδοση. Με την έλευση της εποχής των ηλεκτρονικών ισχύος και των μικροϋπολογιστών, ο έλεγχος προσανατολισμού πεδίου (Field-Oriented Control - FOC) ή ο έλεγχος διανύσματος (vector control) των κινητήρων επαγωγής θεωρείται ότι θα υπερνικήσουν την πολυπλοκότητα του ελέγχου τους λόγω της μη γραμμικότητάς τους. Ωστόσο, οι EV και HEV κινητήρες που χρησιμοποιούν FOC εξακολουθούν να “υποφέρουν” από χαμηλή απόδοση σε μικρά φορτία και περιορισμένη εμβέλεια λειτουργίας σταθερής ισχύος.

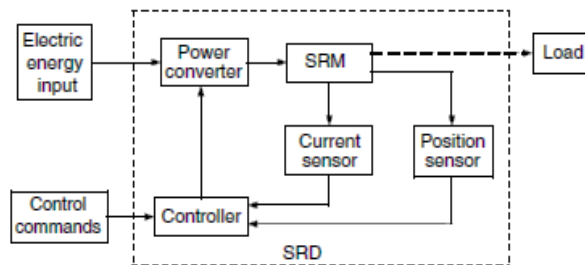
Αντικαθιστώντας το τύλιγμα πεδίου ενός συμβατικού σύγχρονου κινητήρα με μόνιμους μαγνήτες, οι **σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PM synchronous motors - PMSMs)** ή αλλιώς **AC κινητήρες μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες** (permanent magnet (PM) brushless AC motors) μπορούν να εξαλείψουν τις συμβατικές ψήκτρες, τα δαχτυλίδια ολίσθησης, και τις απώλειες χαλκού. Δεδομένου ότι αυτοί οι κινητήρες είναι ουσιαστικά σύγχρονοι κινητήρες, μπορούν να λειτουργήσουν από μια τροφοδοσία διαμόρφωσης ημιτονοειδούς ή τετραγωνικής κυματομορφής (τροφοδοσία PWM) χωρίς ηλεκτρονική μετατροπή. Αυτοί οι κινητήρες είναι γενικά απλοί και φθηνοί, αλλά με σχετικά χαμηλή ισχύ εξόδου. Παρόμοια με τους κινητήρες επαγωγής, οι PM κινητήρες χρησιμοποιούν συνήθως FOC για εφαρμογές υψηλής απόδοσης. Οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη είναι πιο αποτελεσματικοί και πιο εύκολο να ψυχθούν, λόγω της απουσίας απωλειών χαλκού στο ρότορα. Λόγω αυτού καθώς και της έμφυτης υψηλής πυκνότητας ισχύος τους και της υψηλής αποδοτικότητας, οι PMSMs κινητήρες αποτελούν μια αρκετά καλή επιλογή για EV και HEV εφαρμογές.

Πρακτικά, αντιστρέφοντας το στάτη και το ρότορα των PM DC κινητήρων (με συλλέκτη), δημιουργούνται οι **PM DC κινητήρες χωρίς ψήκτρες (PM brushless DC motors)**. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος "DC" ίσως είναι παραπλανητικός, δεδομένου ότι δεν αναφέρεται σε ένα συνεχές ρεύμα του κινητήρα. Στην πραγματικότητα, οι κινητήρες αυτοί τροφοδοτούνται από ορθογωνικό ρεύμα AC, και ως εκ τούτου, είναι επίσης γνωστοί ως **rectangular-fed PM brushless motors**. Το πιο προφανές πλεονέκτημα αυτών των κινητήρων είναι η αφαίρεση των ψηκτρών. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η ικανότητά τους να παράγουν μεγάλη ροπή, εξαιτίας της ορθογωνικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του ρεύματος και της ροής. Επιπλέον, η διαμόρφωση χωρίς ψήκτρες επιτρέπει μεγαλύτερη εγκάρσια διατομή για τα τυλίγματα οπλισμού. Γενικά, συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα των brushless DC κινητήρων είναι η υψηλή αποδοτικότητα, η συμπαγής τους δομή, η ευκολία ελέγχου αλλά και ψύξης, η μικρή ανάγκη συντήρησης, η μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία και ο μικρός θόρυβος. Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται το κόστος, το περιορισμένο εύρος σταθερής ισχύος, η ασφάλεια (λόγω της χρήσης μαγνητών), η απομαγνήτιση του μαγνήτη, η ικανότητα επίτευξης υψηλών ταχυτήτων και οι κίνδυνοι σε περιπτώσεις αποτυχίας του inverter. Ακόμη, να αναφερθεί ότι δεδομένου ότι η αγωγιμότητα της θερμότητας μέσω του πλαισίου είναι βελτιωμένη, μία αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου προκαλεί υψηλότερη πυκνότητα ισχύος. Τέλος, διαφορετικά από τους PM σύγχρονους κινητήρες, οι PM DC κινητήρες χωρίς ψήκτρες γενικά λειτουργούν με αισθητήρες της θέσης του άξονα. Ωστόσο, τελευταία αναπτύσσονται και τεχνολογίες χωρίς τη χρήση αισθητήρων, με την πλειονότητα αυτών να βασίζονται στην ανίχνευση της τάσης, του ρεύματος και της αντι-ηλεκτρεγερτικής δύναμης.

Οι **Switched Reluctance Motors (SRMs)** έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλές ταχύτητες, μαζί με μια περιοχή σταθερής ισχύος μεγάλου εύρους. Αυτοί οι κινητήρες έχουν υψηλή ροπή εκκίνησης και

υψηλή αναλογία ροπής-αδρανείας. Οι SRM κινητήρες έχουν αναγνωριστεί να έχουν σημαντικές δυνατότητες για EV και HEV εφαρμογές. Για τέτοιες εφαρμογές, διαθέτουν τα σαφή πλεονεκτήματα της απλής κατασκευής, του χαμηλού κόστους κατασκευής και των εξαιρετικών χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας. Η απλότητα της κατασκευής, ωστόσο, δεν συνεπάγεται και απλότητα του σχεδιασμού και του ελέγχου τους, που είναι σχετικά δύσκολοι και απαιτούν λεπτότητα. Παραδοσιακά, οι SR κινητήρες λειτουργούν με shaft sensors για να ανιχνεύουν τη σχετική θέση του ρότορα ως προς τον στάτη. Αυτοί οι αισθητήρες είναι συνήθως ευπαθείς σε μηχανικούς κραδασμούς και ευαίσθητοι στη θερμοκρασία και τη σκόνη. Ως εκ τούτου, η παρουσία του αισθητήρα θέσης μειώνει την αξιοπιστία των SR κινητήρων και περιορίζει ορισμένες εφαρμογές. Πλέον, βέβαια, αναπτύσσονται τεχνολογίες χωρίς αισθητήρες, που μπορούν να διασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία από μηδενική ταχύτητα στη μέγιστη ταχύτητα.

Ένα συμβατικό σύστημα κίνησης SRM αποτελείται από τον SRM κινητήρα, τον αντιστροφέα ισχύος, αισθητήρες όπως αισθητήρες τάση, ρεύματος και θέσης, και κύκλωμα ελέγχου όπως ο ελεγκτής DSP και τα περιφερειακά του. Μέσω κατάλληλου ελέγχου, το SRM σύστημα μετάδοσης κίνησης μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση.



Σχήμα 30 SRM σύστημα κίνησης

5.1.2. Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος

Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας είναι το τμήμα εκείνο του συστήματος που μετατρέπει τη συνεχή τάση των συσσωρευτών στα κατάλληλα επίπεδα και μορφή για την τροφοδότηση του κινητήρα. Επιπλέον, μια πολύ σημαντική διεργασία που πραγματοποιεί είναι ο έλεγχος της ροπής και των στροφών του κινητήρα. Η επιλογή του μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα εξαρτάται άμεσα από τον ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος χρησιμοποιείται και άρα πρόκειται να τροφοδοτηθεί. Έτσι, βάσει των κινητήρων που χρησιμοποιούνται (συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος) έχουμε τις παρακάτω επιλογές:

- Μετατροπείς Σ.Τ./Σ.Τ. τύπου chopper με διακοπτικό στοιχείο thyristor και βοηθητικό κύκλωμα για τη σβέση του. Βασικό πλεονέκτημα αυτών είναι η δυνατότητα για έλεγχο μεγάλης ισχύος, ενώ μειονεκτήματα αποτελούν η πολυπλοκότητα και η απαίτηση για μεγάλη επαγωγή εξομάλυνσης.
- Μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφέα (Inverter) με διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation). Δρουν με βάση μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία, η οποία σχετίζεται με την ανοχή σε διακυμάνσεις της τάσεως εισόδου και την καταλληλότητα της μεθόδου για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που τις περισσότερες φορές συνοδεύονται από τη χρήση μικροελεγκτή.

- Μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφέα συντονισμού (Resonant Inverters), με το κύκλωμα συντονισμού να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η μετάβαση στην κατάσταση αγωγής του στοιχείου να γίνεται είτε υπό μηδενική τάση (Zero Voltage Switching-ZVS) είτε υπό μηδενικό ρεύμα (Zero Current Switching - ZCS), μηδενίζοντας έτσι τις διακοπτικές απώλειες. Ταυτόχρονα, οι συγκεκριμένοι μετατροπείς παρουσιάζουν ελάχιστες θερμικές απώλειες, μεγάλη πυκνότητα ισχύος και μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις. Από την άλλη, έχουν αυξημένο κόστος ενώ απαιτείται μια πολύπλοκη διάταξη ελέγχου.

Οι διατάξεις αντιστροφέα μπορούν να οδηγούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που απαιτούν είτε ημιτονοειδή τάση (ασύγχρονος κινητήρας, σύγχρονος κινητήρας) είτε τετραγωνικούς παλμούς (κινητήρας τύπου Brushless, κινητήρας τύπου switched reluctance).

5.2. Πηγές ενέργειας

Ως πηγές ενέργειας στα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα ορίζονται οι συσκευές που αποθηκεύουν ενέργεια, παρέχουν ενέργεια (εκφορτίζονται) και δέχονται ενέργεια από εξωτερική πηγή (φορτίζονται). Υπάρχουν διάφοροι τύποι πηγών ενέργειας που έχουν προταθεί για ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι ηλεκτροχημικοί μετατροπείς (συσσωρευτές ή μπαταρίες), οι υπερπυκνωτές (ultracapacitors, supercapacitors) και οι σφόνδυλοι υπερύψηλων ταχυτήτων (flywheels (μηχανικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας)). Επίσης, υπάρχει και η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) που είναι ένας τύπος μετατροπέων ενέργειας.

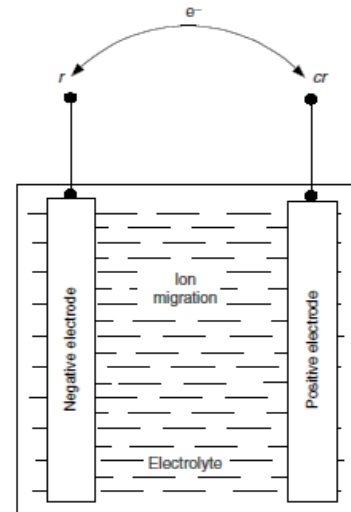
Υπάρχει ένας αριθμός απαιτήσεων για τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε εφαρμογές οχημάτων, όπως η ειδική ενέργεια (specific energy), η ειδική ισχύς (specific power), η απόδοση (efficiency), η συντήρηση (maintenance), η διαχείριση (management), το κόστος (cost), η προσαρμογή και φιλικότητα προς το περιβάλλον (environmental adaptation and friendliness) και η ασφάλεια (safety). Για χρήση σε ηλεκτρικό όχημα, η κυριότερη παράμετρος είναι η ειδική ενέργεια καθώς από αυτήν καθορίζεται η χιλιομετρική αυτονομία του οχήματος. Από την άλλη πλευρά, για εφαρμογές υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων, η ειδική ενέργεια είναι λιγότερο σημαντική σε σχέση με την ειδική ισχύ επειδή η ενέργεια προέρχεται από το βενζινοκινητήρα, ενώ ικανοποιητική ισχύς απαιτείται για να επιτευχθεί καλή απόδοση του οχήματος, ιδιαίτερα κατά την επιτάχυνση, την ανάβαση και την αναγεννητική πέδηση. Περισσότερες απαιτήσεις υπάρχουν αν ληφθεί υπόψη το σύνολο της διαδρομής μετάδοσης ισχύος του οχήματος.

5.2.1. Ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (μπαταρίες)

Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, κοινώς γνωστοί ως μπαταρίες, είναι ηλεκτροχημικές διατάξεις που, λειτουργώντας αμφίδρομα, μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική ενέργεια κατά τη φόρτισή τους και τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική κατά την εκφόρτιση.

Τα ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία τύπων και μεγεθών. Παρόλα αυτά, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις η μπαταρία είναι ένα βασικό συστατικό. Στο κλασικό ηλεκτρικό όχημα, η μπαταρία είναι η μόνη πηγή ενέργειας, και το συστατικό με το μεγαλύτερο κόστος, βάρος και όγκο. Όμοια, στα υβριδικά οχήματα, η μπαταρία είναι επίσης ένα βασικό στοιχείο, μεγάλης σημασίας, που πρέπει συνεχώς να λαμβάνει και να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια.

Μια μπαταρία κατασκευάζεται από ένα ή περισσότερα κελιά (cells), μέσα στα οποία λαμβάνει χώρα μια ηλεκτροχημική αντίδραση. Καθένα από αυτά τα κελιά αποτελείται με τη σειρά του από δύο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο, που αντιδρούν μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη. Αυτά τα στοιχεία είναι στην ουσία οι πόλοι του κελιού. Έτσι, όταν συνδεθεί κάποιο φορτίο στα άκρα του, κλείνει κύκλωμα μέσω του ηλεκτρολύτη και ανταλλάσσονται ηλεκτρόνια μεταξύ ανόδου και καθόδου και η ροή αυτή ηλεκτρονίων εκφράζεται ως ηλεκτρικό ρεύμα. Τα στοιχεία, λοιπόν, μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε (DC) ηλεκτρική ενέργεια. Τα ομαδοποιημένα στοιχεία τοποθετούνται σε μια κατάλληλη θήκη για να δημιουργήσουν μια μονάδα μπαταρίας. Η μπαταρία είναι ο παράλληλος ή σε σειρά συνδυασμός των μονάδων αυτών έτσι ώστε να παρέχει την κατάλληλη τάση, ένταση και ενέργεια στο ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος.



Σχήμα 31 Ένα τυπικό κελί μπαταρίας

Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία είναι η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στην κατάσταση φόρτισης και την κατάσταση εκφόρτισης. Αυτή η διαθέσιμη χημική ενέργεια σε ένα κελί μετατρέπεται, όταν απαιτείται, σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των βασικών συστατικών του στοιχείου που είναι τα ηλεκτρόδια (θετικό και αρνητικό), οι διαχωριστές και οι ηλεκτρολύτες. Τα ηλεκτροχημικά ενεργά συστατικά του θετικού ή του αρνητικού ηλεκτροδίου ονομάζονται ενεργό υλικό. Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα δύο ηλεκτρόδια έχουν ως αποτέλεσμα τη δέσμευση και απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγωγικά και τοποθετούνται σε διαφορετικές περιοχές διαχωριζόμενα από ένα διαχωριστή. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας, οι χημικές αντιδράσεις προκαλούν τη ροή ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Όταν κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα συνδέει τα δύο ηλεκτρόδια τότε “κλείνει κύκλωμα” και είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτρονίων. Τα σημεία σύνδεσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και το εξωτερικό κύκλωμα ονομάζονται πόλοι της μπαταρίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο σε μια ιδανική μπαταρία ισχύει ότι η κίνηση των ηλεκτρονίων παρατηρείται μόνο με την παρουσία εξωτερικού κυκλώματος. Δυστυχώς, πολλές μπαταρίες επιτρέπουν μια μικρή εκφόρτιση εξαιτίας φαινομένων διάχυσης. Γι’ αυτό και δε θεωρούνται ιδιαίτερα καλές για μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η μικρή εκφόρτιση με πόλους ανοιχτού κυκλώματος είναι γνωστή ως αυτό-εκφόρτιση και χρησιμοποιείται, επίσης, ως παράμετρος ποιότητας της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες μπορούν να διαχωριστούν σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες. Μπαταρίες που δεν μπορούν να επαναφορτιστούν και σχεδιάζονται για μία και μόνο χρήση (εκφόρτιση) είναι γνωστές ως πρωτεύουσες μπαταρίες, για παράδειγμα οι μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ρολόγια, κομπιουτεράκια, κλπ. Οι μπαταρίες που μπορούν να επαναφορτιστούν διοχετεύοντας ρεύμα προς την αντίθετη κατεύθυνση αυτής της εκφόρτισης είναι γνωστές ως δευτερεύουσες μπαταρίες. Στην περίπτωση των δευτερευουσών ή επαναφορτιζόμενων μπαταριών, η χημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί με την αντιστροφή του ρεύματος και η μπαταρία να επιστρέψει σε κατάσταση φόρτισης. Ασφαλώς, οι μπαταρίες στα ηλεκτρικά και στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι όλες δευτερεύουσες μπαταρίες, επειδή επαναφορτίζονται κατά την αναγεννητική πέδηση ή με χρήση φορτιστή όταν το όχημα είναι σταματημένο.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσσωρευτών, με την εκάστοτε επιλογή τους να εξαρτάται από τον όγκο, το βάρος, το κόστος κατασκευής και τη χωρητικότητα ενέργειας (σε Wh). Οι τύποι που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα περιγράφονται αμέσως παρακάτω, με περισσότερο βιώσιμες επιλογές τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, τις μπαταρίες με βάση το νικέλιο και τις μπαταρίες βάσης λιθίου :

- **Συσσωρευτές μολύβδου οξέος (Lead acid):** Βασικά τους πλεονεκτήματα είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής, η μεγάλη αξιοπιστία και η σχετικά χαμηλή αυτοεκφόρτιση. Από την άλλη μεριά, έχουν μεγάλο βάρος και κατά συνέπεια μικρή ενεργειακή πυκνότητα, οπότε επιβαρύνουν το όχημα με αρκετά επιπλέον κιλά. Επίσης, μειώνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής τους σε περιπτώσεις ταχείας φόρτισης και σχεδόν πλήρους εκφόρτισης, δηλαδή σε κύκλους φόρτισης που σχετίζονται με τη λειτουργία ενός ηλεκτρικού οχήματος. Τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Specific Energy	20-35 Wh/kg depending on usage
Energy density	54-95Wh/L
Specific Power	~ 250 W/kg before efficiency falls very greatly
Nominal cell voltage	2 V
Amphour efficiency	~ 80%, varies with rate of discharge & temp.
Internal resistance	Extremely low, ~ 0.022Ω per cell for 1 Amphour cell
Commercially available	Readily available from several manufacturers
Operating temperature	Ambient, poor performance in extreme cold
Self-discharge	~ 2% per day
Number of life cycles	Up to 800 to 80% capacity
Recharge time	8h (but 90% recharge in 1h possible)

Πίνακας 2 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών οξέως μολύβδου

- **Συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (Ni-Cd):** Βασικά τους πλεονεκτήματα είναι η ικανοποιητική ενεργειακή τους πυκνότητα σε σχέση με το βάρος τους, η ανοχή της συμπεριφοράς τους σε μεταβολές της θερμοκρασίας καθώς και η ταχεία τους φόρτιση. Από την άλλη μεριά, έχουν υψηλό κόστος κατασκευής και με την ολοκλήρωση της διάρκειας ζωής τους θα πρέπει να υπάρχει πρόληψη για τη συλλογή και την απόρριψη του καδμίου, το οποίο είναι τοξικό υλικό και ιδιαίτερα επιβλαβές για το περιβάλλον.

Specific Energy	40-55 Wh/kg depending on current
Energy density	70-90Wh/L depending on current
Specific Power	~ 125 W/kg before becoming very inefficient
Nominal cell voltage	1.2 V
Amphour efficiency	Good
Internal resistance	Very low, ~ 0.06Ω per cell for 1 Amphour cell
Commercially available	Good in smaller sizes, difficult for larger batteries
Operating temperature	-40°C to +80°C
Self-discharge	~ 0.5% per day, very low
Number of life cycles	1200 to 80% capacity
Recharge time	1h rapid charge to 60% capacity 20mins

Πίνακας 3 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών νικελίου - καδμίου

- **Συσσωρευτές νικελίου-μετάλλου υδριδίου (Ni-Mh):** Παρουσιάζουν επίσης υψηλή ενεργειακή πυκνότητα ενώ είναι σημαντική για την επιλογή τους η μεγάλη διάρκεια ζωής που τους διακρίνει. Στα βασικά τους μειονεκτήματα περιλαμβάνεται η μικρή τους ανοχή στις μεταβολές της θερμοκρασίας και το υψηλό κόστος κατασκευής. Η εκτεταμένη χρήση τους μέχρι σήμερα στα υβριδικά αυτοκίνητα δύναται να τους προσδώσει γενικότερη αξιοπιστία για τέτοιου είδους εφαρμογές. Η διαφορά τους σε σχέση με τους συσσωρευτές νικελίου-καδμίου είναι ότι έχει αντικατασταθεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο και αντί για κάδμιο χρησιμοποιείται υδρίδιο μετάλλου, το οποίο δεν είναι τοξικό.

Specific Energy	~65 Wh/kg depending on power
Energy density	~150 Wh/L
Specific Power	200 W/kg
Nominal cell voltage	1.2 V
Amphour efficiency	Quite Good
Internal resistance	Very low, ~ 0.06Ω per cell for 1 Amphour cell
Commercially available	A good range of small cells, traction batteries difficult to obtain
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	Poor, up to 5% per day
Number of life cycles	~1000 to 80% discharge
Recharge time	1h rapid charge to 60% capacity 20mins

Πίνακας 4 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών νικελίου - μετάλλου υδριδίου

- **Συσσωρευτές νικελίου – χλωριούχου νατρίου (Ni-NaCl):** Οι συσσωρευτές αυτοί είναι γνωστοί ως συσσωρευτές “ZEBRA” (Zero Emissions Battery Research Association). Λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες (300-350 °C), καλύπτοντας, όμως, τις συνθήκες ασφαλείας που απαιτούνται στην Ευρώπη. Η θερμική απομόνωση επιτυγχάνεται με χρήση διπλού στρώματος μεταλλικού κουτιού, διακένου 2-3cm το οποίο είναι εκκενωμένο από αέρα. Οι μπαταρίες αυτές, εκτός κι αν μένουν ανενεργές για χρονικό διάστημα λίγων ωρών, χρειάζεται να παραμένουν θερμές κατά τη μη χρήση τους. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα, καθώς είναι πιθανό να χάσουν περίπου 10% της ενέργειάς τους μέσα σε μια μέρα.

Specific Energy	100 Wh/kg
Energy density	150 Wh/L
Specific Power	150 W/kg
Nominal cell voltage	~2 V average (2.5 V when fully charged)
Amphour efficiency	Very high
Internal resistance	Very low, but higher at low levels of charge
Commercially available	Available commercially but very few suppliers
Operating temperature	300-350°C
Self-discharge	When not in use energy must be continually used to keep the battery up to temperature, corresponding to a self-discharge of about 10% per day
Number of life cycles	>1000
Recharge time	8 h

Πίνακας 5 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών νικελίου - χλωριούχου νατρίου

- **Συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion):** Οι συσσωρευτές αυτού του τύπου εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1990. Το βασικότερο πλεονέκτημά τους ως προς τα άλλα είδη μπαταριών είναι η μεγάλη τιμή της ειδικής ενέργειας, κάτι που τις καθιστά ελαφρύτερες για δεδομένη ισχύ. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι σχετικά μικρός (10% ανά μήνα), ενώ απαιτείται ακριβής έλεγχος της τάσης κατά τη διαδικασία φόρτισης καθώς εάν η τάση ξεπεράσει κάποιο όριο μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του συσσωρευτή. Επίσης, η έκθεσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει παραγωγή αναθυμιάσεων και ανάφλεξη των συσσωρευτών. Για αυτό, χρησιμοποιούνται κυκλώματα ασφαλείας για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας τους. Τέλος, το κόστος αυτών των μπαταριών είναι αρκετά υψηλό.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χωρίζονται, με βάση το υλικό κατασκευής της ανόδου, σε τέσσερις υποκατηγορίες: τους συσσωρευτές λιθίου-οξειδίου κοβαλτίου, λιθίου-οξειδίου μαγγανίου, τριών στοιχείων, και λιθίου-φωσφορικού σιδήρου (LiFePO₄). Το οξείδιο του κοβαλτίου είναι το επικρατέστερο αυτή τη στιγμή υλικό κατασκευής της ανόδου σε μπαταρίες που συναντάμε σε καταναλωτικά προϊόντα. Υπερέχει σε ενεργειακή πυκνότητα, αλλά δεν τα καταφέρνει τόσο καλά στον τομέα της θερμικής ευστάθειας (ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς είναι υπαρκτός) ενώ και ο κύκλος ζωής τους είναι σχετικά μέτριος. Οι μπαταρίες λιθίου-οξειδίου μαγγανίου επιδεικνύουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα, αλλά η απόδοσή τους πέφτει με την άνοδο της θερμοκρασίας και δεν θεωρούνται οι καλύτερες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Οι μπαταρίες τριών στοιχείων έχουν μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, αλλά η απόδοσή τους πέφτει στις πολύ ψηλές και τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι μπαταρίες λιθίου-φωσφορικού σιδήρου έχουν σχετικά μικρή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά υπερέρχουν στον τομέα της ασφάλειας, κοστίζουν λιγότερο ενώ διαθέτουν και ιδιαίτερα μεγάλο κύκλο ζωής.

Specific Energy	90 Wh/kg
Energy density	153 Wh/L
Specific Power	300 W/kg
Nominal cell voltage	3.5 V
Amphour efficiency	Very good
Internal resistance	Very low
Commercially available	Only in very small cells not suitable for electric vehicles
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	Very low, ~ 10% per month
Number of life cycles	>1000
Recharge time	2-3 h

Πίνακας 6 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών ιόντων λιθίου

- **Συσσωρευτές λιθίου πολυμερούς (Li-Po):** Το είδος αυτό παρουσιάστηκε το 1996 και αποτελεί εξέλιξη των συσσωρευτών ιόντων λιθίου, πλεονεκτώντας ως προς το σχεδιασμό. Οι συσσωρευτές αυτοί παρουσιάζουν, γενικά, καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τους Li-ion, έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, τίθενται και εξετάζονται κάποια θέματα ασφαλείας.

Η δυνατότητα να τροφοδοτήσουν επαρκώς ένα ηλεκτροκίνητο μοντέλο, αποδείχθηκε στους παγκόσμιους αγώνες του 2003, όπου ο Leon Schullman, διαγωνίστηκε με ένα μοντέλο τύπου 2X2, βάρους 5 κιλών, που αντί για τον ενδεδειγμένο θερμικό κινητήρα 1.40-1.60 cu.in. είχε ηλεκτρικό μοτέρ. Αυτός τροφοδοτήθηκε με μία μπαταρία Li-Po 10S3P αποτελούμενη από στοιχεία 2000mAh, παρέχοντας ονομαστική τάση 37 Volts, και χωρητικότητα 6000 mAh, και είχε βάρος 1,2 κιλά.

Specific Energy	130-200 Wh/kg
Energy density	300 Wh/L
Specific Power	up to 7.1 kW/kg
Nominal cell voltage	3.7 V
Self-discharge	Very low, 5% per month
Number of life cycles	>1000
Recharge time	~1 h

Πίνακας 7 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών πολυμερών λιθίου

- **Συσσωρευτές θειούχου νατρίου (Na-S):** Οι μπαταρίες νατρίου-θείου έχουν μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, υψηλό βαθμό απόδοσης κατά τη φόρτιση/εκφόρτιση (89-92%), μεγάλο κύκλο ζωής και σχετικά χαμηλό κόστος. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι ιδιαίτερα ψηλή (300 έως 350 °C) ενώ για τη σωστή λειτουργία τους απαιτείται προθέρμανσή τους. Κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας τους για περισσότερο από μία ημέρα θα πρέπει να διατηρούνται θερμές σε ορισμένη θερμοκρασία. Ως προς τη χρήση τους σε υβριδικά οχήματα, η εμπορική τους προώθηση έχει ανασταλεί εξαιτίας της μη πλήρους κάλυψης των συνθηκών ασφαλείας, μιας και υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης.

Specific Energy	100 Wh/kg (Potentially 200 Wh/kg)
Energy density	150 Wh/L
Specific Power	200 W/kg
Nominal cell voltage	2 V
Amphour efficiency	Very good
Internal resistance	Broadly similar to NiCad
Commercially available	Not on the market at all
Operating temperature	300-350°C
Self-discharge	Quite low, but when not in use energy must be supplied to keep the battery warm
Number of life cycles	~ 1000 to 80 % capacity
Recharge time	8 h

Πίνακας 8 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών θειούχου νατρίου

- **Συσσωρευτές αέρος – αλουμινίου (Al(OH)):** Οι συσσωρευτές αέρος μετάλλου αποτελούν μία διαφορετική κατηγορία συσσωρευτών, με την έννοια ότι η φόρτισή τους δεν επιτυγχάνεται απλά με την αντιστροφή του ρεύματος. Αντί αυτού, απαιτείται αντικατάσταση του μεταλλικού ηλεκτροδίου από καινούριο. Το παλιό ηλεκτρόδιο έπειτα αποστέλλεται προς επεξεργασία για επαναχρησιμοποίηση. Επίσης, ο ηλεκτρολύτης του συσσωρευτή χρειάζεται και αυτός αντικατάσταση. Το μειονέκτημα των μπαταριών αέρος αλουμινίου είναι η μικρή ειδική ισχύς, γεγονός που τις κάνει αρκετά βαριές και γι' αυτό δεν ενδείκνυνται άμεσα για οχήματα κίνησης.

Specific Energy	225 Wh/kg (Potentially 200 Wh/kg)
Energy density	195 Wh/L
Specific Power	10 W/kg
Nominal cell voltage	1.4 V
Amphour efficiency	N/A
Internal resistance	Rather high, hence low power
Commercially available	Stationary systems only available
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	Very high (>10% per day) normally, but the electrolyte can be pumped out, which makes it very low
Number of life cycles	1000 or more
Recharge time	10 min, while the fuel is replaced

Πίνακας 9 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών αέρος - αλουμινίου

- **Συσσωρευτές αέρος – ψευδαργύρου (Zn(OH)):** Πρόκειται για συσσωρευτές ίδιας δομής με τους προηγούμενους, αλλά έχει αντικατασταθεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο από ψευδάργυρο. Η συνολική απόδοση είναι πολύ καλύτερη και αυτό οφείλεται κυρίως στην ειδική ισχύ η οποία είναι δέκα φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με τις μπαταρίες αέρος μετάλλου. Για αυτό το λόγο θεωρείται καλή λύση για τα οχήματα δρόμου. Από την άλλη μεριά, οι περισσότεροι κατασκευαστές αυτού του τύπου μπαταριών δίνουν μικρό κύκλο επαναφορτίσεων. Ο τρόπος επαναφόρτισης παραμένει ο ίδιος όπως πριν, με αντικατάσταση των αρνητικών ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή ενεργειακής πυκνότητας, αλλά ακόμα θεωρείται δύσκολη η κατασκευή μεγάλων μπαταριών τέτοιου τύπου.

Specific Energy	230 Wh/kg
Energy density	270 Wh/L
Specific Power	105 W/kg
Nominal cell voltage	1.2 V
Amphour efficiency	N/A
Internal resistance	Medium
Commercially available	A very few suppliers
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	High, as electrolyte is left in cell
Number of life cycles	>2000
Recharge time	10 min, while the fuel is replaced

Πίνακας 10 Ονομαστικά μεγέθη μπαταριών αέρος - ψευδαργύρου

Η μπαταρία σε ένα ηλεκτρικό ή υβριδικό ηλεκτρικό όχημα και μια μπαταρία σε ένα συμβατικό όχημα χρησιμοποιούνται διαφορετικά. Ο βασικός σκοπός της μπαταρίας σε ένα συμβατικό όχημα είναι να παρέχει μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα προς τον εκκινητή (μίζα) ώστε να εκκινήσει το όχημα. Πρόκειται για έναν τύπο μπαταρίας που συνήθως καλείται μπαταρία εκκίνησης (starting ή starter battery). Από την εκκίνηση του οχήματος και μετά, η τροφοδοσία των ηλεκτρικών συστημάτων γίνεται μέσω του εναλλακτήρα (ή δυναμό σε παλαιότερα οχήματα). Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, ωστόσο, οι μπαταρίες παρέχουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα προς τον/τους ηλεκτροκινητήρα/ες

για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη πολύ ισχυρότερων μπαταριών για ένα ηλεκτροκίνητο όχημα σε σχέση με ένα συμβατικό.

Μια μπαταρία εκκίνησης είναι επίσης απαραίτητη και στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα σε συνδυασμό με μια μπαταρία υψηλής τάσης (high voltage battery, HVB). Η μπαταρία εκκίνησης χρησιμοποιείται για να εκκινήσει το βενζινοκινητήρα ενώ η μπαταρία υψηλής τάσης για να τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ή κάποια περιφερειακά ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά συστήματα. Σε αυτά τα οχήματα η μπαταρία εκκίνησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την τροφοδοσία άλλων συστημάτων όπως για παράδειγμα το σύστημα φωτισμού. Όπως γίνεται κατανοητό, σε ένα ηλεκτρικό όχημα ή σε ένα όχημα με κυψέλες καυσίμου δε χρειάζεται η μπαταρία εκκίνησης. Οι βασικές ενεργειακές πηγές σε αυτά τα οχήματα είναι μπαταρίες υψηλής τάσης όπως αυτές των υβριδικών οχημάτων.

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα χρειάζονται μπαταρίες υψηλής ενέργειας, υψηλής ισχύος, αλλά επιπλέον και μπαταρίες με δυνατότητα συχνής πλήρους εκφόρτισης ή πλήρους φόρτισης. Πρόκειται για τη λεγόμενη **βαθιά εκφόρτιση** (deep cycling). Μια μπαταρία με αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης και τέτοιες μπαταρίες τείνουν να έχουν μικρότερη στιγμιαία ισχύ από μια μπαταρία εκκίνησης αλλά μπορούν να προσδώσουν ηλεκτρική ενέργεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα καθώς και να υποστούν περισσότερες βαθιές εκφορτίσεις.

5.2.1.1. Παράμετροι μπαταριών

Για τη μέτρηση και σύγκριση των χαρακτηριστικών μεγέθους και βάρους των διαφόρων τύπων συσσωρευτών χρησιμοποιούνται κάποια τυποποιημένα μεγέθη, με χαρακτηριστικά τα:

- **Ογκομετρική Πυκνότητα Ενέργειας** (Volumetric Energy Density) η οποία εκφράζεται σε Wh/l (Βατώρες ανά λίτρο όγκου)
- **Ογκομετρική Πυκνότητα Ισχύος** (Volumetric Power Density) η οποία εκφράζεται σε W/l (Βατ ανά λίτρο όγκου)
- **Βαρυμετρική Πυκνότητα Ενέργειας** (Gravimetric Energy Density) η οποία εκφράζεται σε Wh/kg (Βατώρες ανά χιλιόγραμμο μάζας)
- **Βαρυμετρική Πυκνότητα Ισχύος** (Gravimetric Power Density) η οποία εκφράζεται σε W/kg (Βατ ανά χιλιόγραμμο μάζας)

Τύπος Συσσωρευτή	Πυκνότητα Ενέργειας (Wh/kg)	Αναλογία Ισχύος/Βάρους (W/kg)	Κόστος ενέργειας (Wh/\$)	Τάση κυψάρου (V)
lead-acid	30-40	180	7-18	2
Ni-Cd	40-60	150	5-10	1.2
Ni-MH	30-80	250-1000	2,75	1.2
Li-ion	100-160	250-340	1,5	3.7

Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά λειτουργίας συσσωρευτών κατάλληλων για ηλεκτρικά οχήματα

Γενικά, τα πιο σημαντικά μεγέθη χαρακτηρισμού ενός συσσωρευτή αναφέρονται παρακάτω:

A. Τάσεις στοιχείων και μπαταρίας

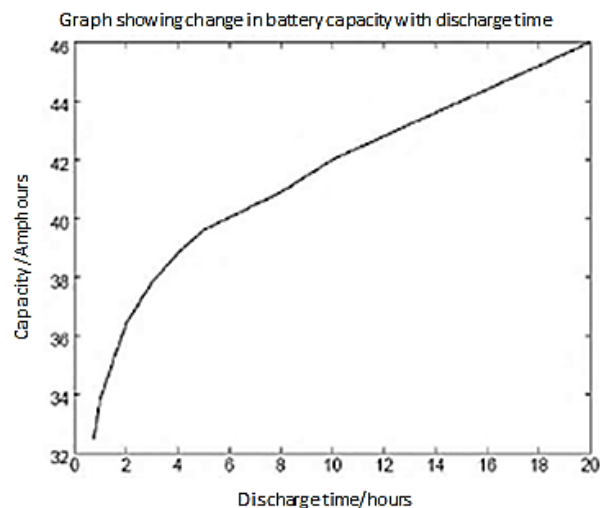
Η τάση στοιχείου, η πρώτη παράμετρος που εξετάζει κανείς όταν ασχολείται με μπαταρίες, είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται ανάμεσα στις θετικές και τις αρνητικές πλάκες μέσα στον ηλεκτρολύτη. Εξαρτάται από τα υλικά των πλακών, τον ηλεκτρολύτη και τη συγκέντρωσή του. Είναι μια παράμετρος που δεν παραμένει πάντα σταθερή αλλά εξαρτάται από την κατάσταση φόρτισης και τη θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου έχει οριστεί στα 2V. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι η τάση που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της ονομαστικής τάσης ενός στοιχείου με τον αριθμό των στοιχείων που απαρτίζουν το σύνολο της μπαταρίας.

Στα ηλεκτρικά οχήματα, οι τάσεις των μπαταριών ΥΤ είναι από 100V μέχρι 600V. Επίσης, στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στην παγκόσμια αγορά η ονομαστική τάση των μπαταριών ΥΤ κυμαίνεται από 200V περίπου μέχρι 350V περίπου.

B. Χωρητικότητα μπαταρίας (Capacity)

Η χωρητικότητα της μπαταρίας αφορά το ηλεκτρικό φορτίο που αυτή μπορεί να παρέχει. Πρόκειται, όπως εύκολα γίνεται κατανοητό, για την πιο κρίσιμη παράμετρο. Πιο συγκεκριμένα, ως χωρητικότητα μιας μπαταρίας θεωρείται η ποσότητα των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων που παράγονται από το ενεργό υλικό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και καταναλώνονται από το θετικό ηλεκτρόδιο και έχει ως μονάδα μέτρησης το Coulomb (C). Ένα Coulomb είναι το ηλεκτρικό φορτίο που μεταφέρεται από ρεύμα έντασης 1 Ampère (A) σε ένα δευτερόλεπτο. Επειδή, ωστόσο, η μονάδα αυτή είναι γενικά μικρή, εναλλακτικά χρησιμοποιείται η Ah (1Ah = 3600C), δηλαδή το φορτίο που μεταφέρεται από ρεύμα έντασης 1A σε μια ώρα. Αν, για παράδειγμα, η χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι 10Ah, τότε αυτή μπορεί να παρέχει ρεύμα έντασης 1A για 10 ώρες, ή 2A για 5 ώρες, ή στη θεωρία 10A για 1 ώρα.

Στην πράξη, ενώ μια μπαταρία μπορεί να είναι σε θέση να παρέχει ρεύμα έντασης 1A για 10 ώρες, εάν απορροφώνται από αυτήν 10A, θα διαρκέσει λιγότερο από μια ώρα. Η χωρητικότητα των μεγάλων μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα αναφέρεται συνήθως σε εκφόρτιση 5 ωρών. Ο τρόπος που επηρεάζεται η χωρητικότητα σε σχέση με το αν η εκφόρτιση της μπαταρίας είναι αργή ή γρήγορη παρουσιάζεται στο διπλανό διάγραμμα, το οποίο αναφέρεται σε μια μπαταρία με ονομαστική τιμή 100 Ah. Να σημειωθεί ότι εάν το φορτίο αφαιρείται σε μια ώρα, η χωρητικότητα μειώνεται σε περίπου 70 Ah. Αντίθετα, εάν το ρεύμα απορροφάται πιο αργά, έστω 20 ώρες, η χωρητικότητα αυξάνει σε περίπου 110 Ah. Αυτή η αλλαγή στην ικανότητα εμφανίζεται λόγω των ανεπιθύμητων δευτερευουσών αντιδράσεων μέσα στην κυψέλη. Η επίδραση αυτού του φαινομένου, τα αποτελέσματα του οποίου είναι σημαντικό να μπορούν να προβλεφθούν, είναι πιο αξιοπρόσεκτη στην μπαταρία μολύβδου οξέος, αλλά γενικά εμφανίζεται σε όλους τους τύπους.



Σχήμα 32 Μεταβολή της χωρητικότητας μπαταρίας ανάλογα με το χρόνο εκφόρτισης

Η θεωρητική χωρητικότητα (Q) μιας μπαταρίας σε Ah δίνεται από τη σχέση:

$$Q = xnF$$

όπου x ο αριθμός των γραμμομορίων (moles) του ενεργού υλικού που σχετίζεται με την εκφόρτιση της μπαταρίας, n ο αριθμός των ηλεκτρονίων που παράγονται από την αντίδραση εκφόρτισης του αρνητικού ηλεκτροδίου και $F = Le_0$ η σταθερά του Faraday ($F = 96412.2C/mol$)

Η θεωρητική χωρητικότητα σε Ah δίνεται από τη σχέση

$$Q = 0,275F \frac{m_R n}{M_M}$$

Όπου m_R η μάζα (σε kg) του ενεργού υλικού και M_M η μοριακή μάζα (σε gr/mol) του ενεργού υλικού.

Γ. Ρυθμός εκφόρτισης (Discharge rate)

Ο ρυθμός εκφόρτισης είναι το ηλεκτρικό ρεύμα με το οποίο εκφορτίζεται μια μπαταρία και εκφράζεται ως ρυθμός Q/h όπου Q η χωρητικότητα της μπαταρίας και h είναι ο χρόνος εκφόρτισης σε ώρες. Για μια μπαταρία με χωρητικότητα Q (Ah) που εκφορτίζεται σε χρόνο Δt , ο ρυθμός εκφόρτισης είναι $Q/\Delta t$.

Δ. Κατάσταση φόρτισης (State of Charge)

Η κατάσταση φόρτισης (SoC) είναι η τρέχουσα χωρητικότητα της μπαταρίας. Πρόκειται για την ποσότητα φορτίου που απομένει μετά την εκφόρτιση από την πλήρη φόρτιση.

Η στιγμιαία κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δίνεται από τη σχέση:

$$SoC(t) = Q_T - \int_0^t i(t) dt$$

Ε. Κατάσταση εκφόρτισης (State of Discharge)

Η κατάσταση εκφόρτισης (SoD) είναι ένα μέτρο του φορτίου που απομακρύνεται από τη μπαταρία και μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

$$SoD(t) = \int_0^t i(t) dt = Q_T - SoC(t)$$

ΣΤ. Βάθος φόρτισης (Depth of Discharge)

Το βάθος εκφόρτισης (DoD) είναι το ποσοστό χωρητικότητας της μπαταρίας ως προς το οποίο έχει εκφορτιστεί η μπαταρία κατά τη χρήση της. Μπορεί να υπολογιστεί μέσω της σχέσης:

$$DoD(t) = \frac{Q_T - SoC(t)}{Q_T} 100\% = \frac{\int_0^t i(t) dt}{Q_T} 100\%$$

Εκφόρτιση μιας μπαταρίας σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της χωρητικότητας ονομάζεται **βαθιά εκφόρτιση** (deep discharge).

Z. Ειδική ενέργεια (Specific Energy)

Ως ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας ορίζεται η ενεργειακή χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους της μπαταρίας (**Wh/kg**). Η θεωρητική ειδική ενέργεια είναι η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα μάζας του ενεργού υλικού. Οι πρακτικές τιμές που προκύπτουν, ωστόσο, είναι αρκετά χαμηλότερες από τα θεωρητικά μέγιστα. Εκτός από τους διάφορους περιορισμούς που τείνουν να μειώσουν την τάση του στοιχείου και εμποδίζουν την πλήρη χρήση του ενεργού υλικού, οι κατασκευαστικές ανάγκες της μπαταρίας προσθέτουν στο βάρος της χωρίς όμως να προσφέρουν τίποτα στην παραγόμενη ενέργεια.

Σύστημα	Θεωρητική SE (Wh/kg)	Πρακτική SE (Wh/kg)	Κύκλοι ζωής	Αυτό-εκφόρτιση (% ανά 48h)
Μολύβδου-οξέος	170	35-50	500-1000	0.6
Νικελίου-καδμίου	217	50-60	800	1
Νικελίου-μετάλλου υβριδίου	387	70-95	750-1200	6
Ιόντων λιθίου	320	80-130	1000+	0.7

Πίνακας 12 Στοιχεία Ειδικής Ενέργειας Μπαταριών για εφαρμογές αυτοκίνησης

Για να γίνει το παραπάνω πιο κατανοητό και για να αξιολογηθεί το επίπεδο διαφοράς ανάμεσα στις τιμές της πρακτικής και της θεωρητικής ειδικής ενέργειας μιας μπαταρίας, εξετάζεται το παράδειγμα της μπαταρίας μολύβδου οξέος. Αξίζει, λοιπόν, να αναφερθεί ότι μόνο το 26% του συνολικού βάρους της μπαταρίας συμμετέχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (45Wh/kg από τη θεωρητική τιμή των 170Wh/kg). Το υπόλοιπο ποσοστό σχετίζεται με το τμήμα του ενεργού υλικού που δεν εκφορτίζεται με το ρυθμό που απαιτεί το ηλεκτρικό όχημα, νερό, που χρησιμοποιείται για τον ηλεκτρολύτη, πλέγματα μολύβδου για τη συλλογή ρεύματος, υλικά για τους πόλους και τους συνδέσμους της μπαταρίας και περίβλημα και διαχωριστές.

H. Ειδική ισχύς (Specific Power)

Ως ειδική ισχύς μιας μπαταρίας ορίζεται η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους της μπαταρίας που μπορεί να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η ειδική ισχύς είναι σημαντική για τη μείωση του βάρους της μπαταρίας ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ισχύ, όπως τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Η ειδική ισχύς μιας μπαταρίας εξαρτάται κυρίως από την εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας. Με βάση το κυκλωματικό μοντέλο μπαταρίας, η μέγιστη ισχύς που μπορεί να προσδώσει η μπαταρία στο φορτίο είναι:

$$P_{peak} = \frac{V_o^2}{4(R_{ohm} + R_{int})}$$

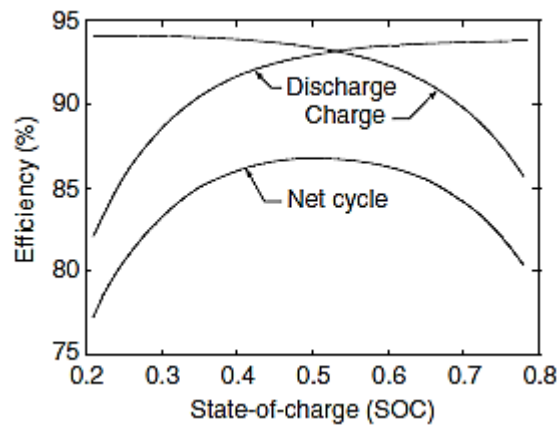
Όπου R_{ohm} η ωμική αντίσταση του αγωγού και R_{int} η εσωτερική αντίσταση που προκαλείται από χημική αντίδραση.

I. Ενεργειακή απόδοση

Οι απώλειες ενέργειας ή ισχύος κατά την εκφόρτιση ή τη φόρτιση εμφανίζονται με τη μορφή απώλειας τάσης. Έτσι, η απόδοση της μπαταρίας κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της τάσης λειτουργίας του κελιού προς τη θερμοδυναμική τάση, δηλαδή:

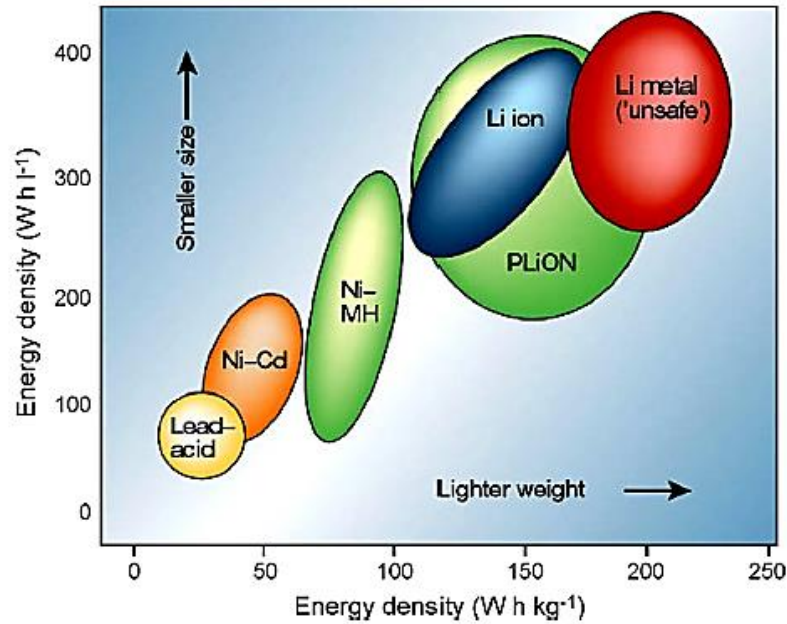
$$\text{εκφόρτιση:} \quad n = \frac{V}{V_o}$$

$$\text{φόρτιση:} \quad n = \frac{V_o}{V}$$



Σχήμα 33 Τυπική απόδοση φόρτισης και εκφόρτισης μπαταρίας

Η τάση των πόλων, ως συνάρτηση του ρεύματος και της ενέργειας που αποθηκεύεται στη μπαταρία ή την κατάσταση φόρτισης, είναι χαμηλότερη στην εκφόρτιση και ψηλότερη στη φόρτιση από το ηλεκτρικό δυναμικό που αναπτύσσεται από μια χημική αντίδραση. Στο σχήμα 33 απεικονίζεται η απόδοση της μπαταρίας μολύβδου οξέος κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και της φόρτισης ως συνάρτηση της κατάστασης φόρτισης (SoC). Η μπαταρία έχει υψηλή απόδοση εκφόρτισης με υψηλό SoC και υψηλή απόδοση φόρτισης με χαμηλό SoC. Η απόδοση του συνολικού κύκλου της μπαταρίας, όπως φαίνεται, παρουσιάζει μέγιστο στη μέση της περιοχής της κατάστασης φόρτισης. Επομένως, η μονάδα ελέγχου λειτουργίας της μπαταρίας ενός HEV θα πρέπει να ελέγχει την κατάσταση φόρτισής της ώστε να βρίσκεται στο μέσο του εύρους τιμών της κατάστασης φόρτισης έτσι ώστε να βελτιώνει την απόδοση λειτουργίας και να περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από απώλειες ενέργειας. Υψηλή θερμοκρασία θα μπορούσε να προκαλέσει φθορές στη μπαταρία.



Εικόνα 8 Σύγκριση των διάφορων τεχνολογιών μπαταρίας από την άποψη ογκομετρικής και βαρυμετρικής ενεργειακής πυκνότητας

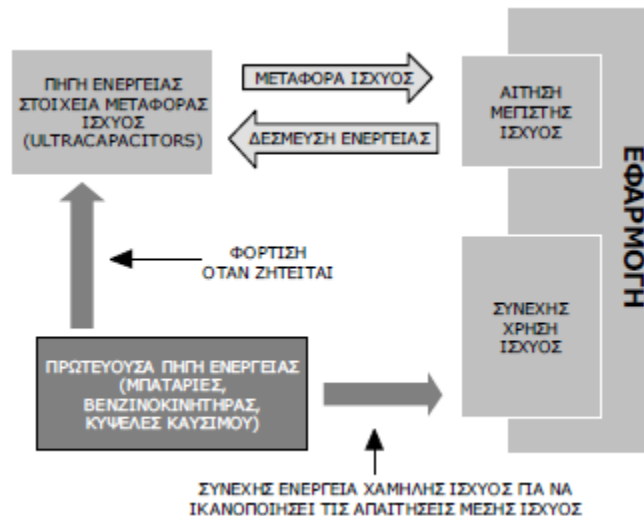
System	Specific Energy (Wh/kg)	Peak Power (W/kg)	Energy Efficiency (%)	Cycle Life	Self-Discharge (% per 48 h)	Cost (US\$/kWh)
<i>Acidic aqueous solution</i>						
Lead/acid	35–50	150–400	>80	500–1000	0.6	120–150
<i>Alkaline aqueous solution</i>						
Nickel/cadmium	50–60	80–150	75	800	1	250–350
Nickel/iron	50–60	80–150	75	1500–2000	3	200–400
Nickel/zinc	55–75	170–260	65	300	1.6	100–300
Nickel/metal hydride	70–95	200–300	70	750–1200+	6	200–350
Aluminum/air	200–300	160	<50	?	?	?
Iron/air	80–120	90	60	500+	?	50
Zinc/air	100–220	30–80	60	600+	?	90–120
<i>Flow</i>						
Zinc/bromine	70–85	90–110	65–70	500–2000	?	200–250
Vanadium redox	20–30	110	75–85	—	—	400–450
<i>Molten salt</i>						
Sodium/sulfur	150–240	230	80	800+	0 ^a	250–450
Sodium/nickel chloride	90–120	130–160	80	1200+	0 ^a	230–345
Lithium/iron sulfide (FeS)	100–130	150–250	80	1000+	?	110
<i>Organic/lithium</i>						
Lithium-ion	80–130	200–300	>95	1000+	0.7	200

^aNo self-discharge, but some energy loss by cooling.

Πίνακας 13 Κατάσταση συστημάτων μπαταριών για εφαρμογές στην αυτοκίνηση

5.2.2. Υπερπυκνωτές (Ultracapacitors)

Οι υπερπυκνωτές (ultracapacitors, supercapacitors) έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους συνήθεις πυκνωτές, αλλά διαθέτουν δυνατότητα φόρτισης και εκφόρτισης σε πολύ μικρούς χρόνους και παράλληλα παρέχουν μεγάλη χωρητικότητα σε σχετικά μικρό όγκο. Χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλότερη ειδική ισχύ και πολύ χαμηλότερη ειδική ενέργεια σε σχέση με τις χημικές μπαταρίες. Συγκεκριμένα, η ειδική ενέργεια είναι της τάξης μερικών Wh/kg ενώ η ειδική τους ισχύς μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 3kW/kg. Η χωρητικότητά τους μπορεί να φτάσει μέχρι μερικά Farad, ενώ ο χρόνος φόρτισής τους είναι μερικά δευτερόλεπτα. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό, κατά τη διάρκεια φόρτισης ενός άδειου υπερπυκνωτή, να υπάρχει σύστημα περιορισμού του ρεύματος φόρτισης. Σε αντίθετη περίπτωση, 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 (500000 κύκλους) και δεν εμπεριέχουν τοξικά στοιχεία. Από την άλλη, βέβαια, χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης, το οποίο κυμαίνεται στο 50 % ανά μήνα και επιπλέον από υψηλό κόστος.



Σχήμα 34 Μπλοκ διάγραμμα της ροής ενέργειας και ισχύος κατά τη χρήση υπερ-πυκνωτών σε ένα υβριδικό όχημα

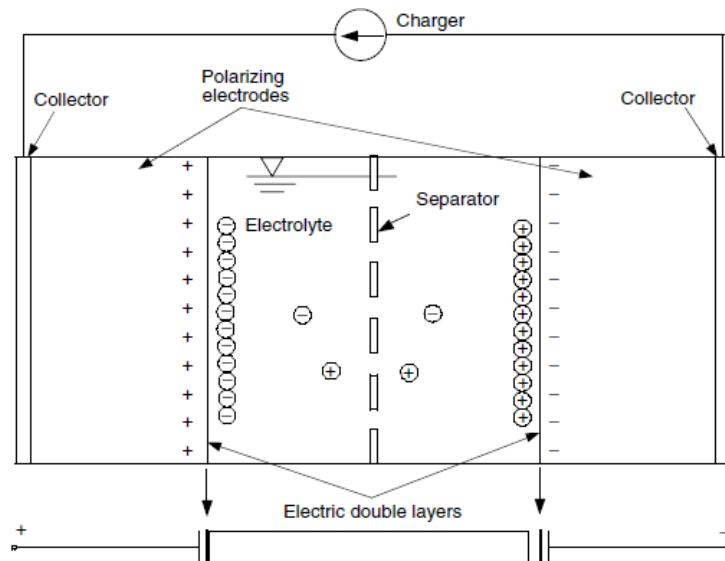
Εξαιτίας της πολύ χαμηλής τους ειδικής ενέργειας και της εξάρτησης της τάσης εξόδου από την κατάσταση φόρτισης, οι υπερπυκνωτές είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν ως η μόνη πηγή ενέργειας σε ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, αλλά μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν ως βοηθητική πηγή ενέργειας. Από μια τέτοια χρήση προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Ο συνδυασμός μπαταρίας και υπερπυκνωτή σε ένα ηλεκτρικό όχημα επιτρέπει την αποσύνδεση της απαίτησης για υψηλή ειδική ισχύ από την απαίτηση για υψηλή ειδική ενέργεια και μεγάλο κύκλο ζωής. Έτσι, η σχεδίαση της μπαταρίας επικεντρώνεται μόνο στην υψηλή ειδική ενέργεια και το μεγάλο κύκλο ζωής. Επίσης, τα υψηλά ρεύματα φόρτισης και εκφόρτισης μπορούν να συσχετισθούν με τον υπερπυκνωτή αυξάνοντας έτσι τη διαθέσιμη ενέργεια και τον κύκλο ζωής της μπαταρίας. Πιο συγκεκριμένα για τη χρήση τους σε υβριδικά οχήματα, μπορούμε να πούμε ότι κατά την εκκίνηση, όπου απαιτείται άμεση παροχή ισχύος, οι υπερπυκνωτές μπορούν να προσφέρουν το υψηλό ρεύμα τροφοδοσίας της ηλεκτρικής μηχανής-κινητήρα. Επειδή οι υπερπυκνωτές δε μπορούν να τροφοδοτούν σε μόνιμη βάση τον ηλεκτροκινητήρα, τοποθετούνται παράλληλα με τις μπαταρίες του οχήματος. Από

την άλλη μεριά, κατά τις επιβραδύνσεις και ειδικότερα σε περιπτώσεις απότομου φρεναρίσματος, επιτυγχάνεται αποθήκευση μεγαλύτερου ποσού ενέργειας. Το ρεύμα που επιστρέφει από την ηλεκτρική μηχανή-γεννήτρια εμπεριέχει αιχμές (bursts), οι οποίες δε μπορούν να αξιοποιηθούν από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές και σε αυτή την περίπτωση αναλαμβάνουν οι υπερπυκνωτές την αποθήκευση αυτής της ενέργειας.

5.2.2.1. Κατασκευή υπερπυκνωτών

Οι υπερπυκνωτές, βάσει κατασκευής, χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τους supercapacitors και τους ultracapacitors. Και οι δύο περιπτώσεις είναι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, παράγωγα των συμβατικών πυκνωτών με τη διαφορά ότι η πυκνότητα ενέργειάς τους είναι αυξημένη.

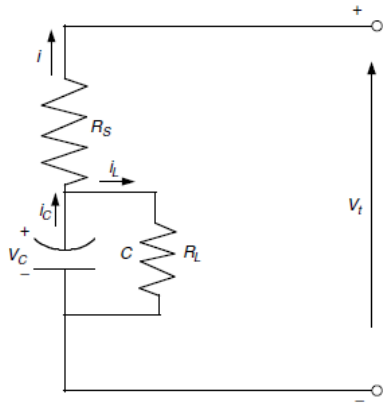
Οι supercapacitors περιέχουν ηλεκτρολύτη που επιτρέπει την αποθήκευση ηλεκτροστατικού φορτίου με τη μορφή ιόντων, λειτουργώντας προσθετικά στη συμβατική αποθήκευση ηλεκτροστατικού φορτίου της περίπτωσης των κλασικών ηλεκτρολυτικών πυκνωτών. Οι εσωτερικές λειτουργίες σε αυτού του είδους τους υπερπυκνωτές δεν περιλαμβάνουν ηλεκτροχημική αντίδραση. Τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από πορώδη άνθρακα με μεγάλη εσωτερική επιφάνεια ώστε να βοηθάει στην απορρόφηση ιόντων και να παρέχει μεγαλύτερη πυκνότητα φορτίων από ό,τι είναι δυνατό σε ένα συμβατικό πυκνωτή. Τα ιόντα κινούνται πολύ πιο αργά από τα ηλεκτρόνια, επιτρέποντας πολύ μεγαλύτερο χρόνο εκφόρτισης και φόρτισης από τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή αλλά σαφώς μικρότερο χρόνο εκφόρτισης και φόρτισης από μια μπαταρία.



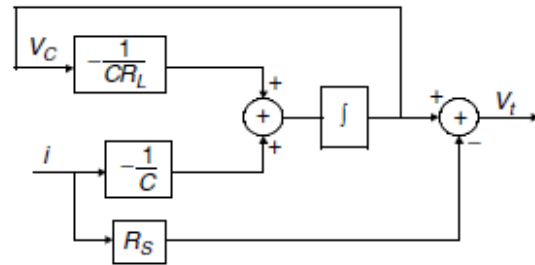
Σχήμα 35 Βασικές αρχές ενός τυπικού υπερπυκνωτή

Οι ultracapacitors είναι ειδικές εκδόσεις των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών που χρησιμοποιούν ηλεκτροχημικά συστήματα για να αποθηκεύσουν ενέργεια σε ένα στρώμα πολωμένου υγρού στη διεπιφάνεια μεταξύ ενός αγώγιμου ηλεκτρολύτη μετά από ιονισμό και ενός ηλεκτρικά αγώγιμου ηλεκτρολύτη. Η χωρητικότητα του συστήματος σε ενέργεια αυξάνεται με την αύξηση του εμβαδού της επιφάνειας των ηλεκτρολυτών, ομοίως με την περίπτωση του supercapacitor. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις (γνωστές ως Faradaic) στους ultracapacitors περιορίζονται μόνο στα επιφανειακά στρώματα και επομένως είναι πλήρως αντιστρέψιμες με μεγάλο κύκλο ζωής.

Τόσο στους supercapacitors όσο και στους ultracapacitors τα δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από έναν πορώδη, διηλεκτρικό και εξαιρετικά λεπτό διαχωριστή που εμποδίζει τα αντίθετα φορτία και ιόντα να κινούνται μεταξύ τους. Ο μικρός διαχωριστής και η τεράστια επιφάνεια των ηλεκτρολυτών είναι που επιτρέπουν σε έναν υπερπυκνωτή να έχει υψηλή χωρητικότητα. Ωστόσο, ο λεπτός αυτός μονωτικός υμένας είναι η αιτία για την οποία η τάση ενός στοιχειώδους υπερπυκνωτή πρέπει να διατηρείται χαμηλή. Υψηλές τάσεις θα προκαλούσαν εύκολα ηλεκτρικά τόξα μεταξύ των πλακών.



Σχήμα 36 Ισοδύναμο κύκλωμα υπερπυκνωτή



Σχήμα 37 Μπλοκ διάγραμμα του μοντέλου του υπερπυκνωτή

5.2.2.2. Απόδοση υπερπυκνωτών

Η απόδοση ενός υπερπυκνωτή μπορεί να παρασταθεί από την τάση ανάμεσα στα ηλεκτρόδιά του κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτισή του με διαφορετικούς ρυθμούς ρευμάτων.

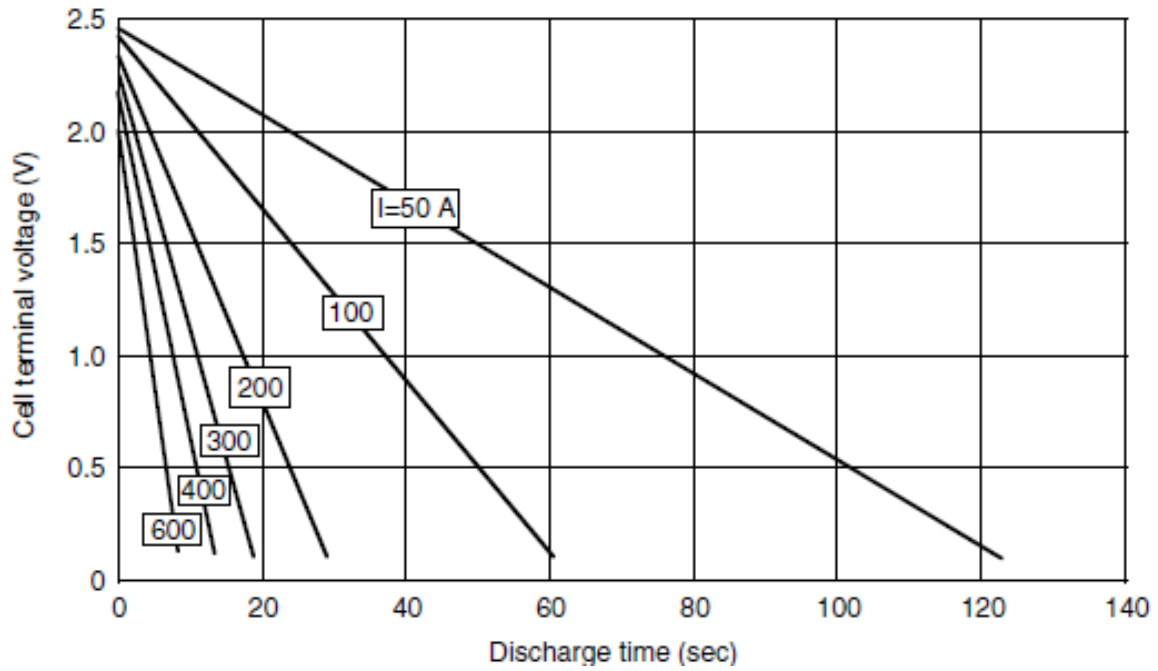
Όπως φαίνεται και στο ισοδύναμο κύκλωμα, υπάρχουν τρεις παράμετροι σε έναν πυκνωτή: η χωρητικότητα, η αντίσταση σειράς R_s και η αντίσταση διαρροής διηλεκτρικού R_L . Η τάση του υπερπυκνωτή κατά την εκφόρτιση μπορεί να εκφραστεί ως:

$$V_t = V_c - iR_s$$

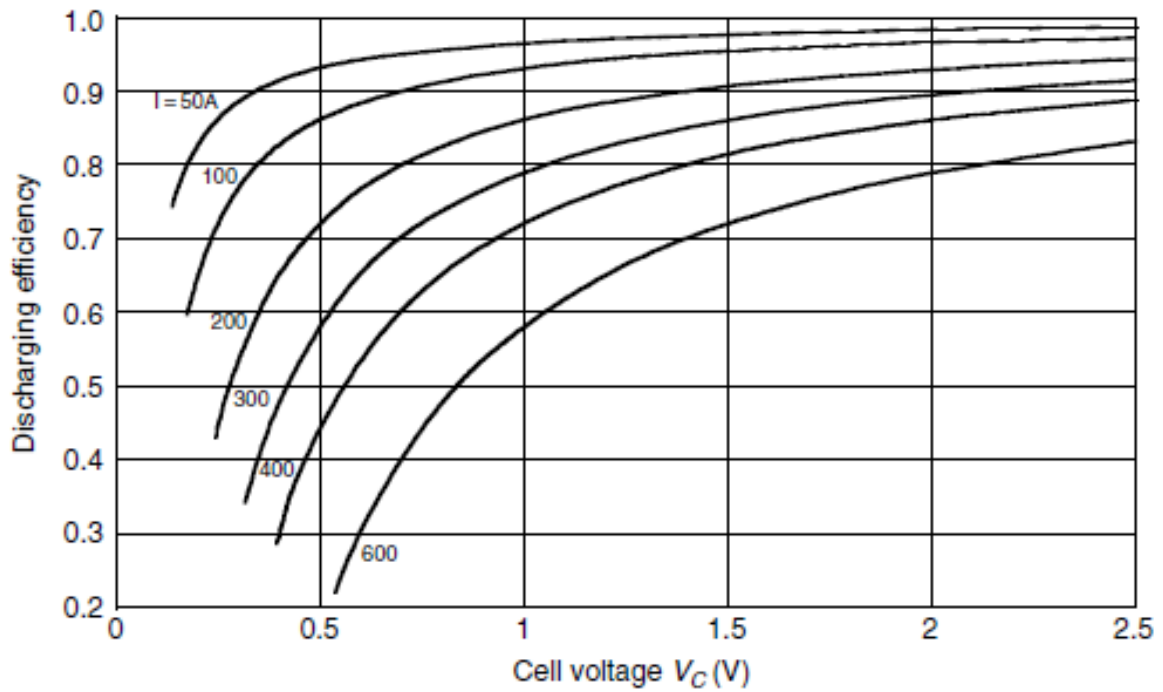
Με βάση την παραπάνω σχέση καθώς και αυτές που δίνουν την ηλεκτρική τάση ενός πυκνωτή [$dV_c/dt = -(i+i_L)/C$] και το ρεύμα διαρροής ($i_L=V_c/R_L$) καταλήγουμε στη σχέση που δίνει την τάση ακροδεκτών ενός υπερπυκνωτή:

$$V_c = \left[V_{c0} \int_0^t \frac{i}{C} e^{t/(CR_L)} dt \right] e^{t/(CR_L)}$$

όπου i το ρεύμα εκφόρτισης του υπερπυκνωτή, το οποίο εξαρτάται από το χρόνο. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές εκφόρτισης για διάφορες τιμές του ρεύματος εκφόρτισης του υπερπυκνωτή 2600F της Maxwell. Όπως φαίνεται, για κάθε τιμή του ρεύματος εκφόρτισης, η τάση μειώνεται γραμμικά με το χρόνο. Επίσης, όσο αυξάνεται η τιμή του ρεύματος εκφόρτισης τόσο ταχύτερα μειώνεται η τάση του πυκνωτή.



Σχήμα 38 Χαρακτηριστικές εκφόρτισης του υπερπυκνωτή 2600F της Maxwell Technologies



Σχήμα 39 Απόδοση εκφόρτισης του υπερπυκνωτή 2600F της Maxwell Technologies

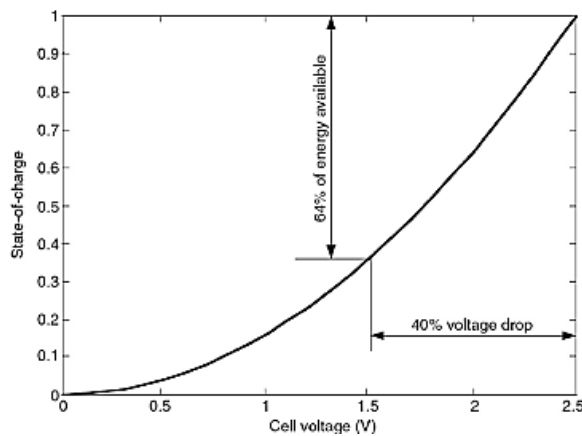
Η αποθηκευμένη ενέργεια στον υπερπυκνωτή δίνεται από τη σχέση:

$$E_c = \frac{1}{2} CV_c^2$$

όπου C η χωρητικότητα του υπερπυκνωτή. Ωστόσο, επειδή στην πράξη δεν μπορεί να αξιοποιηθεί στο σύνολό της η ενέργεια στον υπερπυκνωτή εξαιτίας της πολύ χαμηλής ισχύος σε χαμηλές τιμές της κατάστασης φόρτισης (μικρή τάση), η συνολική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί σε έναν υπερπυκνωτή είναι

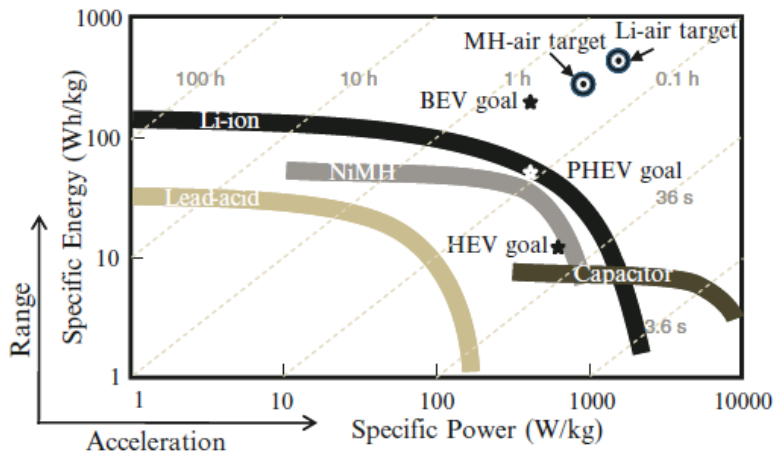
$$E_c = \frac{1}{2} CV_c^2 - \frac{1}{2} CV_b^2$$

όπου V_b είναι η χαμηλότερη τιμή της τάσης που μπορεί να πάρει ο υπερπυκνωτής.



Σχήμα 40 Κατάσταση φόρτισης υπερπυκνωτή ως προς την τάση του

Το διάγραμμα Ragone (ειδική ενέργεια έναντι ειδικής ισχύος) του διπλανού σχήματος συνοψίζει την τρέχουσα και τη μελλοντική κατάσταση σε εφαρμογές πρόωσης. Ενώ τα πλεονεκτήματα των μπαταριών Li-ion ως προς τις NiMH και lead-acid τόσο ως προς την ειδική ενέργεια όσο και την ειδική ισχύ είναι προφανή, οι προοπτικές των υπερπυκνωτών σε εφαρμογές πολύ υψηλής ισχύος δεν μπορούν να παραβλεφθούν. Αναμφίβολα, ένας στόχος ανάπτυξης θα είναι ο συνδυασμός της ανωτερότητας της ειδικής ενέργειας που προσφέρεται από τις μπαταρίες με το πλεονέκτημα της ειδικής ισχύος από τους υπερπυκνωτές.



Σχήμα 41 Διάγραμμα ragone ηλεκτροχημικών συσκευών αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές πρόωσης

5.2.3. Σφόνδυλοι (flywheels)

Οι σφόνδυλοι χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας υπό μηχανική μορφή. Κατασκευαστικά, ο κλασικός σφόνδυλος είναι ένας συμπαγής ατσάλινος τροχός βάρους πολλών κιλών που περιστρέφεται με ταχύτητα της τάξης των 1000rpm. Αντίθετα, ο προηγμένος σφόνδυλος είναι ένας ελαφρύς συνθετικός τροχός βάρους δεκάδων κιλών που περιστρέφεται με ταχύτητες της τάξης των 10000rpm και ονομάζεται σφόνδυλος υπερυψηλής ταχύτητας (ultrahigh-speed flywheel).

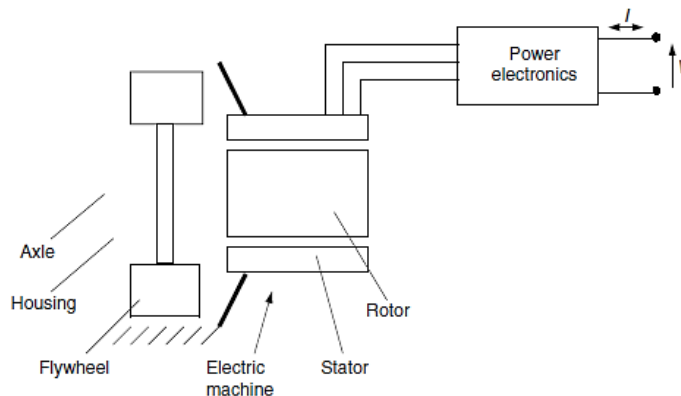
Για τα ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, οι σφόνδυλοι υπερυψηλής ταχύτητας φαίνεται να είναι ένας εύκολος τρόπος για την ικανοποίηση των αυστηρών ενεργειακών τους απαιτήσεων, δηλαδή της υψηλής ειδικής ενέργειας, της υψηλής ειδικής ισχύος, του μεγάλου κύκλου ζωής, της υψηλής ενεργειακής απόδοσης, της γρήγορης επαναφόρτισης, του χαμηλού σχετικά κόστους και της φιλικότητας προς το περιβάλλον.

5.2.3.1. Αρχή λειτουργίας

Η αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα σφόνδυλο δίνεται από τη σχέση:

$$E_f = \frac{1}{2} J_f \omega_f^2$$

όπου J_f η ροπή αδρανείας του ($\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$) και ω_f η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του (σε rad/s). Σύμφωνα με την εξίσωση, αύξηση της γωνιακής ταχύτητας του σφονδύλου συνεπάγεται αύξηση της χωρητικότητάς του σε ενέργεια καθώς και μείωση του βάρους και του όγκου του.



Σχήμα 42 Βασική δομή ενός τυπικού συστήματος σφονδύλου (μηχανική μπαταρία)

Η χρήση του σφονδύλου γίνεται μέσω μιας ηλεκτρικής μηχανής, η οποία συνδέεται απ' ευθείας στο σφόνδυλο ή μέσω ενός συστήματος μετάδοσης για να δημιουργηθεί η ονομαζόμενη μηχανική μπαταρία. Η ηλεκτρική μηχανή, λειτουργώντας ως ηλεκτρική είσοδος και έξοδος, μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ή αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, η κινητική ενέργεια του σφονδύλου απελευθερώνεται όταν μειώνεται η ταχύτητά του. Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας προσαρμόζεται, με κατάλληλο σύστημα μετάδοσης, στον άξονα του σφονδύλου η ηλεκτρική μηχανή, η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια. Με αυτό τον τρόπο, η γεννήτρια μπορεί να φορτίσει κάποιες μπαταρίες μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική (regenerative braking). Από την άλλη μεριά, για να

αποθηκευτεί ενέργεια στο σφόνδυλο θα πρέπει να έχουμε παροχή ηλεκτρικής ισχύος και λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής ως κινητήρα που θα μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ενέργεια του σφονδύλου ή σύνδεση του σφονδύλου με κάποιον άλλον άξονα κίνησης για απευθείας αποθήκευση κινητικής ενέργειας.

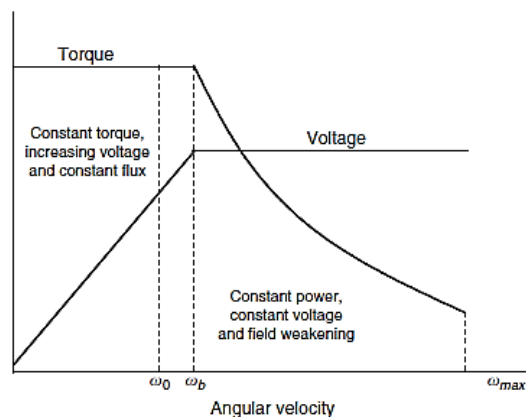
Η ισχύς ενός συστήματος σφονδύλου δίνεται από τη σχέση:

$$P_f = \frac{dE_f}{dt} = J_f \omega_f \frac{d\omega_f}{dt} = \tau_f \omega_f$$

όπου τ_f η ροπή που ασκεί στο σφόνδυλο η ηλεκτρική μηχανή. Όπως καταδεικνύει η παραπάνω εξίσωση, η χωρητικότητα του σφονδύλου σε ενέργεια εξαρτάται από την ισχύ της ηλεκτρικής μηχανής. Συνήθως, η χαρακτηριστική μιας ηλεκτρικής μηχανής είναι αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Διακρίνουμε δυο περιοχές λειτουργίας, μια σταθερής ροπής και μία σταθερής ισχύος. Στην περιοχή σταθερής ροπής η τάση της μηχανής μεταβάλλεται ανάλογα με τη γωνιακή της ταχύτητα και η μαγνητική ροή της διέγερσης της μηχανής είναι σταθερή, ενώ στην περιοχή σταθερής ισχύος η μέν τάση είναι σταθερή η δε μαγνητική ροή είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη γωνιακή ταχύτητά της. Κατά τη φόρτιση του σφονδύλου, η ηλεκτρική μηχανή επιταχύνει από μια χαμηλή ταχύτητα ω_0 σε μια μέγιστη ταχύτητα ω_{max} .

Η ισχύς που παρέχεται από την ηλεκτρική μηχανή προς το σφόνδυλο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αν η ελάχιστη ταχύτητα ω_0 γίνει ίση με την ταχύτητα βάσης της ηλεκτρικής μηχανής ω_b . Αυτό συνεπάγεται ότι το εύρος ταχυτήτων αποτελεσματικής λειτουργίας του σφονδύλου θα πρέπει να συμπίπτει με την περιοχή σταθερής ταχύτητας της ηλεκτρικής μηχανής. Επίσης, στην περίπτωση αυτή της ελάχιστης ισχύος της μηχανής, η τελευταία θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_m = \frac{J_f}{2} (\omega_{max}^2 - \omega_0^2)$$



Σχήμα 43 Τυπικά διαγράμματα ροπής και τάσης ως προς την ταχύτητα περιστροφής

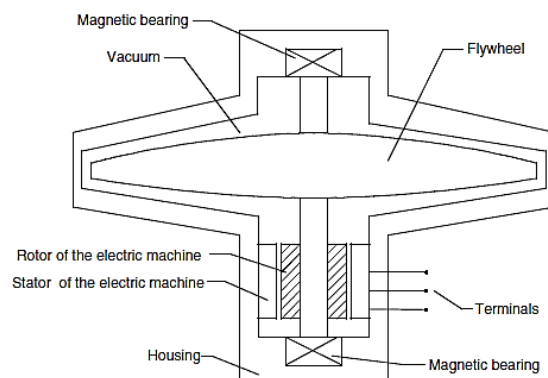
Ένα άλλο πλεονέκτημα που επιτυγχάνεται όταν συμπίπτει το εύρος ταχυτήτων λειτουργίας του σφονδύλου με το εύρος ταχυτήτων σταθερής ισχύος είναι ότι η τάση της ηλεκτρικής μηχανής είναι πάντα σταθερή. Ως εκ τούτου, απλοποιείται σημαντικά το σύστημα διαχείρισης ισχύος, όπως οι DC/DC μετατροπείς και τα συστήματα ελέγχου τους.

5.2.3.2. Τεχνολογία σφονδύλων

Παρότι υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την αποθηκευμένη σε ένα σφόνδυλο ενέργεια, υπάρχει ένα όριο πέρα από το οποίο η εφελκυστική αντοχή 'σ' του υλικού από το οποίο αποτελείται ο σφόνδυλος δεν μπορεί να αντέξει στην παραμόρφωση που προκαλεί η φυγόκεντρος δύναμη. Η μέγιστη παραμόρφωση που προκαλείται στο υλικό εξαρτάται από τη γεωμετρία του, την ειδική πυκνότητά του ρ και την ταχύτητα περιστροφής. Το μέγιστο όφελος μπορεί να επιτευχθεί με την υιοθέτηση υλικών που έχουν μέγιστη αναλογία σ/ρ .

Για τη σχεδίαση σφονδύλων ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί μια σχέση σταθερής παραμόρφωσης. Για να επιτευχθεί η μέγιστη αποθήκευση ενέργειας, κάθε στοιχείο του ρότορα πρέπει να παραμορφωθεί εξίσου στο μέγιστο όριό του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα σχήμα με σταδιακά μειούμενο πάχος που θεωρητικά προσεγγίζει το μηδέν καθώς η ακτίνα προσεγγίζει το άπειρο.

Οι σφόνδυλοι έχουν αρκετά πλεονεκτήματα ως πηγές ενέργειας. Το πιο σημαντικό είναι η υψηλή ειδική ισχύς τους. Επίσης, προσφέρονται για εφαρμογές οχημάτων αφού η απόδοσή τους δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Ταυτόχρονα, δεν υπάρχουν ανησυχίες για τοξικές χημικές διαδικασίες όπως στις μπαταρίες, άρα πρόκειται για φιλική προς το περιβάλλον επιλογή, ενώ η αποθήκευση ενέργειας είναι αξιόπιστη γιατί ελέγχεται απόλυτα και επαναλαμβάνεται κατά τον ίδιο τρόπο. Επίσης, η κατάσταση φόρτισης μπορεί να είναι γνωστή με ακρίβεια μέσω μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής. Η διαδικασία μετατροπής ενέργειας επιτυγχάνεται σε ποσοστά της τάξης του 98% σε αντίθεση με τις μπαταρίες όπου η απόδοση φτάνει το 75-80% και η διάρκεια ζωής τους είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μπαταριών, με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Παράλληλα, η διάρκεια φόρτισης είναι σχετικά μικρή (ακόμη και μικρότερη από 10 λεπτά σε σταθμούς φόρτισης σφονδύλων). Τέλος, η ικανότητά τους να απορροφούν ή να αποδίδουν υψηλό ποσοστό ισχύος σε μικρό χρονικό διάστημα τους καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμους κατά την αναγεννητική πέδηση.



Σχήμα 44 Βασική δομή ενός τυπικού συστήματος σφονδύλου

Ασφαλώς, προς το παρόν τουλάχιστον, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην εφαρμογή των σφονδύλων είναι ο επιπλέον εξοπλισμός που απαιτείται για τη λειτουργία και τη συσκευασία της διάταξης. Ειδικά για τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα, όπου το επιπλέον βάρος και κόστος δημιουργούν σημαντική διαφορά, αυτό αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα. Επιπλέον, για τη μείωση των απωλειών λόγω τριβής, οι σφόνδυλοι πρέπει να βρίσκονται στο εσωτερικό

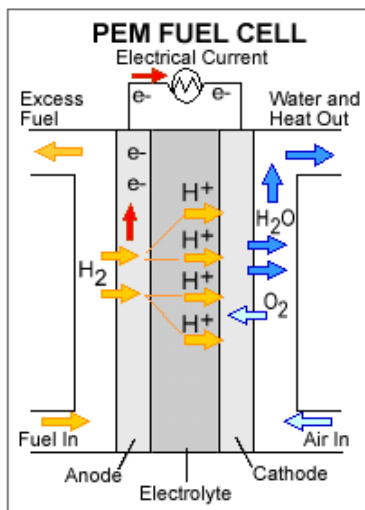
ενός χώρου με απόλυτο κενό, γεγονός που προκαλεί σημαντικούς περιορισμούς στα ρουλεμάν που δεν επιβιώνουν στο κενό. Το μεγαλύτερο επιπρόσθετο βάρος στους σφονδύλους προέρχεται από το δοχείο ασφαλείας που απαιτείται για προστασία από την ξαφνική απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας ενέργειας.

Γενικά, η τεχνολογία των σφονδύλων είναι ακόμα υπό μελέτη και ανάπτυξη.

	Tensile Strength s (MPa)	Specific Energy ρ (kg/m ³)	Ratio σ/ρ (Wh/kg)
E-glass	1379	1900	202
Graphite epoxy	1586	1500	294
S-glass	2069	1900	303
Kevlar epoxy	1930	1400	383

Πίνακας 14 Σύνθετα Υλικά για σφονδύλους

5.2.4. Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells)



Σχήμα 45 Κυψέλη καυσίμου τύπου PEM

Οι κυψέλες καυσίμου βασίζονται στο υδρογόνο, το οποίο χρησιμοποιούν ως καύσιμο. Αποτελούν ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός αποδίδεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Το υδρογόνο αποθηκεύεται σε αυτές σε υγρή μορφή σε συνθήκες υψηλής πίεσης.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να διακριθούν σε κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν. Αυτή η ταξινόμηση καθορίζει το είδος των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην κυψέλη, το είδος των καταλυτών που απαιτούνται, το εύρος της θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί η κυψέλη, το απαιτούμενο καύσιμο και άλλους παράγοντες. Αυτά τα χαρακτηριστικά, με τη σειρά τους, επηρεάζουν τις εφαρμογές για τις οποίες αυτές οι κυψέλες είναι πιο κατάλληλες. Υπάρχουν

διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου επί του παρόντος υπό ανάπτυξη, ο καθένας με τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς.

Κάποιοι από αυτούς τους τύπους είναι οι κυψέλες ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC), οι κυψέλες φωσφορικού οξέος (PAFC), στερεού οξειδίου (SOFC), τηγμένου άνθρακα (MCFC), μεθανόλης (DMFC), οι αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC) και οι κυψέλες επιτόπου παραγωγής υδρογόνου από μεθανόλη (IR-SPFC).

Από τα παραπάνω, ο πιο γνωστός τύπος είναι η κυψέλη PEMFC. Η κυψέλη αποτελείται από την άνοδο, όπου βρίσκεται αποθηκευμένο το υδρογόνο, την κάθοδο, στην οποία εισέρχεται το οξυγόνο του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι μια μεμβράνη, της οποίας η

ιδιότητα είναι ότι επιτρέπει να τη διαπερνούν μόνο τα πρωτόνια. Μεταξύ αυτής της μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί το ηλεκτρόδιο της ανόδου της κυψέλης, όπου γίνεται ο ιονισμός του σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα πρωτόνια διέρχονται από τη μεμβράνη οδεύοντας προς την κάθοδο, ενώ τα ηλεκτρόνια οδηγούνται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό. Στην κάθοδο τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου αντιδρούν με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο παράγοντας νερό. Την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο στην αρχή της διαδικασίας.

Οι κυψέλες καυσίμου PEM λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, περίπου 80°C (176°F). Η λειτουργία τους σε χαμηλή θερμοκρασία τους επιτρέπει να ξεκινήσουν γρήγορα (λιγότερος χρόνος προθέρμανσης) και έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη φθορά στις συνιστώσες του συστήματος, με αποτέλεσμα καλύτερη αντοχή. Ωστόσο, απαιτεί τη χρήση καταλύτη (ευγενούς μετάλλου) για τον διαχωρισμό των ηλεκτρονίων και πρωτονίων του υδρογόνου, γεγονός που επιβαρύνει το κόστος του συστήματος.

Οι κυψέλες καυσίμου PEM χρησιμοποιούνται κυρίως για τις εφαρμογές μεταφοράς και ορισμένες σταθερές εφαρμογές. Λόγω του γρήγορου χρόνου εκκίνησής τους και την ευνοϊκή αναλογία ισχύος-βάρους, οι κυψέλες καυσίμου PEM είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για χρήση σε επιβατικά οχήματα, όπως τα αυτοκίνητα και τα λεωφορεία.

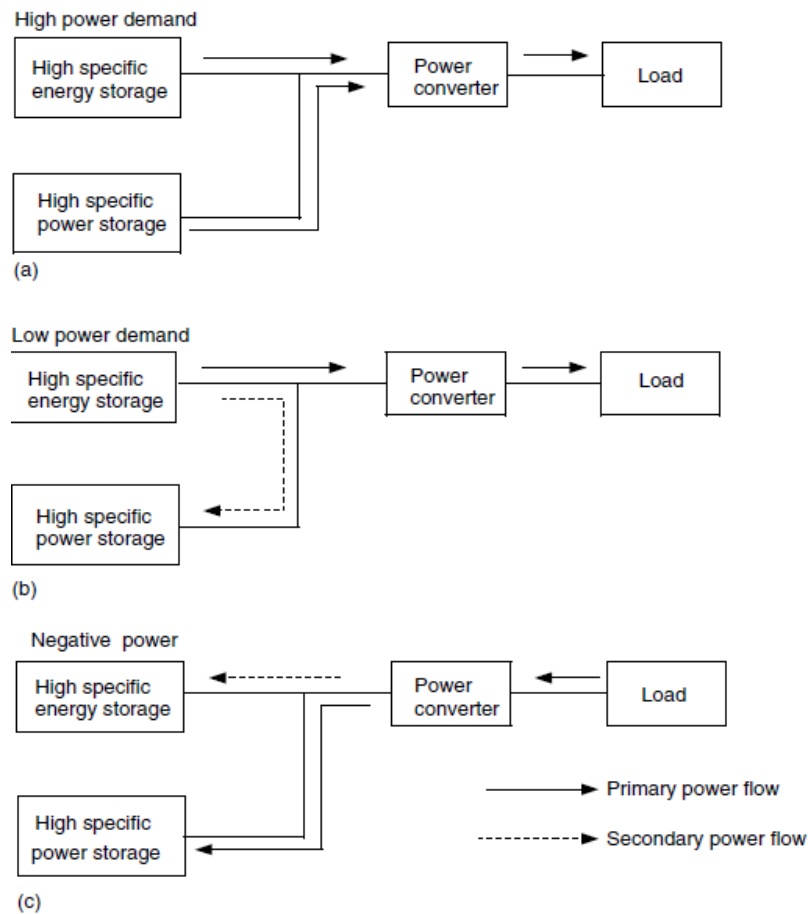
Fuel Cell Type	Common Electrolyte	Operating Temperature	Typical Stack Size	Electrical Efficiency (LHV)	Applications	Advantages	Challenges
Polymer Electrolyte Membrane (PEM)	Perfluoro sulfonic acid	<120°C	<1 kW - 100 kW	60% direct H ₂ , ⁱ 40% reformed fuel ⁱⁱ	<ul style="list-style-type: none"> Backup power Portable power Distributed generation Transportation Specialty vehicles 	<ul style="list-style-type: none"> Solid electrolyte reduces corrosion & electrolyte management problems Low temperature Quick start-up and load following 	<ul style="list-style-type: none"> Expensive catalysts Sensitive to fuel impurities
Alkaline (AFC)	Aqueous potassium hydroxide soaked in a porous matrix, or alkaline polymer membrane	<100°C	1 - 100 kW	60% ⁱⁱⁱ	<ul style="list-style-type: none"> Military Space Backup power Transportation 	<ul style="list-style-type: none"> Wider range of stable materials allows lower cost components Low temperature Quick start-up 	<ul style="list-style-type: none"> Sensitive to CO₂ in fuel and air Electrolyte management (aqueous) Electrolyte conductivity (polymer)
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphoric acid soaked in a porous matrix or imbibed in a polymer membrane	150 - 200°C	5 - 400 kW, 100 kW module (liquid PAFC); <10 kW (polymer membrane)	40% ^{iv}	<ul style="list-style-type: none"> Distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> Suitable for CHP Increased tolerance to fuel impurities 	<ul style="list-style-type: none"> Expensive catalysts Long start-up time Sulfur sensitivity
Molten Carbonate (MCFC)	Molten lithium, sodium, and/or potassium carbonates, soaked in a porous matrix	600 - 700°C	300 kW - 3 MW, 300 kW module	50% ^v	<ul style="list-style-type: none"> Electric utility Distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> High efficiency Fuel flexibility Suitable for CHP Hybrid/gas turbine cycle 	<ul style="list-style-type: none"> High temperature corrosion and breakdown of cell components Long start-up time Low power density
Solid Oxide (SOFC)	Yttria stabilized zirconia	500 - 1000°C	1 kW - 2 MW	60% ^{vi}	<ul style="list-style-type: none"> Auxiliary power Electric utility Distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> High efficiency Fuel flexibility Solid electrolyte Suitable for CHP Hybrid/gas turbine cycle 	<ul style="list-style-type: none"> High temperature corrosion and breakdown of cell components Long start-up time Limited number of shutdowns

Πίνακας 15 Σύγκριση Τεχνολογιών Κυψελών Καυσίμου

Γενικά, οι κυψέλες καυσίμου παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή απόδοσης. Από την άλλη, βέβαια, το επίπεδο της τάσης εξόδου είναι χαμηλό. Συνεπώς, απαιτείται ανύψωση μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα τάσης (DC σε DC). Ακόμη, η ενέργεια δεν είναι δυνατό να επιστρέψει στις κυψέλες κατά την αναγεννητική πέδηση, οπότε χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν, επιπλέον, είτε μπαταρίες είτε υπερπυκνωτές για να καλύψουν την ανάγκη αποθήκευσης της ανακτώμενης ισχύος. Τέλος, η υψηλή πίεση στην οποία αποθηκεύεται το υδρογόνο εγκυμονεί κίνδυνο έκρηξης σε περίπτωση κάποιου ατυχήματος.

5.2.5. Υβριδοποίηση των πηγών ενέργειας

Η υβριδοποίηση των πηγών ενέργειας/μέσων αποθήκευσης ενέργειας συνιστά τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων μέσων αποθήκευσης ενέργειας έτσι ώστε να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα του καθενός και να αντισταθμιστούν τα μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, η υβριδοποίηση μιας χημικής μπαταρίας με υπερπυκνωτή μπορεί να οδηγήσει στο να ξεπεραστούν προβλήματα όπως η χαμηλή ειδική ισχύς των μπαταριών και η χαμηλή ειδική ενέργεια των πυκνωτών, επιτρέποντας, ως εκ τούτου, την επίτευξη υψηλών τιμών ειδικής ενέργειας και ειδικής ισχύος.



Σχήμα 46 Λειτουργία ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος

Βασικά, η υβριδοποίηση των πηγών ενέργειας αποτελείται από δύο βασικές αποθήκες ενέργειας: μία με υψηλή ειδική ενέργεια και μία με υψηλή ειδική ισχύ. Η βασική λειτουργία αυτού του συστήματος απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα. Σε απαιτήσεις λειτουργίας υψηλής ισχύος, όπως η επιτάχυνση και η ανάβαση, και οι δύο πηγές ενέργειας παρέχουν ενέργεια προς το φορτίο (σχήμα 45a). Αντιθέτως, σε απαιτήσεις λειτουργίας χαμηλής ισχύος, όπως σε πορεία με σταθερή ταχύτητα, η πηγή υψηλής ειδικής ενέργειας παρέχει ισχύ προς το φορτίο και ταυτόχρονα φορτίζει (αν απαιτείται) την πηγή υψηλής ειδικής ισχύος (σχήμα 45b). Κατά τη λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης, η μέγιστη ισχύς θα απορροφάται από την πηγή υψηλής ειδικής ισχύος και μόνο ένα περιορισμένο μέρος θα απορροφάται από την πηγή υψηλής ειδικής ενέργειας (σχήμα 45c). Με αυτόν τον τρόπο, το συνολικό σύστημα θα είναι πολύ μικρότερο σε βάρος και μέγεθος από ότι αν χρησιμοποιούνταν μία μόνο πηγή ενέργειας.

Κεφάλαιο 6: Αναγεννητική πέδηση

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων και των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων είναι η ικανότητά τους να ανακτούν σημαντικά ποσά ενέργειας κατά την πέδηση. Οι ηλεκτροκινητήρες των EVs και HEVs μπορούν να εκλεχθούν ώστε να λειτουργούν ως γεννήτριες για τη μετατροπή της κινητικής ή δυναμικής ενέργειας του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στο μέσο αποθήκευσης ενέργειας και να επαναχρησιμοποιηθεί. Ως εκ τούτου, η “επαναπαραγόμενη” ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση μπαταριών ενός EV ή ενός HEV. Να σημειωθεί, ωστόσο, ότι δε θα είναι δυνατή η δέσμευση όλης της ενέργειας που είναι διαθέσιμη κατά την πέδηση του οχήματος, ιδιαίτερα κατά τις απότομες επιβραδύνσεις.

Η διαθέσιμη ενέργεια κατά την πέδηση είναι η κινητική ενέργεια που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης του οχήματος. Η συνολική ενέργεια είναι συνήθως αρκετά υψηλή για να την επεξεργαστεί ένας ηλεκτρικός κινητήρας που χρησιμοποιείται για την προώθηση. Η επεξεργασία υψηλής ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα απαιτεί τη χρήση πολύ μεγάλου ηλεκτροκινητήρα, που δεν είναι καθόλου πρακτικό. Έτσι, τόσο τα EVs όσο και τα HEVs πρέπει να είναι εφοδιασμένα και με σύστημα μηχανικής πέδησης ακόμη κι αν ο ηλεκτροκινητήρας σχεδιάζεται με δυνατότητα επαναπαραγωγής. Ωστόσο, η αναγεννητική πέδηση μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικό ποσό ενέργειας, επεκτείνοντας την αυτονομία ενός οχήματος. Η κεντρική μονάδα ελέγχου του οχήματος αποφασίζει για το μέγεθος της πέδησης που απαιτείται από το μηχανικό σύστημα όταν θα δοθεί μια εντολή φρεναρίσματος από τον οδηγό, την ποσότητα ενέργειας που θα επαναπαραχθεί και την ταχύτητα του οχήματος.

Στην κατάσταση λειτουργίας αναγεννητικής πέδησης γίνεται επεξεργασία της κινητικής ενέργειας του οχήματος από την ηλεκτρική μηχανή και επιστρέφεται στην πηγή ενέργειας. Από τη σκοπιά της μηχανής, πρόκειται απλά για τη λειτουργία της ως γεννήτρια. Με άλλα λόγια, η ηλεκτρική μηχανή μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια που είναι διαθέσιμη από την κίνηση του οχήματος σε ηλεκτρική. Η ροή ισχύος είναι από τους τροχούς προς την πηγή. Η αναγεννητική πέδηση μπορεί να αυξήσει την αυτονομία ενός EV κατά 10% έως 15%.

6.1. Κατανάλωση ενέργειας κατά την πέδηση

Ένα σημαντικό ποσό ενέργειας καταναλώνεται κατά την πέδηση. Το φρενάρισμα ενός οχήματος 1500kg από τα 100km/h σε μηδενική ταχύτητα καταναλώνει περίπου ενέργεια 0.16kWh σε μερικές δεκάδες μέτρα. Εάν αυτή η ενέργεια καταναλωνόταν κατά την κίνηση του οχήματος με μοναδική απαίτηση την υπερπήδηση των αντιστάσεων (αντίσταση κύλισης και αεροδυναμική αντίσταση) χωρίς πέδηση, το όχημα θα ταξίδευε περίπου 2km.

Όταν τα οχήματα ταξιδεύουν σε αστικές περιοχές κάτω από συνθήκες συνεχών εκκινήσεων και στάσεων (stop-and-go), ένα σημαντικό ποσό ενέργειας καταναλώνεται στα απότομα και συνεχή φρεναρίσματα, γεγονός που οδηγεί σε υψηλή κατανάλωση καυσίμου. Ο πίνακας 15 παρουσιάζει τη μέγιστη ταχύτητα, τη μέση ταχύτητα, τη συνολική ενέργεια έλξης στους τροχούς κίνησης και τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από αντιστάσεις και πέδηση ανά 100km διανυόμενης απόστασης από ένα επιβατηγό αυτοκίνητο.

Γίνεται φανερό ότι η ενέργεια πέδησης σε τυπικές αστικές περιοχές μπορεί να φτάσει στο 25% της συνολικής ενέργειας έλξης του οχήματος. Σε μεγάλες πόλεις, όπως η Νέα Υόρκη, μπορεί να φτάσει το 70%. Συνεπώς, η αποτελεσματική αναγεννητική πέδηση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την οικονομία καυσίμου στα EVs και τα HEVs.

	FTP 75 Αστική	FTP 75 Ταχείας κυκλοφορίας	US06 Αυτοκινητόδρομος	Νέα Υόρκη
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	86.4	97.7	128.5	44.6
Μέση ταχύτητα (km/h)	27.9	79.3	77.5	12.2
Συνολική ενέργεια αντιστάσεων (kWh)	10.47	10.45	17.03	15.51
Συνολική ενέργεια έλξης (kWh)	5.95	9.47	11.73	4.69
Συνολική ενέργεια κατά την πέδηση (kWh)	4.52	0.98	5.3	10.82
Ποσοστό (%) ενέργειας πέδης προς συνολική	43.17	9.38	31.12	69.76

Πίνακας 16 Στοιχεία κίνησης επιβατικού οχήματος

6.2. Σύστημα πέδησης των EVs και HEVs

Η αναγεννητική πέδηση στα ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα προσθέτει κάποια πολυπλοκότητα στη σχεδίαση του συστήματος πέδησης. Προκύπτουν δύο βασικές ερωτήσεις: η μία είναι πώς να κατανεμηθούν οι συνολικές δυνάμεις πέδησης που απαιτούνται, μεταξύ του φρένου επαναπαραγωγής και του μηχανικού φρένου ώστε να ανακτηθεί η κινητική ενέργεια στο μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό και η άλλη είναι πώς να κατανεμηθούν οι δυνάμεις πέδησης στους μπροστινούς και πίσω τροχούς ώστε να επιτευχθεί σταθερή πέδηση. Συνήθως η αναγεννητική πέδηση ή ηλεκτρική πέδηση είναι αποτελεσματική μόνο για τον άξονα κίνησης. Ο κινητήρας πρέπει να ελέγχεται ώστε να παράγει την κατάλληλη δύναμη πέδησης για τη μέγιστη δυνατή ανάκτηση της κινητικής ενέργειας και ταυτόχρονα το μηχανικό φρένο πρέπει να ελέγχεται ώστε να ικανοποιείται πλήρως η εντολή πέδησης του οδηγού. Βασικά, υπάρχουν τρεις διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου πέδησης: πέδηση σειράς με βέλτιστη αίσθηση πέδησης, πέδηση σειράς με βέλτιστη ανάκτηση ενέργειας και παράλληλη πέδηση.

Χρειάζεται να σημειωθεί ότι ο ενεργός έλεγχος της δύναμης πέδησης (ροπή) ενός ηλεκτροκινητήρα είναι πιο εύκολος από τον έλεγχο της δύναμης μηχανικής πέδησης. Επομένως, η αποφυγή του μπλοκαρίσματος κατά την πέδηση στα EV και HEV είναι ένα ακόμη πλεονέκτημά τους. Ειδικά σε οχήματα με περισσότερους από έναν ηλεκτροκινητήρες, όπως για παράδειγμα τέσσερις κινητήρες (ένας σε κάθε τροχό) η εφαρμογή του ABS είναι ακόμη πιο εύκολη.

6.2.1. Πέδηση σειράς – Βέλτιστη αίσθηση

Το σύστημα πέδησης σειράς με βέλτιστη αίσθηση αποτελείται από έναν ελεγκτή πέδησης που ελέγχει τις δυνάμεις πέδησης στους μπρος και πίσω τροχούς. Ο στόχος του ελέγχου είναι η ελαχιστοποίηση της απόστασης ακινητοποίησης και η βελτιστοποίηση της αίσθησης του οδηγού. Η ελάχιστη απόσταση

πέδησης και η καλή αίσθηση πέδησης απαιτούν από τις δυνάμεις πέδησης στους μπρος και πίσω τροχούς να ακολουθούν μια ιδανική καμπύλη κατανομής δυνάμεων πέδησης.

Όταν η εντολή πέδησης επιβάλλει επιβράδυνση μικρότερη από 0.2g, τότε εφαρμόζεται μόνο η ηλεκτρική πέδηση στους μπροστινούς τροχούς. Αντιθέτως, όταν η εντολή πέδησης επιβάλλει επιβράδυνση μεγαλύτερη από 0.2g, τότε εφαρμόζονται δυνάμεις πέδησης και στους τέσσερις τροχούς σύμφωνα με μια ιδανική κατανομή. Η δύναμη πέδησης στους μπροστινούς τροχούς αποτελείται από δύο συνιστώσες: τη δύναμη ηλεκτρικής πέδησης και τη δύναμη μηχανικής πέδησης. Όταν η απαιτούμενη δύναμη πέδησης είναι μικρότερη από τη μέγιστη δύναμη που μπορεί να δώσει ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργώντας ως γεννήτρια σε κατάσταση πέδησης τότε εφαρμόζεται μόνο ηλεκτρική πέδηση. Σε αντίθετη περίπτωση, θα παραχθεί η μέγιστη δυνατή ηλεκτρική πέδηση και θα συμπληρωθεί η απαιτούμενη δύναμη από το σύστημα μηχανικής πέδησης.

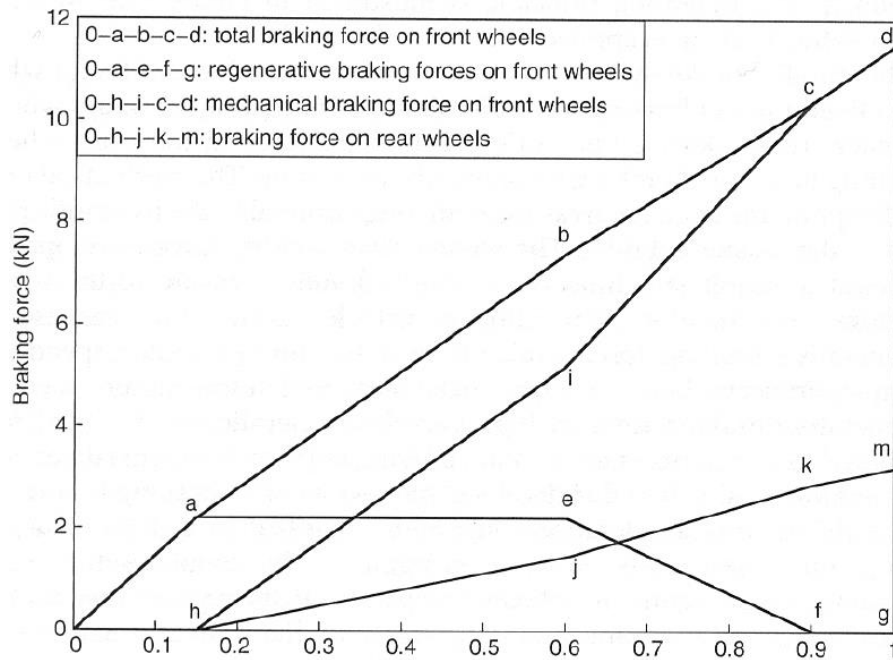
6.2.2. Πέδηση σειράς – Βέλτιστη ανάκτηση ενέργειας

Η αρχή του συστήματος πέδησης σειράς με βέλτιστη ανάκτηση ενέργειας είναι να ανακτήσει την ενέργεια πέδησης όσο το δυνατό περισσότερο υπό τη συνθήκη ικανοποίησης της συνολικής απαιτούμενης δύναμης πέδησης για επιβράδυνση. Ένα τέτοιο σύστημα πέδησης είναι πιο πολύπλοκο από το προηγούμενο. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι υπό έρευνα και η σχεδίαση ενός συστήματος πέδησης σειράς με ταυτόχρονο συνδυασμό βέλτιστης ανάκτησης ενέργειας και βέλτιστης αίσθησης πέδησης.

6.2.3. Παράλληλη πέδηση

Το σύστημα παράλληλης πέδησης περιλαμβάνει ένα ηλεκτρικό (regenerative) φρένο και ένα μηχανικό φρένο τα οποία παράγουν δυνάμεις πέδησης παράλληλα και ταυτόχρονα.

Το σύστημα παράλληλης πέδησης έχει ένα συμβατικό μηχανικό φρένο το οποίο έχει ένα σταθερό λόγο κατανομής δύναμης πέδησης στους μπροστινούς και πίσω τροχούς. Η ηλεκτρική πέδηση προσθέτει δύναμη πέδησης στους μπροστινούς τροχούς, συμπληρώνοντας έτσι τη συνολική κατανομή της δύναμης πέδησης. Η δύναμη μηχανικής πέδησης στους μπρος και πίσω τροχούς είναι ανάλογες της υδραυλικής πίεσης στον κύριο κύλινδρο. Η δύναμη της ηλεκτρικής πέδησης που αναπτύσσεται από τον ηλεκτροκινητήρα είναι συνάρτηση της υδραυλικής πίεσης στον κύριο κύλινδρο και επομένως συνάρτηση της επιβράδυνσης του οχήματος. Επειδή η δύναμη της ηλεκτρικής πέδησης που αναπτύσσεται είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα και επειδή σχεδόν καθόλου κινητική ενέργεια δεν μπορεί να ανακτηθεί σε χαμηλή ταχύτητα, η δύναμη της ηλεκτρικής πέδησης σε υψηλή επιβράδυνση σχεδιάζεται να είναι μηδενική ώστε να διατηρήσει την ισορροπία της συνολικής πέδησης του οχήματος. Όταν η απαιτούμενη επιβράδυνση είναι μικρότερη από την παραπάνω, τότε είναι αποτελεσματικό το σύστημα ηλεκτρικής πέδησης. Ομοίως με την πέδηση σειράς, όταν η εντολή πέδησης επιβάλλει επιβράδυνση μικρότερη από μια δοσμένη τιμή, π.χ. 0.15g, τότε εφαρμόζεται μόνο η ηλεκτρική πέδηση.



Σχήμα 47 Μεταβολή δυνάμεων πέδησης με το ρυθμό επιβράδυνσης στο παράλληλο σύστημα πέδησης

Το παράλληλο σύστημα πέδησης δεν απαιτεί ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα μηχανικής πέδησης. Ένας αισθητήρας πίεσης ανιχνεύει την υδραυλική πίεση στον κύριο κύλινδρο που αντιπροσωπεύει την απαίτηση για επιβράδυνση. Το σήμα πίεσης κανονικοποιείται και αποστέλλεται στον ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα ώστε να δοθεί η εντολή στον ηλεκτροκινητήρα να παράγει την απαιτούμενη ροπή πέδησης. Σε σύγκριση με τις δύο περιπτώσεις συστημάτων πέδησης σειράς, τα συστήματα παράλληλης πέδησης είναι κατά πολύ απλούστερα στην κατασκευή και στον έλεγχο. Παρόλα αυτά, γίνεται ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην αίσθηση του οδηγού και το ποσό της ενέργειας που ανακτάται.

Κεφάλαιο 7: Κυκλοφορούντα σύγχρονα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα

7.1. Παραδείγματα οχημάτων και τεχνικά στοιχεία

7.1.1. Μοντέλα 2015

7.1.1.1. Tesla Model S P85D



Εικόνα 9 Tesla Model S P85D

Στη συγκεκριμένη έκδοση του μοντέλου, η Tesla προσθέτει έναν 221 ίππων ηλεκτρικό κινητήρα για να κινεί τους εμπρός τροχούς, ο οποίος λειτουργεί σε συνδυασμό με τον 470 ίππων πίσω ηλεκτροκινητήρα, παρέχοντας four-wheel drive (FWD) και συνολική απόδοση 691 ίππων. Οι δυο χρησιμοποιούμενοι κινητήρες είναι τύπου AC induction ροπών 331 Nm (244 lb-ft) και 600 Nm (443 lb-ft) για τον μπροστά και πίσω αντίστοιχα, καταλήγοντας σε μια συνολική ροπή 931 Nm (687 lb-ft).



Εικόνα 10 Σύστημα κινητήρων του Tesla Model S P85D



Εικόνα 11 2016 Tesla Model S P85D – Κινητήρας

7.1.1.2. Infiniti Q50 Hybrid



Εικόνα 12 Infiniti Q50 Hybrid

Πρωτοεμφανιζόμενο το 2014 ως ένα νέο μοντέλο που ονομάστηκε με βάση τη νέα "Q" ονοματολογία της μάρκας, το Q50 Hybrid επιστρέφει το 2015 με μόνο πολύ μικρές αλλαγές. Εμφανισιακά, δύσκολα διακρίνεται από το αντίστοιχο μη υβριδικό Q50, ωστόσο αποδίδει 10% περισσότερη ιπποδύναμη και 30% καλύτερη οικονομία καυσίμου αλλά ασφαλώς είναι πιο ακριβό σε σχέση με το βενζινοκίνητο.

Το υβριδικό σύστημα άμεσης απόκρισης του Q50 Hybrid αποτελείται από έναν 3.5-λίτρων, 24-βάλβιδο DOHC V6 κινητήρα, έναν ηλεκτρικό κινητήρα και δύο συμπλέκτες. Ως πλήρως υβριδικό, μπορεί να λειτουργήσει μόνο με μπαταρία σε χαμηλότερες ταχύτητες ή για σύντομα διαστήματα όταν βρίσκεται υπό χαμηλό φορτίο, αλλά ως επί το πλείστον ταλαντεύεται ανάμεσα στον ηλεκτρικό κινητήρα και τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, ή συνδυάζει τους δύο για τη μέγιστη ισχύ.



Εικόνα 13 Κινητήρας Infiniti Q50 Hybrid

Ο V6 κινητήρας εκτιμάται σε 302 ίππους και 350 Nm (258pounds-feet) ροπή στα 5.000rpm. Ένας ηλεκτρικός κινητήρας 346V προσθέτει 67 ίππους (50 kW) στις 2.000 σ.α.λ. και 270 Nm (199 pounds-feet) ροπή. Συνολικά το σύστημα είναι 360 ίππων, ξεπερνώντας τον 328 ίππων για τον 3,7-λίτρων V6 κινητήρα του μη-υβριδικού Q50.

Το Q50 Hybrid χρησιμοποιεί μια γρήγορης-εκκένωσης (fast-discharge) 1.3-λίτρων μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium-ion) και έχει δεξαμενή καυσίμου χωρητικότητας 67 λίτρων και η ισχύς οδηγείται από αυτόματο κιβώτιο 7 ταχυτήτων.

7.1.1.3. Kia Soul EV



Εικόνα 14 Kia Soul EV

Πρόκειται για ακόμα μία προσθήκη στον κατάλογο των BEVs (Battery-Electric Vehicles). Στο όχημα αυτό, η (λεπτή) συστοιχία μπαταριών είναι τοποθετημένη κάτω από τα εμπρός και πίσω καθίσματα για βέλτιστη κατανομή βάρους και για την ελαχιστοποίηση των απωλειών στο χώρο φορτίου.

Το σύστημα κίνησης διαθέτει έναν 81kW υγρόψυκτο AC σύγχρονο ηλεκτροκινητήρα μόνιμου μαγνήτη που παράγει 109 ίππους και μια αξιосέβαστη 285Nm ροπή.

Η ισχύς από τον ηλεκτροκινητήρα κατευθύνεται στους εμπρός τροχούς μέσω μιας μονάδας μείωσης στροφών μονής-ταχύτητας σταθερής-αναλογίας. Σύμφωνα με την εταιρία, η επιτάχυνση από μηδέν σε 96.6 km/h (60mph) συμβαίνει σε λιγότερο από 12 δευτερόλεπτα και η τελική ταχύτητα είναι 145 km/h (90mph).

Το μέγεθος της μπαταρίας είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ηλεκτρική αυτονομία. Εδώ, το Soul EV έχει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με το σύνολο των μικρών ηλεκτρικών αυτοκινήτων, όπου το σύνηθες είναι να χρησιμοποιούνται μπαταρίες των 21 έως 24kWh. Η Kia επέλεξε μια 360V μπαταρία πολυμερών ιόντων-λιθίου που ανάγεται στα 27kWh.

Το Soul EV είναι καλό για 93 μίλια στον κύκλο EPA. Για τους οδηγούς EV, προσφέρει ουσιαστικά 10 ή 12 μίλια εύρος οδήγησης σε σύγκριση με το Leaf της Nissan ή το Ford Focus Electric. Πρακτικά, αυτό το 93 μιλίων εκτιμώμενο οδηγικό εύρος βρίσκεται στην κορυφή του EV κόσμου, εξαιρώντας το δυο φορές πιο ακριβό Tesla Model S. Οι εκτιμώμενες MPGε τιμές είναι 120 στην πόλη και 105 σε μεικτό κύκλο.

Η τεχνολογία της μπαταρίας πολυμερών ιόντων-λιθίου διαφέρει από τις συνηθισμένες κυψέλες ιόντων-



Εικόνα 15 Κινητήρας Kia Soul EV

λιθίου που απαντώνται στα περισσότερα EVs και παρέχει τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης της θερμότητας. Αντί να χρησιμοποιεί ένα liquid-based σύστημα διαχείρισης της θερμοκρασίας της μπαταρίας για τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσής της, ιδίως όταν κάνει κρύο, το Soul EV χρησιμοποιεί ένα σύστημα θέρμανσης της μπαταρίας, το οποίο ζεσταίνει την μπαταρία κατά τη διάρκεια της φόρτισης.

Στάνταρ είναι ένας 6,6-kW onboard φορτιστής και μια θύρα CHAdeMO DC γρήγορης φόρτισης. Ο χρόνος φόρτισης για μια πλήρως αποφορτισμένη μπαταρία, χρησιμοποιώντας μια 120V πρίζα, είναι 24 ώρες. Ο χρόνος αυτός μειώνεται σε λιγότερο από πέντε ώρες με μια πρίζα 240V, ενώ μια on-the-go φόρτιση από ένα επίπεδο 3 δημόσιο ταχυφορτιστή θα δώσει ένα 80% πλήρωσης σε μόλις 24 λεπτά.

Το Soul EV έχει δύο λειτουργίες κίνησης: Οδήγηση και Φρενάρισμα (Drive - Brake). Η επιλογή της λειτουργίας φρεναρίσματος ενεργοποιεί την αναγεννητική πέδηση για να συλλάβει περισσότερη από την κινητική ενέργεια του οχήματος ως ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό όχι μόνο επιβραδύνει το όχημα αρκετά γρήγορα χωρίς τη χρήση του πεντάλ του φρένου, αλλά μπορεί να προσθέσει τρία ή τέσσερα μίλια οδηγικού εύρους μεταξύ των επαναφορτίσεων.

Η χρήση κλιματισμού, θέρμανσης ή ψύξης, μπορεί να μειώσει την αυτονομία έως και 10 μίλια. Για να μετριάσει το γεγονός αυτό, το Soul EV έχει ένα καινοτόμο χαρακτηριστικό ατομικού εξαερισμού. Ενεργοποιείται από ένα κουμπί "Driver Only" και αποκόπτει όλους τους αεραγωγούς κλιματισμού εκτός από εκείνους γύρω από τον οδηγό, μειώνοντας έτσι την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να διατηρηθεί η καμπίνα σε μια άνετη θερμοκρασία. Τέλος, υπάρχει και ένα Eco κουμπί, που προσαρμόζει ορισμένες λειτουργίες του EV συστήματος όπως η ευαισθησία στο πεντάλ του γκαζιού, ώστε να επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη αποδοτικότητα.



Εικόνα 16 Ταμπλό και κεντρική LCD οθόνη

Ο δεξιός μετρητής έχει ένα συνδυασμό αναλογικού και ψηφιακού ταχύμετρου. Ο αριστερός εμφανίζει ένα εξαιρετικά ακριβές εύρος οδήγησης, καθώς και το επίπεδο της μπαταρίας και ένα eco-driving οδηγό. Μια κεντρική LCD οθόνη εμφανίζει πληροφορίες ταξιδιού ή τις πηγές ήχου.

7.1.1.4. Toyota Avalon Hybrid



Εικόνα 17 Toyota Avalon Hybrid

Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει ένα 4-κύλινδρο υβριδικό σύστημα, με έναν κινητήρα κύκλου Atkinson 2,5 λίτρων με 156 ίππους στις 5.700σ.α.λ., και ροπή 212Nm στις 4.500σ.α.λ.. Η ισχύς του κινητήρα ενισχύεται από 270Nm ροπής του ηλεκτρικού κινητήρα από 0-1.500 σ.α.λ. και ηλεκτρική ισχύ 141 ίππων στις 4.500 σ.α.λ..



Εικόνα 18 Κινητήρας Toyota Avalon Hybrid

Το συνολικό σύστημα αξιολογείται στους 200 ίππους οι οποίοι οδηγούνται στον εμπρόσθιο τροχό μέσω συνεχώς μεταβαλλόμενης μετάδοσης (CVT).

Ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτείται από μια 244,8V μπαταρία νικελίου-μετάλλου υδριδίου που αποτελείται από 34 μονάδες αποτελούμενες συνολικά από 204 κυψέλες.

Τρεις τρόποι προώθησης επιτρέπουν στον οδηγό να επιλέξει το βαθμό 'επιθετικότητας' που προτιμά. Η λειτουργία EV επιτυγχάνει τη μέγιστη οικονομία αφού, υποθέτοντας ότι η φόρτιση της μπαταρίας είναι επαρκής, επιτρέπει all-electric οδήγηση έως και 1,6km (1 μίλι) κάτω των 40 Km/h (25 mph). Μια άλλη λειτουργία εξοικονόμησης καυσίμου, η Eco, ελέγχει την απόκριση γκαζιού και το σύστημα HVAC για να πετύχει αυτή την εξοικονόμηση ενέργειας. Τέλος, η Sport λειτουργία προσομοιώνει πολλές ταχύτητες στη CVT, ενώ οι σ.α.λ. μπορούν να αυξηθούν αισθητά σε αυτή τη λειτουργία.

7.1.1.5. Toyota Camry Hybrid

Η οικονομία καυσίμου για το μοντέλο αυτό αξιολογείται στα 5.5 L/100km (43 mpg) για την πόλη, 6.2 L/100km (38 mpg) στον αυτοκινητόδρομο και 5,7 L/100km (41 mpg) για μεικτό κύκλο στην LE έκδοση και 5.9/6.2/5.9 L/100km (40/38/40 mpg) για την SE/XLE έκδοση.

Χρησιμοποιεί έναν τετρακύλινδρο, 2.5-λίτρων, DOHC, 16-βάλβιδο κινητήρα κύκλου Atkinson με block κινητήρα από αλουμίνιο και κυλινδροκεφαλές. Η έξοδος είναι 156 ίππων και 212 Nm ροπής στις 5.700 σ.α.λ. και 4.500 σ.α.λ., αντίστοιχα.



Εικόνα 19 Toyota Camry Hybrid

Σε αυτόν, προστίθεται ένας AC σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας μόνιμου μαγνήτη με 141 ίππους στις 4.500 σ.α.λ. και 270 Nm ροπής μεταξύ 0-1,550 σ.α.λ. με μια 6.5Ah/650V μπαταρία NiMH.

Τέλος, η ισχύς διοχετεύεται μέσω CVT μετάδοσης με τρεις τρόπους μετάδοσης κίνησης – υβριδικό, ECO και EV και για χαμηλής-ταχύτητας, μικρής-εμβέλειας ηλεκτρική πρόωση.

7.1.1.6. Toyota Highlander Hybrid



Εικόνα 20 Toyota Highlander Hybrid

Το Highlander Hybrid κυκλοφορεί σε δυο εκδόσεις, τη Limited και Limited Platinum. Το σύστημά του βασίζεται σε έναν 3.5-λίτρων V6 κύκλου Atkinson κινητήρα και το όχημα ουσιαστικά συγχωνεύει τρεις ηλεκτροκινητήρες σε ένα σύστημα μετάδοσης - έναν μπροστά και έναν πίσω για την πρόωση και έναν τρίτο για την εκκίνηση και την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Η οικονομία καυσίμου για τις δυο εκδόσεις αξιολογείται στα 8,71/8.4 L/100km (27/28mpg) στην πόλη, 8.4 L/100km (28mpg) σε αυτοκινητόδρομο και 8.4 για μεικτό κύκλο.

Η ιπποδύναμη και για τις δυο εκδόσεις υπολογίζεται στους 280 ίππους σε 5800 σ.α.λ. και η ροπή σε 215 στις 4800 σ.α.λ.



Εικόνα 21 Κινητήρας Toyota Highlander Hybrid

7.1.1.7. Honda Accord Hybrid & Honda Accord Plug-in Hybrid

Το Accord Hybrid αξιολογείται στα 4.7/5.2/5 L/100km (50/45/47 mpg) για πόλη, αυτοκινητόδρομο και μεικτό κύκλο αντίστοιχα, αποτέλεσμα που οφείλεται στο χρησιμοποιούμενο Two-Motor Hybrid Intelligent Multi-Mode Drive (i-MMD) σύστημά του. Το i-MMD συνδυάζει έναν πρόσφατα αναπτυγμένο κινητήρα ειδικά για υβριδικά οχήματα, ηλεκτρική συνεχώς μεταβαλλόμενη μετάδοση (CVT) σε συνδυασμό με δύο ενσωματωμένους ηλεκτροκινητήρες, έναν συμπλέκτη lock-up και μια μπαταρία ιόντων λιθίου. Η απόδοση του συστήματος είναι 196 ίππων ενώ η ύπαρξη δυο κινητήρων επιτρέπει πλήρως ηλεκτρική λειτουργία, πλήρως βενζινοκίνητη, καθώς και συνδυασμό αυτών. Ο κινητήρας είναι τετρακύλινδρος 41-hp I-VTEC κύκλου Atkinson. Ξεπερνάει άλλους καθώς απορρίπτει μια πραγματικά συνεχώς μεταβαλλόμενη μετάδοση, δημιουργώντας αντ' αυτού μια εικονική, την οποία η Honda ονομάζει E-CVT. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα μετάδοσης του Accord Hybrid χρησιμοποιεί κάποια από τα χαρακτηριστικά της CVT αλλά η E-CVT μετάδοση στην πραγματικότητα δεν είναι CVT. Ουσιαστικά, δεν είναι αυτό που κανονικά θα ονομάζαμε μετάδοση: δεν υπάρχουν τροχαλίες ή ιμάντες, ούτε μετατροπέας ροπής ή συμπλέκτης (drive clutch).



Εικόνα 22 Honda Accord Hybrid

Αντ' αυτού, το E-CVT χρησιμοποιεί τους δύο ηλεκτροκινητήρες για να ελέγχει τόσο τον κινητήρα και την περιστροφή του ηλεκτροκινητήρα μέσω του συμπλέκτη ασφάλισης (lock-up clutch). Σε ταχύτητες πορείας σε αυτοκινητόδρομο, ο συμπλέκτης έχει εμπλακεί, συνδέοντας τον ηλεκτροκινητήρα κίνησης στον κινητήρα-γεννήτρια ώστε να μεταδίδει τη ροπή του βενζινοκίνητηρα απευθείας στους κινητήριους τροχούς. Στη λειτουργία EV, όταν ο κινητήρας κίνησης που τροφοδοτείται από μπαταρία χρησιμοποιείται είτε για επιτάχυνση ή για την αναγεννητική πέδηση, ο συμπλέκτης αποσυνδέει τον σταματημένο βενζινοκίνητηρα από το σύστημα μετάδοσης.

Συνεπώς, από τους κινητήρες, ο ένας χρησιμοποιείται για την πρόωση του οχήματος, αποδίδοντας 166 μέγιστη υποδύναμη και 306Nm ροπής από 0-4000 σ.α.λ. Η δεύτερη μηχανή είναι πρωτίστως μια γεννήτρια που χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση της μπαταρίας και χρησιμοποιείται επίσης για την εκκίνηση του κινητήρα. Επιπλέον, η αναγεννητική πέδηση συμβάλλει στην φόρτιση της μπαταρίας.

7.1.1.8. Lexus CT 200h



Εικόνα 23 Lexus CT 200h

Το όχημα διαθέτει έναν 1.8 λίτρων κινητήρα κύκλου Atkinson –πιο αποτελεσματικό αλλά μικρότερης ροπής σε σχέση με έναν συμβατικό κύκλο Otto και ιδανικό για συνδυασμό με ηλεκτροκινητήρα για την ενίσχυση της ισχύος στις χαμηλές στροφές. Στην πραγματικότητα, χρησιμοποιούνται δυο ηλεκτροκινητήρες (motor generators) και συνολικά μπορεί να υπάρχει ίσα αρκετή ροπή για το σύστημα που επιτρέπει all-electric οδήγηση χαμηλής ταχύτητας για περίπου 1,61 km.

Η συνολική δύναμη 134 ίππων οδηγείται στους εμπρόσθιους τροχούς μέσω CVT μετάδοσης, ενώ υπάρχουν διάφορες λειτουργίες οδήγησης -EV, Eco, Normal και Sport. Ο «εγκέφαλος» του υβριδικού συστήματος αποφασίζει από πού να αντλήσει την ενέργεια -το μηχανικό κινητήρα, τον ηλεκτροκινητήρα ή από τους δύο.

7.1.1.9. Lexus RX 450h



Εικόνα 24 Lexus RX 450h

Το σύστημα διαθέτει τέσσερις τρόπους λειτουργίας, από την χαμηλών στροφών pure EV λειτουργία, στη Normal, την Eco την Sport, ενώ μπορεί να λειτουργήσει είτε μόνο με ηλεκτροκίνηση ή μόνο με χρήση μόνο του κινητήρα καυσίμου είτε και σε λειτουργία συνδυασμού των δύο.

Τεχνικά, ένας V6 3,5-λίτρων κύκλου Atkinson κινητήρας συγχωνεύεται μπροστά με έναν ηλεκτροκινητήρα 116kW οδηγώντας σε ένα σύστημα

295 ίππων με ισχυρή αλλά απροσδιόριστη συνολική ροπή. Το μοντέλο AWD διαθέτει μια επιπλέον γεννήτρια 50kW που βοηθάει σε ολισθηρές συνθήκες και προσθέτει στην επιτάχυνση. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι η απουσία μηχανικού κινητήριου άξονα.

Η ισχύς οδηγείται για το τμήμα μετάδοσης κίνησης στους εμπρός τροχούς του RX με πλανητικού τύπου CVT. Μια 288V νικελίου-υδριδίου μετάλλου (Ni-MH) μπαταρία κάτω από τα πίσω καθίσματα αποθηκεύει την ενέργεια από το αναπαραγωγικό φρενάρισμα και μια τρίτη γεννήτρια.



Εικόνα 25 Κινητήρας Lexus RX 450h

7.1.1.10. Ford Fusion Energi

Το μοντέλο του 2015 προσφέρει απλά βελτιώσεις ως προς τον εξοπλισμό και τα χαρακτηριστικά. Ως plug-in υβριδικό ηλεκτρικό όχημα, το Fusion Energi χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα τρίτης γενιάς που μοιράζεται σχεδιαστικά χαρακτηριστικά και ευρεσιτεχνίες με το Hybrid Synergy Drive της Toyota. Το σύστημα κίνησης του Energi αξιώνει πάνω από 200 από τις σχεδόν 500 πατέντες υβριδικών συστημάτων της Ford.



Εικόνα 26 Ford Fusion Energi

Βασικό του στοιχείο είναι ο aluminum head and block 2.0-λίτρων κινητήρας κύκλου Atkinson, που παράγει 141 ίππους και 175Nm ροπής και λειτουργεί σε συνδυασμό με έναν 118 ίππων AC μόνιμου μαγνήτη ηλεκτρικό κινητήρα που αποδίδει 118 ίππους και 159Nm ροπή.

Οι συνολικές τιμές του FWD συστήματος είναι 188 ίπποι και περίπου 217Nm. Όταν η μπαταρία είναι φορτισμένη, το σύστημα μπορεί να αποδώσει μέχρι και 195 ίππους και πιθανότατα περισσότερη ροπή καθώς είναι το e-drive του που προσθέτει κάποια επιπλέον km/h. Η χρησιμοποιούμενη μπαταρία είναι της τάξης των 7.6-kwh.

Επίσημως, η αξιολόγηση EPA είναι σε MPGe για ενεργοποιημένη μπαταρία 95 σε πόλη, 81 σε αυτοκινητόδρομο, 88 για μεικτό κύκλο.



Εικόνα 27 Κινητήρας Ford Fusion Energi

7.1.2. Μοντέλα 2014

7.1.2.1. Porsche Plug-In S E-Hybrid



Εικόνα 28 Porsche Plug-In S E-Hybrid

Πρόκειται για ένα Plug-in ηλεκτρικό όχημα παράλληλης διάταξης. Η συνολική απόδοση του συστήματος είναι 416 ίππων και ροπής 590 Nm, με εκτιμώμενη τελική ταχύτητα 269 km/h.



Εικόνα 29 Κινητήρας Porsche Plug-In S E-Hybrid

Η κύρια ισχύς παρέχεται από έναν 333 ίππων 3.0-λίτρων supercharged six feeding κινητήρα μέσω Tiptronic S manual transmission 8-ταχυτήτων. Επίσης, διαθέτει έναν AC ηλεκτροκινητήρα 95 ίππων σε συνδυασμό με μια μπαταρία 9.4kWh ιόντων λιθίου. Ο ηλεκτροκινητήρας συνδράμει 310Nm ροπής από 0-1,700 σ.α.λ., ενώ ο μηχανικός κινητήρας φτάνει το μέγιστό του στις 5,500-6,500 σ.α.λ και αποδίδει 440Nm από 3,000-5,250 σ.α.λ.. Τέλος, το εύρος ηλεκτρικής μόνο λειτουργίας του οχήματος είναι περίπου 32km, υπό την προϋπόθεση, βέβαια, συντηρητικής οδήγησης.

7.1.2.2. Honda Civic Hybrid



Εικόνα 30 Honda Civic Hybrid

Η αξιολόγηση για το μοντέλο του 2014 ορίζει τις επιδόσεις σε 5.35 L/100km (44 mpg) σε πόλη, 5 L/100km (47 mpg) σε αυτοκινητόδρομο, 5.23 L/100km (45 mpg) σε μεικτό κύκλο.

Ο πέμπτης γενιάς Integrated Motor Assist (IMA) σχεδιασμός της Honda χρησιμοποιεί έναν 1.5-λιτρων inline-four κινητήρα και λεπτό ηλεκτροκινητήρα για να βοηθάει τον κινητήρα να προωθεί το όχημα μέσω μηχανισμού μετάδοσης CVT και η χρησιμοποιούμενη μπαταρία είναι τύπου li-ion.

Το υβριδικό σύστημα λειτουργεί μεν αλλά δεν αποσυνδέεται από τη μηχανή. Ωστόσο, κάτω από συνθήκες ελαφρού φορτίου, η μονάδα ελέγχου του (ECU - Engine control unit) επιτρέπει κάποια καθαρά EV λειτουργία. Η παρασιτική απώλεια κινητήρα ελαχιστοποιείται από το ελεγχόμενο από υπολογιστή σύστημα i-VTEC του αλλά η μηχανή περιστρέφεται συνεχώς.

Η συνδυασμένη υποδύναμη βενζινοκινητήρα και ηλεκτροκινητήρα είναι 110 ίπποι και η ροπή είναι 172Nm.



Εικόνα 31 Engine Honda Civic Hybrid

7.1.2.3. Lexus GS 450h

Το full hybrid series-parallel hybrid σύστημα κίνησης του Lexus GS 450h συνδυάζει έναν κινητήρα 3.5-λίτρων V6 κύκλου Atkinson με δύο ηλεκτροκινητήρες. Η Lexus χρησιμοποιεί έναν υγρόψυκτο 200 ίππων 650V ηλεκτροκινητήρα (motor generator) και μια ακόμα ηλεκτρική μηχανή 180 ίππων, που λειτουργεί επίσης ως η κύρια γεννήτρια για να ξεκινήσει τον κινητήρα για τη start-stop λειτουργία του οχήματος.



Εικόνα 32 Lexus GS 450h

Η ενέργεια από τη γεννήτρια και την αναγεννητική πέδηση αποθηκεύεται σε μια μπαταρία νικελίου-μετάλλου υδριδίου (Ni-MH). Ο κινητήρας κύκλου Atkinson αναπτύσσει 286 ίππους, δηλαδή 20 λιγότερο από ό,τι ο αντίστοιχος V6 κύκλου Otto στο μη υβριδικό GS 350, και το ηλεκτρικό κομμάτι του συστήματος αποδίδει 338 ίππους.



Εικόνα 33 Engine Lexus GS 450h

Ο βενζινοκινητήρας του χρησιμοποιεί μια υψηλή αναλογία συμπίεσης 13:1, και ένα σύστημα διπλής έγχυσης που συνδυάζει άμεση έγχυση καυσίμου (direct fuel injection) με ψεκασμό πολλών σημείων (port fuel injection, PFI) για κάθε κύλινδρο.

Η ισχύς διοχετεύεται μέσω CVT automatic. Ένας συμβατικός επιλογέας χρησιμοποιείται κυρίως για την επιλογή του τρόπου κίνησης, με τις επιλογές να διακρίνονται στις Eco, Sport, και Sport Plus. Τέλος, οι εκτιμώμενες κατά EPA επιδόσεις κυμαίνονται στα 8.1 L/100km στην πόλη, 6.91 στον αυτοκινητόδρομο και 7.6 για μεικτό κύκλο.

7.1.2.4. Toyota Prius v



Εικόνα 34 Toyota Prius v

Το Prius v είναι το μοντέλο τύπου wagon στην τεσσάρων μοντέλων σειρά Prius της Toyota, το οποίο δανείζεται το σύστημα κίνησής του αλλά και στυλιστικά χαρακτηριστικά από το Prius Liftback.



Εικόνα 35 Κινητήρας Toyota Prius v

Ο ηλεκτρικός του κινητήρας, που του επιτρέπει να «τρέχει» ηλεκτρικά κατά διαστήματα, χρησιμοποιείται σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα σε διάφορες ταχύτητες από το έξυπνα προγραμματισμένο σύστημα ελέγχου που εξισορροπεί οικονομία καυσίμου και επιτάχυνση. Σε συνδυασμό με την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιείται ένας 1.8-λίτρων κύκλου Atkinson, τετρακύλινδρος βενζινοκινητήρα που αποδίδει 98 ίππους στις 5.200 σ.α.λ. Μαζί με τον ηλεκτροκινητήρα, το υβριδικό σύστημα παράγει συνδυαστικά 134 καθαρή ιπποδύναμη.

Το Prius V χρησιμοποιεί συνεχώς μεταβαλλόμενη μετάδοση (CVT), η οποία δρα σαν αυτόματη μετάδοση, αλλά χρησιμοποιεί άπειρες σχέσεις αντί για preset gearing. Η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μια μπαταρία νικελίου-μετάλλου υδριδίου (NiMH) η οποία επαναφορτίζεται από την αναγεννητική πέδηση καθώς και την γεννήτρια. Η τεχνολογία Stop-Start επίσης εξοικονομεί καύσιμα απενεργοποιώντας αυτόματα τον κινητήρα όταν το αυτοκίνητο ακινητοποιείται και επανεκκινώντας τον όταν ο οδηγός αφήσει το φρένο.

Τέλος, το σύστημα υποστηρίζει τέσσερις τρόπους οδήγησης -Normal, Power, Eco και EV.

7.1.2.5. Toyota Prius c

Κυκλοφορώντας μόνο ως υβριδικό όχημα, το Prius c είναι μια παραλλαγή του "Hybrid Synergy Drive" θέματος, σήμα κατατεθέν της Toyota.



Εικόνα 36 Toyota Prius c

Ο χρησιμοποιούμενος ηλεκτρικός κινητήρας 60 ίππων –που στην πραγματικότητα συμβάλλει 25,9 ίππους στο σύστημα HSD– ενισχύει την επίδοση του οχήματος και έχει ως στόχο την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας όσο το δυνατόν συχνότερα για να αποτρέψει τη χρήση των καυσίμων. Με τη σειρά του, ο κινητήρας κύκλου Atkinson αξιολογείται στους 73 ίππους και 111Nm ροπή και η Toyota βαθμολογεί συνολικά το πακέτο σε μια τιμή 99 ίππων, η οποία οδηγείται μέσω συνεχώς μεταβαλλόμενης μετάδοσης (CVT) .

Η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μια μπαταρία νικελίου-μετάλλου υδριδίου 0.87 kWh, η οποία είναι αρκετά μικρή ώστε να μη θυσιάζεται καθόλου αποθηκευτικός ή μέρος από το χώρο καθισμάτων και είναι τοποθετημένη κάτω από το πίσω κάθισμα κοντά στη δεξαμενή καυσίμου.

Τρεις τρόποι οδήγησης υποστηρίζονται, Normal, Eco, και fuel-free Ev, που, υποθέτοντας επαρκή φόρτιση μπαταρίας και μέτρια επιτάχυνση, επιτρέπει στο Prius c να ταξιδέψει για περίπου 1,61km στα ως 40 km/h.

7.1.2.6. Toyota Prius Liftback

Το Prius είναι ένα “πλήρως” υβριδικό όχημα. Ο ήδη δοκιμασμένος στο παρελθόν 1.8 λίτρων κύκλου Atkinson κινητήρας συνδυάζεται με έναν ηλεκτροκινητήρα, με τους δυο τους να ισορροπούν μεταξύ της παροχής ενέργειας από μια μπαταρία νικελίου-μετάλλου υδριδίου και απλή βενζίνη, για να κινήσουν το όχημα μέσω των μπροστά τροχών.



Εικόνα 37 Toyota Prius Liftback



Εικόνα 38 Κινητήρας Toyota Prius Liftback

Η συνολική ιπποδύναμη του συστήματος είναι 134 ίπποι, ενώ η ροπή δεν έχει επίσημα δημοσιοποιηθεί. Η απόδοση καυσίμου κατά τον κύκλο EPA είναι 4.61 L/100km στην πόλη, 4.9 L/100km σε αυτοκινητόδρομο και 4.7 L/100km σε μεικτό κύκλο.

7.1.2.7. Ford C-Max Hybrid



Εικόνα 39 Ford C-Max Hybrid

Το C-Max κινεί το ίδιο "Powersplit" υβριδικό σύστημα που βρίσκεται στο Fusion Hybrid. Αποτελείται από έναν 2.0-λίτρων κινητήρα κύκλου Atkinson καθώς και από έναν ηλεκτροκινητήρα και μπαταρία. Ο αλουμινένιος, τεσσάρων βαλβίδων ανά κύλινδρο κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ 141 ίππων και 175Nm ροπή.



Εικόνα 40 Κινητήρας Ford C-Max Hybrid

Η ηλεκτρικός κινητήρας προσθέτει μέχρι και 114 ίππους και ροπή 240 Nm σε 6.000rpm. Η ισχύς διοχετεύεται μέσω eCVT μετάδοσης με πλανητικό σύστημα γρναζιών που μπορεί να αποσυνδέσει ή να συνδυάσει τις δύο ανεξάρτητες πηγές ενέργειας.

Μια 1.4kWh μπαταρία ιόντων λιθίου χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα front-wheel-drive είναι ονομαστικής ισχύος 188 ίππων και οι επιδόσεις κατά EPA αξιολογούνται στα 45mpg σε πόλη, 40 σε αυτοκινητόδρομο και 43 συνδυαστικά.

7.1.2.8. Lexus ES 300h



Εικόνα 41 Lexus ES 300h

Ένας κινητήρας 2.5-λίτρων κύκλου Atkinson συνδυάζεται με έναν σύγχρονο AC κινητήρα μόνιμου μαγνήτη και μια γεννήτρια (motor/generator).

Το Hybrid Synergy Drive (HSD) σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το ίδιο που συναντούμε και στα υβριδικά μοντέλα Camry and Avalon. Ο κινητήρας 156 ίππων χρησιμοποιεί μια υψηλή αναλογία συμπίεσης 12,5:1, και οι παλμοί ενέργειάς του συγχωνεύονται μέσω ελέγχου υπολογιστή με δύο ηλεκτροκινητήρες. Ένας είναι ο motor/generator που είναι κατά κύριο λόγο engine driven και επαναφορτίζει την 1.6kWh υγρόψυκτη μπαταρία νικελίου-μετάλλου υδριδίου. Επίσης, χρησιμοποιείται για την εκκίνηση του βενζινοκινητήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας Stop/Start. Ο κύριος κινητήρας πρόωσης είναι υπεύθυνος για την προσθήκη κινητήριας ισχύος. Παρέχει 105kW (142 ίππους) στις 4.500 σ.α.λ., και η μέγιστη ροπή από 0-1,500rpm είναι 270 Nm.

Η ισχύς του συστήματος και τα χαρακτηριστικά είναι ευέλικτα, χάρη στις επιλεγόμενες λειτουργίες κίνησης: Eco/Νορμαλ και Sport λειτουργίες, καθώς και EV η οποία ενεργοποιείται με ένα κουμπί υποθέτοντας φόρτισης της μπαταρίας και ήρεμη οδήγηση.

Κατά EPA, η οικονομία καυσίμου κυμαίνεται στα 5.9/6/5.9 L/100km για πόλη/αυτοκινητόδρομο/μεικτό κύκλο αντίστοιχα.

7.1.3. Μοντέλα ως το 2012

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα ηλεκτροκίνητων οχημάτων, τα οποία ως προς το έτος εμφάνισής τους καλύπτουν ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, από το 1969 έως το 2012. Δίνονται, ακόμη, επιπρόσθετες πληροφορίες όπως το είδος του κινητήρα ή ο τύπος της μπαταρίας που χρησιμοποιεί το καθένα.

Model	Battery Type	Energy storage (kWh)	Nominal range (km)	Market release	Power (KW)	Motor type							
Tesla Model S	Li	42	258	2012	215	IM	AC Propulsion eBox	Li	35	250	2007	150	IM
Tesla Model S	Li	65	370	2012	215	IM	ZAP! OBVIO! 828E	Li	39	386	2007	120	IM
Tesla Model S	Li	85	483	2012	215	IM	Phoenix sut	Li	35	209	2007	100	
Lightning GT	Li	40	240	2012	150	PM	Phoenix sut	Li	70	403	2007	100	
Hyundai Blue On	Li	16,4	140	2012	61	PM	Smart ED	Na	13,2	110	2007	30	PM
Honda Fit EV	Li		113	2012		IM	Kewet Buddy	Pb	8,4	40	2007	13	DC
Toyota RAV4 EV	Li	30	160	2012		IM	The Kurrent	Pb		60	2007	4,1	
Saab 9-3 ePower	Li	35,5	200	2011	135		CityCar	Li	7	120	2007		
CODA Sedan	Li	34	193	2011	100		ZAP Xebra	Pb	7,2	40	2006	5	DC
Ford Focus Electric	Li	23	160	2011	100	IM	NICE Mega City	Pb	6,5	81	2006	4	DC
Scoada Octavia Green E Line	Li	26,5	140	2011	85		Commuter Cars						
Volvo C30 DRiVe Electric	Li	24	150	2011	82		Tango	Pb	16	100	2005	43	DC
Renault Fluence Z.E.	Li	22	161	2011	70	SB	Cree SAM	Li	7	100	2001	11,6	PM
Renault ZOE	Li	22	160	2011	60	SB	G-Wiz	Pb	9,3	77	2001	4,8	DC
Tata Indica Vista EV	Li	26,5	241	2011	55	PM	Dynasty IT						
Ford Tourneo Connect EV	Li	21	160	2011	50	IM	General	Pb	5	48	2001		
Kangoo Express Z.E	Li	22	170	2011	44	SB	Motors EV1	NiMH	26,4	225	1999	102	IM
Fiat Doblo	Li	18	140	2011	43	IM	Ford Ranger EV	NiMH	26	132	1999	67	IM
Peugeot iOn	Li	16	130	2011	35	PM	Peugeot Partner	NiCd	16,2	96	1999	28	DC
Renault Twizy	Li	7	100	2011	15	PM	Hypermini Myers						
REVA NXR	Pb	9,6	160	2011	13	IM	Motors NmG	Li	15	115	1999	24	PM
BYD F3M	Li	15	100	2010	125	PM	NmG	Pb	8,6	64	1999	20	DC
Nissan Leaf	Li	24	175	2010	80	PM	Peugeot 106	NiCd	12	150	1999	20	DC
Ford Transit Connect EV	Li	28	129	2010	50	IM	GM S-10	NiMH	29	113	1998	85	IM
Citroen C zero	Li	16	130	2010	49	PM	Ford Ranger EV	Pb	20,6	100	1998	67	IM
Gordon Murray T-27	Li	12	130	2010	25		Toyota RAV4 EV	NiMH	26	165	1998	50	PM
Wheego Whip LiFe	Li	30	161	2010	15	IM	Renault Express						
Venturi Fetish	Li	54	340	2009	220		Electric	Pb	22	100	1998	19	
Mini E	Li	35	195	2009	150	IM	GEM Car	Pb	48	1998	9	DC	
BYD e6	Li	60	330	2009	115	PM	CityCom Mini-El	Pb	3,6	96	1998	9	PM
Mitsubishi iMiEV	Li	16	160	2009	47	PM	GM S-10	Pb	16,2	76	1997	85	IM
Subaru Stella EV	Li	9,2	80	2009	40		Nissan Altra	Li	32	190	1997	62	PM
Smart ED	Li	16,5	135	2009	30	PM	Honda EV Plus	NiMH	26,2	240	1997	49	DC
Citroën C1 ev'ie	Li	30	110	2009	30	IM	General Motors						
Zytel Gorilla Electric	Pb	10,8	80	2009	17		EV1	Pb	18,7	160	1996	102	IM
Micro-Vett Fiat Panda	Li	22	120	2009	15	IM	Citroen Berlingo	NiCd	16	100	1995	28	DC
Micro-Vett Fiat 500	Li	22	130	2009	15	IM	Citroen Saxo	NiMH	17	100	1995	20	DC
Tazzari Zero	Li	19	140	2009	15	IM	Subaru minivan						
Chana Benni	Pb	9	120	2009	10		200	Pb	15,6	70	1995	14	DC
Tesla Roadster	Li	53	395	2008	215	IM	Solectria Sunrise	NiMH	26	321	1994	50	IM
Think City	Na	24	160	2008	34	IM	Crysler TEVan	NiMH	32,4	80	1993	27	DC
Think City	Li	23	160	2008	34	IM	Micro-Vett Fiat Panda						
Lumeneo SMERA	Li	10	100	2008	30	PM	Micro-Vett Fiat 500						
Stevens Zecar	Pb		80	2008	27	IM	Citroen AX	NiCd	12	100	1993	20	DC
REVAi	Pb	9,3	80	2008	13	IM	VW Golf						
REVAi	Li	9,3	80	2008	13	IM	CityStormer	Pb	17,2	90	1993	17,5	PM
ZENN	Pb		64	2008		IM	Ford Ecostar	Na	37	151	1992	56	IM
							Tesla Roadster	Pb		130	1992	52	DC
							VW Golf						
							CityStormer	Pb	11,5	50	1989	18,5	PM
							CityEl	Pb	11,5	90	1987	4	DC
							CityEl	Pb	8,6	80	1987	2,5	DC
							Lucas Chloride	Pb	40	70	1977	40	DC
							Citicar	Pb			1974	2,5	DC
							Enfield 8000	Pb	8	145	1969	10	DC

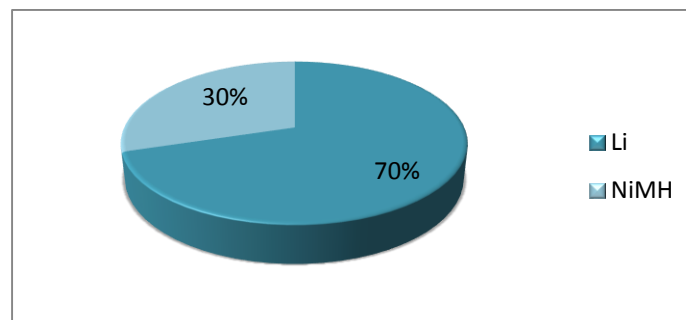
Πίνακας 17 Αντιπροσωπευτικά ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορίας ως το 2012

7.2. Συγκριτικά Αποτελέσματα

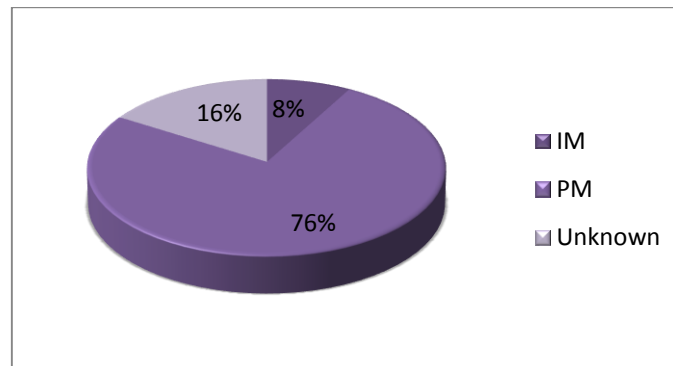
Από την ανάλυση και τα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί νωρίτερα, στη συνέχεια επιχειρείται μια συγκριτική ανασκόπηση αυτών.

7.2.1. Σύγχρονα μοντέλα (2013-σήμερα)

Στα πιο σύγχρονα μοντέλα, αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά κύριο λόγο προτιμώνται συγκεκριμένοι τύποι μπαταριών και κινητήρων. Ως προς τις μπαταρίες, το ενδιαφέρον των κατασκευαστών επικεντρώνεται στους τύπους λιθίου (Li) και νικελίου-μετάλλου υδριδίου (NiMH), με το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης να εμφανίζεται σε αυτούς του λιθίου. Όσον αφορά τους κινητήρες, επικρατούν οι AC σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (permanent-magnet AC synchronous motors), ενώ εντοπίζονται ακόμη στην αγορά και κινητήρες επαγωγής (induction motors).



Σχήμα 48 Χρησιμοποιούμενες σε σύγχρονα ηλεκτροκίνητα οχήματα μπαταρίες



Σχήμα 49 Χρησιμοποιούμενοι σε σύγχρονα ηλεκτροκίνητα οχήματα κινητήρες

Τα αποτελέσματα αυτά, τόσο για τις μπαταρίες όσο και για τους κινητήρες, είναι δικαιολογημένα βάσει των ιδιοτήτων των εκάστοτε επιλογών και τεχνολογιών. Πιο συγκεκριμένα, οι συσσωρευτές NiMH παρουσιάζουν, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής, γεγονός που τους καθιστά ελκυστική επιλογή για εφαρμογές ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Από την άλλη, το υψηλό κόστος κατασκευής τους δικαιολογεί ίσως τη μεγαλύτερη προτίμηση προς τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου, οι οποίοι άλλωστε πλεονεκτούν ως προς τους υπόλοιπους τύπους συσσωρευτών χάρη στη μεγάλη τιμή ειδικής ενέργειας που τους χαρακτηρίζει. Λόγω αυτού, για δεδομένη ισχύ οι μπαταρίες λιθίου καθίστανται ελαφρύτερες από τις άλλες, χαρακτηριστικό πολύ χρήσιμο και αρκετά κρίσιμο όσον αφορά τα ηλεκτροκίνητα οχήματα.

Σχετικά με τους κινητήρες, η προτίμηση προς τους κινητήρες επαγωγής δικαιολογείται εύκολα από το χαμηλό κόστος, την υψηλή αξιοπιστία και τη maintenance-free λειτουργία που τους χαρακτηρίζει. Ταυτόχρονα, η ελαφριά και μικρού όγκου φύση τους και η υψηλή τους απόδοση συντελούν στην επιλογή του συγκεκριμένου τύπου, τουλάχιστον έναντι των DC κινητήρων. Παρομοίως, οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη προσφέρουν επίσης αρκετά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων η υψηλή αποδοτικότητα και διάρκεια ζωής, η αξιοπιστία, η μικρή ανάγκη συντήρησης και η ευκολία ελέγχου και ψύξης.

Model	Body Type	Combined MPG	Technology	Drivetrain	Battery	Transmission
2016 BMW X5 xDrive 40e	SUV	83.1 MPG	Plug-in Hybrid	AWD	9 kWh lithium-ion	8-speed automatic
2016 BMW 328e	Sedan	118 MPG	Plug-In Hybrid	RWD	7.6 kWh lithium-ion	8-speed Steptronic
2015 Audi A3 e-Tron	Hatchback	95 MPGe	Plug-in Hybrid	FWD	8.8 kWh lithium-ion	6-speed dual-clutch automatic with manual shifting mode
2015 Porsche 918 Spyder Plug-in Hybrid	Roadster	71 MPG	Hybrid	AWD	6.8 kWh lithium-ion	7-speed dual-clutch automatic with manual shifting mode
2015 Volvo S60 Plug-In	Sedan	155.2 MPG	Plug-in Hybrid	RWD	12 kWh lithium-ion	Six-speed automatic
2015 Fiat 500e	Sedan	116-MPGe	Electric	FWD	24 kWh lithium-ion	1-speed direct drive
2015 Infiniti Q50 Hybrid	Sedan	31 MPG	Hybrid	RWD, AWD	1.4 kWh lithium-ion	7-speed automatic
2015 Kia Soul EV	SUV	105 MPGe	Electric	FWD	27 kWh lithium-ion-polymer	1-speed direct drive
2015 Toyota Avalon Hybrid	Sedan	39 MPG	Hybrid	FWD	1.6 kWh Nickel Metal Hydride	continuously variable automatic
2015 Toyota Camry SE Hybrid	Sedan		Hybrid		1.6 kWh Nickel Metal Hydride	continuously variable automatic CVT automatic with manual shifting mode
2015 Toyota Highlander Hybrid	SUV	28 MPG	Hybrid	AWD	45 kWh Nickel Metal Hydride	mode
2015 Honda Accord Hybrid	Sedan	47 MPG	Hybrid	FWD	1.3 kWh lithium-ion	E-CVT
2015 Honda Accord Plug-in Hybrid	Sedan	115 MPGe	Plug-in Hybrid	FWD	6.7 kWh lithium-ion	electronic continuously variable automatic
2015 Tesla Model S P85D	Sedan	86 MPGe	Electric	AWD	85 kWh lithium-ion	1-speed direct drive
	Hatchback	93 MPGe	Electric	4WD	85-kWh lithium-ion	1-speed direct drive
2015 Lexus CT 200h	Hatchback	42 MPG	Hybrid	FWD	1.3 kWh Nickel Metal Hydride	CVT Auto
2015 Lexus RX 450h	Crossover SUV	AWD: 29MPG FWD: 30MPG	Hybrid	AWD	37 kWh Nickel Metal Hydride	VVT-i ECT-i
2015 Ford Fusion Energi	Sedan	88 MPG	Plug-in Hybrid	FWD	7.6 kWh lithium-ion	CVT Auto
2015 Ford Focus Electric	Hatchback	110 MPGe	Electric	FWD	23 kWh lithium-ion	1-speed automatic
2015 Porsche Cayenne S E-Hybrid	SUV	69 MPG	Plug-in Hybrid	4WD	10.8 kWh lithium-ion	8-speed automatic with manual shifting mode
2014 Porsche Panamera S E-Hybrid	Hatchback	76 MPG	Plug-in Hybrid	RWD	9.4 kWh lithium-ion	8-speed automatic with manual shifting mode
2014 Infiniti Q50S Hybrid	Sedan	31 MPG	Hybrid	AWD	1.4 kWh lithium-ion	7-speed automatic transmission
2014 Honda Civic Hybrid	Sedan	45 MPG	Hybrid	FWD	0.6 kWh lithium-ion	CVT Auto
2014 Lexus GS 450h	Sedan	31 MPG	Hybrid	RWD	1.9 kWh Nickel Metal Hydride	CVT Auto
2014 Toyota Prius v	Wagon	42 MPG	Hybrid	FWD	1.3 kWh Nickel Metal Hydride	CVT Auto
2014 Honda Accord Hybrid	Sedan	47 MPG	Hybrid	FWD	1.3 kWh lithium-ion	1-speed direct drive
2015 Honda Accord Plug-in Hybrid	Sedan	47 MPG	Plug-in Hybrid	FWD	6.7 kWh lithium-ion	eCVT transmission
2015 Toyota Prius c	Hatchback	50 MPG	Hybrid	FWD	0.9 kWh Nickel Metal Hydride	CVT Auto
2014 Toyota Prius c	Hatchback	50 MPG	Hybrid	FWD	Nickel Metal Hydride	CVT Auto
2014 Toyota Prius Liftback	Hatchback	50 MPG	Hybrid	FWD	Nickel Metal Hydride	CVT
2014 Ford C-Max Hybrid	Hatchback	43 MPG	Hybrid	FWD	1.4 kWh lithium-ion	eCVT transmission
2014 Ford Fusion Hybrid	Sedan	42 MPG	Hybrid	FWD	1.4 kWh lithium-ion	eCVT transmission
2014 Lexus ES 300h	Sedan	40 MPG	Hybrid	FWD	1.6 kWh Nickel Metal Hydride	2-speed CVT
2014 Nissan Leaf	Hatchback	114 MPGe	Electric	FWD	24 kWh lithium-ion	1-speed automatic
2014 Chevrolet Spark EV	Hatchback	119 MPGe	Electric	FWD	21 kWh lithium-ion	1-speed direct drive
2014 Mitsubishi i-MiEV	Coupe	112 MPGe	Electric	FWD	16 kWh lithium-ion	1-speed automatic
2013 Ford C-Max Energi	Sedan	43 MPG	Plug-in Hybrid	FWD	7.6 kWh lithium-ion	ECVT
2013 Toyota RAV4 EV	SUV	76 MPGe	Electric	FWD	41.8 kWh lithium-ion	1 speed automatic

Πίνακας 18 Αντιπροσωπευτικά ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορίας 2013-2016 – Μέρος Α

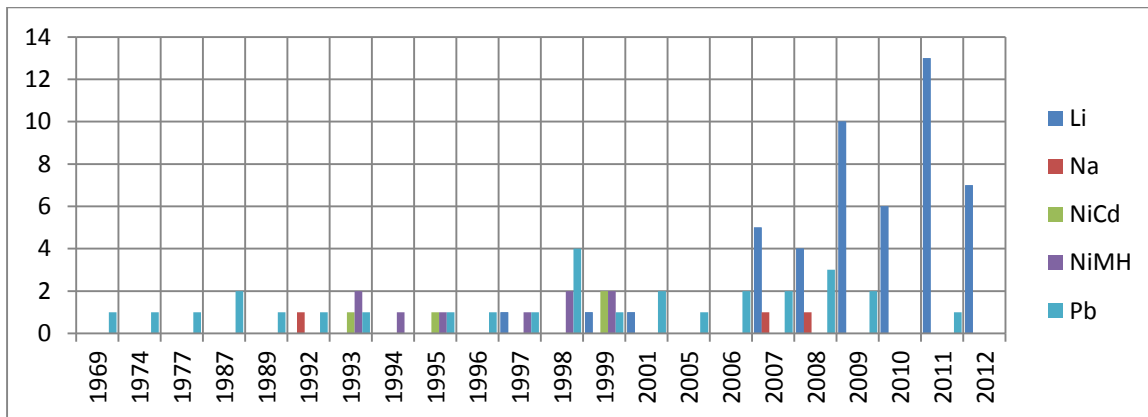
Model	Engine	Motor	Horsepower (hp)	Torque (lb-ft)	Horsepower (hp)	Motor Torque (lb-ft)	Horsepower (hp)
2016 BMW X5 xDrive 40e	2.0-liter turbocharged four-cylinder engine	Unknown	241		111		309
2016 BMW 328e	turbocharged and intercooled DOHC 16-valve 2.0-liter inline-4	Unknown	180	236	95	184	245
2015 Audi A3 e-Tron	turbocharged and intercooled DOHC 16-valve 1.4-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	150	184	102	243	204
2015 Porsche 918 Spyder Plug-in Hybrid	DOHC 32-valve 4.6-liter V-8	2 x Permanent Magnet AC sync.	608	391	F: 127 R:154		887
2015 Volvo S60 Plug-In	turbodiesel 2.4-liter V-5	Unknown	215	324	70	147	285
2015 Fiat 500e	N/A	Permanent Magnet AC sync.	N/A	N/A	111	147	N/A
2015 Infiniti Q50 Hybrid	24-valve 3.5-liter V-6	Permanent Magnet AC sync.	302	258	67	214	360
2015 Kia Soul EV	N/A	Permanent Magnet AC sync.	N/A	N/A	109	210	N/A
2015 Toyota Avalon Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.5-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	156	156	141	199	200
2015 Toyota Camry SE Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.5-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	156	156	141	199	200
2015 Toyota Highlander Hybrid	24-valve 3.5-liter V-6	Permanent Magnet AC sync.	231	215	F: 167 R: 68	F: 247 R:103	280
2015 Honda Accord Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	122	166	226	196
2015 Honda Accord Plug-in Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	122	166	226	198
2015 Tesla Model S P85D	N/A	Front: AC induction Rear: AC induction Three phase, four pole AC induction motor with copper rotor	N/A	N/A	416	443	N/A
	N/A	F: AC induction R; AC induction	N/A	N/A	F: 221 R: 470	F: 243 R: 443	691
2015 Lexus CT 200h	16-valve inline-4	Permanent Magnet AC sync.	98	105	80	152	134
2015 Lexus RX 450h	24-valve Atkinson-cycle 3.5-liter V-6	F: Permanent Magnet AC sync. R: Permanent Magnet AC sync.	245	234	F: 155 R: 67	Unknown	295
2015 Ford Fusion Energi	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	129	118	117	188
2015 Ford Focus Electric	N/A	Permanent Magnet	N/A	N/A	143	181	N/A
2015 Porsche Cayenne S E-Hybrid	supercharged and intercooled DOHC 24-valve 3.0-liter V-6	Permanent Magnet AC sync.	333	325	95	229	416
2014 Porsche Panamera S E-Hybrid	supercharged and intercooled DOHC 24-valve 3.0-liter V-6	AC induction	333	325	95	229	416
2014 Infiniti Q50S Hybrid	24-valve 3.5-liter V-6	Permanent Magnet AC sync.	302	258	67	214	360
2014 Honda Civic Hybrid	8-valve 1.5-liter inline-4	Permanent Magnet	90	97	23	78	110
2014 Lexus GS 450h	24-valve Atkinson-cycle 3.5-liter V-6	2 x Permanent Magnet	286	254	200 ; 180	Unknown	338
2014 Toyota Prius v	16-valve Atkinson-cycle 1.8-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	98	105	80	153	134
2014 Honda Accord Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	122	166	226	196
2015 Honda Accord Plug-in Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	142	122	166	226	N/A
2015 Toyota Prius c	16-valve Atkinson-cycle 1.5-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	73	82	60	125	99
2014 Toyota Prius c	1.5-liter Atkinson-cycle V-4		73		60		99
2014 Toyota Prius Liftback	1.8-liter Atkinson-cycle V-4		98		80		134
2014 Ford C-Max Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	129	118	117	188
2014 Ford Fusion Hybrid	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	129	118	117	188
2014 Lexus ES 300h	16-valve Atkinson-cycle 2.5-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	156 O4	156	141	199	200
2014 Nissan Leaf	N/A	Permanent Magnet AC sync.	N/A	N/A	107	187	N/A
2014 Chevrolet Spark EV	N/A	Permanent Magnet	N/A	N/A	140	400	N/A
2014 Mitsubishi i-MiEV	N/A	Permanent Magnet AC sync.	N/A	N/A	66	145	N/A
2013 Ford C-Max Energi	16-valve Atkinson-cycle 2.0-liter inline-4	Permanent Magnet AC sync.	141	129	118	117	188
2013 Toyota RAV4 EV	N/A	AC induction motor	N/A	N/A	154	273	N/A

Πίνακας 19 Αντιπροσωπευτικά ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορίας 2013-2016 – Μέρος Β

Στον πίνακα 17 αναφέρονται αντιπροσωπευτικά πρόσφατα μοντέλα βάσει των οποίων προέκυψε και η παραπάνω σύγκριση.

7.2.2. Παλαιότερα μοντέλα (1969-2012)

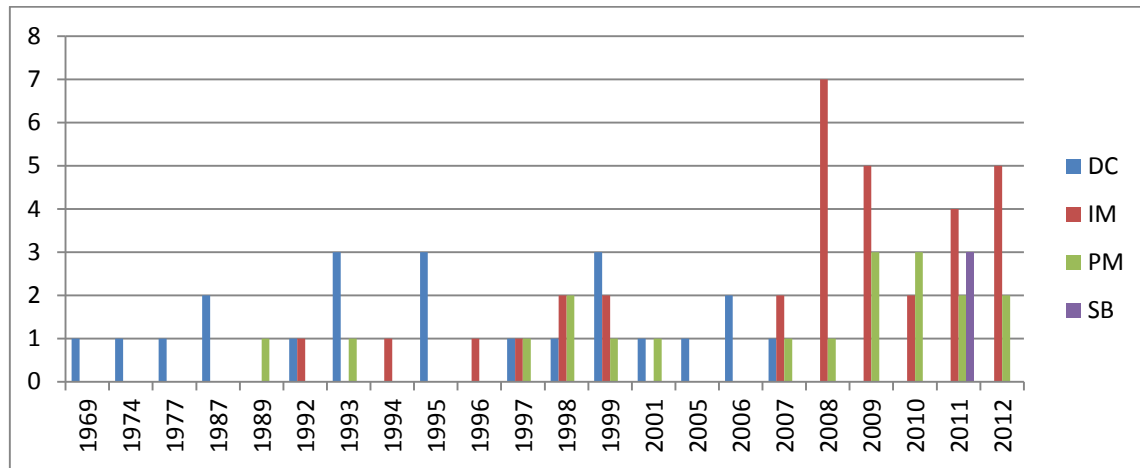
Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 49, οι διάφοροι τύποι μπαταριών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικά οχήματα έως και το 2012 ακολουθούν διαφορετική εξέλιξη με την πάροδο των χρόνων.



Σχήμα 50 Χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταρίας για μοντέλα ετών 1969-2012

Πρώτα από όλα, οι μπαταρίες λιθίου εμφανίζουν μια σχετικά ανοδική πορεία, από το 1997 που πρωτοχρησιμοποιήθηκαν. Ειδικά στις πιο πρόσφατες εφαρμογές της εξεταζόμενης περιόδου, οι μπαταρίες λιθίου έχουν επικρατήσει έναντι όλων των υπόλοιπων τύπων και μάλιστα με σημαντική διαφορά. Από την άλλη, οι μπαταρίες νατρίου έχουν προτιμηθεί σε ελάχιστες εφαρμογές ηλεκτροκίνητων οχημάτων και συγκεκριμένα σε μοντέλα των ετών 1992, 2007 και 2008 που αφορούν μικρά αυτοκίνητα πόλης. Ως προς τις μπαταρίες νικελίου, είτε NiCd είτε NiMH, αυτές έχουν παρόμοια συμπεριφορά καθώς επιλέγονται σε οχήματα που δημιουργήθηκαν κατά τη δεκαετία του '90 ενώ δεν προτιμήθηκαν στα μοντέλα των επόμενων ετών. Τέλος, οι μπαταρίες μολύβδου ήταν αυτές που εντοπίζονται κατ'αποκλειστικότητα στις πρώτες εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων. Η χρήση τους συνεχίστηκε στην πορεία, διατηρώντας σταθερή, σε γενικές γραμμές, τιμή ή σημειώνοντας μικρή αύξηση. Βέβαια, η μικρή αυτή αύξηση του αριθμού μοντέλων που χρησιμοποιούν μπαταρία μολύβδου σε συνδυασμό με την αρκετά μεγάλη αύξηση του συνολικού αριθμού ηλεκτροκίνητων οχημάτων τα τελευταία χρόνια συνεπάγεται ότι τα οχήματα με μπαταρία μολύβδου αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό των νέων εφαρμογών, στις οποίες όπως έχει ήδη αναφερθεί, κυριαρχούν οι μπαταρίες λιθίου.

Ως προς τους ηλεκτροκινητήρες, παρατηρούμε, αρχικά, ότι στις πρώτες εφαρμογές ηλεκτροκίνητων οχημάτων προτιμούνταν οι DC κινητήρες. Γενικά, υπάρχει μια αύξηση μοντέλων με DC κινητήρα ως το 2006, ωστόσο από το 2007 και μετά οι συγκεκριμένοι κινητήρες χρησιμοποιούνται ελάχιστα έως και καθόλου. Απεναντίας, οι κινητήρες IM και PM ενώ δεν χρησιμοποιούνται κατά τις πρώτες εμφανίσεις ηλεκτρικών οχημάτων (πριν τη δεκαετία του '90), παρουσιάζουν συνεχή αύξηση στα επόμενα χρόνια. Χαρακτηριστική είναι η άνοδος από το 2008 και μετά, όπου παρατηρούμε επικράτηση των IM κινητήρων. Συγκεκριμένα, από το 2008 χρησιμοποιούνται κατά κόρον οι IM και PM κινητήρες, με τους πρώτους να εμφανίζονται σε αρκετά μεγαλύτερο αριθμό μοντέλων.



Σχήμα 51 Χρησιμοποιούμενοι τύποι ηλεκτροκινητήρων για μοντέλα ετών 1969-2012

Τέλος, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια συσχέτιση των διαφόρων κινητήρων με τους τύπους μπαταρίας, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Πιο συγκεκριμένα, οι μπαταρίες λιθίου φαίνονται να χρησιμοποιούνται κυρίως σε συνδυασμό με κινητήρες IM και PM. Οι κινητήρες SB εντοπίζονται σε μικρότερο ποσοστό στο σύνολο των κινητήρων, εντούτοις συνδυάζονται μόνο με αυτές (λιθίου). Από την άλλη, η χρήση των μπαταριών νατρίου εμφανίζεται μόνο σε οχήματα που διαθέτουν κινητήρες IM ή PM. Οι μπαταρίες NiCd εμφανίζονται μόνο σε οχήματα με DC κινητήρες, ενώ οι NiMH έχουν μεγαλύτερο εύρος χρήσης όπως και οι μπαταρίες μολύβδου. Οι τελευταίες εμφανίζονται σε μεγαλύτερο ποσοστό συνδυαστικά με κινητήρες DC.

Motor type * Battery Type Crosstabulation

		Battery Type					Total
		Li	Na	NiCd	NiMH	Pb	
Motor type	DC	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	4 (44.4%)	14 (58.3%)	22 (28.6%)
	IM	20 (54.1%)	2 (66.7%)	0 (0%)	4 (44.4%)	7 (29.2%)	33 (42.9%)
	PM	14 (37.8%)	1 (33.3%)	0 (0%)	1 (11.1%)	3 (12.5%)	19 (24.7%)
	SB	3 (8.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (3.9%)
Total		37 (100%)	3 (100%)	4 (100%)	9 (100%)	24 (100%)	77 (100%)

Πίνακας 20 Τύποι κινητήρων ανά τύπο μπαταρίας (μοντέλα ετών 1969-2012)

Φυσικά, πρέπει να σημειωθεί ότι το ανωτέρω δείγμα αποτελείται από οχήματα με κινητήρες διαφόρων κυβισμών. Αυτό σημαίνει ότι τα αναφερόμενα ποσοστά του πίνακα ενδέχεται να επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες. Επομένως, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τον πίνακα θα ήταν πιο έγκυρα εάν είχαμε κατηγοριοποιήσει τα οχήματα και βάσει του κυβισμού τους.

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα-Επίλογος

Σε μια περίοδο που η προστασία του περιβάλλοντος και η εξοικονόμηση ενέργειας προκαλούν έντονη ανησυχία, η ανάπτυξη ηλεκτρικών, υβριδικών και οχημάτων κυψελών καυσίμου έχει επιταχυνθεί. Η ιδέα ύπαρξης εμπορικά βιώσιμων ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτροκίνητων οχημάτων γίνεται πια πραγματικότητα δεδομένου ότι αυτά τα οχήματα είναι πλέον διαθέσιμα στην αγορά. Οι πρόσφατες εξελίξεις, μάλιστα, στα ηλεκτρικά συστήματα μετάδοσης κίνησης και στις τεχνολογίες μπαταριών καθιστούν την ανάπτυξη τέτοιων οχημάτων τεχνικά και εμπορικά δυνατή.

Έτσι, τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον προς τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα, τα οποία κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος σε σχέση με τα συμβατικά. Από τη μία, οι αυτοκινητοβιομηχανίες επενδύουν και ενισχύουν αυτή την τάση τόσο βελτιώνοντας τα ηλεκτροκίνητα μοντέλα που έχουν ήδη εισαγάγει στην αγορά όσο και αναπτύσσοντας καινούρια. Ταυτόχρονα, προσανατολίζονται και ήδη ως ένα βαθμό έχουν καταφέρει να καλύψουν μεγάλο εύρος απαιτήσεων και προτιμήσεων. Έτσι, για παράδειγμα, εντοπίζονται στην αγορά από μικρά ηλεκτροκίνητα οχήματα πόλης έως πολυτελή μοντέλα. Από την άλλη, οι καταναλωτές είναι πιο θετικοί προς τα οχήματα αυτά, τόσο λόγω οικολογικών κριτηρίων όσο και χάρη στην εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν και, κατ' επέκταση, του μικρότερου κόστους.

Ωστόσο, αν και αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τάση, υπάρχουν αρκετά περιθώρια περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης πριν καθιερωθούν στην αγορά και γίνουν πλήρως ανταγωνιστικά ως προς τα συμβατικά οχήματα. Από άποψη σχεδιασμού, οι προσπάθειες εστιάζουν στη μείωση του βάρους, του όγκου και του κόστους ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα ως προς την επίδοση και την απόδοση. Παραδείγματος χάριν, κάνοντας καλύτερη μελέτη σχεδιασμού του οχήματος με βελτιστοποιημένη στρατηγική ελέγχου για τα διάφορα είδη προτύπων οδήγησης και την επιλογή κατάλληλων στοιχείων, είναι δυνατόν να επιτευχθεί καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Από την άλλη, οι τεχνολογικές προκλήσεις συνδέονται, κυρίως, με τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τους ηλεκτρικούς κινητήρες και τα σχετικά ηλεκτρονικά ισχύος. Συνοπτικά, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας θα πρέπει να έχουν ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ως προς την πυκνότητα ενέργειας και την ειδική ισχύ. Παράλληλα, βελτιώσεις απαιτούνται στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τον αριθμό των κύκλων βαθιάς εκφόρτισης και στην αποδοτικότητα φόρτισης/εκφόρτισης. Ως προς τους ηλεκτρικούς κινητήρες, οι προκλήσεις αφορούν το μικρό βάρος, το μεγάλο εύρος ταχυτήτων, την υψηλή αποδοτικότητα, τη μέγιστη ροπή και τη μεγάλη διάρκεια ζωής. Ταυτόχρονα, για αυτούς τους κινητήρες πρέπει να αναπτυχθούν κατάλληλοι ελεγκτές για την εύρωστη λειτουργία του οχήματος. Τέλος, χρειάζεται να μελετηθεί περαιτέρω η αξιοπιστία και το προσιτό κόστος των συσκευών μεταγωγής ισχύος (power switching devices) και των συναφών συστημάτων ελέγχου.

Βιβλιογραφία

- [1] Νικόλαος Δ. Νικολόπουλος, «Ανασκόπηση τεχνολογίας σύνδεσης οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο (Vehicle to Grid- V2G)», Ιούνιος 2012
- [2] Γιώργος Εμμανουηλίδης, Ενεργειακό γραφείο Αιγαίου, «Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα», Ιούλιος 2011
- [3] Σάββας Κάλφας, «Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα. Τι πρέπει να ξέρετε»
- [4] Παύλος Α. Λάσκαρης, «Το ηλεκτρικό Αυτοκίνητο την επόμενη δεκαετία»
- [5] Τεχνική Έκθεση, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, «Διερεύνηση τρόπων ανάπτυξης και διείσδυσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην Ελλάδα», Ιανουάριος 2012
- [6] Shaik Amjad, S. Neelakrishnan, R. Rudramoorthy “Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, April 2010
- [7] Chan C.C., Bouscayrol A., Chen K., “Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, February 2010
- [8] M. Ehsani, “Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design”, CRC Press LLC, USA, 2005.
- [9] Rony Argueta, “A Technical Research Report: The Electric Vehicle”, March 2010
- [10] de Santiago, J., Bernhoff, H. ; Ekergård, B. ; Eriksson, S. ; Ferhatovic, S. ; Waters, R. ; Leijon, M., “Electrical Motor Drivelines in Commercial All-Electric Vehicles: A Review”, IEEE Transactions On Vehicular Technology, September 2012
- [11] The Boston Consulting Group, “Batteries for Electric Cars. Challenges, Opportunities , and the Outlook to 2020”, January 2010
- [12] Rodrigo Garcia-Valle, João A. Peças Lopes, “Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks”, 2013
- [13] Behnam Ganji, Abbas Z. Kouzani, “A Study on Look-ahead Control and Energy Management Strategies in Hybrid Electric Vehicles”, 8th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), June 2010
- [14] Jonathan C. Ho, Yu-Hua S. Huang, “Evaluation of Electric Vehicle Power Technologies”, 2014 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET), July 2014
- [15] Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων – ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο., Διονύσιος Νέγκας, «Τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με Ηλεκτρική Ενέργεια», Σεπτέμβριος 2011
- [16] Κωνσταντίνος Ζ. Παπαζαχαρόπουλος, «Ανάπτυξη μεθοδολογίας προσομοίωσης λειτουργίας και διαχείρισης ενέργειας υβριδικών ηλεκτροκίνητων οχημάτων», Διπλωματική εργασία, Μάιος 2012
- [17] Θ.Α. Μπούμης, «Μελέτη και κατασκευή κινητήριου συστήματος υβριδικού οχήματος : σχεδιασμός και κατασκευή ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος», Οκτώβριος 2009

Links:

- [A] <http://www.edisontechcenter.org/ElectricCars.html>
- [B] <http://electriccarteithe.thedevboard.com/t3-topic>
- [C] http://users.sch.gr/imarinakis/electric_engines.html
- [D] http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82
- [E] “Everything you need to know about electric cars”, ARVAL BNP Paribas Group, January 2010

[https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0C
CYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.arval.be%2Fdocs%2FArval_Brochure_EN_finaal.pdf&ei=K7y
RU_e9POyr0gWjuIDICA&usg=AFQjCNGpeeAwieqiXzhbDGg3g3UDudkF0A&bvm=bv.68445247,d.b
GQ](https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0C
CYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.arval.be%2Fdocs%2FArval_Brochure_EN_finaal.pdf&ei=K7y
RU_e9POyr0gWjuIDICA&usg=AFQjCNGpeeAwieqiXzhbDGg3g3UDudkF0A&bvm=bv.68445247,d.b
GQ)

[F] <http://energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells>

[G] <http://www.electriccars.com/>