

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**“ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ  
ΟΧΗΜΑ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ  
ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑΣ ΤΟΥ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:** ΤΣΙΩΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ  
**Σπουδαστής:** ΜΠΙΤΣΑΚΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ-ΧΡΗΣΤΟΣ      ΑΜ: 37887

**ΑΘΗΝΑ**  
**ΙΟΥΝΙΟΣ – 2012**



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας κ. Σπύρο Τσιώλη για την πολύτιμη καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα μέχρι την υλοποίηση της εργασίας. Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στον κ. Μιχάλη Λέκκα, έμπορο αυτοκινήτων για την σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στο πειραματικό μέρος της εργασίας με την παραχώρηση της έκτασης που χρησιμοποιήθηκε ως χώρος δοκιμών του οχήματος. Ευχαριστώ επίσης τον εξάδελφο μου Παπαδόγιαννη Αργύρη, Μηχανολόγο Μηχανικό, για την συμβολή του στην συγκέντρωση ενός σημαντικού μέρους της βιβλιογραφίας.

Τέλος εκφράζω τις ευχαριστίες στον συμφοιτητή- φίλο Καρνάβα Δημήτρη για την σημαντική βοήθεια μέσω των καίριων συμβουλών που μου παρείχε και στην οικογένεια μου για την βοήθεια και την αμέριστη υποστήριξη τους.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Λίστα σχημάτων.....	iii
Λίστα πινάκων.....	v
Περίληψη.....	vi
Summary.....	vii
Πρόλογος.....	1

## 1 ο Κεφάλαιο

<u>“Υβριδική Τεχνολογία” .....</u>	<u>1</u>
<u>1.1 Ανάλυση ενός υβριδικού οχήματος.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2 Ροή ισχύος σε υβριδικό-ηλεκτρικό όχημα.....</u>	<u>5</u>
<u>1.3 Επικυκλική μονάδα διασύνδεσης.....</u>	<u>8</u>
<u>1.4 Υβριδικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου.....</u>	<u>12</u>

## 2 ο Κεφάλαιο

<u>“Επιμέρους κατασκευαστικά στοιχεία υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος” .....</u>	<u>17</u>
<u>2.1 Μηχανή εσωτερικής καύσης ενός υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος.....</u>	<u>17</u>
<u>2.1.1 Βενζινοκινητήρας.....</u>	<u>17</u>
<u>2.1.2 Κινητήρας Wankel.....</u>	<u>.....</u>
<u>2.1.3 Βενζινοκινητήρας με κύκλο Atkinson.....</u>	<u>.....</u>
<u>2.2 Ηλεκτρικός κινητήρας ενός υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος.....</u>	<u>22</u>
<u>2.2.1 Γενικά.....</u>	<u>22</u>
<u>2.2.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος.....</u>	<u>23</u>
<u>2.2.3 Ασύγχρονος κινητήρας.....</u>	<u>24</u>
<u>2.2.4 Σύγχρονος κινητήρας.....</u>	<u>25</u>
<u>2.2.5 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρεις.....</u>	<u>25</u>
<u>2.2.6 Κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης.....</u>	<u>26</u>
<u>2.2.7 Μειονεκτήματα, πλεονεκτήματα και εφαρμογές των διαφόρων ειδών ηλεκτρικών κινητήρων.....</u>	<u>27</u>
<u>2.3 Μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος.....</u>	<u>27</u>
<u>2.4 Κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (CVT).....</u>	<u>28</u>
<u>2.5 Μπαταρία ενός υβριδικού- ηλεκτρικού οχήματος.....</u>	<u>31</u>
<u>2.5.1 Μπαταρία Ni-MH.....</u>	<u>31</u>
<u>2.5.2 Μπαταρία Li-ion.....</u>	<u>32</u>
<u>2.5.3 Μελλοντικές λύσεις.....</u>	<u>35</u>
<u>2.5.3.1 Υγρό μέταλλο.....</u>	<u>35</u>
<u>2.5.3.2 Αμάξιωμα η μπαταρία του μέλλοντος.....</u>	<u>36</u>
<u>2.5.3.1 Νανομαγνήτες και στρεφόμενα πεδία.....</u>	<u>36</u>
<u>2.5.3.2 Νανοτεχνολογία από φύκια.....</u>	<u>36</u>
<u>2.5.4 Υπερπυκνωτές.....</u>	<u>37</u>

### 3 ο Κεφάλαιο

<b>“Plug-in υβριδικά-ηλεκτρικά οχήματα”</b> .....	<b>41</b>
3.1 Ορισμός-περιγραφή .....	41
3.2 Τεχνολογία των Plug-in υβριδικών-ηλεκτρικών οχημάτων.....	43
3.2.1 Σύστημα μετάδοσης ισχύος.....	43
3.2.2 Τρόποι λειτουργίας.....	45
3.2.2 Οι μπαταρίες ενός Plug-in υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος(PHEV) .....	46

### 4 ο Κεφάλαιο

<b>“Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών κυψελών σε υβριδικό-ηλεκτρικό όχημα”</b> .....	<b>47</b>
4.1 Φωτοβολταϊκές κυψέλες και συστήματα.....	47
4.1.1 Ηλιακές κυψέλες.....	47
4.1.2 Ηλιακή συστοιχία.....	48
4.1.3 Φωτοβολταϊκός εξοπλισμός.....	49
4.1.3.1 Κυψέλες, μονάδες, συστοιχίες.....	49
4.1.3.2 Ελεγκτές φόρτισης.....	50
4.1.3.3 Εναλλάκτες συνεχούς ρεύματος εναλλασσόμενου.....	50
4.1.3.4 Φορτιστής και ανιχνευτής αιχμής ισχύος.....	50
4.2 Διασύνδεση φωτοβολταϊκών κυψελών σε υβριδικό Toyota Prius.....	51
4.2.1 Περιγραφής της ηλιακής μονάδας.....	52
4.2.2 Περιγραφή των διασυνδεδεμένων ηλεκτρονικών μέσων.....	53
4.2.3 Αξιολόγηση των οικονομικών οφελιών του PV Prius σε σχέση με το εργοστασιακό Prius.....	54
4.2.4 Περιβαλλοντικά οφέλη από PV Prius.....	55
4.2.5 Αυτάρκεια PV Prius.....	56
4.2.6 Συμπεράσματα.....	57
4.3 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών κυψελών σε μοντέλο ηλεκτρικού οχήματος.....	57
4.3.1 Αναλυτική αναφορά στοιχείων κατασκευής.....	57
4.3.2 Μελέτη για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στην οροφή του μοντέλου.....	60
4.3.3 Αναλυτική αναφορά της διασύνδεσης των φωτοβολταϊκών.....	63

### 5 ο Κεφάλαιο

<b>“Αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας”</b> .....	<b>73</b>
5.1 Πειραματική διαδικασία.....	73
5.2 Συμπεράσματα πειραματικής διαδικασίας.....	76
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.....	78

<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>80</b>
---------------------------	-----------

## **ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

<b>Σχήμα 1.1</b> .....	<b>3</b>
<b>Σχήμα 1.2</b> .....	<b>4</b>

Σχήμα 1.3.....	4
Σχήμα 1.4.....	6
Σχήμα 1.5.....	6
Σχήμα 1.6.....	7
Σχήμα 1.7.....	7
Σχήμα 1.8.....	8
Σχήμα 1.9.....	9
Σχήμα 1.10.....	10
Σχήμα 1.11.....	10
Σχήμα 1.12.....	11
Σχήμα 1.13.....	11
Σχήμα 1.14.....	12
Σχήμα 1.15.....	12
Σχήμα 1.16.....	13
Σχήμα 1.17.....	14
Σχήμα 1.18.....	16
Σχήμα 2.1.....	18
Σχήμα 2.2.....	18
Σχήμα 2.3.....	20
Σχήμα 2.4.....	22
Σχήμα 2.5.....	23
Σχήμα 2.6.....	24
Σχήμα 2.7.....	25
Σχήμα 2.8.....	27
Σχήμα 2.9.....	29
Σχήμα 2.10.....	29
Σχήμα 2.11.....	30
Σχήμα 2.12.....	34
Σχήμα 2.13.....	37
Σχήμα 2.14.....	40
Σχήμα 3.1.....	42
Σχήμα 3.2.....	43
Σχήμα 3.3.....	44
Σχήμα 3.4.....	45
Σχήμα 4.1.....	48
Σχήμα 4.2.....	49
Σχήμα 4.3.....	52
Σχήμα 4.4.....	53
Σχήμα 4.5.....	53
Σχήμα 4.6.....	54
Σχήμα 4.7.....	55
Σχήμα 4.8.....	55
Σχήμα 4.9.....	56
Σχήμα 4.10.....	58
Σχήμα 4.11.....	59
Σχήμα 4.12.....	59
Σχήμα 4.13.....	60

Σχήμα 4.14.....	61
Σχήμα 4.15.....	61
Σχήμα 4.16.....	62
Σχήμα 4.17.....	62
Σχήμα 4.18.....	63
Σχήμα 4.19.....	64
Σχήμα 4.20.....	65
Σχήμα 4.21.....	67
Σχήμα 4.22.....	67
Σχήμα 4.23.....	68
Σχήμα 4.24.....	68
Σχήμα 4.25.....	69
Σχήμα 4.26.....	70
Σχήμα 4.27.....	71
Σχήμα 4.28.....	71
Σχήμα 4.29.....	72
Σχήμα 5.1.....	73
Σχήμα 5.2.....	77
Σχήμα 5.3.....	78

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1.....	15,16
Πίνακας 4.1.....	58
Πίνακας 4.2.....	60
Πίνακας 4.3.....	64
Πίνακας 4.4.....	65,66
Πίνακας 5.1.....	74
Πίνακας 5.2.....	75

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη-υλοποίηση της αρχικής ιδέας για ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών κυψελών σε ηλεκτρικό όχημα με σκοπό την αύξηση της αυτονομίας του που συνεπάγεται με εξοικονόμηση ενέργειας.

Η εργασία ξεκινά με μια περιγραφή της λειτουργίας των υβριδικών-ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και με μια περιγραφή των στοιχείων από τα οποία αποτελείται η δομή των υβριδικών-ηλεκτρικών οχημάτων. Στην συνέχεια αναλύεται η φωτοβολταϊκή μονάδα και παραθέτονται τα αποτελέσματα από μία πραγματική εφαρμογή ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών κυψελών σε υβριδικό όχημα. Ακολουθεί η αναλυτική μελέτη της κατασκευής καθώς και η υλοποίηση αυτής μέσω βημάτων που ακολουθήθηκαν. Επίσης η πειραματική διαδικασία που έλαβε μέρος στο τέλος της μελέτης βοήθησε στην άμεση σύγκριση μεταξύ των δύο διακεκριμένων περιπτώσεων (με ή χωρίς τις φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδεδεμένες) και στην εξακρίβωση των επιπτώσεων της εφαρμογής των φωτοβολταϊκών κυψελών στην λειτουργία του οχήματος. Εν κατακλείδι αναφέρονται τα συμπεράσματα από την εργασία καθώς και προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

**Λέξεις κλειδιά:**Υβριδικό-ηλεκτρικό όχημα, συστοιχία μπαταριών, φωτοβολταϊκές κυψέλες, σημείο μέγιστης ισχύος, φορτιστής συστοιχίας μπαταριών



## SUMMARY

The aim of this thesis is the design-implementation of the initial idea for integrating a photovoltaic cell electric vehicle to increase the autonomy associated with energy savings.

The work begins with an outline of the hybrid-electric vehicles and a description of the elements that make up the structure of hybrid-electric vehicles. Afterwards the PV module and presents the results of an actual application integration in photovoltaic cell hybrid vehicle. Below is a detailed study of the construction and implementation through the steps that followed. Also, the experimental procedure took place at the end of the study helped direct comparison between two distinct cases (with or without the cells attached) and to verify the impact of the implementation of photovoltaic cells in vehicle operation. Finally, the conclusions from the work and suggestions for further investigation.

**Keywords:** Hybrid-electric vehicle, battery bank, solar cells, MPP, charger battery pack.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το αυτοκίνητο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, συχνά δε πρωταγωνιστικό στην εξέλιξη των μεταφορών, της κατοχύρωσης του 20ού αιώνα ως εποχής τεχνολογικής προόδου, ταχύτητας και κοινωνικών αλλαγών, στη διαμόρφωση του σύγχρονου τρόπου ζωής. Πέρα, όμως από την επανάσταση στις μεταφορές και τις αλυσιδωτές αντιδράσεις που αυτή προκαλεί, η εξάπλωση του αυτοκινήτου συνεπάγεται και με πρακτικά προβλήματα: δυστυχήματα, κυκλοφοριακή συμφόρηση, εκπομπές ρύπων. Ωστόσο, η αέναη βελτίωση δια της τεχνολογικής καινοτομίας ανέκαθεν του χάριζε μια εντυπωσιακή ικανότητα προσαρμογής σε χώρο και χρόνο, σε περιβάλλον και κοινωνικό γίνεσθαι. Σήμερα, το αυτοκίνητο καλείται για μια ακόμα φορά να συγχρονιστεί με τις απαιτήσεις των καιρών, σεβόμενο -το ήδη αρκετά επιβαρυσμένο από τον άνθρωπο- περιβάλλον.

Η μείωση της εκπομπής ρύπων ή ακόμα και οι εκμηδένιση αυτών αποτελεί πλέον βασική απαίτηση από την αυτοκινητοβιομηχανία. Η ηλεκτροκίνηση μοιάζει αν όχι μονόδρομος, σίγουρα πάντως η οδός της φυσικής εξέλιξης του αυτοκινήτου. Ταυτόχρονα αποτελεί και επιστροφή στις... ρίζες. Διότι το ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο δεν είναι μόδα της εποχής, ούτε εφεύρεση της μεταπολεμικής περιόδου της αυτοκινητικής επανάστασης. Η ηλεκτροκίνηση υφίσταται από την απαρχή του αυτοκινήτου, τότε που ήταν γνωστό ως τροχήλατη άμαξα. Με άλματα προόδου στην τεχνολογία κατασκευής μπαταριών, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την επισταμένη βελτίωση της αεροδυναμικής και του βάρους των αμαξωμάτων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι πλέον έτοιμα για την μεγάλη επιστροφή στον χώρο της αυτοκίνησης. Αργά, αλλά σταθερά, τα πρωτότυπα έγιναν μοντέλα δοκιμών και αυτά προϊόντα μαζικής παραγωγής. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης αποκτά επιτέλους έναν ανταγωνιστή. Αρχικά στο αστικό περιβάλλον και στο απώτερο μέλλον είναι όλα ανοικτά...



# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ”

### 1.1 Ανάλυση ενός υβριδικού οχήματος

Η παγκόσμια ανησυχία, δεδομένου της συνεχούς ελάττωσης των αποθεμάτων πετρελαίου και της περιβαλλοντικής ρύπανσης, κινητοποίησε την έρευνα/ανάπτυξη των εναλλακτικών συστημάτων μετάδοσης ισχύος. Ένα τέτοιο εναλλακτικό σύστημα προώθησης είναι και το υβριδικό – ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Hybrid Electric Vehicle), το οποίο ευρέως θεωρείται ως το μεταβατικό στάδιο στην πορεία για το Όχημα Μηδενικών Εκπομπών (Zero Emission Vehicle).

Η υβριδική τεχνολογία δεν είναι νέα στον χώρο των μεταφορών. Οι περισσότερες μηχανές diesel χρησιμοποιούν τις μηχανές καύσεως για να φορτίσουν τις μεγάλες μπαταρίες, οι οποίες παρέχουν έπειτα την ηλεκτρική ενέργεια στις ηλεκτρικές μηχανές που πραγματικά ωθούν το όχημα. Με έναν περιορισμένο τρόπο, θα μπορούσαμε να πούμε ότι όλα τα συμβατικά οχήματα είναι υβριδικά, επειδή χρησιμοποιούν τους εναλλάκτες και τις μπαταρίες για να παραγάγουν και να αποθηκεύσουν την ηλεκτρική ενέργεια για την έναρξη του οχήματος και να ενεργοποιήσουν τα εξαρτήματα όπως το ραδιόφωνο, τα φώτα, και τους ανεμιστήρες. Όμως, οι σύγχρονες υβριδικές τεχνολογίες για τα light - duty οχήματα εμβαθύνουν περισσότερο, και προχωρούν μέχρι και τη διακοπή της μηχανής καύσεως όταν δεν απαιτείται, ενώ χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για να ωθήσουν πραγματικά το όχημα στο δρόμο. Ο κύριος στόχος αυτής της σύγχρονης υβριδικής τεχνολογίας μέχρι τώρα έχει επιτύχει την υψηλότερη οικονομία καυσίμων (μίλια ανά λίτρο), αλλά η αυξανόμενη αποδοτικότητα (περισσότερη ενέργεια σε άξονα ανά ενέργεια μονάδων στο σύστημα) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ωθήσει ισχύ, ή για να οδηγήσει ένα βαρύτερο ή λιγότερο αεροδυναμικό όχημα διατηρώντας την σταθερά οικονομία καυσίμων.

Η υβριδική τεχνολογία περιλαμβάνει τις συσκευές που αξιοποιούν δύο ή περισσότερες πηγές ενέργειας ώστε να πραγματοποιήσουν το έργο και το σκοπό για τον οποίο εφευρέθηκαν. Το σύστημα συσκευών, που χρησιμοποιεί το υβριδικό αυτοκίνητο, αξιοποιεί δύο πηγές ενέργειας για την εξαγωγή της κίνησης στους τροχούς. Την θερμοδυναμική που παράγεται από την καύση του καυσίμου στον κινητήρα και την ηλεκτρική η οποία παράγεται από το σύστημα του ηλεκτροκινητήρα. Για την ομαλή λειτουργία και σωστή επικοινωνία του κινητήρα

με τον ηλεκτροκινητήρα, συνδυάστηκαν με συγκεκριμένο τρόπο και άλλες συσκευές όπως η μπαταρία, ο συσσωρευτής και πολλές άλλες.

Αυτός ο συνδυασμός προσφέρει τη δυνατότητα αποσύνδεσης της διαδικασίας μετατροπής ενέργειας από τον κύκλο λειτουργίας ενός συμβατικού οχήματος. Κατά συνέπεια, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει στη βέλτιστη απόδοση σε μεγαλύτερη έκταση κατά τη διάρκεια ζωής του και υπόκειται σε μικρότερη εξωτερική επίδραση (π.χ. συνθήκες οδοστρώματος) που έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση της κατανάλωσης τουλάχιστον κατά 15-20% σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα.

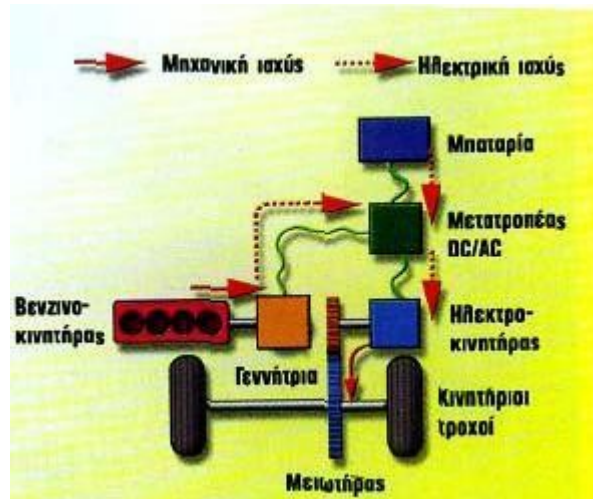
Τα κύρια μέρη του υβριδικού συστήματος του αυτοκινήτου είναι ο ηλεκτροκινητήρας, ο κινητήρας εσωτερικής καύσεως, η γεννήτρια, η συστοιχία συσσωρευτών (μπαταρία) και ο μετασχηματιστής τάσεως.

Τα διάφορα στοιχεία στο σύστημα μετάδοσης ισχύος πρέπει να συντονιστούν προσεκτικά για την μεγιστοποίηση των οφελών. Η βελτιστοποίηση απαιτείται στο σχεδιασμό και του συστήματος και της διαδικασίας ελέγχου. Η εμφάνιση των ηλεκτρονικών 42-Volt στα οχήματα κάνει την ολοκλήρωση των ηλεκτροκινητήρων/γεννητριών, των στροβιλοσυμπιεστών και των υπολοίπων συμπληρωματικών στοιχείων του κινητήρα μια ενδιαφέρουσα πρόταση για μελλοντικά ανεπτυγμένα συστήματα μετάδοσης ισχύος.

Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριους τύπους ανάλογα με τη συνδεσμολογία:

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

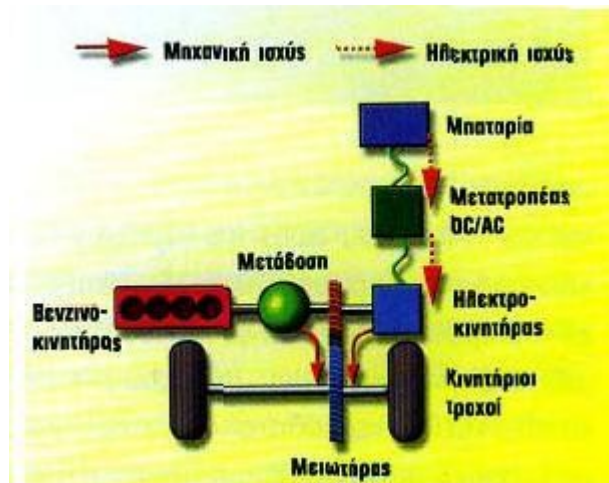
Σε ένα σειριακό υβριδικό σύστημα μετάδοσης ισχύος (Σχήμα 1.1) την κίνηση την δίνει αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας ο οποίος δέχεται ηλεκτρική ενέργεια είτε από μια συστοιχία μπαταριών είτε από μια Μ.Ε.Κ. μέσω γεννήτριας. Ο κινητήρας είναι συνήθως μικρότερος σε ένα σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος καθώς έχει να αντιμετωπίσει μέτριες σε ισχύ οδηγικές απαιτήσεις. Αφού δεν είναι συνδεδεμένος απευθείας στο κιβώτιο ταχυτήτων, λειτουργεί σε συγκεκριμένες στροφές/φορτίο του πεδίου λειτουργίας όπου η απόδοση είναι υψηλή ή μπορεί να βρίσκεται προσωρινά ακόμα και εκτός λειτουργίας. Έτσι έχουμε ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της βενζίνης. Η συστοιχία των μπαταριών είναι γενικά μεγάλης ισχύος με σκοπό να ικανοποιεί επιπλέον υψηλές οδηγικές ανάγκες, προσθέτοντας όμως βάρος και επιπλέον κόστος στο αυτοκίνητο. Οι επιδόσεις του αυτοκινήτου με αυτόν τον σχηματισμό εξαρτώνται άμεσα από την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος πρέπει να διαθέτει μεγάλο μέγεθος προκειμένου να αποδώσει την απαιτούμενη ισχύ. Ένας τόσο ισχυρός κινητήρας απαιτεί, με τη σειρά του, μεγάλο μέγεθος και βάρος συσσωρευτών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του σε ρεύμα, όταν ο οδηγός επιταχύνει – έστω κι αν υπάρχει δευτερεύουσα γραμμή που να μεταφέρει το ρεύμα της γεννήτριας απευθείας στον ηλεκτροκινητήρα, παρακάμπτοντας τους συσσωρευτές.



Σχήμα 1.1 Σειριακή συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα.

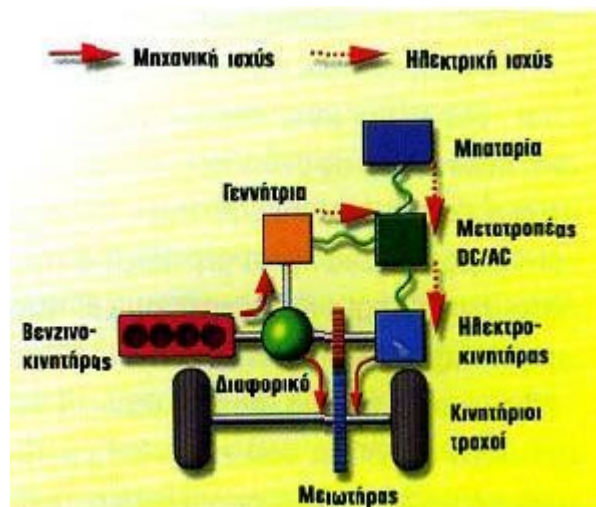
Σε έναν παράλληλο υβριδικό σχηματισμό (Σχήμα 1.2) και ο κινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν την ισχύ για την κίνηση των τροχών όντας μόνιμα και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο κιβώτιο ταχυτήτων. Αφού, σε αυτόν τον σχηματισμό, ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος απευθείας στους τροχούς, εξαλείφεται η μείωση της απόδοσης κατά την μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική, ενέργειας που συμβαίνει στα σειριακά HEVs, κάτι που καθιστά αυτό το είδος των υβριδικών κατάλληλα για οδήγηση σε αυτοκινητοδρόμους. Σε αυτόν τον σχηματισμό, ο ηλεκτροκινητήρας έχει το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που απαιτείται για τη μετακίνηση του αυτοκινήτου, με μικρή ταχύτητα, μέσα στην πόλη. Ο εμβολοφόρος κινητήρας από την άλλη έχει το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που απαιτείται προκειμένου το αυτοκίνητο να μπορεί να κινείται με την επιθυμητή μέγιστη (σταθερή) ταχύτητα σε οριζόντιο επίπεδο, με άπνοια. Ταυτόχρονα, διοχετεύει ένα μικρό μέρος της ισχύος του στη γεννήτρια, προκειμένου να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα. Τυπικά παραδείγματα πετρελαιο-κινητήρων ελαφριών φορτηγών HEVs με παράλληλη συνδεσμολογία είναι του DaimlerChrysler Dodge Ram το οποίο βγήκε στην παραγωγή στα τέλη του 2004, του Toyota – Hino Dutro, το Isuzu Elf.

Το πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης εμβολοφόρου κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα βρίσκεται στη δυνατότητα που υπάρχει να 'αλληλοβοηθηθούν' τα δυο συστήματα. Για παράδειγμα στην περίπτωση που απαιτηθεί από τον κινητήρα να αποδώσει (π.χ. κατά τη διάρκεια μιας επιτάχυνσης ή ανωφέρειας) μεγαλύτερη ισχύ από αυτήν που αντιστοιχεί στις συνθήκες ιδανικής θερμικής απόδοσης, ο ηλεκτροκινητήρας θα ενεργοποιηθεί για να προσφέρει αυτός την επιπλέον ισχύ που χρειάζεται το αυτοκίνητο, χωρίς ο εμβολοφόρος κινητήρας να λειτουργήσει υπό συνθήκες που θα αύξαναν την κατανάλωση του και πιθανόν και τις εκπομπές καυσαερίου.



Σχήμα 1.2 Παράλληλη συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα.

Ένας σειριακός/παράλληλος (μικτός) σχηματισμός (Σχήμα 1.3) εμφανίζει τα πλεονεκτήματα αλλά και τα προβλήματα των παράλληλων και των σειριακών σχηματισμών. Εδώ, ο κινητήρας μπορεί να κινεί τους τροχούς απευθείας αλλά μπορεί και να είναι αποσυνδεδεμένος από αυτούς έτσι ώστε να κινούνται μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα. Το Toyota Prius έκανε αυτή τη διάταξη διάσημη και μια παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιείται και στο υβριδικό Ford Escape. Το σύστημα αυτό είναι πιο ακριβό από ένα παράλληλο σχηματισμού αφού απαιτεί γεννήτρια, μεγαλύτερη συστοιχία μπαταριών και ένα πιο σύνθετο και ανεπτυγμένο σύστημα ελέγχου. Ωστόσο, ο μικτός σχηματισμός έχει τη δυνατότητα καλύτερης απόδοσης απ' ό,τι ο κάθε σχηματισμός ξεχωριστά.



Σχήμα 1.3 Μικτή συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα.



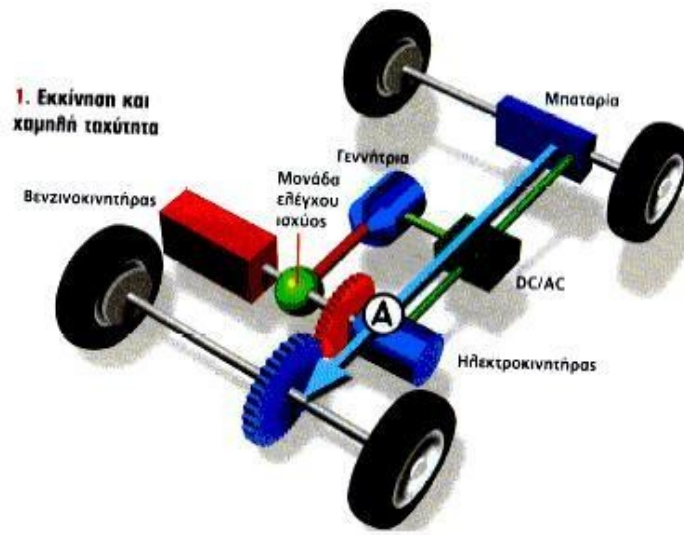
## 1.2 Ροή ισχύος σε υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV).

Η μεγιστοποίηση της απόδοσης επιτυγχάνεται με κατάλληλο σύστημα ελέγχου. Η σύμπλεξη στο (σταθερής σχέσης μετάδοσης) κιβώτιο ταχυτήτων δεσμεύει ή αποδεσμεύει τον ηλεκτροκινητήρα ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του υβριδικού. Έτσι, η Μ.Ε.Κ. και ο ηλεκτροκινητήρας συνδέονται στον άξονα μετάδοσης κίνησης που δίνει κίνηση στο διαφορικό και σε δυο ημιαξόνια. Ο Η/Κ φορτίζει τη συστοιχία των μπαταριών όταν λειτουργεί σαν γεννήτρια (π.χ. ανάκτηση ισχύος κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος) και αποφορτίζει τις μπαταρίες όταν βοηθάει τον κινητήρα στην προώθηση του οχήματος (π.χ. κατά τη διάρκεια μιας επιτάχυνσης) όταν λειτουργεί σαν κινητήρας. Συνολικά υπάρχουν πέντε διαφορετικοί πιθανοί τρόποι οδήγησης σε έναν τέτοιο σχηματισμό. Ονομαστικά αυτοί είναι:

- i. λειτουργία οχήματος μηδενικών εκπομπών (ZEV) (ο κινητήρας σβηστός, λειτουργεί ο ηλεκτροκινητήρας)
- ii. κανονική λειτουργία κινητήρα (όπως και στα συμβατικά οχήματα)
- iii. υβριδική λειτουργία κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα
- iv. υβριδική λειτουργία ηλεκτροκινητήρα ως γεννήτρια (ο κινητήρας παρέχει την ισχύ προώθησης του οχήματος και ταυτόχρονα φορτίζει τις μπαταρίες)
- v. λειτουργία ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα (regenerative braking)

Παρακάτω παρουσιάζονται εικονικά τα διάφορα εναλλακτικά σενάρια της ροής ισχύος σε ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου και συγκεκριμένα της Toyota. Η μικτή συνδεσμολογία κινητήρα – γεννήτριας – ηλεκτροκινητήρα επιτρέπει την αξιοποίηση, κατά περίπτωση, των μελών εκείνων του υβριδικού συστήματος που η συνεργασία τους θα επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

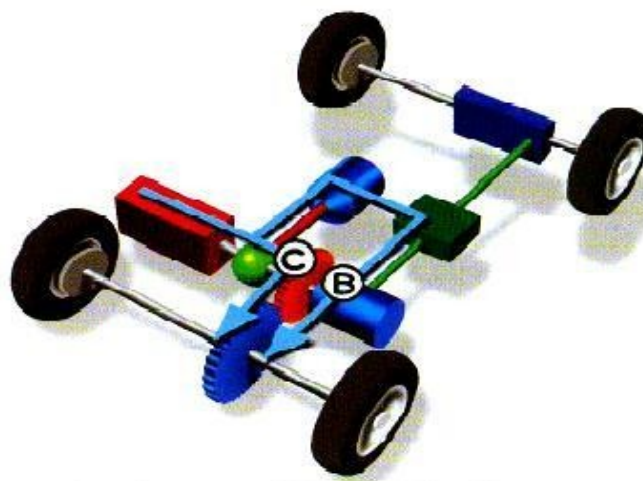
Έτσι, όταν η μπαταρία είναι φορτισμένη και η κίνηση του αυτοκινήτου γίνεται σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, ο κινητήρας σβήνει προκειμένου να αποφευχθεί η λειτουργία του υπό καθεστώς χαμηλού βαθμού απόδοσης. Το αυτοκίνητο κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα (Ροή ισχύος Α).



Σχήμα 1.4 Ροή ισχύος κατά την εκκίνηση και σε χαμηλές ταχύτητες

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

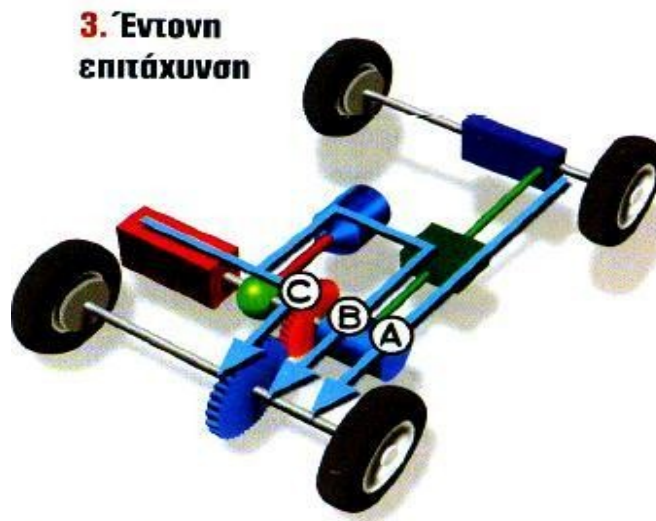
## 2. Οδήγηση υπό ομαλές συνθήκες



Σχήμα 1.5 Ροή ισχύος σε συνθήκες ομαλής κίνησης

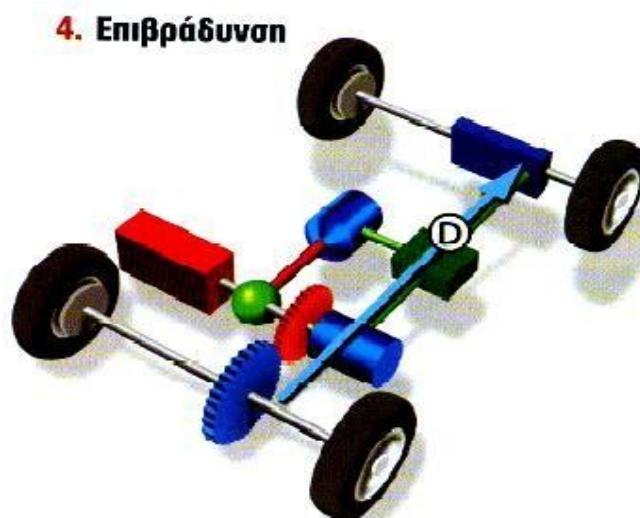
Στην περίπτωση που απαιτείται έντονη επιτάχυνση, ολόκληρη η παραγόμενη ισχύς από τον κινητήρα διοχετεύεται στους τροχούς όπως και η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (B+C) ο οποίος τροφοδοτείται από την μπαταρία (A).

Το ποσοστό της ισχύος που θα καταλήξει στους τροχούς από τον κινητήρα και τον ηλεκτροκινητήρα καθορίζεται και πάλι από τα κριτήρια μεγιστοποίησης του βαθμού απόδοσης.



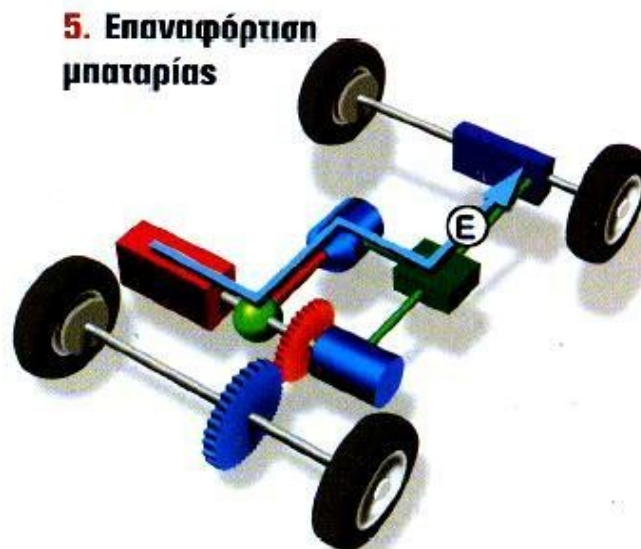
Σχήμα 1.6 Ροή ισχύος στη διάρκεια έντονης επιτάχυνσης

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



Σχήμα 1.7 Ροή ισχύος κατά την επιβράδυνση

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

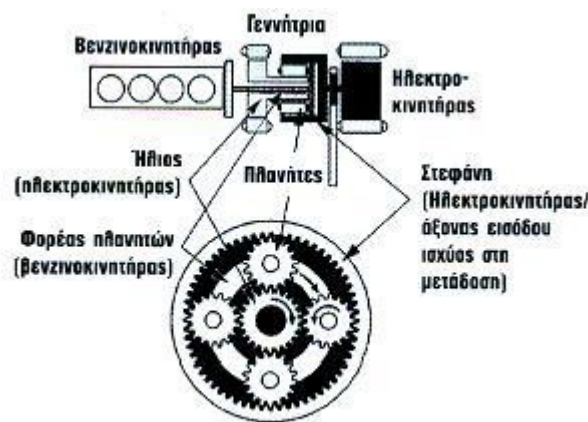


Σχήμα 1.8 Ροή ισχύος κατά την ακινησία του οχήματος

### 1.3 Επικυκλική μονάδα διασύνδεσης.

Αν το ζητούμενο σε ένα όχημα HEV δεν είναι η απλούστευση της συνδεσμολογίας αλλά ο μεγιστοποιημένος, κατά περίπτωση, συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος, τότε ο κινητήρας, η γεννήτρια με ικανότητα πέδησης με ανάκτηση ενέργειας και ο ηλεκτροκινητήρας δεν θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με σταθερή σχέση μετάδοσης. Αν για παράδειγμα η γεννήτρια περιστρεφόταν μονίμως με τις ίδιες στροφές με αυτές του κινητήρα ή της μετάδοσης, τότε δεν θα ήταν ικανή να 'παράγει' πέδηση (άρα και ανάκτηση ενέργειας) μεγαλύτερη από ένα όριο, χωρίς να ανέβει το «αμπεράζ» των περιελίξεων της πάνω από τα όρια ασφαλούς λειτουργίας. Το ίδιο θα μπορούσε να πει κανείς και για τον κινητήρα, του οποίου οι στροφές θα πρέπει να διαφοροποιούνται από αυτές του ηλεκτροκινητήρα, αν ο σχεδιαστής επιδιώκει τη μεγιστοποίηση του θερμικού βαθμού απόδοσης σε σχέση με την, κατά περίπτωση, επιλεγείσα ισχύ υποβοήθησης από τον ηλεκτροκινητήρα. Για τους λόγους αυτούς αντί για την εν σειρά ή την παράλληλη διασύνδεση έχουμε την μικτή συνδεσμολογία, όπως αυτή που ανέπτυξε η Toyota στο Prius μεταξύ των τριών μονάδων που απαρτίζουν το υβριδικό της σύστημα.

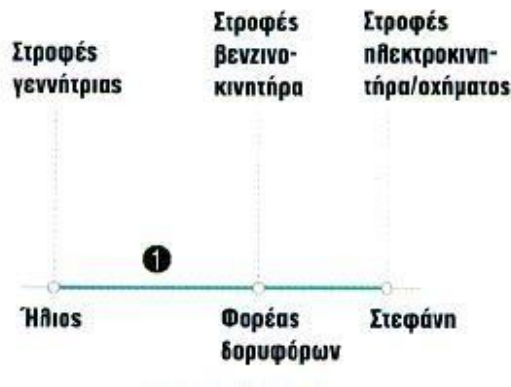
Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της συνδεσμολογίας είναι ένα επικυκλικό διαφορικό, στον 'ήλιο' του οποίου συνδέεται η γεννήτρια και στο φορέα των πλανητών ο κινητήρας. Η έξοδος της ισχύος γίνεται από τη στεφάνη στην οποία είναι μόνιμα συνδεδεμένος ο ηλεκτροκινητήρας. Από τη στιγμή που ο ηλεκτροκινητήρας είναι σταθερά συνδεδεμένος με τον άξονα εισόδου της μετάδοσης, εξυπακούεται ότι με σταθερή ταχύτητα του οχήματος ο ηλεκτροκινητήρας διατηρεί κι αυτός τις στροφές του σταθερές. Κατά συνέπεια, τα μέλη τα οποία διατηρούν την ιδιότητα συνεχούς μεταβολής του ρυθμού περιστροφής τους, όταν το όχημα κινείται με σταθερή ταχύτητα, είναι ο κινητήρας και η γεννήτρια.



Σχήμα 1.9 Η ανεξάρτητη διασύνδεση κινητήρα και γεννήτριας με τον ηλεκτροκινητήρα και τους τροχούς επιτυγχάνεται μέσω ενός επικυκλικού διαφορικού.

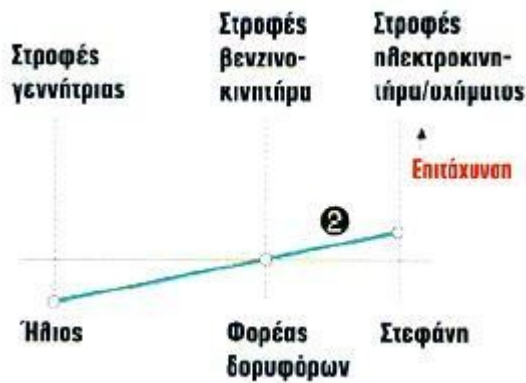
Ακολουθούν κάποια συνοδευτικά διαγράμματα, όπου μπορούμε να δούμε τη «γραμμική» σχέση που υπάρχει ανάμεσα στις ταχύτητες καθενός από τα τρία μέλη του υβριδικού συστήματος σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας και τα οποία προέρχονται από την τεχνολογία του Toyota Prius THS II.

Στην περίπτωση 1 έχουμε το αυτοκίνητο σε πλήρη στάθμευση με όλα τα συστήματα του κλειστά.



Σχήμα 1.10 Όχημα σθηστό

Στην περίπτωση 2 έχουμε την αρχική εκκίνηση του αυτοκινήτου από στάση, με χαμηλή ταχύτητα. Ο βενζινοκινητήρας παραμένει σθηστός.



Σχήμα 1.11 Εκκίνηση οχήματος από στάση

Στην περίπτωση 3 έχουμε την κατάσταση της αρχικής επιτάχυνσης, από μια χαμηλή ταχύτητα. Ο βενζινοκινητήρας έχει αρχίσει να λειτουργεί και ένα μέρος της ενέργειας του δαπανάται από τη γεννήτρια για την παραγωγή ρεύματος, το οποίο αποθηκεύεται εξολοκλήρου στην μπαταρία.



Σχήμα 1.12 Επιτάχυνση οχήματος από στάση

Στην περίπτωση 4 έχουμε την περίπτωση «κανονικής κίνησης». Το αυτοκίνητο ωθείται τόσο από τον βενζινοκινητήρα όσο και από τον ηλεκτροκινητήρα ενώ ενεργοποίηση της γεννήτριας δεν είναι απαραίτητη.



Σχήμα 1.13 Κανονική κίνηση οχήματος

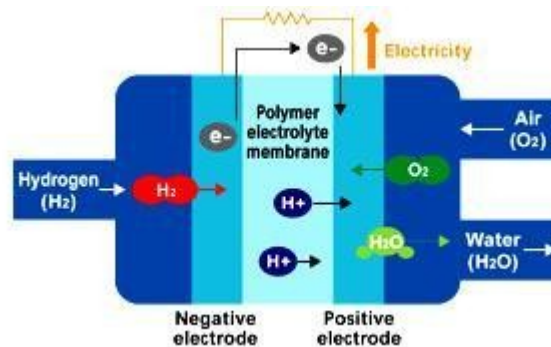
Στην περίπτωση 5 έχουμε την κατάσταση κανονικής επιτάχυνσης από μια («φυσιολογική») ταχύτητα κίνησης. Ο βενζινοκινητήρας λειτουργεί σε υψηλές στροφές και από υψηλό φορτίο. Ένα μέρος της ισχύος του καταλήγει στη γεννήτρια η οποία, σε συνδυασμό με την μπαταρία, τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ώστε να προστεθεί στους τροχούς και η δική του ισχύς.



Σχήμα 1.14 Επιτάχυνση οχήματος από φυσιολογική ταχύτητα κίνησης

### 1.4 Υβριδικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου.

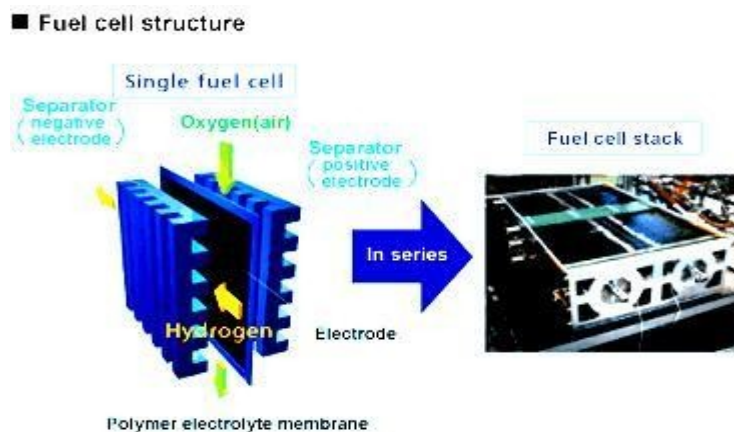
Καθώς τα HEV κερδίζουν έδαφος, η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) στα οχήματα αρχίζει να αποκτά ενδιαφέρον. Οι κυψέλες καυσίμου με υδρογόνο χρησιμοποιούνται εδώ και καιρό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διαστημικές εφαρμογές και ως βοηθητικές μονάδες παραγωγής ενέργειας σε περίπτωση αιχμής. Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω χημικής αντίδρασης μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου χωρίς να παράγουν βλαβερές εκπομπές. Ουσιαστικά, οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης απευθείας σε ηλεκτρική. Η βασική φυσική δομή μιας κυψέλης καυσίμου (Σχήμα 1.15) αποτελείται από μια λεπτή μεμβράνη ηλεκτρολύτη που έρχεται σε επαφή με μια πορώδη άνοδο από τη μια πλευρά και μια πορώδη κάθοδο από την άλλη. Μια σχηματική αναπαράσταση κυψέλης καυσίμου, με τα αντιδρώντα και τα παράγωγα καθώς και η πορεία των ιόντων διαμέσου της κυψέλης, φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 1.15 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμου



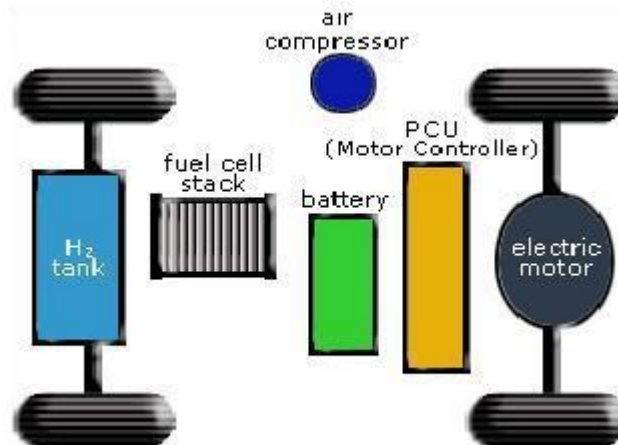
Σε μια συνήθη κυψέλη καυσίμου τα καύσιμα αέρια μορφής (π.χ. υδρογόνο) τροφοδοτούνται συνεχώς προς την άνοδο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (π.χ. οξυγόνο) τροφοδοτείται προς την κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο). Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στα ηλεκτρόδια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Μια κυψέλη καυσίμου, αν και έχει στοιχεία και χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά μιας μπαταρίας, διαφέρει με αυτήν αρκετά. Η μπαταρία είναι μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Η μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια καθορίζεται από την ποσότητα της χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία. Η μπαταρία θα σταματήσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν η χημική της ενέργεια καταναλωθεί, δηλαδή όταν αυτή αποφορτιστεί. Για την επαναφόρτιση της, πρέπει να την τροφοδοτήσουμε με ενέργεια από μια εξωτερική πηγή. Από την άλλη, η κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή μετατροπής ενέργειας που θεωρητικά έχει τη δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όσο το καύσιμο και το οξειδωτικό παρέχονται στα ηλεκτρόδια. Στην πραγματικότητα όμως, η χημική διάβρωση και η δυσλειτουργία των υλικών περιορίζει πρακτικά τη λειτουργική διάρκεια των κυψελών καυσίμου. Το αέριο υδρογόνο είναι το καύσιμο για τις περισσότερες εφαρμογές, εξαιτίας της υψηλής του αντιδραστικότητας, της δυνατότητας να παράγεται από υδρογονάνθρακες και της υψηλής του ενεργειακής πυκνότητας όταν αποθηκεύεται κρυογενικά, όπως στο διάστημα. Παρομοίως, το οξυγόνο είναι το πιο κοινό οξειδωτικό αφού είναι ευρέως διαθέσιμο στην ατμόσφαιρα και εύκολα αποθηκεύεται.



Σχήμα 1.16 Η δομή μιας κυψέλης καυσίμου

Στα υβριδικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCVs), (Σχήμα 16), το υδρογόνο αποθηκεύεται σε δεξαμενές καυσίμου που βρίσκονται επί του οχήματος και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την κυψέλη καυσίμου τροφοδοτεί μια μπαταρία που ενεργοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα που δίνει κίνηση στους τροχούς. Όσο λοιπόν είναι γεμάτη η δεξαμενή με το υδρογόνο, η αντίδραση οξυγόνου

υδρογόνου θα εξακολουθεί να υφίσταται στην κυψέλη, οπότε και η μπαταρία θα φορτίζεται και το όχημα θα κινείται. Τα FCVs μπορεί να είναι δυο φορές πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα συμβατικού τύπου. Μπορούν επίσης να εξοπλιστούν με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες για αύξηση της απόδοσης, όπως συστήματα ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα που 'αιχμαλωτίζουν' την ενέργεια που χάνεται στο φρενάρισμα και την αποθηκεύουν σε μια μεγάλων διαστάσεων μπαταρία.



Σχήμα 1.17 Τα βασικά στοιχεία ενός υδρογονικού FCV

Τα FCVs μπορούν να τροφοδοτούνται με αέριο υδρογόνο που αποθηκεύεται απευθείας στο όχημα μέσα σε δεξαμενές ή παράγεται από ένα δευτερεύον καύσιμο, όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη ή το φυσικό αέριο που εμπεριέχει οξυγόνο. Αυτά τα δευτερεύοντα καύσιμα μετατρέπονται σε αέριο υδρογόνο από έναν αναμορφωτή καυσίμου (reformer) που είναι επί του οχήματος. Τα FCVs που τροφοδοτούνται αμέσως με υδρογόνο δεν εκπέμπουν ρύπους -μόνο υδρατμό και θερμότητα-, ενώ αυτά που κάνουν χρήση δευτερευόντων αερίων και ενός αναμορφωτή καυσίμου (reformer) παράγουν μικρές ποσότητες αέριων ρύπων. Όπως και με τα άλλα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οχήματα κυψελών καυσίμου είναι αθόρυβα, κινούνται ομαλά, είναι ευχάριστα στην οδήγηση και θα πρέπει να έχουν την ίδια αποδοχή όπως και τα συμβατικά. Τα λεωφορεία κυψελών καυσίμου ήδη λειτουργούν σε αρκετές πόλεις της Αμερικής.

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι πέρα από μια απλή προσφορά λύσης σε περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα. Επειδή οι κυψέλες καυσίμου παράγουν λίγη θερμότητα, λειτουργούν αθόρυβα χωρίς δονήσεις και μεταδίδουν την ενέργεια τους σε μορφή ηλεκτρισμού, μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε σε ένα όχημα. Η ισχύς δεν χρειάζεται να μεταδοθεί μηχανικά από έναν κινητήρα στους τροχούς, οπότε οι μηχανικοί έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια στη μελέτη κατασκευής του οχήματος. Αναιρώντας τους συμβατικούς σχεδιαστικούς περιορισμούς, οι κυψέλες καυσίμου δίνουν τη δυνατότητα για νέες ιδέες στον σχεδιασμό των αυτοκινήτων. Το Toyota Fine-X που παρουσιάστηκε στην 39η

έκθεση στο Τόκυο είναι παράδειγμα αυτού του είδους της επαναστατικής, υψηλά αποδοτικής δημιουργίας. Χρησιμοποιώντας μια συμβατική κυψέλη καυσίμου κάτω από το δάπεδο του αυτοκινήτου και τέσσερις ηλεκτροκινητήρες στους τροχούς.

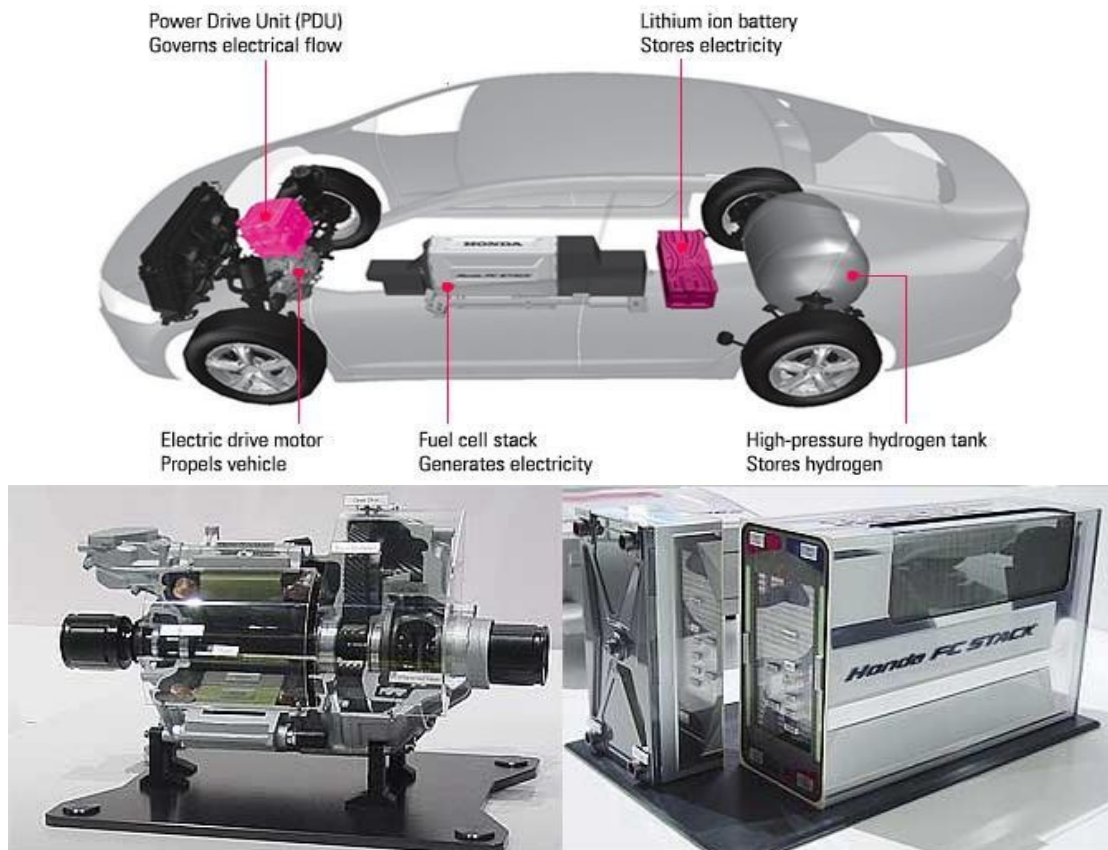
Το FCX Clarity αποτελεί την τελευταία (και πλέον εξελιγμένη) έκδοση της μακράς σειράς των πειραματικών “κυψελωτών” FCX και αποτελεί φορέα για όλες εκείνες τις καινοτόμες τεχνολογίες. Το FCX Clarity είναι «χτισμένο» πάνω σε μια ειδικά εξελιγμένη για το συγκεκριμένο μοντέλο πλατφόρμα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η χωροταξική διαμόρφωση, αφού κυψέλη και μπαταρία χώρεσαν ουσιαστικά μέσα στο χώρο επιβατών. Σε αυτό, μεταξύ άλλων, βοήθησε και ο περιορισμένος όγκος της νέας κυψέλης V Flow FC Stack. Η μείωση του όγκου επέφερε και μείωση του ψυκτικού υγρού, κάτι που με τη σειρά του οδήγησε στον περιορισμό του χρόνου που χρειάζεται για προθέρμανση στους  $-20^{\circ}\text{C}$ , ενώ τώρα είναι δυνατή η εκκίνηση ακόμα και στους  $-30^{\circ}\text{C}$ . Επίσης για να καταφέρει η Honda να λειτουργεί την κυψέλη σε τόσους χαμηλούς  $^{\circ}\text{C}$  άλλαξε τη συνήθη - μέχρι τότε - οριζόντια ροή υδρογόνου και αέρα, στο εσωτερικό της κυψέλης, αντικαθιστώντας τη με μια κατακόρυφη. Τα δυο συνεργαζόμενα αέρια κινούνται, έτσι, με κατεύθυνση από την κορυφή της κυψέλης προς τον πυθμένα της – το αποτέλεσμα είναι να απομακρύνεται, λόγω της βαρύτητας, το παραγόμενο νερό από τα στοιχεία της κυψέλης και να καταλήγει στον πυθμένα, απ’ όπου και απορρέει προς το εξωτερικό. Αντίθετα, στις συμβατικές κυψέλες οριζόντιας ροής, η παραμονή του νερού στις επιφάνειες των στοιχείων οδηγεί σε παγοποίηση, άρα και αδρανοποίηση της κυψέλης. Η μπαταρία ιόντων λιθίου είναι κατά 40% ελαφρύτερη και 50% μικρότερη σε όγκο από τους υπερπυκνωτές που διέθετε το FCX του 2005. Παρέχει έξτρα ισχύ κατά την επιτάχυνση με πλήρες φορτίο και επαναφορτίζεται κατά την επιβράδυνση. Η ανάρτηση περιλαμβάνει διπλά ψαλίδια εμπρός και μια διάταξη πέντε συνδέσμων πίσω.

Παρακάτω φαίνονται οι τεχνικές προδιαγραφές και διάφορες εικόνες που δείχνουν τη δομή και λεπτομερώς τα στοιχεία(κινητήρας, κυψέλες υδρογόνου) από τα οποία αποτελείται το Honda FCX Clarity.

Πίνακας 1.1: Honda FCX Clarity – Βασικές Προδιαγραφές

Αριθμός Επιβατών		4
Ηλεκτροκινητήρας	Μέγιστη ισχύς	100kW
	Μέγιστη ροπή	256 Nm
	Τύπος	Σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας AC (μόνιμου μαγνήτη)
Συστοιχία Κυψελών Καυσίμου	Τύπος	PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell )
	Μέγιστη ισχύς	100kW
Καύσιμο	Τύπος	Συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο
	Αποθήκευση	Ρεζερβουάρ υδρογόνου υψηλής πίεσης
	Χωρητικότητα	171 L

	ρεζερβουάρ
Διαστάσεις (Μήκος × Πλάτος × Ύψος )	4835 × 1845 × 1470 mm
Βάρος οχήματος	1625 kg
Μέγιστη ταχύτητα	160 km/h
Αποθήκευση ενέργειας	Μπαταρία ιόντων λιθίου



Σχήμα 1.18 Αναλυτική απεικόνιση της δομής του Honda FCX Clarity- Απεικόνιση του ηλεκτροκινητήρα και της κυψέλης καυσίμου

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ”

#### 2.1 Η Μηχανή Εσωτερικής Καύσης ενός υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος.

##### 2.1.1 Βενζινοκινητήρας.

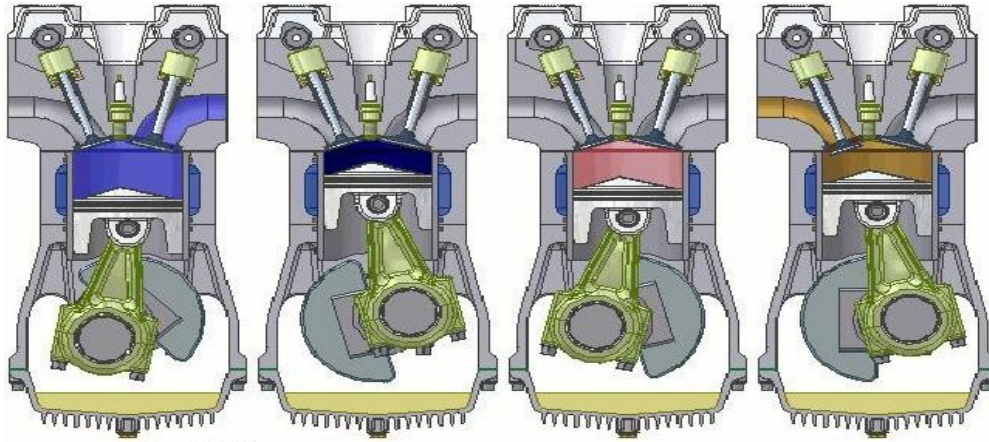
Μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι κινητήρας στον οποίο η καύση του καυσίμου γίνεται σε θάλαμο καύσης που βρίσκεται ολόκληρος μέσα στον κινητήρα. Με τον όρο μηχανές εσωτερικής καύσης συνήθως εννοούνται κυρίως οι παλινδρομικές-εμβολοφόρες μηχανές και οι κινητήρες Βάνκελ(Wankel).

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή, στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια. Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που παράγονται ασκεί δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως στα έμβολα ή στα πτερύγια. Η μηχανή εσωτερικής καύσης (ή ΜΕΚ) διαφοροποιείται με την μηχανή εξωτερικής καύσης, όπως με ατμό ή κινητήρα Stirling, στις οποίες η ενέργεια μεταφέρεται από ένα υγρό το οποίο θερμαίνεται σε ένα λέβητα (ο οποίος βρίσκεται εκτός του κινητήρα) από ορυκτά καύσιμα ή καύση ξύλου, πυρηνική ενέργεια, ηλιακή κ.λ.π.

Οι τετράχρονοι κινητήρες εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη έχουν τέσσερις φάσεις λειτουργίας («χρόνους»):

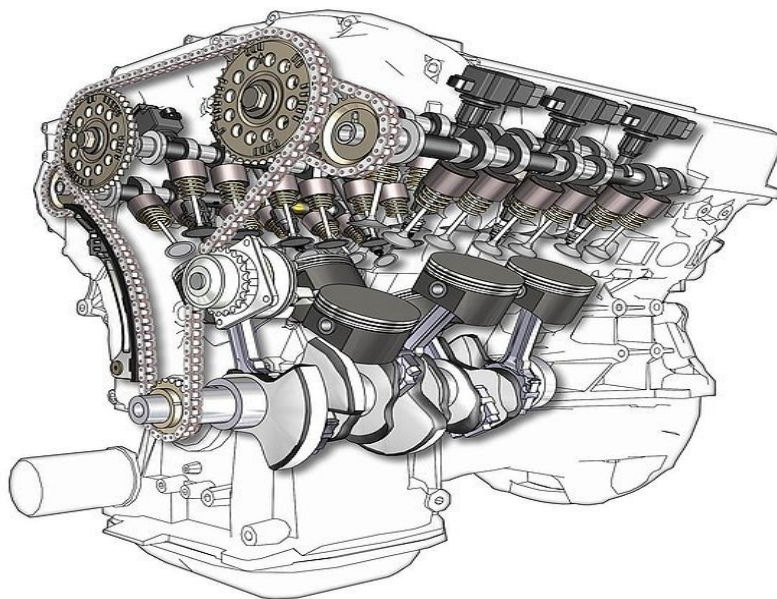
1. **Εισαγωγή:** Το καύσιμο μείγμα εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής
2. **Συμπύεση:** Το έμβολο κινείται προς το άνω νεκρό σημείο και συμπιέζει το καύσιμο μείγμα
3. **Ανάφλεξη:** Η ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τον ηλεκτρικό σπινθήρα που δίνεται από το μπουζί (βενζινοκινητήρες), προκαλούν την ανάφλεξη του καυσίμου μείγματος. Η έναυση δεν γίνεται στο άνω νεκρό σημείο αλλά λίγο πιο πριν (προπορεία ανάφλεξης, «αβάνς»)
4. **Καύση / Εκτόνωση:** Το μείγμα καίγεται και εκτονώνεται, πιέζοντας το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο, παράγοντας ωφέλιμο έργο

5. **Εξαγωγή:** Το έμβολο, που λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-στροφαλόφορος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα άνω, σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.



Σχήμα 2.1 Απεικόνιση των φάσεων λειτουργίας βενζινοκινητήρα

Πολλοί κινητήρες επικαλύπτουν αυτά τα βήματα στο χρόνο, οι αεριοστροβιλοκινητήρες κάνουν όλα τα βήματα ταυτόχρονα σε διάφορα μέρη του κινητήρα, ενώ ορισμένοι κινητήρες εσωτερικής καύσης έχουν επιπλέον βήματα, ενώ άλλοι έχουν μόνο δύο χρόνους (δίχρονοι κινητήρες).



Σχήμα 2.2 Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης

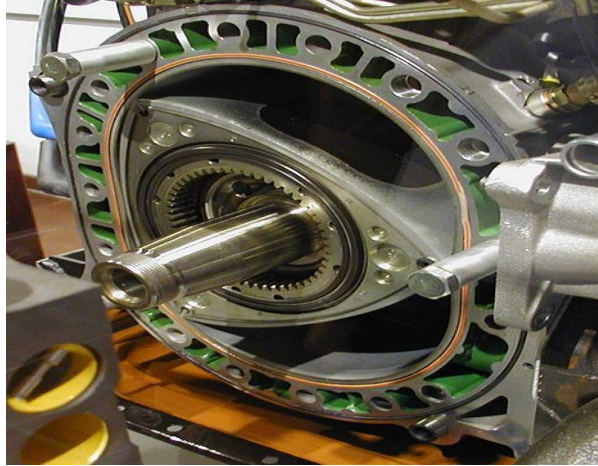
### 2.1.2 Κινητήρας Wankel.

Ο κινητήρας Βάνκελ (Wankel) είναι ένας τύπος κινητήρα εσωτερικής καύσης που εφευρέθηκε από τον Γερμανό μηχανολόγο Φέλιξ Βάνκελ στις αρχές της δεκαετίας του '50. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα του κινητήρα αυτού αφορά την κίνηση του εμβόλου η οποία είναι περιστροφική και διαφέρει από τις εμβολοφόρες Ντίζελ και Όττο οι οποίες βασίζονται στην παλινδρομική κίνηση των εμβόλων. Λόγω της βασικής αυτής διαφοράς, το έμβολο του κινητήρα Βάνκελ διαφέρει, με τη σειρά του, από τα συνήθη έμβολα ως προς τα γεωμετρικά του στοιχεία. Το βασικό σχήμα του εμβόλου είναι το ισόπλευρο τρίγωνο και περιστρέφεται μέσα στον κύλινδρο της μηχανής, όπου γίνεται και η καύση. Το κέντρο του εμβόλου στηρίζεται στον εκκεντροφόρο άξονα της μηχανής, που στη συγκεκριμένη διάταξη αναλαμβάνει και ρόλο στροφαλοφόρου άξονα. Μέσα στο έμβολο υπάρχει και ομόκεντρο γρανάζι, πάνω στο οποίο "κρέμεται" το έμβολο κατά την περιστροφή του στον ελλειψοειδή κύλινδρο.

#### **Ο κύκλος καύσης σε έναν κινητήρα Wankel.**

Η καύση στον κινητήρα Βάνκελ γίνεται ως εξής: εισάγεται μέσω αυλού εισαγωγής το καύσιμο μίγμα αέρα-καυσίμου, το οποίο ακολουθεί την περιστροφή εφόσον ωθείται από τη γωνία του τριγωνικού εμβόλου, στο οποίο παρέχουν στεγανότητα τα ελατήρια του τοιχώματος του κυλίνδρου. Έτσι, το μίγμα μεταφέρεται μετά από περιστροφή ορισμένων μοιρών στο στάδιο πλήρους συμπίεσης. Εκεί δέχεται σπινθηρισμό με τη βοήθεια αναφλεκτήρα (μπουζί) και ακολουθεί καύση και εκτόνωση των καυσαερίων, καθώς ο όγκος μέσα στον οποίο περιέχονται αυξάνεται λόγω της περιστροφής του εμβόλου. Τέλος, τα καυσαέρια εξωθούνται από το θάλαμο καύσης από την εξαγωγή. Η περιστροφή συνεχίζεται όσο υπάρχει καύση.

Το συγκριτικό πλεονέκτημα του κινητήρα σε σχέση με άλλους εμβολοφόρους είναι η συνεχής κίνηση του εμβόλου, επειδή τα νεκρά σημεία (δηλαδή τα ακραία σημεία σε μια παλινδρομική κίνηση, όπου η ταχύτητα του εμβόλου στιγμιαία μηδενίζεται καθώς η κίνησή του αλλάζει φορά) είναι ανύπαρκτα, και, επομένως, οι απώλειες που οφείλονται σε αυτά (απώλειες νεκρών σημείων) είναι μηδενικές. Επίσης, ο κινητήρας Βάνκελ πραγματοποιεί τρεις καύσεις ανά κύκλο σε σχέση με τη μια των άλλων κινητήρων. Το έμβολο σε έναν κινητήρα Βάνκελ δεν σταματά να περιστρέφεται όσο ο κινητήρας είναι σε λειτουργία, και εδώ οφείλεται η ύπαρξη μέγιστης ισχύος σε υψηλό αριθμό στροφών κατά τη λειτουργία του.



Σχήμα 2.3 Κινητήρας Wankel

### 2.1.3 Βενζινοκινητήρας με κύκλο Atkinson.

Στα τέλη του 19ου αιώνα, ο Βρετανός James Atkinson πρότεινε έναν αρκετά ενδιαφέροντα θερμικό κύκλο λειτουργίας των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Ο κύκλος αυτός είχε μεγαλύτερη θερμική απόδοση από τον κύκλο του Otto αλλά για την υλοποίηση του απαιτούσε από τον κινητήρα να έχει μια εξαιρετικά αυξημένη μηχανική πολυπλοκότητα, γεγονός που τον καθιστούσε, πρακτικά, μη αξιοποιήσιμο.

Η αρχή του κύκλου του Atkinson βασιζόταν σε μια απλή διαπίστωση: στο ότι, όταν το έμβολο φτάσει στο Κάτω Νεκρό Σημείο του χρόνου της εκτόνωσης, τα αέρια στον κύλινδρο εξακολουθούν να έχουν αρκετά μεγάλη πίεση η οποία δεν μπορεί πλέον να εκτονωθεί και να μετατραπεί σε μηχανικό έργο. Αν το έμβολο δεν είχε φτάσει στο τέλος της προς τα κάτω διαδρομής του, η βαλβίδα εξαγωγής θα εξακολουθούσε να παραμένει κλειστή και η πίεση των αερίων του κυλίνδρου θα συνέχιζε να «αξιοποιείται» μέχρι να πέσει σε μη-εκμεταλλεύσιμα επίπεδα.

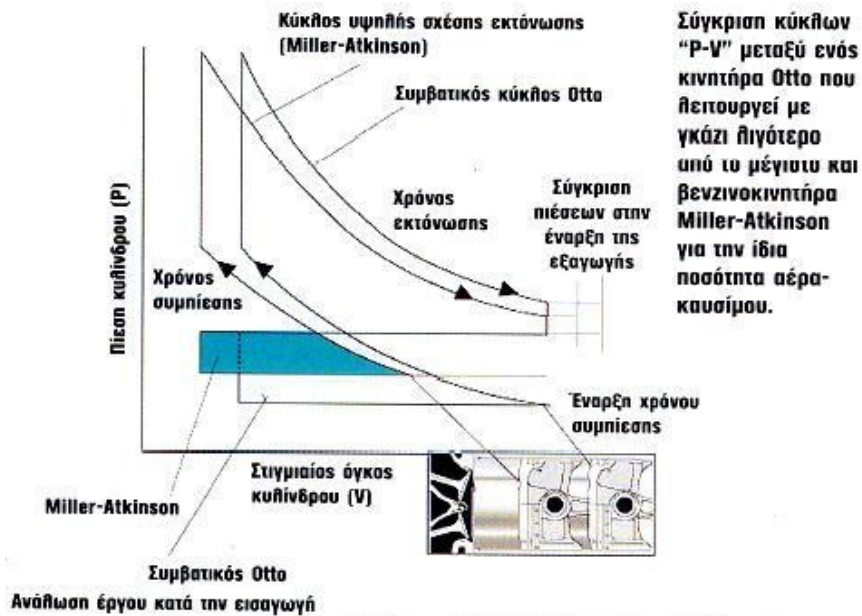
Και φυσικά, για την ίδια ποσότητα καυσίμου, το έργο που θα έφτανε στο στρόφαλο θα ήταν πολύ περισσότερο. Συνακόλουθα, τα αέρια της εξάτμισης θα είχαν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία και ταχύτητα, στην έξοδο τους από τον κύλινδρο. Με άλλα λόγια, σύμφωνα με τη θεωρία του Atkinson, το μεγάλο μειονέκτημα του κύκλου του Otto δεν είναι άλλο από το γεγονός ότι η διαδρομή του εμβόλου κατά το χρόνο της εκτόνωσης είναι ίση, σε μέγεθος, με αυτή που το έμβολο διανύει κατά τους χρόνους της εισαγωγής ή της συμπίεσης. Ο κινητήρας του Atkinson διέθετε ένα μηχανισμό μέσω του οποίου η διαδρομή του εμβόλου, κατά το χρόνο της εκτόνωσης, ήταν αρκετά μεγαλύτερη από την αντίθετη διαδρομή, την οποία το έμβολο εκτελούσε κατά το χρόνο της συμπίεσης. Και το πιο σημαντικό στοιχείο της εφεύρεσης αυτής ήταν το γεγονός ότι το μέγεθος καθεμιάς από αυτές τις δυο διαδρομές, μπορούσε να ρυθμιστεί ανεξάρτητα από την άλλη.



Η μηχανή του Atkinson έμεινε στα αζήτητα για πάρα πολλά χρόνια, όχι όμως και η θεωρία του, την οποία κάποιοι ερευνητές προσπαθούσαν να υλοποιήσουν σε ένα πιο πρακτικό επίπεδο. Τη λύση τελικά τη βρήκε πριν από μισό αιώνα ο Αμερικάνος R.H.Miller, του οποίου οι ιδέες άρχισαν να εξετάζονται με ενδιαφέρον από τους Ιάπωνες, τις τελευταίες δεκαετίες. Η ιδέα του Miller (απ' όπου και ο ομώνυμος κύκλος) ήταν απλή και πάνω σε αυτή βασίστηκε και η Toyota στις υβριδικές της εφαρμογές. Η διαδρομή του εμβόλου, κατά την εκτόνωση, θα παρέμενε σταθερή – η μέγιστη δυνατή. Αντιθέτως, μεταβλητή θα ήταν η διαδρομή του εμβόλου κατά την οποία θα πραγματοποιείτο η συμπίεση. Κατά συνέπεια, θα ήταν μεταβλητός και ο λόγος συμπίεσης. Όλη αυτή η διαδικασία βασίζεται στην επιλογή του χρονισμού που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής. Όταν είναι επιθυμητός ο χαμηλός λόγος συμπίεσης, τότε διατηρείται ανοικτή η βαλβίδα εισαγωγής κατά την άνοδο του εμβόλου. Με την προς τα πάνω κίνηση του εμβόλου, ένα μέρος του μίγματος εκτοπίζεται από τον κύλινδρο και επιστρέφει στον αυλό εισαγωγής. Η εναπομένουσα ποσότητα αρχίζει να συμπιέζεται από τη στιγμή που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής και καθώς ο χρονισμός κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής είναι μεταβλητός, επόμενο είναι να μεταβάλλεται μαζί του και ο «ενεργός» λόγος συμπίεσης αλλά και ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα. Το μειονέκτημα της «ατμοσφαιρικής» εκδοχής του κύκλου Miller (όπως στην περίπτωση του Toyota Prius) εντοπίζεται στο γεγονός ότι ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα αυξομειώνεται, ταυτόχρονα, με το βαθμό συμπίεσης. Εκείνο όμως που χρειάζεται, προκειμένου να εξαντληθούν τα όρια αποδοτικότητας του κινητήρα, είναι το ακριβώς αντίστροφο: ο βαθμός συμπίεσης να είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μικρότερος είναι ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα. Από την άλλη, είναι προφανές ότι η λειτουργία με κύκλο Miller «ευνοείται» από την παρουσία ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή, μέσω του οποίου καθορίζεται η πίεση που θα επικρατεί στον κύλινδρο τη στιγμή που θα κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής και θα αρχίζει η συμπίεση του μίγματος. Το γεγονός είναι, πάντως, ότι εφόσον ο κινητήρας λειτουργεί με κύκλο Miller, η αξιοποίηση του καυσίμου του βρίσκεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα απ' ότι όταν αυτός λειτουργεί σε κύκλο Otto. Η εξήγηση γι' αυτό είναι απλή.

Στην «εκδοχή Miller» ακόμα κι όταν δεν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις ισχύος, η ρυθμιστική δικλείδα παραμένει πλήρως ανοικτή, όπως ακριβώς και στους κινητήρες πτωχού μίγματος όταν ο οδηγός δεν πατάει το πεντάλ ως το τέρμα. Και αντί η ροή αέρα να στραγγαλίζεται, μέσω της “πεταλούδας”, προκειμένου να αποδοθεί ισχύς μικρότερη από τη μέγιστη, ο περιορισμός της ποσότητας μίγματος επιτυγχάνεται μέσω του καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής – άρα και της επιστροφής του πλεονάζοντος μίγματος προς τον αυλό εισαγωγής. Έτσι, στη φάση της εισαγωγής, ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν να είχε κυβισμό μικρότερο από τον ονομαστικό του – και ανάλογο, προφανώς, της αιτούμενης ισχύος. Στην εκτόνωση αξιοποιείται ολόκληρη η προς τα κάτω διαδρομή του εμβόλου. Άρα, πρόκειται ακριβώς για την περίπτωση ενός «μικρότερου» κινητήρα που λειτουργεί ως Atkinson. Για να λειτουργήσει, όμως, ένας κινητήρας σε κύκλο Miller, οι σχεδιαστές του θα πρέπει ευθύς εξ' αρχής να «απαρνηθούν» την

παρουσία δυναμικών (κυματικών) φαινομένων στον αυλό εισαγωγής – άρα να απαρνηθούν και τις μεγάλες ογκομετρικές αποδόσεις προς χάριν της μικρής κατανάλωσης.



Σχήμα 2.4 Σύγκριση κύκλων P-V μεταξύ κινητήρων Otto και Atkinson

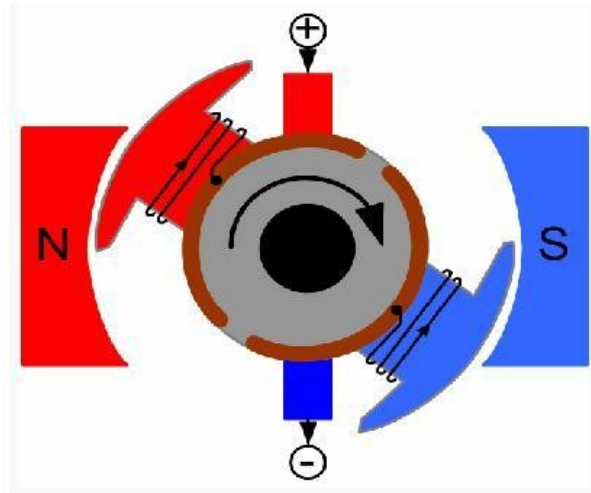
## 2.2 Ο ηλεκτρικός κινητήρας ενός υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος.

### 2.2.1 Γενικά.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για να παράγουν κίνηση ή το αντίστροφο, οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Η σωστή επιλογή ηλεκτρικού κινητήρα είναι καθοριστική για ένα υβριδικό όχημα, αφού από αυτόν θα προέρχεται ένα μεγάλο ποσοστό ή αν όχι όλο το ποσοστό της απαιτούμενης ισχύος. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες χωρίζονται σε πολλές κατηγορίες ανάλογα με το είδος του ρεύματος με το οποίο τροφοδοτούνται, συνεχές ή εναλλασσόμενο, μονοφασικό ή πολυφασικό, με τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών ηλεκτρικών κινητήρων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ηλεκτρικό- υβριδικό όχημα.

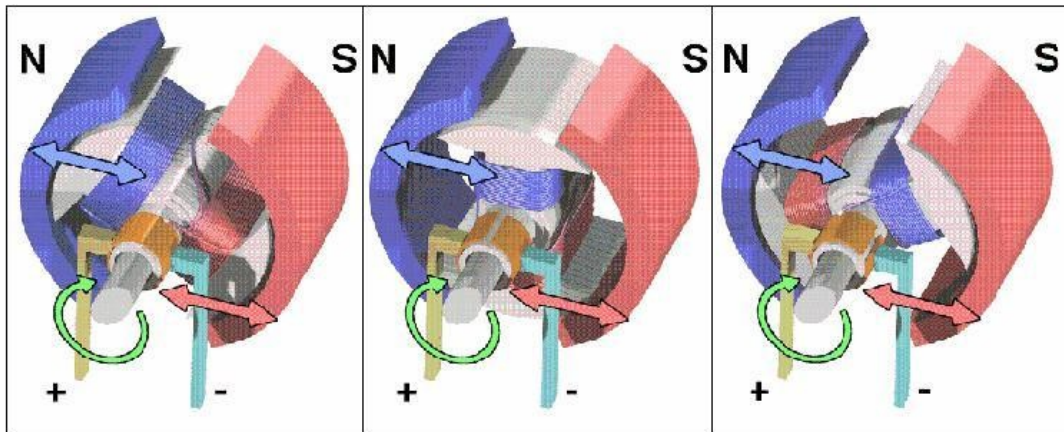
### 2.2.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούν για την τροφοδοσία τους συνεχές ρεύμα, όπως φανερώνεται και από την ονομασία τους. Κατασκευαστικά αποτελούνται από ένα ακίνητο μέρος τον στάτη, και ένα περιστρεφόμενο το δρομέα. Ο άξονας κίνησης αποτελεί επέκταση του δρομέα. Λειτουργικά αποτελούνται από ένα ηλεκτρομαγνήτη διεγέρσεως, τον συλλέκτη, τις ψήκτρες και ένα μόνιμο μαγνήτη.



Σχήμα 2.5 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος δύο πόλων

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στις δυνάμεις αλληλεπίδρασης που υπάρχουν μεταξύ των δύο μαγνητικών υλικών. Συγκεκριμένα ενός μόνιμου μαγνήτη και του τροφοδοτούμενου με συνεχές ρεύμα τυλίγματος διέγερσης, ο οποίος συμπεριφέρεται σαν μαγνήτης. Ανάλογα με τον προσανατολισμό οι δυνάμεις μπορεί να είναι ελκτικές ή απωστικές. Η τοποθέτηση του μόνιμου μαγνήτη και του τυλίγματος διέγερσης είναι τέτοια, ώστε σε κάθε στιγμή οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους να δημιουργούν μια ροπή που θα τείνει να περιστρέψει το δρομέα κατά την επιθυμητή κατεύθυνση. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει η ροή του ρεύματος στο τύλιγμα της διέγερσης να αλλάζει φορά, ανάλογα με τη θέση του τυλίγματος ως προς το μόνιμο μαγνήτη. Αυτό γίνεται με τη χρήση του συλλέκτη και των ψηκτρών. Ο συλλέκτης περιστρέφεται μαζί με τον δρομέα ενώ οι ψήκτρες παραμένουν σταθερές. Έτσι ανάλογα με τη θέση του συλλέκτη ως προς τις ψήκτρες εναλλάσσεται η ροή ρεύματος στο τύλιγμα διέγερσης. Παρόλο που η μηχανή τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, το τύλιγμα διέγερσης διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Στο παρακάτω σχήμα με καφέ χρώμα φαίνεται ο συλλέκτης, ο οποίος περιστρέφεται, ενώ οι δύο ακροδέκτες με την τροφοδοσία είναι οι ακίνητες ψήκτρες.



Σχήμα 2.6 Απεικόνιση κινητήρα συνεχούς ρεύματος σε διαδοχικές θέσεις κατά τη διάρκεια περιστροφής του δρομέα.

Υπάρχουν διάφορα είδη μηχανών συνεχούς ρεύματος. Το τύλιγμα διέγερσης μπορεί να βρίσκεται τοποθετημένο είτε στο στάτη είτε στο δρομέα. Οι συμβατικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες και μόνιμο μαγνήτη ήταν οι πρώτοι που ανακαλύφθηκαν. Αργότερα δημιουργήθηκαν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα αντί μόνιμου μαγνήτη. Σε αυτούς το τύλιγμα διέγερσης μπορεί να τοποθετηθεί σε σειρά ή παράλληλα ανεξάρτητα με το τύλιγμα του τυμπάνου.

Οι κινητήρες με διέγερση σε σειρά είναι σχετικά απλοί στην κατασκευή τους, στιβαροί και αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους σε μηδενικές στροφές, στοιχεία που τους καθιστούν ιδανικούς για ηλεκτρικά-υβριδικά οχήματα. Σε υψηλότερες στροφές όμως απαιτείται η ύπαρξη κιβωτίου ταχυτήτων για να παραχθεί αρκετή ροπή.

Οι κινητήρες με ξένη διέγερση είναι πιο πολύπλοκοί στην κατασκευή τους, όμως δεν απαιτείται αναγκαστικά η ύπαρξη κιβωτίου ταχυτήτων.

### 2.2.3 Ασύγχρονος κινητήρας.

Ο ασύγχρονος κινητήρας (επαγωγικός κινητήρας) είναι ένα πολύ διαδεδομένο είδος κινητήρα. Αποτελείται από ένα τύλιγμα μονοφασικό ή πολυφασικό τοποθετημένο στον στάτη του, και στον δρομέα, το κινούμενο μέρος του. Η αρχή λειτουργίας είναι η επαγωγή ρευμάτων. Συγκεκριμένα τροφοδοτώντας το τύλιγμα του στάτη με ρεύμα δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργεί ρεύματα από επαγωγή στο δρομέα, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν ένα διαφορετικό μαγνητικό πεδίο. Τα δύο μαγνητικά πεδία, του στάτη και του δρομέα αλληλεπιδρούν και δημιουργούν δυνάμεις και κατ' επέκταση ροπή η οποία περιστρέφει το δρομέα.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη δομή του δρομέα τους. Υπάρχουν οι ασύγχρονοι κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, δακτυλιοφόρου δρομέα και χωρίς κλωβό. Στους πρώτους, ο κλωβός του δρομέα αποτελείται από μεταλλικές μπάρες μονωμένες μεταξύ τους, τοποθετημένες

παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής, οι οποίες έχουν ενωθεί (βραχυκυκλωθεί) με δακτύλιους στις άκρες τους. Στους ασύγχρονους κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα, ο δρομέας περιβάλλεται από τυλίγματα, των οποίων η μία άκρη τους είναι βραχυκυκλωμένη και η άλλη ενώνεται κατά ομάδες, με τόσους δακτυλίους όσες είναι και οι φάσεις του κινητήρα. Οι δακτύλιοι αυτοί με χρήση ψηκτρών συνδέονται με ένα εξωτερικό κύκλωμα. Τέλος ο ασύγχρονος κινητήρας χωρίς κλωβό αποτελείται από ένα απλό δρομέα κατασκευασμένο από σίδηρο, στον οποίο δημιουργούνται δινορεύματα, τα οποία μαζί με το μαγνητικό πεδίο δημιουργούν τη ροπή.



Σχήμα 2.7 Δρομέας ασύγχρονης μηχανής βραχυκυκλωμένου κλωβού

#### 2.2.4 Σύγχρονος κινητήρας.

Ο σύγχρονος κινητήρας αποτελείται από ένα τριφασικό τύλιγμα και ένα μόνιμο μαγνήτη (Σε άλλες εφαρμογές τη θέση του μόνιμου μαγνήτη παίρνει ένα τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτούμενο από συνεχές ρεύμα). Το κύριο χαρακτηριστικό του κινητήρα αυτού είναι πως ο δρομέας του περιστρέφεται με τον σύγχρονο αριθμό στροφών ανεξαρτήτως φορτίου, μέχρι κάποιο όριο. Το στρεφόμενο πεδίο από το τριφασικό τύλιγμα περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με το πεδίο του μόνιμου μαγνήτη του δρομέα.

#### 2.2.5 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες.

Ο κινητήρας αυτός είναι ουσιαστικά ένας τριφασικός σύγχρονος κινητήρας, όμως επειδή τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα έχει αυτό το όνομα. Όπως και ο σύγχρονος κινητήρας έχει ένα τριφασικό τύλιγμα και έναν μόνιμο μαγνήτη, αντί του τυλίγματος διέγερσης. Το τύλιγμα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα το οποίο

μετατρέπεται σε τριφασικό, με τη χρήση ενός είδους αντιστροφέα. Κατασκευαστικά το τριφασικό τύλιγμα είναι τοποθετημένο στο στάτη και ο μόνιμος μαγνήτης στο δρομέα, που περιστρέφεται. Με αυτή τη διάταξη δεν απαιτείται συλλέκτης, όπως στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος για να τροφοδοτηθεί το τύλιγμα, αφού είναι ακίνητο.

### **2.2.6 Κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης.**

Ο κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης είναι ένα είδος κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες. Τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο που διαρρέει ένα πολυφασικό τύλιγμα στο στάτη. Η βασική διαφορά με τους άλλους κινητήρες του είδους του είναι ότι δεν απαιτείται η χρήση μόνιμου μαγνήτη για τη λειτουργία του. Χρησιμοποιεί ένα φερρομαγνητικό υλικό το οποίο “αντιδρά” στην ύπαρξη μαγνητικού πεδίου και κινείται. Η απουσία τυλίγματος στον δρομέα επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλού αριθμού στροφών, καθώς και περιορίζει τις απώλειες μόνο στο τύλιγμα του στάτη.

### **2.2.7 Μειονεκτήματα, πλεονεκτήματα και εφαρμογές των διαφόρων ειδών ηλεκτρικών κινητήρων.**

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι απλοί στη λειτουργία και στον έλεγχο τους. Το μειονέκτημά τους είναι η ύπαρξη ψηκτρών, οι οποίες απαιτούν αντικατάσταση μετά από κάποια χρήση. Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε μέσα μαζικής μεταφοράς όπως τα τρένα του υπόγειου σιδηρόδρομου, όμως σε υβριδικά οχήματα δεν υπάρχουν πολλές εφαρμογές.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένοι κυρίως λόγω της στιβαρότητας, της αξιοπιστίας τους αλλά και του χαμηλού κόστους. Παλαιότερα ήταν δύσκολος ο έλεγχος σε ένα ευρύ φάσμα στροφών, όμως τελευταία με τη χρήση των σύγχρονων ηλεκτρονικών ισχύος και των μεθόδων ελέγχου έχει βελτιωθεί. Επίσης με την αύξηση της συχνότητας λειτουργίας τους έχει αυξηθεί και η ειδική ισχύς τους, κάτι πολύ σημαντικό για τις εφαρμογές σε υβριδικά οχήματα όπου το μέγεθος και η απόδοση του κινητήρα έχουν μεγάλη σημασία.

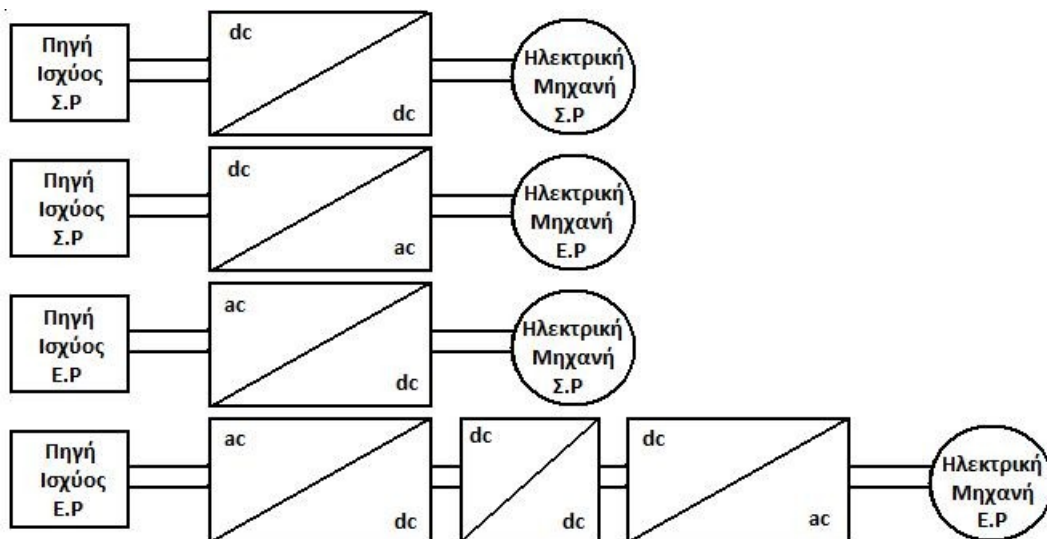
Οι σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη έχουν υψηλή απόδοση, χαμηλό βάρος και σχετικά εύκολη κατασκευή. Όμως έχουν υψηλό κόστος παραγωγής, λόγω των μαγνητών και υπάρχει το ενδεχόμενο απομαγνήτισης τους, αν και η βελτίωση των μαγνητικών υλικών είναι σημαντική. Η ύπαρξη ελέγχου της συχνότητας τροφοδοσίας τους καθιστά ιδανικούς για χρήση σε υβριδικά οχήματα, αφού μπορεί να παρέχει ροπή σε μηδενικές στροφές.

Οι κινητήρες που τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα και δεν έχουν ψήκτρες έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι συμπαγείς κατασκευές, μπορούν να φθάσουν σε υψηλούς ρυθμούς περιστροφής, δεν απαιτούν συντήρηση και έχουν υψηλή απόδοση. Το κόστος τους είναι αυξημένο λόγω της ύπαρξης μαγνητών και του

πολύπλοκου ελέγχου. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες βρίσκουν εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα κάθε είδους.

### 2.3 Μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος.

Ο μετατροπέας ισχύος ή οι μετατροπείς ισχύος είναι η βαθμίδα που παρεμβάλλεται ανάμεσα στην πηγή ισχύος και την ηλεκτρική μηχανή. Η μετατροπείς ισχύος αναλαμβάνουν να παίρνουν την ηλεκτρική ισχύ της πηγής και να την μετατρέπουν σε τάση και ρεύμα κατάλληλο ώστε να οδηγηθεί επιθυμητά η ηλεκτρική μηχανή.



Σχήμα 2.8 Συνηθέστεροι μετατροπείς που απαιτούνται ανάλογα με το είδος της πηγής ισχύος και της ηλεκτρικής μηχανής.

Το είδος του μετατροπέα ισχύος που απαιτείται σε κάθε περίπτωση εξαρτώνται από το είδος της πηγής ισχύος (συνεχούς ρεύματος ή εναλλασσόμενου) και το είδος της ηλεκτρικής μηχανής (συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος) που χρησιμοποιείται. Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζονται οι συνηθέστερες περιπτώσεις. Όταν έχουμε πηγή συνεχούς ρεύματος και θέλουμε να τροφοδοτήσουμε μηχανή συνεχούς ρεύματος τότε απαιτείται ένας ελεγχόμενος DC-DC μετατροπέας ο οποίος να μεταβάλει το πλάτος της συνεχούς τάσης ώστε να μεταβάλει τις στροφές του κινητήρα. Στην περίπτωση πηγής συνεχούς ρεύματος και μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος τότε απαιτείται ένας ελεγχόμενος DC-AC αντιστροφέας. Ο ελεγχόμενος αντιστροφέας μετατρέπει το συνεχές ρεύμα εισόδου σε εναλλασσόμενο ρεύμα κατάλληλου πλάτους και συχνότητας ώστε να οδηγείται ορθά ο κινητήρας.

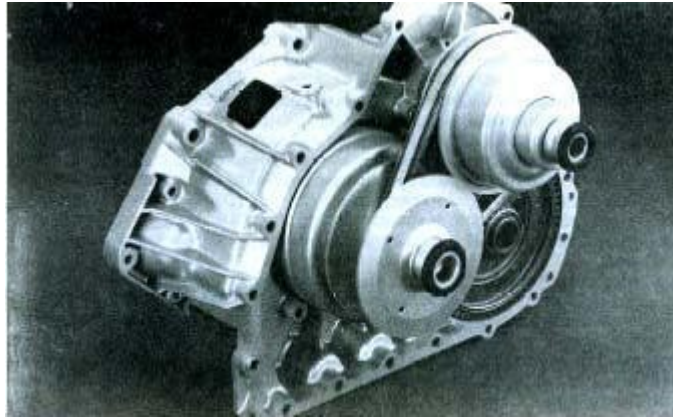
Αντίθετα όταν έχουμε εναλλασσόμενη πηγή ρεύματος και θέλουμε να τροφοδοτήσουμε μηχανή συνεχούς ρεύματος τότε απαιτείται ένας ελεγχόμενος AC-DC ανορθωτής ο οποίος ανορθώνει το ρεύμα εισόδου σε συνεχής τάση μεταβλητού πλάτους. Τέλος στην περίπτωση πηγής εναλλασσομένου ρεύματος και μηχανής εναλλάσσομένου ρεύματος τότε απαιτείται αρχικά ένα (συνήθως μη ελεγχόμενος αν δεν απαιτείται αναγέννηση ισχύος) ανορθωτής, στην συνέχεια προαιρετικά και όποτε απαιτείται πιθανόν να χρησιμοποιηθεί ενδιάμεσα ένας DC-DC chopper και εν τέλη ένας ελεγχόμενος αντιστροφέας DC-AC. Έτσι επιτυγχάνουμε να μεταβάλουμε τόσο την συχνότητα όσο και το πλάτος της τάσης στην έξοδο ώστε να τροφοδοτούμε κατάλληλα την μηχανή εναλλασσομένου ρεύματος.

## 2.4 Κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (CVT).

Μια ειδική περίπτωση αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων είναι το κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (CVT). Το ιδανικό κιβώτιο ταχυτήτων θα έπρεπε να διαθέτει έναν άπειρο αριθμό σχέσεων έτσι ώστε ο κινητήρας να εργάζεται στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του. Το CVT ξεκίνησε από την ιδέα ότι η κίνηση θα μπορούσε να μεταφέρεται από έναν ιμάντα ο οποίος θα εφαρμόζει σε δυο μεταβλητής διαμέτρου τροχαλίες. Η σχέση μετάδοσης, που ισούται με το λόγο των διαμέτρων των δυο τροχαλιών, μπορεί θεωρητικά να πάρει άπειρες τιμές ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη.

Στο CVT η επιλογή της σχέσης γίνεται με βάση έναν αλγόριθμο, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα του αυτοκινήτου, το φορτίο και τις απαιτήσεις του οδηγού. Το εύρος των σχέσεων που μπορεί να προσφέρει το CVT είναι μεγαλύτερο ακόμα κι από ενός πεντατάχτου κιβωτίου. Η 'πρώτη', ή καλύτερα η σχέση εκκίνησης, είναι πιο "κοντή" απ' ότι συνήθως, ενώ η τελική πιο "μακριά" από overdrive. Το CVT, που περικλείεται από ένα χυτό αλουμινένιο κάλυμμα, περιλαμβάνει ένα πλανητικό σύστημα γραναζιών με δυο υγρούς πολύδισκους συμπλέκτες καθώς και το σύστημα ιμάντων –τροχαλιών. Το τελευταίο τμήμα αποτελεί και την καρδιά του κιβωτίου παρέχοντας ομαλή και σταδιακή μεταβολή της σχέσης μετάδοσης. Όταν η τροχαλία η συνδεδεμένη με τον κινητήρα βρίσκεται στην ελάχιστη της διάμετρο και η άλλη στη μέγιστη, τότε επιτυγχάνεται η πιο 'κοντή' σχέση (ακριβώς όπως στα ποδήλατα με ταχύτητες). Σταδιακά μεγαλώνει η διάμετρος της τροχαλίας του κινητήρα και μειώνεται η διάμετρος της άλλης, αλλάζοντας τη σχέση μετάδοσης. Η μεταβολή της διαμέτρου των δυο τροχαλιών γίνεται ταυτόχρονα έτσι που να διατηρείται σταθερό το μήκος του ιμάντα.

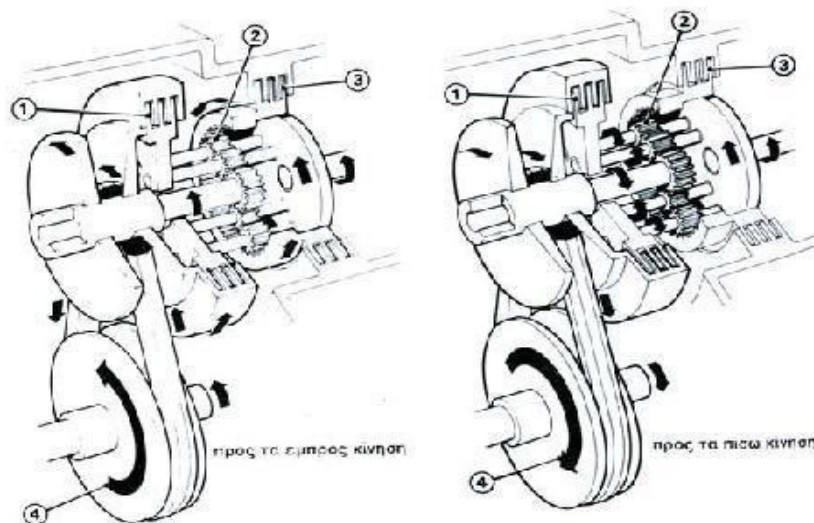




Σχήμα 2.9 Κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης

Στην πραγματικότητα δεν είναι ακριβώς η διάμετρος της τροχαλίας που μεταβάλλεται αλλά τα δυο κωνικού σχήματος πλαϊνά τμήματα που μπορούν να απομακρύνονται και να πλησιάζουν, έτσι ώστε το αυλάκι σχήματος V που ορίζουν να μετατοπίζεται προς το κέντρο ή προς την περιφέρεια της τροχαλίας.

Ανάμεσα στο σφόνδυλο του κινητήρα και το σύστημα ιμάντα / τροχαλίας παρεμβάλλεται ένα σύστημα επικυκλικών γραναζιών που λειτουργεί με δύο τρόπους. Για την προς τα εμπρός κίνηση (Σχ.2.6) συμπλέκεται ο συμπλέκτης (1) με αποτέλεσμα να παρασύρεται όλο το πλανητικό σύστημα στη διεύθυνση περιστροφής του άξονα του κινητήρα. Όταν επιλεγεί η όπισθεν συμπλέκεται ο συμπλέκτης (3) σταθεροποιώντας το περιφερειακό γρανάτζι, οπότε οι πλανήτες αναγκάζουν τον ήλιο να περιστραφεί στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν του κινητήρα. Και οι δυο συμπλέκτες βρίσκονται μέσα σε λάδι ώστε να αποφεύγεται η φθορά και η υπερθέρμανση τους, ταυτόχρονα δίνοντας τη δυνατότητα στο αυτοκίνητο να κυλά πολύ αργά όταν ο κινητήρας εργάζεται στο ‘ρελαντί’, κάτι που προσφέρουν όλα τα αυτοκίνητα με αυτόματο κιβώτιο και βοηθάει πολύ στους τοπικούς ελιγμούς.



Σχήμα 2.10 λειτουργία επικυκλικών γραναζιών

Ο έλεγχος της σχέσης μετάδοσης γίνεται με την μετακίνηση των πλαϊνών μερών των τροχαλιών. Αυτό επιτυγχάνεται με υδραυλική πίεση από μια αντλία που περιστρέφεται από τον κινητήρα. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η σύμπλεξη των δυο πολύδισκων συμπλεκτών.

Η μετάδοση της κίνησης στο CVT δεν επιτυγχάνεται με έκταση αλλά με συμπίεση του ιμάντα. Ένας συμβατικός ιμάντας μόλις πιεστεί λυγίζει, όμως στην περίπτωση αυτή τα 320 μεταλλικά του στοιχεία σχήματος V (που ενώνονται με δυο ομάδες από πολύ λεπτούς μεταλλικούς 'ιμάντες', εξασφαλίζοντας την απαραίτητη ευκαμψία) μπορούν να μεταφέρουν μια δύναμη πιέζοντας το ένα το άλλο. Το κάθε μεταλλικό στοιχείο είναι κατασκευασμένο με μεγάλη ακρίβεια και από μέταλλο μεγάλης τραχύτητας.



Σχήμα 2.11 Η δημιουργία της απαιτούμενης τριβής μεταξύ του ιμάντα και των τροχαλιών γίνεται με τη συμπίεση των πλαϊνών των μεταλλικών στοιχείων από τις παρειές της τροχαλίας.

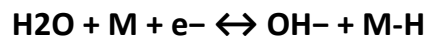
Ο χειρισμός του CVT είναι ανάλογος ενός συνηθισμένου αυτόματου κιβωτίου. Ο οδηγός επιλέγει την ταχύτητα που θέλει να κινηθεί χρησιμοποιώντας μόνο γκάζι και φρένο. Ο τρόπος που αλλάζουν οι ταχύτητες δίνει την εντύπωση οδήγησης ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Ο μοχλός διαθέτει τις συνήθειες (για τα αυτόματα κιβώτια) ενδείξεις P-R-N-D-L. Ο κινητήρας παίρνει μπρος μόνο στις θέσεις 'Park' και 'Neutral'. Όταν ο μοχλός τοποθετηθεί στη θέση 'Drive' ενεργοποιείται ο κατάλληλος υδραυλικός υγρός πολύδισκος συμπλέκτης ο οποίος μεταφέρει σταδιακά την κίνηση στους τροχούς. Όσο ο κινητήρας βρίσκεται στο ρελαντί, το αυτοκίνητο - εφόσον ο οδηγός δεν πατάει το φρένο - κυλά πολύ σιγά. Μόλις πατηθεί το πεντάλ του γκαζιού, αμέσως αρχίζει να μεταφέρεται η ισχύς του κινητήρα κατευθείαν στους τροχούς με τα επικυκλικά γρανάζια μπλοκαρισμένα ώστε να μην υπάρχουν απώλειες τριβής και φυσικά χωρίς τις γνωστές απώλειες ολίσθησης των μετατροπέων ροπής.

Οι πληροφορίες για την ταχύτητα του οχήματος και θέσης του επιταχυντή μεταφέρονται στην υδραυλική μονάδα ελέγχου που είναι προγραμματισμένη να εκμεταλλεύεται στο μέγιστο τις δυνατότητες του κινητήρα.

## 2.5 Η μπαταρία ενός υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος.

### 2.5.1 Μπαταρία Ni-MH.

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



Η μπαταρία φορτίζεται προς την δεξιά κατεύθυνση της εξίσωσης και αποφορτίζεται προς την αριστερή. Το υδροξείδιο του νικελίου είναι αυτό που σχηματίζει την κάθοδο. Το "Μέταλλο" στην άνοδο μιας NiMH μπαταρίας είναι ουσιαστικά μια σύνθετη μεταλλική ένωση. Πολλές χημικές ενώσεις έχουν αναπτυχθεί για την εφαρμογή αυτή αλλά αυτές που εφαρμόζονται ανήκουν σε δυο κατηγορίες. Ο πιο κοινός χημικός τύπος είναι ο AB<sub>5</sub>, όπου Α είναι ένα μίγμα σπάνιων γαιών, λανθανίου, δημητρίου, νεοδυμίου, πρασινοδυμίου και Β είναι νικέλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, και αλουμίνιο. Μερικές άλλες μπαταρίες κάνουν χρήση αρνητικών ηλεκτροδίων υψηλότερης χωρητικότητας, βασισμένα σε χημικές ενώσεις τύπου AB<sub>2</sub>, όπου Α είναι τιτάνιο ή βανάδιο και Β είναι ζirkόνιο ή νικέλιο, τροποποιημένο με χρώμιο, κοβάλτιο, σίδηρο και μαγγάνιο, εξαιτίας της μειωμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες NiMH αποτελούνται από έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη συνήθως υδροξείδιο καλίου. Η τάση φόρτισης είναι 1.4 -1.6 V/στοιχείο. Ένα πλήρως φορτισμένο στοιχείο έχει τάση 1.35-1.4 V και παρέχει ονομαστική τάση 1.2V κατά μέσο όρο στη διάρκεια της αποφόρτισης και μέχρι 1.0V, διότι περαιτέρω αποφόρτιση μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά στο στοιχείο της μπαταρίας. Το “φαινόμενο μνήμης” από την επαναλαμβανόμενη μερική αποφόρτιση μπορεί να συμβεί, κάτι όμως που είναι αναστρέψιμο μέσω του κύκλου φόρτισης. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης επηρεάζεται κατά πολύ από τη θερμοκρασία στην οποία οι μπαταρίες είναι αποθηκευμένες με τις πιο ψυχρές θερμοκρασίες αποθήκευσης να έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερο ρυθμό αποφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη τα υψηλότερης χωρητικότητας στοιχεία που υπάρχουν στην αγορά (> 2700 mAh) φαίνονται να έχουν τους υψηλότερους ρυθμούς αποφόρτισης. Όσον αφορά τις επιδράσεις των μπαταριών NiMH στο περιβάλλον, αυτές είναι τουλάχιστον πολύ

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

### 2.5.2 Μπαταρία Li-ion.

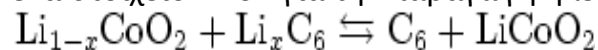
Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και χρησιμοποίησης στο χώρο των υβριδικών οχημάτων ενός άλλου είδους μπαταρίας, της μπαταρίας ιόντων Λιθίου (Lithium-ion). Οι Li-ion μπαταρίες είναι επαναφορτιζόμενες και χρησιμοποιούνται ευρέως στα κάθε είδους ηλεκτρονικά. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες στα φορητά ηλεκτρονικά με μια από τις καλύτερες αναλογίες ενέργειας προς βάρος, χωρίς “φαινόμενο μνήμης” και με αργό ρυθμό αποφόρτισης όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αν δεν γίνει σωστή διαχείριση τους μπορεί να αποβούν επικίνδυνες και να μειωθεί η διάρκεια ζωής τους. Εξαιτίας της υψηλής τους ενεργειακής πυκνότητας, οι μπαταρίες Li-ion άρχισαν να γίνονται αντικείμενο έρευνας για τη χρήση τους στην υβριδική αυτοκίνηση καθώς και στην βιομηχανία της άμυνας και του διαστήματος. Μια αρκετά ανεπτυγμένη μπαταρία Li-ion είναι η μπαταρία στοιχείων πολυμερούς λιθίου (lithium polymer cell). Οι πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου εμφανίστηκαν το 1991. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα μεγέθη και σχήματα αποτελεσματικά για την καλύτερη εξοικονόμηση χώρου της συσκευής που τροφοδοτούν. Είναι επίσης ελαφρύτερες από άλλες ισοδύναμες μπαταρίες. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτές τις μπαταρίες διαμέσου της κίνησης των ιόντων λιθίου. Το λίθιο είναι το τρίτο πιο ελαφρύ χημικό στοιχείο, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με άλλες μπαταρίες που χρησιμοποιούν βαρύτερα μέταλλα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχουν οι μπαταρίες Li-ion είναι η υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτυγχάνουν σε σχέση με άλλες υδάτινες μπαταρίες όπως οι μπαταρίες μολύβδου, οι μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου και οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου. Επιπλέον, οι Li-ion μπαταρίες δεν χαρακτηρίζονται από το “φαινόμενο μνήμης” (memory effect). Έχουν επίσης, χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης.

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

Χημικά η μπαταρία Li-ion ενέχει πολλούς κινδύνους και έτσι ένα στοιχείο

της μπαταρίας απαιτεί αρκετές υποχρεωτικές συσκευές ασφαλείας για να μπορεί να θεωρείται ασφαλές. Κάποιες από αυτές είναι : διαχωριστής κλεισίματος (για την υπερθέρμανση), στόμιο (για την αποκατάσταση της πίεσης) και θερμικός διακόπτης (για την υπερφόρτωση). Οι συσκευές αυτές καταλαμβάνουν αρκετό χώρο μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας και αυξάνουν αρκετά το επίπεδο αναξιοπιστίας της μπαταρίας. Ωστόσο ολοένα και νέες έρευνες διεξάγονται για τη βελτίωση της τεχνολογίας αυτών των μπαταριών που θα αυξάνει το επίπεδο ασφάλειας. Οι μπαταρίες Lithium-ion έχουν ονομαστική τάση ανοιχτού κυκλώματος 3.6 V και τυπική τιμή τάσης φόρτισης 4.2 V. Η διαδικασία φόρτισης γίνεται υπό σταθερή τάση. Στο παρελθόν, οι μπαταρίες αυτές δεν μπορούσαν να φορτιστούν γρήγορα και συνήθως χρειάζονταν τουλάχιστον 2 ώρες για πλήρη φόρτιση. Τα σύγχρονα στοιχεία της μπαταρίας έχουν τη δυνατότητα πλήρους φόρτισης μέσα σε λιγότερο από 45 λεπτά. Μερικές μάλιστα φτάνουν το 90% της φόρτισης τους μέσα σε 10 λεπτά. Η άνοδος ενός συμβατικού Li-ion στοιχείου κατασκευάζεται από άνθρακα, η κάθοδος είναι οξείδιο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε ένα στοιχείο Li-ion για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι :



Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα ιόντα λιθίου δεν οξειδώνονται. Αντιθέτως, σε μια μπαταρία Li-ion τα ιόντα λιθίου μεταφέρονται από και προς την κάθοδο ή την άνοδο με το μέταλλο Κοβάλτιο (Co) στην χημική ένωση  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  να οξειδώνεται από  $\text{Co}^{3+}$  σε  $\text{Co}^{4+}$  κατά τη φόρτιση και να ανάγεται από  $\text{Co}^{4+}$  σε  $\text{Co}^{3+}$  κατά την αποφόρτιση.



Σχήμα 2.12 Απεικόνιση της μπαταρίας των 16kWh του Chevrolet Volt. Η συστοιχία αποτελείται από 288 πρισματικές κυψέλες ιόντων λιθίου διάστασης 5x7 ίντσες έκαστη, το συνολικό της βάρος είναι 198,1 κιλά και φορτίζει πλήρως σε 4 ώρες σε οικιακή παροχή τάσης 240V.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, υπάρχει στην αγορά μια προοπτική αντικατάστασης των μπαταριών NiMH στα υβριδικά οχήματα από τις μπαταρίες Li-ion. Υπάρχει η πεποίθηση πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ασφάλεια της μπαταρίας, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους της, θα έχουν ως αποτέλεσμα τη χρήση της μπαταρίας Li-ion στα υβριδικά συστήματα. Με τις μπαταρίες να αποτελούν το 33% του κόστους ενός υβριδικού συστήματος και την τιμή του νικελίου να αυξάνει σε παγκόσμια κλίμακα τα τελευταία χρόνια, αναμένονται βελτιώσεις στις επιδόσεις, στη λειτουργία και στην τιμή ενός HEV με τη χρήση των μπαταριών Li-ion. Επίσης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές μπαταριών, επενδύουν αρκετά στην ανάπτυξη των μπαταριών Li-ion. Η εταιρεία CPI χρησιμοποιεί μια κάθοδο λιθίου βασισμένη στο μαγγάνιο αντί για το κοβάλτιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου των φορητών υπολογιστών, των κινητών τηλεφώνων και των άλλων φορητών συσκευών. Το κοβάλτιο είναι ακριβότερο (\$40/kg) και σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης και εσωτερικού βραχυκυκλώματος μπορεί να προκληθούν φωτιά και εκρήξεις. Αντιθέτως το υλικό του μαγγανίου προσφέρει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Τα “επίπεδα” στοιχεία μπαταριών που έχει κατασκευάσει η CPI διαφέρουν από τα κυλινδρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις NiMH μπαταρίες, στο γεγονός ότι εξοικονομούν περισσότερο χώρο. Είναι επίσης λιγότερο ακριβές και λιγότερο επιρρεπείς στη διάβρωση, σύμφωνα με την εταιρεία. Το νέο αυτό σχέδιο, λόγω της μεγαλύτερης του επιφάνειας παρέχει μεγαλύτερη ισχύ ενώ ενισχύει περισσότερο τη θερμική διαχείριση. Από την άλλη, η ημιδιαπερατή του μεμβράνη που χωρίζει τα ηλεκτρόδια είναι μηχανικά και θερμικά ανώτερη από τους διαχωριστές που χρησιμοποιούνται σε άλλα στοιχεία Li-ion, κάτι που αυξάνει την ασφάλεια της μπαταρίας. Διάφοροι έλεγχοι στο πολυμερές αλουμινένιο λεπτό φύλλο που προστατεύει το στοιχείο κατέδειξαν προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του στοιχείου, 15 έτη, σύμφωνα με την CPI. Η εταιρεία έχει επίσης αναπτύξει και πρόκειται να προμηθεύσει το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστές.

### **2.5.3 Μελλοντικές λύσεις.**

#### **2.5.3.1 Υγρό μέταλλο.**

Σήμερα η τεχνολογία μας έχει φέρει κοντά στο υγρό μέταλλο, που στην ουσία χρησιμοποιείτε ως πρώτη ύλη για πλάκες ανόδου και καθόδου στις μπαταρίες. Πρόκειται για ένα μεταλλικό κράμα χαλκού, τιτανίου, αλουμινίου και νικελίου ιδιαίτερα ελαφρύ και εξαιρετικά ανθεκτικό, του οποίου η διαδικασία παραγωγής είναι απλή, ενώ μπορεί να παραχθεί σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Αποτελεί πατέντα της εταιρείας Liquid-metal Technologies. Οι αυτονομίες που επιτυγχάνουν αυτού του είδους οι μπαταρίες είναι της τάξης των 30 ημερών σε κινητά τηλέφωνα και 20 ωρών σε φορητούς υπολογιστές.

### 2.5.3.2 Αμάξωμα, η μπαταρία του μέλλοντος.

Πρόκειται για ερευνητικό πρόγραμμα του Imperial College of London, στο οποίο στο οποίο συμμετέχουν εννέα εταιρείες μία εκ των οποίων είναι η Volvo. Στόχος είναι να μπορεί να αποθηκεύεται ηλεκτρική ενέργεια στο αμάξωμα των αυτοκινήτων, αντί σε βαριές συστοιχίες μπαταριών. Με χρήση ενός συνθετικού πολυκαρβονικού υλικού, το αμάξωμα μπορεί να λειτουργήσει ως πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας, που, επιπλέον, έχει πολύ μικρό χρόνο επαναφόρτισης. Η φύση του υλικού είναι τέτοια, που αναμένεται να προσδώσει επιπλέον ακαμψία στο αμάξωμα, μειώνοντας ταυτόχρονα το βάρος του.

### 2.5.3.3 Νανομαγνήτες και στρεφόμενα πεδία.

Ερευνητές από τα πανεπιστήμια του Μαϊάμι, του Τόκιο και του Τοχόκου δουλεύουν πάνω σε μια νέα μπαταρία spin, δηλαδή μια μπαταρία που φορτίζεται με την εφαρμογή ενός δυνατού μαγνητικού πεδίου σε νανομαγνήτες. Η ονομάζεται κόμβος μαγνητικής σήραγγας, ενώ spin ονομάζεται στη φυσική η ιδιοστροφορμή των ηλεκτρονίων των ηλεκτρονίων. Μελλοντικά η νέα μπαταρία θα μπορούσε να τροφοδοτήσει και αυτοκίνητα, σύμφωνα με τους επιστήμονες. Η αρχή λειτουργίας είναι ότι η μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια σε μαγνήτες, αντί να χρησιμοποιεί χημικές αντιδράσεις. Ο συσσωρευτής spin «κουρδίζεται» εφαρμόζοντας ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο χωρίς χημεία. Το μυστικό πίσω από αυτή την τεχνολογία είναι η χρήση των νανομαγνητών για να προκαλέσουν μια ηλεκτρική δύναμη. Η νέα τεχνολογία μετατρέπει τη μαγνητική ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική, χωρίς ενδιάμεσες χημικές αντιδράσεις. Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται ονομάζεται «ρεύμα πολωμένο λόγω spin». Η ενέργεια που θα μπορούσε να αποθηκευτεί μελλοντικά στη συσκευή θα μπορούσε να κινήσει ένα όχημα ακόμα και για πολλά χιλιόμετρα.

### 2.5.3.4 Νανοτεχνολογία από φύκια.

Μπαταρία από υλικό που βασίζεται σε φύκια φιλοδοξούν να κατασκευάσουν Σουηδοί ερευνητές του πανεπιστημίου της Ουψάλα. Η πρώτη ύλη για την κατασκευή των συγκεκριμένων μπαταριών είναι το πράσινο φύκι. Τα αγώγιμα πολυμερή του θεωρούνται πολλά υποσχόμενα υλικά για τις μπαταρίες του μέλλοντος και μέχρι τώρα δεν είναι εύκολο να αξιοποιηθούν, επειδή η ικανότητά τους να κατακρατούν το ηλεκτρικό φορτίο χάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Το φύκι αυτό παράγει ένα είδος κυτταρίνης που έχει πολύ μεγάλη ενεργή επιφάνεια (100 φορές μεγαλύτερη από αυτή του χαρτιού) και επέτρεψε τη δραστική αύξηση της ποσότητας του αγώγιμου πολυμερούς. Οι μπαταρίες που κατασκεύασαν οι Σουηδοί ερευνητές αποτελούνται από λεπτά στρώματα αγώγιμου πολυμερούς πάχους 40-50 νανομέτρων, που περιβάλλουν ίνες κυτταρίνης 20-30 νανομέτρων. Το αποτέλεσμα είναι συνολικό πάχος μπαταρίας όχι μεγαλύτερο από αυτό ενός φύλλου χαρτιού, ενώ ο χρόνος επαναφόρτισης εκτιμάται από 11 δευτερόλεπτα έως 8 λεπτά.



### 2.5.4 Υπερπυκνωτές.

Οι πυκνωτές, λοιπόν, δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα πτώσης της απόδοσης τους ανάλογα με τον αριθμό κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης, ακόμα κι αν οι κύκλοι πλήρους φόρτισης / πλήρους εκφόρτισης ξεπεράσουν τους 100.000. Από την άλλη είναι ικανοί να αποδώσουν ρεύματα μεγέθους σημαντικά πολλαπλάσιου από εκείνο που θα έκανε μια μπαταρία να εκραγεί. Σε αυτά προστίθεται και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση τους, άρα και η αυξημένη δυνατότητα τους να αποθηκεύσουν μεγάλα ποσά ενέργειας που ανακτώνται κατά την πέδηση του οχήματος, καθώς και η σημαντικά μειωμένη εσωτερική τους ωμική αντίσταση. Έτσι, δημιουργείται η αίσθηση ότι οι πυκνωτές αποτελούν μια πλήρως αξιόπιστη λύση για τα υβριδικά οχήματα. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει στην πράξη διότι υπάρχουν σοβαρά μειονεκτήματα. Κυριότερα από αυτά είναι η μεγάλη μεταβολή της τάσης κατά την εκφόρτιση και ο μεγάλος όγκος (και ως ένα βαθμό το βάρος) που απαιτείται να έχουν. Η ποσότητα του ρεύματος που μπορούν να αποθηκεύσουν οι πυκνωτές εξαρτάται άμεσα από την “εκτεθειμένη” επιφάνεια των ηλεκτροδίων τους.

Η απάντηση στο συγκεκριμένο πρόβλημα έχει δοθεί στη μορφή των “υπερπυκνωτών” – μια τεχνολογία με ζωή ελάχιστων δεκαετιών, η οποία βασίζεται, μεταξύ άλλων, στην ανάπτυξη “ενεργού επιφάνειας” σε ολόκληρη τη μάζα των ηλεκτροδίων και όχι μόνο στην εξωτερική τους επιφάνεια. Με τον τρόπο αυτό, έγινε εφικτή η μείωση του συνολικού όγκου σε ένα μικρό μόλις κλάσμα αυτού των συμβατικών πυκνωτών αλλά και ο εντυπωσιακός πολλαπλασιασμός της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα βάρους – παρ’ όλο που εξακολουθεί να υπολείπεται σημαντικά αυτής των μπαταριών. Αυτή τη στιγμή, η πλέον εξελιγμένη “αυτοκινητική” γενιά υπερπυκνωτών (αυτή του “υδρογονικού” Honda FCX) έχει σχεδόν διπλάσιο λόγο ισχύος εξόδου προς βάρος από τις μπαταρίες NiMH, ενώ διατηρεί και όλα τα πλεονεκτήματα των πυκνωτών όσον αφορά την αειζωία (σε αριθμό κύκλων ολικής φόρτισης/εκφόρτισης) και προπαντός τη σημαντικά υψηλότερη ταχύτητα φόρτισης, σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων ή υδριδίων.



Σχήμα 2.13 Ο MC2600 της Maxwell: 2600F στα 2,7V

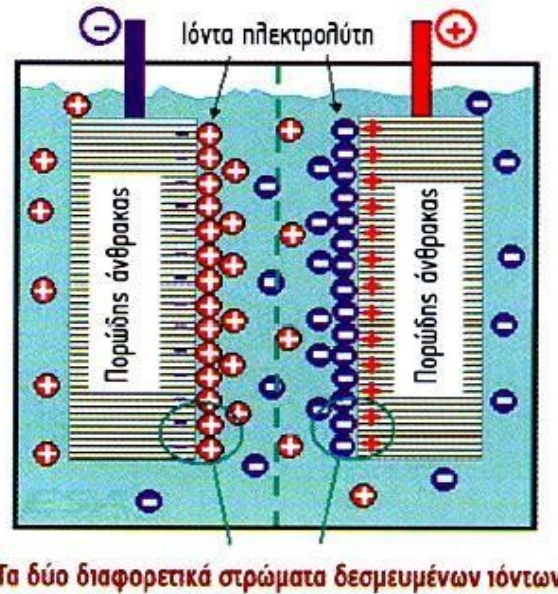
Οι υπερπυκνωτές δεν είναι τίποτε άλλο από ηλεκτροχημικοί πυκνωτές (ECcapacitors) και συγκεκριμένα, μια παραλλαγή των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών, όπου, αντί το “παραδοσιακό” στρώμα του οξειδίου να παίζει το ρόλο του διηλεκτρικού, η εμφάνιση του διηλεκτρικού γίνεται κάθε φορά που ασκείται τάση στους ακροδέκτες του. Με τον τρόπο αυτόν, το φορτίο αποθηκεύεται ηλεκτροστατικά (χωρίς να πραγματοποιούνται δηλαδή χημικές αντιδράσεις) μέσα στα πολωμένα στρώματα υγρού που βρίσκεται ανάμεσα στον οργανικό ηλεκτρολύτη και στο ηλεκτρόδιο. Αν και οι αρχές λειτουργίας τους είναι γνωστές εδώ κι έναν αιώνα, η εμπορική εκμετάλλευση των EC άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του '70 από την NEC, η οποία τους έδωσε το όνομα “supercapacitor”. Η εμπορική ονομασία “ultracapacitor” τους δόθηκε αργότερα από την Pinnacle και τη Maxwell. Η τάση ενός υπερ-πυκνωτή με υδατώδη ηλεκτρολύτη συνήθως δεν ξεπερνά τα 2 Volt – εξαίρεση αποτελούν οι πυκνωτές της Maxwell, οι οποίοι λειτουργούν στα 2,5 Volt με όριο τα 2,7 Volt.

Όπως και με τις μπαταρίες, έτσι και με τους πυκνωτές, μπορεί να επιτευχθεί μια αξιοποιήσιμη τάση για την κίνηση των οχημάτων (48-600 Volt) αν τους συνδέσουμε σε σειρά. Δυστυχώς, όμως, ο κάθε πυκνωτής έχει διαφορετικό ρυθμό αυτοεκφόρτισης, πράγμα που παραβιάζει την ισορροπία τάσεων ανάμεσα στους συνδεδεμένους σε σειρά πυκνωτές. Το πρόβλημα χειροτερεύει καθώς σε κάθε κύκλο φόρτισης/εκφόρτισης, αυτή η ανισορροπία αυξάνεται, προκαλώντας υπέρταση (“βράσιμο” του ηλεκτρολύτη – διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο) και κατάρρευση κάποιου ή κάποιων από τους πυκνωτές της συστοιχίας. Για το λόγο αυτόν, όταν είναι συνδεδεμένοι σε σειρά πάνω από τρεις συμμετρικοί πυκνωτές, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί είτε “παθητική” ισορρόπηση είτε “ενεργητική”. Στην πρώτη περίπτωση, ο κάθε πυκνωτής έχει ενσωματωμένη μια παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση (φτηνή λύση που μας παρέχει ένα μεγάλο βαθμό αυτοεκφόρτισης, αδειάζοντας τον πυκνωτή μέσα σε μερικές ώρες), ενώ στη δεύτερη περίπτωση γίνεται χρήση ακριβών εξωτερικών ψηφιακών κυκλωμάτων, τα οποία εξισώνουν την τάση όλων των πυκνωτών, περιορίζοντας την τιμή αυτοεκφόρτισης. (Βέβαια αν οι ψηφιακοί εξισορροπητές τάσεων αστοχήσουν, οι πυκνωτές μένουν απροστάτευτοι)

Οι ασύμμετροι πυκνωτές, από την άλλη, δεν χρειάζονται εξισορροπητές τάσεων ενώ, επιπλέον, έχουν και πενταπλάσια πυκνότητα ενέργειας. Έχουν, ωστόσο, μικρότερη πυκνότητα ισχύος και επιπλέον είναι πολωμένοι. Όταν δε η τάση τους πέσει στο μισό, η αποθηκευμένη ενέργεια τους έχει εξαντληθεί κατά τα 3/4. Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διακρίνονται σε ηλεκτρικούς πυκνωτές διπλού στρώματος (Electric Double Layer Capacitor - EDLC) και σε ψευδο-πυκνωτές (pseudocapacitor). Στην πρώτη περίπτωση, οι οπλισμοί είναι κατασκευασμένοι από ενεργό άνθρακα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, από οξείδια μετάλλων (RuO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>) πάνω σε φορέα από ενεργό άνθρακα. Και στις δυο περιπτώσεις, οι οπλισμοί είναι εμβαπτισμένοι σε ηλεκτρολύτη. Οι ψευδο-πυκνωτές αντιπροσωπεύουν την τελευταία γενιά των υπερπυκνωτών. Μπορούν να αποθηκεύσουν 80% περισσότερη ενέργεια από έναν ίδιων διαστάσεων EDLC, χάρη στη μεγαλύτερη πυκνότητα των ηλεκτροδίων τα οποία είναι

κατασκευασμένα από οξειδία μετάλλων. Είναι ασύμμετροι (άρα πολωμένοι), με μεγάλη εσωτερική αντίσταση (άρα ακατάλληλοι για εναλλασσόμενο ρεύμα) και επιπλέον εμφανίζουν αυξημένες διαρροές, ενώ χαρακτηρίζονται και από μεγάλη αστάθεια χωρητικότητας. Εξαιρεση αποτελούν αυτοί που τα ηλεκτρόδια τους χρησιμοποιούν οξειδία του Ρουθηνίου ( $RuO_2$ ) αλλά το μεγάλο τους κόστος προβληματίζει ακόμα και την ίδια τη NASA. Σε έναν υπερπυκνωτή, η απόσταση ανάμεσα “ηλεκτρόδια” προσδιορίζεται από το μέγεθος των ιόντων στον ηλεκτρολύτη που έλκονται προς το φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Αυτό το φυσικό διηλεκτρικό υλικό έχει πάχος που δεν ξεπερνά τα 10 Angstrom – τέτοιο διηλεκτρικό, προφανώς είναι αδύνατον να κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Το ηλεκτρικό διπλό στρώμα λειτουργεί σαν μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό) και δεν παραβιάζεται εφόσον η τάση δεν ξεπεράσει την επιτρεπόμενη. Σε αντίθετη περίπτωση, έχουμε την αποσύνθεση του ηλεκτρολύτη, άρα και του φυσικού διηλεκτρικού. Ο διαχωριστής, σε αυτήν την περίπτωση, δεν παίζει το ρόλο του διηλεκτρικού υλικού – απλώς χωρίζει τον ενεργό άνθρακα σε δυο τμήματα. Το αποτέλεσμα, στην πράξη, είναι να έχουμε δυο πυκνωτές (συνδεδεμένους σε σειρά) στη συσκευασία του ενός.

Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές αξιοποιούν την επονομαζόμενη χωρητικότητα διπλού στρώματος. Υπάρχουν πολλά θεωρητικά μοντέλα που εξηγούν τη δομή του διπλού στρώματος αλλά στην πράξη αξιοποιούνται μόνο τρία: του Helmholtz (από τη δεκαετία του 1850), των Gouy-Charman και τέλος των Gouy-Charman-Stern, το οποίο αποτελεί συνδυασμό των δυο πρώτων. Σύμφωνα με το πρώτο μοντέλο, η παρουσία φορτίου (περίσσειμα ή έλλειψη ηλεκτρονίων) σ' ένα ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από ενεργό άνθρακα, αντισταθμίζεται από την ανακατανομή ιόντων μέσα στον ηλεκτρολύτη (συνήθως ένα μείγμα από προπανονιτρίλιο και άλατα). Έτσι, τα ιόντα που έλκονται από το φορτισμένο ηλεκτρόδιο δημιουργούν ένα λεπτό στρώμα με ετερόνυμο φορτίο (ως προς το ηλεκτρόδιο) χάρη στην ισορροπία των χημικών και ηλεκτρικών δυνάμεων. Εμβαπτίζοντας, τώρα, μέσα στον ηλεκτρολύτη ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο, δημιουργείται ένας δεύτερος πυκνωτής (δεύτερο διπλό στρώμα) συνδεδεμένος σε σειρά με τον πρώτο. Το μοντέλο αυτό του Helmholtz είναι το πιο απλουστευμένο από όλα και δεν λαμβάνει υπόψη του τη διάχυση/μείξη στο διάλυμα (που οδηγεί στην ανομοιόμορφη κατανομή των ιόντων κοντά στα ηλεκτρόδια), τη δυνατότητα απορρόφησης ιόντων στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου και την αλληλοεπίδραση ανάμεσα στις διπολικές ροπές του διαλυτικού και του ηλεκτροδίου. Αντιθέτως, τα άλλα δυο μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τους ορισμένους απ' αυτούς τους περιορισμούς. Παρακάτω διακρίνουμε τη σχηματική παράσταση ενός υπερπυκνωτή διπλού στρώματος. Παρατηρούνται ιόντα δεσμευμένα στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων αλλά και ελεύθερα. Τα δυο εκατέρωθεν στρώματα δεσμευμένων ιόντων αποτελούν, στην ουσία, δυο ξεχωριστούς πυκνωτές συνδεδεμένους σε σειρά.



Σχήμα 2.14 Σχηματική αναπαράσταση ενός υπερπυκνωτή διπλού στρώματος.

Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές έχουν τη μεγαλύτερη χωρητικότητα, σε σύγκριση με όλους τους άλλους τύπους πυκνωτών αλλά μικρότερη απ' αυτή των μπαταριών. Από την άλλη, έχουν μικρότερη εσωτερική αντίσταση από αυτή των μπαταριών αλλά μεγαλύτερη από αυτή των άλλων πυκνωτών. Σε σχέση με τις μπαταρίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η οποία όμως δεν παύει να είναι μικρότερη από αυτήν των υπόλοιπων πυκνωτών, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη του ηλεκτρολύτη (ο οποίος στεγνώνει με την πάροδο του χρόνου ή ξεχειλίζει όταν γίνεται κακομεταχείριση του πυκνωτή). Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται και το γεγονός της διαρροής ρεύματος (όταν είναι σε καλή κατάσταση και σε καθαρό περιβάλλον, χάνουν 1,2% της ενέργειας ημερησίως) καθώς και η "υπόταση" (3 Volt το πολύ). Ταλαιπωρούνται, επίσης, από τις υψηλές θερμοκρασίες (δεν συνίσταται η λειτουργία τους σε θερμοκρασίες άνω των 65 οC) τις οποίες όμως πολύ εύκολα μπορούν να τις "συναντήσουν" κάτω από το καπό της μηχανής, ενώ παρουσιάζουν ευαισθησία στα καυσαέρια, την υγρασία και τις πιέσεις/δονήσεις. Είναι, όμως, οικολογικοί, δεν αποφορτίζονται ξαφνικά, όπως οι μπαταρίες και προειδοποιούν πάντα για το θάνατό τους (για παράδειγμα όταν η χωρητικότητά τους έχει μειωθεί κατά 80%, η αντίστασή τους έχει αυξηθεί κατά 200%). Η κατάσταση φόρτισης τους μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί με ένα βολτόμετρο και δεν απαιτούν πολύπλοκα συστήματα φόρτισης, καθώς, όταν έχουν "γεμίσει", η ένταση του ρεύματος φόρτισης μειώνεται αυτόματα – γεγονός που αποδεικνύεται, κάποιες φορές, αναγκαίο, όχι για την "υγεία" των ίδιων των υπερπυκνωτών αλλά για την προστασία των υπόλοιπων κυκλωμάτων.

## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “PLUG-IN ΥΒΡΙΔΙΚΑ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ”

#### 3.1 Ορισμός-περιγραφή.

Ένα plug-in υβριδικό όχημα (plug-in hybrid electric vehicle - PHEV) είναι ένα υβριδικό όχημα με μπαταρίες που επαναφορτίζονται συνδέοντας το όχημα με μια πρίζα σε μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα plug-in υβριδικά έχουν χαρακτηριστικά και των συμβατικών υβριδικών ηλεκτρικών αλλά και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Ενώ τα PHEVs αναμένονται στη μορφή των επιβατικών οχημάτων, ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν και εμπορικά ελαφρά φορτηγά, επιχειρησιακά φορτηγά, σχολικά λεωφορεία, scooters και στρατιωτικά οχήματα.

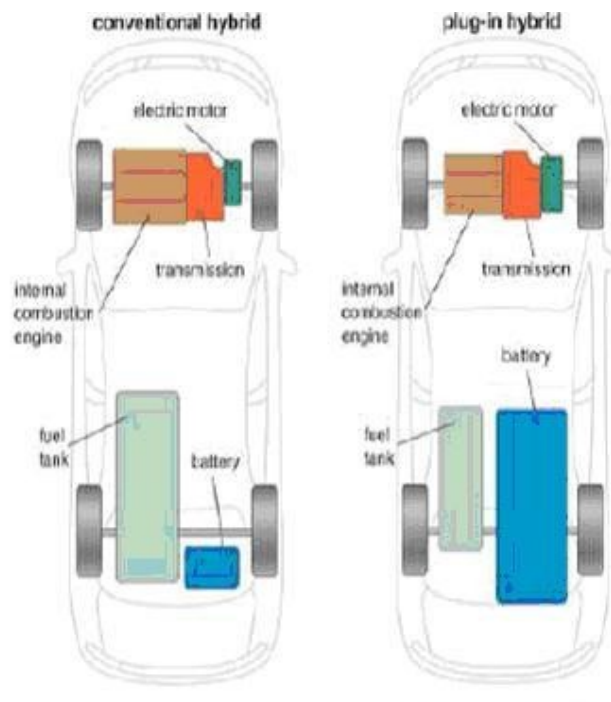
Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση των plug-in υβριδικών κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας υπολογίστηκε στην California λιγότερο από το ένα τέταρτο του κόστους της βενζίνης που θα χρησιμοποιούσαν στη συμβατική τους μορφή. Σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα PHEVs 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. Εν έτη 2012 τα παραδείγματα PHEVs που έχουν μπει στην μαζική παραγωγή είναι λίγα όπως το Chevrolet Volt, το Toyota Prius Plug-in Hybrid, ωστόσο αρκετές εταιρείες ανακοίνωσαν την πρόθεση τους για την παραγωγή τέτοιων οχημάτων.

Η απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα plug-in υβριδικό μόνο με την ηλεκτρική του ενέργεια αποτυπώνεται με τον όρο PHEV-(μίλια) ή PHEV(χιλιόμετρα) km. Για παράδειγμα, ένα PHEV-20 μπορεί να διανύσει 20 μίλια χωρίς να χρησιμοποιήσει την μηχανή εσωτερικής καύσης ή γύρω στα 32 χιλιόμετρα, οπότε και θα χαρακτηρίζεται από τον όρο PHEV32km.

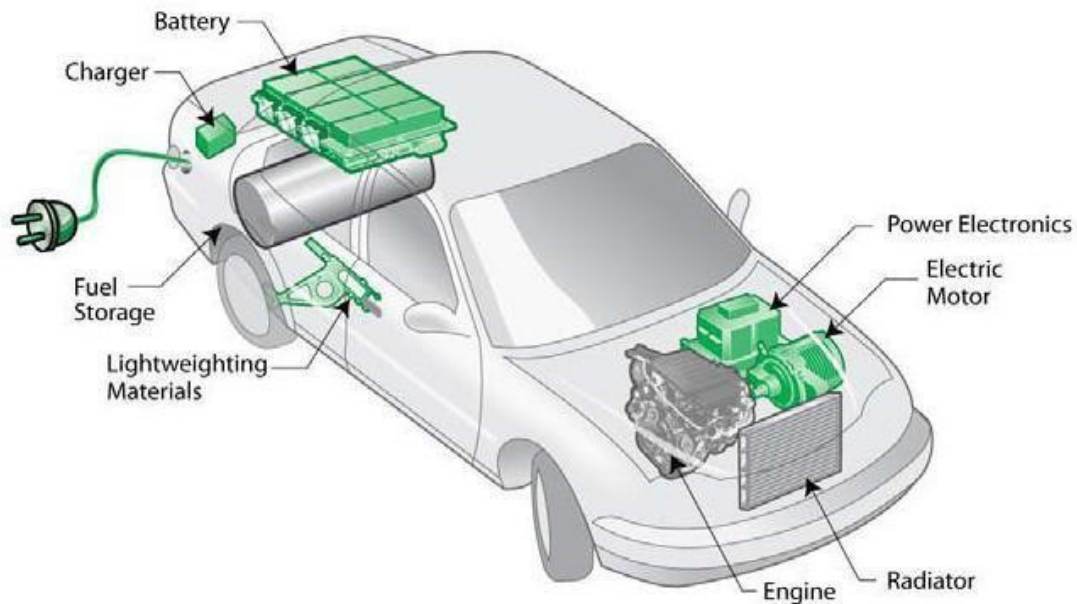
Τα plug-in υβριδικά αποτελούν την εξέλιξη των σημερινών “πλήρως” υβριδικών οχημάτων. Ένα πλήρως υβριδικό αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα να εκκινεί και να επιταχύνει σε χαμηλές ταχύτητες χωρίς τη χρήση του κινητήρα, με την μπαταρία να φορτίζεται, ωστόσο, αποκλειστικά από τον κινητήρα και το σύστημα ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα.

Ένα plug-in υβριδικό 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 έχουν πλεονέκτημα έναντι των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων στο ότι οι οδηγοί τους δεν χρειάζεται να ανησυχούν για το ενδεχόμενο “αποφόρτισης” του οχήματος τους. Και αυτό διότι όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, τα plug-in οχήματα λειτουργούν όπως και τα συμβατικά και κάνουν χρήση του κινητήρα τους και του συστήματος ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα για τη φόρτιση της μπαταρίας και την προώθηση του οχήματος. Επειδή, λοιπόν, χρησιμοποιούν και κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα, τα PHEVs διαθέτουν μικρότερες και φτηνότερες συστοιχίες μπαταριών απ’ ότι τα αντίστοιχα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τα σημερινά εμπορικά υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν, όπως έχει αναφερθεί, μπαταρίες NiMH, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μικρές αποστάσεις με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα αντίστοιχα plug-in υβριδικά. Για τα PHEVs, λοιπόν, η μεγαλύτερη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και οι μεγαλύτερες απαιτήσεις αυτής επιτυγχάνονται με την τεχνολογία των μπαταριών lithium-ion (Li ion).



Σχήμα 3.1 Σύγκριση συστήματος ενός HEV και ενός PHEV.



Σχήμα 3.2 Η ανατομία του συστήματος λειτουργίας ενός PHEV οχήματος.

## 3.2 Τεχνολογία των Plug-in υβριδικών-ηλεκτρικών οχημάτων.

### 3.2.1 Σύστημα μετάδοσης ισχύος.

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

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

Το Chevrolet Volt ενώ εντάσσεται σε αυτήν την κατηγορία συγχρόνως εκπροσωπεί και μια εντελώς νέα κατηγορία αυτή των E-REV δηλαδή των ηλεκτροκίνητων με ηλεκτροπαραγωγική μονάδα. Διαθέτει μία συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου χωρητικότητας 16kWh, που είναι τοποθετημένες στο κεντρικό τούνελ του

αυτοκινήτου. Οι μπαταρίες τροφοδοτούν ένα προηγμένο ηλεκτροκινητήρα απόδοσης 111kW και άμεσης ροπής 368Nm. Ο ηλεκτροκινητήρας είναι ενσωματωμένος στο σύστημα μετάδοσης, το οποίο μεταφέρει την κίνηση στους εμπρός τροχούς. Όμως εκτός από το σύστημα ψύξης των μπαταριών, τον εναλλάκτη και τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, κάτω από το εμπρός καπό συναντάμε και μία ξεχωριστή μονάδα(ηλεκτροπαραγωγική μονάδα). Πρόκειται για ένα αλουμινένιο 16βάλβιδο βενζινοκινητήρα 1400 κ.εκ. που δε λαμβάνει μέρος στην προώθηση του οχήματος, αλλά παίζει το ρόλο της γεννήτριας και είναι επιφορτισμένος με τη φόρτιση των μπαταριών, λειτουργώντας όταν χρειάζεται αθόρυβα και σε συγκεκριμένες στροφές και επιτυγχάνοντας έτσι πολύ μικρή κατανάλωση.

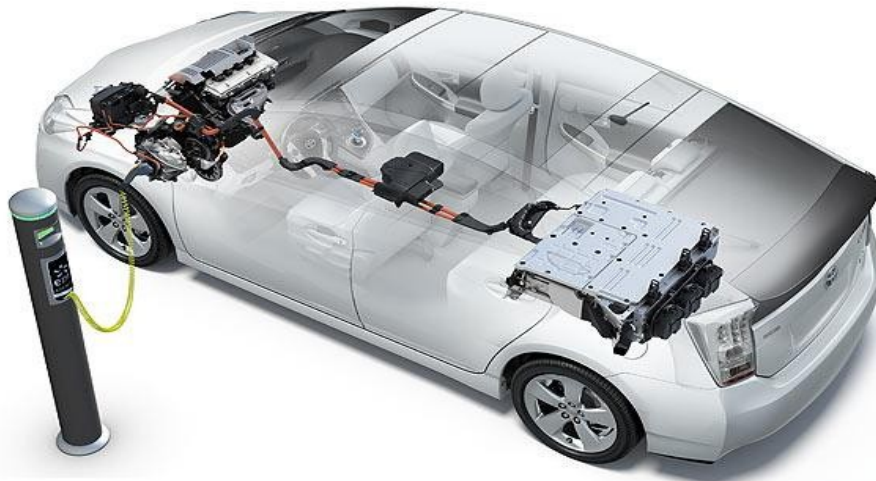


Σχήμα 3.3 Απεικόνιση της μονάδας κίνησης του Chevrolet Volt.

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

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





Σχήμα 3.4 Απεικόνιση της δομής ενός Toyota Prius Plug-in Hybrid.

### 3.2.2 Τρόποι λειτουργίας.

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

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

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

HEV μπορεί να θεωρείται ως ενεργειακός συσσωρευτής παρά σαν συσκευή αποθήκευσης ενέργειας.

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

### 3.2.3 Οι μπαταρίες ενός Plug-in υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος (PHEV).

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

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ”

#### 4.1 Φωτοβολταϊκές κυψέλες και συστήματα.

Οι φωτοβολταϊκοί μηχανισμοί (PV), συχνά ονομάζονται ηλιακές κυψέλες ή μονάδες, χρησιμοποιούν ως υλικό ημιαγωγούς για την απευθείας μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά είναι μηχανισμοί για απευθείας μετατροπή ενέργειας τα οποία δουλεύουν όταν ένα φωτόνιο διεγείρει ένα ελεύθερο κρατημένο ηλεκτρόνιο, το οποίο είναι αποδεσμευμένο και μετά συλλέγεται στην ηλιακή κυψέλη. Διοχετεύοντας αυτά τα ηλεκτρόνια στα καλώδια τους δίνει την δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρισμό. Το ηλεκτρόνιο επιστρέφει στην κυψέλη, και είναι πάλι διαθέσιμο να επαναλάβει την διαδικασία επ' αόριστον.

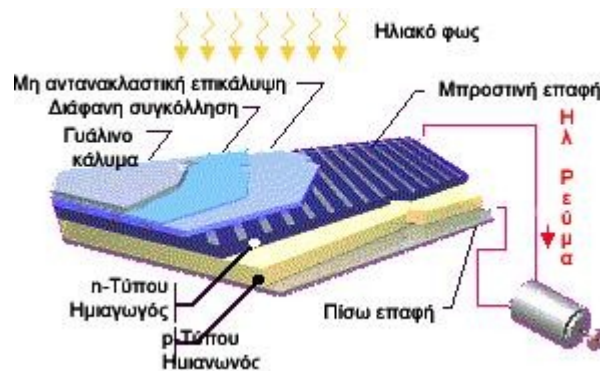
Η φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι αθόρυβη, αξιόπιστη, δεν έχει κινούμενα μέρη, δεν δημιουργεί ατμοσφαιρική μόλυνση του αέρα ή της θάλασσας και έχει χαμηλά λειτουργικά και συντήρησης έξοδα. Τα συστήματα είναι σύνθετα, εύκαμπτα, εύκολα στην τοποθέτηση, και είναι εφαρμόσιμα όπου υπάρχει άφθονο ηλιακό φως. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται για την απευθείας ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων κατοικιών, δορυφόρων, ενδείξεων κυκλοφορίας και πληροφοριών στις λεωφόρους, αντλίες νερού, σταθμούς τηλεπικοινωνιών, σηματοδούρες ναυσιπλοΐας, τα φώτα στους δρόμους, υπολογιστές τσέπης και πολλές άλλες συσκευές. Οι φωτοβολταϊκοί μηχανισμοί είναι κατάλληλοι για την παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις που η ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πλέγμα είναι υψηλή, κατά την διάρκεια ζεστών καλοκαιρινών ημερών.

##### 4.1.1 Ηλιακές κυψέλες.

Μία ηλιακή κυψέλη μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα φωτόνια στο ηλιακό φως παρέχουν την ενέργεια που κινεί τα ηλεκτρόνια από το ένα στρώμα του ημιαγωγικού μεταλλικού υλικού στο άλλο. Η κίνηση των ηλεκτρονίων δημιουργεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι κυψελών που χρησιμοποιούνται σήμερα, πυριτίου και γάλλιο αρσενιδίου, τα οποία έρχονται σε διαφορετικές κατηγορίες και

ποικίλες αποδόσεις. Οι δορυφόροι οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη τυπικά χρησιμοποιούν γάλλιο αρсениδίου, ενώ το πυρίτιο είναι πιο κοινώς χρησιμοποιήσιμο για επίγειες (χερσαίες) εφαρμογές.



Σχήμα 4.1 Δομή φωτοβολταϊκής κυψέλης.

Πολλά ηλιακά οχήματα χρησιμοποιούν εμπορικά διαθέσιμες χερσαίας βαθμίδας κυψέλες πυριτίου. Πολυάριθμα μεμονωμένα κελιά (κατά προσέγγιση 1000) συνδυάζονται για να πάρουν την μορφή μίας «ηλιακής συστοιχίας». Εξαρτώμενου του ηλεκτρικού κινητήρα που χρησιμοποιείται για να κινήσει το αυτοκίνητο, αυτές οι συστοιχίες γενικά δουλεύουν μεταξύ 50 και 200 volt, και μπορούν να παρέχουν περίπου έως και 1000 watt ενέργειας. Η ένταση του ήλιου, η νέφωση και η θερμοκρασία επιδρούν στην απόδοση της συστοιχίας.

Άλλου τύπου ηλιακής κυψέλης είναι η χωροβαθμίδα. Αυτές οι κυψέλες είναι γενικά μικρότερες και πολύ πιο ακριβές από τις συμβατικές κυψέλες πυριτίου. Είναι επίσης πολύ αποδοτικές.

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι μια τεχνολογία σχετικότητας. Η ανάπτυξή τους και χρήση τους ήταν σαν αποτέλεσμα της τεχνολογικής ανάπτυξης για τα διαστημικά ταξίδια και δορυφορικά συστήματα τηλεπικοινωνιών.

#### 4.1.2 Ηλιακή συστοιχία.

Η ηλιακή συστοιχία στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι μία από τις δύο πηγές φόρτισης των μπαταριών. Η συστοιχία είναι κατασκευασμένη από πολλές (συνήα αρκετές εκατοντάδες) φωτοβολταϊκές ηλιακές κυψέλες, οι οποίες μετατρέπουν την ενέργεια του ήλιου σε ηλεκτρισμό. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών πάνω στις ηλιακές κυψέλες για να κατασκευάσουμε την συστοιχία μας. Οι τύποι των κυψελών και οι διαστάσεις της συστοιχίας ορίζονται από τις διαστάσεις και το μέγεθος του αυτοκινήτου και του σημείου τοποθέτησής τους.

Οι κυψέλες είναι καλωδιωμένες μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια σειρά. Αρκετές σειρές είναι συνήα καλωδιωμένες μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα τμήμα ή ένα πίνακα (πάνελ) το οποίο έχει μία τάση κοντά στην ονομαστική τάση

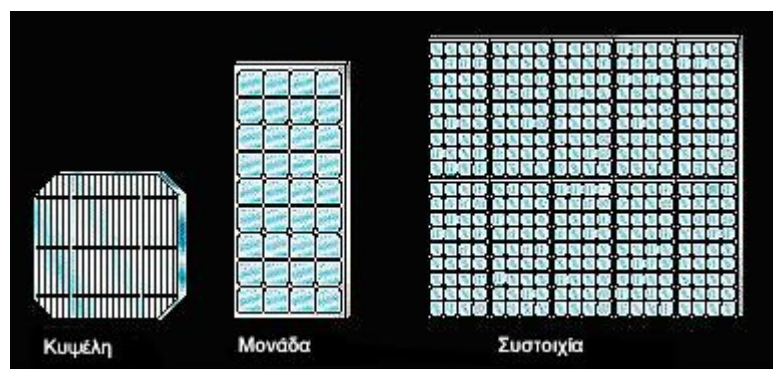
των μπαταριών. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να δεθούν οι κυψέλες μεταξύ τους, αλλά ο κυριότερος στόχος είναι να βάλουμε όσο το δυνατόν περισσότερες ηλιακές κυψέλες στον διαθέσιμο χώρο μπορούμε. Οι ηλιακές κυψέλες είναι πολύ εύθραυστες και μπορούν να καταστραφούν εύκολα. Μπορούμε να τις προστατέψουμε από τον καιρό και το σπάσιμο περικλείοντας τις σε κάψουλες. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι που χρησιμοποιούμε για να επικαλύψουμε την κυψέλη και σκοπός είναι να προστατέψουμε τις κυψέλες ενώ προσθέτουμε το μικρότερο δυνατό βάρος.

Η ενέργεια που παράγεται από την ηλιακή συστοιχία ποικίλει εξαρτώμενη από τον καιρό, τη θέση του ήλιου στον ουρανό και από την ίδια την ηλιακή συστοιχία. Σε μία καθαρή, ηλιόλουστη μέρα το μεσημέρι, σε ένα καλό ηλιακό όχημα η ηλιακή συστοιχία θα παράγει καλά πάνω από 1000watt (1,3hp) ενέργειας. Η ενέργεια από την συστοιχία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να δώσει ενέργεια στον ηλεκτρικό κινητήρα ή να αποθηκευτεί ή να φορτίσει τις μπαταρίες για μετέπειτα χρήση.

### 4.1.3 Φωτοβολταϊκός εξοπλισμός.

#### 4.1.3.1 Κυψέλες, μονάδες, συστοιχίες.

Κρυστάλλινες κυψέλες πυριτίου είναι φτιαγμένες από καθαρό άμμο πυριτίου. Η σιλικόνη ως πρώτη ύλη κατασκευάζεται σε κρυστάλλους σιλικόνης, κόβεται σε πλακίδια τα οποία επεξεργάζονται και φτιάχνονται σε κυψέλες, συνδέονται και συσκευάζονται σε αρθρώματα. Οι κυψέλες που συνδέονται μεταξύ τους φτιάχνουν ένα άρθρωμα, το οποίο μετά συνδέεται με άλλα αρθρώματα και φτιάχνει μία συστοιχία. Οι κυψέλες συνδέονται παράλληλα για να αυξήσουν το ρεύμα ή σε σειρές, ή σε συνδυασμό των δύο για να παράγουν μία ποικιλία από συστοιχία τάσεων ή ρευμάτων. Οι κυψέλες λεπτής μεμβράνης είναι παρόμοιες με τις κρυσταλλικές κυψέλες, μόνο που το υλικό μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας μέσα στο υπόστρωμα, το οποίο συνήθως είναι γυαλί.



Σχήμα 4.2 Αναπαράσταση κυψέλης, μονάδας, συστοιχίας.

#### 4.1.3.2 Ελεγκτές φόρτισης.

Οι ελεγκτές φόρτισης βελτιστοποιούνε την αποθήκευση της ενέργειας στις μπαταρίες από το σύστημα των φωτοβολταϊκών. Οι μπαταρίες έχουν την ικανότητα να αποστέλλουν ενέργεια σε συγκεκριμένους χρόνους, έτσι κάνοντας αυτή την ενέργεια πιο ευέλικτη και πολύτιμη σε ένα δικτυωτό σύστημα. Επιπρόσθετα ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρίες μπορεί να λειτουργήσει και σαν μία μη διακοπτόμενη πηγή ενέργειας (UPS), δίνοντας περισσότερη αξία στην δημιουργία ηλεκτρισμού από το φωτοβολταϊκό σύστημα.

#### 4.1.3.3 Εναλλάκτες συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενου.

Οι εναλλάκτες χρειάζονται για να μετατρέψουν το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που τυπικά χρησιμοποιείται από τις εφαρμογές και το σύστημα. Οι εναλλάκτες που έχουν σχεδιαστεί για τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιτρέπουν την κυμαινόμενη μορφή της τάσεως και του ρεύματος που εξαρτάται από τις αλλαγές της έντασης του ηλιακού φωτός και των θερμοκρασιών των κυψελών. Σκοπός αυτών των εναλλακτών είναι να πετύχουν με ασφάλεια, αξιόπιστα και απόδοση την μέγιστη ισχύ που είναι διαθέσιμη από το φωτοβολταϊκό σύστημα και να την μετατρέψει σε εναλλασσόμενη.

Η γενική ιδέα χρήσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η φόρτιση των μπαταριών ή και η χρήση της παραγόμενης ενέργειας από άλλα ηλεκτρικά συστήματα του αυτοκινήτου. Αυτό επιτυγχάνεται όταν το ηλιακό φως κτυπά τις κυψέλες της ηλιακής συστοιχίας, η οποία παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα) μπορεί να ταξιδεύσει στις μπαταρίες για αποθήκευση (φόρτιση) ή ένα μέρος της να χρησιμοποιηθεί. Η ιδέα της εναλλακτικής φόρτισης των μπαταριών μέσω της ηλιακής ενέργειας δίνεται από την στιγμή που ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει μικρή ακτίνα δράσης. Λόγω αυτού του σημαντικού μειονεκτήματος η χρήση μιας εναλλακτικής φόρτισης είναι αναγκαία. Το αυτοκίνητο συνήθως κατά τη διάρκεια της μέρας βρίσκεται παρκαρισμένο υπό το φως του ήλιου, επομένως άνετα μπορεί να επαναφορτίσει τις μπαταρίες, η άλλη είναι κατά την ώρα που κινείται είτε σε δρόμους της πόλης, είτε στους εθνικούς αυτοκινητοδρόμους.

#### 4.1.3.4 Φορτιστής και ανιχνευτής αιχμής ισχύος.

Ο φορτιστής είναι ένα προσαρτημένο και αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος ενέργειας του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Η αποφόρτιση και επαναφόρτιση των μπαταριών είναι ένα σημαντικό στοιχείο στο κάθε ηλεκτρικό αυτοκίνητο και δεν μπορούμε να έχουμε το ένα χωρίς το άλλο. Το πως επαναφορτίζουμε τις μπαταρίες μας καθορίζει ταυτόχρονα την άμεση αποδοτικότητά τους και την ονομαστική διάρκεια λειτουργίας τους. Οι επιλογές μας για ένα κατάλληλο φορτιστή είναι τρεις, α) να φτιάξουμε ένα δικό μας στα

μέτρα μας, β) να αγοράσουμε ένα εξωτερικό φορτιστή (λιγότερο επιπρόσθετο βάρος στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο μας) ή γ) να αγοράσουμε ένα εσωτερικό φορτιστή που θα τοποθετηθεί στο αυτοκίνητο. Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην διαδικασία επιλογής του φορτιστή είναι να γνωρίζουμε τον κύκλο φόρτισης και αποφόρτισης της μπαταρίας, λόγω του ότι οι μπαταρίες συμπεριφέρονται διαφορετικά κατά την αποφόρτιση και φόρτιση επειδή δύο τελείως διαφορετικές χημικές διαδικασίες παίρνουν μέρος. Επίσης οι μπαταρίες συμπεριφέρονται διαφορετικά στα διαφορετικά στάδια του κύκλου φόρτισης. Ένας καλός φορτιστής είναι ένα κρίσιμο σημείο στην απόδοση του ηλεκτρικού μας αυτοκινήτου. Οι πρώτοι απλοί φορτιστές τροφοδοτούσαν τις μπαταρίες μέχρι που ο φορτιστής έκλεινε. Αυτό είχε σαν αιτία να δημιουργούνται αέρια προς το τέλος της φόρτισης με αποτέλεσμα να ελαττώνει την διάρκεια ζωής των μπαταριών. Οι επόμενοι φορτιστές χρησιμοποιούσαν χρονοδιακόπτες για να ελαττώνουν βαθμιαία την φόρτιση και να κλείνουν. Αυτοί ήταν καλύτεροι, αλλά ακόμη δεν μπορούσαν πλήρως να συγχρονιστούν με τις ανάγκες των μπαταριών. Οι σύγχρονοι φορτιστές μπορούν να αντιληφθούν το επίπεδο φόρτισης στην συστοιχία των μπαταριών και να ανάλογα ελαττώνουν βαθμιαία το ρεύμα φόρτισης. Το τελικό κομμάτι του κύκλου φόρτισης (χαμηλού ηλεκτρικού ρεύματος) βοηθάει στην αντιστάθμιση της φόρτισης σε όλες τις μπαταρίες.

Ένα άλλο κομμάτι του ηλεκτρικού συστήματος είναι ο έλεγχος της ενέργειας που προέρχεται από την ηλιακή συστοιχία. Ο έλεγχος αυτός γίνεται από τους ανιχνευτές αιχμής ισχύος, που ρυθμίζουν το ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από την ηλιακή συστοιχία έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει την ισχύ και να την διοχετεύσει είτε στις μπαταρίες για αποθήκευση είτε στον ελεγκτή του κινητήρα για πρόωση. Ακόμα όσο χρόνο χρειάζεται η ηλιακή συστοιχία να φορτίσει τις μπαταρίες οι ανιχνευτές αιχμής ισχύος βοηθούν στην προστασία των μπαταριών από την καταστροφή λόγω υπερφόρτωσης.

#### 4.2 Διασύνδεση φωτοβολταϊκών κυψελών σε υβριδικό Toyota Prius.

Η επιχείρηση Ηλιακά Ηλεκτρικά Οχήματα (Solar Electrical Vehicles) έχει αναπτύξει το πρωτότυπο PV Prius (PV=Photovoltaic) που θα βοηθήσει να απαντηθεί η παραπάνω ερώτηση. Το PV Prius είναι εξοπλισμένο με ένα ειδικά μορφοποιημένο φωτοβολταϊκό στοιχείο από fiberglass όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Η Ηλιακά Ηλεκτρικά Οχήματα έχει υποβάλει αίτηση για κατοχύρωση ευρεσιτεχνίας για το ηλιακό σύστημα του PV Prius.

Η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι της τάξης των 215 watts σε AM 1.5\* (AM = Air Mass = ισοδύναμο πάχος ατμόσφαιρας). Το τμήμα (της φωτοβολταϊκής μονάδας) συνδέεται με ένα DC-DC μετατροπέα και με έναν ανιχνευτή μέγιστης ισχύος. Η έξοδος του μετατροπέα συνδέεται απευθείας στην μπαταρία NiMh για την πρωτεύουσα μετάδοση.

Η ημερήσια παραγωγή ισχύος που είναι διαθέσιμη για τη φόρτιση της μπαταρίας του Prius εκτιμάται ότι βρίσκεται μεταξύ των 850 και 1300 Wh. Το αυτοκίνητο καταναλώνει 150-175 Wh ανά μίλι. Επομένως, το αναμενόμενο εύρος αυτονομίας ανά ημέρα που το PV Prius μπορεί να έχει, είναι μεταξύ 5 με 8 μίλια. Βασιζόμενοι σε ονομαστικό ημερήσιο δρομολόγιο 28 μιλίων, η κατανάλωση βενζίνης του PV Prius θα μπορούσε να μειωθεί από 17% σε 29%.

#### 4.2.1 Περιγραφή της ηλιακής μονάδας.

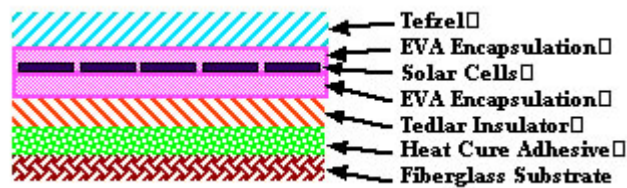
Η ηλιακή μονάδα είναι κατασκευασμένη από χυτό fiberglass για να ταιριάζει στην οροφή των εργοστασιακών Toyota Prius. Η ηλιακή μονάδα περιέχει 146 μονο-κρυσταλλικά κύτταρα των 4 τετραγωνικών ιντσών, τα οποία κατατάσσονται σε ονομαστική απόδοση 16%. Τα κύτταρα παράγουν ρεύμα βραχυκύκλωσης 3.5 A και τάση ανοιχτού κυκλώματος 0,57 VDC. Χρησιμοποιώντας σύνδεση σειράς, οι φωτοβολταϊκές κυψέλες παράγουν 80 VDC σε ανοικτό κύκλωμα και 70 VDC στη μέγιστη ζήτηση ισχύος με ρεύμα 3,25 αμπέρ για συνθήκες AM 1.5.



Σχήμα 4.3 Φωτογραφία από το ηλιακό Prius.

Ένα μονωτικό στρώμα από Tedlar είναι σε επαφή με το fiberglass (γυαλί-πλαστικό ενισχυμένο με ίνες) με κόλλα που ενεργοποιείται με θερμότητα. Οι ηλιακές κυψέλες είναι συνδεδεμένες σε σειρά και έπειτα κολλημένες σε μόνωση Tedlar με κόλλα τύπου EVA (Ethylene Vinyl Acetate). Τέλος, ένα στρώμα Tefzel είναι επιστρωμένο στην κορυφή των κυττάρων για την προστασία από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες και την κακοκαιρία. Στο σχήμα 4.4 απεικονίζεται ένα διάγραμμα με τις επιμέρους στρώσεις του ηλιακού πάνελ.

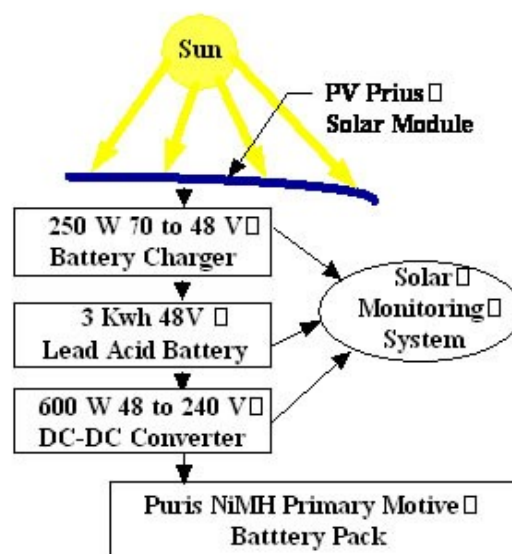




Σχήμα 4.4 Απεικόνιση του διαγράμματος με τις επιμέρους στρώσεις του ηλιακού πάνελ.

#### 4.2.2 Περιγραφή των διασυνδεδεμένων ηλεκτρονικών μέσων.

Η ηλιακή μονάδα είναι συνδεδεμένη με σφραγισμένη μπαταρία θειικού οξέος 48 VDC μέσω φορτιστή 70V-48V με ανιχνευτή μέγιστης ισχύος. Η ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύεται στην σφραγισμένη μπαταρία θειικού οξέος μεταφέρεται στην συνέχεια στο συγκρότημα μπαταριών NiMH του PV Prius, που παρέχει ενέργεια για την πρωτεύουσα μετάδοση, μέσω μετατροπέα DC-DC που ανυψώνει την τάση της μπαταρίας (θειικού οξέος) από 48V σε 240V. Ο φορτιστής των μπαταριών και ο DC-DC μετατροπέας έχουν βαθμό απόδοσης 95% και μπορούν να παρέχουν καθημερινά βατώρες και συνολικά δεδομένα επί των ωh στο σύστημα ηλιακής εποπτείας του PV Prius. Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται το σχεδιάγραμμα των ηλεκτρικών εξαρτημάτων που έχουν προστεθεί στο εργοστασιακό Prius για την μετατροπή του σε PV Prius. Στην εικόνα 4.6 φαίνεται το κιβώτιο των μπαταριών θειικού οξέος στο πορτμπαγκάζ του PV Prius. Ο φορτιστής μπαταριών και ο DC-DC μετατροπέας περιέχονται σε ξεχωριστό διαμέρισμα στο κιβώτιο των μπαταριών.



Σχήμα 4.5 Σχεδιάγραμμα των ηλεκτρικών εξαρτημάτων.



Σχήμα 4.6 Το κιβώτιο των μπαταριών, ο φορτιστής και ο DC-DC μετατροπέας .

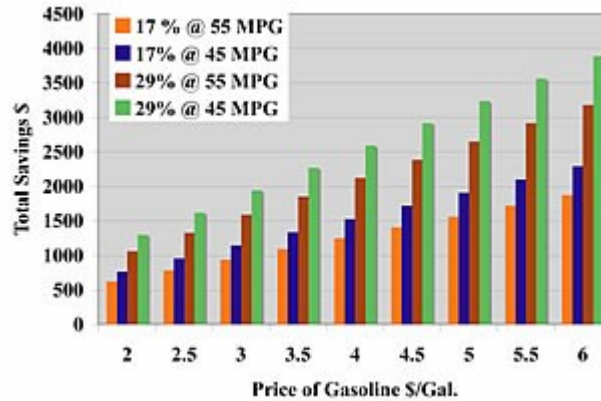
#### 4.2.3 Αξιολόγηση των οικονομικών οφελειών του PV Prius σε σχέση με το εργοστασιακό Prius.

Οι ονομαστικές τιμές κατανάλωσης για το Toyota Prius ανέρχονται στα 60 μίλια ανά γαλόνι στην πόλη, 51 μίλια ανά γαλόνι στον αυτοκινητόδρομο και 55 μίλια ανά γαλόνι σε συνδυασμό. Για να αξιολογηθεί η απόδοση της επένδυσης για το PV Prius, θα υποθέσουμε ότι η ωφέλιμη διάρκεια ζωής του οχήματος ανέρχεται σε 100.000 μίλια και θα υπολογιστεί το οικονομικό όφελος του PV Prius βασιζόμενο σε αυτό το πρότυπο. Έτσι, χρησιμοποιώντας τα 55 μίλια ανά γαλόνι, το εργοστασιακό Prius θα καταναλώσει 1.818 λίτρα βενζίνης στη διάρκεια των 100.000 μιλίων ωφέλιμου χρόνου ζωής. Το PV Prius θα καταναλώσει κάπου μεταξύ 17% και 29% λιγότερη βενζίνη από ότι το εργοστασιακό Prius. Οι εξοικονομήσεις αυτές θα είναι μεταξύ 1287 και 1505 γαλόνια βενζίνης. Έτσι, το PV Prius θα εξοικονομήσει μεταξύ 312 και 530 γαλόνια βενζίνης κατά τη διάρκεια ζωής του σε σχέση με ένα εργοστασιακό Prius.

Τι θα συνέβαινε αν η εκτιμώμενη κατανάλωση βενζίνης που παρέχεται από την Toyota ήταν λίγο πιο αισιόδοξη, και στην πραγματικότητα ο συνδυασμένος βαθμός κατανάλωσης καυσίμου ήταν περίπου 45 μίλια ανά γαλόνι; Τότε, το εργοστασιακό Prius θα κατανάλωνε 2.222 γαλόνια βενζίνης κατά τη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας του. Το PV Prius θα κατανάλωνε κάπου ανάμεσα στα 1573 και 1840 γαλόνια βενζίνης κατά τον κύκλο λειτουργίας του. Αυτό θα ήταν μια εξοικονόμηση μεταξύ 382 και 648 γαλόνια βενζίνης. Έτσι, αν η πραγματική κατανάλωση καυσίμου του Toyota Prius είναι κατά τι μικρότερη από την καθορισμένη, τότε η εξοικονόμηση στην κατανάλωση βενζίνης αυξάνει για το PV Prius.

Η οικονομική αξία των PV Prius σε σχέση με τα εργοστασιακά Prius είναι συνδεδεμένη με την τιμή της βενζίνης. Έτσι, στο Σχήμα 4.7, η δυνητική

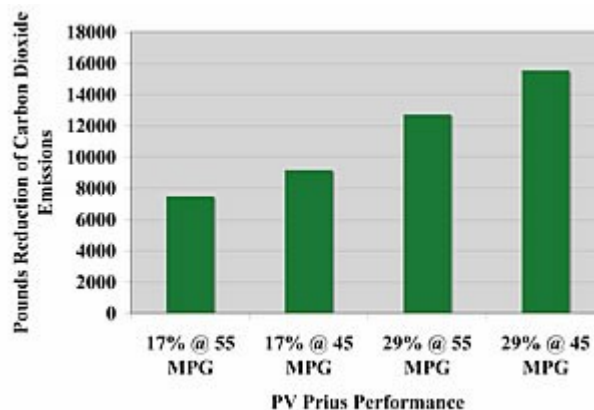
εξοικονόμηση που θα περίμενε κανείς από ένα PV Prius σε σχέση με τα εργοστασιακά Prius είναι σε συνάρτηση με τις τιμές της βενζίνης που κυμαίνονται μεταξύ \$ 2,00 ανά γαλόνι και \$ 6,00 ανά γαλόνι.



Σχήμα 4.7 Διαγράμματα εξοικονόμησης.

#### 4.2.4 Περιβαλλοντικά οφέλη από PV Prius.

Εκτός από τα οικονομικά οφέλη που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να πραγματοποιηθούν από το PV Prius. Το κύριο όφελος θα είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η κατανάλωση ενός γαλονιού βενζίνης θα εκπέμπει στην ατμόσφαιρα 24 λίμπρες διοξειδίου του άνθρακα. Χρησιμοποιώντας αυτό τον αριθμό μπορεί κανείς να καθορίσει τη μείωση των εκπομπών των αερίων του διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μία από τις τέσσερις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στην προηγούμενη ενότητα. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 Διάγραμμα μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται.

#### 4.2.5 Αυτάρκεια PV Prius μόνο από τον ήλιο.

Υπό την προϋπόθεση ότι το εργοστασιακό Prius, πέραν του ότι διαθέτει τις ηλιακές τροποποιήσεις που περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα, έχει αυξήσει το μέγεθος της δευτερεύουσας μπαταρίας και του DC-DC μετατροπέα που χρησιμοποιείται για την παροχή της ηλιακής ενέργειας προς την μπαταρία NiMH.

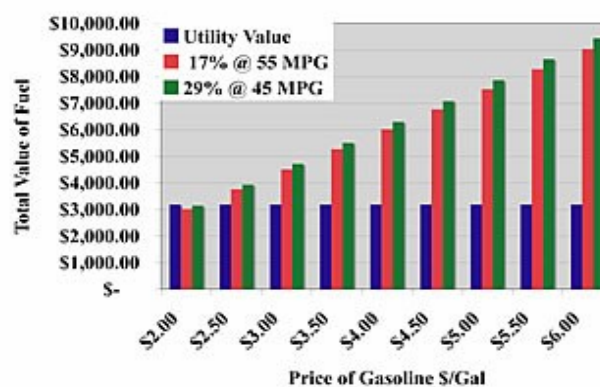
Επιτρέποντας μέγιστο βαθμό εκφόρτισης 50% για να παρέχεται κάποια εφεδρική ισχύ και να διευρύνεται ο κύκλος ζωής της ενισχυμένης μπαταρία μολύβδου, η δυναμικότητα θα πρέπει να αυξηθεί από τις σημερινές 3 kWh στις 8 kWh.

Επιπλέον, η δυναμικότητα του μετατροπέα DC-DC, 48Vσε 240 V, θα πρέπει να αυξηθεί τουλάχιστον στα 2000 Watt.

Με την χωρητικότητα αυτή της μπαταρίας, η πλεονάζουσα ενέργεια από μια οικιακή συστοιχία φωτοβολταϊκών, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επαναφόρτιση της μπαταρίας τη νύχτα (του PV Prius), όταν το αυτοκίνητο είναι σταθμευμένο στο γκαράζ. Αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα είναι το Total (Απόλυτο) PV Prius.

Τα δεδομένα από τη λειτουργία μιας εγκατεστημένης συστοιχίας φωτοβολταϊκών 6 kW στην περιοχή του Λος Άντζελες αναφέρουν συνολική παραγωγή για την περίοδο Οκτωβρίου 2004 έως Οκτωβρίου 2005 να είναι 8193 kWh. Η συστοιχία αυτή παράγει πάνω από 22,4 kWh ανά ημέρα. Με βάση την ενεργειακή κατανάλωση των 175W μίλι για το Total PV Prius, το ποσό της ενέργειας που θα απαιτούνταν από την οικιακή φωτοβολταϊκή συστοιχία, σε καθημερινή βάση, θα ήταν 4 kWh. Αυτό είναι μόνο το 18% της μέσης ημερήσιας παραγωγής από τις εγκαταστάσεις της συστοιχίας φωτοβολταϊκών των 6 kW .

Στο σχήμα 4.9 δείχνεται μια σύγκριση της αξίας χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από το οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα σε σύγκριση με τη συνολική ισοδύναμη αξία των καυσίμων που εκλύει (παράγει). Η παρούσα αξία χρήσης του οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας διασυνδεδεμένου με το σύστημα Southern California Edison είναι \$ 0,22 ανά kWh.



Σχήμα 4.9 Αξία του καυσίμου που θα απαιτούνταν κατά τη διάρκεια 100.000 μιλίων.

Αυτή η μέθοδος λειτουργίας θα είχε ως αποτέλεσμα ένα όχημα που θα μπορούσε να διεκδικήσει πραγματικά μηδενικές εκπομπές ρύπων, στο βαθμό που όλη η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία θα πρέπει να παρέχεται από την ηλιακή συστοιχία του Total PV Prius με συμπληρωματική ενέργεια που παρέχεται από το οικιακό φ/β σύστημα. Έτσι, η συνολική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια ζωής του Total PV Prius από 100.000 μίλια, θα αυξηθεί κάπου μεταξύ £ 43.636 στα 55 Μίλια Ανά Γαλόνι και £ 53.333 στα 45 Μίλια Ανά Γαλόνι.

#### **4.2.6 Συμπεράσματα.**

Η σκοπιμότητα της εγκατάστασης ενός aftermarket φωτοβολταϊκού πάνελ σε ένα Toyota Prius έχει αποδειχθεί. Η οικονομική απόδοση από την μετατροπή ενός εργοστασιακού Prius σε ένα PV Prius εξαρτάται από την καθημερινή ονομαστική διάρκεια ταξιδιού, την τιμή της βενζίνης που απαιτείται για τη λειτουργία του κινητήρα βενζίνης, την πραγματική απόδοση του κινητήρα βενζίνης, τον αριθμό των Wh/μίλι και των Wh που παρέχονται από το ηλιακό στοιχείο.

Με την περαιτέρω τροποποίηση ενός PV Prius, δηλαδή την αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας πρωτεύουσας μετάδοσης και την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ένα οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα, που θα φορτίζει την μπαταρία υψηλής χωρητικότητας, το Total PV Prius θα μπορούσε να λειτουργεί αποκλειστικά με ενέργεια από τον ήλιο!

### **4.3 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών κυψελών σε μοντέλο ηλεκτρικού οχήματος.**

#### **4.3.1 Αναλυτική αναφορά στοιχείων κατασκευής.**

Το κομμάτι που ακολουθεί της εργασίας είναι το σημαντικότερο καθώς αναφέρεται στην υλοποίηση-κατασκευή της αρχικής ιδέας για ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών κυψελών σε ηλεκτρικό όχημα με σκοπό την αύξηση της αυτονομίας του που συνεπάγεται με εξοικονόμηση ενέργειας.

Αρχίζοντας την αναφορά των στοιχείων της κατασκευής από το μοντέλο ηλεκτρικό όχημα πάνω στο οποίο θα γινόταν η σύνδεση των φωτοβολταϊκών κυψελών, επιλέχθηκε για να χρησιμοποιηθεί ένα RC μοντέλο το οποίο φαίνεται στο σχήμα 4.10. Η επιλογή βασίστηκε στις διαστάσεις του μοντέλου καθώς επίσης και στο σχήμα του, που όπως φαίνεται βοήθησε αρκετά στην εύκολη τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών κυψελών.



Σχήμα 4.10 RC Μοντέλο ηλεκτρικού οχήματος.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του RC μοντέλου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1

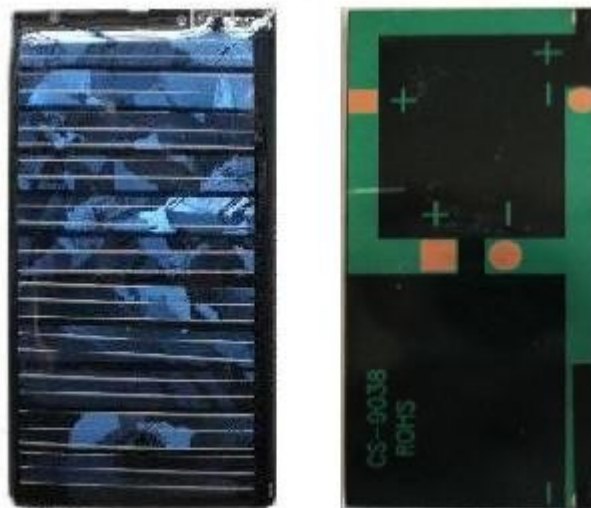
Type	RC Toy Car
Name	BMW X6
Scale	1:14
Frequency	27.145MHz / 40.680MHz
Battery	5 pcs AA battery – 1,2V, 2000mAh 1 pcs 9V Battery for Remote control – 9V, 200mAh
Color	Red
Size(cm)	35*15.8*12.6
PCS/CTN	6
CBM/CTN	0.126
CU.FT	4.45'

Η συστοιχία των μπαταριών του RC μοντέλου αποτελούνταν από 5 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Ni-MH τύπου AA με χαρακτηριστικά μεγέθη 1,2V, 2000mAh. Για την φόρτιση των μπαταριών χρησιμοποιήθηκε ο φορτιστής του σχήματος 4.11 που είχε τιμή ρεύματος φόρτισης 1000mA.



Σχήμα 4.11 Φορτιστής επαναφορτιζόμενων μπαταριών TRONIC.

Έχοντας στη διάθεσή μου το μοντέλο του ηλεκτρικού οχήματος, έγινε η κατάλληλη επιλογή των φωτοβολταϊκών κυψελών βάσει του διαθέσιμου χώρου πάνω στο RC μοντέλο αλλά κυρίως με βάση τα χαρακτηριστικά της συστοιχίας των μπαταριών που έπρεπε να φορτίζουν. Λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω υπόψη επιλέχθηκαν οι φωτοβολταϊκές κυψέλες που απεικονίζονται στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12 Μπροστινή και πίσω όψη φωτοβολταϊκής κυψέλης.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά μεγέθη των φωτοβολταϊκών κυψελών φαίνονται στον πίνακα 4.2:

*Πίνακας 4.2*

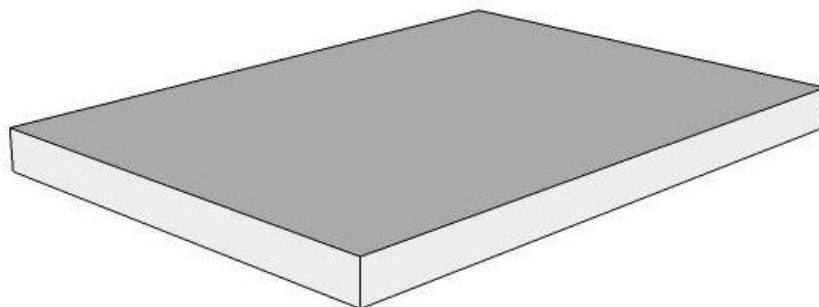
Ισχύς	0,50 Watt/ρ η κάθε φωτοβολταϊκή κυψέλη
Τάση	5,5V
Ένταση	~100mA
Διαστάσεις	90x40mm

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά όπως αυτά της κατασκευής κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12%.

#### 4.3.2 Μελέτη για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών κυψελών στην οροφή του μοντέλου.

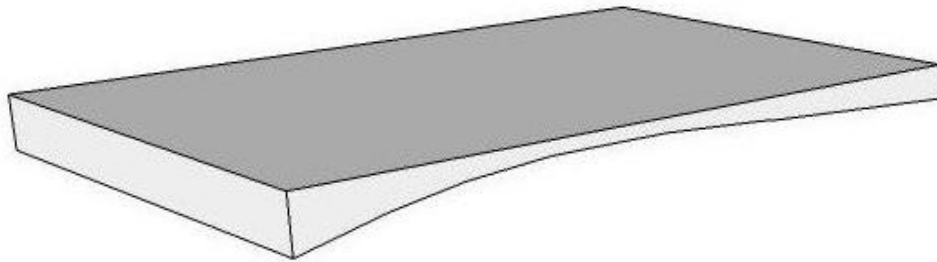
Με άμεσο σκοπό, την προσαρμογή των φωτοβολταϊκών κυψελών στην καμπυλωτή οροφή του RC μοντέλου και με έμμεσο σκοπό τη μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών μέσω της ψύξης της κάτω επιφάνειας αυτών σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μία βάση για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών κυψελών.

Αρχίζοντας τον σχεδιασμό από ένα κομμάτι όπως αυτό του σχήματος 4.13 και λαμβάνοντας υπόψη την καμπυλότητα της οροφής του RC μοντέλου έτσι ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν οι άκαμπτες φωτοβολταϊκές κυψέλες πάνω στην οροφή, προέκυψε η μορφή του σχήματος 4.14.



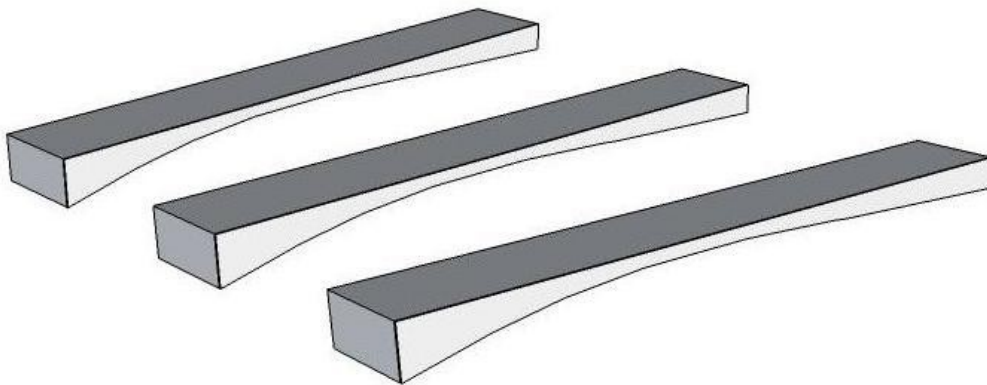
*Σχήμα 4.13 Αρχικό κομμάτι-ανεπεξέργαστο.*



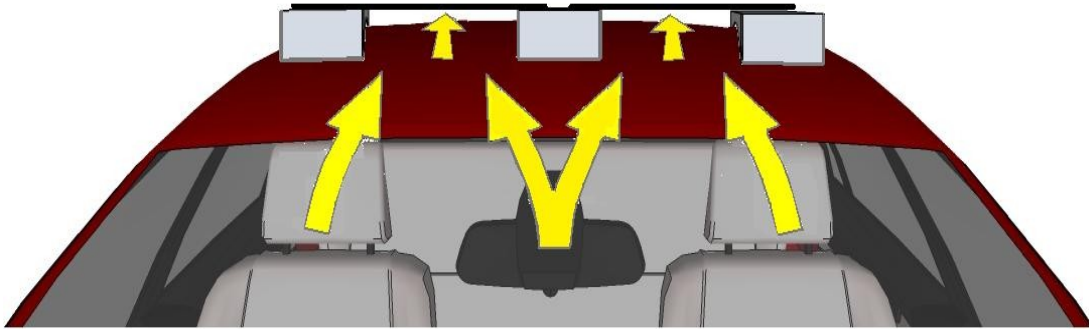


*Σχήμα 4.14* Πρώτο στάδιο επεξεργασίας-προσαρμογή καμπυλότητας.

Στη συνέχεια για καλύτερη ψύξη και μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών το ενιαίο κομμάτι χωρίστηκε σε τρία ίσα κομμάτια όπως φαίνεται στο σχήμα 4.15 έτσι ώστε να μπορέσουν να στηριχτούν οι δύο φωτοβολταϊκές κυψέλες και να ψύχονται μέσω του αέρα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.16.



*Σχήμα 4.15* Δεύτερο στάδιο επεξεργασίας-καλύτερη ψύξη.



Σχήμα 4.16 Απεικόνιση τελικού σχεδίου.

Κατόπιν της σχεδίασης ακολούθησε η κατασκευή της βάσης όπου θα τοποθετούνταν οι φωτοβολταϊκές κυψέλες. Ως υλικό για την κατασκευή της βάσης χρησιμοποιήθηκε το φελιζόλ. Η κατασκευή βασίστηκε στη μελέτη που προηγήθηκε, έτσι ακολουθώντας όλα τα βήματα και τοποθετώντας την πάνω στο όχημα προέκυψε το τελικό αποτέλεσμα το οποίο φαίνεται στο σχήμα 4.17.



Σχήμα 4.17 Απεικόνιση της βάσης πάνω στην οροφή του RC μοντέλου.

Στη συνέχεια της κατασκευής προσαρμόστηκαν οι φωτοβολταϊκές κυψέλες πάνω στη βάση και στερεώθηκαν κατάλληλα έτσι ώστε να αντέχουν τους κραδασμούς που θα επέφερε η κίνηση του οχήματος. Η τελική μορφή της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών κυψελών στην οροφή του μοντέλου απεικονίζεται στο σχήμα 4.18.

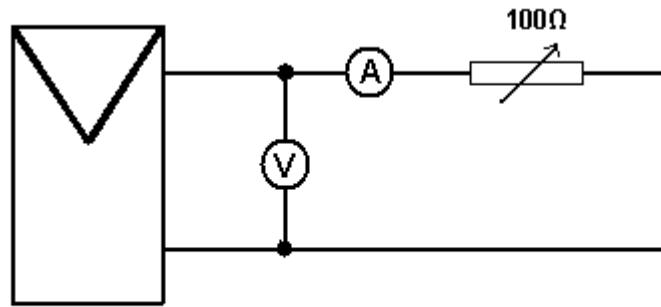


Σχήμα 4.18 Απεικόνιση της τελικής μορφής με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες.

#### 4.3.3 Αναλυτική αναφορά της σύνδεσης των φωτοβολταϊκών.

Το επόμενο στάδιο για την υλοποίηση της αρχικής ιδέας δηλαδή της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών κυψελών σε ηλεκτρικό όχημα με σκοπό την αύξηση της αυτονομίας του, έπειτα από τη μελέτη της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών κυψελών στην οροφή του RC μοντέλου ήταν η σύνδεση των φωτοβολταϊκών κυψελών μεταξύ τους και στη συνέχεια η διασύνδεση της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών κυψελών με το ηλεκτρικό σύστημα του RC μοντέλου.

Αρχικά για να γίνει η επιλογή του τρόπου σύνδεσης των φωτοβολταϊκών κυψελών μεταξύ τους εκτελέστηκε ένα πείραμα το οποίο είχε σκοπό την ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών. Για την πραγματοποίηση του πειράματος υλοποιήθηκε το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος. Το κύκλωμα περιελάμβανε ένα αμπερόμετρο, ένα βολτόμετρο, μία μεταβλητή αντίσταση 100Ω και τη συστοιχία των φωτοβολταϊκών.



**Συστοιχία φωτοβολταϊκών**

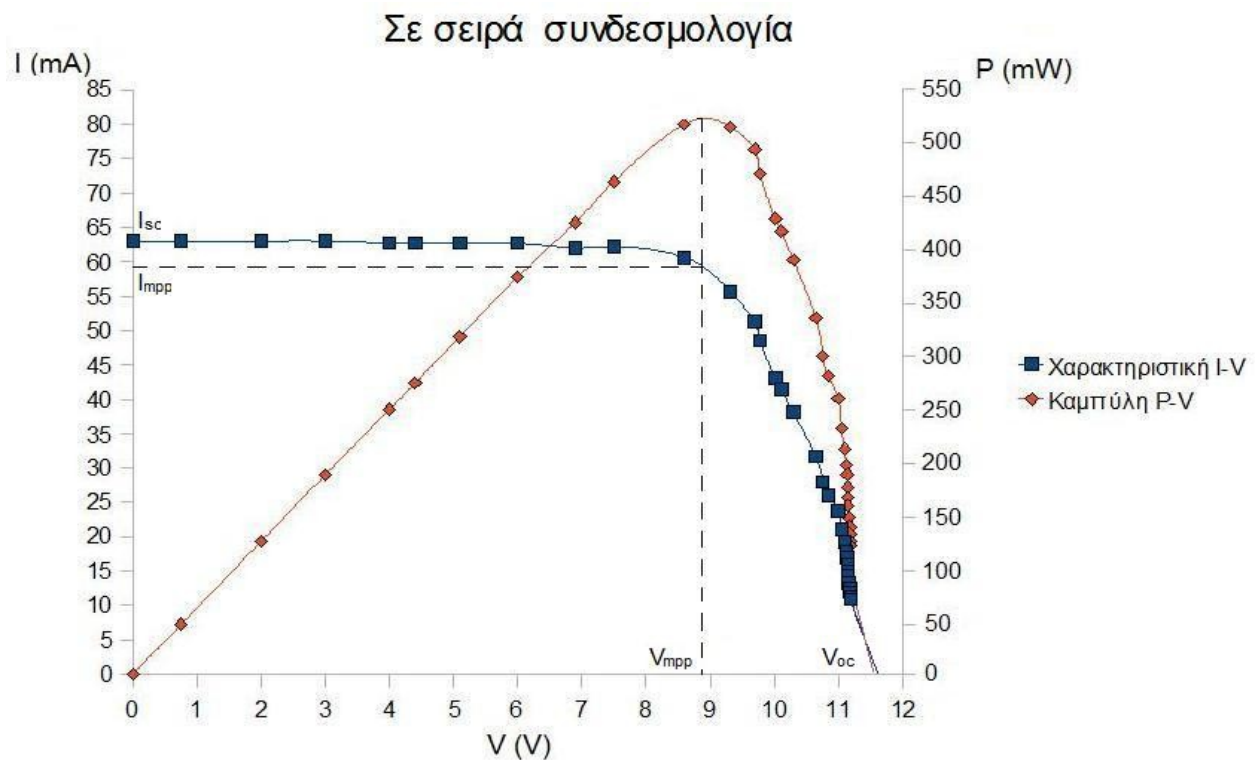
*Σχήμα 4.19 Κύκλωμα εύρεσης σημείου μέγιστης ισχύος.*

Στο πρώτο κομμάτι του πειράματος οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδέθηκαν σε σειρά με αποτέλεσμα η τάση ανοικτού κυκλώματος να ισούται με 11,62V και η ένταση ρεύματος βραχυκυκλώσεως να ισούται με 63mA. Οι μετρήσεις που έλαβα για τις διάφορες τιμές της μεταβλητής αντίστασης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

*Πίνακας 4.3*

Τάση (V)	Ρεύμα (mA)	Ισχύς (mW)	Τάση (V)	Ρεύμα (mA)	Ισχύς (mW)
0,00	63,00	0,00	10,65	31,70	337,61
0,75	63,00	47,25	10,76	28,00	301,28
2,00	63,00	126,00	10,84	26,05	282,38
3,00	63,00	189,00	11,00	23,75	261,25
4,00	62,70	250,80	11,05	21,10	233,16
4,40	62,70	275,88	11,10	19,21	213,23
5,10	62,70	319,77	11,12	17,85	198,49
6,00	62,70	376,20	11,14	17,01	189,49
6,90	62,00	427,80	11,15	15,90	177,29
7,50	62,20	466,50	11,15	14,99	167,14
8,60	60,60	521,16	11,15	14,35	160,00
9,32	55,60	518,19	11,16	13,30	148,43
9,70	51,30	497,61	11,18	12,51	139,86
9,78	48,50	474,33	11,18	11,90	133,04
10,02	43,09	431,76	11,19	11,20	125,33
10,11	41,50	419,57	11,19	10,90	121,97
10,30	38,10	392,43			

Με βάση τις τιμές του πειράματος προέκυψε η χαρακτηριστική I-V και η καμπύλη P-V οι οποίες απεικονίζονται σε κοινό διάγραμμα με σκοπό την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος και κατόπιν την τάση και το ρεύμα που αντιστοιχούν στο σημείο αυτό.



Σχήμα 4.20 Χαρακτηριστική I-V και καμπύλη P-V της εν σειρά συνδεσμολογίας.

Στο δεύτερο κομμάτι του πειράματος οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδέθηκαν παράλληλα με αποτέλεσμα η τάση ανοικτού κυκλώματος να ισούται με 5,85V και η ένταση ρεύματος βραχυκυκλώσεως να ισούται με 114mA. Οι μετρήσεις που έλαβα για τις διάφορες τιμές της μεταβλητής αντίστασης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

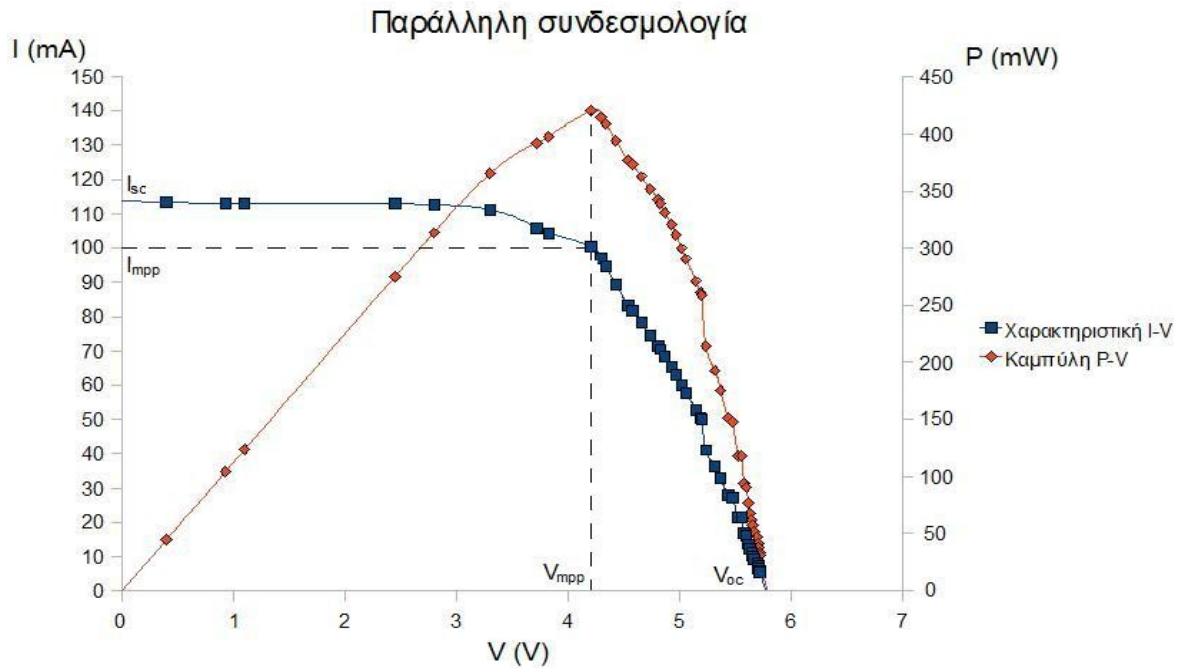
Πίνακας 4.4

Τάση (V)	Ρεύμα (mA)	Ισχύς (mW)
0,40	113,30	45,32
0,93	113,00	105,09
1,10	113,00	124,30
2,45	112,90	276,61
2,80	112,50	315,00
3,30	111,20	366,96
3,72	105,90	393,95
3,83	104,40	399,85
4,21	100,30	422,26
4,30	96,90	416,67
4,34	94,60	410,56
4,43	89,40	396,04
4,54	83,40	378,64
4,58	81,90	375,10
4,66	78,20	364,41
4,74	74,60	353,60
4,81	71,60	344,40
4,83	70,50	340,52

Πίνακας 4.4

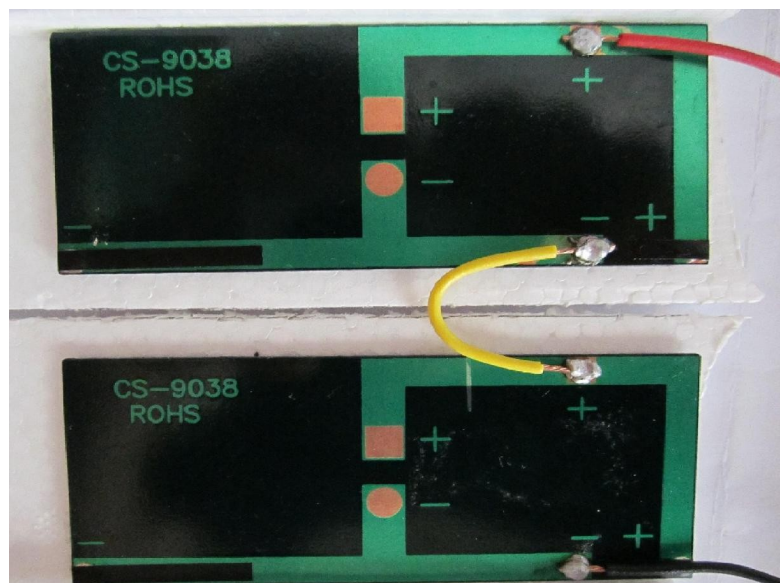
Τάση (V)	Ρεύμα (mA)	Ισχύς (mW)
4,87	68,30	332,62
4,93	65,30	321,93
4,97	63,10	313,61
5,02	60,00	301,20
5,06	57,70	291,96
5,15	52,90	272,44
5,19	50,60	262,61
5,20	50,10	260,52
5,24	41,10	215,36
5,32	36,50	194,18
5,37	32,80	176,14
5,44	28,02	152,43
5,48	27,10	148,51
5,53	21,46	118,67
5,56	21,32	118,54
5,58	16,93	94,47
5,60	16,3	91,28
5,62	13,7	76,99
5,63	12,18	68,57
5,65	11,16	63,05
5,66	10,2	57,73
5,67	9,3	52,73
5,7	8,35	47,60
5,71	7,37	42,08
5,71	6,76	38,60
5,72	5,88	33,63
5,72	5,57	31,86

Με βάση τις τιμές του πειράματος προέκυψε η χαρακτηριστική I-V και η καμπύλη P-V οι οποίες απεικονίζονται σε κοινό διάγραμμα με σκοπό την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος και κατόπιν την τάση και το ρεύμα που αντιστοιχούν στο σημείο αυτό.



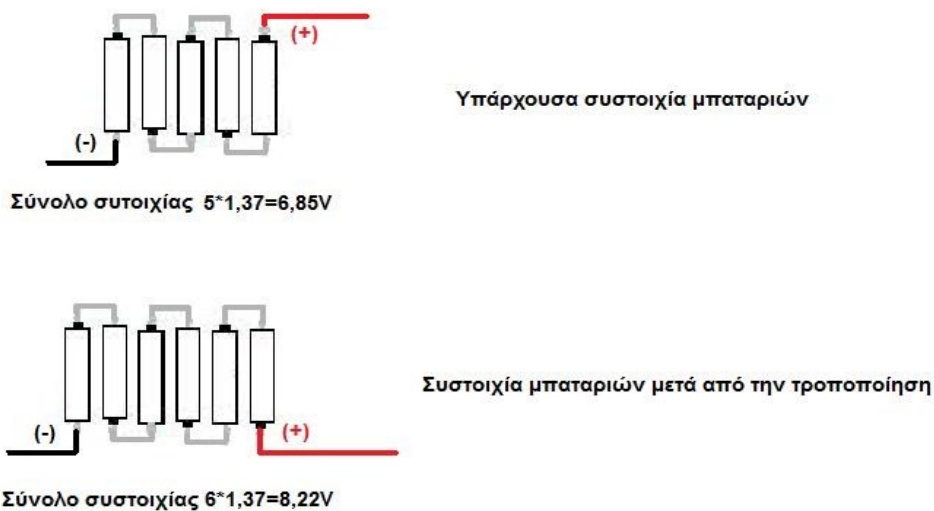
Σχήμα 4.21 Χαρακτηριστική I-V και καμπύλη P-V της παράλληλης συνδεσμολογίας.

Μετά την τέλεση του πειράματος επιλέχθηκε η εν σειρά συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών κυψελών διότι προσαρμοζόταν καλύτερα στα στοιχεία του RC μοντέλου. Δηλαδή αν εφαρμοζόταν η παράλληλη σύνδεση της οποίας η τάση όπως προέκυψε από το πείραμα είχε τιμή  $V_{mpp}=4,24V$  τότε θα έπρεπε να αφαιρεθούν δύο μπαταρίες από την υπάρχουσα συστοιχία μπαταριών το οποίο θα είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση της αυτονομίας και της απόδοσης του οχήματος.



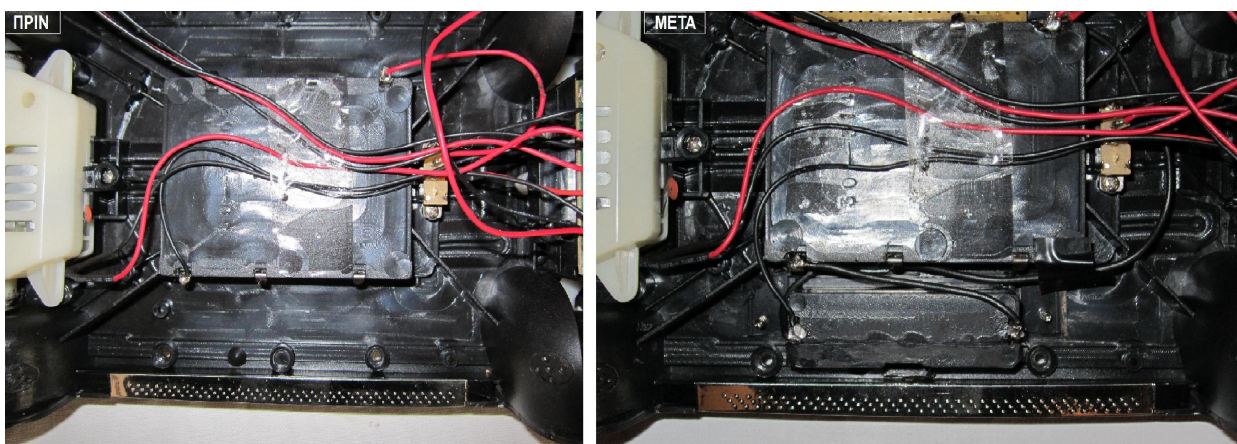
Σχήμα 4.22 Φωτοβολταϊκή μονάδα.

Με βάση τις τιμές της εν σειρά συνδεσμολογίας και ειδικότερα τη τιμή της τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος  $V_{mpp}=8,9V$  αποφασίστηκε να προστεθεί άλλη μία μπαταρία στην υπάρχουσα συστοιχία μπαταριών με σκοπό την αύξηση της συνολικής τάσης έτσι ώστε να πλησιάζει την τιμή  $V_{mpp}$ . Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε ότι θα επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Με την προσθήκη της επιπλέον μπαταρίας η συνολική τάση της συστοιχίας των μπαταριών ανέρχεται στα 8,22V τιμή που προσεγγίζει την τιμή  $V_{mpp}$ . Η προσθήκη της επιπλέον μπαταρίας έγινε τοποθετώντας μία θήκη ακόμη στην ήδη υπάρχουσα και συνδεσμολογήθηκε όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.23 Συνδεσμολογία συστοιχίας μπαταριών.

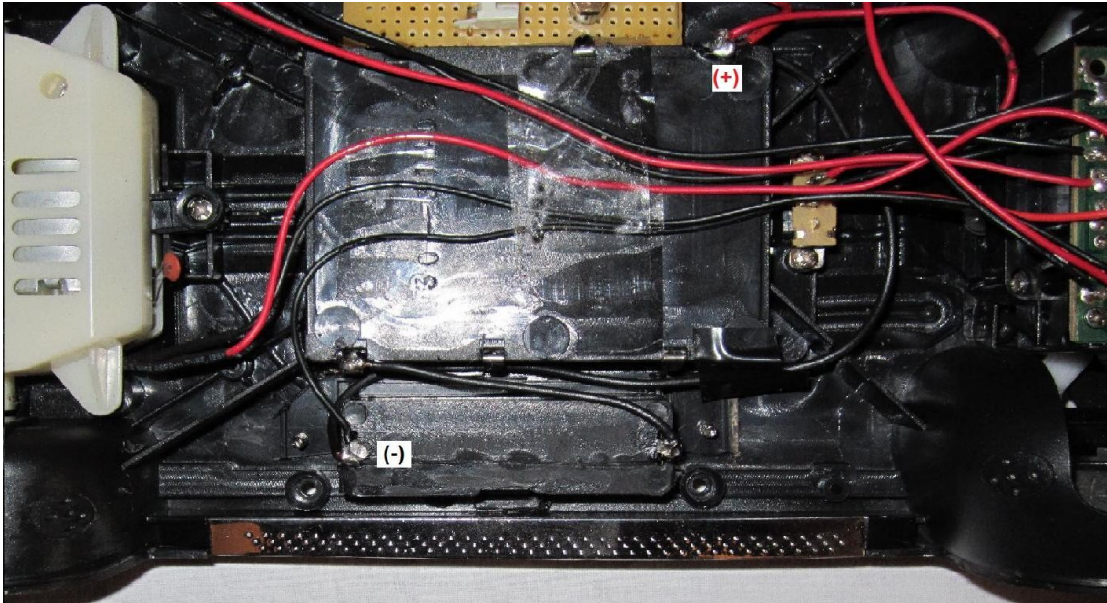
Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα .



Σχήμα 4.24 Τελικό αποτέλεσμα έπειτα από την προσθήκη της επιπλέον μπαταρίας.



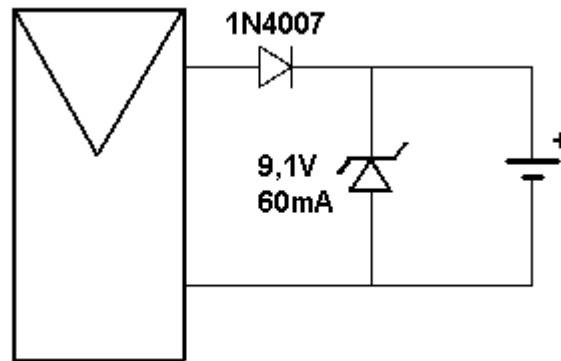
Στη συνέχεια της διαδικασίας της ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών κυψελών, μελετήθηκε το ηλεκτρικό σύστημα του RC μοντέλου, το οποίο εικονίζεται στο σχήμα 4.25, όπου θα γινόταν η διασύνδεση της φωτοβολταϊκής μονάδας.



Σχήμα 4.25 Αποτύπωση της πολικότητας της συστοιχίας των μπαταριών.

Η μελέτη ξεκίνησε εντοπίζοντας τη πολικότητα της συστοιχίας των μπαταριών με σκοπό να μπορεί να συνδεθεί κατάλληλα με αυτήν η φωτοβολταϊκή μονάδα. Με τη λέξη κατάλληλα εννοώ την παράλληλη σύνδεση της φωτοβολταϊκής μονάδας με τη συστοιχία των μπαταριών με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας που θα είχε σαν αποτέλεσμα την επέκταση της λειτουργίας του RC μοντέλου.

Εκτός από το ηλεκτρικό σύστημα του RC μοντέλου όπου και θα γινόταν η διασύνδεση της φωτοβολταϊκής μονάδας, μελετήθηκε και το ενδιάμεσο στάδιο από τη φωτοβολταϊκή μονάδα μέχρι τη σύνδεση στους ακροδέκτες της συστοιχίας των μπαταριών. Στην αρχή επιλέχθηκε το ενδιάμεσο αυτό στάδιο να αποτελείται ουσιαστικά από έναν φορτιστή, ο οποίος θα κρατούσε σταθερή την τάση που θα εφαρμοζόταν στην συστοιχία των μπαταριών. Το κύκλωμα το οποίο διακρίνεται στο σχήμα 4.26 αποτελούνταν από μία δίοδο 1N4007 που θα απέτρεπε την αντίθετη ροή ρεύματος καθώς και από μία δίοδο zener (9,1V-60mA) ανάστροφα πολωμένη με σκοπό την σταθεροποίηση της τάσης στα 9,1V.

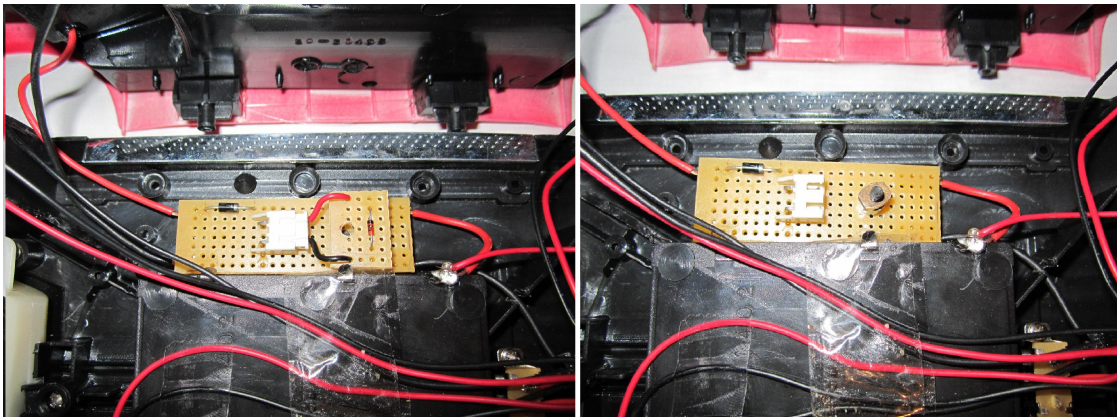


**Συστοιχία φωτοβολταϊκών**

*Σχήμα 4.26 Κύκλωμα φόρτισης συστοιχίας μπαταριών.*

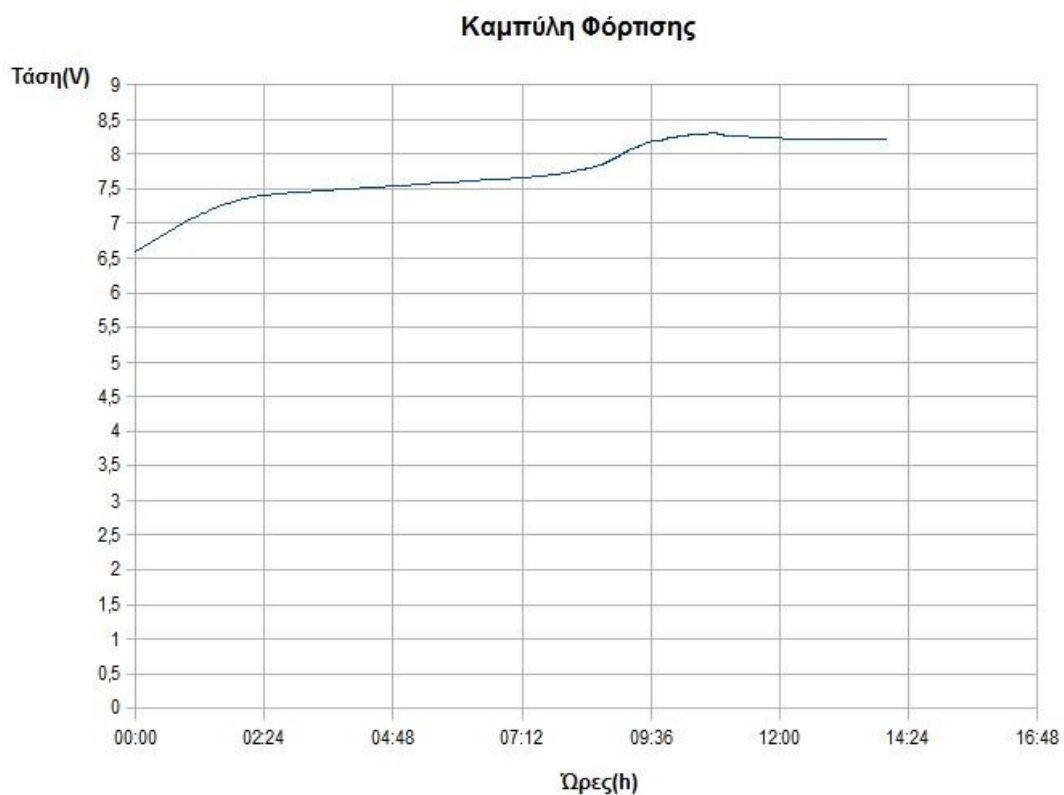
Για δύο διαφορετικούς λόγους όμως επιλέχτηκε να μην χρησιμοποιηθεί η δίοδος zener στο κύκλωμα. Ο πρώτος λόγος είναι ότι με τη χρήση της δίοδου zener υπάρχει μία πτώση τάση η οποία αντιστοιχεί σε κάποιο ρεύμα (χαμένο) το οποίο επιστρέφει στην πηγή και η φωτοβολταϊκή μονάδα το βλέπει σαν κατανάλωση και έτσι μειώνεται πολύ το ρεύμα που τελικά φτάνει στη συστοιχία των μπαταριών για φόρτιση. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής μονάδας όταν αυτή είναι συνδεδεμένη με τη συστοιχία των μπαταριών ανέρχεται γύρω στα 9V και δεν υπάρχει προφανής λόγος χρήσης της δίοδου zener. Άρα και για περαιτέρω απλούστευση αφαιρέθηκε από το κύκλωμα.

Το ενδιαμέσο αυτό στάδιο κατέληξε να περιλαμβάνει μία δίοδο, η οποία έχει σαν στόχο την προστασία της φωτοβολταϊκής μονάδας από την συστοιχία των μπαταριών δηλαδή να εξασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρχει ροή ρεύματος από τη συστοιχία των μπαταριών προς τη φωτοβολταϊκή μονάδα. Παρακάτω απεικονίζονται οι δύο φάσεις του ενδιαμέσου σταδίου (με ή χωρίς τοποθετημένη τη δίοδο zener).



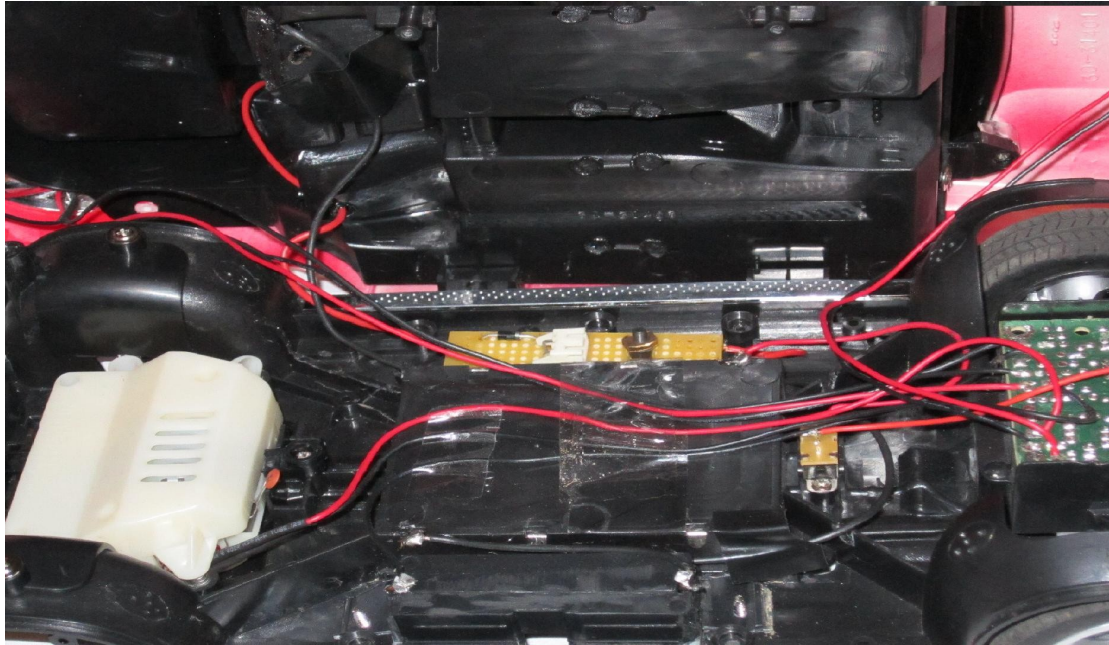
Σχήμα 4.27 Απεικόνιση κυκλώματος με ή χωρίς τη δίοδο zener.

Για να μελετηθεί η σωστή λειτουργία του συστήματος ελέγχθηκε και καταγράφηκε η ταχύτητα φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών μέσω της φωτοβολταϊκής μονάδας. Η καταγραφή περιελάμβανε τη μέτρηση της τάσης της συστοιχίας των μπαταριών σε τακτά χρονικά διαστήματα με σκοπό τη δημιουργία της καμπύλης φόρτισης. Η καμπύλη φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών μέσω της φωτοβολταϊκής μονάδας απεικονίζεται στο σχήμα .



Σχήμα 4.28 Καμπύλη φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών.

Το τελικό αποτέλεσμα μετά από όλα τα στάδια μελέτης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



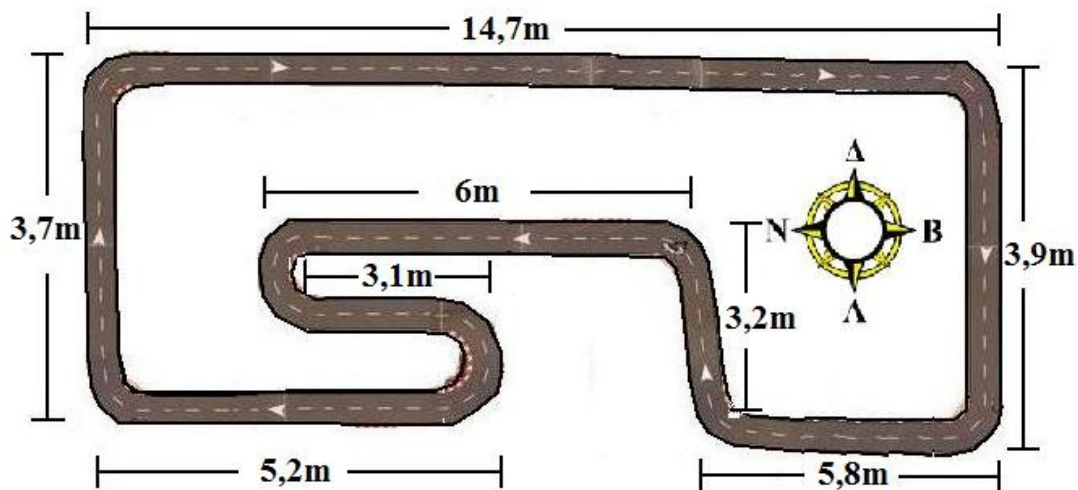
Σχήμα 4.29 Απεικόνιση του τελικού σταδίου του κυκλώματος του R/C μοντέλου.

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ”

#### 5.1 Πειραματική διαδικασία.

Το βασικό στάδιο της εργασίας ήταν η δοκιμή του RC μοντέλου αρχικά χωρίς τις φωτοβολταϊκές κυψέλες και στη συνέχεια με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες τοποθετημένες στην οροφή του έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν θα υπήρχε αύξηση της αυτονομίας του μοντέλου. Η διαδρομή στην οποία διεξήχθη η πειραματική διαδικασία ήταν και στις δύο περιπτώσεις η ίδια έτσι ώστε να μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση και για να εξαχθούν πιο εύκολα τα συμπεράσματα. Η διαδρομή είχε συνολικό μήκος 45,6m και το σχήμα της όπως φαίνεται παρακάτω επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το μεγαλύτερο κομμάτι της διαδρομής να έχει νότιο προσανατολισμό για μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών.



Σχήμα 5.1 Απεικόνιση της διαδρομής της πειραματικής διαδικασίας.

Για τον υπολογισμό του συνολικού πραγματικού μήκους της διαδρομής χρησιμοποιήθηκε το μήκος της υπό κλίμακα διαδρομής όπου και έγινε η δοκιμή και η κλίμακα της διαδρομής η οποία ήταν 1/14. Πολλαπλασιάζοντας το μήκος της διαδρομής με την κλίμακα προέκυψε το συνολικό πραγματικό μήκος, το οποίο ήταν 638,4m.

Το πρώτο σκέλος της πειραματικής διαδικασίας όπου δοκιμάστηκε το RC μοντέλο χωρίς να είναι ενσωματωμένες οι φωτοβολταϊκές κυψέλες σε αυτό, ξεκίνησε φορτίζοντας τη συστοιχία των μπαταριών του RC μοντέλου η οποία αποτελούνταν από 5 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Ni-MH τύπου AA με χαρακτηριστικά μεγέθη 1.2V και 2000mAh. Η φόρτιση των μπαταριών έγινε με τον φορτιστή Tronic και διήρκεσε 2,5h. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε η συστοιχία των μπαταριών στο RC μοντέλο και ξεκίνησε η δοκιμή του RC μοντέλου στη διαδρομή γι' αυτό το σκέλος της πειραματικής διαδικασίας.

Η δοκιμή περιελάμβανε αναλυτικά τα εξής:

Πίνακας 5.1

Δραστηριότητα	Ώρα [HH:MM]
Εκκίνηση	2:05
Πραγματοποίηση 20 γύρων	2:15
Ακινητοποίηση 5 min	2:20
Πραγματοποίηση 20 γύρων	2:30
Ακινητοποίηση 5 min	2:35
Πραγματοποίηση 40 γύρων	2:55
Ακινητοποίηση 10 min	3:05
Πραγματοποίηση 40 γύρων	3:25
Ακινητοποίηση 10 min	3:35
Πραγματοποίηση 40 γύρων	3:56
Ακινητοποίηση 10 min	4:06
Πραγματοποίηση 40 γύρων	4:29
Ακινητοποίηση 10 min	4:39
Πραγματοποίηση 20 γύρων	4:50
Ακινητοποίηση 10 min	5:00
Πραγματοποίηση 10 γύρων	5:07

Το σύνολο των γύρων που πραγματοποιήθηκαν ήταν 230, οι οποίοι αντιστοιχούν σε 10,488 χιλιόμετρα κίνησης του RC μοντέλου και σε 146,832 χιλιόμετρα κίνησης ενός αντίστοιχου πραγματικής κλίμακας ηλεκτρικού οχήματος. Από αυτό διαπιστώνουμε ότι η καθαρή αυτονομία της συστοιχίας των μπαταριών του ηλεκτρικού οχήματος που αντιστοιχεί με το RC μοντέλο αγγίζει τα 147 χιλιόμετρα.

Το δεύτερο σκέλος της πειραματικής διαδικασίας όπου δοκιμάστηκε το RC μοντέλο έχοντας ενσωματώσει τις φωτοβολταϊκές κυψέλες σε αυτό, ξεκίνησε φορτίζοντας τη συστοιχία των μπαταριών του RC μοντέλου η οποία αποτελούνταν από 5 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Ni-MH τύπου AA με χαρακτηριστικά μεγέθη 1.2V και 2000mAh. Η φόρτιση των μπαταριών έγινε με τον φορτιστή Tronic και διήρκεσε 2,5h. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε η συστοιχία των μπαταριών στο RC μοντέλο και ξεκίνησε η δοκιμή του RC μοντέλου στη διαδρομή γι' αυτό το δεύτερο σκέλος της πειραματικής διαδικασίας.

Η δοκιμή όπως και στο πρώτο σκέλος περιελάμβανε:

Πίνακας 5.2

Δραστηριότητα	Ώρα [HH:MM]
Εκκίνηση	12:15
Πραγματοποίηση 20 γύρων	12:25
Ακινητοποίηση 5 min	12:30
Πραγματοποίηση 20 γύρων	12:40
Ακινητοποίηση 5 min	12:45
Πραγματοποίηση 40 γύρων	13:05
Ακινητοποίηση 10 min	13:15
Πραγματοποίηση 40 γύρων	13:35
Ακινητοποίηση 10 min	13:45
Πραγματοποίηση 40 γύρων	14:06
Ακινητοποίηση 10 min	14:16
Πραγματοποίηση 40 γύρων	14:37
Ακινητοποίηση 10 min	14:47
Πραγματοποίηση 40 γύρων	15:09
Ακινητοποίηση 15min	15:24
Πραγματοποίηση 30 γύρων	15:41
Ακινητοποίηση 15min	15:56
Πραγματοποίηση 20 γύρων	16:08
Ακινητοποίηση 15 min	16:23
Πραγματοποίηση 10 γύρων	16:30

Το σύνολο των γύρων που πραγματοποιήθηκαν ήταν 300, οι οποίοι αντιστοιχούν σε 13,680 χιλιόμετρα κίνησης του RC μοντέλου και σε 191,520 χιλιόμετρα κίνησης ενός αντίστοιχου πραγματικής κλίμακας ηλεκτρικού οχήματος.

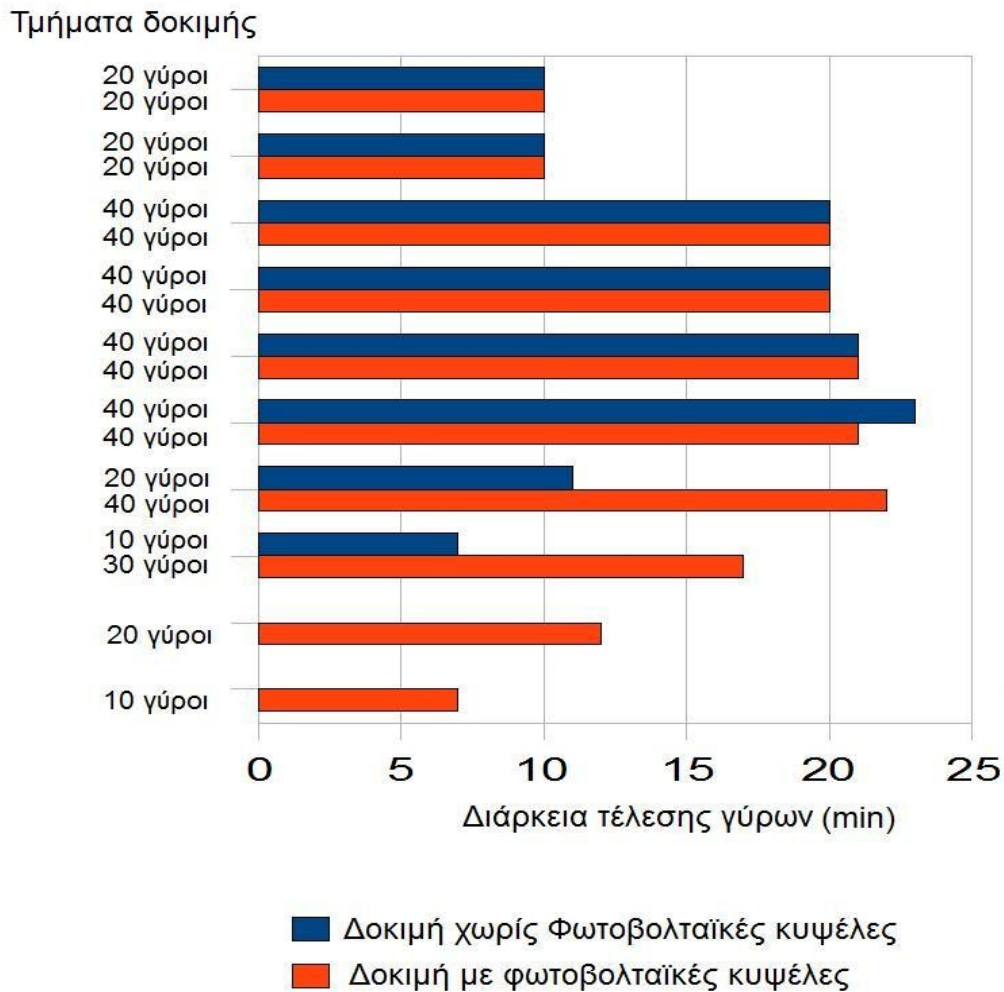
## 5.2 Συμπεράσματα πειραματικής διαδικασίας.

Το κύριο μέρος της εργασίας ήταν η δοκιμή του RC μοντέλου αρχικά χωρίς τις φωτοβολταϊκές κυψέλες και στη συνέχεια με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες τοποθετημένες στην οροφή του έτσι ώστε να ελεγχθεί και να διαπιστωθεί αν θα υπήρχε αύξηση της αυτονομίας του μοντέλου. Έπειτα από την τέλεση της πειραματικής διαδικασίας και με τα αποτελέσματα καταγεγραμμένα στην προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, έγινε άμεσα αντιληπτή η αύξηση της αυτονομίας του RC μοντέλου καθώς από τα 10,488 χιλιόμετρα που κάλυψε στην αρχή (χωρίς τις φωτοβολταϊκές κυψέλες) έφτασε στη συνέχεια (με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες) τα 13,680 χιλιόμετρα που αντιστοιχούν σε 191,520 χιλιόμετρα κίνησης ενός αντίστοιχου πραγματικής κλίμακας ηλεκτρικού οχήματος. Η αύξηση που διαπιστώνεται φτάνει τα 3,192 χιλιόμετρα ή 44,688 χιλιόμετρα κίνησης ενός ηλεκτρικού οχήματος πραγματικής κλίμακας. Η αύξηση της αυτονομίας του οχήματος που μετρήθηκε και αποτυπώθηκε σε χιλιόμετρα αντιστοιχεί σε ποσοστό 30,435%. Το ποσοστό αύξησης αποδεικνύεται αρκετά μεγάλο αν αναλογιστούμε την χαμηλή παροχή ρεύματος από τη φωτοβολταϊκή μονάδα προς την συστοιχία των μπαταριών. Όμως το μεγάλο αυτό ποσοστό της αύξησης της αυτονομίας του οχήματος αιτιολογείται από δύο βασικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος ήταν ότι το ρεύμα που έφτανε στην συστοιχία των μπαταριών αρκούσε έτσι ώστε να παραμένει η στάθμη των μπαταριών σε αρκετά υψηλά επίπεδα και σαν αποτέλεσμα να μην εκφορτίζονταν με ταχύ τρόπο όπως συνέβαινε όταν το RC μοντέλο κινούνταν χωρίς τις φωτοβολταϊκές κυψέλες. Ο δεύτερος λόγος στον οποίο οφείλονταν η αύξηση της αυτονομίας ήταν ότι κατά την διάρκεια των στάσεων που πραγματοποιούσε το RC μοντέλο η φωτοβολταϊκή μονάδα επαναφόρτιζε εν μέρη τη συστοιχία των συσσωρευτών όπως αποδείχθηκε και με την καμπύλη φόρτισης. Οι στάσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της δοκιμής ορίστηκαν από την αρχή του πειράματος ως αναγκαστικές διότι το RC μοντέλο πραγματοποιούσε μία εξομοίωση κίνησης ενός πραγματικού ηλεκτρικού οχήματος καθώς επίσης και για την αποφυγή υπερθέρμανσης του κινητήρα.

Η κύρια συνέπεια που πηγάζει από την αύξηση της αυτονομίας του οχήματος είναι η εξοικονόμηση που γίνεται στην ενέργεια. Και αυτό διότι μέσω της αύξησης της αυτονομίας εξοικονομείται ενέργεια η οποία θα σπαταλιόταν με την επαναφόρτιση της συστοιχίας των μπαταριών του οχήματος.

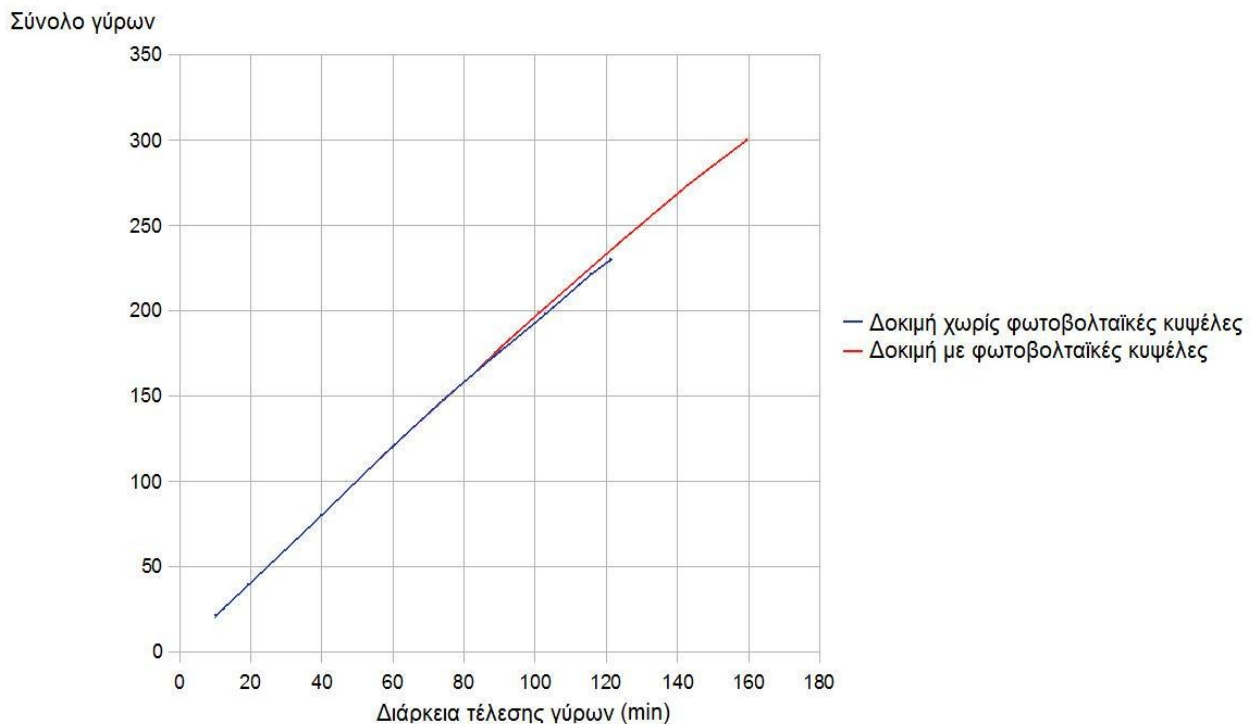
Για την περαιτέρω κατανόηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα τα οποία απεικονίζουν τα εξής: Το πρώτο κατά σειρά γράφημα απεικονίζει συγκριτικά για τις δύο περιπτώσεις (με ή χωρίς φωτοβολταϊκές κυψέλες) τη χρονική διάρκεια τέλεσης των τμημάτων της δοκιμής που αποτελούνταν από συγκεκριμένους γύρους κάθε φορά ενώ το δεύτερο γράφημα απεικονίζει τη χρονική διάρκεια τέλεσης του συνόλου των γύρων της δοκιμής.





Σχήμα 5.2 Γράφημα απεικόνισης χρονικής διάρκειας τέλεσης των τμημάτων της δοκιμής.

Από το πρώτο γράφημα γίνεται αντιληπτή η μείωση της ικανότητας του οχήματος όταν δεν χρησιμοποιούσε τις φωτοβολταϊκές κυψέλες να κινηθεί με τον ίδιο ρυθμό και την ίδια αντοχή διανύοντας τμήματα λίγων γύρων (20 και 10 γύρους), την ίδια ώρα που το όχημα χρησιμοποιούσε τις φωτοβολταϊκές κυψέλες εξακολουθούσε να διανύει τμήματα 40 γύρων ακολουθούμενα από τμήμα 30 γύρων και έπειτα να πέφτει η απόδοση του διανύοντας τμήματα λιγοστών γύρων.



Σχήμα 5.3 Χρονική διάρκεια τέλεσης του συνόλου των γύρων.

Από το δεύτερο γράφημα γίνεται αντιληπτή η διαφορά στη συνολική χρονική διάρκεια κίνησης του οχήματος για τις δύο περιπτώσεις. Επίσης γίνεται αντιληπτό ότι μετά τους πρώτους 160 γύρους το όχημα όταν χρησιμοποιούσε τις φωτοβολταϊκές κυψέλες είχε την ικανότητα να διανύει πιο σύντομα χρονικά αντίστοιχη απόσταση σε σχέση με το όχημα όταν δεν χρησιμοποιούσε τις φωτοβολταϊκές κυψέλες.

### 5.3 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία μελέτη σε υποκλίμακα και με τις ανάλογες τροποποιήσεις μπορεί να εξελιχθεί σε μια νέα μελέτη που θα έχει σαν αντικείμενο την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών κυψελών σε κάποιο συγκεκριμένο ηλεκτρικό όχημα ευρείας παραγωγής.

Επίσης η εργασία ανέδειξε κάποια σημεία τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Τα στοιχεία που μπορεί να αποτελέσουν στόχο μελλοντικής εργασίας είναι:

Η βελτιστοποίηση του βαθμού απόδοσης της φωτοβολταϊκής μονάδας μέσω κάποιων παραγόντων όπως:

- Ο συντελεστής γήρανσης του φ/β στοιχείου: τα φ/β στοιχεία με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν σημάδια φθοράς, τα οποία οδηγούν σε ελάττωση της συνολικής τους ισχύος. Τα σύγχρονα φ/β πλαίσια έχουν ένα βαθμό μείωσης της απόδοσης τους της τάξης του 0,8% ετησίως (οι κατασκευαστές δηλώνουν ότι εξασφαλίζουν το 80% της αποδοτικότητάς τους μετά την παρέλευση 25ετίας).
  - Οπτικές ενεργειακές απώλειες: οι οπτικές απώλειες οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:
    - α) η διαφοροποίηση ανακλαστικότητας του φ/β πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε εργαστηριακές συνθήκες ελέγχου, με μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών ~3%,
    - β) οι απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μέση ετήσια απώλεια ~2%,
    - γ) η καθαρότητα του πλαισίου με ~1,5% μέση ετήσια απώλεια. Ένας αντιπροσωπευτικός μέσος ετήσιος συντελεστής οπτικών απωλειών κυμαίνεται ανάλογα με την καθαρότητα της επιφάνειας του φ/β πλαισίου από 7%~10%.
  - Γωνία: Είναι απαραίτητη η τοποθέτηση συλλεκτών στην κατάλληλη γωνία σύμφωνα με την γωνία πρόσπτωσης του φωτός.
  - Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας: Αυξανόμενη της ηλιακής έντασης έχουμε γραμμική αύξηση του παραγομένου φωτορεύματος και λογαριθμική αύξηση της τάσης της ανοικτοκυκλωμένης φ/β κυψέλης.
- Η ενδελεχή μελέτη της περίπτωσης εφαρμογής των φωτοβολταϊκών κυψελών σε παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους με την προϋπόθεση ότι η σύνδεση της νέας φωτοβολταϊκής μονάδας θα γίνει σε όχημα με διαφορετικά στοιχεία από το όχημα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Hybridkompendium\_1\_2006.pdf - «Hybrid Drive Systems for Vehicles».
- [2] Στέφανος Ν. Μανιάς “Ηλεκτρονικά Ισχύος” Συμewών, Έκτη έκδοση, 2007.
- [3] Optimized Photovoltaic Solar Charger With Voltage Maximum Power Point Tracking – Carlos Manuel Ferreira Santos (IST , 5-2122) – September 2008.
- [4] Batterycharacteristics.pdf.
- [5] Περιοδικό 4Τροχοί – Ένθετο «Electric vehicle».
- [6] Περιοδικό 4Τροχοί – Τεύχος Μάιος 2011.
- [7] Περιοδικό 4Τροχοί – Τεύχος Ιούλιος 2011.
- [8] Περιοδικό 4Τροχοί – Τεύχος Αύγουστος 2011.
- [9] Αθανάσιος Ν. Σαφάκας «Δυναμική Ηλεκτρομηχανικών Συστημάτων», Πανεπιστήμιο Πατρών, 1984.
- [10] Τσίτζουρας Νικόλαος «Σχεδιασμός Ηλεκτρικών Οχημάτων», Διπλωματική εργασία.
- [11] Χατζηδημητρίου Λένος «Σχεδίαση, Κατασκευή και Πειραματική Επιβεβαίωση Αντιστροφέα στο Σύστημα Ηλεκτρικής Κίνησης Πρότυπου Ηλεκτρικού Οχήματος », Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010.
- [12] <http://www.solarelectricalvehicles.com>
- [13] <http://en.wikipedia.org>
- [14] [http://www.greencarcongress.com/2005/02/epa\\_eaton\\_and\\_p.html](http://www.greencarcongress.com/2005/02/epa_eaton_and_p.html)
- [15] <http://www.hybridcars.com>
- [16] <http://auto.howstuffworks.com>
- [17] [www.toyota.co.jp](http://www.toyota.co.jp)
- [18] [www.123eng.com](http://www.123eng.com)
- [19] [http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2011/MpardiElson/document - 1305183962-401302-27709.tkl](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2011/MpardiElson/document-1305183962-401302-27709.tkl)
- [20] [http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE\\_What\\_is\\_MPPT.pdf](http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPPT.pdf)
- [21] <http://vivliothmmy.ee.auth.gr/224/1/M%CF%80%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%B7%CF%82-%CE%9B%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%B6%CE%B1%CF%82.pdf>
- [22] Hybrid Cars Newsletter: <http://www.hybridcars.com/>
- [23] <http://jkon.aeromodelling.gr/ninter-073b.htm>

**ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΝΙΟΣ – 2012**