

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ
ΜΙΚΡΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΗΣ**



**ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ Κ. ΤΣΑΚΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΡ. ΣΤΑΥΡΟΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΒΟΛΟΣ
ΙΟΥΛΙΟΣ 1999**

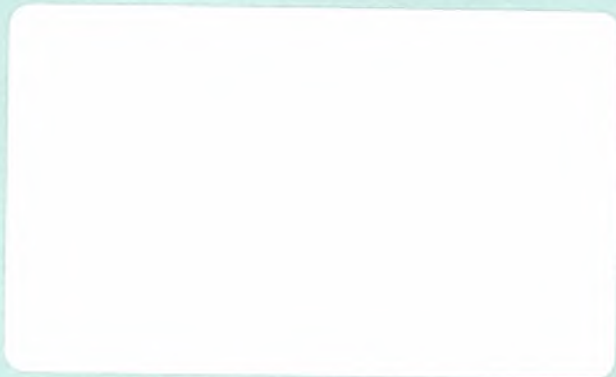


αρ. εισ 146 /π.Α.....



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2256/1
Ημερ. Εισ.: 01-09-1999
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
1999
ΤΣΑ



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Βόλος Ιούλιος 1999

Για την συγγραφή της διπλωματικής αυτής δαπάνησα πάρα πολλές ώρες μελέτης και έρευνας, γεγονός το οποίο με έκανε να συνειδητοποιήσω ότι το επάγγελμα του μηχανικού έχει πολύ υψηλές απαιτήσεις, ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Πέρα, όμως, από τις απαραίτητες επιστημονικές γνώσεις, το μηχανικό πρέπει να τον διακρίνει υψηλός δείκτης νοημοσύνης και να τον διακατέχει αίσθημα δικαίου, με σκοπό την ψυχική, πνευματική, ηθική, κοινωνική και επαγγελματική καταξίωση. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη διπλωματική ελπίζω να αποτελέσει το πρώτου βήμα για τη μετέπειτα εξέλιξή μου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με βοήθησαν τα χρόνια αυτά, τους καθηγητές μου κ.κ. Παπαδόπουλο Σταύρο, Κουμπουλή Φώτη και Σταματέλο Αναστάσιο για την πολύτιμη συνεισφορά τους στη διπλωματική μου, τους υπόλοιπους καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας για την προσφορά τους, τη θέληση αλλά και τη φιλική τους στάση απέναντί μου, τους φίλους και συμφοιτητές μου για τις ατέλειωτες ώρες συμπαραστάσης, το φίλο Χασιώτη Νικόλαο του οποίου η βοήθεια και οι συμβουλές αποδείχθηκαν σπουδαίες κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, το συμφοιτητή μου Μπεράτη Νικόλαο με τον οποίο μοχθήσαμε τις τελευταίες ώρες πριν την παράδοση του συγγράματος, αλλά ιδιαίτερα τους γονείς μου, οι οποίοι μόχθησαν πιο πολύ από όλους όλα αυτά τα χρόνια, ώστε να μην μου λείπει τίποτα απολύτως.

Θεμιστοκλής Κ. Τσάκος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα του ηλεκτρικού οχήματος απασχολεί αρκετά χρόνια την επιστημονική κοινότητα, αλλά και τους πολιτικούς και κοινωνικούς φορείς των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών, καθώς αποτελεί την πιο προσιτή λύση για τα προβλήματα των μεγαλουπόλεων.

Η συνεχώς αυξανόμενη περιβαλλοντική μόλυνση, σε συνδυασμό με την κχορύπανση και τα αυξημένα θερμοκρασιακά επίπεδα, καθιστούν επιτακτική την εφαρμογή άμεσων μέτρων, όπως η αξιοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων εντός αστικού περιβάλλοντος, με ταυτόχρονη εφαρμογή οικονομικών ελαφρύνσεων προς τους χρήστες αυτών των οχημάτων, ώστε να επιτευχθεί η ευρεία εξάπλωσή τους.

Η συγκεκριμένη διπλωματική ασχολείται με τις λύσεις στο χώρο της ηλεκτροκίνησης και κυρίως με τα βασικά στοιχεία της ηλεκτροκίνησης, όπως οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι συσσωρευτές και τα συστήματα ελέγχου των ηλεκτροκινήτρων. Οι προτεινόμενες λύσεις έχουν ως βασικό σκοπό το συνδυασμό όλων των παραμέτρων, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την τελική επιλογή του μηχανικού-κατασκευαστή. Ο οικονομικός παράγοντας αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της επιλογής του αγοραστή, για το λόγο αυτό η τελική επιλογή-συνδυασμός των συστημάτων που τελικά θα τοποθετηθούν στο όχημα στοχεύει στη μέγιστη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων του συστήματος κινητήρα-συσσωρευτών-ελέγχου με το ελάχιστο δυνατό κόστος μετατροπής.

Ο υπολογισμός της δαπανώμενης ενέργειας με βάση τον Ευρωπαϊκό Κύκλο Πόλεως αποτελεί μια καλή προσέγγιση των συνθηκών οδήγησης που αντιμετωπίζει κατά μέσο όρο ο ευρωπαίος οδηγός εντός αστικού περιβάλλοντος. Η επιλογή κινητήρα, συσσωρευτών και συστήματος ελέγχου έγινε με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας, γεγονός το οποίο παραπέμπει σε πραγματικές τιμές, όμοιες με αυτές που εφαρμόζονται στην πράξη. Τέλος, η παράθεση προτεινόμενων λύσεων των ειδικευμένων βιομηχανιών ηλεκτρικών οχημάτων στοχεύει στη σύγκριση της θεωρητικής μελέτης με τα πραγματικά δεδομένα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1-1
1.1 Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΜΙΚΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	1-1
1.2 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	1-2
1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	1-4
1.4 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ MENDRISIO	1-5
1.5 ΤΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ CALIFORNIA	1-8
1.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΞΑΓΓΛΩΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	1-10
1.7 ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ	1-11
2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	2-1
3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	3-1
3.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	3-1
3.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	3-2
3.3 ΕΠΑΝΑΚΤΩΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΔΗΣΗ	3-6
4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΕΩΣ	4-1
4.1 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	4-1
4.1.1 ΤΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΤΟΥΟΤΑ PRIUS (ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ THS)	4-1
4.2 ΧΡΗΣΗ ΚΥΨΕΛΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELLS) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	4-3
4.2.1 ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΩΣ (PAFC)	4-4
4.2.2 ΤΑ ΑΛΚΑΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ AFC	4-5
4.2.3 ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ PEMFC	4-5
4.2.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DIRECT METHANOL LIQUID-FEED FUELL CELL/PROTON EXCHANGE MEMBRANE	4-5
5. ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΕΩΣ	5-1
5.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	5-1
5.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	5-1
5.1.1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	5-2
5.1.1.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	5-4
5.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	5-5
5.1.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	5-7
5.1.3.1 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΟΗΣ B ΚΑΙ ΤΑΣΗ e	5-8
5.1.3.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ (SERIES)	5-9
5.1.3.3 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ (SHUNT)	5-12
5.1.3.4 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ	5-14
5.1.3.5 ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ	5-16
5.1.3.6 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΧΩΡΙΣ ΨΗΚΤΡΕΣ	5-16
5.1.4 ΕΠΑΓΩΓΙΚΕΣ (ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ) ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	5-17
5.1.4.1 ΟΛΙΣΘΗΣΗ	5-19
5.1.5 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ) ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	5-21
5.1.5.1 ΣΤΑΤΗΣ	5-21
5.1.5.2 ΡΟΤΟΡΑΣ	5-22
5.1.5.3 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΟΗΣ B ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΠΗΝΙΟΥ e	5-22
5.1.5.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	5-24
5.1.5.5 ΤΡΙΦΑΣΙΚΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	5-24
5.1.5.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ) ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	5-25
5.1.5.6.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΠΗ	5-26

5.1.6	ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ-ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ	5-26
5.2	ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ	5-35
5.2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5-35
5.2.2	ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	5-36
5.2.3	ΔΟΜΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	5-37
5.2.4	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ AGM (ABSORPTION GLASS MATERIAL)	5-38
5.2.5	ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΑ ΥΛΙΚΑ	5-39
5.2.6	ΥΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗΣ	5-40
5.2.7	ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ	5-41
5.2.7.1	ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	5-41
5.2.7.2	ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	5-41
5.2.8	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	5-42
5.2.8.1	ΕΞΑΤΜΙΣΗ	5-42
5.2.8.2	ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΠΛΑΚΩΝ	5-43
5.2.8.3	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (CAPACITY)	5-43
5.2.9	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	5-44
5.2.10	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	5-45
5.2.10.1	ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΡΕΥΜΑ	5-47
5.2.10.2	ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΗ ΤΑΣΗ	5-48
5.2.10.3	ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΟ ΜΙΚΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	5-48
5.2.10.4	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	5-50
5.2.10.5	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ	5-52
5.2.10.6	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ	5-52
5.2.10.7	ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ	5-54
5.2.10.8	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	5-54
5.2.10.9	ΦΟΡΤΙΣΗ-ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑ	5-55
5.2.10.10	ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ	5-56
5.2.11	ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	5-57
5.2.12	ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΛΥΣΕΙΣ	5-59
5.2.13	ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	5-64
5.3	ΕΛΕΓΧΟΣ AC ΚΑΙ DC ΜΗΧΑΝΩΝ	5-66
5.3.1	ΕΛΕΓΧΟΣ DC ΜΗΧΑΝΩΝ	5-66
5.3.1.1	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΕΔΙΟΥ	5-66
5.3.1.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	5-66
5.3.1.3	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ SHUNT ΟΠΛΙΣΜΟΥ	5-67
5.3.1.4	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	5-67
5.3.2	ΕΛΕΓΧΟΣ AC ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	5-69
5.3.2.1	ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΠΟΛΩΝ	5-71
5.3.2.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	5-71
5.3.2.3	ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ	5-72
5.3.2.4	ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΤΟΡΑ	5-72
5.3.2.5	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	5-73
5.3.3	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	5-73
5.3.3.1	SOLID STATE AC DRIVE INVERTERS	5-73
5.3.3.1.1	ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟ BRIDGE INVERTER	5-75
5.3.3.1.2	ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ INVERTER	5-76
5.3.3.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ INVERTER	5-78
5.3.3.2.1	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ INVERTER	5-83
5.3.3.3	ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	5-83
5.3.4	ΤΟ STATIC CONVERTER ΩΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΩΝ DC	5-85
6.	ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	6-1
6.1	ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ	6-1
6.2	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	6-4
6.2.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ	6-5
6.2.2	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ	6-6
6.3	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	6-7

6.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	6-9
6.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ	6-9
6.6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ	6-13
6.7	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ	6-16
7.	ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	7-1
7.1	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	7-1
7.2	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	7-3
7.3	ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ	7-9
7.4	ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	7-9
7.4.1	ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	7-10
7.4.2	ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	7-13
7.5	ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	7-15
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	8-1

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Λατινικοί χαρακτήρες

B	η πυκνότητα του μαγνητικού πεδίου
C_w	ο συντελεστής αεροδυναμικής
E	η τάση επαγωγής
e_i	συντελεστής κατανομής μάζας για κάθε ταχύτητα του συστήματος
F	η αναπτυσσόμενη δύναμη εντός μαγνητικού πεδίου
F_a	η αδράνεια κίνησης
F_g	η συνολική δύναμη αντιστάσεων στο όχημα
F_K	η αντίσταση κλίσης του οδοστρώματος
F_L	η αεροδυναμική αντίσταση του οχήματος
f_o	συχνότητα εξόδου
F_R	η αντίσταση κύλισης του τροχού
F_z	η ελκτική δύναμη
f_2	η συχνότητα ολίσθησης
F_r	ΜΕΔ του δρομέα
g	η επιτάχυνση της βαρύτητας
I	το ρεύμα του αγωγού
i_g	η σχέση μετάδοσης του διαφορικού
i_D	η σχέση μετάδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων
K	σταθερά
K_R	ο συντελεστής κύλισης
L	το μήκος του αγωγού
M	modulation index
m_F	η μάζα του οχήματος
m_L	η μάζα του φορτίου
m_M	η ροπή του κινητήρα
N	ο αριθμός των παλμών ανά ήμισο κύκλο
n	ο αριθμός των κελιών του συσσωρευτή
N_e	ο αριθμός των ηλεκτρονίων
n_o	ο μηχανικός βαθμός απόδοσης
n_1	η σύγχρονη ταχύτητα

P	η ισχύς του οχήματος
P	ο αριθμός πόλων
Q	το ηλεκτρικό φορτίο
q	ο αριθμός των παλμών στην περίοδο 60°
R	η αντίσταση του οπλισμού
R'	η αντίσταση του πεδίου
r	η ακτίνα περιστροφής
R_i	σταθερά από πίνακα δεδομένων της κατασκευάστριας εταιρίας
r_d	η ακτίνα του τροχού
S	η περιστροφική ταχύτητα κινητήρα
s	η ολίσθηση
U	η ταχύτητα του οχήματος
V	το δυναμικό του στοιχείου
V_o	η rms τάση εξόδου
W_a	η ενέργεια λόγω αδράνειας
$W_{\text{ανακτώμενη}}$	η ανακτώμενη ενέργεια κατά την πέδηση
W_g	η συνολική δαπανώμενη ενέργεια κίνησης
W_L	η ενέργεια λόγω αεροδυναμικών αντιστάσεων
W_R	η ενέργεια κύλισης

Ελληνικοί χαρακτήρες

A	η μετωπική επιφάνεια του οχήματος
A_c	το πλάτος τριγωνικού παλμού
A_r	το πλάτος ορθογωνικού παλμού
δ	το εύρος παλμού
δ_m	το εύρος του m παλμού
ρ_L	η πυκνότητα του αέρα
δ_r	η γωνία μεταξύ πεδίου στάτη και ρότορα
M	η μάζα των γραμμομορίων των αντιδρώντων μερών
$\Pi.E.$	η πυκνότητα ενέργειας του συσσωρευτή
Φ	η μαγνητική ροή
Φ_{sr}	η συνιστάμενη ροή στο διάκενο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΜΙΚΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη τάση της βιομηχανίας να επενδύει στην έρευνα της ηλεκτροκίνησης. Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα μεγάλων αυτοκινητοβιομηχανιών, οι οποίες ήδη παράγουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα, σε πιλοτική κλίμακα, με σκοπό την εξέλιξή τους (όσον αφορά τις τεχνολογικές λύσεις που χρησιμοποιούν) αλλά και την ελάττωση του κόστους αυτών.



Σχήμα 1.1 Τύπος ηλεκτρικού οχήματος. [1]

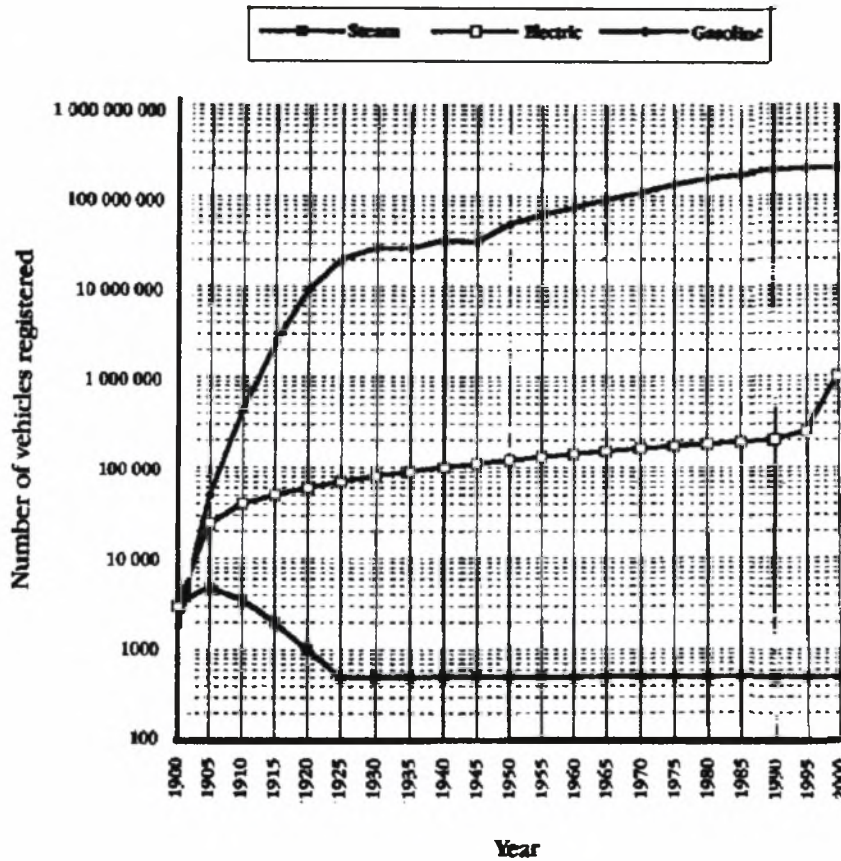
Μικρότερες βιομηχανίες έχουν εξελίξει μοντέλα, τα οποία αναφέρονται κυρίως σε ειδικές κατηγορίες της αγοράς (όπως μικρά αυτοκίνητα για μετακινήσεις εντός πόλης, δίτροχες ή τρίτροχες μηχανές και ποδήλατα, οχήματα για μεταφορά ατόμων και αντικειμένων σε γήπεδα, βιομηχανίες, αεροδρόμια κ.λ.π.).

Οι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν τη βιομηχανία προς την κατεύθυνση αυτή είναι κυρίως περιβαλλοντικοί, καθώς και το **χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης** (αλλά πολύ υψηλή τιμή προς το παρόν), αλλά το βασικό του πλεονέκτημα είναι οι **μηδανιές εκπομπές ρύπων**. Χαρακτηριστικό είναι μάλιστα το παράδειγμα πολλών πόλεων, κυρίως στην Ελβετία, Ιταλία και Αμερική, οι οποίες μη μπορώντας να ανταπεξέλθουν στη συνεχώς αυξανόμενη μόλυνση του αέρα από τους ρύπους των οχημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης, **επέβαλαν με νομοθετικά μέτρα τη χρήση οχημάτων φιλικών προς το περιβάλλον**. Η ιδανική λύση για τη μετακίνηση εντός των πόλεων αυτών αποδείχθηκε το ηλεκτροκίνητο όχημα.

Ήδη στους καταλόγους των εταιριών οχημάτων έχουν προστεθεί τα ηλεκτροκίνητα μοντέλα τους, όπως επίσης έχουν θεσμοθετηθεί αγώνες, επιδείξεις και εκθέσεις παρουσιάσεων των νέων οχημάτων αυτού του τύπου. Το ηλεκτρικό όχημα αποτελεί μια από τις πιο ενδεδειγμένες λύσεις του μέλλοντος, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μόλυνση του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τα προβλήματα οικονομικής φύσης που προκύπτουν συνεχώς λόγω της χρήσης πετρελαίου επιβάλλουν δραστικές αποφάσεις τόσο από τις κυβερνήσεις και τη βιομηχανία όσο και από τον καταναλωτή.

Το ακόλουθο Σχήμα (1.2) παρουσιάζει τις πωλήσεις τριών τύπων οχημάτων (ηλεκτρικό, ΜΕΚ, ατμός) κατά τα τελευταία 100 χρόνια, σε μια βιομηχανικώς ανεπτυγμένη χώρα όπως οι ΗΠΑ. Από το σχήμα γίνεται εμφανές ότι ο τρίτος τύπος οχήματος (ατμοκίνητο) ουσιαστικά έχει εξαλειφθεί από την αγορά, ενώ το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο όχημα είναι το βενζινοκίνητο. Το ηλεκτρικό όχημα παρουσιάζει σταθερό αριθμό πωλήσεων, αλλά εμφανίζεται (ή ακόμα και υπολογίζεται) μια αυξητική τάση προς το τέλος του αιώνα. Ειδικοί αναλυτές

υποστηρίζουν ότι η τάση αυτή θα είναι ακόμα μεγαλύτερη με τον ερχομό της νέας χιλιετίας, βασιζόμενοι στο γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα θα μετατραπούν ώστε να γίνεται παράλληλη χρήση Η/Κ και ΜΕΚ (υβριδικά οχήματα).



Σχήμα 1. 2 Πωλήσεις οχημάτων τα τελευταία 100 χρόνια στις ΗΠΑ. [2]

1.2 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το αυξημένο ενδιαφέρον που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στον τομέα της ηλεκτροκίνησης συνδέεται στενά με τη νομοθεσία της California, γύρω στο 1990. Η απαίτηση για μηδενικούς ρύπους ουσιαστικά αποκλείει κάθε άλλο είδος οχήματος εκτός από το ηλεκτροκίνητο. Στην Ευρώπη, οι εκπομπές ρύπων σε αστικό περιβάλλον θεωρούνται επικίνδυνες, ενώ αντίθετα οι ρύποι στα περίχωρα της πόλης καθώς και στις αγροτικές περιοχές θεωρούνται ως λιγότερο επικίνδυνοι. Στην Ιαπωνία, ο λόγος ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης βασίζεται στο γεγονός ότι επιδιώκεται η ανεξάρτηση από το πετρέλαιο και τα παράγωγά του, οπότε οποιαδήποτε τεχνολογία η οποία μπορεί να συνεισφέρει στην κατεύθυνση αυτή είναι ευπρόσδεκτη. Την ίδια στιγμή, οι αστικές περιοχές στην Ιαπωνία καταλαμβάνουν τεράστιες περιοχές, οπότε οποιαδήποτε νομοθεσία δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο για το κέντρο της πόλης, αλλά για ολόκληρη την περιφέρεια.

Οι μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενες μηχανές εσωτερικής καύσης των οχημάτων προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα, τα οποία μπορούν να συνοψιστούν στο Σχήμα (1.3).



Σχήμα 1.3 Περιβαλλοντικά προβλήματα οχημάτων που κινούνται με τη χρήση ΜΕΚ.

Αντίθετα, ένα ηλεκτροκίνητο όχημα παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το περιβάλλον, τα οποία παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα (1.4).



Σχήμα 1.4 Συνεισφορά των Η/Κ οχημάτων στο περιβάλλον.

1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ο τρόπος λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών και των ΜΕΚ χαρακτηρίζεται από εντελώς διαφορετικές αρχές, γεγονός το οποίο προσδίδει εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά στον κάθε τύπο.

Η **μηχανή κίνησης καύσης** χαρακτηρίζεται από **καλύτερες επιδόσεις** και **μεγάλη αυτονομία** σε σχέση με τον ηλεκτροκινητήρα, δυο χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν και το βασικότερο λόγο εξάπλωσης του ΜΕΚ.

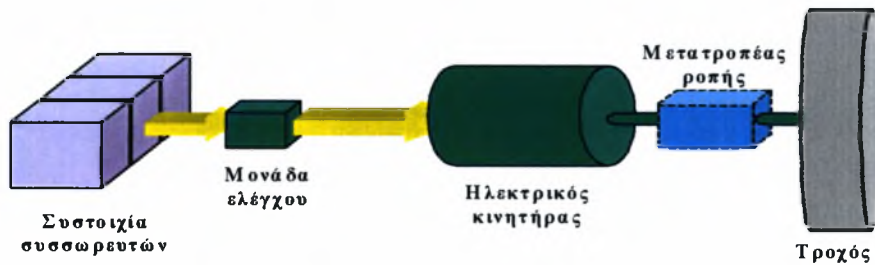
Αντίθετα ο **ηλεκτροκινητήρας** εμφανίζει **μηδενικές εκπομπές ρύπων**, **ελάχιστο θόρυβο** συγκρινόμενος με τη ΜΕΚ και **πολύ υψηλότερο βαθμό απόδοσης**.

Η πολυπλοκότητα ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης έγκειται στο γεγονός ότι αποτελείται από πολλά επιμέρους κινούμενα μέλη, τα οποία με τη συνεχή τριβή φθείρονται, παρουσιάζουν αυξημένες απώλειες σε θερμότητα, που αυξάνουν την κατανάλωση και απαιτούν περιοδική και τακτική συντήρηση. Αντίθετα, ένας **ηλεκτροκινητήρας** αποτελείται μόλις από ένα κινούμενο μέλος (το ρότορα) και για το λόγο αυτό εμφανίζει **πολύ λιγότερες απώλειες** άρα και **πολύ υψηλότερο βαθμό απόδοσης**.

Οχήματα που κινούνται με τη βοήθεια ΜΕΚ χρησιμοποιούν ως καύσιμο βενζίνη ή πετρέλαιο (αν και τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει και την εμφάνισή τους ΜΕΚ με καύσιμο φυσικό αέριο), το οποίο το αποθηκεύουν σε κατάλληλες δεξαμενές. Αντίθετα, ένα ηλεκτροκίνητο όχημα χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις σε κατάλληλους συσσωρευτές (μπαταρίες) ή fuel cells. Κατάλληλες συσκευές ελέγχου, ελέγχουν το ρεύμα που πηγάζει στον κινητήρα, και συνεπώς και την κίνηση του οχήματος.

Η μετατροπή συμβατικού οχήματος σε ηλεκτροκίνητο απαιτεί την αφαίρεση όλων των εξαρτημάτων που σχετίζονται με τη μηχανή εσωτερικής καύσης. Η αφαίρεση, λοιπόν, της μηχανής, του συστήματος καυσίμου, του συστήματος απαγωγής και των λοιπών συστημάτων προκαλεί μείωση του συνολικού βάρους η οποία, όμως, είναι μικρότερη από την αύξηση του βάρους λόγω της τοποθέτησης του Η/Κ, των συσσωρευτών, του ελεγκτή και του φορτιστή. Η μετατροπή απαιτεί προσεκτικούς χειρισμούς από την πλευρά του μηχανικού, καθώς **δεν πρέπει να μεταβληθεί σημαντικά η κατανομή του βάρους στους άξονες των τροχών**. Σε τέτοια περίπτωση, θα μεταβληθεί σημαντικά το κέντρο βάρους του οχήματος, με αποτέλεσμα την απώλεια της δύναμης πρόσφυσης και τελικά την απώλεια του ελέγχου του οχήματος. Βέβαια, η μετατροπή μειώνει σημαντικά το ωφέλιμο φορτίο, περιορίζοντας σημαντικά τις δυνατότητες χρήσης του.

Η βασική δομή ενός ηλεκτρικού οχήματος παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα (1.5).



Σχήμα 1.5 Βασική δομή ηλεκτροκίνητου οχήματος.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του Η/Κ, είτε πρόκειται για συνεχούς είτε για εναλλασσομένου ρεύματος, διαφέρουν από τα χαρακτηριστικά μιας ΜΕΚ. Οι καμπύλες λειτουργίας του Η/Κ προσδίδουν εντελώς διαφορετικό χαρακτήρα στο όχημα, γεγονός το οποίο καθιστά την οδήγηση αλλά και τη γενικότερη συμπεριφορά προς το όχημα ξένη προς το μέσο οδηγό. Για το λόγο αυτό, ο οδηγός πρέπει να γνωρίζει τα βασικά σημεία στα οποία θα δώσει προσοχή, ώστε η χρήση του ηλεκτρικού οχήματος να αποδώσει τα μέγιστα. Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να τονιστεί ότι το ηλεκτρικό όχημα δεν προσφέρεται για οδήγηση με απότομες επιταχύνσεις, καθώς η απότομη αποφόρτιση των συσσωρευτών λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε ρεύμα προκαλεί πρόωρη καταστροφή τους. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι η επαναφόρτιση των συσσωρευτών υπολογίζεται να πραγματοποιείται έναν καθορισμένο αριθμό κάθε ημέρα, μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία των υπολογισμών και τελικά το όχημα να μην μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις για τις οποίες αποκτήθηκε.

1.3 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ MENDRISIO



Σχήμα 1.6 Η περιοχή Mendrisio. [3]

Το Mendrisio είναι μια μικρή πόλη της Ελβετίας (23 km μακριά από το Varese) με πληθυσμό γύρω στις 6.500 κατοίκους. Το 1994 επιλέχθηκε από το Ομοσπονδιακό Γρα-φείο Ενέργειας ως η καταλληλότερη πόλη για την εφαρμογή ενός πιλο-τικού προγράμματος, το οποίο θα αφορούσε τις δυνατότητες που πα-ρουσιάζονται σε μια μικρή πόλη από τη χρήση ενός μεγάλου στόλου μικρών ηλεκτροκίνητων οχημάτων (LEV - Lightweight Electric Vehicles).

Το πρόγραμμα επεδίωκε, μέσα από κατάλληλη χρηματοδότηση, την κυκλοφορία στόλου 350 Η/Κ οχημάτων μέχρι τα μέσα του 2001, αριθμός ο οποίος αντιστοιχούσε σε ποσοστό 8% των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης. Το ίδιο πρόγραμμα επιδιώκει ποσοστό της τάξης του 8% σε ολόκληρη την Ελβετία, μέχρι το διάστημα 2010.

Η μελέτη έχει ως στόχο την εφαρμογή δοκιμασμένων λύσεων στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, οι οποίες θα αποδείξουν στο ευρύ καταναλωτικό κοινό αλλά και στην πολιτική ηγεσία ότι:

- Τα ηλεκτρικά οχήματα συμφέρουν για την καθημερινή αστική μετακίνηση
- Αποτελούν ένα βήμα προόδου στον τομέα της περιβαλλοντικής προστασίας
- Μπορούν να καθορισθούν μέτρα προώθησης και τρόποι χορηγιών για την εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης

Κατά τα τέλη του 1997 82 Η/Κ οχήματα είχαν ήδη πωληθεί, ενώ τα 32 από αυτά χρησιμοποιήθηκαν για ιδιωτικούς σκοπούς. Η επίτευξη του σκοπού των 350 οχημάτων θα γίνει ευκολότερη με τη μείωση του κόστους των οχημάτων. Στατιστικές που πραγματοποιήθηκαν στην πόλη αυτή έδειξαν το μεγάλο ενδιαφέρον του καταναλωτικού κοινού (**85% των κατοίκων** συμφώνησαν ότι **πρέπει να γίνει ευρύτερη χρήση των Η/Κ οχημάτων** για τη μείωση των ρύπων) αλλά αποδείχθηκε, επίσης, και η **δυσπιστία των αγοραστών**, η οποία οφείλεται στα λειτουργικά προβλήματα των ηλεκτρικών οχημάτων (φόρτιση συσσωρευτών, κόστος, αυτονομία). Το **80% των κατοίκων** συμφώνησαν ότι **θα αγοράσουν Η/Κ όχημα μόνο με τη βοήθεια κατάλληλων οικονομικών μέτρων**.

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκαν τα ελαφρά (lightweight) οχήματα στο πρόγραμμα (πέρα από τους καθαρά λειτουργικούς που αφορούν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας) οφείλεται στο γεγονός ότι στατιστικές μελέτες απέδειξαν ότι σε αριθμό 3000 οχημάτων πάνω από το 20% χρησιμοποιείται για ταξίδια μικρότερα των 100 Km. Το ποσοστό αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως θεωρητική βάση για την εξάπλωση του ηλεκτρικού οχήματος ως δεύτερο όχημα μιας οικογένειας.

Αρκετοί κατασκευαστές οχημάτων επιδόθηκαν στην προώθηση των ηλεκτροκίνητων προϊόντων τους, κάνοντας εμφανές ότι η βιομηχανία έχει τις κατάλληλες προτάσεις όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση. Τα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζουν μερικά από τα μοντέλα των εταιριών αυτών και των αριθμό των πωλήσεων που πραγματοποίησαν, μέχρι τον Ιούλιο του 1997 στην περιοχή Mendrisio. [3]



Peugeot 106	
Αρ. θέσεων	4
Τύπος μπαταρίας	Nickel-cadmium
Αυτομία	80 km
Μέγ. Ταχύτητα	91 km/h
Κατανάλωση	17,1 kWh/100 km



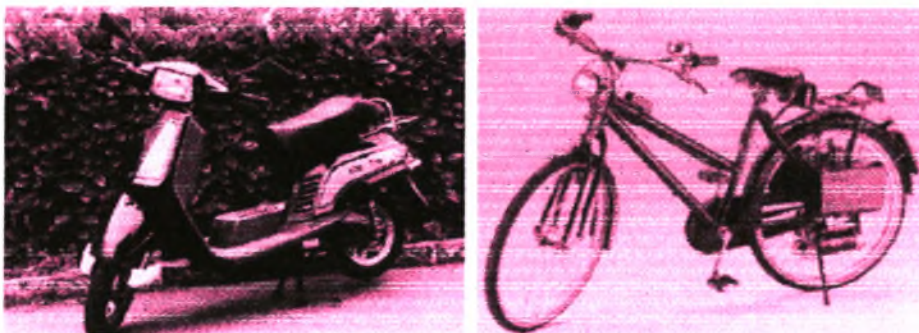
Renault Clio		Citroen AX	
Αρ. θέσεων	4	Αρ. θέσεων	4
Τύπος μπαταρίας	Nickel-cadmium	Τύπος μπαταρίας	Nickel-cadmium
Αυτονομία	95 km	Αυτονομία	80 km
Μέγ. Ταχύτητα	95 km/h	Μέγ. Ταχύτητα	91 km/h
Κατανάλωση	19,4 kWh/100 km	Κατανάλωση	17,8 kWh/100 km



Fiat Panda eletra		VW Golf Citystromer	
Αρ. θέσεων	2	Αρ. θέσεων	4
Τύπος μπαταρίας	Lead gel	Τύπος μπαταρίας	Lead gel
Αυτονομία	60 km	Αυτονομία	50-90 km
Μέγ. Ταχύτητα	70 km/h	Μέγ. Ταχύτητα	100 km/h
Κατανάλωση	23,0 kWh/100 km	Κατανάλωση	20,8 kWh/100 km



Ambra		Kewet EL-JET 4	
Αρ. θέσεων	2	Αρ. θέσεων	2
Τύπος μπαταρίας	Lead gel	Τύπος μπαταρίας	Lead gel
Αυτονομία	60-80 km	Αυτονομία	50-80 km
Μέγ. Ταχύτητα	100 km/h	Μέγ. Ταχύτητα	80 km/h
Κατανάλωση	14,9 kWh/100 km	Κατανάλωση	16,7 kWh/100 km



Elektra		Pizeta Scoiattolo	
Αρ. θέσεων	1	Αρ. θέσεων	1
Τύπος μπαταρίας	Lead	Τύπος μπαταρίας	Lead
Αυτονομία	40-60 km	Αυτονομία	40 km
Μέγ. Ταχύτητα	40 km/h	Μέγ. Ταχύτητα	20 km/h
Κατανάλωση	No data supplied	Κατανάλωση	No data supplied

Στόχος του προγράμματος πλέον είναι η επίτευξη των 350 πωλήσεων (8% των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης) μέχρι το 2001, κάτι που θα πραγματοποιηθεί με τη συνεισφορά όλων των αρμόδιων φορέων.

1.5 ΤΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ CALIFORNIA

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα της California είναι το μεγαλύτερο στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Πολύ συχνά, στις μεγάλες πόλεις της California (Los Angeles, San Francisco, Sacramento, San Diego) οι τιμές των ρύπων υπερβαίνουν τόσο τα όρια των πολιτειών όσο και τα εθνικά όρια των ΗΠΑ. Ειδικά στο Los Angeles το πρόβλημα παρουσιάζεται διευρυμένο, αν και τις τελευταίες δεκαετίες οι ρύποι μειώθηκαν, έπειτα από νομοθετικά μέτρα τα οποία αφορούσαν τόσο τις κινητές όσο και τις σταθερές πηγές ρύπανσης.

Ανάμεσα στο 1980 και το 1991 η μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα έφτασε το 30 με 45 %. Η πώση αυτή δεν ήταν αρκετή για την υγεία των κατοίκων, για το λόγο αυτό το συμβούλιο περιβάλλοντος επεδίωξε περαιτέρω μείωση των αέριων ρύπων και των μικροσωματιδίων. Εφαρμόστηκε το μέτρο των χαμηλών ρύπων (low emission vehicle – LEV), το οποίο απαιτούσε από το 1998 ένα ποσοστό των οχημάτων να είναι μηδενικών ρύπων (Zero Emission Vehicle – ZEV).

Εως σήμερα, τα μόνα οχήματα που καλύπτουν τις ZEV προδιαγραφές είναι τα ηλεκτρικά οχήματα, αν και τα υβριδικά οχήματα μπορούν και αυτά να συμπεριληφθούν στο οικολογικό πρόγραμμα.

Το 1990 υιοθετήθηκαν αναλυτικές νομοθεσίες σχετικά με τους ρύπους των οχημάτων. Με βάση τη νομοθεσία αυτή, οι κατασκευαστές των οχημάτων θα αντιμετωπίσουν πολύ αυστηρά πλαίσια σχετικά με μη-μεθανιούχα οργανικά αέρια (NMOG – non-methane organic gas), χαμηλότερα NO_x και CO. Για να επιτευχθούν οι μέσες NMOG προδιαγραφές, οι κατασκευαστές μπορούν να κατασκευάσουν οχήματα μεταβατικών χαμηλών ρύπων (TLEV), χαμηλών ρύπων (LEV), υπερ-χαμηλών ρύπων (ULEV) και μηδενικών ρύπων (ZEV).

Οι προδιαγραφές της κάθε κατηγορίας παρουσιάζονται στον Πίνακα (1.1).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ gr/mile		
	NMOG	NO _x	CO
TLEV	0,125	0,4	3,4
LEV	0,075	0,2	3,4
ULEV	0,04	0,2	1,7
ZEV	0	0	0

Πίνακας 1. 1 Προδιαγραφές εκπομπής ρύπων στην California.

Μέχρι το καλοκαίρι του 1993 15 μοντέλα κάλυπταν τις προδιαγραφές TLEV, ενώ μόνο ένα τις LEV.

Ο Πίνακας (1.2) παρουσιάζει τις μέσες τιμές (και των τεσσάρων τύπων οχημάτων) που πρέπει να καλύπτουν οι κατασκευαστές σε NMOG ρύπους.

Έτος	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ NMOG ΡΥΠΩΝ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΤΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ σε gr/mile
1994	0,250
1995	0,231
1996	0,225
1997	0,202
1998	0,157
1999	0,113
2000	0,073
2001	0,070
2002	0,068
2003 και μετά	0,062

Πίνακας 1. 2 Μέσες τιμές ρύπων των οχημάτων για κάθε έτος.

Στους κατασκευαστές επιβάλλεται μέσω της νομοθεσίας η παραγωγή και διάθεση στην αγορά ποσοστού ZEV από το 1998 και μετά σύμφωνα με τον Πίνακα (1.3).

Έτος	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΕΠΙ ΤΩΝ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ZEV ΟΧΗΜΑΤΩΝ
1998	2%
1999	2%
2000	2%
2001	5%
2002	5%
2003 και μετά	10%

Πίνακας 1. 3 Ποσοστό πωλήσεων οχημάτων μηδενικών ρύπων.

Η τεχνολογία του ηλεκτρικού οχήματος είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην California. Το μόνο που απομένει είναι η εξέλιξη των παραγόντων εκείνων που έχουν μείνει σχετικά «πίσω» στον τομέα αυτό, όπως οι συσσωρευτές. Οι συσσωρευτές αποτελούν ίσως τη μοναδική αιτία για την οποία τα οχήματα δεν μπορούν να αναπτύξουν υψηλές ταχύτητες και μεγάλη αυτονομία. Νέες τεχνολογίες έχουν ήδη εισαχθεί στην αγορά και άλλες βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της εξέλιξης, σε λίγα χρόνια, όμως, ίσως να είναι δυνατή η αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων όχι μόνο στην California αλλά και σε άλλες πόλεις του πλανήτη.

1.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το βασικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η επιλογή της ηλεκτροκίνησης είναι το **αυξημένο κόστος κατασκευής**. Το κόστος αυτό κυμαίνεται **από 2 έως 5 φορές ψηλότερα από ένα συμβατικό όχημα**. Βέβαια, το **κόστος λειτουργίας και συντήρησης** του οχήματος είναι **σημαντικά μικρότερο** από ένα βενζινοκίνητο, καθώς δεν υπάρχουν κινούμενα μέλη τα οποία απαιτούν τακτική συντήρηση ή ακόμα και αντικατάσταση (κλασσικό παράδειγμα τα φίλτρα λαδιού, ο καταλυτικός μετατροπέας και άλλες συσκευές).

Την ίδια στιγμή, προβλήματα όπως **αυτονομία και επιδόσεις** δυσχεραίνουν τις επιλογές του καταναλωτικού κοινού, αφού οι απαιτήσεις για γρηγορότερα οχήματα με μεγαλύτερη αυτονομία όλο και αυξάνονται. Οι συσσωρευτές αποτελούν το μεγαλύτερο μειονέκτημα, καθώς προσφέρουν **πολύ χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας από την κοινή βενζίνη**. Χαρακτηριστικό είναι ότι ένας τυπικός συσσωρευτής μολύβδου-οξέως έχει σήμερα πυκνότητα 30-35 Wh/Kgr, την ίδια στιγμή που η βενζίνη έχει πυκνότητα κάτι λιγότερο από 12000 Wh-Kgr, αν συνυπολογίσουμε και το βάρος (του απαραίτητου για τη φύλαξη) ρεζερβουάρ.

Επίσης, ο **ανεφοδιασμός** ενός ηλεκτρικού οχήματος διαρκεί κάποιες ώρες ενώ αντίθετα του βενζινοκίνητου μόλις λίγα λεπτά. Η φόρτιση των συσσωρευτών πρέπει να λαμβάνει χώρα με αργούς ρυθμούς, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση καθώς και η έκλυση αερίων. Ακόμα, η αντικατάσταση ή έστω **τοποθέτηση φορτιστών** συσσωρευτών στους σταθμούς ανεφοδιασμού αποτελεί για τα ελληνικά (αλλά και παγκόσμια) δεδομένα μια οικονομικά δαπανηρή και ριψοκίνδυνη ενέργεια, καθώς λίγοι είναι αυτοί που θα εμπιστευτούν στο άμεσο μέλλον τις μετακινήσεις τους σε ηλεκτρικό όχημα. Παρόλα αυτά, **η αντικατάσταση των συσσωρευτών** η οποία απαιτείται μετά από συγκεκριμένο αριθμό φορτίσεων-αποφορτίσεων **δεν αποτελεί ιδιαίτερο μειονέκτημα** (ως προς το κόστος αλλά και το χρόνο που αφορά τη συντήρηση), καθώς η αντικατάσταση του ΜΕΚ ήδη έχει απεξαρτήσει τον οδηγό από σημαντικές απώλειες σε χρόνο, κόπο και χρήματα.

Προβλήματα όπως **ασφάλεια** του οχήματος καθώς και **οδική συμπεριφορά** λόγω της ιδιομορφίας που επιβάλλουν οι συσσωρευτές στην κατασκευή **δεν πρέπει να απασχολούν ιδιαίτερα** τον αγοραστή ή ακόμα και τον κατασκευαστή, καθώς έχουν ήδη εφαρμοστεί λύσεις με πολύ καλά αποτελέσματα, τόσο σε οχήματα μαζικής παραγωγής όσο και σε οχήματα ειδικών εφαρμογών.

Οι προτάσεις των ειδικών σχετικά με την ευκολότερη εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων βασίζονται κυρίως σε οικονομικά κριτήρια, θέτοντας ως απαραίτητη προϋπόθεση τη μαζική παραγωγή Η/Κ οχημάτων, ώστε να μειωθεί το κόστος της κατασκευής σε λογικά για τον πελάτη επίπεδα. Την ίδια στιγμή, απαιτείται ακόμα εντονότερη και βαθύτερη έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών, ώστε να γίνει μεγαλύτερη προσέγγιση τιμών πυκνότητας ενέργειας προς τις αντίστοιχες τιμές της βενζίνης. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει δαπάνη χρημάτων από τις εταιρίες, οι οποίες θα πρέπει να επενδύσουν σε πεδία με αμφίβολη αποτελεσματικότητα και μέλλον.

1.3 ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ

Οι σημερινές προτάσεις των βιομηχανιών όσον αφορά τα μικρά οχήματα πόλης είναι αρκετές και πολλές από αυτές έχουν βρει ικανοποιητική ανταπόκριση από το καταναλωτικό κοινό. Πολλές από τα οχήματα αυτά προϋπήρχαν ως βενζινοκίνητα και οι εταιρίες επέλεξαν την κατασκευή και της ηλεκτροκίνητης έκδοσης, ενώ άλλα μοντέλα εξελίχθηκαν ειδικά για να καλύψουν τις συγκεκριμένες απαιτήσεις ενός ηλεκτρικού οχήματος.

Η ιταλική βιομηχανία PIAGGIO έχει ήδη λανσάρει στην αγορά την ηλεκτρική έκδοση του οχήματος APE, ενός μικρού τρίτροχου με ικανότητες μεταφοράς ελαφρών φορτίων. Το Σχήμα (1.7) παρουσιάζει το μικρό αυτό όχημα.



Σχήμα 1.7 Ηλεκτρικό όχημα της PIAGGIO (APE ELECTRIC). [4]

Ο ακόλουθος Πίνακας (1.4) παρουσιάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος αυτού καθώς και τη σύγκριση με τη βενζινοκίνητη έκδοση.

Κινητήρας (24 V)	DC με ψήκτρες
Συσσωρευτές	2*12 V (100 Ah) ή 4*6 V (180 Ah)
Χρόνος επαναφόρτισης	6 ώρες
Μέγιστη ισχύς	2 kW
Ισχύς φορτιστή	220 V – 16 A
Μέγιστη ταχύτητα	30 km/h
Αυτονομία	25 km (2 μπαταρίες) ή 45 km (4 μπαταρίες)

	Ηλεκτροκίνητο	Βενζινοκίνητο
Απόβαρο	340 kgr (2 μπαταρίες) ή 390 kgr (4 μπαταρίες)	250 kgr
Ωφέλιμο φορτίο	80 kgr (2 μπαταρίες) ή 30 kgr (4 μπαταρίες)	170 kgr
Μέγιστη ταχύτητα	30 km/h	38 km/h

Πίνακας 1. 4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του APE ELECTRIC. [4]



Η εταιρία CELCO PROFIL έχει εισάγει στην αγορά πολλά ηλεκτρικά μοντέλα, κυρίως μικρά scooters καθώς και ποδήλατα. Το πιο διαδεδομένο μοντέλο της είναι το CIP 025, το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα (1.6). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται παρακάτω. [5]

Σχήμα 1. 6 Το ηλεκτρικό CIP 025. [5]

Features

The Celco Profil CIP 025 electric scooter is an effective solution in the battle against acoustic and atmospheric pollution in cities, without sacrificing mobility. Celco Profil, designing its electric scooter, not only considered its zero emission advantages, but also its substantial energy savings as compared to internal combustion vehicles.

The CIP 025 scooter is agile, quick and silent. The scooter satisfies rigorous European laws and regulations and the Company is pleased to announce that its scooter has attained European homologation standards for production.

Use

To recharge the scooter battery, you just switch the plug in to a 220V socket.

This simple operation allow you a guaranteed range of about 60 km for a steady speed of 45 km/h on flat road. In the city the range is reduced at about 50 km depending on the road and on the way of driving.

Propulsion: 1,5 hp permanent magnet electric motor
24v c.c.

Power: 2 x batteries 12v 52 Ah (C2) no maintenance

Speed: adjustable up 45 km/h by electric regulator

Size and weight: length: 153 cm - width: 64 cm
height: 96 cm - weight: 103 Kg

Charge time: 7 hours maximum by build-in battery charger supplied by normal single phase 220v socket

Wheels: front and rear: 3.00 -10

Brakes: front and rear drum brakes

Lights: front: 24v 30w
instrument panel: 24v 5w
stop: 24v 18w - indicators: 24v 5w

Incline capacity: 12%

Range: about 60 km at constant speed of 40 Km/h
about 50 Km in town's cycles
one only driver allowed

Colors available: red, yellow, white, black green and blue

Optionals: Rear carrier post with lock, windshield

Omologation:

OM 54080 CEE

Special Version:

For public corporation 2 special scooters types are available.

Παρακάτω απεικονίζονται τα υπόλοιπα μοντέλα της εταιρίας. [5]



CIP Otto Electric Bicycle

Men type (see picture) - Electric Bicycle 480w
 Women type (not in picture) - Electric Bicycle 240w
 Both the bicycles are with automatic peddals accelerator system and are equipped with cloth bag

Features:	Man Type	Women Type
Power	480w	240w
Speed (max)	38 km/h	24 km/h
Acceleration	1,5 m/sec	0,75 m/sec
Endurance	30 min	40 min
Pedal sensor	yes	yes
Cloth bag	yes	yes



CIP E-100

Folding electric scooter very small and light

Technical features

Speed: 15-20 KM/h - Range: 12 Hrs
 Battery: 12V 7Ax2 - Weight: 14 Kg
 Wheel: 200x50 mm with inner tube
 Max time charge: 7HrsMax ° of ascent: 6" 64 Kg Load
 Transmission: belt drive
 Max carry capacity: 85 Kg
 Battery charge: by CQAR cigaret lighter by separate battery charge



CIP Aria

Folding 2 wheel electric scooter very small.

Technical Features

Dim: cm 110 x 45 x 110; folded: 110 x 45 x 48
 Weight 32 kg - Speed 22 km/h - Range 25-28 km
 Carryng capacity 120 kg
 Battery charger automatic on board with main plug
 Recharging time 5-6 h
 Available colours: red, white, black, yellow, reflex blu
 Omologated UE



CIP Transport

This three wheel electric scooter is suitable to transport merchandise.

Technical features

Dim: cm 110 x 45 x 110; folded cm 110 x 45 x 48
 Weight 32 kg - Speed 22 km/h - Range 25-28 km
 Carryng capacity 120 kg
 Battery charger automatic on board with main plug
 Recharging time 5-6 h
 Available colours: red, white, black, yellow, reflex blu
 Omologated UE



CIP Dolly

Dolly is a multipurpose vehicle that can be used either as a golf-car for one person or as a simple electric trolley. Dolly has many accessories: a support for the caddie, a golf-ball holder, bottle holder and holdall.

Technical features

24V D.C. motor - 2 batteries, 60 Ah 12V
 Accelerator with forward-reverse gear
 Telescopic, hinged handle for walking

2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η βασική απαίτηση την οποία καλείται να καλύψει το όχημα είναι κατάλληλη διαμόρφωση, ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση του ηλεκτρικού κινητήρα, του συστήματος ελέγχου αλλά κυρίως της συστοιχίας των συσσωρευτών, λόγω των αυξημένων διαστάσεών τους.

Το ιδανικό όχημα για μεταφορά μικρών δεμάτων εντός αστικού περιβάλλοντος είναι το GYRO-X της εταιρίας HONDA, το οποίο προσφέρεται στην αγορά και σε άλλες εκδόσεις (GYRO-UP), ανάλογα με τον αν ο οδηγός επιθυμεί η θέση οδήγησης να βρίσκεται τοποθετημένη εντός προστατευτικού κλωβού.

Το όχημα GYRO-X απεικονίζεται στο Σχήμα (2.1).



Σχήμα 2.1 Το όχημα GYRO-X της HONDA

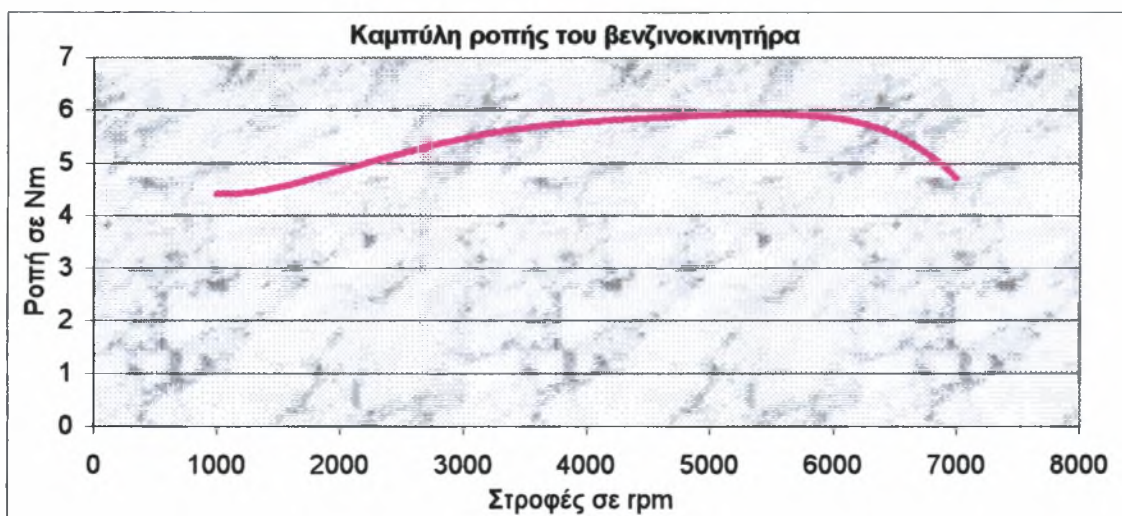
Τα κατασκευαστικά δεδομένα του οχήματος αυτού παρουσιάζονται στον Πίνακα (2.1).

Δεδομένα οχήματος	Τιμή
<i>Μάζα οχήματος m_f</i>	106 Kgr
<i>Μάζα Φορτίου m_L</i>	85 Kgr
<i>Γωνία κλίσης οδοστρώματος α</i>	0°
<i>Συντελεστής τριβής κλίσης K_f</i>	0,015
<i>Ποκνότητα αέρα ρ</i>	1,2 Kgr/m ³
<i>Αεροδυναμικός συντελεστής C_w</i>	0,3
<i>Μετωπική επιφάνεια A</i>	1,2 m ²
<i>Συντελεστής κατανομής μάζας e_i</i>	1,15
<i>Επιτάχυνση βαρύτητας g</i>	9,8 m/sec ²

Πίνακας 2.1 Κατασκευαστικά δεδομένα του GYRO-X της HONDA.

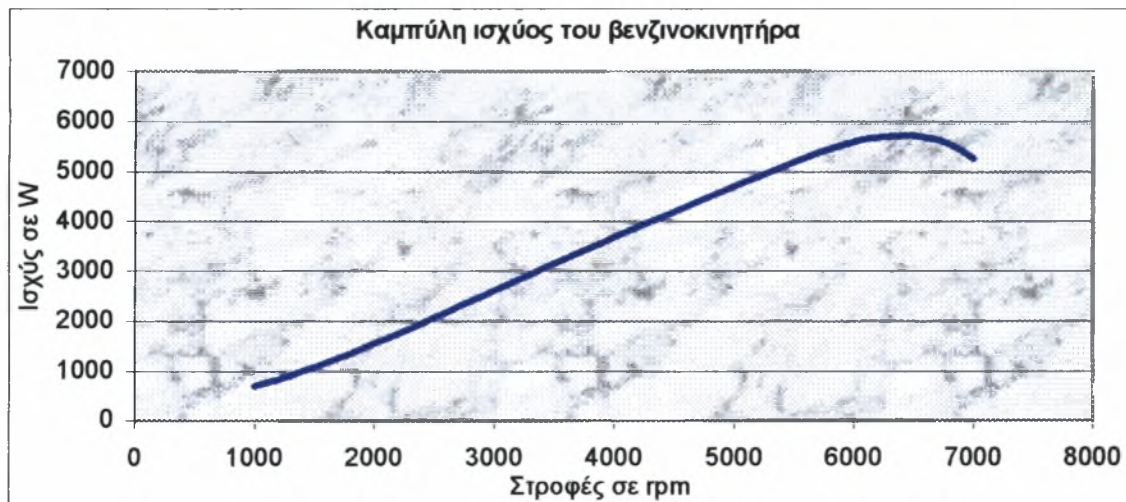
Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης του οχήματος αποδίδει μέγιστη ροπή ίση με 5,92 Nm στις 5.500 rpm και μέγιστη ισχύ ίση με 5,72 kW στις 6.400 rpm.

Η καμπύλη της ροπής σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα (2.2).



Σχήμα 2.2 Καμπύλη της ροπής-στροφών του βενζινοκινητήρα του GYRO-X.

Η καμπύλη της ισχύος σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα (2.3).

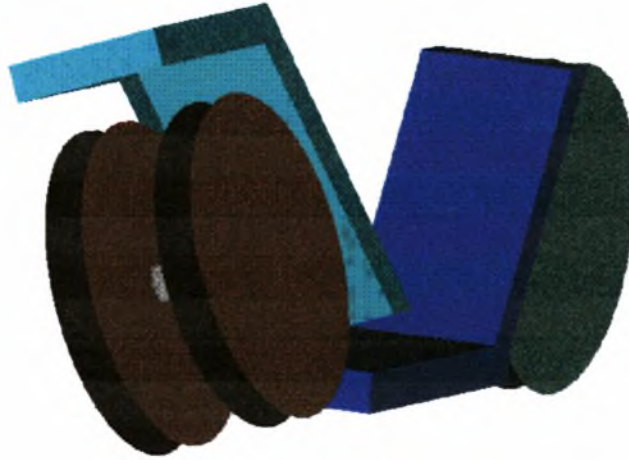


Σχήμα 2.3 Καμπύλη της ισχύος-στροφών του βενζινοκινητήρα του GYRO-X.

Το συγκεκριμένο όχημα έχει σχεδιαστεί από την κατασκευάστρια εταιρία με σκοπό τις μετακινήσεις εντός αστικού περιβάλλοντος, για την ικανοποίηση των απαιτήσεων πολλών επαγγελματιών, οι οποίοι επιθυμούν τη μεταφορά δεμάτων-κιβωτίων με ασφάλεια και χαμηλό κόστος.

Στον άξονα στον οποίο μεταδίδεται η κίνηση έχουν τοποθετηθεί δύο τροχοί αντί ενός, ενώ κατά την κίνηση σε καμπύλη τροχιά (μέσω κατάλληλης διαμόρφωσης του άξονα της κίνησης) οι τροχοί διατηρούν σταθερή την επιφάνεια επαφής ελαστικού-εδάφους, συνεισφέροντας θετικά στην οδική συμπεριφορά και ασφάλεια.

Το ακόλουθο Σχήμα (2.4) απεικονίζει το GYRO-X κατά τη διάρκεια κίνησης σε καμπύλη τροχιά, όπου φαίνεται καθαρά η διαφορά στην κλίση του πίσω άξονα, ώστε να διατηρηθεί η πρόσφυση των τροχών με το έδαφος.



Σχήμα 2.4 Διαφορά κλίσης οπίσθιου-έμπροσθεν άξονα κατά την κίνηση σε καμπύλη τροχιά.

Στο όχημα αυτό, βρίσκεται τοποθετημένο ειδικό κιβώτιο για τη μεταφορά των δεμάτων. Η θέση του βρίσκεται επάνω από τον κινητήριο άξονα, γεγονός το οποίο συμβάλλει θετικά στην αύξηση της δύναμης πρόσφυσης, κατά την τοποθέτηση του επιπλέοντος βάρους. Το συγκεκριμένο κιβώτιο μπορεί να αποδειχθεί ικανό να μεταφέρει τις συστοιχίες των συσσωρευτών, οι οποίες αναπόφευκτα καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο σε κάθε όχημα. Ειδικά σε εφαρμογές δικύκλων και τρικύκλων, η έλλειψη χώρου για τις συστοιχίες αποτελεί σημαντικό σχεδιαστικό πρόβλημα, κάτι που δεν πρόκειται να απασχολήσει σημαντικά το σχεδιαστή στην περίπτωση του GYRO-X.

3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

3.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Για να κινηθεί το όχημα πρέπει να υπερνικήσει τις δυνάμεις που αντιστέκονται στην κίνηση. Οι δυνάμεις αυτές οφείλονται στην αντίσταση του τροχού, στην αεροδυναμική αντίσταση, στην αντίσταση για κίνηση σε οδόστρωμα με κλίση και στην αδράνεια κατά την επιτάχυνση.

Η αντίσταση στην κίνηση του τροχού F_R προέρχεται από την κύλιση του τροχού, την κατάσταση του οδοστρώματος και την πλάγια κίνηση του τροχού. Γενικά η αντίσταση αυτή δίνεται από την Εξίσωση (3.1):

$$F_R = K_R \cdot G_R \quad (3.1)$$

Η αεροδυναμική αντίσταση οφείλεται στην εφαρμογή ορθών και επιφανειακών τάσεων στο όχημα κατά την κίνησή του στο περιβάλλον. Η αντίσταση αυτή υπολογίζεται γενικά από την Εξίσωση (3.2):

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot A \cdot U^2 \quad (3.2)$$

Η αντίσταση κλίσεως του οδοστρώματος οφείλεται στη συνισταμένη του βάρους του οχήματος που αντιδρά στην κίνηση. Δίδεται από την Εξίσωση (3.3):

$$F_K = G \cdot \sin \alpha_k \quad (3.3)$$

Η αντίσταση κατά την επιτάχυνση ονομάζεται αδράνεια και δίδεται από την Εξίσωση (3.4):

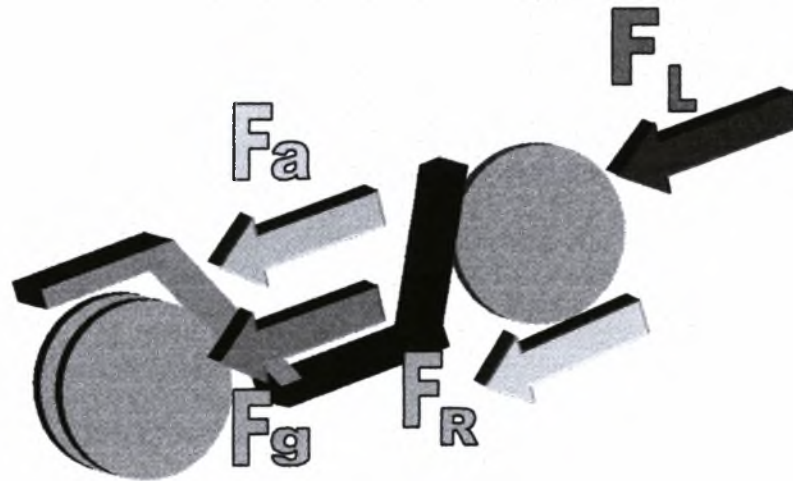
$$F_a = (e_i \cdot m_F + m_L) \cdot a \quad (3.4)$$

Για την υπερνίκηση των αντιστάσεων αυτών στο όχημα πρέπει να εφαρμοστεί δύναμη F_g στους τροχούς. Με βάση την ανάλυση αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που δαπανάται κατά την κίνηση του οχήματος, η οποία δίδεται από την Εξίσωση (3.5):

$$\begin{aligned} W_g &= W_R + W_L + W_a = \\ &= \left[(m_F + m_L) \cdot g \cdot k_R \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right] + \\ &+ \left[\frac{1}{4} \cdot \rho_L \cdot C_w \cdot A \cdot \sum_{i=1}^n (U_{i+1}^2 + U_i^2) \cdot x_i \right] + \\ &+ \left[\frac{1}{2} \cdot (e_i \cdot m_F + m_L) \cdot \sum (U_{i+1}^2 - U_i^2) \right] \end{aligned} \quad (3.5)$$

Η ενέργεια που δαπανάται υπολογίζεται για κίνηση του οχήματος σε επίπεδο οδόστρωμα με νηνεμία.

Το ακόλουθο Σχήμα (3.1) απεικονίζει τις δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα κατά την κίνησή του.

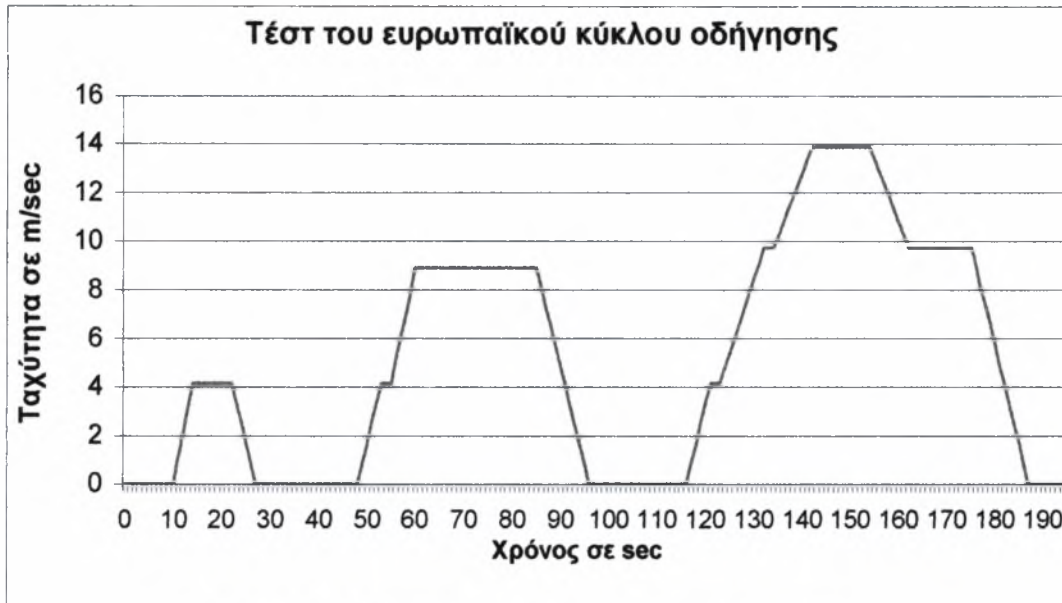


Σχήμα 3. 1 Αναπτυσσόμενες δυνάμεις στο όχημα κατά την κίνησή του. [6]

Η αδρανειακή αντίσταση ασκείται στο κέντρο βάρους του οχήματος ενώ η αεροδυναμική αντίσταση γενικά δεν ασκείται στο κέντρο βάρους του οχήματος.

3.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Ο ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης αναφέρεται σε κίνηση οχήματος εντός αστικού περιβάλλοντος. Η δοκιμή περιλαμβάνει επανάληψη **τεσσάρων τεστ**, πανομοιότυπων με το τεστ που παρουσιάζεται στο Σχήμα (3.2).



Σχήμα 3. 2 Τέστ του Ευρωπαϊκού κύκλου οδήγησης

Οι μετρήσεις της ισχύος και της δαπανώμενης ενέργειας για το όχημα GYRO-X παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα (3.1). Η ενέργεια που δαπανάται είναι αθροιστική, που συνεπάγεται ότι στο $(i+1)$ διάστημα προστίθεται και η ενέργεια του i διαστήματος. Αντίθετα, η ισχύς αναφέρεται στο τέλος του i διαστήματος.

Χρόνος σε sec	Ενέργεια ΣW_g σε Joule	Ισχύς $P=Fg \cdot U$ σε Watt	Χρόνος σε sec	Ενέργεια ΣW_n σε Joule	Ισχύς $P=Fg \cdot U$ σε Watt
0	0	0	99	23594	0
1	0	0	100	23594	0
2	0	0	101	23594	0
3	0	0	102	23594	0
4	0	0	103	23594	0
5	0	0	104	23594	0
6	0	0	105	23594	0
7	0	0	106	23594	0
8	0	0	107	23594	0
9	0	0	108	23594	0
10	112	254	109	23594	0
11	494	509	110	23594	0
12	1132	768	111	23594	0
13	2031	1031	112	23594	0
14	2180	133	113	23594	0
15	2313	133	114	23594	0
16	2445	133	115	23594	0
17	2578	133	116	23666	0
18	2711	133	117	23917	167
19	2843	133	118	24337	335
20	2976	133	119	24927	505
21	3108	133	120	25690	676
22	3238	-473	121	25836	851
23	3238	-357	122	25969	133
24	3238	-240	123	26675	133

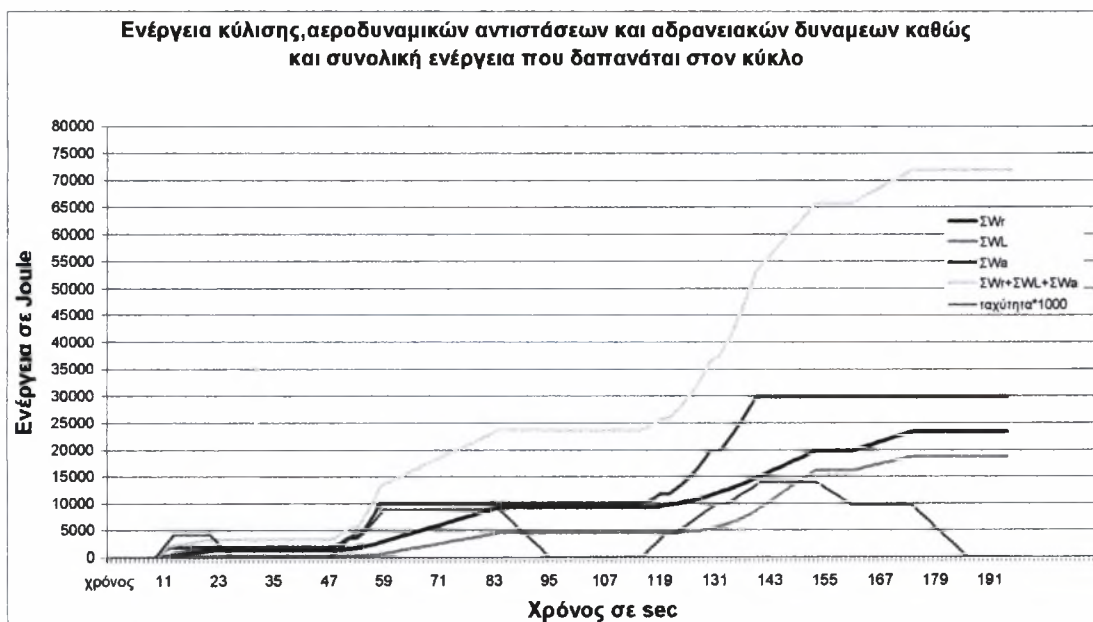
3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

25	3238	-120	124	27498	769
26	3238	0	125	28427	876
27	3238	0	126	29468	985
28	3238	0	127	30622	1097
29	3238	0	128	31894	1212
30	3238	0	129	33287	1331
31	3238	0	130	34804	1454
32	3238	0	131	36451	1582
33	3238	0	132	36938	1713
34	3238	0	133	37409	471
35	3238	0	134	38967	471
36	3238	0	135	40644	1624
37	3238	0	136	42431	1732
38	3238	0	137	44332	1843
39	3238	0	138	46351	1959
40	3238	0	139	48492	2079
41	3238	0	140	50759	2203
42	3238	0	141	53157	2332
43	3238	0	142	54144	2465
44	3238	0	143	55112	969
45	3238	0	144	56081	969
46	3238	0	145	57050	969
47	3238	0	146	58018	969
48	3310	0	147	58987	969
49	3561	167	148	59956	969
50	3981	335	149	60924	969
51	4571	505	150	61893	969
52	5334	676	151	62862	969
53	5480	851	152	63830	969
54	5613	133	153	64799	969
55	6656	133	154	65746	969
56	7940	1054	155	65746	-549
57	9457	1262	156	65746	-566
58	11215	1478	157	65746	-578
59	13223	1701	158	65746	-585
60	13643	1934	159	65746	-589
61	14044	401	160	65746	-588
62	14445	401	161	65746	-584
63	14847	401	162	65746	-576
64	15248	401	163	66218	471
65	15649	401	164	66689	471
66	16051	401	165	67161	471
67	16452	401	166	67632	471
68	16853	401	167	68104	471
69	17254	401	168	68575	471
70	17656	401	169	69047	471
71	18057	401	170	69518	471
72	18458	401	171	69990	471
73	18859	401	172	70461	471
74	19261	401	173	70932	471
75	19662	401	174	71404	471
76	20063	401	175	71860	471

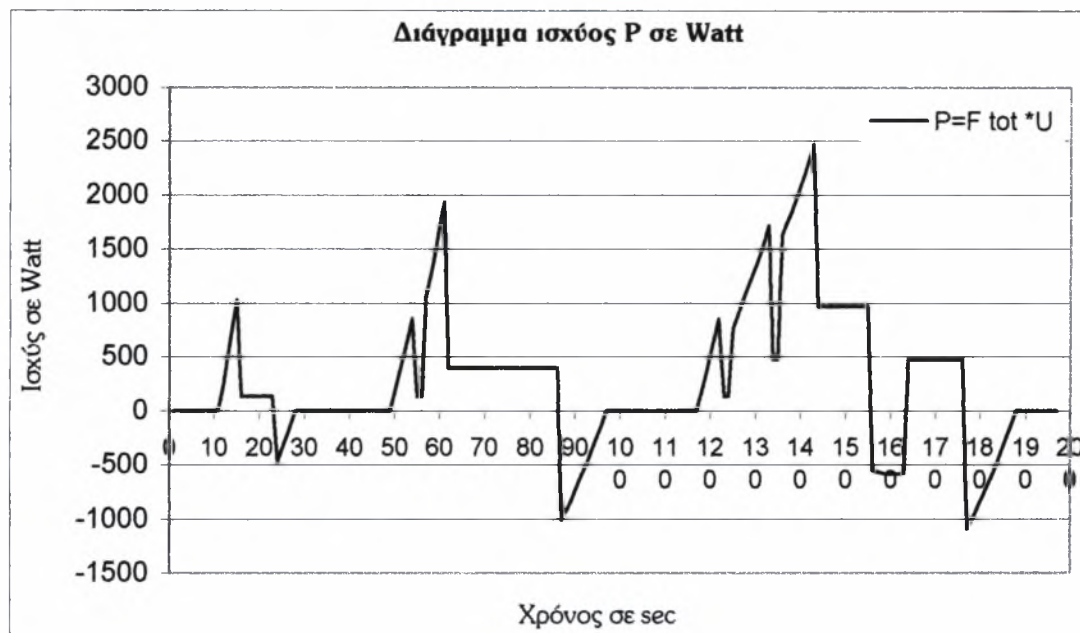
77	20465	401	176	71860	-1091
78	20866	401	177	71860	-1016
79	21267	401	178	71860	-934
80	21668	401	179	71860	-846
81	22070	401	180	71860	-752
82	22471	401	181	71860	-654
83	22872	401	182	71860	-551
84	23274	401	183	71860	-445
85	23662	401	184	71860	-336
86	23662	-1010	185	71860	-225
87	23662	-929	186	71860	-113
88	23662	-841	187	71860	0
89	23662	-748	188	71860	0
90	23662	-650	189	71860	0
91	23662	-548	190	71860	0
92	23662	-442	191	71860	0
93	23662	-334	192	71860	0
94	23662	-224	193	71860	0
95	23594	-135	194	71860	0
96	23594	0	195	71860	0
97	23594	0	196	71860	0
98	23594	0	196	71860	0

Πίνακας 3.1 Υπολογισμοί ισχύος και ενέργειας για το όχημα της HONDA GYRO-X.

Τα ακόλουθα Σχήματα (3.3) και (3.4) απεικονίζουν τα διαγράμματα της απαιτούμενης ισχύος και της δαπανώμενης ενέργειας κατά την κίνηση του οχήματος, χωρίς την ανάκτηση της ενέργειας πέδησης.



Σχήμα 3.3 Δαπανώμενη ενέργεια κατά την κίνηση του GYRO-X στο ένα τέστ του Ευρωπαϊκού κύκλου οδήγησης.



Σχήμα 3.4 Απαιτούμενη ισχύς κατά την κίνηση του GYRO-X σε ένα τεστ του κύκλου.

Η ενέργεια που δαπανάται σε ένα τεστ ισούται με 71860 Joule, κατά συνέπεια **η δαπανώμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια του Ευρωπαϊκού κύκλου** ισούται με $4 \cdot 71,86 \text{ KJ} = \mathbf{287,44 \text{ KJ}}$, ενώ **η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς** ισούται με **2,465 KW**.

Ο Πίνακας (3.2) απεικονίζει τις απαιτήσεις για την κίνηση του GYRO-X χωρίς την ανάκτηση ενέργειας πέδησης, σε ένα τεστ και σε έναν κύκλο.

Δαπανώμενη ενέργεια σε ένα τεστ □ kJoule	71,860
Δαπανώμενη ενέργεια στον κύκλο σε kJoule	287,44
Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς σε kW	2,465

Πίνακας 3.2 Απαιτήσεις κίνησης του GYRO-X.

3.3 ΕΠΑΝΑΚΤΩΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΔΗΣΗ

Κατά την πέδηση ο ηλεκτροκινητήρας έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει ως γεννήτρια και να ανακτήσει μέρος της ενέργειας πέδησης.

Στην πράξη, ανακάτται ποσοστό της τάξης του 25% της ενέργειας πέδησης, γεγονός το οποίο οφείλεται στην αδυναμία ταχείας φόρτισης των συσσωρευτών. Με άλλες μεθόδους, όπως χρήση ultra-capacitors ή μηχανικά μέσα (σφόνδυλος) είναι δυνατό να επιτευχθεί υψηλότερο ποσοστό. Εφικτό μελλοντικό στόχο αποτελεί η ανάκτηση ποσοστού της τάξης του 80%, τμή στην οποία θα βασιστούν οι υπολογισμοί ενέργειας του ηλεκτρικού GYRO-X.

Η ενέργεια πέδησης δίδεται από την Εξίσωση (3.6)

$$W_{\text{ανακτώμενη}} = 0,8 \cdot W_{\text{πέδησης}} = 0,8 \cdot (W_R + W_L + W_a) \quad (3.6)$$

Με αντικατάσταση των τιμών της ενέργειας κατά την πέδηση προκύπτει ότι η ανακτώμενη ενέργεια σε **ένα τεστ** του κύκλου ισούται με:

$$W_{\text{ανακτώμενη}} = 13054 \text{ Joule}$$

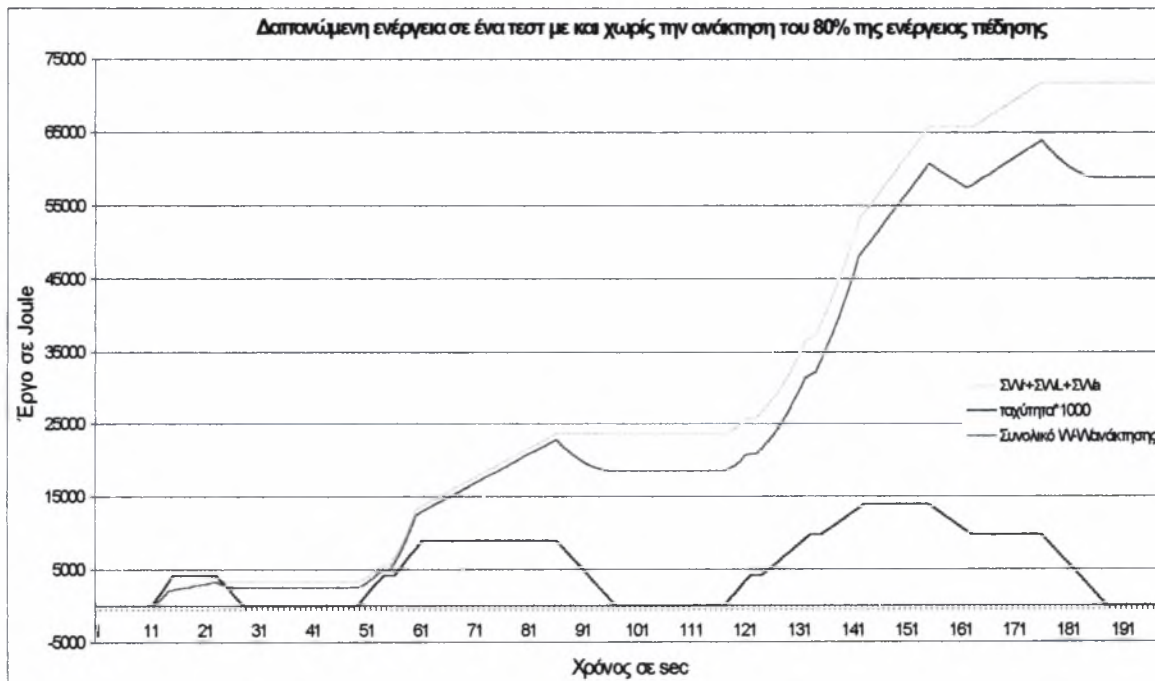
Το συνολικό έργο που δαπανάται για την κίνηση σε **ένα τεστ** με ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση ισούται με:

$$\text{Συνολικό } W - W_{\text{ανακτώμενη}} = 71860 - 13054 = 58806 \text{ Joule}$$

Κατά συνέπεια, είναι δυνατόν **να ανακτηθεί ένα ποσοστό ενέργειας** της τάξης:

$$\% = \frac{71860 - 58806}{71860} = 18\%$$

Το ακόλουθο Σχήμα (3.5) απεικονίζει την απαιτούμενη ενέργεια κίνησης του οχήματος με και χωρίς ανάκτηση της ενέργειας πέδησης. Η ελάττωση του συνολικού έργου κατά την πέδηση, όπως απεικονίζεται, δείχνει τη φόρτιση των συσσωρευτών.



Σχήμα 3.5 Συνολική απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση του GYRO-X με και χωρίς την ανάκτηση της ενέργειας πέδησης, σε ένα τεστ του κύκλου.

Ο Πίνακας (3.3) παρουσιάζει τις τιμές των απαιτήσεων κίνησης με και χωρίς την ανάκτηση της ενέργειας πέδησης.

<i>Απαιτήσεις κίνησης</i>	<i>Χωρίς ανάκτηση ενέργειας πέδησης</i>	<i>Με ανάκτηση ενέργειας πέδησης</i>
<i>Δαπανώμενη ενέργεια σε ένα τεστ KJ</i>	71,860	58,806
<i>Δαπανώμενη ενέργεια σε έναν κύκλο KJ</i>	287,44	235,224
<i>Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς KW</i>	2,465	2,465

Πίνακας 3.3 Απαιτήσεις κίνησης με και χωρίς την ανάκτηση ενέργειας πέδησης.

Το ποσοστό κέρδους, που κυμαίνεται στο 18%, είναι μια αρκετά ικανοποιητική τιμή, η οποία συνεισφέρει στην ελάττωση του απαιτούμενου βάρους των συσσωρευτών, άρα στην αύξηση του ωφέλιμου φορτίου και ελάττωση του κόστους λειτουργίας. Ειδικά σε αστικό περιβάλλον, όπου η διαδικασία της επιτάχυνσης-επιβράδυνσης είναι ιδιαίτερα αυξημένη, το ποσοστό μπορεί να αυξηθεί επιπλέον. Όμως, οι σημερινές δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας πέδησης από τον κινητήρα (γύρω στο 25%) έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του ποσοστού κέρδους. Κατά συνέπεια, πιθανή χρήση σφονδύλου ή ultra capacitor δεν ενδείκνυται, καθώς αυξάνει σημαντικά το κόστος, γεγονός ανεπιθύμητο για οχήματα του συγκεκριμένου τύπου.

4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΕΩΣ

4.1 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Οι σύγχρονες απαιτήσεις του καταναλωτικού κοινού, πέρα από τα δεδομένα της ασφάλειας, της αξιοπιστίας, της άνεσης και της φιλικότητας προς το χρήστη και το περιβάλλον εστιάζονται και σε έναν **εξίσου σημαντικό παράγοντα, τις επιδόσεις.**

Τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα υστερούν σημαντικά σε αυτόν τον τομέα, καθώς η τεχνολογία των συσσωρευτών της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται αρκετά βήματα προόδου ώσπου να φτάσει την εξέλιξη των ηλεκτρονικών συστημάτων ή ακόμα και των ηλεκτροκινήτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα μικρά οχήματα πόλης, τα οποία μετατράπηκαν από βενζινοκίνητα σε ηλεκτροκίνητα έχουν αυξημένο βάρος, πολύ μικρή αυτονομία και «ασθενικές» επιδόσεις. Το φαινόμενο αυτό γίνεται ακόμα εντονότερο όταν ο αγοραστής ανατρέξει στα κατασκευαστικά δεδομένα κάθε μοντέλου, όπου η κλασική μέτρηση της επιτάχυνσης από 0-100 Km/h δεν υφίσταται καν στα φυλλάδια των οχημάτων. Πρέπει, λοιπόν, να βρεθεί μια ενδιάμεση λύση, η οποία να συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρικού κινητήρα αλλά και του βενζινοκίνητου οχήματος.

Η λύση αυτή έγινε πραγματικότητα με τα υβριδικά οχήματα, τα οποία για την κίνησή τους χρησιμοποιούν διάταξη βενζινοκινήτρα και ηλεκτροκινήτρα συνδεδεμένους είτε παράλληλα είτε σε σειρά. Για την ακρίβεια, μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες (όπως η TOYOTA) έχουν ήδη ξεκινήσει την παραγωγή και πώληση προς το καταναλωτικό κοινό υβριδικών οχημάτων (PRIUS), ξεφεύγοντας από την ως τώρα τακτική των πειραματικών μοντέλων, τα οποία εδίσταζαν οι επικεφαλής των προγραμμάτων να εισάγουν στην αγορά.

Ο συνδυασμός των δυο συστημάτων είναι πολύπλοκος σχεδιαστικά, καθώς πρέπει να ξεπεραστούν πολλές δυσκολίες ώστε το όχημα να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του κοινού. Βέβαια, με κατάλληλες λύσεις, όπως την αξιοποίηση του κάθε κινητήρα στην περιοχή λειτουργίας όπου μπορεί να αποδώσει καλύτερα, τότε το όχημα έχει πολλές πιθανότητες να πραγματοποιήσει εμπορική επιτυχία. Εξάλλου, η σημερινή τεχνολογία έχει εισάγει καινοτομίες, όπως η **παράλληλη ή σε σειρά σύνδεση της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινήτρα**, δίνοντας διαφορετικό χαρακτήρα και συμπεριφορά στο κάθε όχημα.

4.1.2 ΤΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΟΧΗΜΑ TOYOTA PRIUS (ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ THS)

Η TOYOTA είναι αναμφίβολα η αυτοκινητοβιομηχανία που έχει επενδύσει περισσότερο στην εξέλιξη των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων. Πέρα από τα καθαρά ηλεκτρικά RAV4 και E-com, το υβριδικό PRIUS έχει περάσει πλέον στη γραμμή παραγωγής και πωλείται στην Ιαπωνική αγορά.

Το όχημα αυτό κινείται από έναν ηλεκτροκινήτρα και ένα βενζινοκινήτρα, οι οποίοι λειτουργούν παράλληλα μέσω ενός πλανητικού συστήματος, εξασφαλίζοντας παρά το αυξημένο βάρος των 1480 κιλών απόδοση 28

χιλιομέτρων από ένα λίτρο καυσίμου, τη στιγμή που ένα συμβατικό βενζινοκίνητο μοντέλο αποδίδει 14 χιλιόμετρα από ένα λίτρο καυσίμου! Μειωμένες είναι βέβαια και οι εκπομπές των ρύπων, τονίζοντας έτσι το φιλικό προς το περιβάλλον χαρακτήρα του αυτοκινήτου.

Το ακόλουθο Σχήμα (4.1) απεικονίζει το συγκεκριμένο όχημα.



Σχήμα 4.1 Το υβριδικό όχημα TOYOTA PRIUS. [23]

Το πλανητικό σύστημα μετάδοσης μοιράζει την κινητική ενέργεια στους τροχούς και στη γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της φορτίζει τους συσσωρευτές. Κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη επιλέγει τη βέλτιστη λειτουργία μεταξύ των δυο συστημάτων της κίνησης. Σε περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις είναι χαμηλές (όπως κατά την εκκίνηση ή κατά την κίνηση σε χαμηλή ενωφέρεια) αναλαμβάνει δράση ο ηλεκτροκίνητος (τροφοδοτούμενος από τους συσσωρευτές), ενώ ο βενζινοκίνητος παραμένει σβηστός. Σε περίπτωση κίνησης με σταθερή ταχύτητα κίνηση προσδίδει ο ΜΕΚ, ενώ μέρος της κινητικής του ενέργειας διατίθεται στη γεννήτρια, η οποία δίδει ενέργεια στον ηλεκτροκίνητο, υποβοηθώντας την κίνηση. Όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις ενέργειας (σε απότομες επιταγώνσεις) τότε στη διαδικασία της κίνησης υπεισέρχονται και οι συσσωρευτές, οι οποίοι τροφοδοτούν με ρεύμα τον Η/Κ και αυτός υποβοηθά. Σε περιπτώσεις πέδησης, ο βενζινοκίνητος τίθεται εκτός λειτουργίας και η κινητική μέρος της κινητικής ενέργειας των τροχών επανακτάται στους συσσωρευτές, αφού ο ηλεκτροκίνητος λειτουργεί ως γεννήτρια. Φόρτιση των συσσωρευτών πραγματοποιείται επίσης όταν η τάση πέσει κάτω από κάποιο επιτρεπτό όριο, μέσω της λειτουργίας της γεννήτριας.

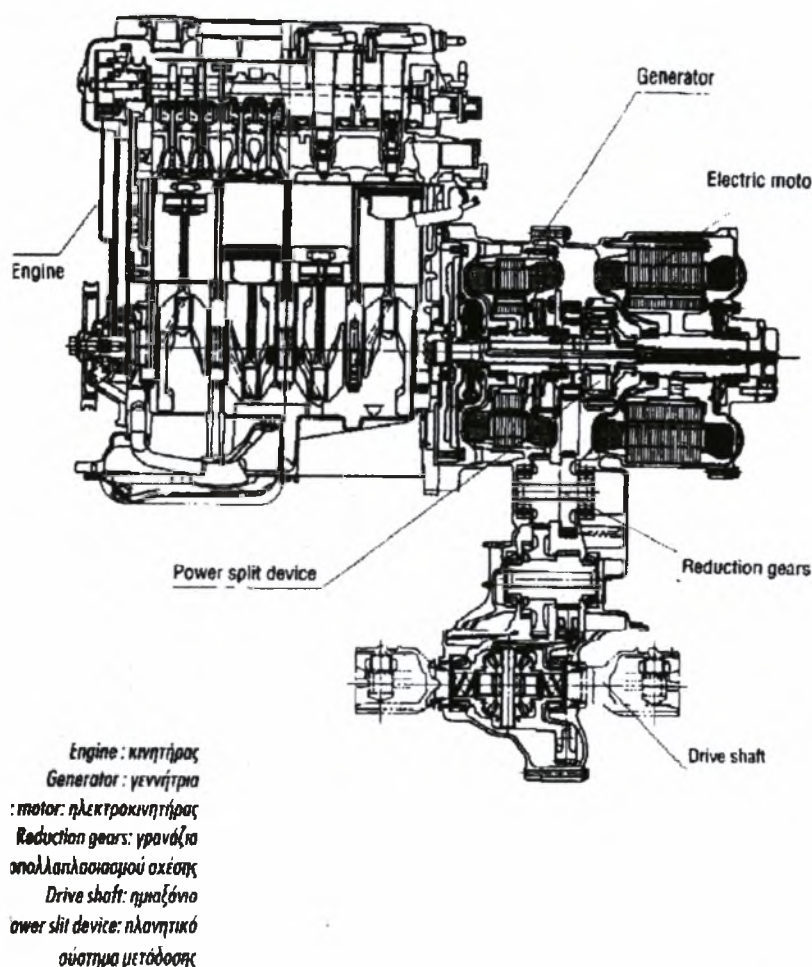
Ο βενζινοκίνητος αποδίδει 58 ίππους από 1500 κ.ε. και χαρακτηρίζεται από το ιδιαίτερα μικρό εύρος στροφών λειτουργίας, με όριο περιστροφής τις 4000 σ.α.λ.

Οι συσσωρευτές είναι νικελίου-υδριδίου μετάλλου και σχεδιάστηκαν ειδικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή της TOYOTA από την PANASONIC. Συγκρινόμενοι με τους συσσωρευτές του σχετικά νέου ηλεκτρικού RAV4, έχουν 3,5 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα και μόλις το 1/9 του όγκου ανά μονάδα. Σε σχέση με τα

λοιπά ηλεκτρικά/υβριδικά οχήματα, Δε διαθέτει εξωτερικό φορτιστή, αλλά η φόρτιση πραγματοποιείται κατά την κίνηση και την επιβράδυνση.

Οι ρύποι του συγκεκριμένου οχήματος είναι ιδιαίτερα χαμηλοί, καθώς εμφανίζει μόλις το 50% εκπομπών σε CO₂ και το 10% σε CO, HC και NO_x. Ιδιαίτερη έκπληξη προκαλούν οι επιδόσεις, καθώς ενδιάμενες επιταχύνσεις από τα 20 έως τα 50 Km/h είναι ίδιες με αυτές ενός συμβατικού οχήματος με αυτόματη μετάδοση, ενώ από το 40 ως τα 70 Km/h είναι ελαφρώς καλύτερες. Βέβαια, θετικό είναι το γεγονός ότι η επιτάχυνση μεταφέρεται ιδιαίτερα ομαλά σε σύγκριση με τα συνήθη αυτόματα κιβώτια μετάδοσης.

Το ακόλουθο Σχήμα (4.2) απεικονίζει το υβριδικό σύστημα μετάδοσης της TOYOTA.



Σχήμα 4.2 Το υβριδικό σύστημα μετάδοσης της TOYOTA. [6]

4.2 ΧΡΗΣΗ ΚΥΨΕΛΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELLS) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Τα κελιά καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλευόμενες τη χημική αντίδραση της ένωσης του

υδρογόνου με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και παράγει ως υποπροϊόν καθαρό νερό.

Υπάρχουν πολλών τύπων στοιχεία, αλλά ως καταλληλότερα για θέματα ηλεκτρικών οχημάτων θεωρούνται αυτά που λειτουργούν σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες, ώστε να μη δημιουργούνται οξειδία του αζώτου. Η ένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο στη θερμοκρασία των 80-90° C αποκαλείται «ψυχρή καύση» και παράγει καθαρό νερό που δε μολύνει το περιβάλλον.

Οι ειδικοί προτείνουν για την ηλεκτροκίνηση τρία είδη ενεργειακών στοιχείων. Τα στοιχεία τύπου **PAFC (Phosphoric Acid fuel Cell)** με ηλεκτρολύτη φωσφορικού οξέος, τα στοιχεία **AFC (Alkaline Fuel cell)** με αλκαλικό ηλεκτρολύτη και τα στοιχεία **PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)** με ηλεκτρολύτη μεμβράνης εναλλαγής πρωτονίων. Τα PAFC λειτουργούν σε υψηλότερη θερμοκρασία της τάξης των 200° C.

Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο από τα στοιχεία αυτά μπορεί να μεταφέρεται αποθηκευμένο σε δεξαμενή μέσα στο ίδιο το όχημα ή να παράγεται από έναν ανασυνθέτη ο οποίος θα χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη κάποιο άλλο καύσιμο σε αέρια ή υγρή μορφή, από την ανασύνθεση του οποίου θα προκύπτει το υδρογόνο.

Η ηλεκτροχημική αντίδραση που πραγματοποιείται στην πράξη δίδει λιγότερη ωφέλιμη ενέργεια από την ποσότητα που προβλέπει το θερμοδυναμικό ισοζύγιο, λόγω απωλειών στις εσωτερικές ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτροδίων, τα οποία μετατρέπουν ένα μέρος της ενέργειας σε θερμότητα που διαχέεται στο περιβάλλον.

4.2.1 ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΩΣ (PAFC)

Τα ενεργειακά στοιχεία φωσφορικού οξέως μπορούν να λειτουργήσουν σε ατμοσφαιρική πίεση ή κάποια υπερπίεση εάν είναι επιθυμητή.

Παρέχουν σχεδόν άμεση απόκριση στις μεταβολές του φορτίου σε όλη την περιοχή ισχύος για την οποία σχεδιάστηκαν. Λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας τους είναι κατάλληλα για να συνεργαστούν με ενσωματωμένο ανασυνθέτη μεθανόλης-υδρογόνου, άρα **μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οχήματα στα οποία είναι επιθυμητή η τοποθέτηση απλών δεξαμενών μεθανόλης** (η μεθανόλη μπορεί πολύ εύκολα να διανεμηθεί από τα υπάρχοντα πρατήρια καυσίμων).

Τα στοιχεία αυτά έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε σταθερές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής και δεν έχουν δοκιμαστεί σε συνθήκες διακοπόμενης λειτουργίας. Επίσης, **απαιτείται κάποιος χρόνος προθέρμανσης** του στοιχείου για την παραγωγή ενέργειας (μειονέκτημα κατά τις εκκινήσεις του οχήματος σε περιβάλλον χαμηλών θερμοκρασιών) ενώ **έχει αυξημένο όγκο και κόστος**.

4.2.2 ΤΑ ΑΛΚΑΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ AFC

Τα στοιχεί αυτά χρησιμοποιούν διάλυμα υδροξειδίου του καλίου KOH ως ηλεκτρολύτη. Τα αέρια (υδρογόνο και ατμοσφαιρικός αέρας) παρέχονται στο στοιχείο στη χαμηλή πίεση των 20-40 mbar. Για την αποφυγή εξανθράκωσης του διαλύματος του ηλεκτρολύτη η περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε διοξείδιο του άνθρακα που είναι συνήθως 300 ppm μειώνεται στα 50 ppm.

Η θερμοκρασιακή σταθερότητα του στοιχείου εξασφαλίζεται από την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη και των αερίων με τα οποία τροφοδοτείται. Ο χρόνος εκκίνησης περιορίζεται σε λίγα λεπτά της ώρας. Η απόδοση κυμαίνεται από 69% έως 52% σε $\theta = 70^\circ \text{C}$ και από 67-48% σε $\theta = 25^\circ \text{C}$.

4.2.3 ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ PEMFC

Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από πολυμερισμένο δικτύωμα οξέως με ενσωματωμένα στοιχεία υλικού με προδιάθεση ανταλλαγής κατιόντων ή ανιόντων. Έχει συνήθως ζελατινώδη μορφή και απαιτεί την παρουσία στοιχείων ύδατος και πρωτονίων για τη διατήρηση της αγωγιμότητας.

Η πλάτινα έχει αποδειχθεί ως ο καλύτερος καταλύτης για τις αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια. Εκτεταμένες έρευνες διεξάγονται για την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης πλάτινας για την ενεργοποίηση της αντίδρασης. Η απόδοση του στοιχείου κυμαίνεται από 46-57%.

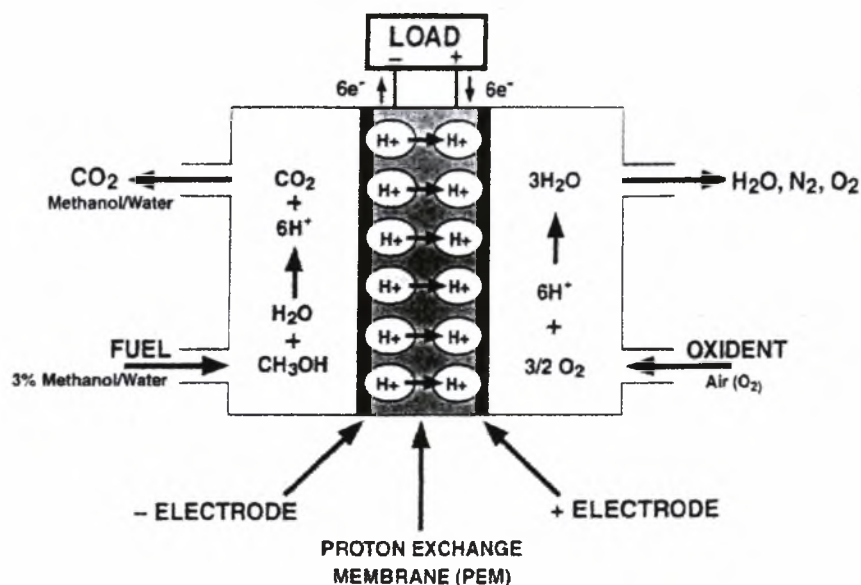
Στο στοιχείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδρογόνο παραγόμενο από ανασυνθετή που λειτουργεί με μεθανόλη και μάλιστα με δυνατότητα μείωσης του παραγόμενου CO₂ ως υποπροϊόν. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι οι 80° C.

4.2.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DIRECT METHANOL LIQUID-FEED FUELL CELL/PROTON EXCHANGE MEMBRANE

Οι προηγούμενοι τύποι κελιών βασίζονται στο γεγονός ότι το στοιχείο υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Η χρήση υδρογόνου ως καύσιμο εισάγει πρακτικά προβλήματα στις σύγχρονες εφαρμογές, όπως όγκος και βάρος της δεξαμενής αποθήκευσης, ενώ οι ανασυνθέτες (reformers) που μετατρέπουν τη μεθανόλη σε υδρογόνο προσθέτουν πολυπλοκότητα στην όλη κατασκευή, με καθυστέρηση κατά την απότομη αύξηση των απαιτήσεων σε ενέργεια.

Υπό την χορηγία οργανισμών της Αμερικής και με συνεργασία πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και βιομηχανιών αναπτύχθηκε ένας νέος τρόπος μετατροπής μεθανόλης σε υδρογόνο, το DIRECT METHANOL LIQUID-FEED FUELL CELL/PROTON EXCHANGE MEMBRANE. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την απευθείας χρήση αραιού υδατικού διαλύματος μεθανόλης (3%) ως καύσιμο, ενώ ο αέρας είναι το οξειδωτικό μέσον.η μεθανόλη και το νερό αντιδρούν άμεσα στο θάλαμο της ανόδου και παράγουν CO₂ και πρωτόνια H⁺, τα οποία διαπερνούν τη μεμβράνη και αντιδρούν με το οξυγόνο στην κάθοδο.

Το Σχήμα (4.3) απεικονίζει τον τρόπο λειτουργίας του κελλιού αυτού.

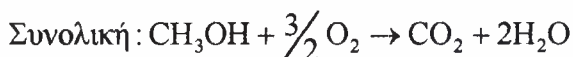
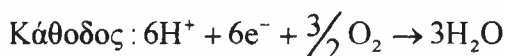
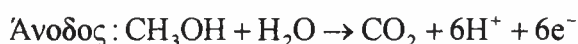


Σχήμα 4.3 Το σύστημα απευθείας χρήσης διαλύματος μεθανόλης. [7]

Η καρδιά του όλου συστήματος βρίσκεται στο κέντρο της συσκευής, πρόκειται για μια παχεία μεμβράνη η οποία είναι τοποθετημένη ανάμεσα σε δυο ηλεκτρόδια άνθρακα, που περιέχουν καταλύτη Pt/Ru σε αναλογία 50/50.

Υδατικό διάλυμα μεθανόλης 3% εισέρχεται στο θάλαμο της ανόδου και μετατρέπεται σε πρωτόνια, ηλεκτρόνια και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πρωτόνια διαχέονται διαμέσου της μεμβράνης και αντιδρούν στην κάθοδο με τον αέρα και τα επιστρέφοντα ηλεκτρόνια για την παραγωγή νερού.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις χημικές αντιδράσεις στην άνοδο και στην κάθοδο είναι οι ακόλουθες.



Η ηλεκτροχημική απόδοση αυτού του τύπου κελλιών είναι περίπου 34% όταν αέρας χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό και η θερμοκρασία βρίσκεται στους 90° C. Η απόδοση θα ξεπεράσει το 45% με τη χρήση εξελιγμένων μεμβρανών, υλικών κελλιών και σχεδίων. Τα κελλιά αυτά έχουν δοκιμαστεί σε εργαστηριακό περιβάλλον για χρόνο μεγαλύτερο των 4000 ωρών (διακοπόμενα) και 200 ωρών αδιάκοπα χωρίς την ελάχιστη πώση της απόδοσής τους.

Η τεχνολογία αυτή προσφέρει **μηδενικές εκπομπές ρύπων, ελαχιστοποίηση συσκευών εξάτμισης και ύγρανσης, σημαντικά μικρότερη πολυπλοκότητα, χαμηλότερο βάρος και διαστάσεις.**

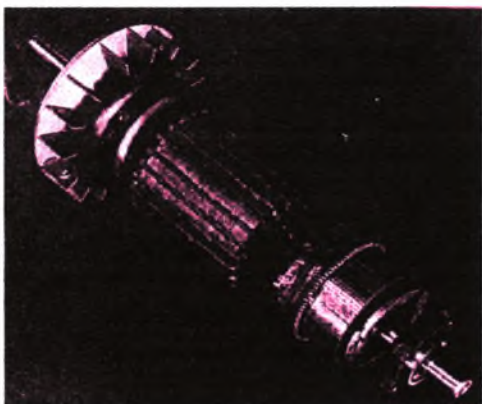
5. ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΕΩΣ**5.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ****5.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ**

Οι στρεφόμενες μηχανές αποτελούνται από τα ακόλουθα κύρια μέλη:

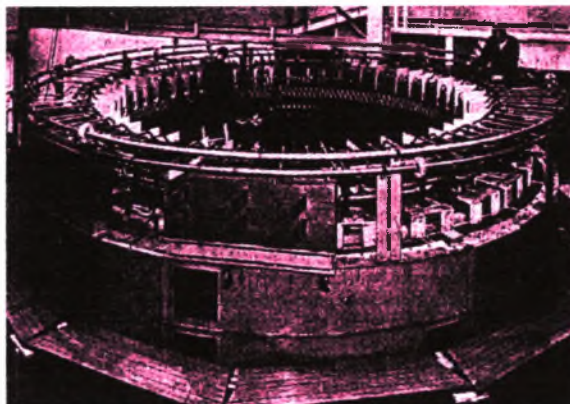
- σταθερό μέλος (στάτης)
- στρεφόμενο μέλος (ρότορας)
- διάκενο αέρα

Κάθε μηχανή αποτελείται από ένα σύνολο πηνίων κατάλληλα τοποθετημένων ώστε να δημιουργούν την επιθυμητή τάση, και ονομάζονται τύλιγμα του οπλισμού. Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος ως οπλισμός θεωρείται ο ρότορας, ενώ στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος ως οπλισμός θεωρείται ο στάτης.

Τα ακόλουθα Σχήματα (5.1.1) και (5.1.2) απεικονίζουν τον οπλισμό ενός συνεχούς κινητήρα (της εταιρίας General Electric Company) και μιας εναλλασσόμενης γεννήτριας (Brown Boveri Corporation)



Σχήμα 5.1.1 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος. [8]



Σχήμα 5.1.2 Γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. [8]

Κατά κύριο λόγο τα πηνία αυτά είναι τυλιγμένα σε σιδερένιους πυρήνες, ώστε να επιτυγχάνονται επιθυμητά αποτελέσματα σχετικά με το μαγνητικό πεδίο, την πυκνότητα της μαγνητικής ενέργειας και άλλες κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Ο σίδηρος του οπλισμού κατασκευάζεται σε λεπτά ελάσματα, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία διννορευμάτων (eddy currents). Το μαγνητικό κύκλωμα ολοκληρώνεται μέσω του σιδήρου του υπολοίπου μέρους της μηχανής καθώς και τα τυλίγματα πεδίου, τα οποία δρουν ως η πηγή της ροής. Στις μηχανές μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης δεν υπάρχουν τυλίγματα στο ρότορα.

Οι κυριότερες κατηγορίες στρεφόμενων μηχανών είναι οι ακόλουθες:

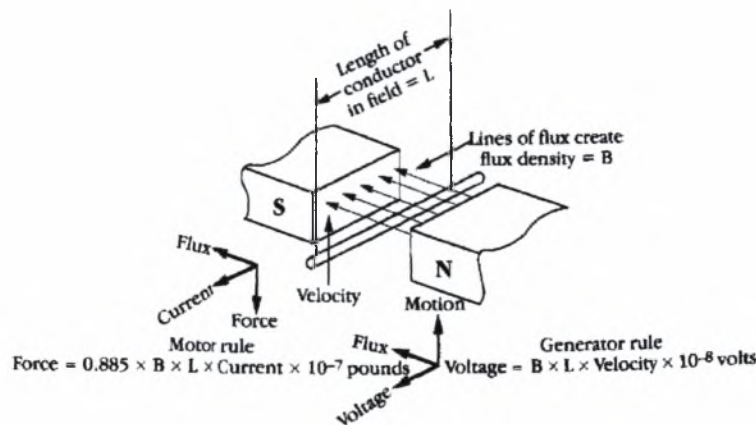
- Μηχανές **συνεχούς ρεύματος (dc machines)**.
- Μηχανές **εναλλασσόμενου ρεύματος (ac machines)**, οι οποίες με τη σειρά τους χωρίζονται σε **σύγχρονες (synchronous)** και **ασύγχρονες ή επαγωγικές (induction)**.

Παρόλο που οι τύποι των μηχανών διαφέρουν σε πολλούς τομείς, οι βασικές αρχές λειτουργίας τους προκύπτουν από την ίδια λογική. Πιο συγκεκριμένα, στις μηχανές συνεχούς ρεύματος η ροπή παράγεται από την τάση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του ρότορα να ευθυγραμμιστούν. Στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, η ροπή παράγεται ακριβώς από την ίδια τάση των πεδίων να ευθυγραμμιστούν.

5.1.1.1 Αρχή λειτουργίας κινητήρα

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα βασίζεται στο γεγονός ότι ένας ρευματοφόρος αγωγός μήκους L , ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα έντασεως I , εντός μαγνητικού πεδίου έντασης B δέχεται μια δύναμη F . Η δύναμη αυτή προκαλεί την κίνηση του ρευματοφόρου αγωγού, ο οποίος με τη σειρά του περιστρέφεται δημιουργώντας ροπή. Αυτή ακριβώς η ροπή είναι η απία η οποία προκαλεί την περιστροφή του κινητήρα και με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε διάφορα στοιχεία μηχανών.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.3) γίνεται εμφανής ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται η δύναμη στον αγωγό, εντός του μαγνητικού πεδίου πυκνότητας B .



7-1 dc motor basics—the motor and generator rules.

Σχήμα 5.1.3 Δημιουργία δύναμης σε στρεφόμενο αγωγό. [2]

Η Εξίσωση (5.1.5) συνδέει τη δύναμη με τη πυκνότητα του πεδίου, το μήκος του και την ένταση του ρεύματος.

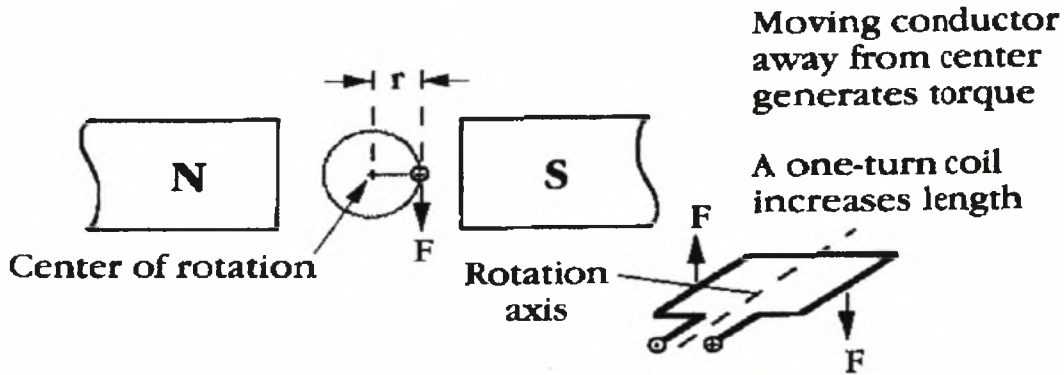
$$F = B \cdot I \cdot L \quad (5.1.1)$$

Από τον τύπο αυτό και με δεδομένες τιμές των παραμέτρων του δεύτερου μέλους, είναι δυνατός ο υπολογισμός της δύναμης που ασκείται σε δεδομένο αγωγό εντός ομοιόμορφου μαγνητικού πεδίου.

Αν ο αγωγός αυτός κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι παράλληλος με άξονα γύρω από τον οποίο θα περιστρέφεται, τότε δημιουργείται ροπή T , η οποία μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από την Εξίσωση (5.1.2)

$$T = F \cdot r \quad (5.1.2)$$

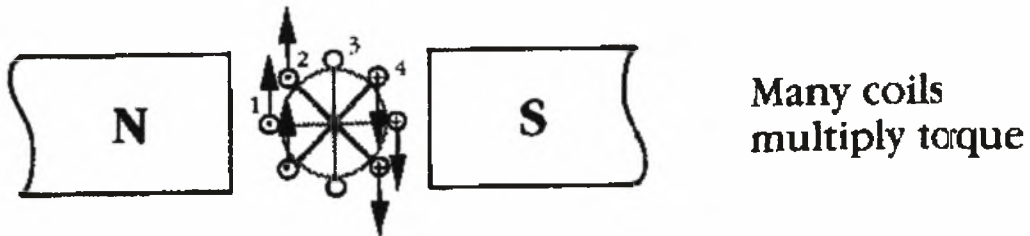
Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.4) γίνεται φανερός ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να κατασκευαστεί ένα κλειστό κύκλωμα, ώστε να δημιουργείται ροπή σε περισσότερους από έναν αγωγούς, με αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό της ροπής περιστροφής.



Σχήμα 5.1.4 Ροπή σε περισσότερους από έναν αγωγούς. [2]

Για να διατηρηθεί σταθερή η τιμή της ροπής, πρέπει η φορά της δύναμης που ασκείται στο αριστερό μέρος του πηνίου να είναι πάντα αντίθετη με τη φορά της δύναμης στο δεξιό μέρος. Για το λόγο αυτό, προστίθεται ο συλλέκτης και οι ψήκτρες, στοιχεία τα οποία δίνουν τη δυνατότητα αξιοποίησης σταθερής τάσης (dc) με σκοπό τη σταθερή περιστροφή.

Τέλος, για να αυξηθεί η ικανότητα σε περιστροφή, προστίθονται επιπλέον πηνία, κάτι που φαίνεται σε ακόλουθο σχήμα. Στην πραγματικότητα, κάθε πηνίο μπορεί να έχει πολλές περιελίξεις, κάτι που εξαρτάται από τις λειτουργικές απαιτήσεις.



Σχήμα 5.1.5 Σταθερή δύναμη αλλά μεταβαλλόμενη ροπή. [2]

Από το Σχήμα (5.1.5) φαίνεται ότι ενώ η τιμή της δύναμης σε κάθε αγωγό είναι σταθερή, η τιμή της ροπής μεταβάλλεται από αγωγό σε αγωγό, με αποτέλεσμα στο ανώτατο καθώς και το κατώτατο σημείο η ροπή να μηδενίζεται. Αντικαθιστώντας την τιμή της δύναμης στη εξίσωση της ροπής, η ροπή παίρνει την ακόλουθη τιμή:

$$T = B \cdot I \cdot L \cdot r \quad (5.1.3)$$

Στην εξίσωση αυτή, οι σταθερές τιμές μπορούν να αντικατασταθούν από μια ολική σταθερά, η οποία περιλαμβάνει στην τιμή της τις ιδιότητες του αγωγού, και συγχρόνως η πυκνότητα της ροής να αντικατασταθεί από το κλάσμα της ροής προς την επιφάνεια του αγωγού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύψει μια απλούστερη εξίσωση της ροπής:

$$T = K \cdot \Phi \cdot I \quad (5.1.4)$$

,όπου το K περιλαμβάνει όλα τα σταθερά χαρακτηριστικά του κινητήρα, Φ είναι η ροή σε μαγνητικές γραμμές και I το ρεύμα που διαρρέει τις ψήκτρες στον οπλισμό του κινητήρα.

Κατά την εμφάνιση της δύναμης στον αγωγό, όταν αυτός βρίσκεται εντός του μαγνητικού πεδίου, **δημιουργείται μια τάση επαγωγής ΗΕΔ η οποία τείνει να αντισταθεί στην αρχική τάση U του αγωγού**, με αποτέλεσμα η πραγματική τιμή της έντασης του ρεύματος να δίνεται από την Εξίσωση (5.1.5):

$$I = (U - E) / R_a \quad (5.1.5)$$

Στην εξίσωση αυτή, U είναι η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα, E η τιμή της ΗΕΔ τάσης η οποία τείνει να αντισταθεί και R_a η τιμή της αντίστασης που παρουσιάζει ο αγωγός.

Όταν εφαρμόζεται σταθερή τιμή τάσης στα άκρα του κινητήρα, προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση, η οποία συνδέει την τάση με τη ροή και την περιστροφική ταχύτητα S :

$$E = K \cdot \Phi \cdot S \quad (5.1.6)$$

Προκύπτει, λοιπόν, ότι η ταχύτητα δίνεται από την Εξίσωση (5.1.7):

$$S = (U - I \cdot R) / (K \cdot \Phi) \quad (5.1.7)$$

5.1.1.2 Αρχή λειτουργίας γεννήτριας

Η αρχή λειτουργίας της γεννήτριας βασίζεται στο γεγονός ότι σε αγωγό μήκους L , ο οποίος βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου B κάθετα προς το πεδίο αυτό και κινείται με ταχύτητα U , ασκείται (επάγεται) τάση ΗΕΔ ίση με την τιμή:

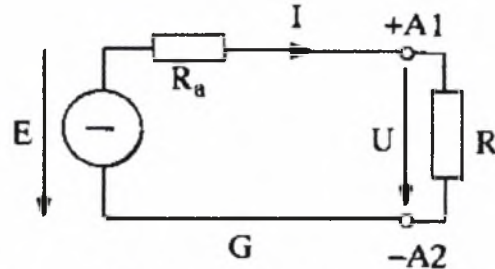
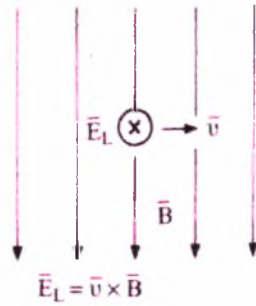
$$E = BUL \quad (5.1.8)$$

Εάν το κύκλωμα του αγωγού κλείσει με μια αντίσταση R , τότε θα κυκλοφορήσει ρεύμα κατά τη φορά του πεδίου E . Η τάση U θα ισούται με :

$$U = E - I \cdot R_a \quad (5.1.9)$$

όπου R_a είναι η εσωτερική αντίσταση του αγωγού L .

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.6) παρουσιάζεται η λειτουργία της γεννήτριας.

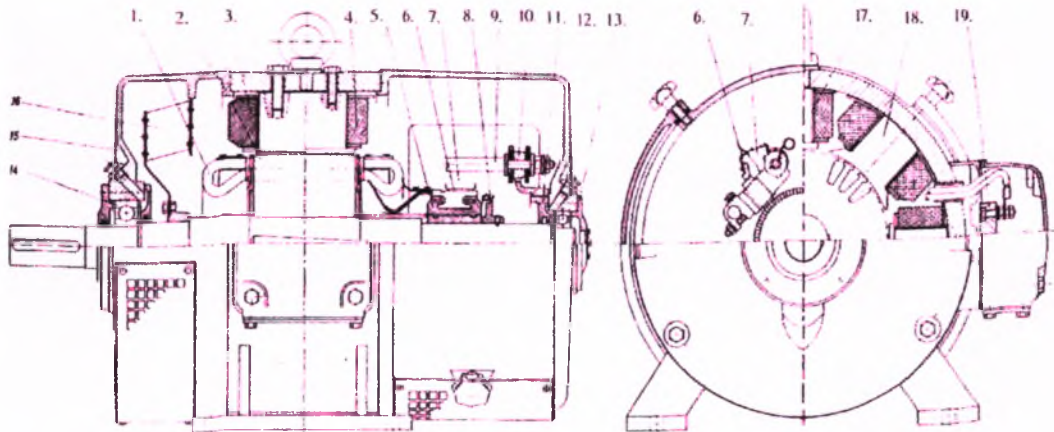


Σχήμα 5.1.6 Λειτουργία γεννήτριας. [19]

Σε μια γεννήτρια, **η ροπή που προκύπτει είναι αντιροπή, δηλαδή ανιπύθεται στην περιστροφή.** Αυτή τη ροπή πρέπει να υπερνικήσει η κινητήρια μηχανή, οπότε μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύς εξόδου απαιτεί μεγαλύτερη μηχανική ισχύ εισόδου.

5.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Το ακόλουθο Σχήμα (5.1.7) απεικονίζει μια απλή μηχανή συνεχούς ρεύματος.



Κινητήρας ΣΡ. 1. Περιέλιξη τυπώνων, 2. Πηνίας δομής, 3. Περιέλιξη κυρίων πόλων, 4. Περιέλιξη βοηθητικών πόλων, 5. Σπύλις, 6. Ρηκτροί, 7. Ψηφροθήκη, 8. Λίκκος ζυγοστάθμισης, 9. Βραχιόνια ψηφροθήκης, 10. Δακτύλιος αναρρόφησης βραχιόνιων, 11. Εσωτερικό πλευρικό αέλιμμα, 12. Πλευρικό κάλυμμα, 13. Εξωτερικό πλευρικό κάλυμμα, 14. Εδρανο ζύλισης (ρωτόμιν), 15. Πλευρικό κάλυμμα, 16. Αντιπάρους, 17. Πηνίας βοηθητικών πόλων, 18. Πηνίας κυρίων πόλων, 19. Πηνιάδα εκκροστών

Σχήμα 5.1.7 Μηχανή συνεχούς ρεύματος. [19]

Ο στάτης μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από τους κύριους πόλους, το ζύγμα, τους βοηθητικούς πόλους, την περιέλιξη των κυρίων πόλων (περιέλιξη διέγερσης) και την περιέλιξη των βοηθητικών πόλων.

Οι βοηθητικοί πόλοι είναι απαραίτητοι και βρίσκονται κυρίως σε μεγαλύτερες ηλεκτρομηχανές, ενώ **η περιέλιξη διέγερσης** σε πολύ μικρές μηχανές αντικαθίσταται από μόνιμους μαγνήτες. **Το ζύγωμα** χρησιμεύει στο κλείσιμο του μαγνητικού πεδίου με μικρή αντίσταση. Οι πόλοι έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια στο σημείο όπου πλησιάζουν προς το ρότορα (πέλμα των πόλων), ώστε να κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια η μαγνητική ροή. Κατασκευάζονται από ειδικά διαμορφωμένα δυναμοελάσματα, ώστε να μειώνεται το φαινόμενο των δινορρευμάτων.

Οι βοηθητικοί πόλοι βρίσκονται ανάμεσα στους βοηθητικούς πόλους και το διάκενό τους είναι μεγαλύτερο από αυτό των κυρίων πόλων. Συνδέονται σε σειρά με την περιέλιξη του δρομέα. Σκοπός τους είναι η βελτίωση του φαινομένου της μετάβασης.

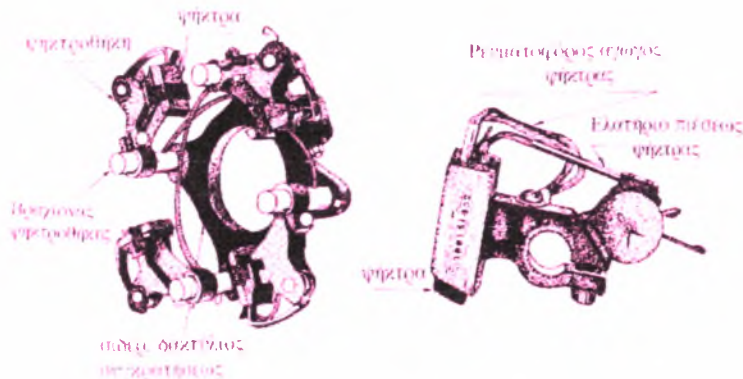
Η περιέλιξη της αντιστάθμισης είναι τοποθετημένη σε αυλάκια στα πέλματα των πόλων μεγάλων κυρίως μηχανών και είναι συνδεδεμένη σε σειρά με την περιέλιξη του δρομέα.

Το στρεφόμενο μέρος του κινητήρα αποτελεί ο δρομέας (ή τύμπανο). Είναι κατασκευασμένος από δυναμοελάσματα, ώστε να μη δημιουργούνται δινορρεύματα απαγορευτικά για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα. Οι αγωγοί της περιέλιξης βρίσκονται εντός των αύλακων του δρομέα.

Ο **συλλέκτης** της μηχανής αποτελείται από χάλκινους τομείς οι οποίοι είναι μονωμένοι και στερεωμένοι κατάλληλα. **Ο περιστρεφόμενος συλλέκτης ολισθαίνει επάνω στις ακίνητες ψήκτρες**, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ειδικές θήκες. Οι ψήκτρες είναι μονωμένες έναντι του στάτη και ο αριθμός τους είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων. **Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τα ενεργά μέρη της μηχανής** και είναι είτε ρευματοφόρα (περιελίξεις, συλλέκτης, ψήκτρες, αγωγοί συνδέσεων, ακροδέκτες) είτε φορείς του μαγνητικού πεδίου (πόλοι, ζύγωμα, πυρήνας δρομέα).

Ως μη ενεργά μέρη θεωρούνται τα πλευρικά καλλύματα, τα έδρανα κύλισης ή ολίσθησης, ο άξονας, οι ανεμιστήρες ψύξης, το κιβώτιο των ακροδεκτών κ.ά.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.1.8) απεικονίζει ένα σύστημα ψηκτρών.



Σχήμα 5.1.8 Σύστημα ψηκτρών. [19]

Οι μηχανές εναλλασσομένου ρεύματος αποτελούνται (όπως και οι συνεχούς ρεύματος) από το σταθερό μέρος (το στάτη), το στρεφόμενο μέρος (ρότορας) και το ενδιάμεσο διάκενο, το οποίο είναι της τάξης του κλάσματος του χιλιοστού.

Ως **ενεργά μέρη** θεωρούνται οι περιελίξεις του στάτη και του ρότορα (οι οποίοι φέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα) και οι πυρήνες του στάτη και του δρομέα (φορείς της μαγνητικής ροής). Οι περιελίξεις είναι τοποθετημένες στα αυλάκια του πυρήνα του στάτη και του ρότορα, ο οποίος πυρήνας αποτελείται από στοιβαγμένα δυναμοελάσματα με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω διννορευμάτων. Στα αυλάκια του στάτη τοποθετούνται οι αγωγοί της τριφασικής περιέλιξης (συνήθως οι μηχανές εναλλασσομένου ρεύματος είναι τριφασικές), τα άκρα των οποίων καταλήγουν στους ισάριθμους ακροδέκτες του κιβωτίου των άκρων.

Ως **μη ενεργά** μέρη θεωρούνται το περίβλημα, ο άξονας, τα πλέγματα, ο ανεμιστήρας και λοιπά στοιχεία στήριξης, έδρασης και μόνωσης.

Το περίβλημα αποτελείται από το μανδύα και τα πλευρικά καλύματα. Τα έδρανα είναι τοποθετημένα στις φωλιές των πλευρικών καλυμμάτων, στις πολύ μεγάλες μηχανές, όμως, έχουν δική τους στήριξη στο δάπεδο.

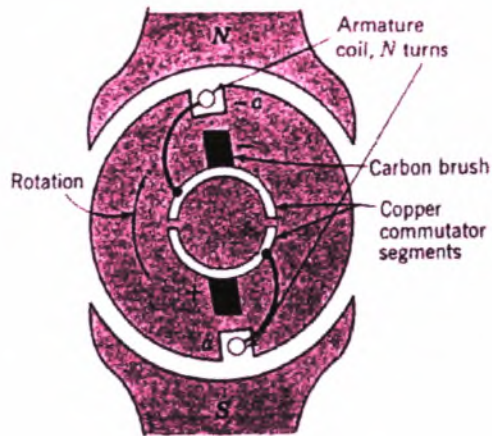
Σε κάθε ηλεκτρική μηχανή αναγράφονται ορισμένα κατασκευαστικά δεδομένα, όπως δεδομένα σχετικά με την ονομαστική λειτουργία της μηχανής (ον. τάση, ον. ισχύς, κλπ).

Ονομαστική ισχύς είναι η μηχανική ισχύς που αποδίδεται στον κινητήριο άξονα, για την περίπτωση του κινητήρα, ενώ στην περίπτωση της γεννήτριας είναι η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς στους ακροδέκτες.

Ονομαστική τάση είναι η πολική τάση, δηλαδή η τάση μεταξύ των αγωγών των φάσεων.

5.1.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

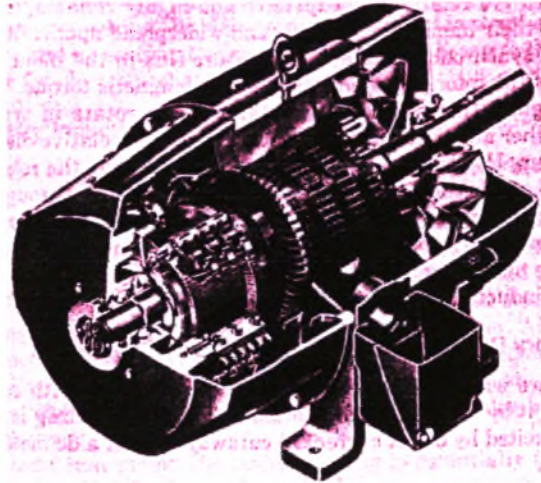
Για να επιτευχθεί η δημιουργία περιστροφικής κίνησης έχει δημιουργηθεί η ακόλουθη διάταξη του Σχήματος (5.1.9), η οποία αποτελεί έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος σε μια πολύ απλή μορφή του.



Elementary dc machine with commutator.

Σχήμα 5.1.9 Απλός κινητήρας συνεχούς ρεύματος. [8]

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.10) παρουσιάζεται μια τομή ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος της General Electric Company.

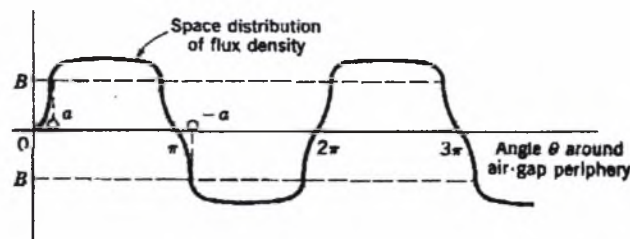


Cutaway view of a typical integral-horsepower dc motor.

Σχήμα 5.1.10 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος. [8]

5.1.3.1 Πυκνότητα ροής B και τάση e

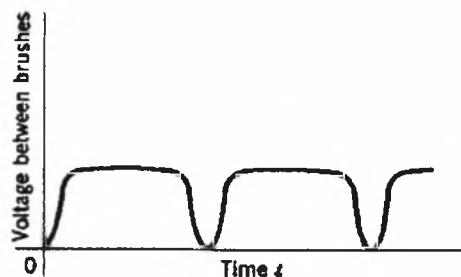
Η κυματομορφή της πυκνότητας ροής στις μηχανές συνεχούς ρεύματος δεν είναι ημιτονοειδής, αλλά έχει μια πιο πεπλατυσμένη μορφή. Η μορφή της απεικονίζεται στο επόμενο Σχήμα (5.1.11) .



Σχήμα 5.1.11 Κυματομορφή της πυκνότητας ροής. [8]

Το πνίο με την περιστροφή του αναπτύσσει μια τάση, η οποία είναι συνάρτηση του χρόνου και έχει την ίδια μορφή με τη μορφή της πυκνότητας της ροής B που αναπτύσσεται στο διάκενο.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.1.12) απεικονίζει τη μορφή της τάσης στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 5.1.12 Τάση σε μηχανές συνεχούς ρεύματος. [8]

Ο σκοπός των μηχανών αυτών είναι η παραγωγή συνεχούς τάσης, κάτι που δεν επιτυγχάνεται, αφού η παραγόμενη τάση του πνιού είναι εναλλασσόμενη. Για το λόγο αυτό η τάση πρέπει να υποστεί **ανόρθωση**, κάτι που επιτυγχάνεται εξωτερικά, με ημιαγωγούς ανορθωτές.

Στις συνήθεις εφαρμογές, η ανόρθωση πραγματοποιείται μηχανικά μέσω **συλλεκτών**, οι οποίοι είναι κύλινδροι παράλληλα τοποθετημένοι με τον άξονα της μηχανής αλλά ανεξάρτητοί του. Κατάλληλες **ψήκτρες** κατασκευασμένες από άνθρακα συνδέουν το τύλιγμα του τυμπάνου (ρότορας) με τους εξωτερικούς ακροδέκτες του τυμπάνου.

Η ανάγκη για ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης είναι ο λόγος για τον οποίο το τύλιγμα του τυμπάνου βρίσκεται στο ρότορα.

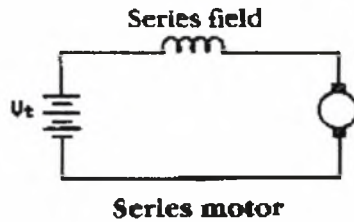
Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος στις πρακτικές τους εφαρμογές διακρίνονται σε **ξένης (separate)**, **σειράς (series)**, **παράλληλης (shunt)** και **σύνθετης (compound) διέγερσης**. Η διάκριση αυτή βασίζεται σε διαφορετικές κατασκευαστικές τεχνικές, οι οποίες εστιάζονται στον τρόπο συνδεσμολογίας του μαγνητικού πεδίου με τον οπλισμό και την πηγή τάσεως μεταξύ τους.

5.1.3.2 Κινητήρες διέγερσης σειράς (series)

Οι κινητήρες αυτοί είναι οι πιο διαδεδομένοι από τους υπόλοιπους συνεχούς ρεύματος και συνδέονται άμεσα με την έλξη (π.χ. σε σιδηροδρομικούς συρμούς).

Το όνομά τους το έχουν πάρει λόγω του ότι το πνίο των πόλων είναι συνδεδεμένο σε σειρά με τον οπλισμό του κινητήρα, εάν παρασταθεί ο κινητήρας ως κύκλωμα. Το ίδιο ρεύμα το οποίο διαρρέει το πνίο των πόλων, διαρρέει επίσης και τον οπλισμό του κινητήρα, οπότε το πνίο είναι κατασκευασμένο από βαρύ σύρμα.

Το κύκλωμα αυτό παριστάνεται στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.13), όπου μπορούν να φανούν η σταθερή πηγή τάσης, το πηνίο των πόλων καθώς και ο οπλισμός (ρότορας) του κινητήρα.



Σχήμα 5.1.13 Κύκλωμα κινητήρα διέγερσης σειράς. [2]

Η ροπή T ενός κινητήρα δίνεται από την Εξίσωση (5.1.10):

$$T = K * \Phi * I \quad (5.1.10)$$

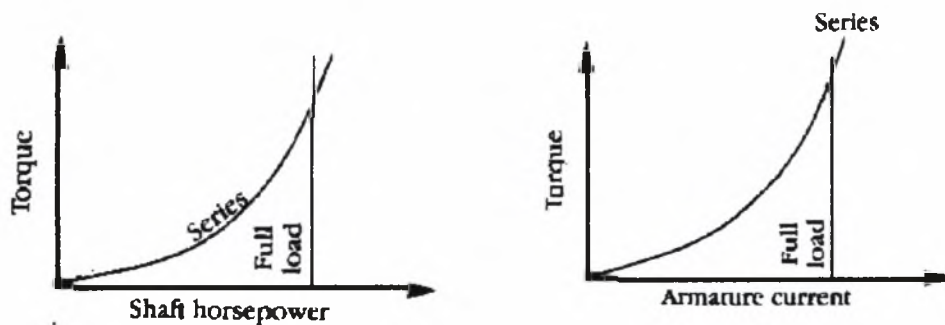
,όπου K σταθερά η οποία λαμβάνει υπόψιν της τα κατασκευαστικά δεδομένα του κινητήρα, Φ η μαγνητική ροή και I το ρεύμα που διαρρέει τον οπλισμό.

Με αντικατάσταση του ρεύματος του οπλισμού με τη ροή Φ , προκύπτει η Εξίσωση (5.1.11):

$$T = K * I^2 \quad (5.1.11)$$

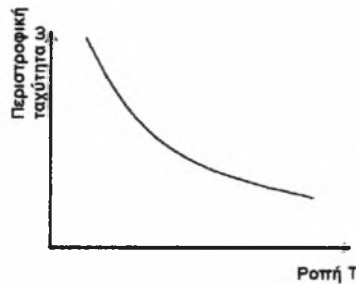
Από την τελευταία αυτή εξίσωση προκύπτει ότι η ροπή σε τέτοιου είδους κινητήρες μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο του ρεύματος που διαρρέει τον οπλισμό.

Ακολουθεί διάγραμμα της ροπής του κινητήρα στην έξοδο, σε σχέση με το ρεύμα του οπλισμού καθώς και σε σχέση με την ισχύ του άξονα εξόδου. Σχήμα (5.1.14).



Σχήμα 5.1.14 Ροπή σε σχέση με το ρεύμα και την ισχύ. [2]

Ακολουθεί διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τη σχέση της περιστροφικής ταχύτητας με τη ροπή του κινητήρα. Σχήμα (5.1.15).



Σχήμα 5.1.15 Σχέση ταχύτητας και ροπής. [19]

Ο κινητήρας διέγερσης σε σειρά έχει μεγάλη ροπή εκκίνησης και για το λόγο αυτό προτιμάται σε ειδικές εφαρμογές, σε σιδηροδρομικούς συρμούς, όπως ήδη αναφέρθηκε στην αρχή.

Η ταχύτητα ενός κινητήρα αυτού του είδους δίνεται από την Εξίσωση (5.1.12):

$$S = (V - I * R) / (K * \Phi) \quad (5.1.12)$$

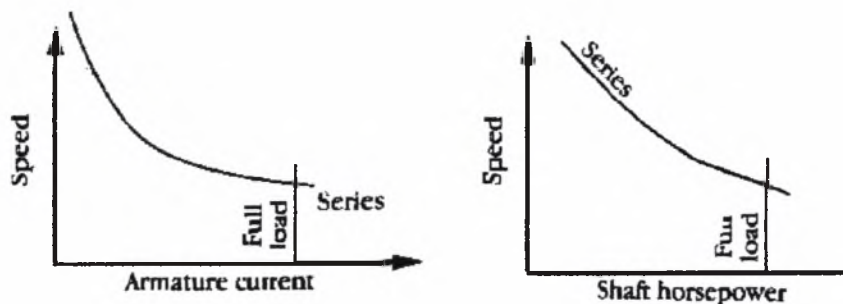
,όπου V η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα και R αντίσταση που παρουσιάζει ο οπλισμός.

Με αντικατάσταση του ρεύματος του οπλισμού με τη ροή Φ , έχω:

$$S = (V - I * (R + R')) / (K * I) \quad (5.1.13)$$

,όπου R , R' είναι οι αντιστάσεις του οπλισμού και του πεδίου αντίστοιχα.

Ακολουθεί το διάγραμμα της ταχύτητας σε σχέση με το ρεύμα του οπλισμού καθώς και σε συνάρτηση με την ισχύ που αποδίδει ο άξονας στην έξοδό του. Σχήμα (5.1.16).



Σχήμα 5.1.16 Ταχύτητα σε σχέση με ρεύμα και ισχύ. [2]

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι κινητήρες αυτοί αποκτούν πολύ μεγάλες τιμές της ταχύτητας όταν το ρεύμα τείνει προς το μηδέν (λειπουργία κενού). Κατά συνέπεια, πρέπει να δωθεί πολύ μεγάλη προσοχή σε περιπτώσεις όπου ο κινητήρας δεν έχει φορτίο, ώστε να μην ξεκινήσει χωρίς να

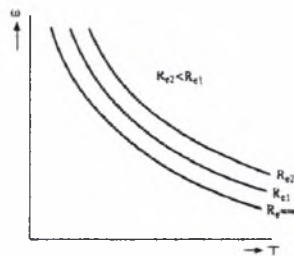
απαιτείται. Πρέπει, λοιπόν, να είναι πάντοτε συμπλεγμένος (με συμπλέκτη και όχι με ιμάντα) με τη μηχανή εργασίας.

Στους κινητήρες αυτού του τύπου μπορεί με κατάλληλη συνδεσμολογία να πραγματοποιηθεί έλεγχος της ταχύτητας. Η περιστροφική ταχύτητα στους κινητήρες αυτούς δίνεται από την Εξίσωση (5.1.14):

$$S = (V - I * (R + R')) / (K * I) \quad (5.1.14)$$

Με παρατήρηση προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αύξηση της αντίστασης μπορεί να επιφέρει μείωση της ταχύτητας. Κάτι τέτοιο πραγματοποιείται με την προσθήκη αντίστασης εν παραλλήλω με το πηνίο (και κατά συνέπεια και την αντίστασή του) του σταθερού πεδίου.

Ακολουθεί διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τη μείωση (έλεγχο) της περιστροφικής ταχύτητας με την αύξηση της αντίστασης, για διάφορες τιμές της αντίστασης αυτής, σε συνάρτηση με τη ροπή του κινητήρα. Σχήμα (5.1.17).



Σχήμα 5.1.17 Μείωση της ταχύτητας με αύξηση της αντίστασης. [19]

Η αντιστροφή της εφαρμοζόμενης τάσης στα άκρα του κυκλώματος δεν έχει ως αποτέλεσμα την αντιστροφή της φοράς περιστροφής του κινητήρα. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται όταν το πηνίο μετατεθεί σε σχέση με τον οπλισμό.

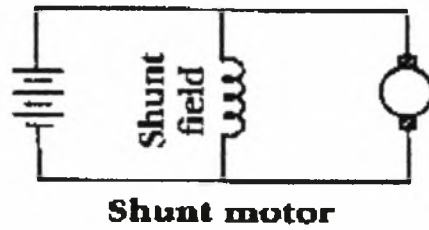
Στους κινητήρες διέγερσης σε σειρά δεν είναι δυνατή η ανάκτηση μέρους της ενέργειας πέδησης ώστε να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης. Η πρακτική τους εφαρμογή έχει αποδείξει ότι παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα, τα οποία όμως βελτιώθηκαν με την εμφάνιση των σύγχρονων ηλεκτρονικών συστημάτων.

5.1.3.3 Κινητήρες παράλληλης διέγερσης (shunt)

Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης η ροπή T δίνεται από την Εξίσωση (5.1.15)

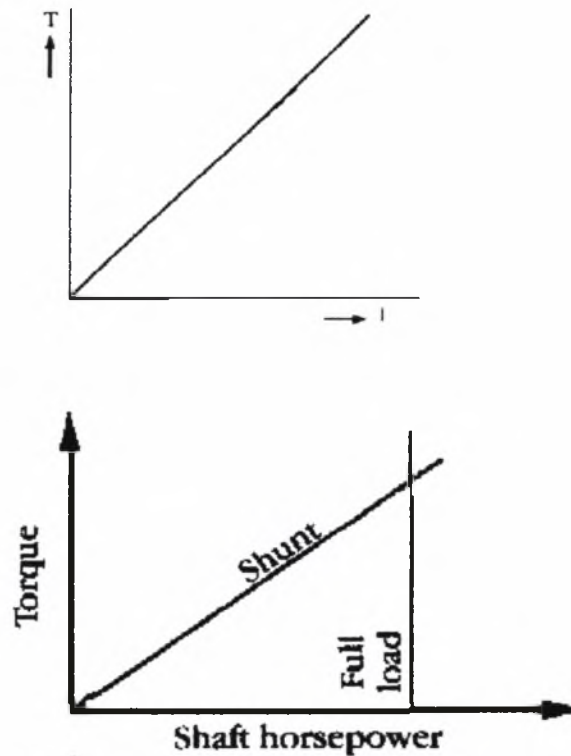
$$T = K * F * I \quad (5.1.15)$$

Η συνδεσμολογία σε τέτοιου είδους κινητήρες μπορεί να παρουσιαστεί στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.18)



Σχήμα 5.1.18 Συνδεσμολογία κινητήρα παράλληλης διέγερσης. [2]

Ακολουθεί διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τη ροπή του κινητήρα σε σχέση με το ρεύμα του οπλισμού καθώς και σε συνάρτηση με την ισχύ του άξονα στην έξοδό του. Σχήμα (5.1.19).

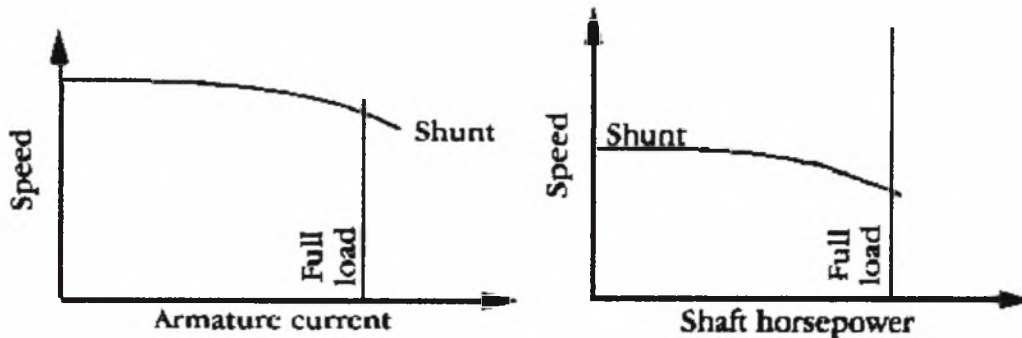


Σχήμα 5.1.19 Ροπή σε σχέση με ρεύμα και ισχύ. [2]

Η εξίσωση της ταχύτητας του κινητήρα δίνεται από την Εξίσωση (5.1.15):

$$S = (V - I * R) / (K * F) \quad (5.1.15)$$

Ακολουθεί διάγραμμα για την ταχύτητα σε συνάρτηση με το ρεύμα καθώς και την ισχύ του άξονα στην έξοδό του. Σχήμα (5.1.20).



Σχήμα 5.1.20 Ταχύτητα σε σχέση με ρεύμα και ισχύ. [2]

Οι κινητήρες αυτού του είδους μπορούν να παρουσιάσουν αύξηση της ταχύτητάς τους, μειώνοντας το ρεύμα του πηνίου, με τη σύνδεση αντίστασης σε σειρά με το σύρμα του σταθερού πεδίου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή του κινητήρα.

Η αντιστροφή της εφαρμοζόμενης τάσης έχει ως αποτέλεσμα την αντιστροφή τόσο της φοράς του ρεύματος όσο και του παραγόμενου πεδίου, οπότε δεν αλλάζει η φορά περιστροφής του κινητήρα. Για την πραγματοποίηση της αλλαγής περιστροφής, πρέπει να αντιμετωπιστεί η θέση του σύρματος του σταθερού πεδίου.

Η ανάκτηση ενέργειας μέσω της πέδησης είναι εφικτή σε αυτούς τους κινητήρες, καθώς το διάγραμμα της τάσης σε συνάρτηση με το ρεύμα δίνει σχεδόν γραμμική καμπύλη κατά τη χρήση τόσο σαν κινητήρα όσο και ως γεννήτρια. Το δεδομένο αυτό επιτυγχάνεται είτε χειροκίνητα είτε με ηλεκτρονικά μέσα.

5.1.3.4 Κινητήρες σύνθετης διέγερσης (compound)

Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης είναι συνδυασμός των κινητήρων παράλληλης και σε σειρά διέγερσης.

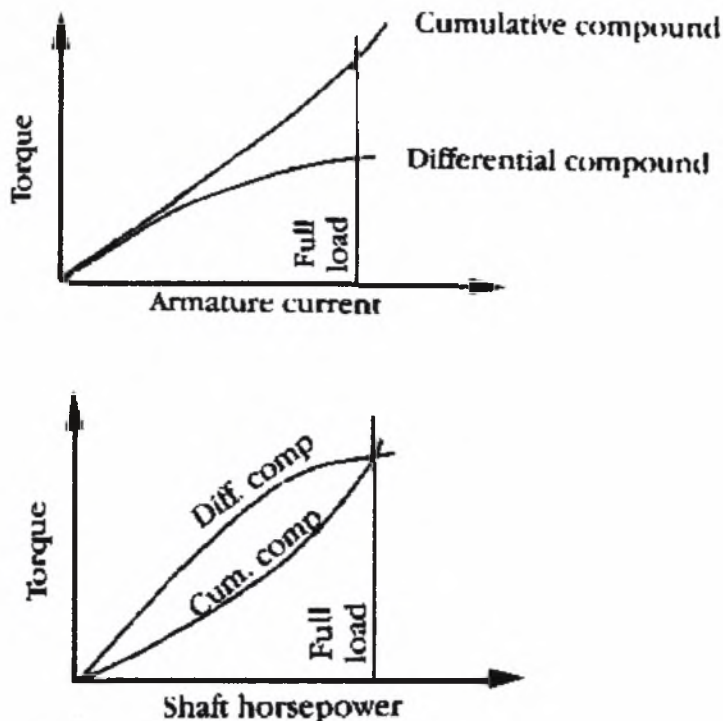
Η ροπή δίνεται από την Εξίσωση (5.1.16):

$$T = K * (\Phi_s + \Phi) \quad (5.1.16)$$

ο οποίος εξαρτάται από τον τρόπο της συνδεσμολογίας, ανάλογα αν πρόκειται για συνδεσμολογία ενίσχυσης ή εξασθένισης του μαγνητικού πεδίου.

Η διαφορετική τιμή της ροπής ανάλογα με το πρόσημο είναι εμφανής στο διάγραμμα της ροπής σε συνάρτηση με το ρεύμα, όπου η προστιθέμενη τιμή της ροπής προσδίδει υψηλότερο ρυθμό αύξησης της ροπής σε σχέση με την τιμή του ρεύματος.

Ακολουθεί το διάγραμμα της ροπής σε σχέση με το ρεύμα του οπλισμού και την ισχύ στην έξοδο του τελικού άξονα. Σχήμα (5.1.21).

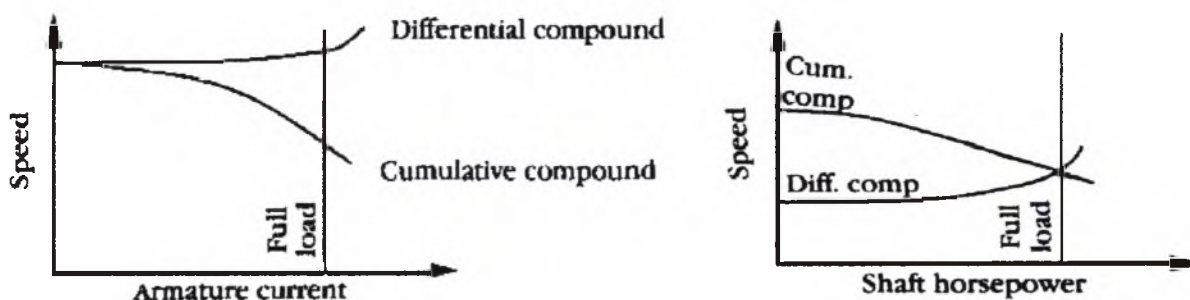


Σχήμα 5.1.21 Ροπή σε σχέση με ρεύμα και ισχύ. [2]

Η ταχύτητα δίνεται από την Εξίσωση (5.1.17):

$$S = (V - I * (R + R)) / ((K * (\Phi + \Phi))) \quad (5.1.17)$$

Ακολουθεί το διάγραμμα της ταχύτητας σε συνάρτηση με το ρεύμα του οπλισμού καθώς και με την ισχύ του άξονα. Σχήμα (5.1.22).



Σχήμα 5.1.22 Ταχύτητα σε σχέση με ρεύμα και ισχύ. [2]

Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας του κινητήρα, η αντιστροφή της πολικότητας της πηγής έχει διαφορετικά αποτελέσματα ως προς την αντιστροφή της φοράς περιστροφής του τελικού άξονα.

Προτέρημα των κινητήρων αυτών είναι ότι μπορούν να αποφευχθούν συμπώματα αύξησης της ταχύτητας (χαρακτηριστικό των δυο προηγούμενων ειδών κινητήρων που αναλύθηκαν) όταν το ρεύμα του οπλισμού έχει χαμηλές

τιμές (για τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης) και όταν η ισχύς βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα (για τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης).

Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως γεννήτριες, αφού έχουν τη δυνατότητα να ανακτούν μέρος της ενέργειας πέδησης και να το αποθηκεύουν στις μπαταρίες.

5.1.3.5 Μόνιμου μαγνήτη

Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν την κατασκευαστική δομή που παρουσιάστηκε στην εισαγωγή της αρχής λειτουργίας των κινητήρων. Η μεταλλουργική τεχνολογία έχει δώσει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης νέων κραμάτων τα οποία έχουν την ίδια απόδοση αλλά πολύ χαμηλότερο βάρος, καθιστώντας τους κινητήρες αυτούς ευρέως χρησιμοποιούμενους τα τελευταία χρόνια.

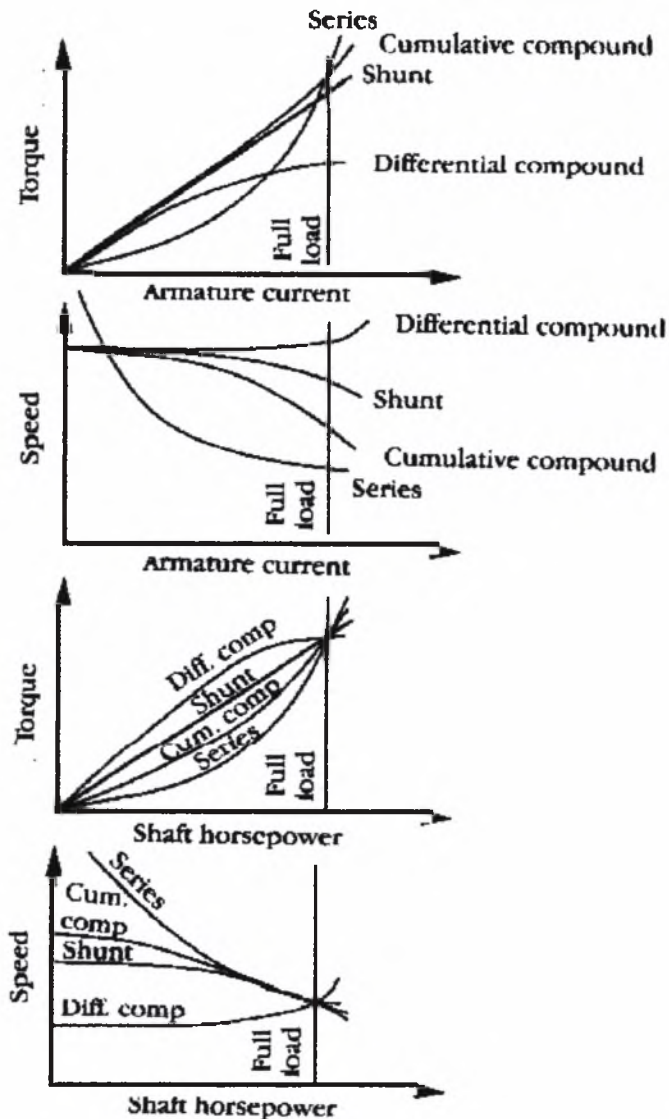
Η ταχύτητα και η ροπή των κινητήρων αυτών προσεγγίζει τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης, κάτι που συμβαίνει και με την αναστροφή της λειτουργίας τους καθώς και την ανάκτηση της ενέργειας πέδησης. Όμως, έχουν υψηλότερες τιμές ροπής εκκίνησης καθώς και περισσότερα γραμμικές καμπύλες στις γραφικές παραστάσεις της ταχύτητας σε αναλογία με το φορτίο.

5.1.3.6 Κινητήρες χωρίς ψήκτρες

Οι κινητήρες χωρίς ψήκτρες χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αφού δεν εμπλέκονται στην κατασκευή οι επαφές της ψήκτρας με άλλους κλάδους. Πρακτικά, οι κινητήρες αυτοί προσεγγίζουν την κατασκευαστική δομή των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα χαρακτηριστικά των κινητήρων αυτών μοιάζουν με των κινητήρων μόνιμου μαγνήτη, δηλαδή χαρακτηριστικά παράλληλης διέγερσης με υψηλή ροπή εκκίνησης και γραμμικές ταχύτητες και ροπές με το επιπλέον προνόμιο υψηλότερης απόδοσης.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.23) παρουσιάζονται συνολικά οι καμπύλες της ροπής, ταχύτητας σε σχέση με το ρεύμα του οπλισμού και την ισχύ του τελικού άξονα.



Σχήμα 5.1.23 Συγκεντρωτικά στοιχεία κινητήρων και καμπύλες ροπής και ταχύτητας σε σχέση με ρεύμα και ισχύ. [2]

5.1.4 ΕΠΑΓΩΓΙΚΕΣ (ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ) ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η πιο διαδεδομένη μορφή μηχανής είναι η επαγωγική ή ασύγχρονη μηχανή. Κυρίως εμφανίζεται με τη μορφή κινητήρα, καθώς παρουσιάζει μη ικανοποιητικά χαρακτηριστικά κατά την εφαρμογή ως γεννήτρια. Διακρίνονται με τη σειρά τους σε μηχανές **δακτυλιοφόρου κλωβού (wound rotor)** και **βραχυκυκλωμένου δρομέα (squirrel cage rotor)**.

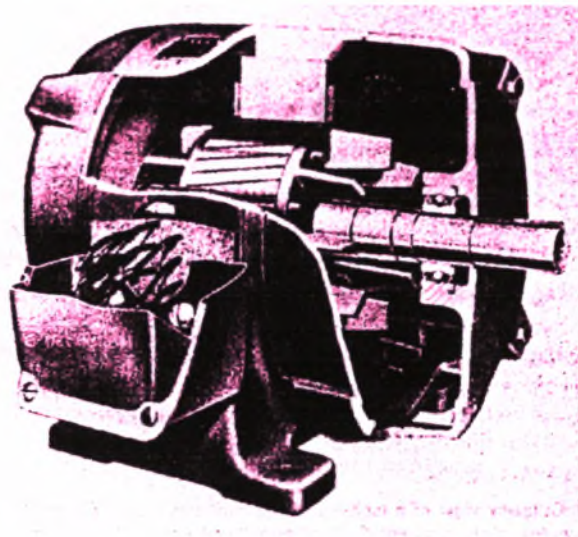
Οι μηχανές **δακτυλιοφόρου κλωβού (wound rotor)** έχουν πολυφασικό τύλιγμα ίδιο με το τύλιγμα το στάτη και με τον ίδιο αριθμό πόλων. Οι ακροδέκτες του δρομέα συνδέονται με μεμονωμένους δακτύλιους συναρμολογημένους επάνω στον άξονα. Οι ακροδέκτες του δρομέα συνδέονται σε εξωτερικά

κυκλώματα μέσω ψηκτρών, οι οποίες διατηρούν επαφή στην επιφάνεια των δακτυλίων.

Οι μηχανές **βραχυκυκλωμένου δρομέα (squirrel cage rotor)** αποτελούνται από τυλίγμα δρομέα από αγωγίμους ράβδους τοποθετημένους στα αυλάκια του δρομέα και βραχυκυκλωμένους στα άκρα τους μέσω δακτυλίων. Σε μεγάλους κινητήρες οι ράβδοι μπορούν να έχουν διάφορες διατομές, ενώ σε μικρότερους κινητήρες οι δακτύλιοι κατασκευάζονται από αλουμίνιο διαχυτεύσεως μέσα στα αυλάκια.

Εναλλασσόμενο ρεύμα διαρρέει τόσο τα τυλίγματα του στάτη όσο και τα τυλίγματα του ρότορα, με το φαινόμενο της επαγωγής. Η επαγωγική μηχανή μπορεί να θεωρηθεί ως ένας γενικευμένος μετασχηματιστής, στον οποίο ηλεκτρική ισχύς μεταδίδεται ανάμεσα στο στάτη και το ρότορα, μαζί με μια μεταβολή της συχνότητας. Το γεγονός ότι η ισχύς μεταδίδεται μέσω επαγωγής οδηγεί στο να μην υπάρχουν ειδικές συνδέσεις, όπως οι συλλέκτες είτε οι ψήκτρες (στις μηχανές βραχυκυκλωμένου κλωβού).

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.24) απεικονίζεται μια τομή ενός επαγωγικού κινητήρα.

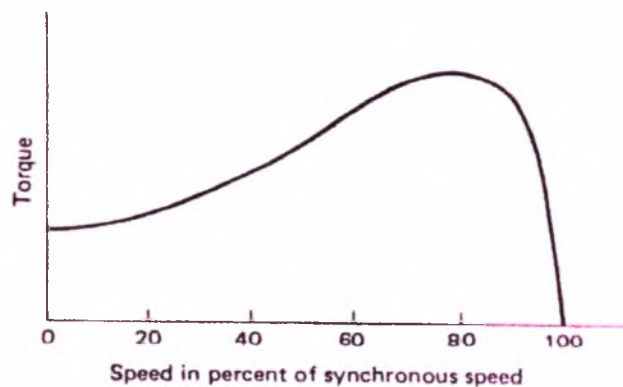


Cutaway view of a squirrel-cage induction motor
(Westinghouse Electric Corporation.)

Σχήμα 5.1.24 Τομή επαγωγικού κινητήρα. [8]

Η ροή του οπλισμού οδηγεί (προηγείται) τη ροή του ρότορα και παράγει ηλεκτρομαγνητική ροπή. Οι **μαγνητικές ροές** του στάτη και του ρότορα είναι σύγχρονες μεταξύ τους (στρέφονται με την ίδια-σύγχρονη ταχύτητα) και η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη της σχετικής θέσης των ροών. Παρόλα αυτά, ο ρότορας δε στρέφεται σύγχρονα από μόνος του. Είναι η **ολίσθηση** του ρότορα πάνω στη σύγχρονη ροή του οπλισμού που δίνει αύξηση στο επαγόμενο ρεύμα του ρότορα και τελικά στη ροπή. Ένας επαγωγικός κινητήρας λειτουργεί σε λίγο μικρότερη ταχύτητα από τη σύγχρονη μηχανική ταχύτητα.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.25) παρουσιάζεται η σχέση της σύγχρονης ταχύτητας με τη ροπή του κινητήρα.



Typical induction-motor speed-torque characteristic.

Σχήμα 5.1.25 Σχέση σύγχρονης ταχύτητας και ροπής. [8]

5.1.4.1 Ολίσθηση

Το πεδίο του τυλιγματος του στάτη στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα, έστω η_1 . Ο δρομέας στρέφεται με ταχύτητα η μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας η_1 , οπότε ο δρομέας ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο του στάτη, δηλαδή υφίσταται **ολίσθηση** κατά $\eta_1 - \eta$. Η ολίσθηση s ορίζεται ως:

$$s = \frac{\eta_1 - \eta}{\eta_1} \quad (5.1.18)$$

Η σχετική αυτή κίνηση επάγει τάση στο δρομέα με συχνότητα :

$$f_2 = s \cdot f_1 \quad (5.1.19)$$

Η συχνότητα f_2 καλείται **συχνότητα ολίσθησης**.

Η εξίσωση της ροπής σε επαγωγικό κινητήρα δίνεται από την Εξίσωση (5.1.20):

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{P}{2}\right)^2 \cdot \Phi_{sr} \cdot F_r \cdot \sin \delta_r \quad (5.1.20)$$

όπου P είναι ο αριθμός των πόλων, Φ_{sr} η συνιστάμενη ροή στο διάκενο (την οποία θεωρούμε προσεγγιστικά σταθερή όταν η τάση και η συχνότητα είναι σταθερές) και F_r είναι η ΜΕΔ δύναμη του δρομέα και είναι ανάλογη προς το ρεύμα του δρομέα I_r . Κατά συνέπεια, η εξίσωση της ροπής δίνεται από την Εξίσωση (5.1.21):

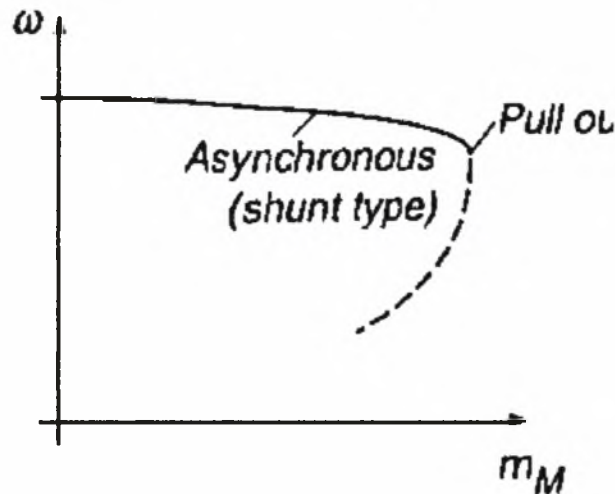
$$T = K \cdot I_r \cdot \sin \delta_r \quad (5.1.21)$$

όπου K σταθερά και δ_r η γωνία μεταξύ των δυο πεδίων.

Από το Σχήμα (5.1.25) είναι φανερό ότι ο κινητήρας δεν πρέπει να λειτουργεί στην καμπύλη αριστερά της μέγιστης ροπής (ή **ροπή ανατροπής**), αφού παρατηρείται σημαντική υπερφόρτιση του κινητήρα. Για το λόγο αυτό, ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί στην περιοχή δεξιά της ροπής ανατροπής.

Η ροπή ανατροπής πρέπει να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της ονομαστικής ροπής, ώστε σε περίπτωση ξαφνικής υπερφόρτισης να μην υπάρχει μετάβαση στην ασταθή περιοχή λειτουργίας. Στην ονομαστική τιμή της ροπής, η ολίσθηση είναι μικρή (από 0,5 μέχρι 8%) και μειώνεται όταν υπάρχει αυξανόμενη ονομαστική ισχύς.

Λόγω του ότι ο κινητήρας αυτού του τύπου λειτουργεί σε δεδομένη περιοχή, μπορεί να παρασταθεί το διάγραμμα της ταχύτητας σε σχέση με τη ροπή για τη δεδομένη περιοχή λειτουργίας (Σχήμα (5.1.26)).



Σχήμα 5.1.26 ταχύτητα σε σχέση με ροπή. [20]

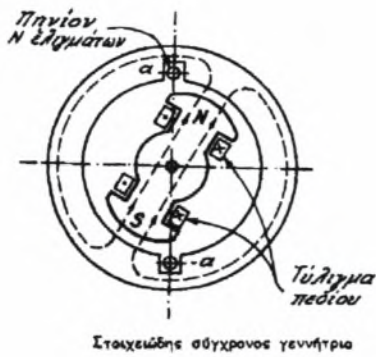
Ο επαγωγικός κινητήρας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

- Έλλειψη συλλεκτών ή ψηκτρών, που συμβάλλουν στην απλούστερη και ανθεκτικότερη κατασκευή.
- Δυνατότητα χρήσης σε περιβάλλοντα άσχημων συνθηκών (αέρας με αιωρούμενα σωματίδια ή σκόνες).
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία και απόδοση (λόγω λιγότερων τριβών από τις ψήκτρες και τους συλλέκτες).
- Χαμηλότερο κόστος λόγω απλούστερης κατασκευής.
- Μικρότερος όγκος και βάρος.
- Μικρότερη αδράνεια.

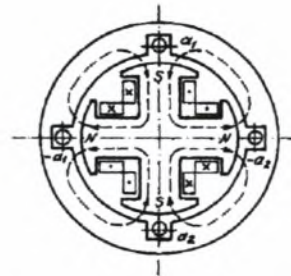
Η εντυπωσιακή αυτή λίστα οδηγεί το μηχανικό στην επιλογή ενός επαγωγικού κινητήρα. Όμως, ο έλεγχος των κινητήρων αυτών είναι δύσκολος, καθώς απαιτούνται σύγχρονες και ίσως πολύπλοκες λύσεις αυτομάτου ελέγχου, ώστε οι κινητήρες αυτοί να λειτουργήσουν σε ευρύ φάσμα στροφών και να συγχρόνως να μπορέσουν να μετατρέψουν το συνεχές ρεύμα των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο.

5.1.5 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ) ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Τα ακόλουθα Σχήματα (5.1.27), (5.1.28) παρουσιάζουν την απλή μορφή μιας σύγχρονης γεννήτριας δύο πόλων καθώς και μιας σύγχρονης μηχανής τεσσάρων πόλων. [21]



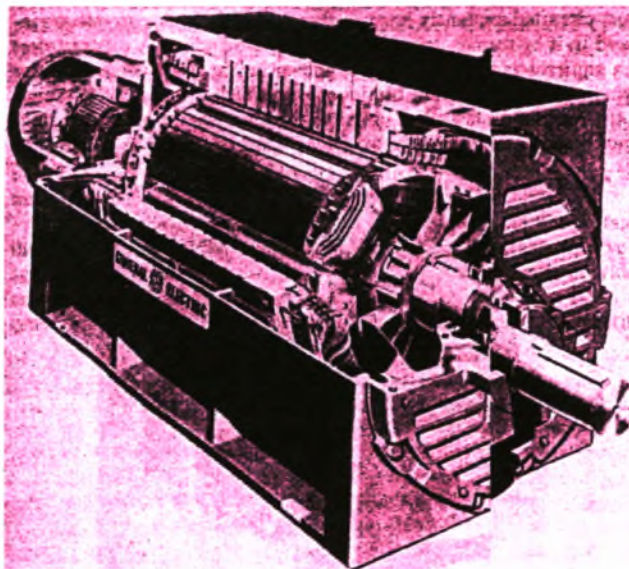
Σχήμα 5.1.27 Σύγχρονη γεννήτρια δύο πόλων



Σχ. 5.8. Στοιχειώδης 4-πολική σύγχρονος γεννήτρια

Σχήμα 5.1.28 Σύγχρονη γεννήτρια τεσσάρων πόλων

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.29) παρουσιάζεται μια τομή μιας σύγχρονης μηχανής (κινητήρας) της General Electric Company.



Σχήμα 5.1.29 Τομή σύγχρονου κινητήρα. [8]

5.1.5.1 Στάτης

Ο στάτης είναι κατασκευασμένος κατά τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχουν κατάλληλες υποδοχές για το πηνίο του στάτη (τύλιγμα τυμπάνου) και το πηνίο του ρότορα (τύλιγμα πεδίου). Στη διπολική μηχανή, το πηνίο του στάτη αποτελείται από N ελίσματα και συμβολίζεται με a και $-a$, όπου a και $-a$ είναι οι δυο πλευρές του πηνίου τοποθετημένες στα δυο αντιδιαμετρικά αυλάκια. Οι αγωγοί είναι

παράλληλοι προς τον άξονα περιστροφής της γεννήτριας και είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω κατάλληλης συνδεσμολογίας.

Στην περίπτωση του τετραπολικού κινητήρα, τα αυλάκια του πηνίου είναι δομημένα ανά 90° , και συμβολίζονται ως $(a_1, -a_1)$ και $(a_2, -a_2)$.

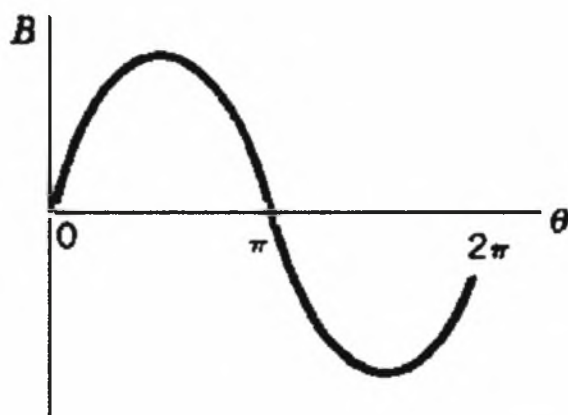
5.1.5.2 Ρότορας

Ο ρότορας αποτελείται από δύο πόλους (βόρειος και νότιος), και γύρω από το δρομέα βρίσκονται επίσης τυλιγμένοι αγωγοί, οι οποίοι δημιουργούν μαγνητικό πεδίο.

Ο ρότορας είναι δυνατό να αποτελείται από περισσότερους των δυο πόλων, όπως φαίνεται στο Σχήμα (5.1.28), για την περίπτωση της τετραπολικής μηχανής.

5.1.5.3 Πυκνότητα ροής B και τάση πηνίου e

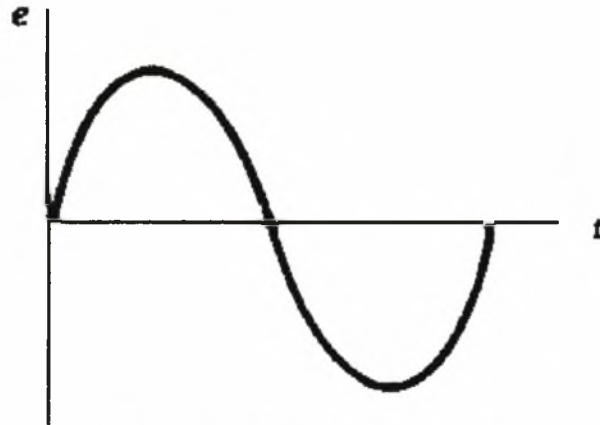
Η πυκνότητα ροής B κατά μήκος της γωνίας θ (που δημιουργείται κατά την περιστροφή του άξονα) παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.30), για την περίπτωση του διπολικού κινητήρα.



Σχήμα 5.1.30 Πυκνότητα ροής σε διπολικό κινητήρα. [8]

Στις πρακτικές εφαρμογές η κυματομορφή της πυκνότητας της ροής μπορεί να θεωρηθεί ότι ταυτίζεται με την ημιονοειδή καμπύλη, για κατάλληλη διάμόρφωση των επιφανειών των πόλων. Κατά την περιστροφή του ρότορα περί τον άξονά του, το κύμα της πυκνότητας ροής σαρώνει την επιφάνεια του στάτη και κατά συνέπεια διέρχεται και από το πηνίο $(a, -a)$. Η σάρωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσης e στο πηνίο, η οποία τάση έχει την ίδια μορφή με την πυκνότητα της ροής B.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.31), παρουσιάζεται η καμπύλη της τάσης e του πηνίου σε σχέση με το χρόνο t .



Σχήμα 5.1.31 Τάση πηνίου. [8]

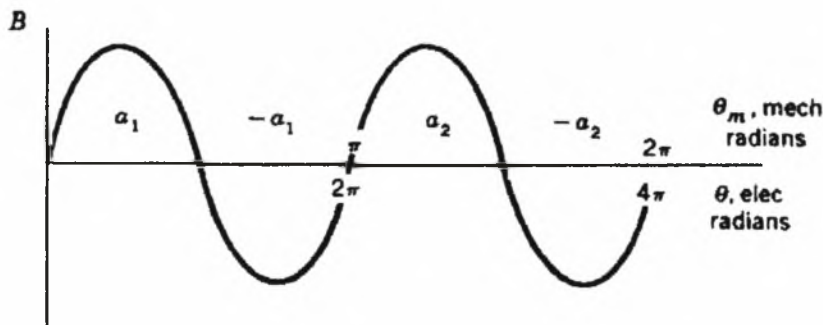
Στην περίπτωση των τετραπολικών μηχανών, η καμπύλη της πυκνότητας ροής B έχει διπλάσια συχνότητα της συχνότητας μιας διπολικής μηχανής. Ανάλογο φαινόμενο παρατηρείται και όσον αφορά την τάση e του πηνίου.

Γενικά, η συχνότητα μια μηχανής με P πόλους δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση, η οποία συνδέει τον αριθμό των πόλων P και τις στροφές N της μηχανής:

$$f = \frac{P}{2} \cdot \frac{N}{60} \quad \text{κύκλοι ανά δευτερόλεπτο} \quad (5.1.22)$$

Η ταχύτητα περιστροφής N δίνεται σε στροφές ανά λεπτό.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.32) παρουσιάζεται η καμπύλη της πυκνότητας ροής B σε συνάρτηση της γωνίας, για τετραπολικές σύγχρονες μηχανές.



Space distribution of flux density in a four-pole synchronous generator.

Σχήμα 5.1.32 Πυκνότητα ροής σε τετραπολικές μηχανές. [8]

Για την ευκολότερη μελέτη των μηχανών, έχει επινοηθεί η έκφραση της γωνίας σε ηλεκτρικές μοίρες, όπου η γωνία θ (σε ηλεκτρικές μονάδες) συνδέεται με τη μηχανική γωνία θ_m και τον αριθμό των πόλων P με την Εξίσωση (5.1.23):

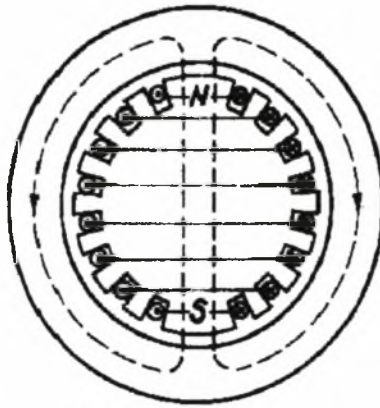
$$\theta = \frac{P}{2} \cdot \theta_m \quad (5.1.23)$$

Από τα διαγράμματα γίνεται φανερό ότι το βήμα κάθε πηνίου ισούται με το μισό της περιόδου της καμπύλης της πυκνότητας ροής. Αυτό συνεπάγεται ότι στην τετραπολική μηχανή το βήμα του πηνίου ισούται με 90° σε αντίθεση με τη διπολική, όπου το βήμα του πηνίου είναι 180° .

5.1.5.4 Κατασκευαστικά δεδομένα σύγχρονων μηχανών

Στα προηγούμενα Σχήματα (5.1.27) , (5.1.28), οι πόλοι της μηχανής προεξείχαν και συγχρόνως τα τυλίγματα του πηνίου προεξείχαν. Η ονομασία των πόλων αυτών είναι έκτυποι. Μια σύγχρονη μηχανή μπορεί να έχει διανεμημένο τυλίγμα και ο ρότορας να έχει κυλινδρική μορφή. Με την κατασκευαστική αυτή διαμόρφωση επιτυγχάνεται καμπύλη πυκνότητας ροής B κατά προσέγγιση ημιποσειδής.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.33) παρουσιάζεται η κατασκευαστική διαμόρφωση που μόλις περιγράφηκε.



Στοιχειώδης 2-πολική σύγχρονη μηχανή με κυλινδρικό δρομέα
Σχήμα 5.1.33 Μηχανή με κυλινδρικό δρομέα. [21]

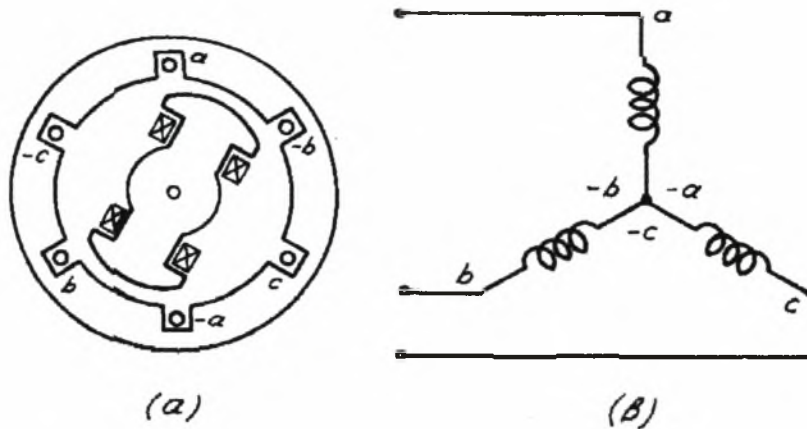
Η κατασκευή αυτή είναι δίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής, όπου απαιτείται εξισορρόπηση των φυγοκεντρικών δυνάμεων.

5.1.5.5 Τριφασικές σύγχρονες μηχανές.

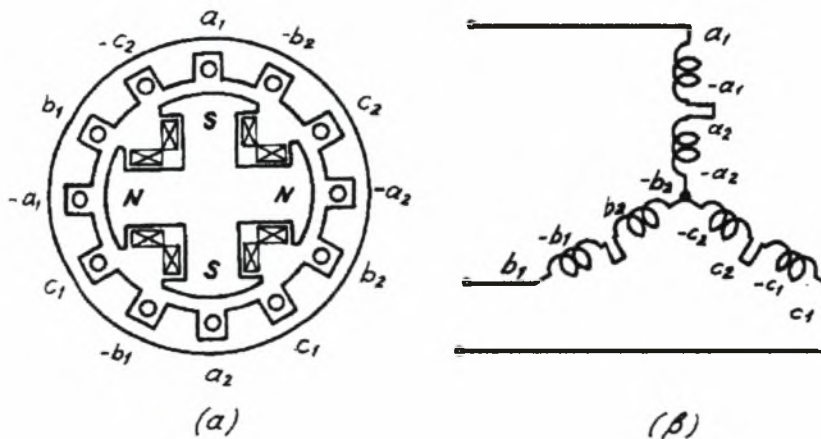
Η πλειοψηφία των σύγχρονων γεννητριών είναι τριφασικές, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι γεννήτριες αυτές στη μεταφορά και παραγωγή της ενέργειας. Οι τριφασικές γεννήτριες αποτελούνται από 3 πηνία, τα οποία είναι διανεμημένα στο χώρο ανά 120° ηλεκτρικές μοίρες (για διπολική μηχανή).

Γενικά, σε μια μηχανή P πόλων πρέπει να γίνει χρήση $P/2$ όμοιων πηνίων. Σε τετραπολική μηχανή, κατά συνέπεια, πρέπει να χρησιμοποιηθούν 2 όμοια πηνία, τα οποία μεταξύ τους θα συνδέονται σε σειρά, με κατάλληλη συνδεσμολογία αστέρα ή τριγώνου.

Στα ακόλουθα Σχήματα (5.1.34) , (5.1.35) παρουσιάζονται οι τριφασικές μηχανές των 2 και 4 πόλων με συνδεσμολογία των φάσεων κατά αστέρα.



Στοιχειώδης γεννήτρια 3 φάσεων 2 πόλων
Σχήμα 5.1.34 Συνδεσμολογία αστέρα. [21]



(α) Στοιχειώδης γεννήτρια 3 φάσεων 4 πόλων
 (β) Σύνδεση των τριών φάσεων κατ'άστρα

Σχήμα 5.1.35 Συνδεσμολογία αστέρα. [21]

5.1.5.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ) ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ο σύγχρονος κινητήρας αποτελεί το αντίστροφο της σύγχρονης γεννήτριας, όσον αφορά τη λειτουργία. Οι κινητήρες συνδέονται μέσω κατάλληλης σύνδεσης με πηγή παροχής εναλλασσόμενης τάσης και ως σκοπό έχουν τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια.

Λόγω του γεγονότος ότι εναλλασσόμενη τάση προσδίδεται στη μηχανή, τα τυλίγματα του στάτη (τύμπανο) διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και τα τυλίγματα του ρότορα (πεδίο) από συνεχές ρεύμα.

Η ταχύτητα περιστροφής του σύγχρονου κινητήρα δίδεται από τον ίδιο τύπο με βάση τον οποίο καθορίζεται η συχνότητα της σύγχρονης γεννήτριας, κατά συνέπεια η ταχύτητα περιστροφής N σε μόνιμη κατάσταση εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων P καθώς και τη συχνότητα f .

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \text{ στροφές ανά δευτερόλεπτο} \quad (5.1.24)$$

Η συχνότητα f υπολογίζεται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο.

Από παρατήρηση του τύπου συμπεραίνεται ότι κινητήρας ο οποίος είναι συνδεδεμένος με πηγή εναλλασσομένου ρεύματος σταθερής συχνότητας f , πρέπει να περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα N .

5.1.5.6.1 Ηλεκτρομαγνητική ροπή

Η ονομασία σύγχρονες μηχανές οφείλεται στο γεγονός ότι η συχνότητα (σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο) είναι η ίδια με την ταχύτητα περιστροφής (σε στροφές ανά δευτερόλεπτο) για μια διπολική μηχανή, οπότε η ηλεκτρική συχνότητα ταυτίζεται με τη μηχανική ταχύτητα. Κατά συνέπεια, μια διπολική μηχανή πρέπει να περιστρέφεται με 3000 στροφές ανά λεπτό (50 στροφές ανά δευτερόλεπτο) για να προκύψει συχνότητα 50 κύκλων ανά δευτερόλεπτο (50 Hz).

Όταν η σύγχρονη γεννήτρια παρέχει ρεύμα σε κάποιο φορτίο, τότε το ρεύμα του τυμπάνου (στάτης) παράγει μαγνητική ροή στο διάκενο η οποία περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Η ροή αυτή αντιδρά στη ροή που παράγεται από την κίνηση του ρότορα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ηλεκτρομαγνητικής ροπής, από την τάση των δυο πεδίων να ευθυγραμμιστούν μεταξύ τους. Στις γεννήτριες η ροπή αυτή αντιτίθεται στην φορά της περιστροφής, οπότε απαιτείται επιπρόσθετη μηχανική ροπή για τη διατήρηση της κίνησης.

Αντίθετα, σε έναν κινητήρα η ροπή έχει τη φορά της κίνησης, οπότε τείνει να εξισορροπήσει τη ροπή που εναντιώνεται στην κίνηση λόγω του επιβαλλόμενου φορτίου.

5.1.6 ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ-ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Οι μετασχηματιστές παρόλο το ότι δεν αποτελούν μια στρεφόμενη μηχανή είναι βασικά στοιχεία των AC μηχανών, αφού χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή ρευμάτων και τάσεων ώστε να επιτύχουμε συγκεκριμένους σκοπούς.

Στους μετασχηματιστές, καθώς και στις στρεφόμενες μηχανές, ένα μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από τη συνδυασμένη δράση των ρευμάτων στα τυλίγματα. Σε ένα μετασχηματιστή, το μεγαλύτερο μέρος της ροής οδηγείται στον πυρήνα και ενώνει όλα τα τυλίγματα. Η συνιστάμενη κοινή ροή επάγει τάσεις στα τυλίγματα ανάλογα με τον αριθμό των σπειρών με αποτέλεσμα τη μεταβολή του δυναμικού. Στις στρεφόμενες μηχανές, το μεγαλύτερο μέρος της ροής διασχίζει το διάκενο (όπως στους μετασχηματιστές η ροή διασχίζει τον πυρήνα) και ενώνεται με όλα τα τυλίγματα του στάτη και του ρότορα. Οι τάσεις που επάγονται στα τυλίγματα από τη συνιστάμενη κοινή ροή του διακένου είναι όμοιες με τις τάσεις που επάγονται από συνιστάμενη ροή του πυρήνα των μετασχηματιστών. Η διαφορά εστιάζεται

στο γεγονός ότι στις σπρεφόμενες μηχανές εμπλέκεται η κίνηση μαζί με την ηλεκτρομαγνητική μετατροπή ενέργειας. Η ροπή που παράγεται από τη διαδικασία αυτή προκύπτει από τη ταυτόχρονη δράση της ροής του διακένου με το μαγνητικό πεδίο των ρευμάτων του ρότορα.

Η εξίσωση του Maxwell δίνει:

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{a} \quad (5.1.25)$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{a} = 0 \quad (5.1.26)$$

Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι το ευθυακό ολοκλήρωμα της έντασης \mathbf{H} γύρω από κλειστή περιφέρεια C ισούται με το συνολικό ρεύμα που περνάει από οποιαδήποτε επιφάνεια S που τέμνει την περιφέρεια αυτή. Ακόμα, η δεύτερη εξίσωση μας δίνει ότι η πυκνότητα ροής \mathbf{B} παραμένει σταθερή.

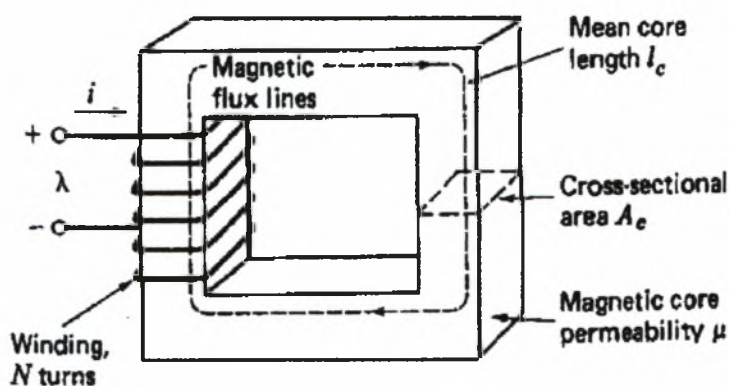
Η μαγνητική ροή Φ που διασχίζει επιφάνεια S δίνεται από το επιφανειακό ολοκλήρωμα του \mathbf{B} :

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{a} \quad (5.1.27)$$

όπου στο σύστημα SI η ροή Φ μετριέται σε webers (Wb).

Στο μαγνητικό κύκλωμα του Σχήματος (5.1.36) η μαγνητική ροή Φ μεταπίπτει στην ακόλουθη απλή μορφή:

$$\Phi_C = B_C \cdot A_C \quad (5.1.28)$$



Σχήμα 5.1.36 Μαγνητική ροή. [8]

Η σχέση μεταξύ της ΜΕΔ (μαγνητοεργητικής δύναμης) F και της έντασης του μαγνητικού πεδίου δίνεται από την Εξίσωση (5.1.29):

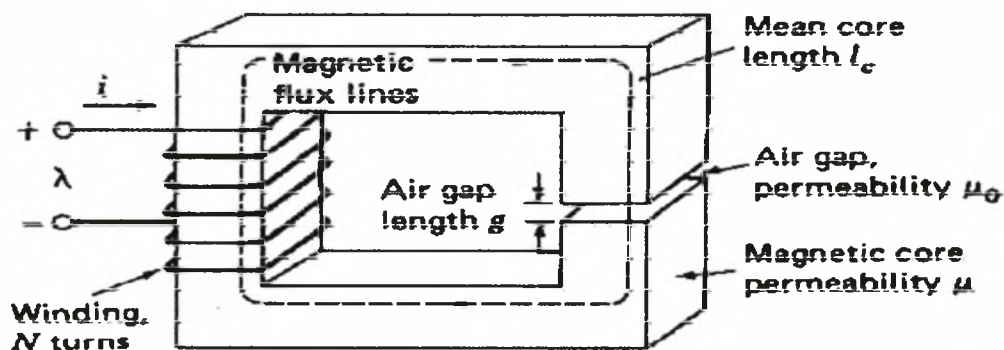
$$F = N \cdot i = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = H_C \cdot l_C \quad (5.1.29)$$

όπου H_C είναι η μέση τιμή της έντασης στον πυρήνα.

Η διαπερατότητα μ δίνεται από την Εξίσωση (5.1.30):

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad (5.1.30)$$

Το ακόλουθο Σχήμα (5.1.37) απεικονίζει μαγνητικό κύκλωμα με κενό αέρος.



Σχήμα 5.1.37 Μαγνητικό κύκλωμα με διάκενο αέρα. [8]

Ο πυρήνας με διαπερατότητα μ και άνα μέσο μήκος l_c ενώ το διάκενο έχει διαπερατότητα μ_0 , διατομή A_g και μήκος g . στον πυρήνα η μαγνητική ροή είναι ομοιόμορφη, οπότε η πυκνότητα της μαγνητικής ροής δίνεται από τον τύπο:

$$B_C = \frac{\Phi}{A_C} \quad \text{στον πυρήνα} \quad (5.1.31)$$

$$B_g = \frac{\Phi}{A_g} \quad \text{στο διάκενο} \quad (5.1.33)$$

όπου Φ η μαγνητική ροή στο κύκλωμα.

Εάν θεωρήσουμε ίσες τις διατομές του πυρήνα και του διακένου, προκύπτει ότι:

$$B_g = B_C = \frac{\Phi}{A_C} \quad (5.1.34)$$

Η ΜΕΔ ισοδυναμεί με:

$$F = N \cdot i = H_C \cdot l_C + H_g \cdot l_g = \frac{B_C}{\mu} \cdot l_C + \frac{B_g}{\mu_0} \cdot g = \Phi \cdot \frac{l_C}{\mu \cdot A_C} + \Phi \cdot \frac{g}{\mu_0 \cdot A_C} \quad (5.1.35)$$

Η μαγνητική αντίσταση R του πυρήνα και του διακένου δίνεται από την Εξίσωση (5.1.36) και (5.1.37):

$$R_C = \frac{l_C}{\mu \cdot A_C} \quad (5.1.36) \quad R_g = \frac{l_g}{\mu_0 \cdot A_g} \quad (5.1.37)$$

Κατά συνέπεια, η ΜΕΔ ισούται με:

$$F = \Phi \cdot (R_C + R_g) \quad (5.1.38)$$

Επειδή η διαπερατότητα του πυρήνα είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του διακένου, προκύπτει ότι:

$$\Phi = \frac{F}{R_c + R_g} \approx \frac{F}{R_g} = \frac{F \cdot \mu_o \cdot A_c}{g} = N \cdot i \cdot \frac{\mu_o \cdot A_c}{g} \quad (5.1.39)$$

Προκύπτει ένας καινούριος όρος, αυτός της μαγνητικής αγωγιμότητας (permeance) P που ισούται με:

$$P = \frac{1}{R_g} = \frac{\mu_o \cdot A_c}{g} \quad (5.1.40)$$

Όταν ένα μαγνητικό κύκλωμα μεταβάλλεται με το χρόνο, τότε προκύπτει ηλεκτρικό πεδίο σύμφωνα με την ακόλουθη ισότητα:

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = -\frac{d}{dt} \int_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{a} \quad (5.1.41)$$

όπου \mathbf{E} είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

Η τελευταία εξίσωση γράφεται και ως εξής:

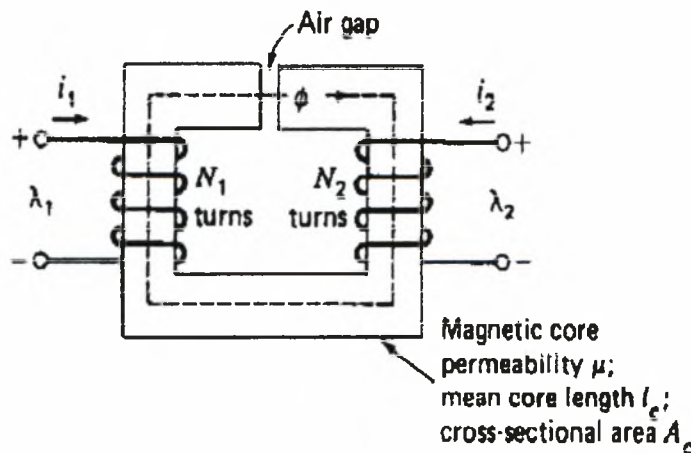
$$e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} \quad (5.1.42)$$

όπου λ είναι η εμπλεγμένη ροή (flux linkage) του τυλίγματος και e η επαγόμενη τάση ή ηλεκτρεγερτική δύναμη ΗΕΔ.

Ως αυτεπαγωγή (inductance) L ορίζουμε το λόγο:

$$L = \frac{\lambda}{i} \quad (5.1.43)$$

Το ακόλουθο Σχήμα (5.1.38) απεικονίζει μαγνητικό κύκλωμα με διάκενο και δύο τυλίγματα.



Σχήμα 5.1.38 κύκλωμα με διάκενο και δύο τυλίγματα. [8]

Η συνολική ΜΕΔ ισούται με:

$$F = N_1 \cdot i_1 + N_2 \cdot i_2 \quad (5.1.44)$$

Η συνολική μαγνητική ροή Φ του πυρήνα που προκύπτει από την ταυτόχρονη επίδραση των δυο ΜΕΔ, ισούται με:

$$\Phi = (N_1 \cdot i_1 + N_2 \cdot i_2) \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \quad (5.1.45)$$

Η συνολική εμπλεγμένη ροή με το πηνίο 1 δίνεται από την Εξίσωση (5.1.46):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= N_1 \cdot \Phi = N_1^2 \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \cdot i_1 + N_1 \cdot N_2 \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \cdot i_2 \rightarrow \\ &\rightarrow \lambda_1 = L_{11} \cdot i_1 + L_{12} \cdot i_2 \end{aligned} \quad (5.1.46)$$

όπου

$$L_{11} = N_1^2 \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \quad (5.1.47)$$

η αυτεπαγωγή του πηνίου 1 και

$$L_{12} = N_1 \cdot N_2 \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \quad (5.1.48)$$

η κοινή αυτεπαγωγή των πηνίων 1,2 αντίστοιχα.

Η εμπλεγμένη ροή με το πηνίο 2 δίνεται από:

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= N_2 \cdot \Phi = N_1 \cdot N_2 \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \cdot i_1 + N_2^2 \cdot \frac{\mu_o \cdot A_C}{g} \cdot i_2 \rightarrow \\ &\rightarrow \lambda_2 = L_{21} \cdot i_1 + L_{22} \cdot i_2 \end{aligned} \quad (5.1.49)$$

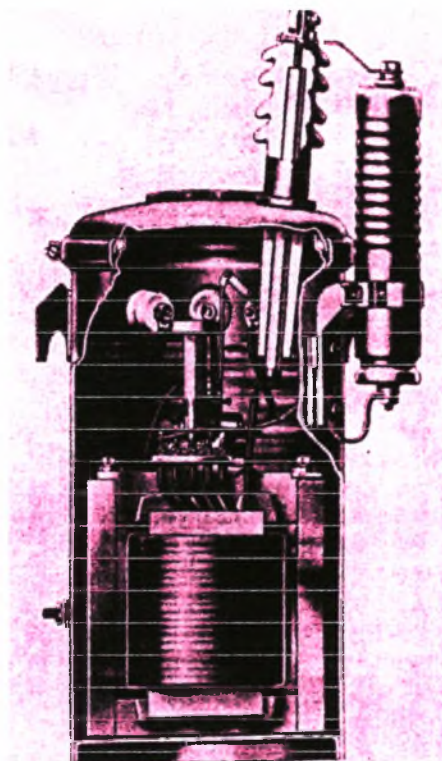
Οι μετασχηματιστές αποτελούνται από τυλίγματα τα οποία εμπλέκουν μεταξύ τους κοινό μαγνητικό πεδίο. Εάν το ένα από τα τυλίγματα αυτά, το πρωτεύον, συνδεθεί με πηγή Ε. Ρ., τότε παράγει εναλλασσόμενη μαγνητική ροή, το πλάτος της οποίας εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται καθώς και από τον αριθμό των ελιγμάτων του πρωτεύοντος πηνίου. Η κοινή ροή θα εμπλέξει και το δεύτερο τύλιγμα (δευτερεύον), και θα επάγει τάση της οποίας η τιμή εξαρτάται από τα τυλίγματα του δευτερεύοντος πηνίου. Με κατάλληλη επιλογή του αριθμού των τυλιγμάτων μπορούμε να πετύχουμε οποιοδήποτε λόγο μεταφοράς.

Προϋπόθεση της λειτουργίας του μετασχηματιστή είναι η ύπαρξη κοινής ροής ανάμεσα στα δυο τυλίγματα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν ως πυρήνα του μαγνητικού κυκλώματος χρησιμοποιήσουμε τον αέρα, σίδηρο ή οποιοδήποτε άλλο σιδηρομαγνητικό υλικό. Όταν ως πυρήνα χρησιμοποιήσουμε μέταλλο (π.χ. σίδηρο), το μεγαλύτερο μέρος της ροής κυκλοφορεί μέσω του υλικού, ενώ πολύ μικρό ποσοστό οδεύει μέσω του αέρα.

Μικρό ποσοστό της ροής εμπλέκει το ένα τύλιγμα δίχως να εμπλέκει το άλλο. Η ροή αυτή ονομάζεται **ροή σκέδασης** και παρόλο ότι αποτελεί μικρό μόνο

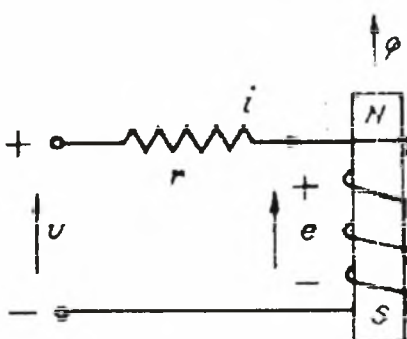
ποσοστό της συνολικής ροής, ασκεί σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά του μετασχηματιστή. Η ροή σκεδάσεως εξαρτάται από την κατασκευαστική μορφή των τυλιγμάτων γύρω από τον πυρήνα.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.1.39) απεικονίζει την τομή ενός μετασχηματιστή της εταιρίας General Electric Company.



Σχήμα 5.1.39 Τομή μετασχηματιστή. [8]

Θεωρείται το ακόλουθο πηνίο, του Σχήματος (5.1.40) .



Θετικά φορές ρεύματος,
ροής και τάσεων είς πηνίου

Σχήμα 5.1.40 Πηνίο. [21]

Επιβάλλεται τάση με στιγμιαία τιμή U , που προκαλεί ρεύμα στιγμιαίας έντασης i . Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, εάν η μαγνητική ροή μεταβάλλεται με το χρόνο, τότε δημιουργείται ΜΕΔ στο κύκλωμα, η οποία είναι ανάλογη του ρυθμού

μεταβολής της ροής ως προς το χρόνο. Η ΜΕΔ έχει φορά τέτοια ώστε να αντίκειται στη μεταβολή της ροής.

Η ΗΕΔ (ηλεκτροεγερτική δύναμη) e που επάγεται στο πηνίο έχει τιμή:

$$e = d\lambda / dt \quad (5.1.50)$$

με λ τη στιγμιαία τιμή της εμπλεγμένης ροής στο κύκλωμα. Για πηνίο στο οποίο όλη η ροή Φ εμπλέκει όλα τα N ελίσματα του πηνίου (δηλαδή $\lambda = N\Phi$):

$$e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (5.1.51)$$

του πηνίου, οπότε:

$$U = i \cdot r + e = i \cdot r + \frac{d\lambda}{dt} \quad (5.1.52)$$

Αν r η αντίσταση του τυλίγματος, τότε $i \cdot r$ η πώση τάσης στην αντίσταση.

Στις περισσότερες συσκευές, το γινόμενο $i \cdot r$ είναι αμελητέο, οπότε:

$$U \cong e = \frac{d\lambda}{dt} \quad (5.1.53)$$

Στις περισσότερες εφαρμογές η κυματομορφή της ροής είναι ημιτονική, οπότε η στιγμιαία ροή δίνεται από τον τύπο:

$$\Phi = \Phi_{MAX} \cdot \sin \omega t \quad (5.1.54)$$

Η επαγόμενη τάση δίνεται από:

$$e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \omega \cdot N \cdot \Phi_{MAX} \cdot \cos \omega t \quad (5.1.55)$$

όπου $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ με f συχνότητα σε Hz.

Η rms τιμή της τάσης ισούται με:

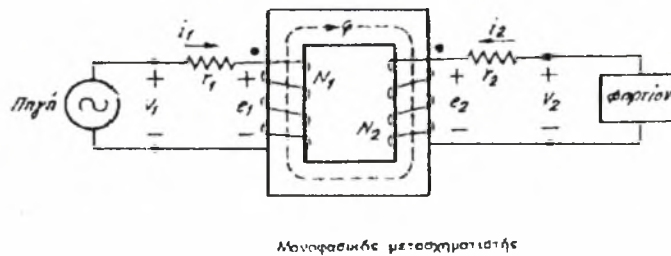
$$E = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{MAX}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{MAX} \quad (5.1.56)$$

Εάν η αντίσταση είναι αμελητέα, τότε η rms τιμή της επαγόμενης τάσης E ισούται με την rms τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης V στο κύκλωμα:

$$\Phi_{MAX} = \frac{V}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N} \quad (5.1.57)$$

Από την τελευταία αυτή εξίσωση γίνεται φανερό ότι η ροή εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη τάση, τη συχνότητά της καθώς και τον αριθμό των σπειρών του τυλίγματος.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.1.41) παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη μετασχηματιστή.



Σχήμα 5.1.41 Τυπική διάταξη μετασχηματιστή. [21]

Το πρώτο πηνίο έχει αντίσταση R_1 και N_1 σπείρες, ενώ το δεύτερο R_2 και N_2 αντίστοιχα. Οι επαγόμενες τάσεις (ΗΕΔ) στα δυο τυλίγματα είναι:

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} \quad (5.1.58) \quad \text{και} \quad e_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} \quad (5.1.59)$$

όπου λ_1 και λ_2 οι εμπλεγμένες ροές με τα αντίστοιχα τυλίγματα.

Η τάση στους ακροδέκτες είναι:

$$U_1 = i_1 \cdot r_1 + e_1 = i_1 \cdot r_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} \quad (5.1.60)$$

$$U_2 = i_2 \cdot r_2 + e_2 = i_2 \cdot r_2 + \frac{d\lambda_2}{dt} \quad (5.1.61)$$

Ένας ιδανικός μετασχηματιστής χαρακτηρίζεται από τες ακόλουθες παραδοχές:

- 1) Ολόκληρη η παραγόμενη ροή περιορίζεται στον πυρήνα και εμπλέκει και τα δυο τυλίγματα.
- 2) Οι αντιστάσεις των τυλιγμάτων είναι αμελητέες.
- 3) Η διαπερατότητα του πυρήνα είναι τόσο υψηλή ώστε η ΜΕΔ προς την εγκατάσταση της ροής είναι αμελητέα.
- 4) Οι απώλειες στον πυρήνα είναι αμελητέες.

Σύμφωνα με τις δύο πρώτες παραδοχές, έχουμε:

$$U_1 = i_1 \cdot r_1 + e_1 \rightarrow U_1 = e_1 = N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (5.1.62)$$

$$U_2 = i_2 \cdot r_2 + e_2 \rightarrow U_2 = e_2 = N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (5.1.63)$$

όπου Φ η συνολική ροή του πυρήνα.

Προκύπτει ότι:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow U_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot U_2 \quad (5.1.64)$$

Η καθαρή ΜΕΔ επί του πυρήνα είναι:

$$F = N \cdot i = i_1 \cdot N_1 + i_2 \cdot N_2 \quad (5.1.65)$$

Σύμφωνα με την παραδοχή 3, η καθαρή ΜΕΔ που απαιτείται για τη ροή του πυρήνα είναι αμελητέα, άρα:

$$F = 0 \rightarrow i_1 \cdot N_1 + i_2 \cdot N_2 = 0 \rightarrow i_1 = -\frac{N_2}{N_1} \cdot i_2 \quad (5.1.66)$$

Προκύπτει, λοιπόν:

$$U_1 \cdot i_1 = -U_2 \cdot i_2 \quad (5.1.67)$$

άρα σε ιδανικό μετασχηματιστή, η ισχύς εισόδου ισούται με την ισχύ εξόδου.

Όταν η τάση U_1 είναι ημιονοειδής, έχουμε:

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot V_2 \quad (5.1.68) \quad \text{και} \quad I_1 = -\frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \quad (5.1.69)$$

άρα

$$\frac{V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{V_2}{-I_2}\right) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot Z_2 \quad (5.1.70)$$

όπου Z_2 η σύνθετη μιγαδική αντίσταση του φορτίου.

5.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

5.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λειτουργία ενός συσσωρευτή (accumulator) οφείλεται σε μια χημική αντίδραση, η οποία πραγματοποιείται εντός των κελιών, βασικά δομικά στοιχεία της κάθε μπαταρίας, μέσα στα οποία μετατρέπεται η χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Κάθε κελί περιλαμβάνει τα δυο δραστικά μέταλλα, ηλεκτρόδια, και το διάλυμα, ηλεκτρολύτης, ο οποίος είναι το επαγωγικό μέσο για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις.

Υπάρχουν δυο είδη μπαταριών, η **πρωταρχική (primary)**, στην οποία λόγω των χημικών αντιδράσεων καταστρέφεται προοδευτικά το ένα από τα δυο ηλεκτρόδια (συνήθως το αρνητικό) και το κελί πρέπει να αλλαχθεί είτε να αλλαχθεί το ηλεκτρόδιο. Σε μια **δευτερεύουσα (secondary)** μπαταρία, η χημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί και τα αντιδρώντα υλικά μπορούν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, φορτίζοντας το κελί μετά τη χρήση.

Κάθε μπαταρία μπορεί να αποτελείται είτε από ένα είτε από περισσότερα κελιά, ανάλογα με τη χρήση που απαιτείται.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.1) απεικονίζεται συσσωρευτής της εταιρίας THE LEADER, ίδιου τύπου με τους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα.



Σχήμα 5.2.1 Συσσωρευτής ηλεκτρικού οχήματος. [11]



Σχήμα 5.2.2 Συσσωρευτής του TOYOTA PRIUS.

Η συνεχής έρευνα, εξέλιξη και συνεργασία βιομηχανιών οχημάτων και συσσωρευτών έχει οδηγήσει σε νέους τύπους, όπως τους συσσωρευτές νικελίου- υδριδίου μετάλλου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο υβριδικό όχημα TOYOTA PRIUS, και απεικονίζονται στο Σχήμα (5.2.2). [6]

5.2.2 ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

Starting batteries/cranking batteries: είναι οι μπαταρίες που βρίσκονται σε όλα τα οχήματα. Χρησιμοποιούνται στην εκκίνηση (κυρίως) του οχήματος, παρέχοντας υψηλές τιμές τάσης για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Κατά το χρόνο κίνησης του οχήματος επαναφορτίζονται μέσω κατάλληλης διάταξης του κινητήρα.

Έχουν πολύ λεπτές πλάκες και δεν είναι κατάλληλες για ηλεκτρικά οχήματα, διότι δίνουν πολύ λίγους κύκλους ζωής και με κάθε απότομη αύξηση του φορτίου (όπως απότομες επιταγές) μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως.

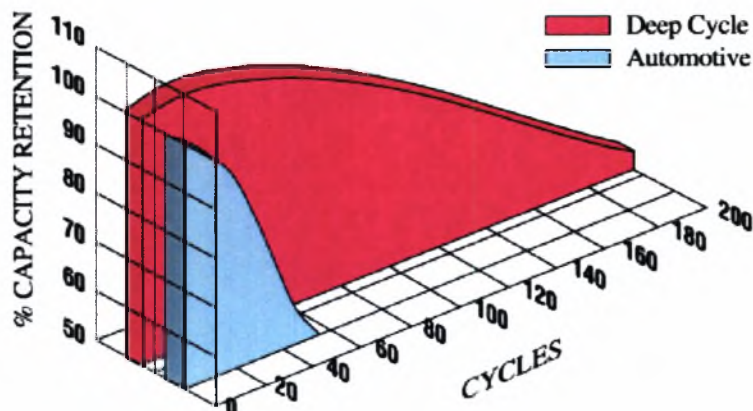
Deep cycle: είναι ο τύπος της μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι πλάκες είναι πολύ πιο παχιές και δίνουν πολύ περισσότερους κύκλους ζωής.

Industrial batteries: είναι οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά τους είναι καλύτερα από τους άλλους δυο τύπους, αλλά λόγω του υπερβολικού τους όγκου και βάρους δε χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα.

Ο όρος deep cycle έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον από τους κατασκευαστές συσσωρευτών, ως διαφημιστικό τέχνασμα με σκοπό την αύξηση των πωλήσεων. Όλοι οι συσσωρευτές θα μπορούσαν να αποκαλεστούν deep cycle, καθώς όλοι οι συσσωρευτές μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν πλήρως κατά τη λειτουργία τους. Όμως, οι πραγματικές deep cycle μπαταρίες μπορούν να δώσουν χιλιάδες φορτίσεις και εκφορτίσεις δίχως να παρουσιάσουν πτώση στη χωρητικότητά τους, σε αντίθεση με τις starting/cranking batteries, οι οποίες (λόγω των κατασκευαστικών τους ιδιοτήτων) μετά από λίγες βαθιές εκφορτίσεις μπορούν να παρουσιάσουν μείωση της χωρητικότητάς τους έως και 50%.

Οι deep cycle μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές, ακόμα και να συμπεριφερθούν ως starting batteries, ενώ οι starting batteries περιορίζονται μόνο στην εκκίνηση των οχημάτων.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.3) απεικονίζεται η χωρητικότητα των συσσωρευτών starting και deep cycle, όσον αφορά τους κύκλους λειτουργίας.

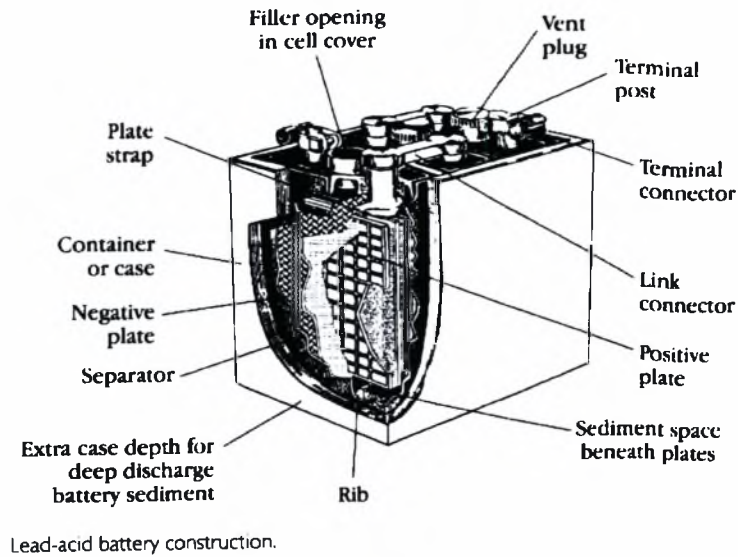


Σχήμα 5.2.3 Απόδοση των starting και deep cycle συσσωρευτών. [12]

Παρατηρούμε ότι οι deep cycle σε σύγκριση με τους automotive-starting συσσωρευτές μπορούν να δώσουν πολύ περισσότερους κύκλους λειτουργίας.

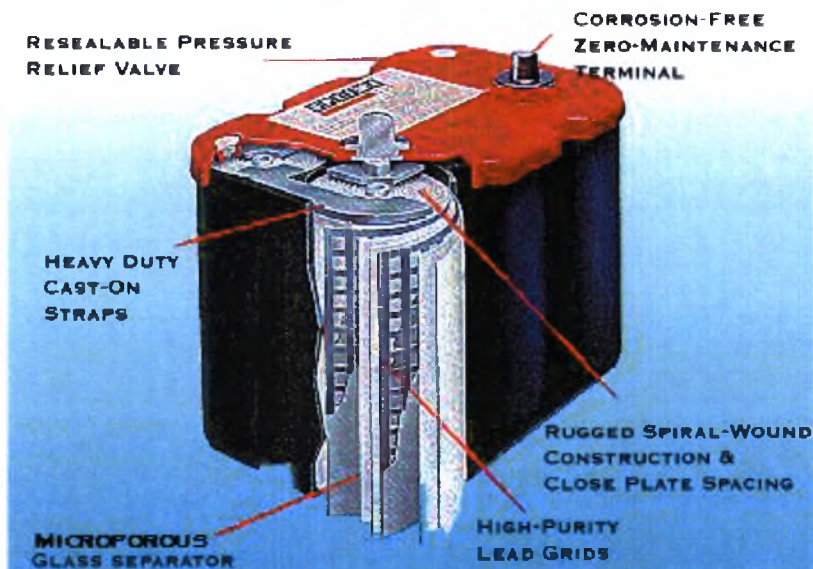
5.2.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Η δομή μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.4).



Σχήμα 5.2.4 Δομή μπαταρίας μολύβδου-οξέως. [2]

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.5) απεικονίζεται η τομή συσσωρευτή της εταιρίας OPTIMA, μαζί με βασικά της δομικά στοιχεία.



Σχήμα 5.2.5 Τομή συσσωρευτή της εταιρίας OPTIMA. [13]

Τα βασικά δομικά στοιχεία της μπαταρίας είναι τα εξής:

Πλάκες (plates): οι πλάκες έχουν ιδιόμορφη μορφή και είναι κατασκευασμένες από διάφορα υλικά (ανάλογα με το είδος της μπαταρίας). Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως, όπως κανείς καταλαβαίνει, έχουν πλάκες κατασκευασμένες από μολύβδο, στις οποίες μπορεί να υπάρχουν και μικρές ποσότητες κραματικών υλικών (αντιμόνιο στις συνήθεις εφαρμογές). Οι πλάκες τοποθετούνται ανά δύο (αρνητική μαζί με τη θετική) και βυθίζονται στο οξύ, με σκοπό τη μεταφορά ηλεκτρονίων για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η χωρητικότητα της κάθε μπαταρίας εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των πλακών και από το χώρο που καταλαμβάνουν εντός του υγρού, αλλά στην ουσία η χωρητικότητα μεταβάλλεται ανάλογα με τα κατασκευαστικά "τρικ" του κάθε κατασκευαστή.

Διαχωριστήρες (separators): χρησιμεύουν στο διαχωρισμό της αρνητικής από τη θετική πλάκα, και στην ουσία καταργούν τα βραχυκυκλώματα στα άκρα των πλακών.

Κάλυμμα (cover): είναι το πλαστικό περίβλημα της μπαταρίας και συνήθως κατασκευάζεται από κατάλληλο-ανθεκτικό υλικό ώστε να αντέχει σε κρούσεις. Στο εσωτερικό του καλύμματος (στον "πάτο") υπάρχουν "νεύρα" κατά μήκος του πλάτους είτε του μήκους της μπαταρίας, ώστε να εδράζονται οι πλάκες με τρόπο τέτοιο ο οποίος απομακρύνει την πιθανότητα βραχυκυκλώματος των πλακών. Επιπρόσθετα, τα κανάλια που δημιουργούνται μεταξύ δυο "νεύρων" χρησιμεύουν ως συλλέκτες του $PbSO_4$ το οποίο όπως ήδη έχει αναφερθεί δρα ως μονωτικό υλικό και εμποδίζει τη διαδικασία της αποφόρτισης της μπαταρίας.. Όσο μεγαλύτερο είναι το κενό αυτό, τόσο περισσότερο υλικό μπορεί να συγκεντρώσει, με αποτέλεσμα η μπαταρία να έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Γέφυρες: οι γέφυρες βρίσκονται είτε εντός του καλύμματος της μπαταρίας είτε εξωτερικά (σε παλαιότερους τύπους συσσωρευτών) και συνδέουν τα κελιά μεταξύ τους. Η πρόοδος των συσσωρευτών τα τελευταία χρόνια απαιτεί σχεδόν μηδαμινή εξέταση του κάθε κελιού ξεχωριστά, οπότε και οι γέφυρες δε βρίσκονται πλέον στο εξωτερικό της μπαταρίας.

Ενδεικτικά: ειδικά πώματα κατασκευάζονται ώστε να είναι δυνατή η επιθεώρηση της μπαταρίας και η εύρεση τυχουσών βλαβών. Συγχρόνως δίνεται η δυνατότητα αναπλήρωσης της μπαταρίας με υγρά (απεσταγμένο νερό ή ηλεκτρολύτης).

Αντιεκρηκτικό φίλτρο: το φίλτρο αυτό τοποθετείται στην εξαγωγή των αερίων ώστε να προστατέψει τη μπαταρία από εξωτερική φλόγα ή σπινθήρα.

Εξαγωγή αερίων (vents): λόγω του ιονισμού του νερού, δημιουργούνται ιόντα υδρογόνου και οξυγόνου, τα οποία απελευθερώνονται υπό τη μορφή ατμού (η ποσότητα του υδρογόνου που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις, αν υπερβαίνει το 4,1%). Ο ατμός αυτός διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από ειδικά διαμορφωμένη βαλβίδα.

5.2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ AGM(ABSORPTION GLASS MATERIAL)

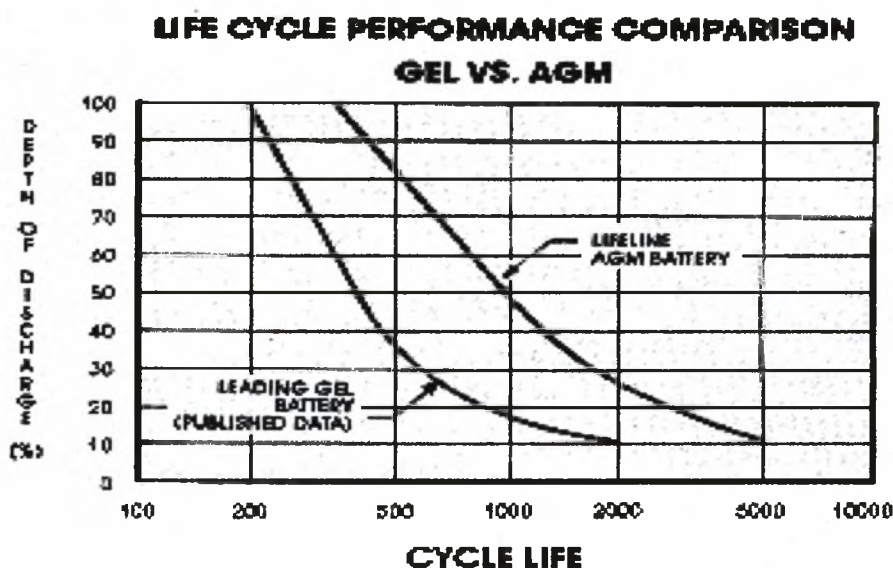
Οι σύγχρονες απαιτήσεις της αεροδιαστημικής και αεροναυπηγικής (όπου οι απαιτήσεις βάρους και απόδοσης είναι ιδιαίτερα αυξημένες) οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας συσσωρευτών, γνωστή ως **AGM (Absorption**

Glass Material), η οποία αφορά τόσο τους συσσωρευτές τύπου starting όσο και τους συσσωρευτές τύπου deep cycle.

Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το οξύ απορροφάται ανάμεσα στις πλάκες και ακινητοποιείται από ένα εξελιγμένο fiberglass. Το υαλώδες αυτό υλικό, ενώ απορροφά και ακινητοποιεί το οξύ συγχρόνως το αφήνει διαθέσιμο στις πλάκες, δίνοντας την ευκαιρία για άμεση αντίδραση ανάμεσα στο οξύ και τις πλάκες.

Μια AGM μπαταρία έχει πολύ χαμηλή εσωτερική αντίσταση. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με μια ταχεία αντίδραση του οξέος, επιτρέπει στους συσσωρευτές να φορτίζονται και να αποφορτίζονται με ταχύτερους ρυθμούς, δίχως να παρατηρείται μείωση της διάρκειας ζωής.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.6) απεικονίζεται η διαφορά ανάμεσα στις απλές μπαταρίες gel και στις μπαταρίες AGM, της εταιρίας LIFELINE. Η διαφορά απεικονίζεται στους κύκλους σε σχέση με το βάθος αποφόρτισης (DOD).



Σχήμα 5.2.6 Διαφορά στη διάρκεια ζωής απλών και AGM συσσωρευτών. [14]

5.2.5 ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΑ ΥΛΙΚΑ

Τα αντιδρώντα υλικά ονομάζονται **ηλεκτροχημικό ζεύγος**. Το ένα από αυτά λέγεται άνοδος και παρατηρείται έλλειψη ηλεκτρονίων (για το λόγο αυτό είναι φορτισμένο θετικά) ενώ το άλλο (κάθοδος), περιέχει τον αριθμό των ηλεκτρονίων που έχουν αποχωριστεί από την άνοδο και είναι φορτισμένο αρνητικά.

Τα αντιδρώντα υλικά μπορούν να είναι είτε **στερεά** (όπως στις μπαταρίες μολύβδου-οξέως), είτε **υγρά** (μπαταρίες νατρίου-θείου) είτε **αέρια** (μπαταρίες ψευδαργύρου/αέρα-αλουμινίου/αέρα).

Κατά την εφαρμογή μιας εξωτερικής αντίστασης σε μια μπαταρία, παρατηρείται ότι η αντίσταση διαρρέεται από ρεύμα, το οποίο παράγεται λόγω της κίνησης των ηλεκτρονίων, εξαιτίας της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας. Η

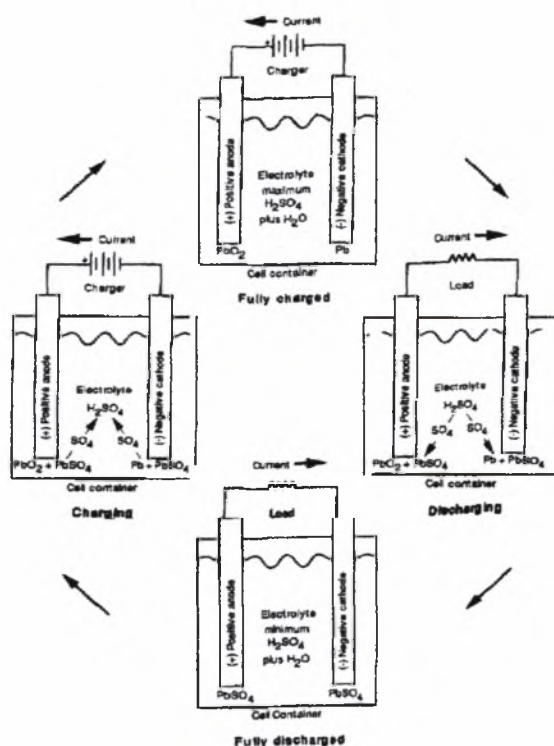
διαφορά αυτή του δυναμικού επηρεάζεται από το είδος των ηλεκτροδίων εντός των κελιών της μπαταρίας. Το είδος των ηλεκτροδίων αναφέρεται στο υλικό του κάθε ηλεκτροδίου ή καλύτερα στο συνδυασμό των δυο ηλεκτροδίων, καθώς με βάση τον πίνακα, τα υλικά αυτά πρέπει να επιλέγονται ώστε η άνοδος να παρέχει το μέγιστο οξειδωτικό δυναμικό και η κάθοδος το μέγιστο αναγωγικό δυναμικό, με την επιλογή κατάλληλου ηλεκτρολύτη. Κατά συνέπεια, ιδανικός θα θεωρούνταν ο συνδυασμός Lithium(Li)-Fluorine(F), υλικά τα οποία παρέχουν τα μέγιστα οξειδωτικά και αναγωγικά δυναμικά, δηλαδή την τάση να αποβάλλουν ή να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια.

Στις πρακτικές εφαρμογές, υπεισέρχονται πολλοί οικονομικο-τεχνικοί περιορισμοί, οι οποίοι αφορούν κυρίως τον όγκο, τα βάρη καθώς και το κόστος των μπαταριών. Για το λόγο αυτό, λίγοι μόνο συνδυασμοί παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον.

5.2.6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗΣ

Ο ηλεκτρολύτης αποτελεί το υλικό μέσω του οποίου ανταλλάσσονται ηλεκτρόνια ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, και σε ορισμένες περιπτώσεις λαμβάνει ενεργό μέρος στην αντίδραση. Συνήθως είναι διάλυμα οξέος, άλατος ή αλκάλιου σε νερό και βρίσκεται σε μορφή τζελ.

Το Σχήμα (5.2.7) παρουσιάζει την αντίδραση μιας απλής μπαταρίας μολύβδου-οξέος κατά τη φόρτιση και εκφόρτισή της. Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από μίγμα θειικού οξέος και νερού. Τα ηλεκτρόδια είναι PbO_2 & Pb .



Σχήμα 5.2.7 Αντίδραση φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή μολύβδου-οξέος.

[2]

5.2.7 ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

Για κάθε διαφορετικό είδος μπαταρίας, μια διαφορετική χημική αντίδραση μπορεί να περιγράψει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης. Για τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, η χημική αντίδραση είναι η εξής:



Η αριστερή πλευρά αντικατοπτρίζει το κελί σε φορτισμένη κατάσταση. Η δεξιά το κελί σε αφόρτιστη κατάσταση.

Η άνοδος (θετικό ηλεκτρόδιο) είναι σχεδόν εξολοκλήρου PbO_2 , η κάθοδος (αρνητικό ηλεκτρόδιο) σχεδόν εξολοκλήρου Pb ενώ ο ηλεκτρολύτης κατά κύριο λόγο διάλυμα H_2SO_4 .

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης το Pb και το PbO_2 αντιδρά με το θειικό οξύ H_2SO_4 και δίνουν PbSO_4 , ουσία η οποία βρίσκεται κατά κύριο λόγο και στα δύο ηλεκτρόδια. Τότε, ο ηλεκτρολύτης περιέχει την ελάχιστη δυνατή περιεκτικότητα σε H_2SO_4 , είναι δηλαδή πολύ αραιό διάλυμα H_2SO_4 σε νερό.

5.2.7.1 Χημική αντίδραση εκφόρτισης

Στην άνοδο (+) η εκφόρτιση παρουσιάζεται ως εξής:



Στην κάθοδο (-) η εκφόρτιση παρουσιάζεται ως εξής:



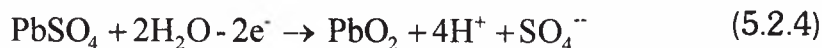
Κατά την εκφόρτιση, η κάθοδος (-) λαμβάνει ιόντα SO_4^{2-} από τον ηλεκτρολύτη και αποβάλλει ηλεκτρόνια, τα οποία παραλαμβάνει η άνοδος. Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο είναι ο λόγος για τον οποίο δημιουργείται ρεύμα στα άκρα του κάθε ηλεκτρολύτη.

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και τα δύο ηλεκτρόδια καλύπτονται από PbSO_4 (τα ιόντα SO_4^{2-} τα έχουν λάβει από τον ηλεκτρολύτη), το οποίο PbSO_4 δεν επιτρέπει τη διαρροή ρεύματος διαμέσου των πλακών. Κατά συνέπεια, η κάλυψη των πλακών με το μονωτικό PbSO_4 μειώνει την ικανότητά τους να παράγουν ρεύμα (δηλαδή μειώνεται η διαφορά τάσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια της εξόδου). Όταν όλη η επιφάνεια καλυφθεί πλήρως με PbSO_4 , δεν υπάρχει περαιτέρω αντίδραση, οπότε έχουμε πλήρη εκφόρτιση.

5.2.7.2 Χημική αντίδραση φόρτισης

Η διαδικασία φόρτισης αναστρέφει τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων, διασπά το δεσμό PbSO_4 και τα ιόντα SO_4^{2-} επιστρέφουν στον ηλεκτρολύτη. Όταν όλα τα ιόντα SO_4^{2-} επιστρέψουν, η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη.

Η διαδικασία φόρτισης παρουσιάζεται στην άνοδο ως εξής:



Στην κάθοδο ως εξής:



Ως ένα μέτρο για τον υπολογισμό του βαθμού εκφόρτισης μπορεί να θεωρηθεί η ειδική βαρύτητα του θειϊκού οξέος ως προς το νερό.

Ειδικές ηλεκτρονικές μονάδες μπορούν να υπολογίσουν το βαθμό εκφόρτισης από την τάση στα άκρα της μπαταρίας.

5.2.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Η τάση κάθε συσσωρευτή δίνεται από την Εξίσωση (5.2.6):

$$V = I \cdot R \quad (5.2.6)$$

Ως R θεωρούμε την εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή και την εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος.

Η εσωτερική αντίσταση διαδραματίζει ρόλο ως προς τις θερμικές απώλειες, τη μεταφορά ισχύος και χαρακτηριστικά ως προς τη φόρτιση.

Η Εξίσωση (5.2.7):

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R \quad (5.2.7)$$

παρουσιάζει τις απώλειες ισχύος στο κύκλωμα, είτε ως εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας είτε ως εξωτερική αντίσταση του φορτίου.

Κατά τη φόρτιση, η χημική αντίδραση προσδίδει θερμότητα στο περιβάλλον, ενώ η διαδικασία της εκφόρτισης απορροφά θερμότητα. Κατά συνέπεια, στο ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά τη φόρτιση προς το περιβάλλον προστίθεται και το ποσό της θερμότητας που χάνεται προς το περιβάλλον λόγω της εσωτερικής αντίστασης $R_{\text{εσωτερική}}$, που δίνεται από τον τύπο $I^2 \cdot R_{\text{εσωτερική}}$, οπότε οι απώλειες αυξάνουν.

Κατά την εκφόρτιση, το ποσό της θερμότητας που απορροφάται από το περιβάλλον "εξισορροπείται" κατά κάποιον τρόπο από τις θερμικές απώλειες $I^2 \cdot R_{\text{εσωτερική}}$, λόγω της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας. Κατά συνέπεια, η εκλυόμενη θερμότητα είναι χαμηλότερη στην περίπτωση της εκφόρτισης.

5.2.8.1 Εξάτμιση

Κατά το τέλος της φόρτισης το νερό έχει την τάση να διασπάται σε ιόντα H^+ και O^- με αποτέλεσμα να ξεκινά η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης. Μέρος των ιόντων ενώνονται ξανά και σχηματίζουν ατμό (για το λόγο αυτό απαιτείται περιοδική

επαναπλήρωση της μπαταρίας με κατάλληλο υγρό). Το εύφλεκτο και εκρηκτικό υδρογόνο μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις, άρα η φόρτιση πρέπει να γίνεται σε καλά αεριζόμενους χώρους.

Οι νέες τεχνολογίες στην κατασκευή των συσσωρευτών (ο ηλεκτρολύτης "ακινητοποιείται" υπό τη μορφή τζελ) δίνουν τη δυνατότητα αποφυγής τέτοιων φαινομένων.

5.2.8.2 Ανομοιομορφία πλακών

Με την πάροδο του χρόνου ο ηλεκτρολύτης παρουσιάζει την τάση να καθιζάνει (το βαρύτερο θειϊκό οξύ κατακάθεται στον πάτο της μπαταρίας) προκαλώντας πρόωρη "γήρανση" των πλακών στα σημεία της καθίζησης. Ακόμα, άλλοι παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η κατασκευή του συσσωρευτή κ.ά. μπορούν να οδηγήσουν στην ανομοιομορφία των πλακών. Για το λόγο αυτό **απαιτείται μια ελεγχόμενη υπερφόρτιση για αρκετό χρόνο, προσπαθώντας να επιτευχθεί εξισορρόπηση των ιδιοτήτων σε όλη την επιφάνεια της πλάκας**. Προφανώς, θα δημιουργηθεί επιπρόσθετη εξάτμιση αερίων, οπότε απαιτείται μεγάλη προσοχή.

5.2.8.3 Χωρητικότητα (capacity)

Ως χωρητικότητα C_x ονομάζουμε την **ικανότητα του συσσωρευτή να αποθηκεύει ενέργεια**. Εξαρτάται από:

- επιφάνεια των πλακών των ηλεκτροδίων που έρχονται σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη
- βάρος των πλακών
- αριθμός πλακών και είδος διαχωριστικών μεταξύ τους
- ποιότητα και ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη
- ηλικία της μπαταρίας
- κατάσταση κελιού, καθίζηση οξέος στα κατώτατα στρώματα της μπαταρίας
- θερμοκρασία
- ρυθμός εκφόρτισης

Με παρατήρηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη χωρητικότητα βλέπουμε ότι η χωρητικότητα **δεν** εξαρτάται μόνο από την κατασκευαστική δομή του συσσωρευτή αλλά **και από τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται ή έχει χρησιμοποιηθεί η μπαταρία στο παρελθόν**.

Ως μονάδες της χωρητικότητας θεωρούνται τα Ah (αμπερώρες)

Η χωρητικότητα συνδέεται με το **ρυθμό εκφόρτισης** με την ακόλουθη ισοδυναμία:

$$\text{Ρυθμός} = \text{χωρητικότητα} / \text{χρόνος κύκλου} \quad (5.2.8)$$

Ο **ρυθμός** αντικατοπτρίζει το ρυθμό με βάση τον οποίο εκφορτίζεται ή φορτίζεται και μετριέται σε Αμπέρ Α. Ο **χρόνος του κύκλου** αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο η μπαταρία φορτίζεται ή εκφορτίζεται, και μετριέται σε ώρες.

Συσσωρευτής με χωρητικότητα 100 Ah, από τον οποίο ζητούμε να δώσει 10 A, πρέπει να έχει χρόνο κύκλου ίσο με 10 h, οπότε προκύπτει ρυθμός C/10. Συσσωρευτής με χωρητικότητα 100 Ah, από τον οποίο ζητούμε να δώσει 25 A, πρέπει να έχει χρόνο κύκλου ίσο με 4 h, οπότε ρυθμό ίσο με C/4. Έτσι:

$$I_{10} = C_{10} / 10 \text{ h} \quad \text{καθώς και} \quad I_{20} = C_{20} / 20 \text{ h} \quad (5.2.9)$$

Οι υψηλότεροι ρυθμοί δεν είναι απαραίτητο να μπορούν να επιτευχθούν από μια απλή μπαταρία.

5.2.9 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Για τη σύγκριση των μπαταριών χρησιμοποιούνται διάφορα διεθνή πρότυπα, με βάση τον οργανισμό BCI (Battery Council International). Βασικότερη μέτρηση αποτελεί η χωρητικότητα, η οποία ήδη επεξηγήθηκε. Η μέτρηση της χωρητικότητας από μόνη της αποτελεί ελλιπή μέθοδο αξιολόγησης των ικανοτήτων ενός συσσωρευτή, καθώς δεν δίνει πληροφορίες σχετικά με την απόδοση υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, όπως πολύ συχνά συμβαίνει στα ηλεκτρικά οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, μια μπαταρία χωρητικότητας 150 Ah μπορεί να μην έχει την ικανότητα να παρέχει ρεύμα για μια ολόκληρη νύχτα, και αν αυτό συμβεί πολλές φορές να καταστραφεί γρηγορότερα από το αναμενόμενο. Την ίδια στιγμή, μπορεί συσσωρευτής της ίδιας χωρητικότητας να παρέχει ρεύμα κατά τη διάρκεια της νύχτας και για πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Άλλες χρήσιμες μετρήσεις είναι οι ακόλουθες:

Βάθος εκφόρτισης % DOD: αντικατοπτρίζει το ποσοστό % της αποφόρτισης, σε σχέση με τη χωρητικότητα πριν την έναρξη της εκφόρτισης.

20 hour capacity: αντικατοπτρίζει το ρυθμό C/20, δηλαδή το ρυθμό που ο συσσωρευτής μπορεί να δώσει, αν αποφορτιστεί πλήρως εντός 20 ωρών.

minutes at 25 amps reserve capacity: δίνει το χρόνο κατά τον οποίο ένας πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής αποδίδει ρεύμα 25amps

minutes at 75 amps reserve capacity: δίνει το χρόνο κατά τον οποίο ένας πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής αποδίδει ρεύμα 75 amps

3 hour reserve capacity: αποτελεί την τυποποίηση των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς 3 ώρες είναι μια μέση χρονική περίοδος καθημερινής χρήσης ενός ηλ. οχήματος πόλης. Ισοδυναμεί με το 74% του 20 h reserve capacity.

Όπως μπορεί να καταλάβει κάποιος, ο χρόνος reserve capacity παρέχει αρκετά σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις «ικανότητες» του συσσωρευτή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο υψηλότερη η ικανότητα του συσσωρευτή να παράσχει τάση στα στοιχεία ενός οχήματος ή ακόμα και στο ίδιο το όχημα για την κίνησή του.

Cold cranking amperage (CCA): η μέγιστη τιμή του ρεύματος σε Α που μπορεί να αφαιρεθεί συνεχώς από το συσσωρευτή για 30 δευτερόλεπτα στους 0° F , πριν η τιμή της τάσης πέσει σε επίπεδα όπου ο συσσωρευτής δεν μπορεί να αποδώσει.

Η μέτρηση αυτή είναι χρήσιμη στους συσσωρευτές τύπου starting και δεν πρέπει να συγχέεται με τις μετρήσεις **Marine Cranking Amperage (MCA)** ή **Cranking Amperage (CA)**. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν υψηλότερες προδιαγραφές και γίνονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.8) απεικονίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών OPTIMA.

RED TOP OPTIMA				
	OPTIMA 800S	OPTIMA 800U	OPTIMA 1000M	OPTIMA 850/6
Terminal Type:	Top Post	Top & Side Posts	Marine Post	Top Post
BCI Group Size:	34	34	34	n/a
Volts:	12 V	12 V	12 V	6 V
Amp-Hrs:	56	56	56	56
CCA:	800 Amps	800 Amps	800 Amps	800 Amps
Cranking Amps:	1,100 Amps	1,100 Amps	1,100 Amps	1,100 Amps
Reserve Capacity:	120 minutes	120 minutes	120 minutes	120 minutes
Length:	9.94 in	9.94 in	9.94 in	9.91 in
Width:	6.75 in	6.88 in	6.75 in	3.38 in
High:	7.81 in	7.81 in	7.81 in	7.81 in
Weight:	39.5 lb	39.5 lb	39.5 lb	20.0 lb
YELLOW TOP DEEP CYCLE OPTIMA				
	OPTIMA 750S	OPTIMA 750U	OPTIMA 1000M	
Terminal Type:	Top Post	Top & Side Posts	Marine Post	
BCI Group Size:	34	34	34	
Volts:	12 V	12 V	12 V	
Amp-Hrs:	52	52	52	
CCA:	800 Amps	800 Amps	800 Amps	
Cranking Amps:	1,100 Amps	1,100 Amps	1,100 Amps	
Reserve Capacity:	124 minutes	124 minutes	124 minutes	
Length:	9.94 in	9.94 in	9.94 in	
Width:	6.75 in	6.88 in	6.75 in	
High:	7.81 in	7.81 in	7.81 in	
Weight:	44.9 lb	46.1 lb	46.1 lb	DCMS

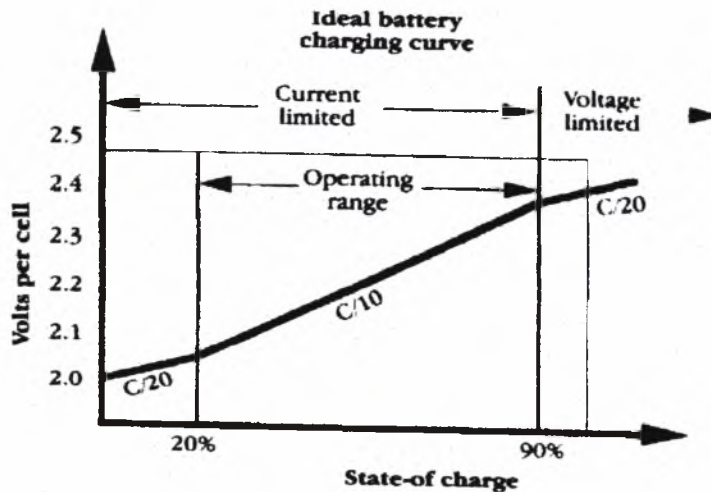
Σχήμα 5.2.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών RED TOP OPTIMA. [13]

5.2.10 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Ο γενικός κανόνας που πρέπει να ακολουθείται στη φόρτιση των μπαταριών είναι ότι **δεν πρέπει να φορτίζονται/αποφορτίζονται πολύ γρήγορα (με υψηλούς ρυθμούς C/X) και να μην φορτίζονται συνεχώς επάνω ή κάτω από το κανονικό**, διότι διαφορετικά μειώνεται η διάρκεια της ζωής τους. Επίσης,

κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους πρέπει να μην αποφορτίζονται κάτω από μια ορισμένη τιμή (π.χ. 20% της πλήρους φόρτισης ή 20% DOD).

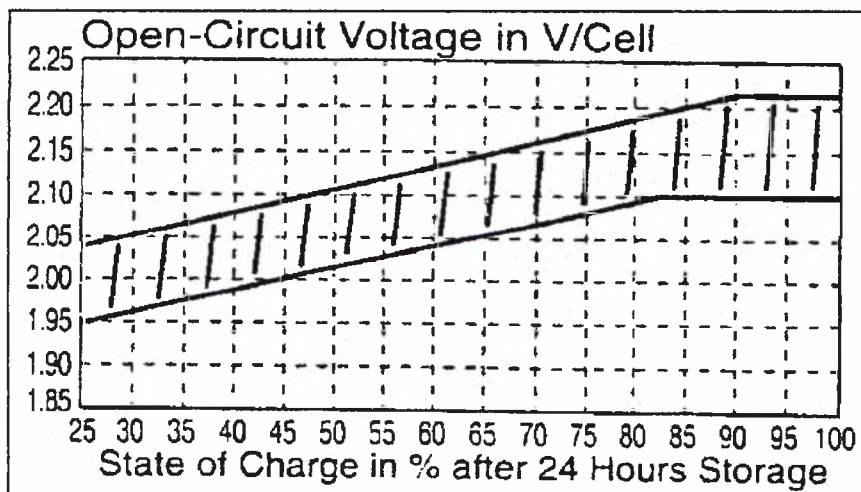
Στο Σχήμα (5.2.9) απεικονίζεται μια τυπική καμπύλη φόρτισης για μπαταρίες μολύβδου-οξέως.



Σχήμα 5.2.9 Τυπική καμπύλη φόρτισης συσσωρευτή μολύβδου-οξέως. [2]

Κάτω από το 20% της πλήρους φόρτισης μειώνεται ο ρυθμός, ώστε να μην φορτιστούν γρήγορα οι σχεδόν άδειες μπαταρίες. Επάνω από το 90% της πλήρους φόρτισης μειώνεται ο ρυθμός ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος υπερφόρτισης.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.10), παρουσιάζεται το εύρος των τιμών μέσα στο οποίο πρέπει να κυμαίνεται ο ρυθμός, για μπαταρίες Sonnenschein.

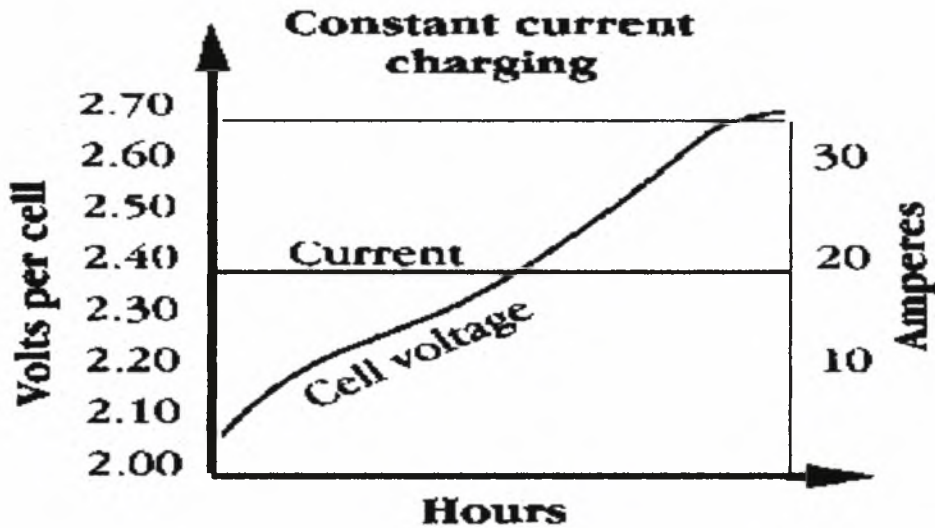


Σχήμα 5.2.10 Εύρος ρυθμού φόρτισης. [15]

Η φόρτιση του κάθε συσσωρευτή αποτελεί βασικότατη παράμετρο, η οποία αφορά την απόδοση και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η φόρτιση πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η πιθανότητα καταστροφής της

μπαταρίας, λόγω ανεξέλεγκτων καταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, στις ακόλουθες καμπύλες παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τρόποι φόρτισης των συσσωρευτών, υπό σταθερή τάση καθώς και υπό σταθερό ρεύμα.

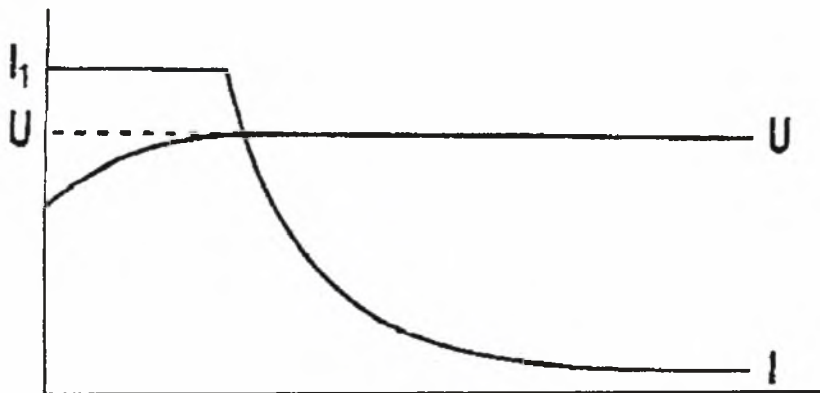
5.2.10.1 Φόρτιση υπό σταθερό ρεύμα:



Σχήμα 5.2.11 Καμπύλη φόρτισης με σταθερό ρεύμα. [2]

Στο Σχήμα (5.2.11) βλέπουμε ότι για συσσωρευτή χωρητικότητας 200 Ah, φόρτιση με ρεύμα 20A για δέκα ώρες μπορεί να μας δώσει σχεδόν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Όμως, σύμφωνα με το διάγραμμα, η έλλειψη περιορισμού στην τιμή της τάσης μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη αύξησή της, με αποτέλεσμα την καταστροφή της ίδιας της μπαταρίας. Για το λόγο αυτό, ακολουθείται μια άλλη τεχνική, η οποία απαιτεί σταθερό ρεύμα κατά την αρχή της φόρτισης (μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τάση) και στη συνέχεια το ρεύμα μειώνεται προοδευτικά και η μπαταρία ακολουθεί την ίδια πορεία με τη φόρτιση με σταθερή τάση (όπως θα δειχθεί παρακάτω).

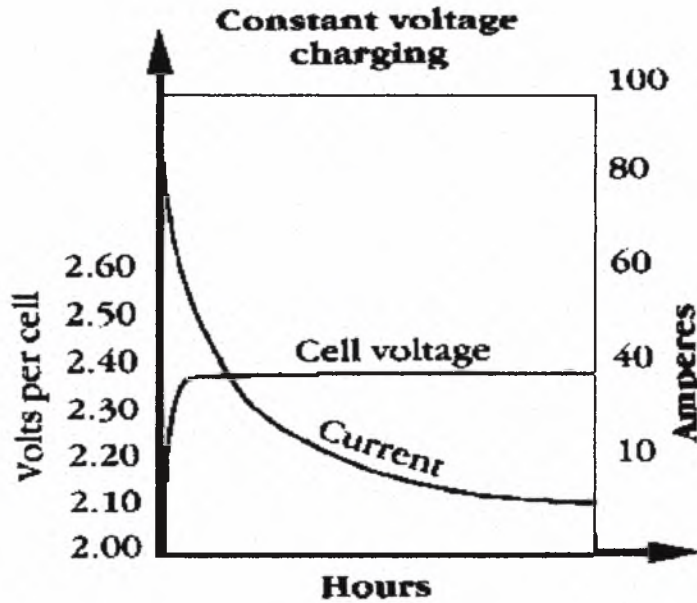
Το Σχήμα (5.2.12) παρουσιάζει τη μέθοδο αυτή.



Σχήμα 5.2.12 Φόρτιση με σταθερό ρεύμα κατά την εκκίνηση της φόρτισης. [15]

5.2.10.2 Φόρτιση υπό σταθερή τάση:

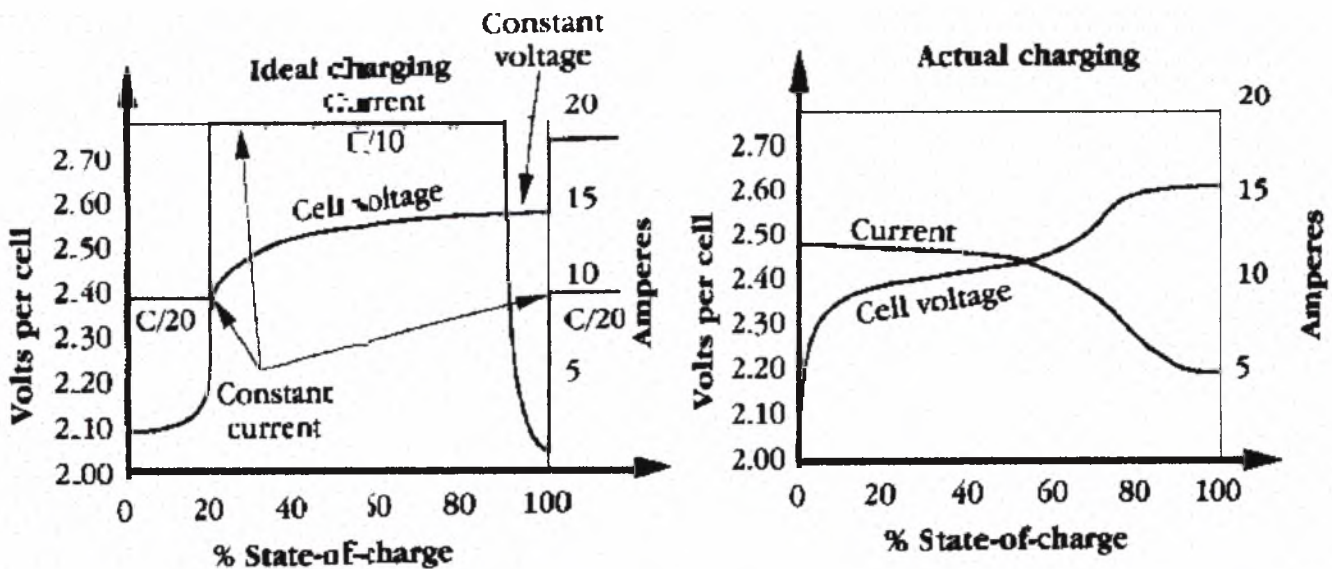
Η φόρτιση υπό σταθερή τάση (μετράται συνήθως από το σημείο όπου παρατηρείται έναρξη της απαερίωσης) παρουσιάζει μια σταδιακή μείωση της τιμής του ρεύματος. Κατά την έναρξη, όμως, της φόρτισης η τιμή του ρεύματος μπορεί να υπερβεί τα ανώτατα επιτρεπτά όρια, με αποτέλεσμα την καταστροφή του συσσωρευτή.



Σχήμα 5.2.13 Φόρτιση υπό σταθερή τάση. [2]

5.2.10.3 Φόρτιση υπό μικτές συνθήκες τάσης και ρεύματος:

Το συγκεκριμένο μοντέλο του Σχήματος (5.2.14) βασίζεται σε συνδυασμό των δυο προηγούμενων μεθόδων, καθώς ανάλογα με το ποσοστό της φόρτισης εφαρμόζεται είτε σταθερό ρεύμα είτε σταθερή τάση.

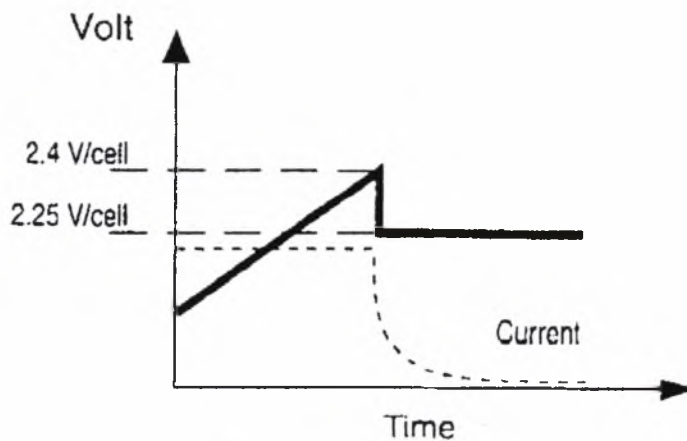


Σχήμα 5.2.14 Φόρτιση υπό μεταβαλλόμενη τάση και ρεύμα. [2]

Στην αρχή της φόρτισης μιας πλήρως εκφόρτιστης μπαταρίας εφαρμόζεται ο ρυθμός C_{20} , ο οποίος για μια μπαταρία χωρητικότητας 200 Ah αντιστοιχεί σε ρεύμα $I_{20}=200/20=10$ A. Στη συνέχεια ακολουθείται το ρυθμό C_{10} , ο οποίος αντιστοιχεί σε ρεύμα $I_{10}=C_{10}/10=200/10=20$ A. Στο τέλος της φόρτισης, εάν επιθυμείται διατήρηση σταθερής τάσης, παρατηρείται σημαντική πτώση στην τιμή του ρεύματος, χωρίς να διατρέχει κίνδυνο καταστροφής η μπαταρία.

Ένας ακόμη τρόπος φόρτισης είναι αυτός που απεικονίζεται στη δεξιά πλευρά του ίδιου σχήματος, όπου απεικονίζεται το συνηθέστερο τρόπο φόρτισης των συσσωρευτών. Το ρεύμα αρχικά παρουσιάζει σχεδόν σταθερή τιμή, στη συνέχεια πέφτει και στο τέλος της φόρτισης παραμένει σχεδόν σταθερό. Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα η τάση να αυξάνεται αρχικά, στη συνέχεια παραμένει σχεδόν σταθερή με μικρή αυξητική τάση και τέλος παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι το τέλος της φόρτισης.

Πολλές φορές, όπου απαιτείται υπερφόρτιση των συσσωρευτών, ακολουθείται η καμπύλη που απεικονίζεται στο Σχήμα (5.2.15). Το διάγραμμα αναφέρεται στους τύπους A400, A600, A700 και OgiV της εταιρίας Sonnenschein.

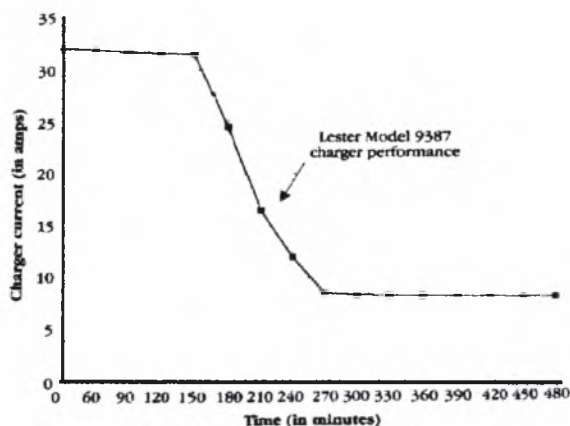


Σχήμα 5.2.15 Καμπύλη τάσης για την υπερφόρτιση του συσσωρευτή. [15]

Κατά τη φόρτιση των συσσωρευτών πρέπει να ληφθούν υπόψη κατασκευαστικές συμβουλές για την ομαλή φόρτιση των συσσωρευτών. Οι συμβουλές αυτές αναφέρονται στις τιμές της τάσης και του ρεύματος για κάθε τύπο συσσωρευτή και λαμβάνονται από κατάλληλους πίνακες.

Οι μπαταρίες θεωρούνται πλήρως φορτισμένες όταν το ρεύμα της φόρτισης δεν μεταβάλλεται μέσα σε δυο ώρες.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.16) παρουσιάζεται η καμπύλη του ρεύματος κατά τη φόρτιση που προτείνεται από την κατασκευαστική εταιρία Lester, όπου η τιμή του ρεύματος στην αρχή της φόρτισης είναι 35 A, στη συνέχεια πέφτει όπου και φτάνει μια σχεδόν σταθερή τιμή της τάσης των 8 A.

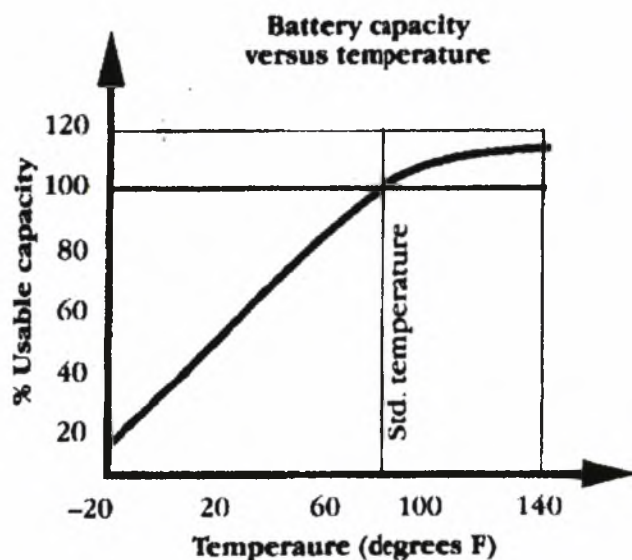


Σχήμα 5.2.16 Προτεινόμενη καμπύλη φόρτισης συσσωρευτών της εταιρίας LESTER. [2]

5.2.10.4 Επίδραση θερμοκρασίας

Λόγω του ότι η λειτουργία των μπαταριών βασίζεται σε μια χημική αντίδραση, όλες οι παράμετροι της μπαταρίας εξαρτώνται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Η **χωρητικότητα** της κάθε μπαταρίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.17).



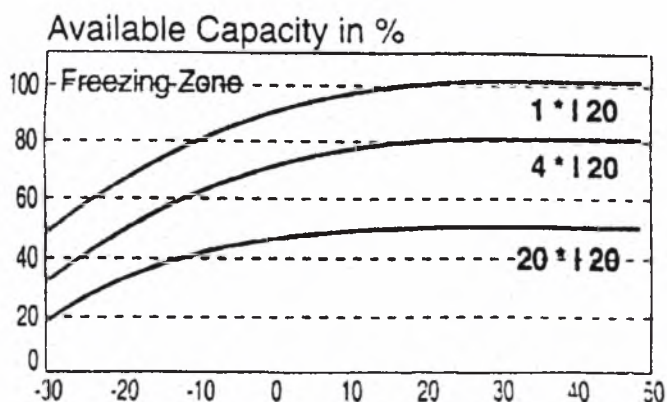
Σχήμα 5.2.17 Σχέση απόδοσης και θερμοκρασίας . [2]

Παρατηρούμε ότι σε κρύα κλίματα οι μπαταρίες μπορεί και να μην αποδίδουν 100%, ενώ σε θερμά κλίματα οι χρήστες μπορούν να λάβουν ως και 110% της χωρητικότητας.

Οι μπαταρίες δεν παγώνουν στους 0°C , διότι η περιεκτικότητα του νερού σε θειικό οξύ ταπεινώνει το σημείο πήξης, δίδοντας τη δυνατότητα να αποφευχθούν δυσάρεστες καταστάσεις.

Σε θερμοκρασίες κοντά στους 0°C πρέπει να περιμένουμε μεγαλύτερους χρόνους φόρτισης, καθώς οι αντιδράσεις σε αυτό το θερμοκρασιακό επίπεδο διεξάγονται πολύ αργά. Πάγωμα μιας μπαταρίας συνεπάγεται τη μόνιμη καταστροφή της.

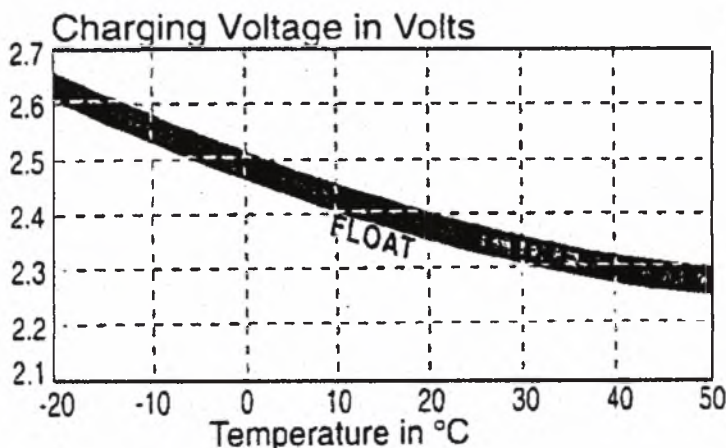
Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.18) δίνεται το χαρακτηριστικό διάγραμμα της χωρητικότητας (%) σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (σε βαθμούς Κελσίου) των μπαταριών Sonnenschein, για το μοντέλο A500.



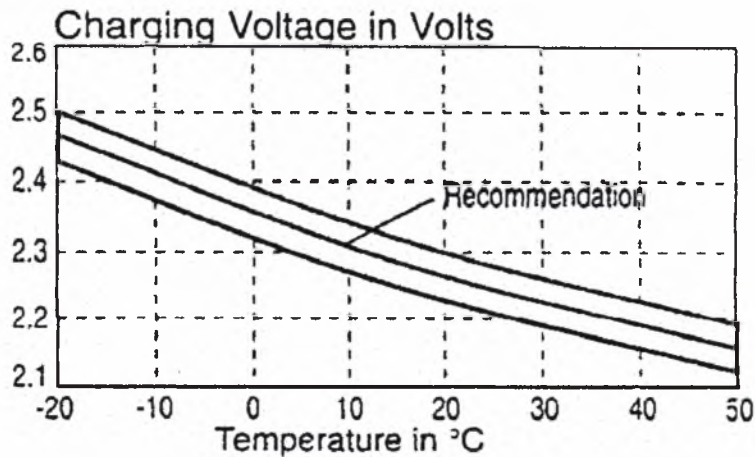
Σχήμα 5.2.18 Χωρητικότητα σε σχέση με τη θερμοκρασία για διαφορετικές τιμές ρεύματος. [15]

Το διάγραμμα αυτό κατασκευάστηκε για τον ίδιο τύπο συσσωρευτή (A500), αλλά για διαφορετικές τιμές του ρεύματος εκφόρτισης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ρεύμα εκφόρτισης I_{20} ισούται με την τιμή του σταθερού ρεύματος για εκφόρτιση 20 ωρών. Τα πολλαπλάσια $4 \cdot I_{20}$ και $20 \cdot I_{20}$ ισοδυναμούν με το διπλάσιο και εικοσαπλάσιο ρεύμα I_{20} αντίστοιχα. Η **τάση φόρτισης** δίδεται στους κατασκευαστικούς πίνακες κάθε τύπου συσσωρευτή.

Στα ακόλουθα Σχήματα (5.2.19) και (5.2.20) παρουσιάζεται η μεταβολή της τάσης φόρτισης διαφόρων συσσωρευτών της εταιρίας Sonnenschein (A200/A300 και A400 αντίστοιχα), για μεταβαλλόμενη θερμοκρασία.



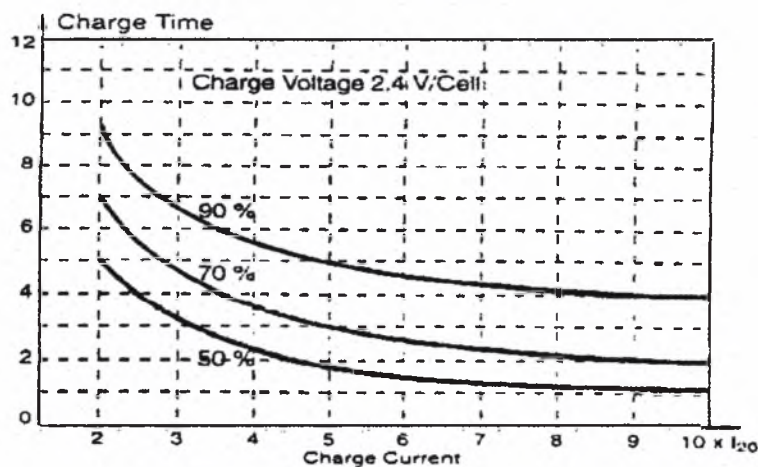
Σχήμα 5.2.19 Μεταβολή της τάσης φόρτισης ανάλογα με τη θερμοκρασία. [15]



Σχήμα 5.2.20 προτεινόμενη καμπύλη τάσης φόρτισης για μεταβαλλόμενο ρεύμα. [15]

5.2.10.5 Χρόνος επαναφόρτισης

Ο χρόνος επαναφόρτισης υπολογίζεται από κατάλληλα διαγράμματα, όπως αυτό του Σχήματος (5.2.21).

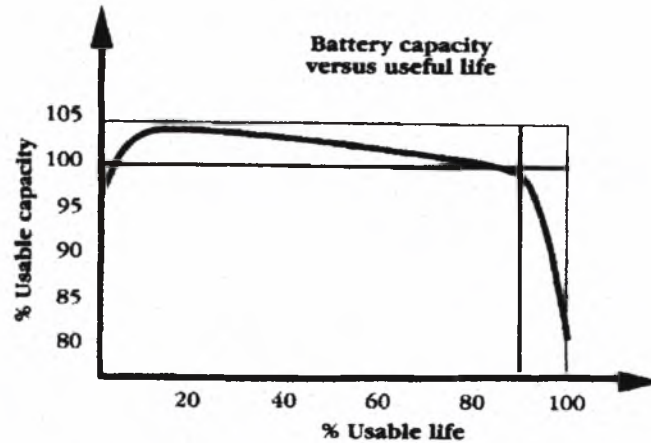


Σχήμα 5.2.21 Χρόνος επαναφόρτισης ανάλογα με το ρεύμα φόρτισης. [15]

Το διάγραμμα απεικονίζει το χρόνο που απαιτείται για τη φόρτιση στο 50%, 70% και 90% της πλήρους φόρτισης για ρεύμα ίσο με το $10 \cdot I_{20}$.

5.2.10.6 Απόδοση σε σχέση με την ηλικία

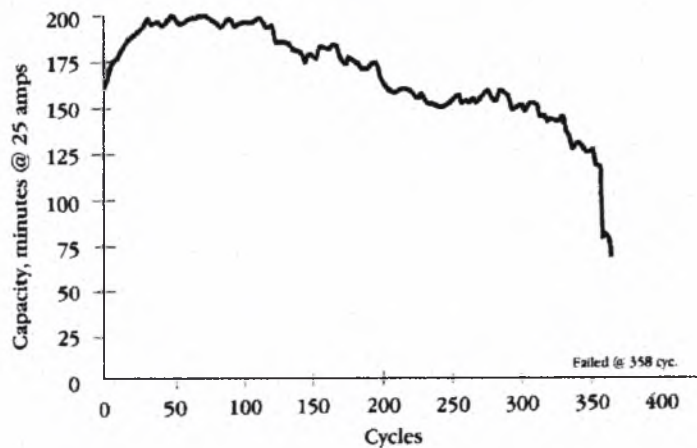
Η απόδοση της κάθε μπαταρίας μεταβάλλεται ανάλογα με τα χρόνια που βρίσκεται σε λειτουργία. Το Σχήμα (5.2.22) απεικονίζει μια χαρακτηριστική καμπύλη της απόδοσης σε σχέση με την ηλικία.



Σχήμα 5.2.22 Απόδοση σε σχέση με την ηλικία. [2]

Οι συνηθισμένες μπαταρίες του εμπορίου, στην αρχή της λειτουργίας τους δεν αποδίδουν το 100% των δυνατοτήτων τους. Αντίθετα, ξεκινούν από χαμηλότερες τιμές απόδοσης, η οποία αυξάνεται μετά από κάποιο ποσοστό του χρόνου ζωής τους (γύρω στο 20% ανάλογα με τον τύπο κάθε μπαταρίας), δίδοντας τιμές της χωρητικότητας έως και 5% επάνω από τη θεωρητική μέγιστη χωρητικότητα. Στη συνέχεια, παρατηρείται σταθερή απόδοση, έως τη στιγμή όπου η απόδοση μειώνεται δραματικά. Απότομη πώση στην απόδοση κάθε μπαταρίας συνεπάγεται τέλος και της διάρκειας ζωής της.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.23) απεικονίζεται η πειραματική καμπύλη της χωρητικότητας σε σχέση με τους κύκλους λειτουργίας, για δεδομένο χαρακτηριστικό το χρόνο minutes at 25 A reserve capacity, για τους συσσωρευτές TROJAN 27TMH (μολύβδου-οξέως deep cycle). [2]



Σχήμα 5.2.23 Χωρητικότητα σε σχέση με τη διάρκεια ζωής για συσσωρευτές TROJAN 27TMH.

Ο συγκεκριμένος τύπος συσσωρευτή δεν “αστόχησε” στους 358 κύκλους, αλλά σύμφωνα με πρότυπα, η χωρητικότητα έπεσε κάτω από το 50%.

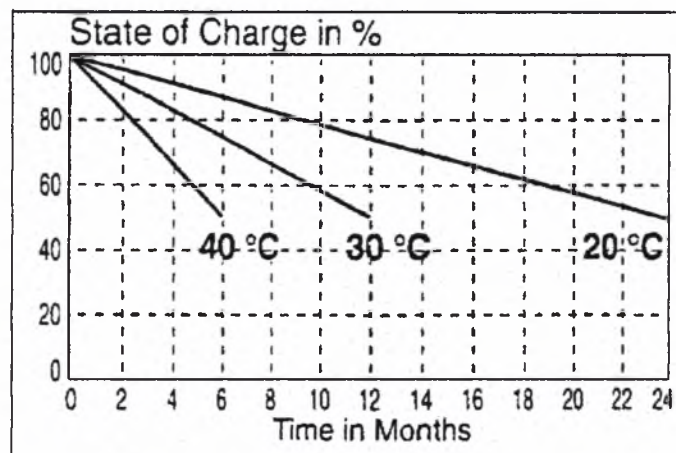
5.2.10.7 Φορτία συσσωρευτή

Οι μπαταρίες αποφορτίζονται μόνες τους, ακόμα και όταν φυλάσσονται δίχως να χρησιμοποιούνται καθόλου. Το σύνηθες ποσοστό αποφόρτισης κυμαίνεται μεταξύ 5-10% ανά εβδομάδα. Η τιμή αυτή τα τελευταία χρόνια έχει κατέβει σε πολύ χαμηλότερα ποσοστά, φτάνοντας τιμές οι οποίες αγγίζουν το 3-5% ανά μήνα.

Ο λόγος για τον οποίο αποφορτίζονται οι μπαταρίες είναι το ότι περιέχουν **εσωτερική αντίσταση**, στην οποία οφείλεται και η κατανάλωση του ποσοστού αυτού της ενέργειας.

Μπαταρίες οι οποίες φυλάσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν αποφορτίζονται με τον ίδιο ρυθμό, αλλά δεν μπορούν να αποδώσουν και το 100% των δυνατοτήτων τους. Για το λόγο αυτό, πρέπει να προθερμαίνονται πριν λειτουργήσουν.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.24) παρουσιάζεται ο βαθμός αποφόρτισης μπαταριών σε σχέση με το χρόνο, για διάφορες θερμοκρασίες. Είναι φανερό ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες απαιτούν πολλαπλάσιο χρόνο για να αποφορτιστούν μέχρι το 40%.



Σχήμα 5.2.24 Βαθμός αποφόρτισης σε σχέση με το χρόνο και τη θερμοκρασία. [15]

5.2.10.8 Εσωτερική αντίσταση

Η συνολική εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας είναι το άθροισμα όλων των εσωτερικών αντιστάσεων των κελιών καθώς και των συνδέσεών τους.

Για τον υπολογισμό της ολικής εσωτερικής αντίστασης R_{iG} σε θερμοκρασία δωματίου και σε πλήρη φόρτιση, γίνεται χρήση της ακόλουθης Εξίσωσης (5.2.10) [15]:

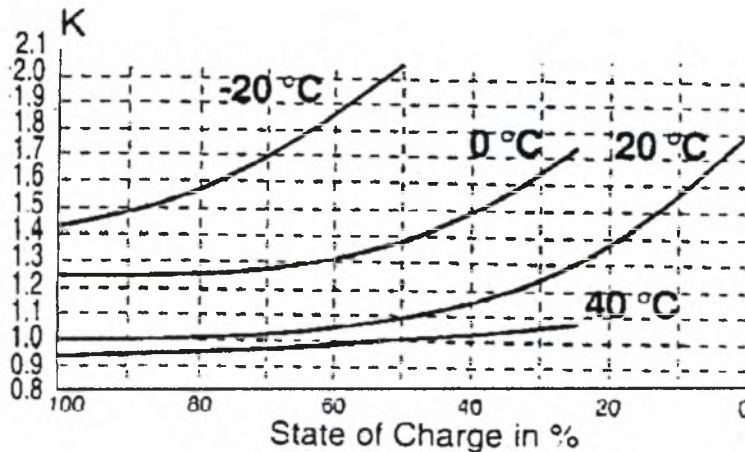
$$R_{iG} = \frac{n \cdot R_i}{\text{capacity(Ah)}} \quad (5.2.10)$$

όπου:

n ο αριθμός των κελιών

R_i τιμή από πίνακα δεδομένων

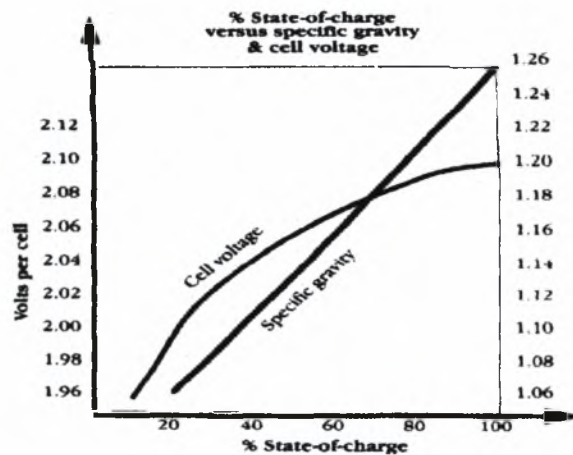
Η εσωτερική αντίσταση εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από την κατάσταση της φόρτισης. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν κατάλληλοι πίνακες, όπως ο Πίνακας (5.2.25), όπου υπολογίζεται κατάλληλος συντελεστής διόρθωσης K της αντίστασης R , για τις μπαταρίες Sonnenschein.



Σχήμα 5.2.25 Συντελεστής διόρθωσης K της αντίστασης R . [15]

5.2.10.9 Φόρτιση-τάση και ειδική βαρύτητα

Η τάση στην έξοδο της μπαταρίας καθώς και το ειδικό βάρος χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ποσοστού της φόρτισης. Οι σύγχρονες εφαρμογές απαιτούν ηλεκτρονικά βολτάμετρα για τους υπολογισμούς.



Σχήμα 5.2.26 Σχέση τάσης, ειδικού βάρους και ποσοστού φόρτισης. [2]

Από το Σχήμα (5.2.26) παρατηρούμε ότι αυξανόμενη της τάσης καθώς και του ειδικού βάρους, το ποσοστό της φόρτισης αυξάνεται. Όμως, το διάγραμμα αυτό δεν παρέχει πληροφορίες για τη σχέση μεταξύ της τάσης και της θερμοκρασίας. Ο νόμος που ισχύει είναι ότι η τάση (άρα και το ποσοστό της φόρτισης) μειώνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, χρήσιμη είναι η κατασκευή κατάλληλων καμπυλών που θα συνδέουν την τάση με τη θερμοκρασία.

Στον ακόλουθο Πίνακα (5.2.1) απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της ειδικής βαρύτητας και του βάθους φόρτισης εντός του κελιού, για συσσωρευτές μολύβδου-οξέος.

100% Charged.....	1.255 - 1.260 Sp. Gr.
75% Charged.....	1.220 - 1.225 Sp. Gr.
50% Charged.....	1.185 - 1.190 Sp. Gr.
25% Charged.....	1.150 - 1.155 Sp. Gr.
0% Charged.....	1.115 - 1.120 Sp. Gr.

Πίνακας 5.2.1 Ειδική βαρύτητα και ποσοστό φόρτισης ενός κελιού μολύβδου-οξέως.

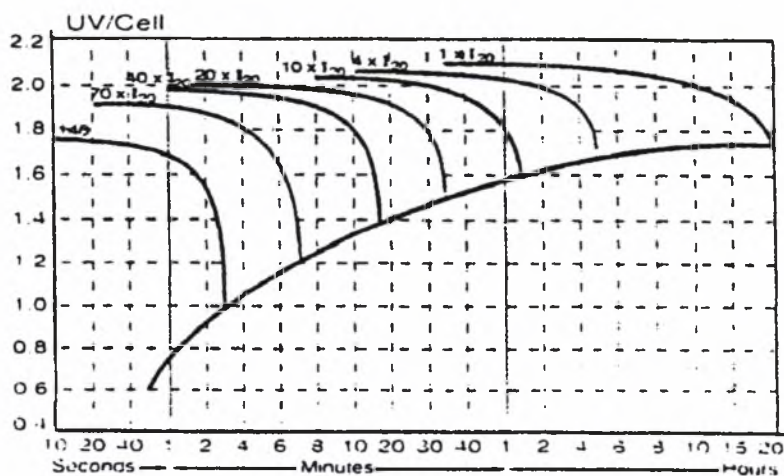
5.2.10.10 Αποφόρτιση και διάρκεια ζωής

Η τελική τάση αποφόρτισης είναι η τιμή κάτω από την οποία δεν πρέπει να πέσει η τάση για δεδομένη τιμή του ρεύματος. Εάν η μπαταρία αποφορτιστεί πιο πολύ από την τιμή αυτή, τότε πρόκειται για **βαθεία αποφόρτιση**.

Η κωρητικότητα που λαμβάνεται από το συσσωρευτή ονομάζεται ποσοστό (βάθος) εκφόρτισης (Depth of Discharge/DOD). Εάν, για παράδειγμα, έχει ληφθεί το 80% της ονομαστικής κωρητικότητας, τότε το βάθος της εκφόρτισης ισούται με 80%. **Το μέγιστο επιτρεπτό βάθος εκφόρτισης εξαρτάται από το ρεύμα εκφόρτισης αλλά και από τη θερμοκρασία.**

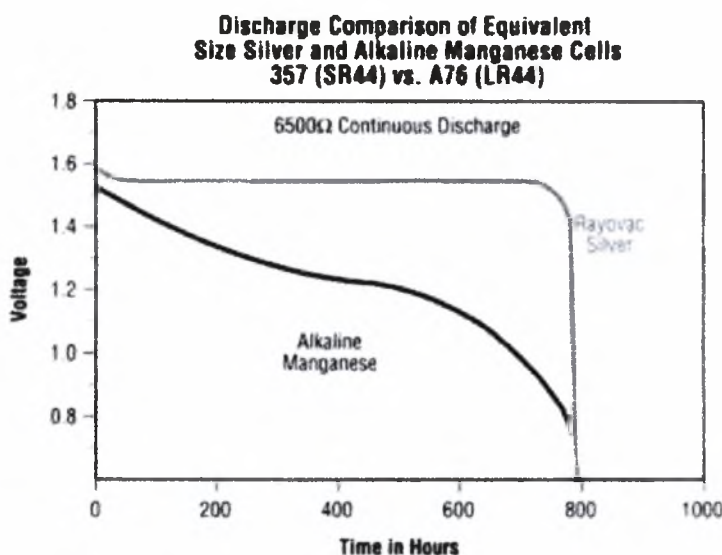
Γενικά ισχύει ότι **μεγάλη ταχύτητα αποφόρτισης δίνει μικρότερη τάση άρα μικρότερη απόδοση.**

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.27) παρουσιάζεται αντίστοιχο διάγραμμα για το μοντέλο A500 των μπαταριών Sonnenschein.



Σχήμα 5.2.27 Τάση του κελιού ανάλογα με το ρεύμα εκφόρτισης. [15]

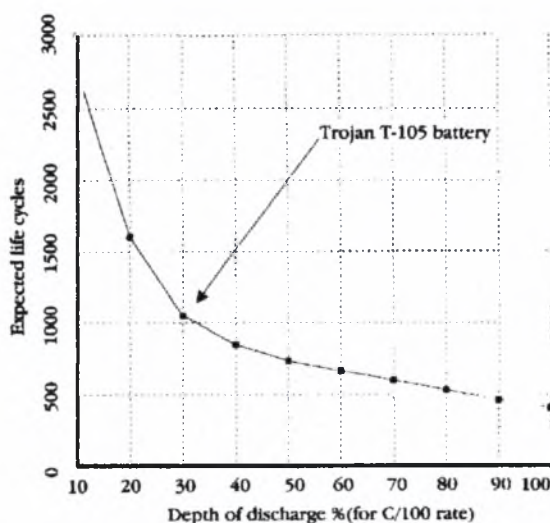
Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.28) παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα για μπαταρίες της εταιρίας Rayovac, τύπου Silver-Manganese καθώς και Alkaline-Manganese.



Σχήμα 5.2.28 Τάση κελιού για δύο διαφορετικούς τύπους συσσωρευτών. [16]

Ο ρυθμός εκφόρτισης συνδέεται στενά με τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. **Υψηλότεροι ρυθμοί εκφόρτισης αλλά και μεγαλύτερο βάθος εκφόρτισης μειώνουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.**

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.29), παρουσιάζεται η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, σε σχέση με το βάθος εκφόρτισης, για σταθερό ρυθμό εκφόρτισης (ίσο με C/100). Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται καθαρά ότι **πολύ μικρή διάρκεια ζωής πρέπει να αναμένεται για εκφόρτιση σε βάθος κοντά στο 100% της πλήρους αποφόρτισης.**



Σχήμα 5.2.29 Διάρκεια ζωής σε σχέση με το βάθος αποφόρτισης. [2]

5.2.11 ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Για τη σύγκριση των μπαταριών χρησιμοποιούνται ευρέως και οι ακόλουθοι όροι:

Πυκνότητα ισχύος: αντικατοπτρίζει την αποδιδόμενη ισχύ (υπό ιδανικές συνθήκες) ανά μονάδα βάρους, συνήθως σε κατάσταση 80% βάθους εκφόρτισης. [Watt/Kgr]

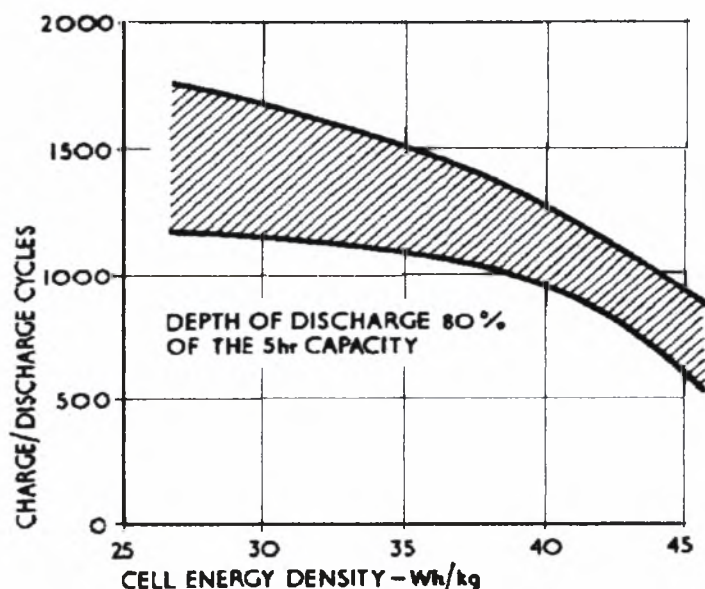
Πυκνότητα ενέργειας: είναι η ισχύς για δεδομένη χρονική περίοδο ανά μονάδα βάρους, για καθορισμένο ρυθμό εκφόρτισης. [Watt-hour/Kgr]. Η θεωρητική πυκνότητα ενέργειας υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση:

$$\text{Π.Ε.} = V * N_e * Q / M \quad (5.2.11)$$

όπου V το δυναμικό του στοιχείου, N_e ο αριθμός των ηλεκτρονίων που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση, Q το ηλεκτρικό φορτίο σε Ah και M το σύνολο της μάζας σε Kgr των γραμμομορίων των αντιδρώντων μερών. Στην πραγματικότητα, λόγω των κατασκευαστικών ατελειών και των στοιχείων εκείνων της μπαταρίας που δε συμμετέχουν στην αντίδραση, η πραγματική πυκνότητα ενέργειας είναι πολύ μικρότερη της πραγματικής.

Σε γενικές γραμμές, η αύξηση της πυκνότητας ενέργειας μειώνει τη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι **για να επιτευχθεί αυξημένη πυκνότητα ενέργειας**, πρέπει να κατασκευαστούν **συσσωρευτές με λεπτότερες πλάκες (ηλεκτρόδια)**, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερος χώρος εντός των μπαταριών για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις. Η κατασκευή αυτή συνεισφέρει στην **ευκολότερη και γρηγορότερη καταστροφή των πλακών**.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.30) παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της διάρκειας ζωής και της πυκνότητας ενέργειας .



Σχήμα 5.2.30 Σχέση πυκνότητας ενέργειας και διάρκειας ζωής. [17]

Ογκομετρική πυκνότητα ισχύος: δείχνει την αποδιδόμενη ισχύ ανά μονάδα όγκου. Watt/m³

Ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας: δίνει την αποδιδόμενη ισχύ σε δεδομένο χρονικό διάστημα ανά μονάδα όγκου. Watt-hour/m³

5.2.12 ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Οι πρώτοι συσσωρευτές της αγοράς -Σχήματα (5.2.31) και (5.2.32)- είχαν μηδαμινή απόδοση σε σχέση με τους σημερινούς τύπους μπαταριών, η έρευνα και η εξέλιξη, όμως, στον τομέα αυτό δεν μπορεί να ειπωθεί ότι βρίσκεται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, καθώς μόλις τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα με την ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας δώθηκαν κίνητρα για βαθύτερη μελέτη. Η μέχρι τώρα ανάλυση έγινε με βάση τις μπαταρίες μολύβδου-οξέως, καθώς η λύση αυτή είναι η πλέον διαδεδομένη στο χώρο της ηλεκτροκίνησης.



Σχήμα 5.2.31 Αρχικός τύπος συσσωρευτή. [13]



Σχήμα 5.2.32 Αρχικός τύπος συσσωρευτή. [13]

Νέες προτάσεις έρχονται να προστεθούν στον κατάλογο των εταιριών, οι οποίες τις περισσότερες φορές παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις προδιαγραφές τους, ακόμα και για τον ίδιο τύπο μπαταρίας. Η λύση που υπόσχεται τα περισσότερα για το μέλλον είναι ο τύπος λιθίου-ιόντος, η οποία δυστυχώς δεν μπορεί να βρει εφαρμογή (ακόμη) σε ηλεκτρικά οχήματα λόγω του υψηλότερου κόστους ανά μονάδα ενέργειας.

Άλλες λύσεις είναι οι ακόλουθες:

Νικελίου-καδμίου (Ni-Cd): είναι ευρέως γνωστές λόγω της χρήσης τους στα μικρά εργαλεία χειρός. Παρουσιάζουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας (ως και 50%), μικρότερη πώση χωρητικότητας υπό απότομα φορτία, περισσότερους κύκλους ζωής, μικρότερο ρυθμό αποφόρτισης κατά την αποθήκευση και καλύτερη απόδοση υπο χαμηλές θερμοκρασίες. Από την άλλη πλευρά, το κάδμιο είναι τοξική ουσία και συγχρόνως παρουσιάζουν υψηλότερη τιμή αγοράς από τις μολύβδου-οξέως. Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται χαμηλό βάρος και υψηλή ισχύς.

Νατρίου-θείου (Na-S): Το νάτριο και το θείο είναι υλικά επικίνδυνα. Το νάτριο, συγκεκριμένα, σε επαφή με το νερό προκαλεί έκρηξη με αποτέλεσμα την καύση

του θείου και την παραγωγή δηλητηριωδών αερίων. Για το λόγο αυτό πρέπει να είναι πολύ καλά προστατευμένες. Επίσης, ο στερεός ηλεκτρολύτης μπορεί να καταστραφεί λόγω της ευθραστότητας που τον διακρίνει. Λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και συγχρόνως μπορούν να εκραγούν σε περίπτωση πρόσκρουσης. Παρόλα αυτά, παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές ειδικής ενέργειας και ειδικής ισχύος, παράγοντες αποφασιστικοί για την ηλεκτροκίνηση.

Οι επιλογές αυτές αποτελούν τις λύσεις στις οποίες κάποιος θα στραφεί, στα πλαίσια της ηλεκτροκίνησης. **Σημαντική έρευνα γίνεται και σε άλλα είδη, όπως λίθιο-μονο και διθειούχος σίδηρος, νικέλιο-μεταλλικό υβρίδιο, ψευδάργυρος-βρώμιο, λίθιο-πολυμερές, λίθιο-αλουμίνιο, κ.λ.π.**

Στον ακόλουθο Πίνακα (5.2.2) γίνεται σύγκριση των δεδομένων απόδοσης διάφορων τύπων συσσωρευτών. [18]

		Pb-Acid	Ni-Fe	Ni-Cd	Ni-MH	Zn-Br	Na-S	Li-FeS	Li-FeS2
Κύκλοι λειτουργίας	1992	50-1500	300-1000	2000	500+	200-2000	800+	1000	100
	2000	200-2000	1200	3000	1000	1000	1200	??	??
Διάρκεια λειτουργίας (έτη)	1992	20	6	20	5	1	1	1	1
	2000	20	10	25	10	??	10	6-Οκτ	6-Οκτ
Πυκνότητα ενέργειας (Wh/Kgr)	1992	30	53	40	60	70	80-100	100	116
	2000	50	60	55	65	80	175	100	175
με ρυθμό C/5 Wh/lit	1992	85	120	70	120	56	110-130	110	245
	2000	100	130	75	120	100	265	150	400
Πυκνότητα ισχύος W/Kgr	1992	250	100	260	100	70	250	107	600
	2000	400	110	300	150	100	400	110	600
Κόστος US\$/KWh	1992	200	500	2000	3500	110	2000	??	??
	2000	150	200	1500	2500	??	150	??	??

Πίνακας 5.2.2 Χαρακτηριστικά απόδοσης συσσωρευτών για τα ηλεκτρικά οχήματα, για τα έτη 1992 καθώς και 2000.

5. ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΕΩΣ

Τύπος συσσωρευτή	Pb-Acid	Ni-Cd	NiMH	NiFe	NaS	Li-Polymer
Κόστος US\$/KWh για αναμενόμενη ποσότητα	70	600	600	200	600	200
Πυκνότητα ενέργειας Wh/Kgr	34	55	55	50	100	85
Πυκνότητα ισχύος W/Kgr	280	180	180	100	140	90
Κύκλοι ζωής 80% DOD	300	800	500	900	800	800
Απόδοση φόρτισης	80%	65%	65%	60%	88%	??
Διαθεσιμότητα	Άριστη	Καλή	Καθόλου	Μικρή	Μέτρια	Καθόλου
Ασφάλεια	Άριστη	Άριστη	Άριστη	??	Μέτρια	??
Περιβαλλοντική συμπεριφορά	Μέτρια	Κακή	Καλή	Καλή	Άριστη	Καλή
Ανακυκλωσιμότητα	Άριστη	Κακή	Μέτρια	Καλή	Υποσχόμενη	Μέτρια
Διάρκεια	Καλή	Άριστη	Άριστη	Καλή	Καλή	Άριστη
Συντήρηση	Άριστη	Καλή	Άριστη	Κακή	Καλή	Άριστη

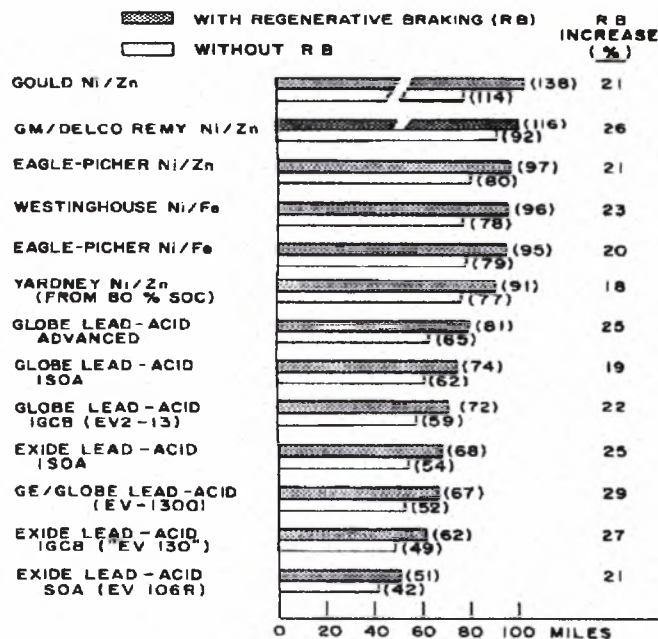
Πίνακας 5.2.3 Σύγκριση τύπων συσσωρευτών για ηλεκτρικά οχήματα. [18]

Table 9-5 Comparison of future electric vehicle battery trade-offs

Battery Type	Nominal Cell Voltage	Operating Temp Range		Life Cycles	Theoretical Spec Energy	1/2 Hr Rate Spec Energy	Energy Density	Specific Power 30 sec pulse	Power Density 30 sec pulse
	(volts)	(degrees C)			(wh/lb)	(wh/lb)	(kwh/cu ft)	(watts/lb)	(kw/cu ft)
Lead Acid	2.1	35 - 70		600	79.5	15.9	2.55	72.7	8.50
Nickel Cadmium	1.25	30 - 50		2000	99.1	25.0	3.40	86.4	9.35
Nickel Metal Hydride	1.4	20 - 60		600	84.1	29.5	4.96	68.2	11.33
Nickel Zinc	1.6	40 - 65		250	155.0	27.3	2.83	59.1	2.83
Nickel Iron	1.25	40 - 80		800	121.4	22.7	3.40	52.3	6.51
Sodium Sulfur	2.08	300 - 400		350	345.5	38.6	3.26	54.5	5.10
Sodium Nickel Chloride	2.59	250 - 350		1000	360.0	59.1	4.81	76.3	6.37
Zinc Bromine	1.8	0 - 45		500	194.5	31.8	1.98	38.6	3.26
Zinc Air	1.62	25 - 65		70	595.5	59.1	1.84	22.7	1.84
Lithium Iron Disulfide	1.66	400 - 450		500	295.5	75.0	6.80	170.5	1.56
Lithium Polymer	3.5	0 - 100		300	248.2	72.7	7.36	90.9	5.95

Πίνακας 5.2.4 Σύγκριση των μελλοντικών χαρακτηριστικών απόδοσης των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων. [2]

Τα χαρακτηριστικά απόδοσης των συσσωρευτών μπορούν να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη συγκεκριμένων τιμών από τις βιομηχανίες κατασκευής συσσωρευτών, αφού σε γενικές γραμμές γίνεται ακόμα έρευνα (σε συνεργασία με τις αυτοκινητοβιομηχανίες), προσπαθώντας να βελτιώσουν τα προϊόντα. Από πειράματα που έγιναν σε συγκεκριμένο όχημα (ETV-1), με διάφορους τύπους συσσωρευτών, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (Σχήμα (5.2.33)), τα οποία αφορούν την απόσταση που διένυσε το όχημα με ανάκτηση και χωρίς ανάκτηση της ενέργειας πεδήσεως.



Projected Number of Miles Traveled in One Complete Discharge of the Battery Powering the ETV-1 Electric Vehicle Performing the SAE J227aD Urban Driving Schedule.

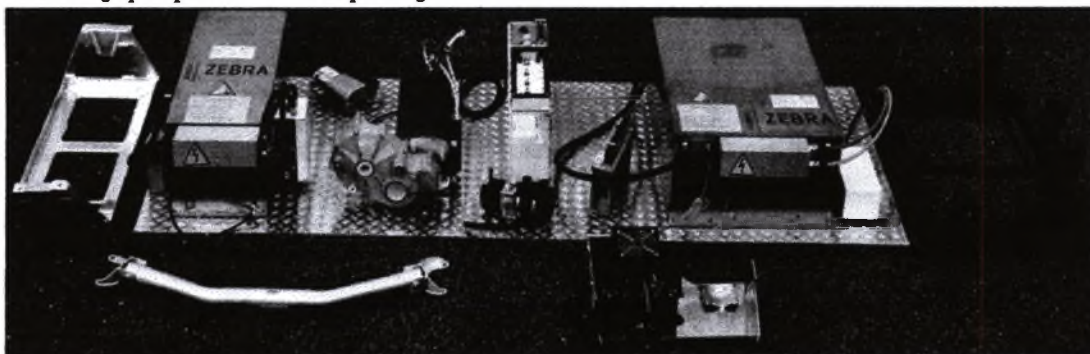
Σχήμα 5.2.33 Διανυμένη απόσταση με διάφορους τύπους συσσωρευτών. [17]

Τα αποτελέσματα αφορούν μια πλήρη εκφόρτιση των συσσωρευτών τύπου EV-1300 Lead-Acid by Globe Battery Division του οχήματος.

Παρατηρούμε ότι ως βέλτιστη λύση προβάλλεται η μπαταρία τύπου Ni-Zn. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να διαφέρει σημαντικά σε μετρήσεις άλλων βιομηχανιών, κάτω από διαφορετικές συνθήκες κίνησης αλλά και διαφορετικές κατασκευαστριες εταιρίες συσσωρευτών.

Χαρακτηριστικό είναι ότι η εταιρία OPEL στην ηλεκτροκίνητη έκδοση του ASTRA χρησιμοποιεί συσσωρευτές νικελίου-χλωριούχου νατρίου τύπου ZEBRA, τις οποίες κατασκευάζει η εταιρία AEG. Ο τύπος αυτός πιστεύεται ότι προσφέρει μεγαλύτερη αυτονομία από τους υπόλοιπους τύπους μπαταριών, κάτι που έχει αποδειχθεί από πειραματικές μετρήσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.2.34) παρουσιάζει τους συσσωρευτές αυτούς, μαζί με λοιπά εξαρτήματα του οχήματος.



Σχήμα 5.2.34 Συσσωρευτές νικελίου-άλατος στο ηλεκτροκίνητο OPEL ASTRA. [23]

Τα κατασκευαστικά δεδομένα των συσσωρευτών ZEBRA, δίδονται στον Πίνακα (5.2.5). Το υλικό των ηλεκτροδίων αποτελείται από νικέλιο και άλας εντός κεραμικού ηλεκτρολύτη.

	Μονάδες	Τύπος συσσωρευτή	
		Z5-276-ML-64	Z5-552-ML-32
Χωρητικότητα	Ah	64	32
Ενέργεια	KWh	17,6	
Μέγιστο ρεύμα αποφόρτισης	V	224	112
Αριθμός κελιών		214	
Διαστάσεις	mm	760 x 556 x 315	
Βάρος	Kgr	204	
Βάρος περιφερειακών	Kgr	8	
Πυκνότητα ενέργειας	Wh/Kgr	81,5	
Ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας	Wh/lit	131	
Ενέργεια 2 ώρες αποφόρτισης	KWh	15,9	
Πυκνότητα ισχύος	W/Kgr	144	
Ογκομετρική πυκνότητα ισχύος	W/lit	231	
Μέγιστη ισχύς (80% DOD, 335° C)	KW	32	
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	°C	-40 ως +70	
Θερμικές απώλειες (270° C εσωτ. θερμοκρ.)	W	<135	
Ψύξη		Αέρας	
Χρόνος φόρτισης	h	24	

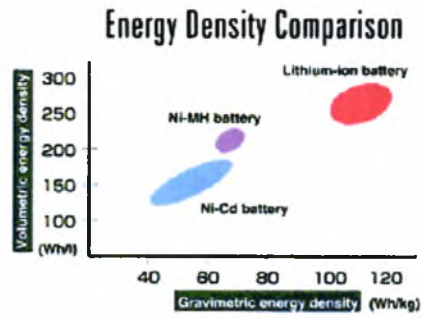
Πίνακας 5.2.5 κατασκευαστικά δεδομένα συσσωρευτών ZEBRA. [22]

Στον ακόλουθο Πίνακα (5.2.6) παρουσιάζονται οι τιμές των τάσεων του κάθε κελιού, για διάφορους τύπους συσσωρευτών. Οι μπαταρίες αποτελούνται από πολλά κελιά συνδεδεμένα μεταξύ τους, ώστε να δώσουν την απαιτούμενη τιμή της ονομαστικής τάσης (οι κοινές μπαταρίες των οχημάτων, όπου απαιτείται ονομαστική τάση 12 V, αποτελούνται από 6 κελιά, για τις μολύβδου-οξέως)

Τύπος συσσωρευτή	Τάση κελιού
Lead-acid	2.1 volts
Nickel-cadmium	1.3 volts
Nickel-metal hydride	1.3 volts
Nickel-iron	1.4 volts
Nickel-zinc	1.7 volts
Lithium-ion	3 to 4 volts

Πίνακας 5.2.6 Τάση κελιών των διαδεδομένων τύπων συσσωρευτών.

Οι συσσωρευτές λιθίου έχουν πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα μάζας και ανά μονάδα όγκου, κάτι που φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.35), για κοινούς συσσωρευτές του εμπορίου. [25]

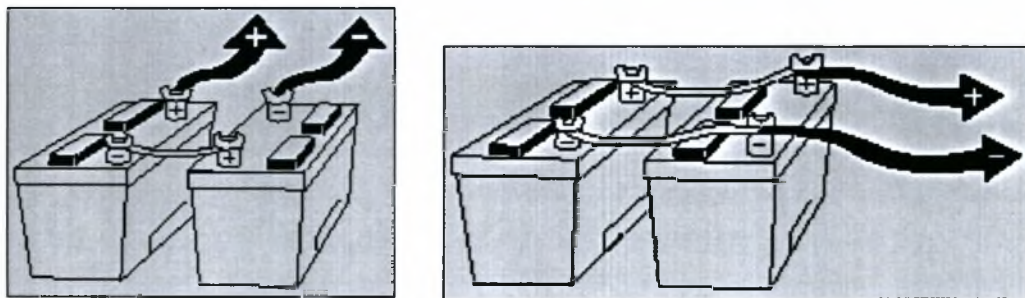


Σχήμα 5.2.35 Σύγκριση ογκομετρικής πυκνότητας ενέργειας για διάφορους τύπους.

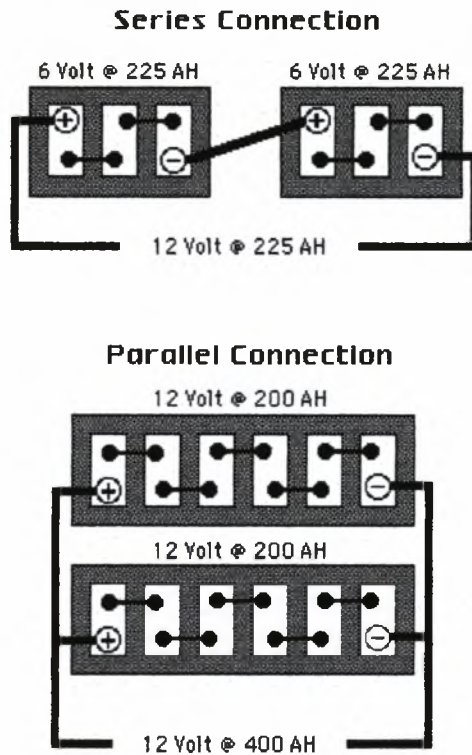
5.2.13 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Πέρα από τη σύνδεση των κελιών, η οποία γίνεται με σκοπό την παροχή τάσης ίση με την επιθυμητή, μπορούν να συνδθούν και ολόκληρες μπαταρίες μεταξύ τους, ώστε στην έξοδο να επιτευχθούν επίσης επιθυμητές τιμές τάσης.

Στο ακόλουθο Σχήμα (5.2.36) παρουσιάζονται τα δύο είδη συνδεσμολογίας (σε σειρά και παράλληλα), με τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν στην έξοδο.



Σχήμα 5.2.36 Σύνδεση σε σειρά και παράλληλα. [25]



Σχήμα 5.2.37 Σύνδεση σε σειρά και παράλληλα. [26]

Η σύνδεση σε σειρά έχει ως αποτέλεσμα το χαρακτηριστικό reserve capacity να παραμείνει σταθερό, ενώ η παράλληλη σύνδεση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της reserve capacity.

5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ AC ΚΑΙ DC ΜΗΧΑΝΩΝ

5.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ DC ΜΗΧΑΝΩΝ

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος είναι γενικότερα ευκολότερο να ελεγχθούν, όσον αφορά την ταχύτητά τους. Πράγματι, η ευαισθησία των DC μηχανών στη ρύθμιση της λειτουργίας τους σε διάφορα εύρη και με πολλές μεθόδους είναι από τους βασικότερους λόγους της ανταγωνιστικότητας των μηχανών αυτών σε βιομηχανικό περιβάλλον.

Οι τρεις βασικότερες μέθοδοι ελέγχου της ταχύτητας είναι οι ακόλουθοι:

5.3.1.1 Έλεγχος του ρεύματος πεδίου

Αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο για τους shunt-motors. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και σε compound κινητήρες. Η ρύθμιση του ρεύματος πεδίου και κατά συνέπεια της ροής, και της ταχύτητας με ρύθμιση της αντίστασης του κυκλώματος του shunt-πεδίου ή με ένα solid-state-control επιτυγχάνεται άνετα, ανέξοδα και χωρίς πολλές αλλαγές στις απώλειες του κινητήρα.

Η χαμηλότερη ταχύτητα που μπορεί να αποκτηθεί είναι αυτή που αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα πεδίου. Η μέγιστη ταχύτητα περιορίζεται ηλεκτρικά με αντίδραση οπλισμού, παράγοντας αστάθεια στον κινητήρα ή χαμηλή μεταγωγή. Προσθήκη σταθεροποιητικού τυλίγματος αυξάνει το εύρος των ταχυτήτων που μπορούν να επιτευχθούν, ενώ ακόμα περισσότερο αυξάνει το εύρος των ταχυτήτων ένα εξισορροπητικό τύλιγμα. Ένα εξισορροπητικό τύλιγμα επίσης εξασφαλίζει μια φθίνουσα καμπύλη ταχύτητας-φορτίου ακόμα και σε χαμηλές τιμές ρεύματος πεδίου και μεγάλα φορτία.

Θεωρώντας ότι η τάση στους ακροδέκτες του οπλισμού παραμένει σταθερή, το ρεύμα I_a του οπλισμού παραμένει σταθερό και η τάση speed-voltage E_a επίσης σταθερή. Το γινόμενο $E_a I_a$ (ως έξοδος του κινητήρα) παραμένει επίσης σταθερό στο εύρος λειτουργίας των ταχυτήτων. Ο έλεγχος ταχύτητας του DC κινητήρα με ρεοστάτη shunt πεδίου ονομάζεται *σταθερής ισχύος*. Η ροπή, όμως, δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα με τη ροή, άρα η μέγιστη τιμή της βρίσκεται στη χαμηλότερη ταχύτητα. Έτσι, ο έλεγχος του ρεύματος πεδίου χρησιμοποιείται όταν απαιτείται αυξημένη ροπή σε χαμηλή ταχύτητα. Όταν ένας τέτοιου είδους κινητήρας χρησιμοποιείται για φορτίο που απαιτεί σταθερή ροπή στο εύρος των ταχυτήτων, η διαστασιολόγηση του κινητήρα γίνεται με βάση το γινόμενο της ροπής και της μέγιστης ταχύτητας.

5.3.1.2 Έλεγχος της αντίστασης του κυκλώματος του οπλισμού

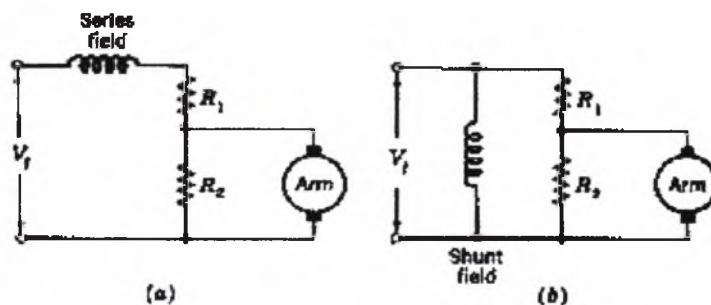
Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνονται χαμηλότερες ταχύτητες, αφού εισάγονται εξωτερικές αντιστάσεις σε σειρά στο κύκλωμα του οπλισμού. Μπορεί να εφαρμοστεί σε series, shunt και compound κινητήρες. Για τις δυο τελευταίες περιπτώσεις, η αντίσταση πρέπει να τοποθετηθεί ανάμεσα στο πεδίο και τον οπλισμό και όχι ανάμεσα στην παροχή και τον κινητήρα.

Η απώλεια ισχύος στην εξωτερική αντίσταση είναι αρκετά μεγάλη και αυξάνεται ακόμα περισσότερο όταν όταν η ταχύτητα μειώνεται σημαντικά. Για φορτίο σταθερής ροπής, η ισχύς στην είσοδο του κινητήρα και στην αντίσταση παραμένει σταθερή, ενώ η ισχύς στην έξοδο (στο φορτίο) μειώνεται ανάλογα με την ταχύτητα. Έτσι, το κόστος λειτουργίας προκύπτει σχετικά υψηλό για μεγάλα χρονικά διαστήματα λειτουργίας σε χαμηλές ταχύτητες. Λόγω του χαμηλού αρχικού κόστους, όμως, η μέθοδος αυτή μπορεί να αποδειχθεί αρκετά οικονομική για μικρές περιόδους λειτουργίας σε χαμηλές ταχύτητες.

Η μέθοδος αυτή προσφέρει μια λειτουργία *σταθερής ροπής*, γιατί τόσο η ροή όσο και το ρεύμα του οπλισμού παραμένουν σταθερά με τη μεταβολή της ταχύτητας.

5.3.1.3 Έλεγχος του shunt οπλισμού

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε έναν series κινητήρα είτε σε έναν shunt κινητήρα, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.1).



Σχήμα 5.3. 1 Έλεγχος του shunt οπλισμού. [8]

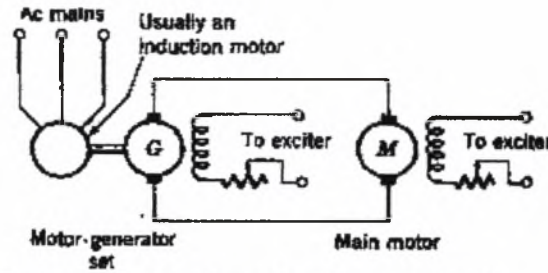
Αντιστάσεις R_1 και R_2 χρησιμοποιούνται για να διαιρούν το ρεύμα και τελικά να εφαρμόζεται ένα μειωμένο ρεύμα στον οπλισμό. Μεγαλύτερη ευελιξία μπορεί να αποκτηθεί τώρα, καθώς οι δυο αντιστάσεις μπορούν να ρυθμιστούν αυθαίρετα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση. Για έναν series κινητήρα, η ταχύτητα no-load μπορεί πλέον να αποκτήσει μια λογική-πεπερασμένη τιμή, ώστε να επιτευχθούν χαμηλές ταχύτητες με μεγάλα φορτία. Στους shunt κινητήρες, η ρύθμιση της ταχύτητας στο εύρος των χαμηλών ταχυτήτων βελτιώνεται, καθώς η no-load ταχύτητα είναι χαμηλότερη από ότι η no-load ταχύτητα χωρίς αντιστάσεις ελέγχου.

5.3.1.4 Έλεγχος της τάσης στους ακροδέκτες του οπλισμού

Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί το γεγονός ότι μια μεταβολή της τάσης στους ακροδέκτες του οπλισμού ενός shunt κινητήρα ακολουθείται, στη σταθερή κατάσταση, από μια ουσιαστικά ίδια μεταβολή στο speed voltage, και με σταθερή ροή στον κινητήρα, ακολουθείται από μια ανάλογη μεταβολή στην ταχύτητα του κινητήρα.

Συνήθως, η διαθέσιμη ισχύς είναι σταθερής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος, με αποτέλεσμα βοηθητικές συσκευές όπως ανορθωτής ή σετ κινητήρα-γεννήτριας να είναι απαραίτητες για τον έλεγχο της τάσης του οπλισμού. Η ανάπτυξη solid-state-rectifiers έχει ανοίξει το δρόμο στον ακριβή έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα.

Ένα κλασσικό σχήμα, το οποίο ονομάζεται Ward Leonard system και παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.2) , απαιτεί ένα σετ κινητήρα-γεννήτριας ώστε να παρέχει ισχύ στον οπλισμό του κινητήρα, του οποίου η ταχύτητα επιθυμείται να ελεγχθεί.

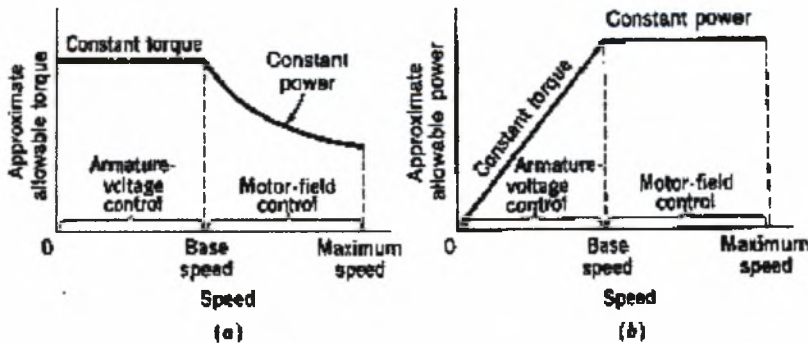


Σχήμα 5.3. 2 Σχήμα Ward-Leonard. [8]

Έλεγχος της τάσης του οπλισμού του κυρίως κινητήρα Μ επιτυγχάνεται με ρύθμιση του ρεοστάτη του πεδίου σε μια separately-excited γεννήτρια G, επιτρέποντας αυστηρό έλεγχο της ταχύτητας σε αρκετά μεγάλο εύρος. Βασικό μειονέκτημα είναι η εγκατάσταση τριών μηχανημάτων.

Συχνά, ο έλεγχος της τάσης της γεννήτριας συνδυάζεται με έλεγχο του πεδίου του κινητήρα, όπως φαίνεται από το ρεοστάτη στο πεδίο του κινητήρα Μ του σχήματος. Σκοπός ο έλεγχος σε μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων. Με τέτοιο διπλό έλεγχο, η βασική ταχύτητα (base speed) μπορεί να ορισθεί ως η κανονική-τάση-οπλισμού πλήρης ταχύτητα του πεδίου του κινητήρα. Ταχύτητες μεγαλύτερες της βασικής ταχύτητας μπορούν να επιτευχθούν με έλεγχο του πεδίου του κινητήρα. Ταχύτητες χαμηλότερες της βασικής με έλεγχο της τάσης του οπλισμού. Όπως ήδη ειπώθηκε στον έλεγχο του ρεύματος του πεδίου, το εύρος επάνω από τη βασική ταχύτητα αντιστοιχεί σε συνθήκες *σταθερής ισχύος*. Το εύρος κάτω από τη βασική ταχύτητα αντιστοιχεί σε *σταθερή ροπή*, γιατί, όπως στον έλεγχο της αντίστασης του οπλισμού, η ροή και το επιτρεπόμενο ρεύμα του οπλισμού παραμένουν σχεδόν σταθερά.

Οι ολικοί περιορισμοί στην έξοδο παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.3) , για κατά προσέγγιση επιτρεπόμενη ισχύ.



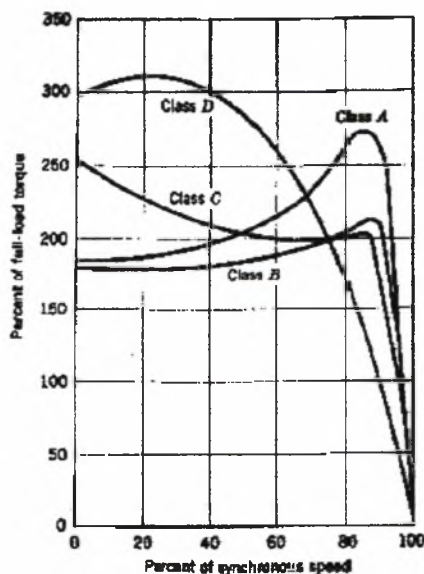
Σχήμα 5.3. 3 Έλεγχος της τάσης. [8]

Ο καθορισμός της ταχύτητας και οι περιορισμοί στο εύρος της ταχύτητας έχουν ήδη παρουσιαστεί στον έλεγχο του ρεύματος πεδίου. Η μέγιστη ταχύτητα δεν υπερβαίνει το τετραπλάσιο της βασικής ταχύτητας και ειδικά δεν υπερβαίνει το διπλάσιό της. Στην περιοχή του ελέγχου της τάσης του οπλισμού, ως βασικός περιορισμός εμφανίζεται ο υπολοιπόμενος μαγνητισμός στη γεννήτρια. Στις συνήθεις μηχανές, το χαμηλότερο όριο για αξιόπιστη και σταθερή λειτουργία είναι το 1/10 της βασικής ταχύτητας υπό την προϋπόθεση ότι η αναλογία μεταξύ μεγίστου και ελαχίστου δεν υπερβαίνει το 40/1. Αγνοώντας την αντίδραση του οπλισμού, η πώση της πίεσης από no-load σε full-load ροπή προκαλείται από την full-load πώση της τάσης στην αντίσταση του οπλισμού, στη DC γεννήτρια και κινητήρα. Αυτή η πώση είναι σταθερή στο εύρος του ελέγχου της τάσης, αφού η full-load ροπή άρα και το full-load ρεύμα θεωρούνται συνήθως σταθερά σε αυτό το εύρος. Όταν πρόκειται για μετρήσεις σε rpm, η μείωση της ταχύτητας από το no-load στο full-load της ροπής είναι σταθερή, ανεξάρτητα της no-load ταχύτητας. Οι καμπύλες ροπής-ταχύτητας προσεγγίζονται αρκετά ικανοποιητικά από μια σειρά παράλληλων ευθειών γραμμών για τις διαφορετικές τιμές των ρυθμίσεων του πεδίου της γεννήτριας.

5.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ AC ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Η υψηλή απόδοση απαιτεί χαμηλή αντίσταση ρότορα, η οποία, όμως, με τη σειρά της δίνει χαμηλή ροπή εκκίνησης.

Ανάλογα με τις ιδιότητες που θέλουμε να προσδώσουμε στον κινητήρα, διακρίνουμε τις κατηγορίες A,B,C και D. Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.4) απεικονίζει τα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας, σχετικά με τις καμπύλες ροπής σε σχέση με τη σύγχρονη ταχύτητα.

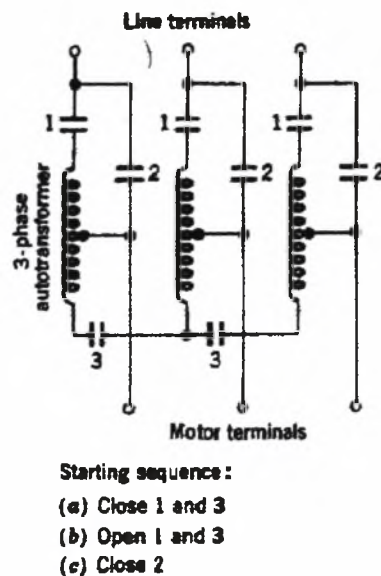


Σχήμα 5.3. 4 Κατηγορίες επαγωγικών μηχανών. [8]

Τα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας συνοψίζονται παρακάτω.

Class A: κανονική ροπή εκκίνησης, κανονικό ρεύμα εκκίνησης, χαμηλή ολίσθηση.

Ο σχεδιασμός αυτός δίδει χαμηλή αντίσταση για single-cage-rotor κινητήρα. Η ολίσθηση πλήρους φορτίου είναι χαμηλή και η απόδοση σε πλήρες φορτίο υψηλή. Η μέγιστη ροπή συνήθως βρίσκεται 200% επάνω από τη ροπή πλήρους φορτίου και συμβαίνει σε ολισθήσεις μικρότερες του 20%. Η ροπή εκκίνησης με πλήρη τάση ποικίλλει από 200% της ροπής σε πλήρες φορτίο (για τους μικρούς κινητήρες) μέχρι 100% (σε μεγάλους). Το υψηλό ρεύμα εκκίνησης (500-800% του ρεύματος σε πλήρες φορτίο) είναι το βασικό μειονέκτημα. Σε κινητήρες μικρότερους των 5,5 KW το ρεύμα βρίσκεται εντός φυσιολογικών τιμών. Για την αποφυγή υψηλών ρευμάτων, μπορεί να μειωθεί η τάση της εκκίνησης η οποία, όμως, θα μειώσει και τη ροπή που θα υποκατασταθεί με τη σειρά της όταν ο κινητήρας φτάσει σε σταθερές συνθήκες. Η μειωμένη τάση προκαλείται από μηχανισμό που λέγεται starting compensator, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.5).



Σχήμα 5.3. 5 Starting compensator. [8]

Class B: κανονική ροπή εκκίνησης, χαμηλό ρεύμα εκκίνησης, χαμηλή ολίσθηση.

Ο σχεδιασμός έχει την ίδια ροπή με την Class A αλλά το 75% του ρεύματός της. Η ολίσθηση σε πλήρες φορτίο είναι καλή, όπως και η απόδοση (περίπου ίδια με της A).

Class C: υψηλή ροπή εκκίνησης, χαμηλό ρεύμα εκκίνησης.

Γίνεται χρήση double-cage-rotor με υψηλότερη αντίσταση από το B. Δίδει υψηλή ροπή εκκίνησης, χαμηλό ρεύμα αλλά χαμηλή απόδοση και υψηλή ολίσθηση.

Class D: υψηλή ροπή εκκίνησης, υψηλή ολίσθηση.

Σχεδιασμός με single-cage-rotor υψηλής αντίστασης. Δίδει πολύ υψηλή ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης, υψηλή μέγιστη ροπή στο 50-100 της ολίσθησης, αλλά δίδει υψηλή ολίσθηση στο πλήρες φορτίο (7-11%) και συνεπώς χαμηλή απόδοση.

Η σύγχρονη ταχύτητα μιας επαγωγικής μηχανής μπορεί να μεταβληθεί είτε:

- με αλλαγή του αριθμού των πόλων
- με αλλαγή της συχνότητας

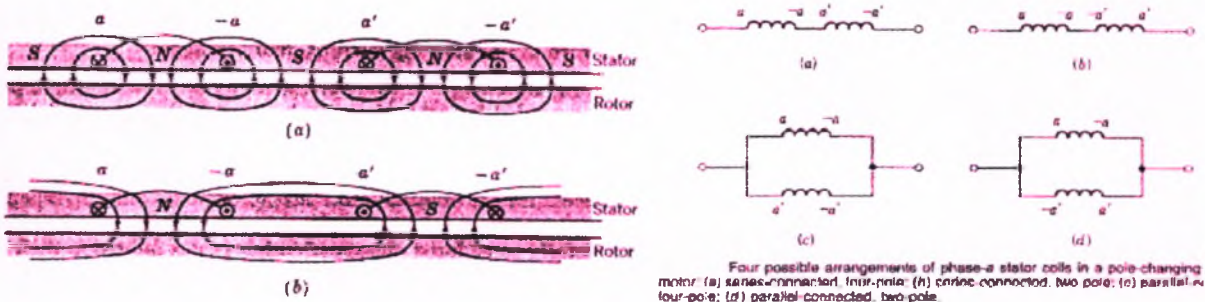
η ολίσθηση μπορεί να μεταβληθεί είτε:

- με αλλαγή της τάσης
- με αλλαγή της αντίστασης του ρότορα
- με εφαρμογή τάσεων κατάλληλης συχνότητας στο κύκλωμα του ρότορα.

5.3.2.1 Έλεγχος με αλλαγή πόλων

Το τύλιγμα του στάτη μπορεί να σχεδιαστεί ώστε με αλλαγή στη σύνδεση των πηνίων ο αριθμός των πόλων να αλλάξει με αναλογία 2:1. Ο ρότορας πρέπει να είναι σχεδόν πάντα squirrel-cage. Το τύλιγμα του ρότορα αντιδρά παράγοντας πεδίο ρότορα με τον ίδιο αριθμό πόλων όπως το πεδίο του στάτη. Εάν ένας wound-rotor χρησιμοποιείται, πρέπει να γίνουν πιο πολύπλοκοι χειρισμοί. Με δυο ανεξάρτητα σεις τυλιγμάτων του στάτη, μπορούν να παραχθούν 4 διαφορετικές ταχύτητες, π.χ. 600,900,1200 και 1800 rpm για συχνότητα $f=60$ Hz.

Οι βασικές αρχές φαίνονται στο Σχήμα (5.3.6).



Σχήμα 5.3. 6 Έλεγχος με αλλαγή πόλων. [8]

Τα aa και aa' είναι πηνία που αποτελούν την a φάση του τυλιγματος του στάτη. Πραγματικό τύλιγμα αποτελείται από περισσότερα πηνία.

5.3.2.2 Έλεγχος με αλλαγή της συχνότητας

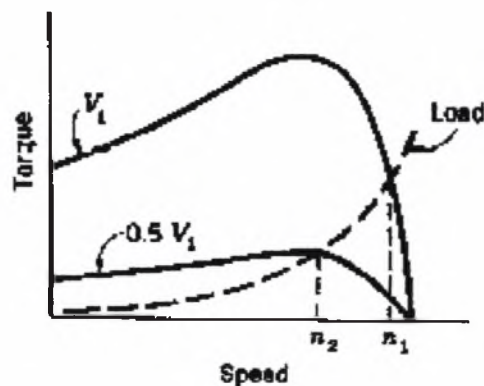
Η σύγχρονη ταχύτητα ελέγχεται μεταβάλλοντας τη συχνότητα της παροχής. Για τη διατήρηση σχεδόν σταθερής πυκνότητας ροής, η τάση της παροχής θα έπρεπε να

μεταβληθεί ευθέως μαζί με τη συχνότητα. Η μέγιστη ροπή μένει τότε σταθερή. Η επαγωγική αυτή μηχανή έχει τότε χαρακτηριστικά όμοια με μια *separately-excited-dc* μηχανή με σταθερή ροή και μεταβαλλόμενη τάση οπλισμού.

Πρέπει να προσδιοριστεί ο πιο αποτελεσματικός και οικονομικός τρόπος για τη μεταβολή της συχνότητας. Μια μέθοδος είναι η χρήση μιας *wound-rotor* επαγωγικής μηχανής ως μεταβολέας συχνότητας. Άλλος τρόπος είναι η χρήση *solid-state-frequency-converters*.

5.3.2.3 Έλεγχος με αλλαγή της τάσης

Η εσωτερική ροπή που παράγεται σε μια επαγωγική μηχανή είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης που εφαρμόζεται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα (5.3.7).



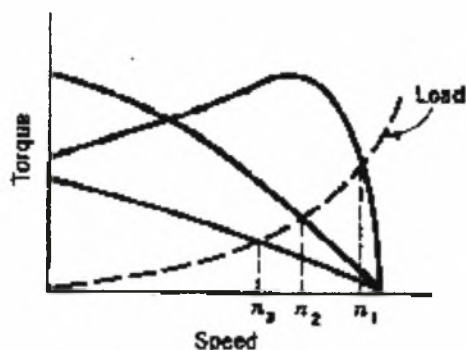
Σχήμα 5.3. 7 Έλεγχος με αλλαγή της τάσης. [8]

Εάν το φορτίο έχει τη γραμμή λειτουργίας του Σχήματος (5.3.7), η ταχύτητα θα μειωθεί από n_1 σε n_2 .

5.3.2.4 Έλεγχος με αλλαγή της αντίστασης του ρότορα

Ο τρόπος αυτός έχει ήδη παρουσιαστεί για τους *wound-rotor* κινητήρες. Η γραμμή λειτουργίας του φορτίου δείχνει την ταχύτητα που επιτυγχάνεται κάθε φορά. Η μέθοδος αυτή μοιάζει με έλεγχο που εφαρμόζεται σε έναν *dc-shunt* κινητήρα, με αντιστάσεις σε σειρά με τον οπλισμό.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.8) απεικονίζει τον τρόπο λειτουργίας του ελέγχου με αλλαγή της αντίστασης του ρότορα.



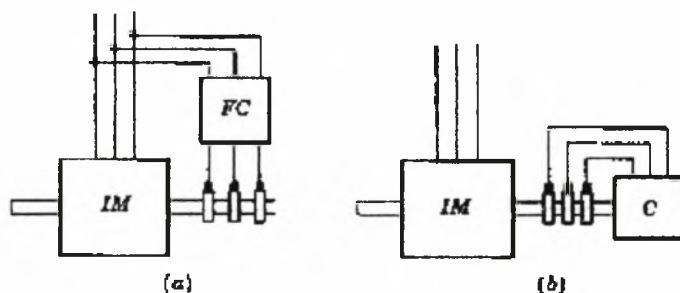
Σχήμα 5.3. 8 Έλεγχος με αλλαγή της αντίστασης του ρότορα. [8]

5.3.2.5 Έλεγχος της ολίσθησης με βοηθητικές συσκευές

Για τον έλεγχο της ολίσθησης, απαραίτητα πρέπει να γνωρίζουμε τους βασικούς νόμους που συνδέουν τη ροή της ισχύος στις επαγωγικές μηχανές. το ποσοστό s της ισχύος που απορροφάται από το στάτη μετασχηματίζεται με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή σε ηλεκτρική ισχύ στα κυκλώματα του ρότορα. Αν τα κυκλώματα του ρότορα βραχυκυκλωθούν, η ισχύς αυτή χάνεται σε I^2R απώλειες και η λειτουργία σε χαμηλότερες ταχύτητες είναι αναποτελεσματική.

Αρκετές λύσεις έχουν προταθεί για την κάλυψη αυτής της ηλεκτρικής ισχύος λόγω συχνότητας ολίσθησης. Όλες επικεντρώνονται στο να παρέχουν μεταβαλλόμενες τάσεις συχνότητας ολίσθησης στα κυκλώματα του ρότορα ενός wound-rotor κινητήρα.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.9) απεικονίζει τις συσκευές αυτές, όπου IM είναι ο κινητήρας του οποίου την ταχύτητα επιθυμούμε να ελέγξουμε.



Σχήμα 5.3. 9 Έλεγχος με βοηθητικές συσκευές. [8]

5.3.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

5.3.3.1 Solid state AC-drives inverters

Η μεταβλητή συχνότητα ισχύος μπορεί να παραχθεί με ένα κύκλωμα από thyristors που ονομάζεται inverter. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ενέργειας από μια dc πηγή σε ένα ac φορτίο τυχαίας συχνότητας και φάσης.

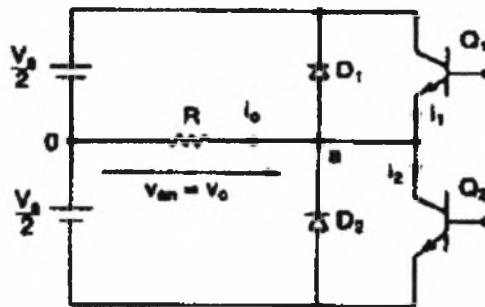
Χρησιμοποιούνται σε ac εφαρμογές ώστε να παράσχουν ισχύ μεταβλητής συχνότητας στους ac κινητήρες και για να ανατροφοδοτήσουν ισχύ από το κύκλωμα του ρότορα πίσω στην ac πηγή στους wound-rotor επαγωγικούς κινητήρες.

Ένα τυπικό σύστημα αποτελείται από έναν ανορθωτή ώστε να μετατρέψει την ισχύ από ac σε dc, από inverter ώστε να παράγει τη ρυθμιζόμενη συχνότητα του ρεύματος από το dc και σύστημα ελέγχου ώστε να θέσει τη συχνότητα, να ορίσει την τάση του κινητήρα και να βεβαιώσει ότι η μέγιστη ισχύς δε θα ξεπεραστεί.

Τα inverter είναι συνήθως τριφασικά και μονοφασικά. Κάθε τύπος μπορεί να διαχωριστεί στις κατηγορίες α) pulse width modulation (PWM) inverter β) resonant inverter γ) auxiliary commutated inverter και δ) complementary commutated inverter. Εάν η τάση εισόδου παραμένει σταθερή το inverter ονομάζεται voltage-fed inverter (VFI), εάν το ρεύμα εισόδου παραμένει σταθερό ονομάζεται current-fed inverter (CFI) ενώ εάν η τάση εισόδου ελέγχεται ονομάζεται variable dc linked inverter.

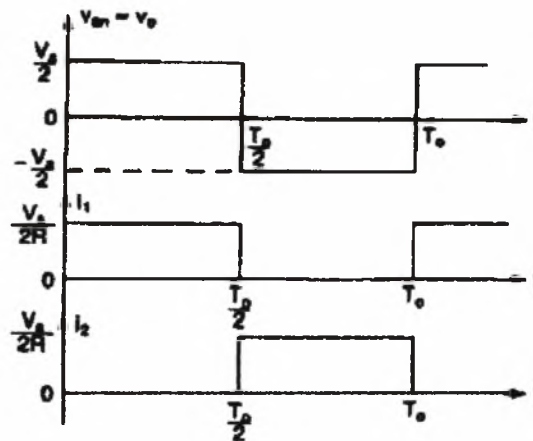
Τα inverters αποτελούνται από thyristors, τα οποία ανοιγοκλείνουν με κατάλληλο τρόπο ώστε να συνθέσουν στους ακροδέκτες του inverter ένα σετ από τριφασικές τάσεις που εφαρμόζονται στον κινητήρα. Η τάση στην έξοδο του inverter στην ιδεατή περίπτωση θα έπρεπε να είναι ημιτονοειδής. Παρόλα αυτά, η κυματομορφή στις πρακτικές εφαρμογές δεν είναι ημιτονική, για το λόγο αυτό σε εφαρμογές χαμηλής και μέσης ισχύος τετραγωνικές ή σχεδόν τετραγωνικές κυματομορφές μπορεί να είναι αποδεκτές. Σε εφαρμογές υψηλής ισχύος, μπορεί να επιτευχθούν ημιτονικές καμπύλες με μικρή παραμόρφωση.

Η αρχή λειτουργίας ενός μονοφασικού inverter μπορεί να περιγραφεί με βάση το ακόλουθο Σχήμα (5.3.10).



Σχήμα 5.3. 10 Μονοφασικό inverter.

Όταν μόνο το transistor Q_1 είναι ανοιχτό για χρόνο $T_p/2$ η στιγμιαία τάση U_o στο φορτίο είναι $V_s/2$. Εάν μόνον το transistor Q_2 είναι ανοιχτό για το χρόνο $T_p/2$ τότε εμφανίζεται η τάση $-V_s/2$ στο φορτίο. Το κύκλωμα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε τα Q_1 και Q_2 να μην είναι ανοικτά την ίδια στιγμή. Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.11) δείχνει τη μορφή της τάσης και το ρεύμα των transistors με φορτίο αντίστασης. Το inverter αυτό απαιτεί dc τάση τριών εισόδων.

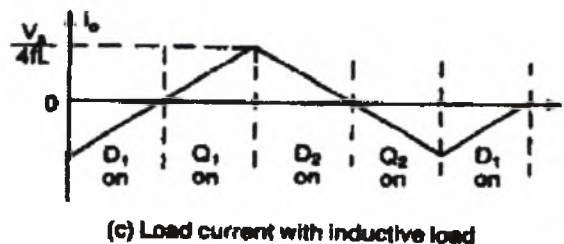


Σχήμα 5.3. 11 Μορφή της τάσης σε μονοφασικό inverter

Η rms τάση στην έξοδο δίνεται από την Εξίσωση (5.3.1):

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \cdot \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} \cdot dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \quad (5.3.1)$$

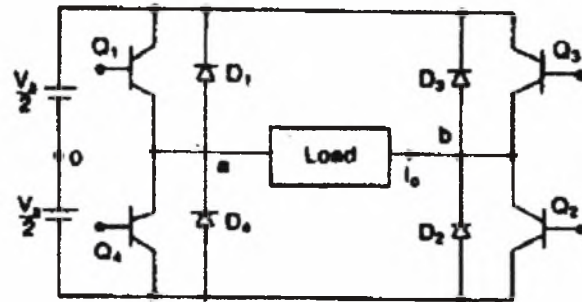
Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.12) απεικονίζει το ρεύμα με επαγωγικό φορτίο.



Σχήμα 5.3.12 Ρεύμα με επαγωγικό φορτίο

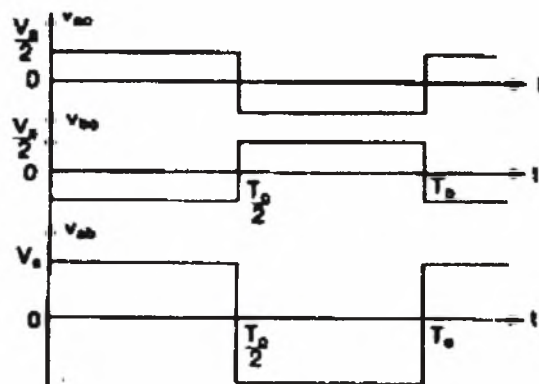
5.3.3.1.1 Μονοφασικό bridge-inverter

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.13) απεικονίζει ένα μονοφασικό bridge-inverter.



Σχήμα 5.3. 13 Μονοφασικό bridge inverter

Όταν τα transistors Q_1 και Q_2 είναι ανοικτά ταυτόχρονα, η τάση εισόδου V_s εμφανίζεται στο φορτίο. Όταν τα transistors Q_3 και Q_4 είναι ανοικτά την ίδια στιγμή, η τάση στο φορτίο είναι $-V_s$. Η μορφή της τάσης στην έξοδο απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.14).



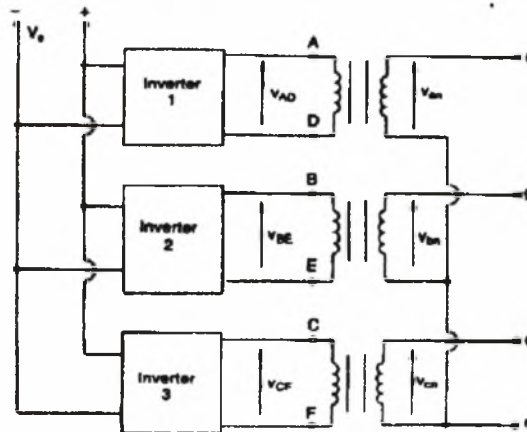
Σχήμα 5.3. 14 Μορφή της τάσης σε μονοφασικό inverter

Η rms τιμή της τάσης στην έξοδο δίνεται από την Εξίσωση (5.3.2):

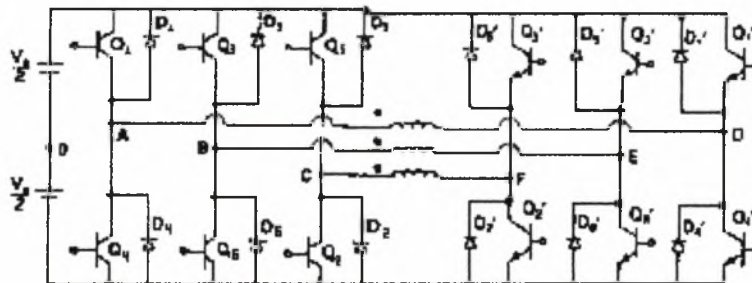
$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \cdot \int_0^{T_o/2} V_s^2 \cdot dt \right)^{1/2} = V_s \quad (5.3.2)$$

5.3.3.1.2 Τριφασικό inverter

Τα τριφασικά inverters χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές υψηλής ισχύος. Half (ή full) bridge inverters συνδέονται στη σειρά ώστε να σχηματίσουν ένα τριφασικό inverter. Το κύκλωμα ενός τριφασικού inverter παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.15).

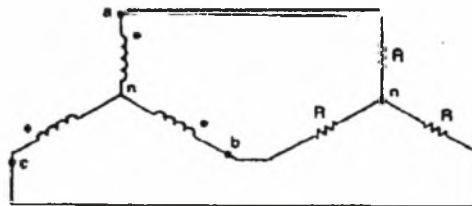


Σχήμα 5.3. 15 Τριφασικό inverter



Σχήμα 5.3. 16 Τριφασικό inverter

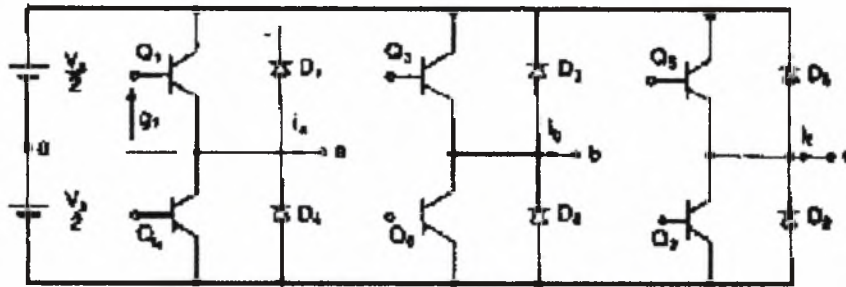
Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.17) απεικονίζει τη σύνδεση των δευτερευόντων πινίων των μετασχηματιστών.



Σχήμα 5.3. 17 Σύνδεση δευτερευόντων πινίων μετασχηματιστών

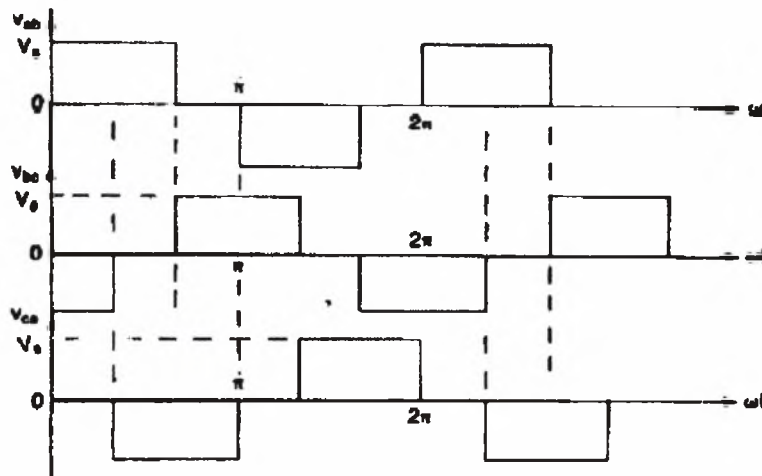
Τα σήματα του μονοφασικού inverter πρέπει να καθυστερήσουν 120° μεταξύ τους ώστε να επιτευχθούν τριφασικές ισορροπημένες τάσεις.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.18) απεικονίζει το κύκλωμα ενός τριφασικού bridge inverter.



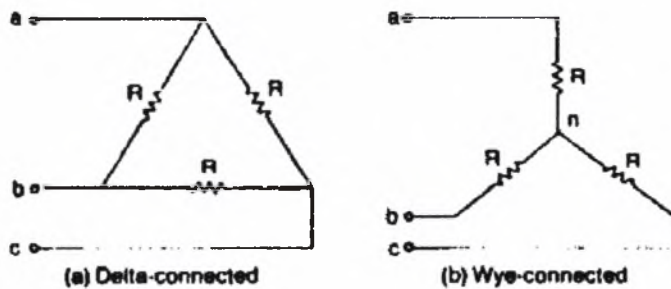
Σχήμα 5.3. 18 Τριφασικό bridge inverter

Το επόμενο Σχήμα (5.3.19) απεικονίζει τις τάσεις στις εξόδους του inverter.



Σχήμα 5.3. 19 Τάσεις εξόδου inverter

Το φορτίο μπορεί να συνδεθεί είτε σε Υ είτε σε Δ, όπως εξάλλου φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα (5.3.20).



Σχήμα 5.3. 20 Σύνδεση φορτίου σε Υ ή Δ

5.3.3.2 Έλεγχος τάσης σε μονοφασικά inverter

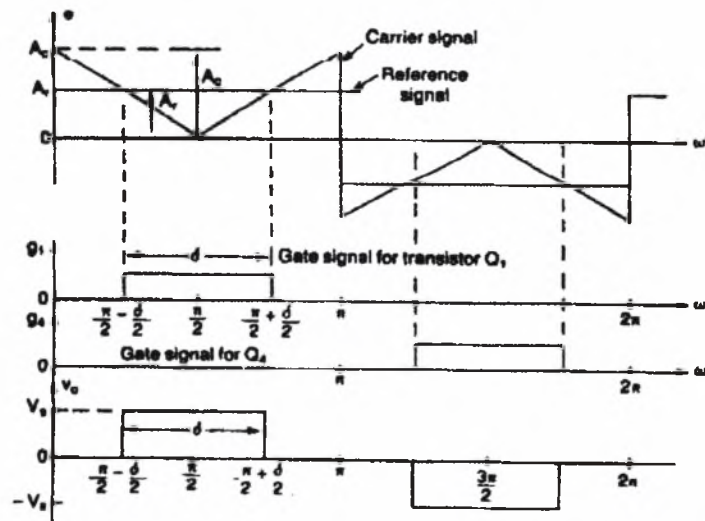
Σε πολλές εφαρμογές απαιτείται ο έλεγχος της τάσης εξόδου του inverter. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

1. single-pulse-width modulation
2. multiple-pulse-width modulation
3. sinusoidal-pulse-width modulation
4. modified sinusoidal-pulse-width modulation

5. phase-displacement control

1. στον *single-pulse-width modulation* έλεγχο υπάρχει μόνο ένας παλμός ανά ήμισυ κύκλο και το πλάτος του παλμού μεταβάλλεται για να ελεγχθεί η τάση εξόδου.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.21) απεικονίζει τη μορφή της τάσης στην έξοδο ενός μονοφασικού full-bridge-inverter.



Σχήμα 5.3. 21 Τάση εξόδου σε μονοφασικό bridge inverter

Τα σήματα πύλης (gating signals) προκύπτουν από τη σύγκριση ενός ορθογωνικού παλμού (reference signal) πλάτους A_r και ενός τριγωνικού παλμού (carrier wave) πλάτους A_c . Μεταβάλλοντας το A_r από 0 έως A_c το εύρος δ του παλμού μεταβάλλεται από 0° σε 180° . Ο λόγος A_r/A_c είναι η μεταβλητή ελέγχου και ονομάζεται *modulation index*.

$$M = \frac{A_r}{A_c} \quad (5.3.3)$$

Η rms τιμή της τάσης εξόδου βρίσκεται από την Εξίσωση (5.3.4):

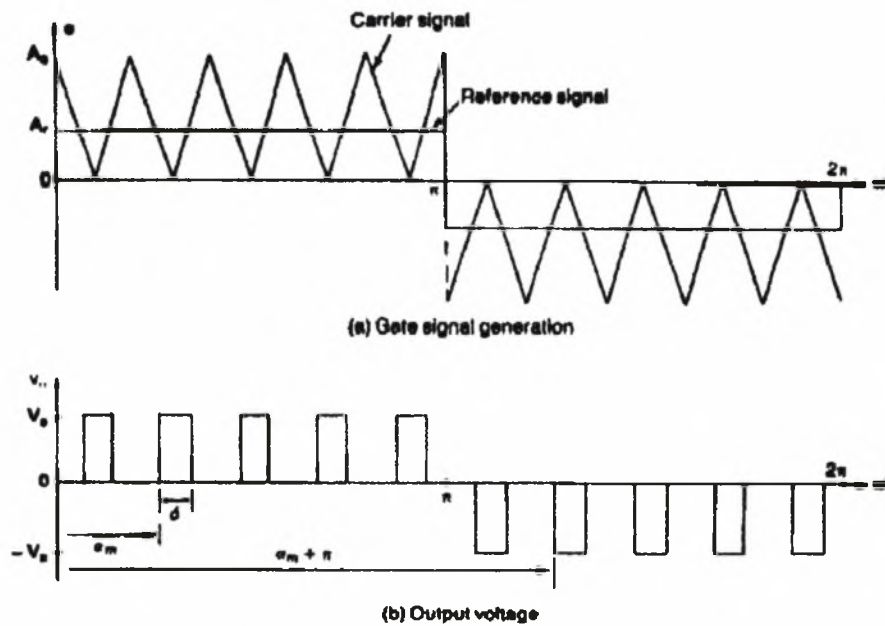
$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \cdot \int_{(\pi-\delta)/2}^{(\pi+\delta)/2} V_s^2 \cdot d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \cdot \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \quad (5.3.4)$$

2. στον *multiple-pulse-width modulation* τα gating signals παράγοντας συγκρίνοντας ένα σήμα αναφοράς (reference signal) με ένα τριγωνικό σήμα (carrier wave). Η συχνότητα του σήματος αναφοράς θέτει τη συχνότητα εξόδου f_o και η συχνότητα του carrier wave καθορίζει τον αριθμό των παλμών ανά ήμισυ κύκλο p . Ο *modulation index* M είναι γνωστός και ως *uniform pulse-width modulation*. Ο αριθμός των παλμών ανά ήμισυ κύκλο βρίσκεται από:

$$N = \frac{f_c}{2f_o} \quad (5.3.5)$$

Η μεταβολή του M από 0 έως 1 μεταβάλλει το εύρος του παλμού από 0 σε π/r και την τάση εξόδου από 0 έως V_s .

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.22) απεικονίζει την τάση εξόδου λαμβάνοντας υπόψιν τα reference και carrier signals, για μονοφασικό bridge inverter.



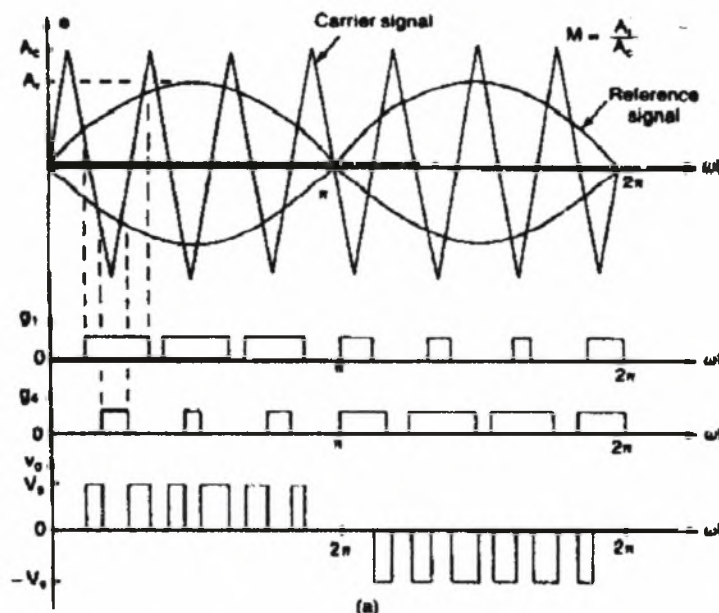
Σχήμα 5.3. 22 Τάση εξόδου σε μονοφασικό bridge inverter

Η rms τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από την Εξίσωση (5.3.6):

$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \cdot \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 \cdot d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \cdot \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \quad (5.3.6)$$

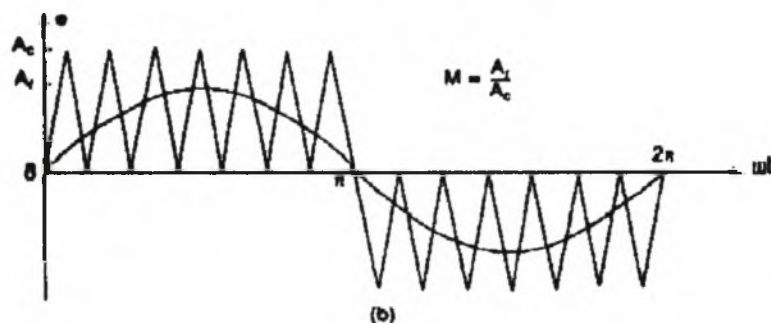
3. Αντί να διατηρείται το εύρος του κάθε παλμού σταθερό, εφαρμόζεται ο *sinusoidal-pulse-width* modulation (SPWM) έλεγχος στον οποίο το εύρος του κάθε παλμού μεταβάλλεται σε αναλογία με το πλάτος ενός ημιτονοειδούς κύματος. Τα gating signals παράγονται από το ημιτονοειδές κύμα και ένα τριγωνικό carrier wave συχνότητας f_c . Η συχνότητα f_r του reference signal καθορίζει τη συχνότητα f_o του σήματος εξόδου και το μέγιστο πλάτος A_r ελέγχει τον *modulation index* M καθώς και την rms τιμή της τάσης εξόδου V_o .

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.23) απεικονίζει την κυματομορφή της τάσης εξόδου, καθώς και τα gating signals.



Σχήμα 5.3. 23 Τάση εξόδου

Η χρήση της ακόλουθης κυματομορφής του carrier wave μπορεί να μας δώσει την ίδια μορφή της τάσης εξόδου.



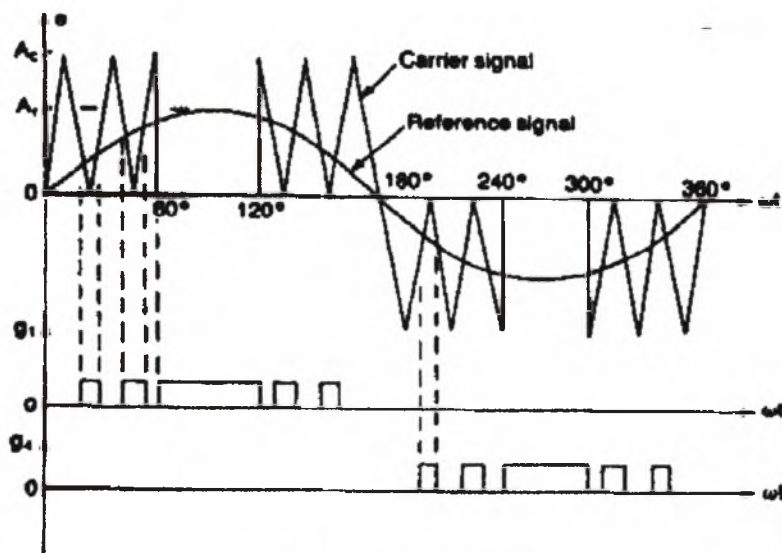
Σχήμα 5.3. 24 Τάση εξόδου

Η rms τιμή της τάσης V_o μπορεί να μεταβληθεί από 0 έως V_s με μεταβολή του M από 0 έως 1, και δίνεται από την Εξίσωση (5.3.7):

$$V_o = V_s \cdot \left(\sum_{m=1}^p \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{1/2} \quad (5.3.7)$$

όπου δ_m είναι το εύρος του m παλμού.

4. από το Σχήμα (5.3.24) μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι το πλάτος των παλμών κοντά στην κορυφή του ημιποσειδούς σήματος δε μεταβάλλεται σημαντικά με το M . Η προηγούμενη τεχνική μπορεί να μετατραπεί και το carrier wave να εφαρμοστεί στα αρχικά και τελικά διαστήματα 60° ανά ήμισυ κύκλο. (π.χ. 0° ως 60° και 120° ως 180°). Ο modified sinusoidal-pulse-width modulation (MSPWM) παρουσιάζεται στο Σχήμα (5.3.25).

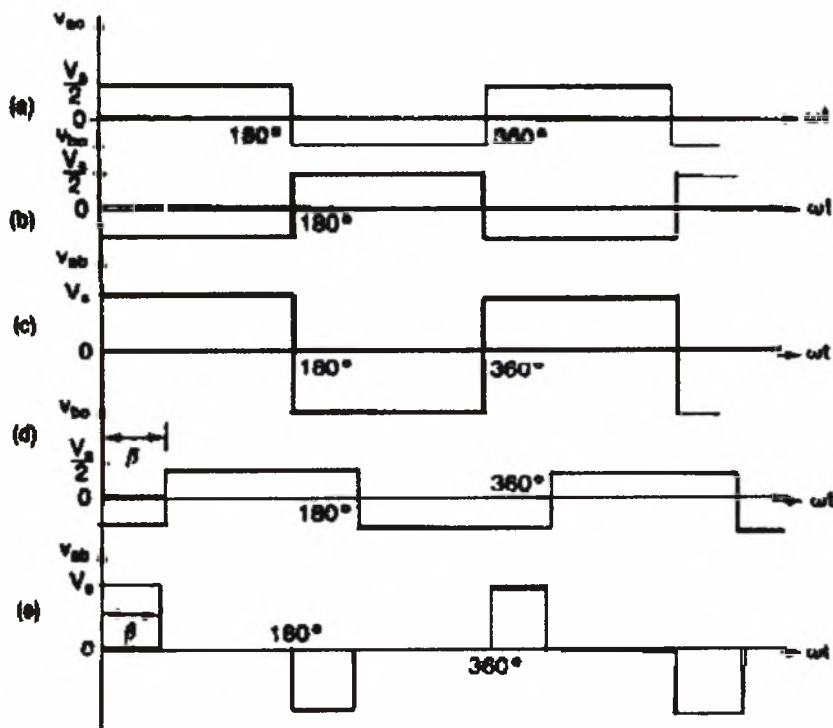


Σχήμα 5.3.25 MSPWM

Ο αριθμός q των παλμών στην περίοδο των 60° δίδεται από την ακόλουθη Εξίσωση:

$$\frac{f_c}{f_o} = 6 \cdot q + 3 \quad (5.3.8)$$

5. ο έλεγχος της τάσης μπορεί να επιτευχθεί προσθέτοντας την τάση εξόδου πολλαπλών inverters. Το μονοφασικό full-bridge inverter μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το άθροισμα δυο half-bridge inverters. Διαφορά φάσης 180° παράγει την τάση εξόδου που παρουσιάζεται στο Σχήμα (5.3.26 c), αν και μια διαφορά φάσης β παρουσιάζει τη μορφή του Σχήματος (5.3.26 e).



Σχήμα 5.3. 26

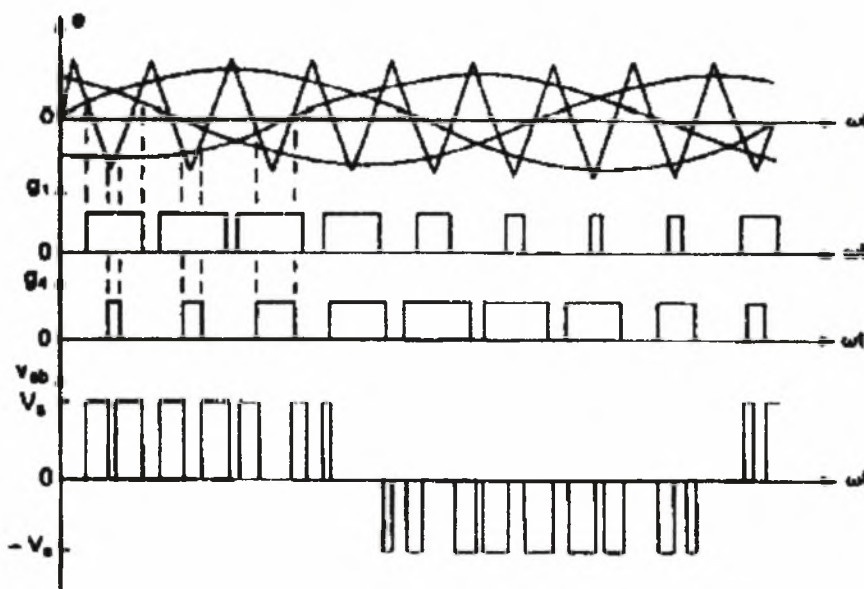
Η rms τάση εξόδου δίνεται από την Εξίσωση (5.3.9):

$$V_o = V_s \cdot \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \quad [5.3.9]$$

5.3.3.2.1 Έλεγχος τάσης σε τριφασικά inverters

Το τριφασικό inverter μπορεί να θεωρηθεί ως 3 μονοφασικά inverters με την έξοδο καθενός από αυτά μετατοπισμένη κατά 120° . γίνεται χρήση των ίδιων μεθόδων ελέγχου με αυτές των μονοφασικών inverters.

Το Σχήμα (5.3.27) απεικονίζει τα gating signals σε τριφασικό inverter με τρία ημιονοειδή reference waves μετατοπισμένα κατά 120° μεταξύ τους. Επίσης, απεικονίζεται και η τάση εξόδου.



Σχήμα 5.3. 27 Τάση εξόδου

5.3.3.3 Μοντέλα ελέγχου επαγωγικών μηχανών

Μοντέλο σταθερής κατάστασης

Το μοντέλο αυτό βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται σημαντική μεταβολή της ταχύτητας του φορτίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, άρα η ταχύτητα μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Θεωρείται ότι ο επαγωγικός κινητήρας τροφοδοτείται από από PWM voltage source inverter το οποίο παράγει συμμετρικές τριφασικές τάσεις και ρεύματα βασικής συχνότητας σχετική με την επιθυμητή ταχύτητα.

Αγνοώντας την αντίσταση του στάτη και υποθέτοντας συμμετρικές ημιονοειδείς τάσεις U_1 και συχνότητας ω_1 για το στάτη, η ηλεκτρική ροπή του κινητήρα δίνεται από την Εξίσωση (5.3.10).

$$m_M = m_{P_0} \cdot \left(\frac{U_s / \omega_1}{U_{SO} / \omega_0} \right)^2 \cdot \frac{2}{S/S_p + S_p/S} \quad (5.3.10)$$

όπου

$$m_{P_0} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{U_{SO}^2}{\omega_s^2 \cdot L_s} \quad (5.3.11)$$

όπου η κανονικοποιημένη ολίσθηση ισούται με:

$$\frac{S}{S_p} = \frac{(\omega_1 - \omega) \cdot \sigma \cdot L_R}{R_R} = \omega_2 \cdot \sigma \cdot T_R \quad (5.3.12)$$

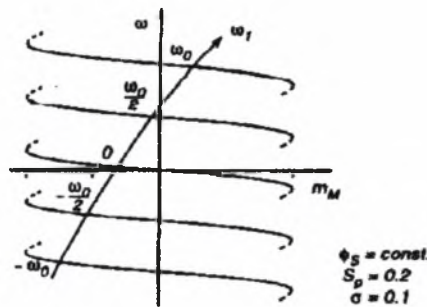
Με μεταβολή της τάσης του στάτη σε αναλογία με τη συχνότητα

$$\frac{U_1}{U_{SO}} = \frac{\omega_1}{\omega_0} \quad (5.3.13)$$

και τη ροή του στάτη σταθερή, προκύπτει η σταθερή ροπή ότι ισούται με:

$$m_M = 2 \cdot m_{P_0} \cdot \frac{\omega_2 \cdot \sigma \cdot T_R}{1 + (\omega_2 \cdot \sigma \cdot T_R)^2} \quad (5.3.14)$$

Οι καμπύλες της ροπής σε σχέση με την ταχύτητα αποκτούνται εμφανώς με μεταφορά της καμπύλης αναφοράς κατά μήκος του άξονα της συχνότητας σύμφωνα με το $\omega = \omega_1 - \omega_2$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα (5.3.28).

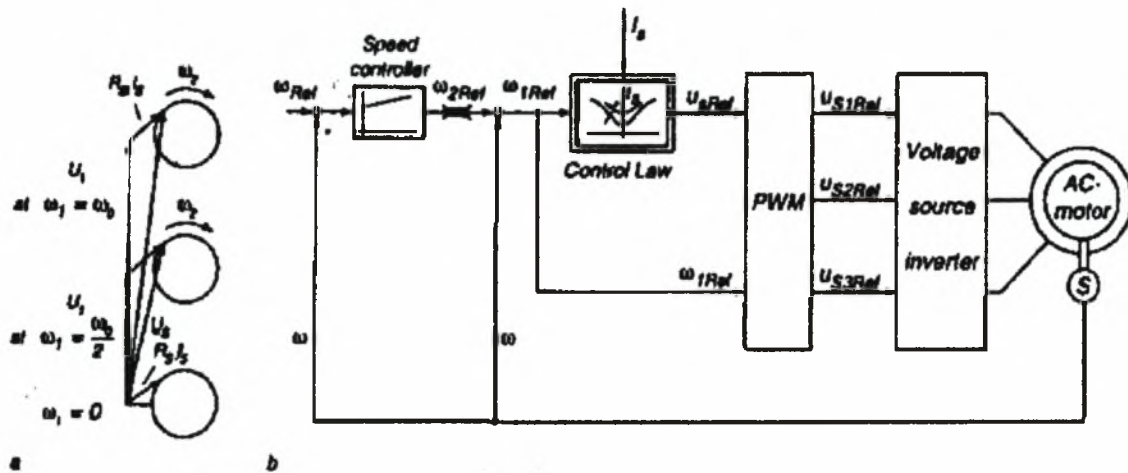


Σχήμα 5.3. 28 Μεταβολή της καμπύλης ροπής

Όταν η ταχύτητα είναι πολύ μικρή, μπορεί να εμφανιστούν μεγάλα λάθη στην τιμή της τάσης του στάτη, οπότε απαιτείται μια διόρθωση στην τιμή της, οπότε η τελική της μορφή είναι η ακόλουθη:

$$U_s = \left| \frac{\omega_1}{\omega_0} + \frac{R_s}{j \cdot \omega_0 \cdot L_s} \cdot \frac{1 + j \cdot \omega_2 \cdot T_R}{1 + j \cdot \omega_2 \cdot \sigma \cdot T_R} \right| \cdot U_{SO} \quad (5.3.15)$$

Στο Σχήμα (5.3.29) γίνεται εμφανές πώς μπορεί η προηγούμενη εξίσωση να ενσωματωθεί σε ένα απλό σχήμα ελέγχου της ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα. Ο ελεγκτής παράγει μια συχνότητα αναφοράς για το ρότορα η οποία λαμβάνεται ώστε να παρουσιαστεί η ροπή. Πρέπει να ελαττωθεί στο σημείο όπου η σχέση μεταξύ ροπής-ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική, ώστε να αποφευχθεί το pull-out του κινητήρα. Προσθέτοντας το σήμα της μετρούμενης ταχύτητας, παράγεται μια αναφορά για τη συχνότητα ω_1 του στάτη.



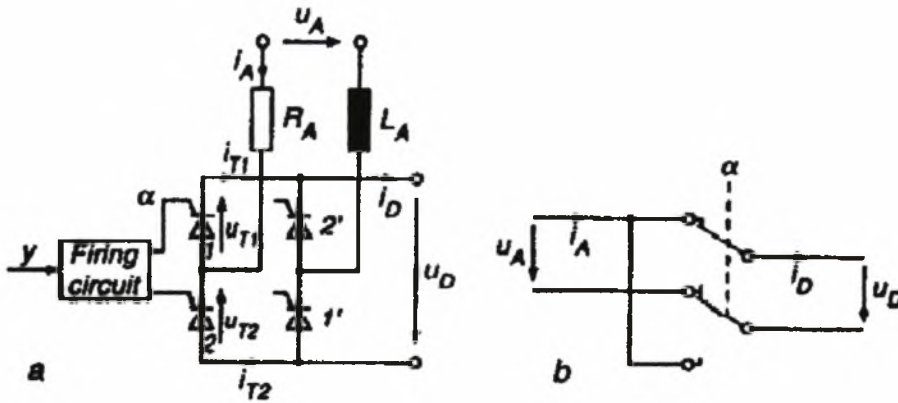
Σχήμα 5.3. 29 Σύστημα ελέγχου

5.3.4 ΤΟ STATIC CONVERTER ΩΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΩΝ DC

Το static converter έχει την ιδιότητα να τροφοδοτεί τη DC μηχανή με συνεχές ρεύμα, μετατρέποντάς το σε συνεχές από την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Χρησιμοποιείται για την παροχή του τυλόγματος του οπλισμού και του πεδίου με ρυθμιζόμενο ρεύμα και τάση σταθερής τιμής.

Το ακόλουθο Σχήμα (5.3.30) απεικονίζει ένα μονοφασικό converter το οποίο αποτελείται από τέσσερα thyristors τα οποία επάγουν κάθε ήμισυ κύκλο της τάσης της παροχής u_A . Η εξίσωση της u_A δίνεται από την Εξίσωση (5.3.16):

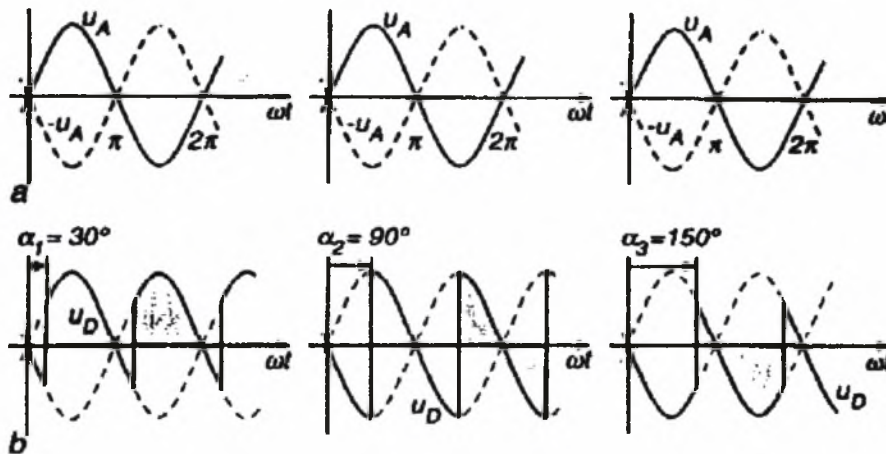
$$u_A = \hat{u}_A \cdot \sin \tau, \tau = \omega \cdot t \quad (5.3.16)$$



Single phase line-commutated converter (a) with equivalent circuit (b)

Σχήμα 5.3. 30 Μονοφασικό converter

Η κυματομορφή της τάσης \$u_D\$ απεικονίζεται στο Σχήμα (5.3.31) , για διαφορετικές τιμές της γωνίας \$\alpha\$, η οποία απεικονίζει τη στιγμή όπου τα διαγώνια ζεύγη των thyristors επάγουν εναλλάξ.



Σχήμα 5.3. 31 Τάση \$u_D\$

Η μέση τάση της DC πλευράς του converter δίδεται από την Εξίσωση (5.3.17):

$$\bar{u}_D = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{u}_A \cdot \cos\alpha = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_A \cdot \cos\alpha = U_{D0} \cdot \cos\alpha \quad (5.3.17)$$

όπου \$U_A\$ είναι η rms τιμή της τάσης της παροχής.

Η ισχύς στην έξοδο δίδεται από την Εξίσωση (5.3.18):

$$P_{DC} = \bar{u}_D \cdot I_D = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_A \cdot I_D \cdot \cos\alpha \quad (5.3.18)$$

Η τιμή I_D θεωρείται σταθερή.

Επειδή η παροχή ρεύματος σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων είναι πάντοτε συσσωρευτές συνεχούς ρεύματος, το static converter δεν αποτελεί πεδίο περαιτέρω μελέτης.

6. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

6.1 ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ

Το κάθε όχημα καλείται να λειτουργήσει σε περιβάλλον με διαφορετικές απαιτήσεις, για το λόγο αυτό τα ακόλουθα κριτήρια διαδραματίζουν σοβαρό ρόλο στην επιλογή του κάθε εξαρτήματος.

- συνολική απόδοση
- κόστος παραγωγής και λειτουργίας
- βάρος και διαστάσεις
- ελεγχσιμότητα και λειτουργία
- αξιοπιστία και συντήρηση

Η επιλογή του κινητήρα, των συσσωρευτών και του συστήματος ελέγχου πρέπει να λαμβάνει υπόψιν όλες τις εναλλακτικές προτάσεις της αγοράς, με βάση τα χαρακτηριστικά της κάθε επιλογής.

Οι προτεινόμενες λύσεις κινητήρων, για την εφαρμογή ενός μικρού οχήματος πόλης το οποίο θα χρησιμεύει στη μεταφορά μικρών φορτίων είναι οι ακόλουθες:

DC με ψήκτες, διέγερσης σειράς

Οι κινητήρες αυτοί είναι οι φθηνότεροι και πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι κινητήρες, ειδικά σε συσκευές. Κινητήρες αυτού του είδους με την ισχύ ενός μικρού ηλεκτρικού οχήματος συναντώνται πολύ συχνά σε βιομηχανικό περιβάλλον.

Όμως, οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν το χαμηλότερο βαθμό απόδοσης λόγω των πινίων του ρότορα, των ψηκτών και της θερμότητας η οποία απάγεται πολύ δυσκολότερα. Για το λόγο αυτό, οι κινητήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται ελάχιστα σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων.

DC με ψήκτες, μόνιμου μαγνήτη

Ο τύπος αυτός προσφέρει την υψηλότερη απόδοση από τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Έχουν, κατά κάποιο τρόπο, μικρότερη μεταβολή της καμπύλης απόδοσης σε σχέση με τις στροφές, κάτι που συνεισφέρει θετικά σε περιπτώσεις με ανάλογες απαιτήσεις, όπως αυτές της ηλεκτροκίνησης των οχημάτων. Επίσης, έχουν χαμηλό κόστος αλλά και χαμηλό κόστος ελεγκτή.

AC σύγχρονοι, χωρίς ψήκτες

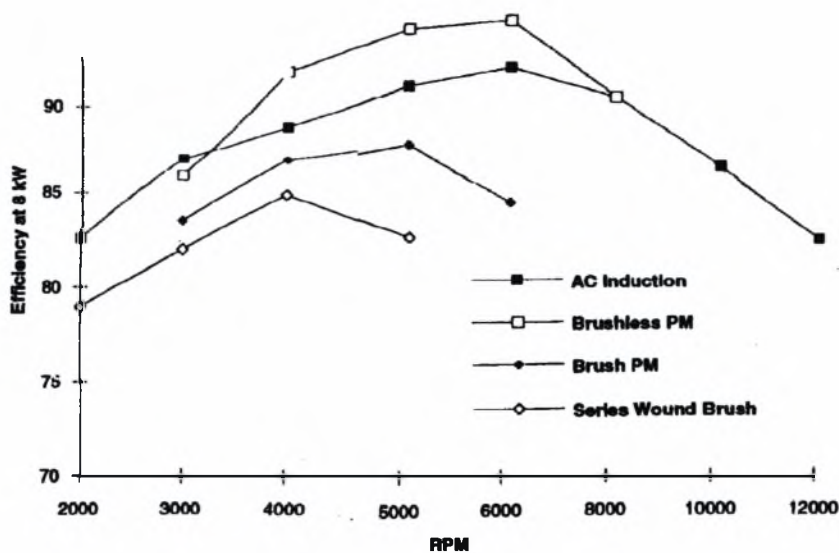
Είναι οι κινητήρες με την υψηλότερη απόδοση, λόγω έλλειψης ψηκτών και ευκολότερης απαγωγής της θερμότητας. Επίσης, έχουν υψηλότερη ειδική ενέργεια, κάτι που συνεπάγεται ότι για το ίδιο βάρος αποδίδουν υψηλότερη ισχύ.

Βασικό μειονέκτημα του τύπου αυτού αποτελεί η πολυπλοκότητα του συστήματος ελέγχου.

AC επαγωγικός

Ο κινητήρας αυτός μοιάζει με το σύγχρονο/ψωρίς ψήκτες, αλλά λόγω της κατασκευής του έχει χαμηλότερο βαθμό απόδοσης, αλλά πιο επίπεδη καμπύλη απόδοσης. Για το λόγο αυτό είναι κατάλληλοι για περιπτώσεις οχημάτων που λειτουργούν εντός αστικού περιβάλλοντος, με απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Έχουν αξιοπιστία στη λειτουργία τους, ευκολότερη απαγωγή της θερμότητας και μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα και σε υψηλές ταχύτητες. Το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλότερο από κινητήρες με μαγνήτες.

Το Σχήμα (6.1) παρουσιάζει τις καμπύλες του βαθμού απόδοσης των κινητήρων, της εταιρίας SOLECTRIA . [9]



Σχήμα 6.1 Βαθμός απόδοσης κινητήρων σε σχέση με στροφές, της εταιρίας SOLECTRIA.

Ο ακόλουθος Πίνακας (6.1) παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων κινητήρα.

Χαρακτηριστικά	DC	AC	DC μόνιμου μαγνήτη	Μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης
Στιβαρή κατασκευή	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Έλλειψη συντήρησης	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Χαμηλό κόστος	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Υψηλή ειδική ενέργεια	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ελαφριά κατασκευή	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Στιβαρό σύστημα ελέγχου	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Θόρυβος	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 6.1 Χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων κινητήρα

Οι δυνατές επιλογές όσον αφορά τους συσσωρευτές, είναι οι ακόλουθες τρεις, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα (6.2).

Τύπος συσσωρευτή	Μολύβδου-οξέως	Νικελίου-καδμίου	Νικελίου-άλυτος
Πυκνότητα ενέργειας σε Wh/kg _r	35	50	86
Κόστος σε US\$ / kWh	80	200	300
Διάρκεια ζωής 80% DOD [κύκλοι]	200	700	1000

Πίνακας 6.2 Δυνατότητες επιλογής συσσωρευτών

Οι αναφερόμενες τιμές αποτελούν μέσο όρο των τιμών που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία.

Οι λύσεις που μπορούν να προταθούν από την πλευρά ενός μηχανικού είναι πολλές. Η πληθώρα επιλογών της αγοράς δίνει τη δυνατότητα επιλογής κινητήρα, συσσωρευτών και συστημάτων ελέγχου με βάση το περιβάλλον λειτουργίας, την απόδοση και τις επιδόσεις αλλά και το κόστος λειτουργίας.

Εάν το κόστος της μετατροπής και λειτουργίας δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, τότε η επιλογή ενός κινητήρα χωρίς ψήκτρες είναι η ιδανική λύση, καθώς προσφέρει πολύ υψηλή απόδοση και πυκνότητα ενέργεια σε σχέση με τις άλλες επιλογές.

Εάν το κόστος αποτελεί περιοριστικό παράγοντα σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, τότε μια επιλογή κινητήρα με ψήκτρες προβάλλει ως καλύτερη επιλογή.

Στην περίπτωση όπου το κόστος λαμβάνεται υπόψη σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, τότε ο μηχανικός προσανατολίζεται στη λύση χαμηλότερου βάρους-υψηλότερης απόδοσης, τόσο στους κινητήρες όσο και στους συσσωρευτές. Εάν η λύση συστήματος χωρίς ψήκτρες είναι εφικτή, τότε πρέπει να ληφθεί υπόψη το περιβάλλον λειτουργίας. Περιπτώσεις όπου απαιτούνται σταθερές τιμές ταχυτήτων (αγωνιστικά οχήματα, ειδικές κατασκευές μεταφορών), τότε ένας σύγχρονος AC χωρίς ψήκτρες μαζί με το κατάλληλο κιβώτιο ταχυτήτων είναι η σωστή λύση. Σε περιβάλλοντα μεταβαλλόμενων ταχυτήτων (αστικό περιβάλλον), ο επαγωγικός AC είναι η κατάλληλη λύση.

Οι λύσεις που ακολουθούν έχουν γίνει με βάση το κόστος της μετατροπής και λειτουργίας. Η πρώτη λύση συνδυάζει κινητήρα υψηλής απόδοσης αλλά με συστοιχίες και σύστημα ελέγχου χαμηλού κόστους. Η δεύτερη επιλογή χρησιμοποιεί επαγωγικό κινητήρα (ιδανικό για αστικό περιβάλλον με μεταβαλλόμενες ταχύτητες), εξελεγμένους συσσωρευτές αλλά υψηλό κόστος συστήματος ελέγχου και συστοιχιών.

Α ΛΥΣΗ: ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Κινητήρας DC μόνιμου μαγνήτη
Συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέως

Ο κινητήρας μόνιμου μαγνήτη προσφέρει πολύ υψηλή τιμή ισχύος και ροπής σε σχέση με το βάρος του, υψηλό βαθμό απόδοσης (92-97%), υψηλή στιβαρότητα μαζί με ελάχιστη συντήρηση, χαμηλό βάρος αλλά υψηλότερο κόστος. Το σύστημα ελέγχου στην περίπτωση αυτή είναι πολύ φθηνότερο από άλλα κυκλώματα.

Το βασικό μειονέκτημα της επιλογής αυτής εστιάζεται στους συσσωρευτές, οι οποίοι προσφέρουν πολύ χαμηλή πυκνότητα ενέργειας (35 Wh/kg), μικρή διάρκεια ζωής (200 κύκλοι σε 80% DOD) και αυξημένο βάρος σε αντίθεση με το χαμηλό κόστος (από 70 ως 100 US\$/kWh)

Β ΛΥΣΗ: ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Κινητήρας AC επαγωγικός
Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου.

Ο επαγωγικός κινητήρας παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως πολύ καλή σιβαρότητα κατασκευής, υψηλή απόδοση, ελάχιστη συντήρηση, χαμηλό κόστος αλλά υψηλό βάρος. Αντίθετα, απαιτεί πολύ ακριβό σύστημα ελέγχου.

Το πλεονέκτημα της κατασκευής αυτής αποτελούν οι συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου οι οποίοι έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (700 κύκλοι σε 80% DOD), υψηλή πυκνότητα ενέργειας (50 Wh/kg), χαμηλό βάρος αλλά υψηλό κόστος (700 US\$/kWh).

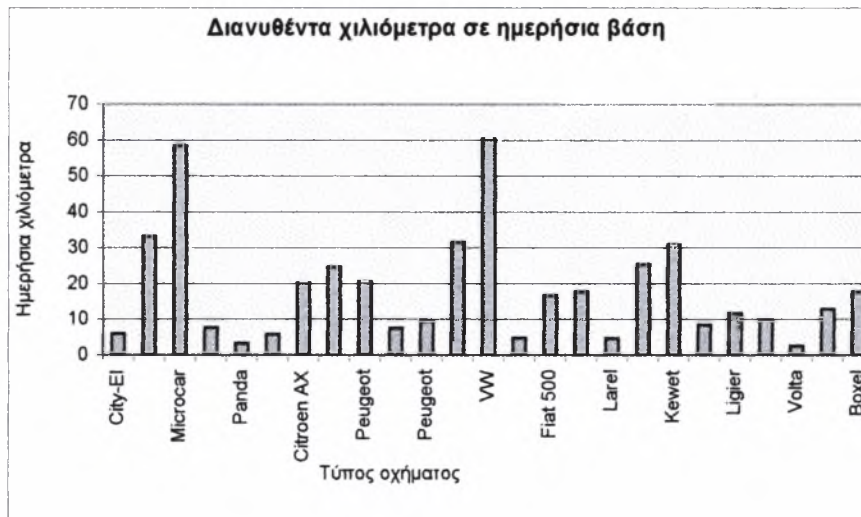
6.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Το όχημα διανύει κατά μέσο όρο 20 km την ημέρα, εντός αστικού περιβάλλοντος. Η τιμή αυτή επιβεβαιώνεται και από τα πρακτικά αποτελέσματα της κοινότητας του Mendrisio, στην οποία τα οχήματα διανύουν την ημέρα γύρω στα 18,1 km. Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει από τον ακόλουθο Πίνακα (6.1), ο οποίος αποδίδει την απόσταση που κάλυψε το κάθε όχημα σε έναν μήνα, εντός αστικού περιβάλλοντος.

Τύπος οχήματος	Km	Τύπος οχήματος	Km
City-EI	165,9	VW Citystromer	1690,3
City-EI	928,8	VW Citystromer	135
Microcar Break	1635	Fiat 500	468,5
Microcar Light	217	Fiat Punto	493,9
Panda Elettra	90,1	Larel	129
Panda Elettra	163,2	Kewet	712
Citroen AX	566,9	Kewet	867
Peugeot 106	689,3	Kewet	234,5
Peugeot 106	575,6	Ligier Ambra	328
Peugeot 106	211	Renault Express	278,4
Peugeot 106	267	Volta	72
Peugeot 106	884	Mercedes 308E	362,3
		Boxel	496,3

Πίνακας 6.1 Διανυθέντα χιλιόμετρα σε έναν μήνα για τα ηλεκτρικά οχήματα στο Mendrisio.

Ο Πίνακας (6.2) απεικονίζει τα ημερήσια χιλιόμετρα που κάλυψε το κάθε όχημα.



Πίνακας 6.2 Διανυθέντα Km σε ημερήσια βάση για τα ηλεκτρικά οχήματα στο Mendrisio.

Τα 20 Km αντιστοιχούν σε επανάληψη 6 Ευρωπαϊκών Κύκλων Οδήγησης.

6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ

Με βάση τον κύκλο πόλης, το όχημα δαπανά ενέργεια κατά τη διάρκεια **658 μέτρων χωρίς ανάκτηση ενέργειας πέδησης**. Η ενέργεια αυτή ισούται με 71,8 kJ.

Το όχημα με βάση τον κύκλο πόλης διανύει 134,2 μέτρα κατά την επιβράδυνση, άρα συνολικά 792 μέτρα.

Το 83% της διανυόμενης απόστασης πρέπει να προσφέρει ενέργεια, άρα το 83% των 20 χιλιομέτρων πρέπει να προσφέρει ενέργεια, **δηλαδή τα 16,62 χιλιόμετρα δίδει ενέργεια. Η ενέργεια αυτή ισούται με $(20000m * 0,83) * 71,8 kJ / 658m = 1812 kJ$.**

Η ανάκτηση της ενέργειας θα γίνεται όταν οι συσσωρευτές έχουν γύρω στο 80% βάθος εκφόρτισης (80% DOD). Αυτό σημαίνει ότι οι συσσωρευτές θα είναι άδαιοι κατά 80%, άρα ένα ποσοστό 20% από αυτούς θα μένει ανεκμετάλλευτο. Κατά συνέπεια, η ενέργεια της κίνησης πρέπει να λαμβάνεται από το 80% των συσσωρευτών, άρα ουσιαστικά η πυκνότητα ενέργειας του κάθε συσσωρευτή πρέπει να ληφθεί υπόψιν μόνο κατά το 80%. Με τον τρόπο αυτό, ως δεδομένα της πυκνότητας ενέργειας για τον κάθε τύπο πρέπει να θεωρηθούν οι τιμές του Πίνακα (6.3):

Μολύβδου-οξέως	0,8 * 35 Wh = 28 Wh
Νικελίου-καδμίου	0,8 * 50 Wh = 40 Wh
Νικελίου-άλατος	0,8 * 86 Wh = 68,8 Wh

Πίνακας 6.3 Πυκνότητα ενέργειας διάφορων τύπων συσσωρευτών.

Τα 1812 KJ ισούνται με 0,5 kWh και για πυκνότητα ενέργειας 28 Wh/kg για του μολύβδου, 44 Wh/kg για του νικελίου και 68,8 Wh/kg για τις ZEBRA απαιτούνται αντίστοιχα **17,9 , 11,4 ή 7,3 kg** συσσωρευτών αντίστοιχα.

Τύπος συσσωρευτή	Βάρος συστοιχίας σε kg
Μολύβδου-οξέως	17,9
Νικελίου-καδμίου	12,5
Νικελίου-χλωριούχου νατρίου	7,3

Πίνακας 6.4 Βάρος συστοιχιών για την κάλυψη των απαιτήσεων κίνησης χωρίς την ανάκτηση ενέργειας πέδησης.

Για την κίνηση σε πραγματικές συνθήκες θεωρείται συντελεστής ασφαλείας ίσος με 20%. Με βάση το συντελεστή αυτό, το βάρος των συσσωρευτών προκύπτει ότι ισούται με τις τιμές του Πίνακα (6.5):

Τύπος συσσωρευτή	Βάρος συστοιχίας σε kg
Μολύβδου-οξέως	17,9*1,2 = 21,5
Νικελίου-καδμίου	12,5*1,2 = 15
Νικελίου-χλωριούχου νατρίου	7,3*1,2 = 8,8

Πίνακας 6.5 Βάρος συσσωρευτών με βάση το συντελεστή ασφαλείας 1,2.

6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ

Το όχημα με βάση τον κύκλο πόλης δαπανά ενέργεια ίση με 58,8 KJ.

Με υπολογισμούς ανάλογους της προηγούμενης ενότητας προκύπτει ότι η **δαπανούμενη ενέργεια ισούται με 1483,5 kJ=0,412 kWh.**

Απαιτούνται **14,7 , 10,3 και 6,0 kg** συσσωρευτών μολύβδου, νικελίου-καδμίου και νικελίου-άλατος αντίστοιχα.

Τύπος συσσωρευτή	Βάρος συστοιχίας σε kg
Μολύβδου-οξέως	14,7
Νικελίου-καδμίου	10,3
Νικελίου-χλωριούχου νατρίου	6,0

Πίνακας 6.6 Βάρος συστοιχιών για την κάλυψη των απαιτήσεων κίνησης με την ανάκτηση ενέργειας πέδησης.

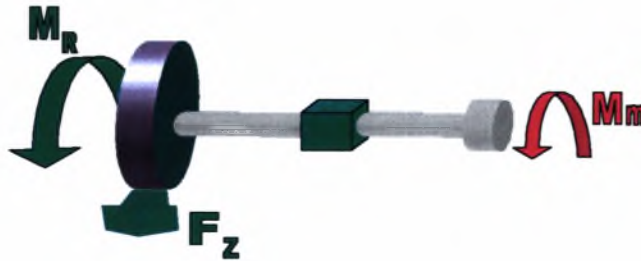
Με βάση το συντελεστή ασφαλείας προκύπτουν οι τιμές του Πίνακα (6.7).

Τύπος συσσωρευτή	Βάρος συστοιχίας σε kgr
Μολύβδου-οξέως	14,7*1,2 = 18
Νικελίου-καδμίου	10,3*1,2 = 13
Νικελίου-χλωριούχου νατρίου	6,0*1,2 = 8

Πίνακας 6.7 Βάρος συσσωρευτών με βάση το συντελεστή ασφαλείας 1,2.

6.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Το ακόλουθο Σχήμα (6.1) απεικονίζει τον τρόπο μετάδοσης της κίνησης από τον κινητήρα στους τροχούς.



Σχήμα 6.1 Μετάδοση κίνησης από τον κινητήρα στους τροχούς

Η δύναμη που προκαλεί την κίνηση του οχήματος είναι η F_z ενώ M_m είναι η ροπή του κινητήρα. Η δύναμη αυτή συνδέεται με τη ροπή με την εξίσωση:

$$F_z = \frac{\eta_o \cdot M_m \cdot i_G \cdot i_D}{r_d}$$

Για μηχανικό βαθμό απόδοσης $\eta_o=0,8$ και $i_G \cdot i_D \cong 10$ προκύπτει ότι $F_z = 20 \cdot M_m$

Πρέπει:

$$F_z > F_g \rightarrow 20 \cdot M_m > F_g \rightarrow M_m > \frac{F_g}{20}$$

Κατά συνέπεια:

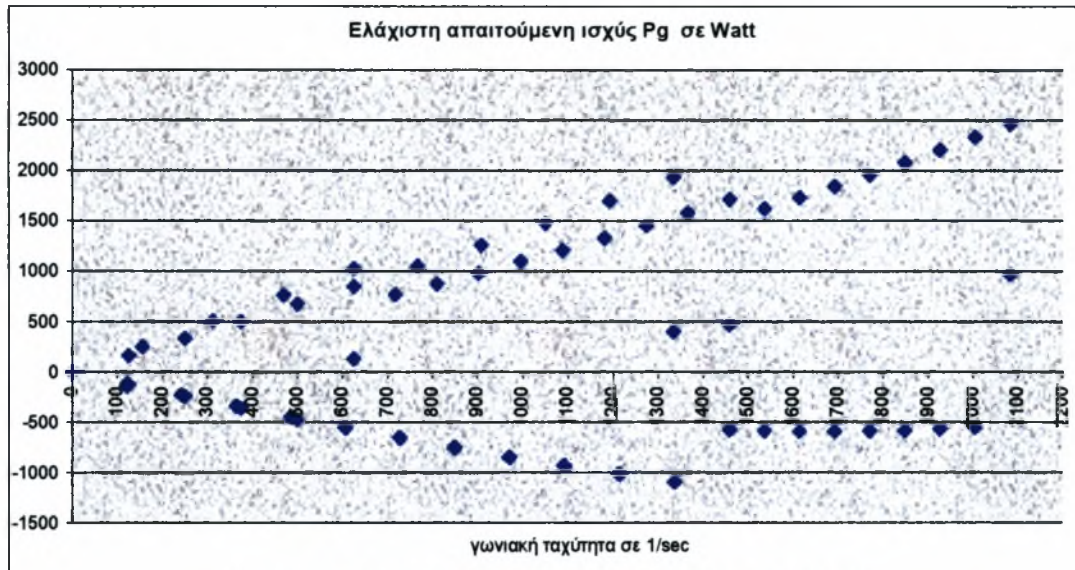
Η μέγιστη ροπή του κινητήρα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 12,35 Nm σε $\omega=104 \text{ sec}^{-1}$.

Η μέγιστη ισχύς του κινητήρα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 2,5/0,8=3,125 kW σε $\omega=347 \text{ sec}^{-1}$.

Με βάση τον Ευρωπαϊκό κύκλο πόλης, είναι δυνατόν ο υπολογισμός των απαιτήσεων του οχήματος σε ισχύ και ροπή, σε κάθε τιμή της ταχύτητας που αναπτύσσεται. Με άλλα λόγια, μπορεί να υπολογισθεί η μέγιστη ροπή και η μέγιστη ισχύς σε κάθε τιμή της περιστροφικής ταχύτητας του κινητήρα, έτσι ώστε κατά τη διαστασιολόγηση να ληφθεί υπόψιν ότι ο κινητήρας για δεδομένη

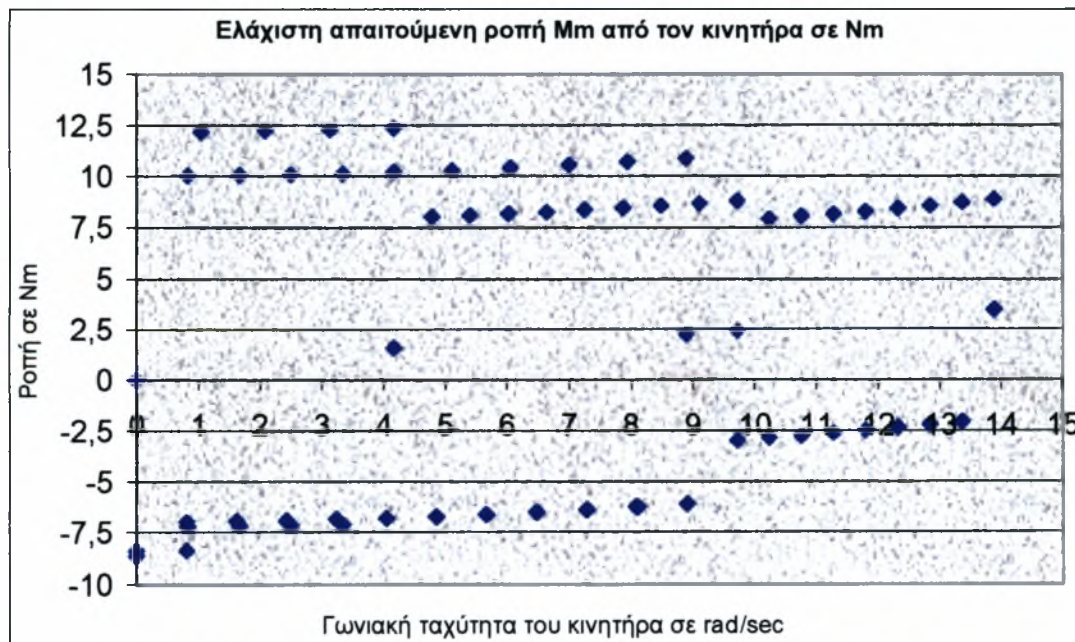
ταχύτητα δεν πρέπει να δίδει τιμές ροπής και ισχύος μικρότερες από τις τιμές που έχουν υπολογισθεί.

Η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα σε σχέση με την περιστροφική ταχύτητα δίδεται στο Σχήμα (6.2). Οι θετικές τιμές της ισχύος αναφέρονται σε επιταχυνόμενη ή κίνηση με σταθερή ταχύτητα, ενώ οι αρνητικές σε επιβραδυνόμενη κίνηση. Ωντας γνωστές οι τιμές αυτές, είναι γνωστές και οι ελάχιστες απαιτήσεις από τον κινητήρα σε κάθε τιμή της περιστροφικής του ταχύτητας.



Σχήμα 6.2 Καμπύλη της ελάχιστης απαιτούμενης ισχύος.

Η αντίστοιχη καμπύλη της ελάχιστης απαιτούμενης ροπής M_m του κινητήρα δίδεται στο Σχήμα (6.3).



Σχήμα 6.3 Καμπύλη της ελάχιστης απαιτούμενης ροπής από τον κινητήρα.

6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Τα δυο κυκλώματα έχουν τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα (6.8).

	ΣΥΝΕΧΟΥΣ	ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ
Τύπος κινητήρα	Μόνιμου μαγνήτη	Επαγωγικός
Βάρος κινητήρα	12,5 kgr	25 kgr
Κόστος κινητήρα	400.000 δρχ.	300.000 δρχ.
Είδος συσσωρευτών	Μολύβδου-οξέως	Νικελίου-καδμίου
Βάρος συσσωρευτών	21,5 kgr	15 kgr
Κόστος συσσωρευτών	20.160 δρχ.	168.000 δρχ.
Βάρος συσκευής ελέγχου	1,6 kgr	9,6 kgr
Κόστος συσκευής ελέγχου	158.000 δρχ.	956.000 δρχ.
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ	578.160 δρχ.	1.424.000 δρχ.
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	35,5 kgr	49,6 kgr

Πίνακας 6.8 Χαρακτηριστικά των δύο συστημάτων λειτουργίας

Οι τιμές του Πίνακα (6.8) αναφέρονται σε προϊόντα της εταιρίας BRUSA ELEKTRONIK, ειδικευμένη στην κατασκευή κινητήρων, συστημάτων ελέγχου καθώς και άλλων εξαρτημάτων ηλεκτρικών οχημάτων.

Είναι προφανές ότι η επιλογή του κυκλώματος συνεχούς ρεύματος δίδει πολύ χαμηλότερο κόστος αγοράς από το αντίστοιχο κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος.

6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ

Η διάρκεια ζωής του οχήματος υπολογίζεται στα 10 έτη. Με βάση το χρονικό αυτό ορίζοντα θα γίνει ο υπολογισμός του κόστους της μετατροπής του GYRO-X σε ηλεκτροκίνητο.

Το Συνολικό Κόστος προκύπτει από τον τύπο:

$$\mathbf{\Sigma\text{Κ} = \text{ΚΚ} + \text{ΚΕ} + \text{ΚΑΑΣ} + \text{ΚΕΣ}}$$

όπου

ΣΚ=ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

ΚΚ=ΚΟΣΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

ΚΕ=ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΚΑΑΣ=ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

ΚΕΣ=ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Για τις δυο επιλογές Α και Β έχουν υπολογισθεί οι παράμετροι του **ΣΕΚ**. Οι συσσωρευτές θεωρείται ότι αποκτούνται σε συστοιχίες των 12 kgr (για συσσωρευτές μολύβδου-οξέως 12V) και σε συστοιχίες των 8 kgr (για τους συσσωρευτές Ni-Cd 12V).

Το **ΚΚ** έχει ήδη υπολογισθεί (Πίνακας 6.6) και ισούται με το κόστος του συνεχούς ή του εναλλασσόμενου κινητήρα.

Το **ΚΕ** έχει ήδη υπολογισθεί (Πίνακας 6.6) και ισούται με το κόστος αγοράς του συστήματος ελέγχου.

Το **ΚΑΑΣ** είναι μεταβαλλόμενο και αυξάνεται όσο περισσότερες συστοιχίες είναι εγκατεστημένες στο όχημα και όσες περισσότερες φορές αντικαθίστανται οι συσσωρευτές κατά τη διάρκεια της 10ετίας.

Το **ΚΕΣ** υπολογίζεται με βάση τον ετήσιο αριθμό επαναφορτίσεων των συσσωρευτών. Για τη φόρτιση των συσσωρευτών από το 80% DOD ως το 0% DOD απαιτείται η δαπάνη ενέργειας, η οποία προφανώς είναι μεγαλύτερη όσο περισσότερες είναι οι συστοιχίες των συσσωρευτών, όσες περισσότερες φορές φορτίζονται στη διάρκεια του έτους και όσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα των μπαταριών.

Στο όχημα τοποθετούνται συστοιχίες συσσωρευτών βάρους 12 και 8 kgr (για μολύβδου και νικελίου αντίστοιχα). Κατά συνέπεια, στην Α επιλογή (του συνεχούς ρεύματος με μολύβδου-οξέως), τοποθετούνται 2 συστοιχίες συνολικού βάρους 24 kgr. Στην επιλογή Β (εναλλασσόμενου ρεύματος με νικελίου-άλατος) τοποθετούνται 2 συστοιχίες συνολικού βάρους 16 kgr. Κάτι τέτοιο, όπως είναι προφανές, δεν θα αναγκάζει τον οδηγό να φόρτιζε μια φορά την ημέρα, αλλά λιγότερες φορές.

Ο Πίνακας (6.9) παρουσιάζει το απαιτούμενο βάρος συσσωρευτών καθώς και το βάρος των τοποθετημένων συστοιχιών στο όχημα.

	<i>Συνεχούς ρεύματος/ Μολύβδου-Οξέως</i>	<i>Εναλλασσόμενου ρεύματος/ Νικελίου-Καδμίου</i>
Αριθμός συστοιχιών	2	2
Απαιτούμενο βάρος συστοιχιών σε kgr	21,5	15
Συνολικό βάρος τοποθετημένων συστοιχιών σε kgr	24	16

Πίνακας 6.9 Απαιτούμενο βάρος συσσωρευτών και βάρος συσσωρευτών τοποθετημένων στο όχημα.

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια κίνησης κατά τη διάρκεια του έτους προκύπτει από τους υπολογισμούς ενέργειας του κεφαλαίου 6.1 . Το όχημα κινείται κατά τη διάρκεια 350 ημερών ανά έτος, και επειδή κάθε ημέρα διανύει 20 km, το έτος θα διανύει συνολικά 7.000 km. Το 83% της απόστασης αυτής πρέπει να δαπανά ενέργεια για την κίνηση (με βάση τον ευρωπαϊκό κύκλο πόλης), οπότε το έτος θα δαπανά ενέργεια για 5.810 km. **Η ενέργεια αυτή ισούται με 176,1 kWh ανά έτος.**

Στο χρονικό ορίζοντα των 10 ετών, η απαιτούμενη ενέργεια ισούται με 1761 kWh.

Ο Πίνακας (6.10) παρουσιάζει τις απαιτήσεις του οχήματος σε ημερίσια, ετήσια και δεκαετή βάση.

	<i>Διανύμενη απόσταση σε km</i>	<i>Απόσταση σε km κατά την οποία δαπανάται ενέργεια</i>	<i>Δαπανώμενη ενέργεια σε kWh</i>
Ημερίδια	20	16,6	0,5
Ετήσια	7.000	5.810	176,1
10 ετής	70.000	58.100	1.761

Πίνακας 6.10 Ημερήσιες, ετήσιες και 10 ετείς απαιτήσεις ενέργειας.

Οι συσσωρευτές θα φορτίζονται περίπου στο 80% DOD (βάθος εκφόρτισης), οπότε για κάθε τύπο συσσωρευτή ο αριθμός των φορτίσεων ανά δεκαετία υπολογίζεται από την Εξίσωση (6.2):

$$0,8 \cdot \frac{\left(\frac{\text{10ετής ενέργεια κίνησης σε kWh}}{\text{πυκνότητα ενέργειας συσσωρ. σε } \frac{\text{kWh}}{\text{Kgr}}} \right)}{\left(\text{συνολικό βάρος συσσωρευτώ ν σε Kgr} \right)} = (\text{αριθμός φορτίσεων σε 10ετία}) \quad (6.2)$$

Ο Πίνακας (6.11) απεικονίζει τον αριθμό φορτίσεων των συσσωρευτών του κάθε κυκλώματος στο χρονικό ορίζοντα της δεκαετίας.

	<i>Συνεχούς ρεύματος / Μολύβδου-Οξέως</i>	<i>Εναλλασσόμενου ρεύματος / Νικελίου-Καδμίου</i>
Ετήσια ενέργεια κίνησης σε kWh	176,1	176,1
10 ετής ενέργεια κίνησης σε kWh	1761	1761
Πυκνότητα ενέργειας συσσωρευτών σε kWh/kg	0,035	0,05
Συνολικό βάρος συσσωρευτών σε kg	24	16
ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ 10ετίας	2912	2752

Πίνακας (6.11) Αριθμός φορτίσεων των συσσωρευτών των δυο κυκλωμάτων σε 10 ετή βάση.

Το κόστος των φορτίσεων υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν την τιμή της kWh στην Ελλάδα, η οποία ισούται με 15 δραχμές.

Η κάθε φόρτιση πρέπει να γεμίζει το 80% των συσσωρευτών που είναι τοποθετημένοι στο όχημα.

Το κόστος, λοιπόν, επαναφόρτισης των συσσωρευτών **ΚΕΣ** δίδεται από τον τύπο:

$$\text{ΚΕΣ} = (\text{αριθ. ετήσιων φορτίσεων}) \cdot 0,8 \cdot (\text{πυκνότητα ενέργειας συσσ.}) \cdot (\text{βάρος συσσωρ.}) \cdot 15$$

Ο Πίνακας (6.12) απεικονίζει το ΚΕΣ των συσσωρευτών του κάθε κυκλώματος για το χρονικό ορίζοντα των 10 ετών.

	<i>Συνεχούς ρεύματος/ Μολύβδου-Οξέως</i>	<i>Εναλλασσόμενου ρεύματος/ Νικελίου-Καδμίου</i>
<i>Αριθμός φορτίσεων 10ετίας</i>	2912	2752
<i>Πυκνότητα ενέργειας συσσωρευτών σε kWh/kgf</i>	0,035	0,05
<i>Συνολικό βάρος συσσωρευτών σε kgf</i>	24	16
<i>Συνολικό ΚΕΣ στη 10ετία σε δρχ</i>	29.355	26.415

Πίνακας (6.12) Κόστος Επαναφόρτισης Συσσωρευτών σε δρχ των δυο κυκλωμάτων στο χρονικό ορίζοντα των 10 ετών.

Ο αριθμός των αντικαταστάσεων των συσσωρευτών προκύπτει από τον ετήσιο αριθμό φορτίσεων, καθώς με βάση την τιμή αυτή αλλά και την τιμή των κύκλων (φορτίσεων) της διάρκειας ζωής, υπολογίζεται πόσες φορές πρέπει να αλλαχθούν οι μπαταρίες.

Το κόστος αγοράς και αντικατάστασης των συστοιχιών ανά έτος **ΚΑΑΣ** προκύπτει με άθροιση του κόστους της αρχικής εγκατάστασης των μπαταριών και του κόστους επανεγκατάστασης κατά τη διάρκεια των 10 ετών.

Ο Πίνακας (6.13) παρουσιάζει το ΚΑΑΣ των δυο κυκλωμάτων στη δεκαετία.

	<i>Συνεχούς ρεύματος/ Μολύβδου-Οξέως</i>	<i>Εναλλασσόμενου ρεύματος/ Νικελίου-Καδμίου</i>
<i>Αριθμός φορτίσεων σε 10ετία</i>	2912	2752
<i>Διάρκεια ζωής (80% DOD) σε κύκλους</i>	200	700
<i>Βάρος αρχικά εγκατεστημένων συστοιχιών σε kgf</i>	24	16
<i>Απαιτούμενος αριθμός αντικαταστάσεων ανά 10 ετία</i>	15	4
<i>Συνολικός βάρος τοποθετημένων συστοιχιών σε Kgf</i>	360	64
<i>Συνολικό ΚΑΑΣ στη 10ετία σε δρχ</i>	302.400	672.000

Πίνακας 6.13 Κόστος Αγοράς-Αντικατάστασης Συσσωρευτών σε δρχ των δυο κυκλωμάτων στη 10ετία.

Το συνολικό κόστος **ΣΚ** προκύπτει με άθροιση των επιμέρους τιμών. Ο Πίνακας (6.14) παρουσιάζει το ΚΚ, ΚΕ, ΚΕΣ, ΚΑΑΣ και ΣΚ των δυο κυκλωμάτων στη διάρκεια των 10 ετών.

	<i>Συνεχούς ρεύματος/ Μολύβδου-Οξέως</i>	<i>Εναλλασ. ρεύματος/ Νικελίου-Καδμίου</i>
<i>ΚΚ σε δρχ</i>	400.000	300.000
<i>ΚΕ σε δρχ</i>	158.000	956.000
<i>ΚΕΣ σε δρχ</i>	29.355	26.415
<i>ΚΑΑΣ σε δρχ</i>	302.400	672.000
<i>ΣΚ σε δρχ</i>	889.755	1.954.415

Πίνακας 6.14 ΚΚ, ΚΕ, ΚΕΣ, ΚΑΑΣ και ΣΚ των δυο κυκλωμάτων σε 10 ετή βάση.

Παρατηρούμε ότι το ΣΚ του κυκλώματος συνεχούς ρεύματος είναι σημαντικά χαμηλότερο του αντίστοιχου εναλλασσόμενου, κατά 1.064.660 δραχμές.

6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

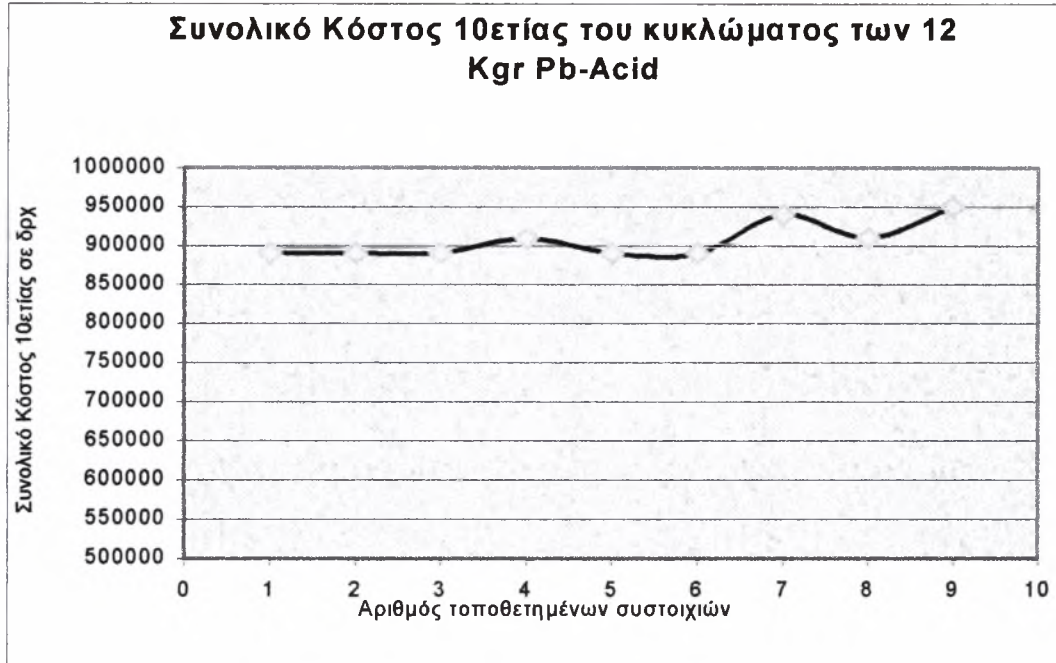
Στο όχημα δίδεται η δυνατότητα τοποθέτησης αριθμού συστοιχιών τέτοιου (πολλαπλάσια των 12 και 8 kg) ώστε η φόρτιση να λαμβάνει χώρα σε διαφορετικό χρόνο από τον αρχικά υπολογισμένο (μια φορά την ημέρα).

Με διαδικασία ανάλογη του κεφαλαίου 6.5 και υπολογισμό του εκάστοτε κόστους, προκύπτουν οι τιμές του Πίνακα (6.15).

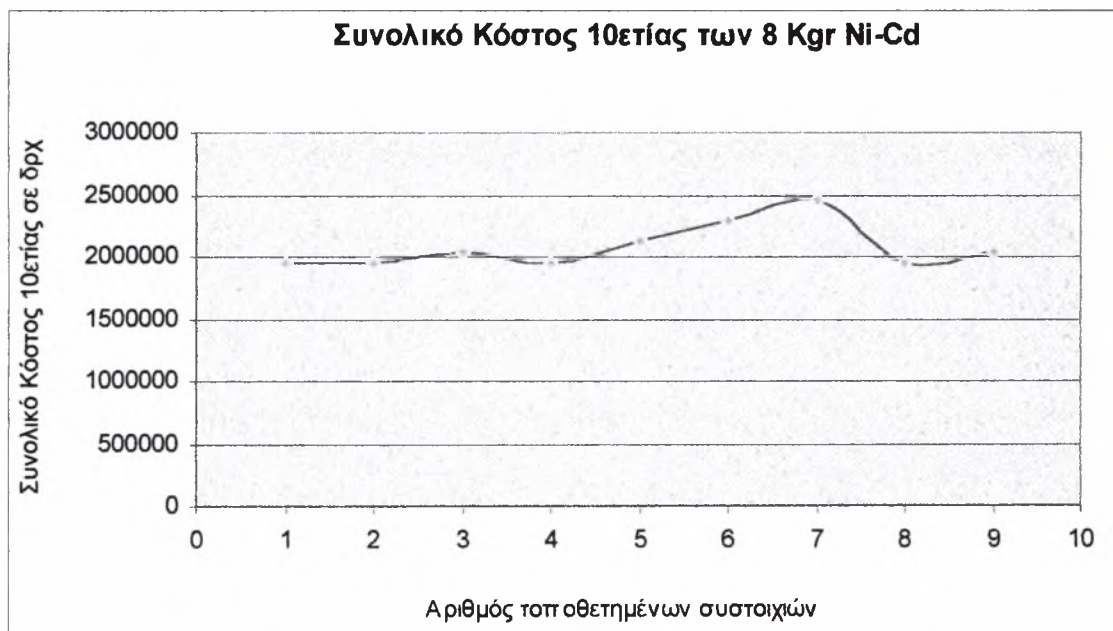
Αριθμός συστοιχιών των 12 kg Μολύβδου-Οξέως	ΚΕΣ	ΚΑΑΣ	ΚΚ	ΚΕ	ΣΕΚ
1	29.355	302.400	400.000	158.000	889.755
2	29.355	302.400	400.000	158.000	889.755
3	29.355	302.400	400.000	158.000	889.755
4	29.355	322.560	400.000	158.000	909.915
5	29.355	302.400	400.000	158.000	889.755
6	29.355	302.400	400.000	158.000	889.755
7	29.355	352.800	400.000	158.000	940.155
8	29.355	322.560	400.000	158.000	909.915
9	29.355	362.880	400.000	158.000	950.235
Αριθμός συστοιχιών των 8 kg Νικελίου-Καδμίου	ΚΕΣ	ΚΑΑΣ	ΚΑΚ	ΚΑΕ	ΣΕΚ
1	26.415	672.000	300.000	956.000	1.954.415
2	26.415	672.000	300.000	956.000	1.954.415
3	26.415	756.000	300.000	956.000	2.038.415
4	26.415	672.000	300.000	956.000	1.954.415
5	26.415	840.000	300.000	956.000	2.122.415
6	26.415	1.008.000	300.000	956.000	2.290.415
7	26.415	1.176.000	300.000	956.000	2.458.415
8	26.415	672.000	300.000	956.000	1.954.415
9	26.415	756.000	300.000	956.000	2.038.415

Πίνακας 6.15 Σύγκριση του Συνολικού Κόστους ΣΚ των κυκλωμάτων με συσσωρευτές Pb-Acid και Ni-Cd, ανάλογα με τον αριθμό των τοποθετημένων συστοιχιών των 12 και 8 kg αντίστοιχα.

Τα ακόλουθα Σχήματα (6.4) και (6.5) απεικονίζουν τη μεταβολή του κόστους σε συνάρτηση των συστοιχιών που τοποθετούνται στο όχημα.

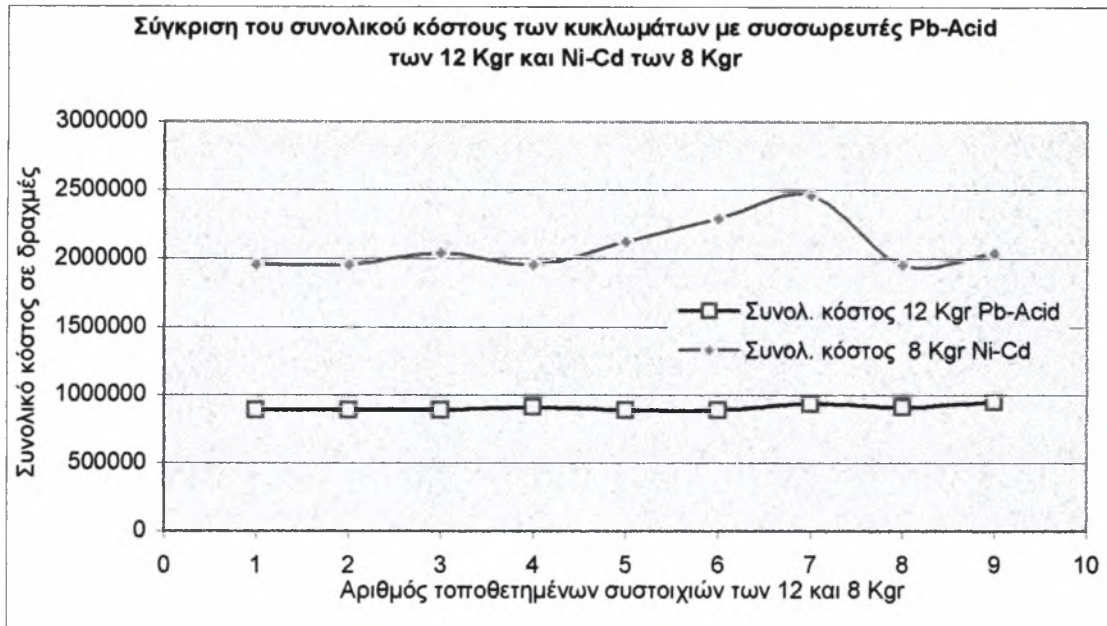


Σχήμα 6.4 Συνολικό κόστος ΣΚ του κυκλώματος με συσσωρευτές Pb-Acid των 12 kgr, σε διάρκεια 10 ετών.



Σχήμα 6.5 Συνολικό Κόστος ΣΚ του κυκλώματος με συσσωρευτές Ni-Cd των 8 kgr, σε διάρκεια 10 ετών.

Το Σχήμα (6.6) απεικονίζει τη σύγκριση του συνολικού κόστους ΣΚ των δυο κυκλωμάτων, ανάλογα με τον αριθμό των τοποθετημένων συστοιχιών.



Σχήμα 6.6 Σύγκριση του ΣΚ για το κύκλωμα με συσσωρευτές Pb-Acid των 12 kgr και το κύκλωμα με Ni-Cd των 8 kgr, στη διάρκεια 10 ετών.

Από το Σχήμα (6.6) είναι φανερό ότι το κύκλωμα συνεχούς ρεύματος έχει πολύ χαμηλότερο κόστος από το αντίστοιχο εναλλασσόμενο, ανεξάρτητα του αριθμού των τοποθετημένων συστοιχιών.

Για το κύκλωμα του συνεχούς ρεύματος η επιλογή 1,2,3,5 ή 6 συστοιχιών Pb-Acid των 12 kgr έχει το χαμηλότερο συνολικό κόστος ΣΚ σε 10ετή βάση.

Για το κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, η επιλογή ελάχιστου συνολικού κόστους ΣΚ είναι η τοποθέτηση 1, 2, 4 ή 8 συστοιχιών συσσωρευτών Ni-Cd των 8 kgr.

Ο Πίνακας (6.15) απεικονίζει τις επιλογές που ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος ΣΚ των δυο επιλογών.

	Κύκλωμα συνεχούς ρεύματος/μολύβδου-οξέως	Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος/νικελίου-καδμίου
Αριθμός συστοιχιών που ελαχιστοποιούν το ΣΚ	1, 2, 3, 5, 6	1, 2, 4, 8
Ελάχιστο ΣΚ σε δραχμές	889.755	1.954.415

Πίνακας 6.15 Αριθμός συστοιχιών που ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος ΣΚ.

Με επιλογή 1 συστοιχίας για το κύκλωμα του συνεχούς ρεύματος συνεπάγεται ότι η φόρτιση των συσσωρευτών θα πραγματοποιηθεί περισσότερες από 1 φορές την ημέρα. Εξαιτίας του ότι οι συσσωρευτές απαιτούν πολλές ώρες μέχρι την πλήρη φόρτισή τους, το όχημα θα παραμένει ανενεργό κατά τη διάρκεια της επαναφόρτισης, γεγονός ανεπιθύμητο για όχημα μεταφορών. Η τοποθέτηση 2 συστοιχιών προβάλλεται ως ιδανικότερη, καθώς το όχημα θα φορτίζεται λιγότερο από 1 φορά την ημέρα και την ίδια στιγμή δεν θα υπάρξει υπερβολική-ανεπιθύμητη αύξηση του βάρους.

Με τον ίδιο τρόπο, η επιλογή τοποθέτησης 1 συστοιχίας συσσωρευτών στο όχημα με κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος θα προκαλέσει ανάλογο πρόβλημα στη

λειτουργικότητα του οχήματος, καθιστώντας το ανεπιθύμητο για την πραγματοποίηση μεταφορών. Στην περίπτωση αυτή, όπου η αμέσως φθηνότερη επιλογή είναι η τοποθέτηση 2, 4 ή 8 συστοιχιών, **προτιμάται η χρήση 2 συστοιχιών (16 kg)** ώστε το όχημα να φορτίζεται λιγότερο από 1 φορά την ημέρα.

Ο ακόλουθος Πίνακας (6.16) απεικονίζει τον προτιμώμενο αριθμό των χρησιμοποιούμενων συστοιχιών, με το αντίστοιχο συνολικό κόστος ΣΚ.

	Κύκλωμα συνεχούς ρεύματος/μολύβδου-οξέως	Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος/νικελίου-καδμίου
Βέλτιστος αριθμός τοποθετημένων συστοιχιών	2	2
Συνολικό κόστος ΣΚ σε δραχμές	889.755	1.954.415

Πίνακας 6.16 Προτιμώμενος αριθμός τοποθετημένων συστοιχιών και συνολικό κόστος ΣΚ.

6.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ

Η μέση κατανάλωση του βενζινοκίνητου GYRO-X σύμφωνα με τα κατασκευαστικά δεδομένα του οχήματος είναι 3,5 lt / 100 km, με βάση τον ευρωπαϊκό κύκλο οδήγησης. Η ημερήσια κατανάλωση (για την κάλυψη απόστασης 20 km) ισούται με 0,7 lt / 20 km. Κατά συνέπεια, **στη διάρκεια των 10 ετών καταναλώνει 2450 lt καυσίμου (βενζίνης).**

Το Συνολικό Κόστος Λειτουργίας του βενζινοκίνητου οχήματος, στη διάρκεια των 10 ετών, εξαρτάται αποκλειστικά από το κόστος επαναπλήρωσης του ρεζερβουάρ με καύσιμο, η αξία του οποίου κυμαίνεται γύρω στις 200 δρχ ανά λίτρο. Κατά συνέπεια, το Συνολικό Κόστος Λειτουργίας **ΣΚΛ** ισούται με:

$$\text{ΣΚΛ} = (2450 \text{ lt}) \cdot \left(200 \frac{\text{δρχ}}{\text{lt}} \right) = 490.000 \text{ δρχ}$$

Στον υπολογισμό του **ΣΚΛ** δεν έχουν ληφθεί υπόψιν παράγοντες οι οποίοι αυξάνουν το λειτουργικό κόστος ενός βενζινοκίνητου οχήματος, όπως απαιτήσεις συντήρησης (λίπανση, service) καθώς και αυξημένες φθορές στα διάφορα συστήματα του οχήματος.

Αντίθετα, το Συνολικό Κόστος Λειτουργίας **ΣΚΛ** του ηλεκτροκίνητου οχήματος εξαρτάται από το Κόστος Επαναφόρτισης των Συσσωρευτών **ΚΕΣ** και το Κόστος Αγοράς και Αντικατάστασης των Συσσωρευτών **ΚΑΑΣ**. Κατά συνέπεια, το **ΣΚΛ** του οχήματος με το κύκλωμα Συνεχούς Ρεύματος / Μολύβδου-Οξέως, για τις 2 τοποθετημένες συστοιχίες, ισούται με:

$$\text{ΣΚΛ} = \text{ΚΕΣ} + \text{ΚΑΑΣ} = 29.355 \text{ δρχ} + 302.400 \text{ δρχ} = 331.755 \text{ δρχ}$$

Το **ΣΚΛ** του οχήματος με κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος/νικελίου-καδμίου, για τις 7 τοποθετημένες συστοιχίες, ισούται με:

$$\Sigma\text{ΚΛ} = \text{ΚΕΣ} + \text{ΚΑΑΣ} = 26.415 \text{ δρχ} + 672.000 \text{ δρχ} = 698.415 \text{ δρχ}$$

Ο ακόλουθος Πίνακας (6.17) εμφανίζει το ΣΚΛ των δυο οχημάτων.

	Ηλεκτροκίνητο / μολύβδου - οξέως	Βενζινοκίνητο	Ηλεκτροκίνητο / νικελίου-καδμίου
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας της 10ετίας σε δρχ	331.755	490.000	698.415

Πίνακας 6.17 Συνολικό Κόστος Λειτουργίας του ηλεκτροκίνητου και βενζινοκίνητου οχήματος.

Προφανές είναι ότι το ηλεκτροκίνητο όχημα με το κύκλωμα συνεχούς ρεύματος έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος λειτουργίας τόσο από το ηλεκτρικό-εναλλασσόμενου κυκλώματος όχημα, όσο και από το βενζινοκίνητο.

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**7.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

Το συγκεκριμένο όχημα για την πέδηση δε χρησιμοποιεί υδραυλικά ή πνευματικά συστήματα. Η πέδηση πραγματοποιείται με τη χρήση σύρματος (νίτζα), κατά συνέπεια δεν είναι απαραίτητη η δαπάνη επιπλέον ενέργειας για τη λειτουργία τέτοιου είδους συστημάτων.

Για τη λειτουργία των περιφερειακών συστημάτων του οχήματος (όπως προβολείς, φλας, κόρνα κλπ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα DC-DC converter, το οποίο μειώνει την τάση των συσσωρευτών σε 12 V. Η τιμή ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται γύρω στις 100.000 δρχ και πιθανή τοποθέτησή του συνεπάγεται την αύξηση του κόστους καθώς και βάρους του οχήματος (κατά 2 περίπου κιλά).

Το ακόλουθο Σχήμα (7.1) απεικονίζει ένα DC-DC Converter της εταιρίας ELECTRO AUTOMOTIVE.



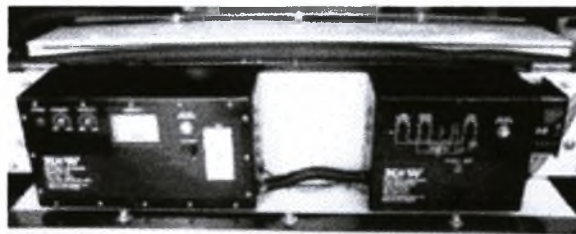
Σχήμα 7.1 Ένα DC-DC converter της εταιρίας ELECTRO AUTOMOTIVE.

Η χρήση γεννήτριας για την προσφορά του επιπλέον ρεύματος στα βοηθητικά εξαρτήματα δεν συνίσταται, καθώς μειώνεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης, αυξάνει κατά πολύ το βάρος, το κόστος αλλά και τις απώλειες του κυκλώματος. Το ρεύμα μπορεί να δωθεί από τους συσσωρευτές, οι οποίοι λόγω της κατασκευής τους (deep cycle) μπορούν να λειτουργήσουν και ως starting, που ως γνωστόν οι starting συσσωρευτές απαιτούν υψηλότερες τιμές ρεύματος για μικρότερα χρονικά διαστήματα.

Ακόμα, χρήσιμη θα μπορούσε να αποδειχθεί η τοποθέτηση μετρητή Ah, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της ενέργειας η οποία είναι ακόμα διαθέσιμη από τους συσσωρευτές. Ο μετρητής αυτός χρησιμεύει και στον υπολογισμό της ενέργειας που υπολείπεται ώστε να φορτιστούν πλήρως οι συσσωρευτές. Το βάρος του υπολογίζεται γύρω στο 0,5 Kgr ενώ η τιμή του γύρω στις 80.000 δραχμές.

Επίσης, επιθυμητή είναι και η τοποθέτηση φορτιστή εντός του οχήματος. Ο ρόλος του φορτιστή είναι καθοριστικός στη λειτουργία ενός ηλεκτρικού οχήματος, καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση της συστοιχίας των συσσωρευτών. Οι σύγχρονοι φορτιστές έχουν την ικανότητα να μετρούν το % ποσοστό της φόρτισης των συσσωρευτών και να μειώνουν ή να αυξάνουν το ρεύμα προς τις συστοιχίες, ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της εξάτμισης, το οποίο μειώνει την απόδοση και διάρκεια ζωής τους. Οι φορτιστές προσφέρονται σε εκδόσεις διαφορετικών τάσεων εισόδου. Οι φορτιστές υψηλότερων τάσεων έχουν την ικανότητα ταχύτερης φόρτισης, αλλά είναι βαρύτεροι και καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο. Η χρησιμότητά τους είναι μεγαλύτερη όταν δεν τοποθετούνται εντός του οχήματος. Για την περίπτωση του GYRO-X, ως καλύτερη επιλογή προβάλλεται ένας φορτιστής χαμηλότερης τάσης (75 - 120 V), αν και η επιλογή μη τοποθέτησής του εντός του οχήματος δεν πρέπει να απορριφθεί, στην περίπτωση όπου η τελική μεταβολή βάρους είναι σημαντική. Το βάρος του κυμαίνεται από 4-8 Kgr και η τιμή του γύρω στις 750.000 δρχ.

Το ακόλουθο Σχήμα (7.2) απεικονίζει ένα φορτιστή της εταιρίας ELECTRO AUTOMOTIVE.



Σχήμα 7.2 Φορτιστής της εταιρίας ELECTRO AUTOMOTIVE.

Απαραίτητη είναι η τοποθέτηση συστήματος διακοπής της τροφοδοσίας (Circuit Breaker), το οποίο ενεργοποιείται όταν η τιμή του ρεύματος ξεπεράσει κάποια συγκεκριμένη τιμή. Το βάρος του είναι γύρω στο 0,5 Kgr .

Το ακόλουθο Σχήμα (7.3) απεικονίζει διακόπτη της τροφοδοσίας της εταιρίας ELECTRO AUTOMOTIVE.

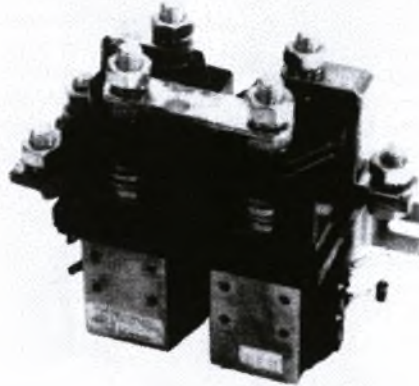


Σχήμα 7.3 Διακόπτης τροφοδοσίας της εταιρίας ELECTRO AUTOMOTIVE.

Για την περίπτωση κατά την οποία επιθυμείται η αναστροφή της κίνησης (όπισθεν), τοποθετείται ένας Reversing Contactor. Ο reversing contactor

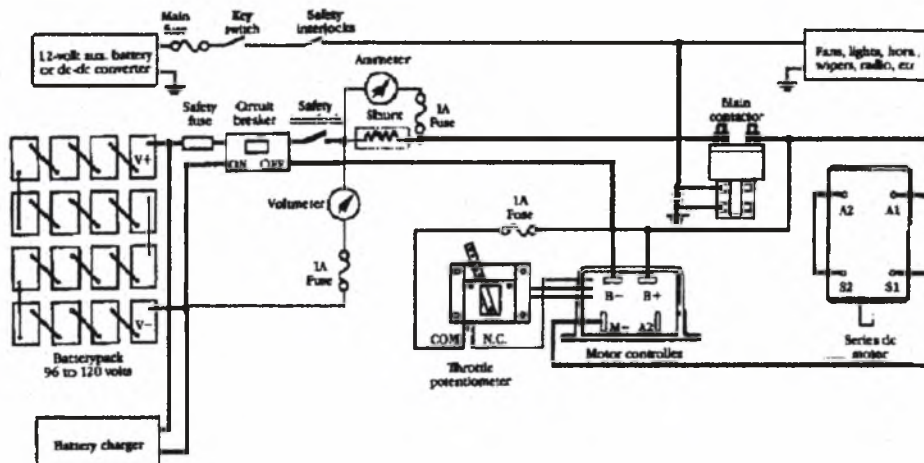
αναστρέφει το ρεύμα του τυλίγματος του πεδίου του DC κινητήρα, ώστε να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή κίνηση.

Το ακόλουθο Σχήμα (7.4) απεικονίζει έναν reversing contactor.



Σχήμα 7.4 Reversing contactor. [2]

Το ακόλουθο Σχήμα (7.5) απεικονίζει τυπική συνδεσμολογία μεταξύ των κυρίων μερών ενός ηλεκτρικού οχήματος και του ηλεκτρολογικού συστήματος, το οποίο αποτελείται από το main contactor, reversing contactor, circuit breaker, throttle potentiometer, βοηθητικό ρελέ, αμπερόμετρο, βολτάμετρο, DC-DC converter, battery charger, controller καθώς και άλλα συστήματα.



Σχήμα 7.5 Τυπική συνδεσμολογία μεταξύ των κυρίων μερών ενός ηλεκτρικού οχήματος

7.2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Το ηλεκτρικό όχημα, λόγω του αυξημένου βάρους εξαιτίας της τοποθέτησης της συστοιχίας των συσσωρευτών, πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε η επιπλέον αύξηση του βάρους να μην μειώνει σημαντικά το ωφέλιμο φορτίο.

Η μετατροπή του βενζινοκίνητου GYRO-X συνεπάγεται την αφαίρεση του βενζινοκινητήρα, της δεξαμενής καυσίμου, και άλλων μικρότερων εξαρτημάτων, τα οποία ζυγίζουν συνολικά 20 Kgr. Βασική προϋπόθεση για την ελάττωση του βάρους είναι η αφαίρεση πολλών καλυμμάτων και αξεσουάρ (όπως φτερά των τροχών και αεροδυναμικά βοηθήματα), τα οποία αυξάνουν τον αεροδυναμικό

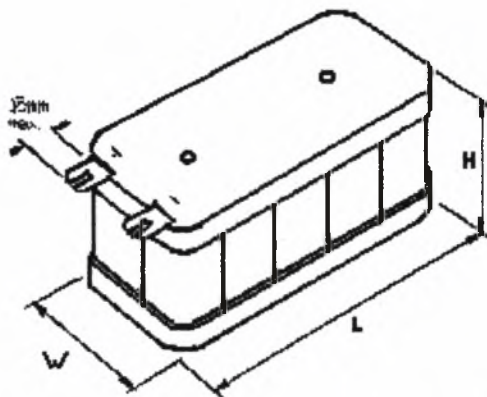
συντελεστή, αλλά λόγω του ότι το όχημα δεν αναπτύσσει υψηλές ταχύτητες κατά την κίνησή του εντός αστικού περιβάλλοντος, η αεροδυναμική δύναμη αντίστασης δεν μεταβάλλεται σημαντικά.

Για τη μετατροπή του οχήματος απαραίτητη είναι η ασφαλής τοποθέτηση της συστοιχίας των συσσωρευτών. Στο GYRO-X, ως ιδανική θέση προβάλλεται ο χώρος επάνω από τον άξονα της κίνησης, ο οποίος, όμως, προορίζεται για τη μεταφορά των δεμάτων. Στη θέση αυτή, θα τοποθετηθεί ειδικό μεταλλικό πλέγμα, εντός του οποίου θα ασφαλιστούν οι συσσωρευτές, ώστε να αποτραπεί μετακίνησή τους κατά την κίνηση του οχήματος.

Λόγω του αυξημένου κατακόρυφου φορτίου στον άξονα της κίνησης, πιθανή είναι η αλλαγή της οδικής συμπεριφοράς του οχήματος. Συγκεκριμένα, η θέση των συσσωρευτών μεγαλώνει την απόσταση του κέντρου βάρους του οχήματος από το έδαφος, με αποτέλεσμα αστάθεια του οχήματος σε υψηλές ταχύτητες κίνησης. Συγχρόνως, οι στρεπτικές και καμπικές ροπές που αναπτύσσονται στο μεταλλικό πλέγμα κατά την πλαγιοπορεία, μπορούν να μεταβάλουν τη συμπεριφορά κατά την κίνηση σε κυκλική τροχιά με αποτέλεσμα την απότομη αντίδραση κατά την αλλαγή πορείας. Ως λύση για το πρόβλημα αυτό μπορεί να αποδειχθεί η ενίσχυση του μεταλλικού δικτυώματος με εγκάρσιες ράβδους, οι οποίες θα οδηγούν σε μικρότερες γωνίες στρέψης και κάμψης. Βέβαια, το αυξημένο κατακόρυφο φορτίο στον άξονα της κίνησης οδηγεί σε αύξησης της τιμής της πρόσφυσης.

Όσον αφορά τη σύνδεση των συσσωρευτών (επιλογή συστοιχιών 12V) μεταξύ τους, αυτή θα πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε η τάση στα άκρα τους να ισούται με την τάση λειτουργίας του κινητήρα (24V). Κατά συνέπεια, θα πρέπει να συνδεθούν 2 συστοιχίες σε σειρά και οι υπόλοιπες παράλληλα (στην περίπτωση του GYRO-X ο αριθμός των συστοιχιών είναι μόνο 2, οπότε δεν θα υπάρξει παράλληλη σύνδεση κάποιων από αυτών μεταξύ τους).

Οι διαστάσεις των επιλεγμένων συσσωρευτών προκύπτουν από τα κατασκευαστικά δεδομένα των εταιριών. Οι βασικές τους διαστάσεις (μήκος L-πλάτος W-ύψος H) παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα (7.5).



Σχήμα (7.5) Βασικές διαστάσεις συσσωρευτή.

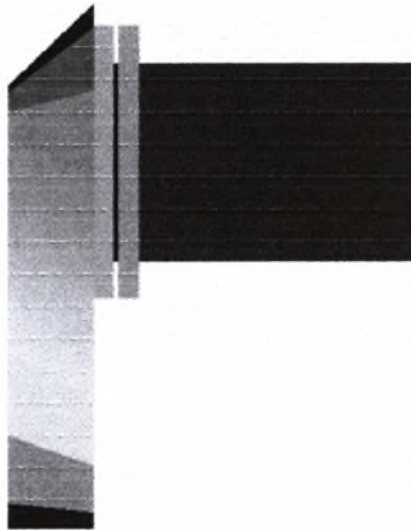
7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Ο ακόλουθος Πίνακας (7.1) παρουσιάζει τις διαστάσεις των δυο τύπων, για συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέως της εταιρίας LIFELINE και Νικελίου-Καδμίου της εταιρίας SAFT.

Τύπος	Μήκος L (mm)	Πλάτος W (mm)	Ύψος H (mm)	Βάρος (Κgr)
Μολύβδου-Οξέως	195	132	183	12
Νικελίου-Καδμίου	212	88	96	8

Πίνακας 7.1 Βασικές διαστάσεις των δυο τύπων συσσωρευτών.

Ο επιλεγμένος επαγωγικός κινητήρας συνδέεται με το μειωτήρα (κιβώτιο ταχυτήτων) όπως εμφανίζεται στο ακόλουθο Σχήμα (7.6)



Σχήμα 7.6 Σύνδεση κινητήρα και μειωτήρα στο ηλεκτροκίνητο GYRO-X.

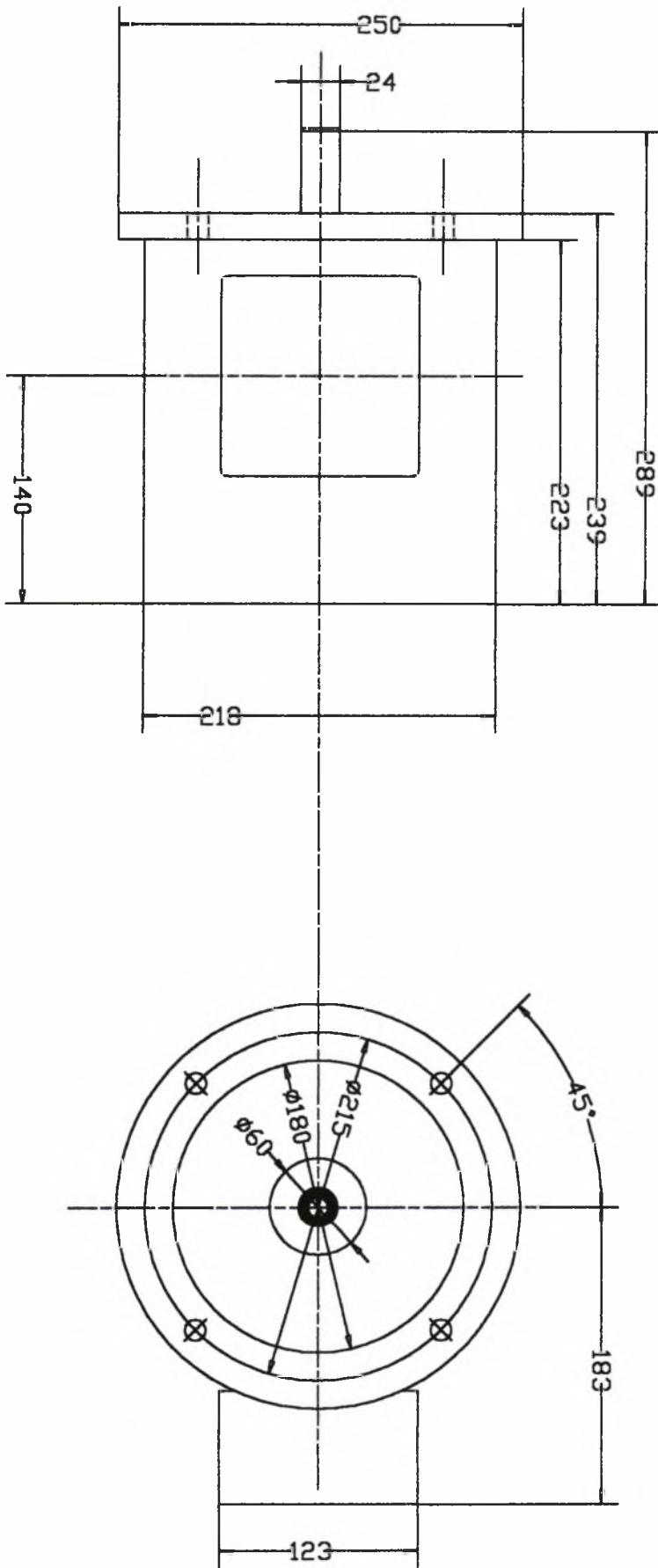
Ο μειωτήρας είναι σχεδιασμένος ώστε να συνδέεται απευθείας με το διαφορικό του οχήματος.

Το Σχήμα (7.7) παρουσιάζει το μηχανολογικό σχέδιο του επαγωγικού κινητήρα που θα τοποθετηθεί στο όχημα GYRO-X κατά τη μετατροπή του από βενζινοκίνητο σε ηλεκτροκίνητο.

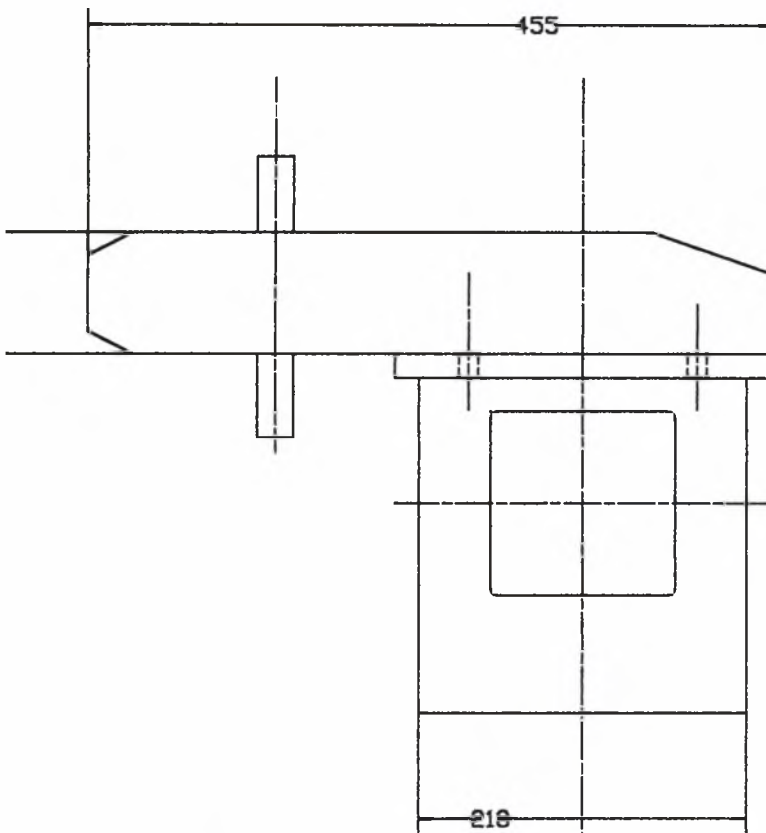
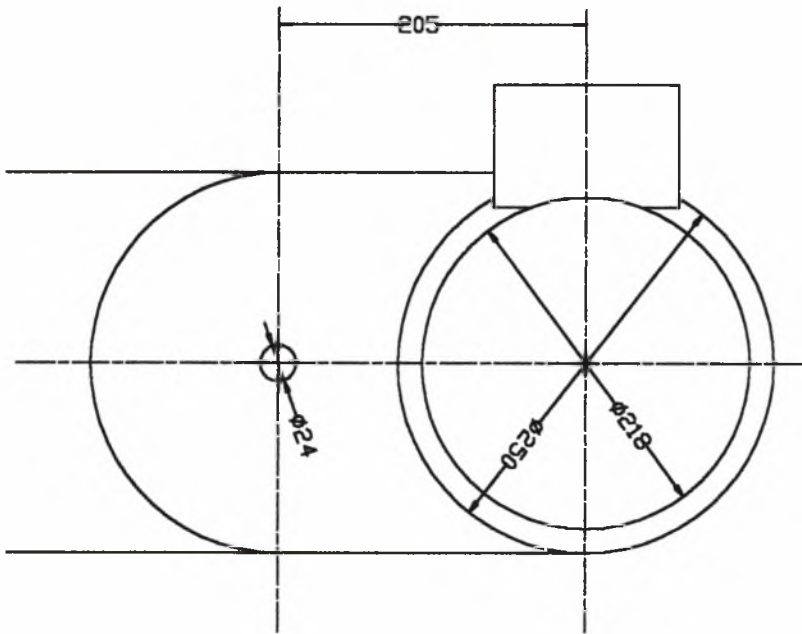
Το Σχήμα (7.8) παρουσιάζει το μηχανολογικό σχέδιο του συστήματος ηλεκτροκινητήρα-μειωτήρα που θα τοποθετηθεί στο όχημα.

Το Σχήμα (7.9) παρουσιάζει το μηχανολογικό σχέδιο του κινητήρα συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη, που θα τοποθετηθεί στο GYRO-X.

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

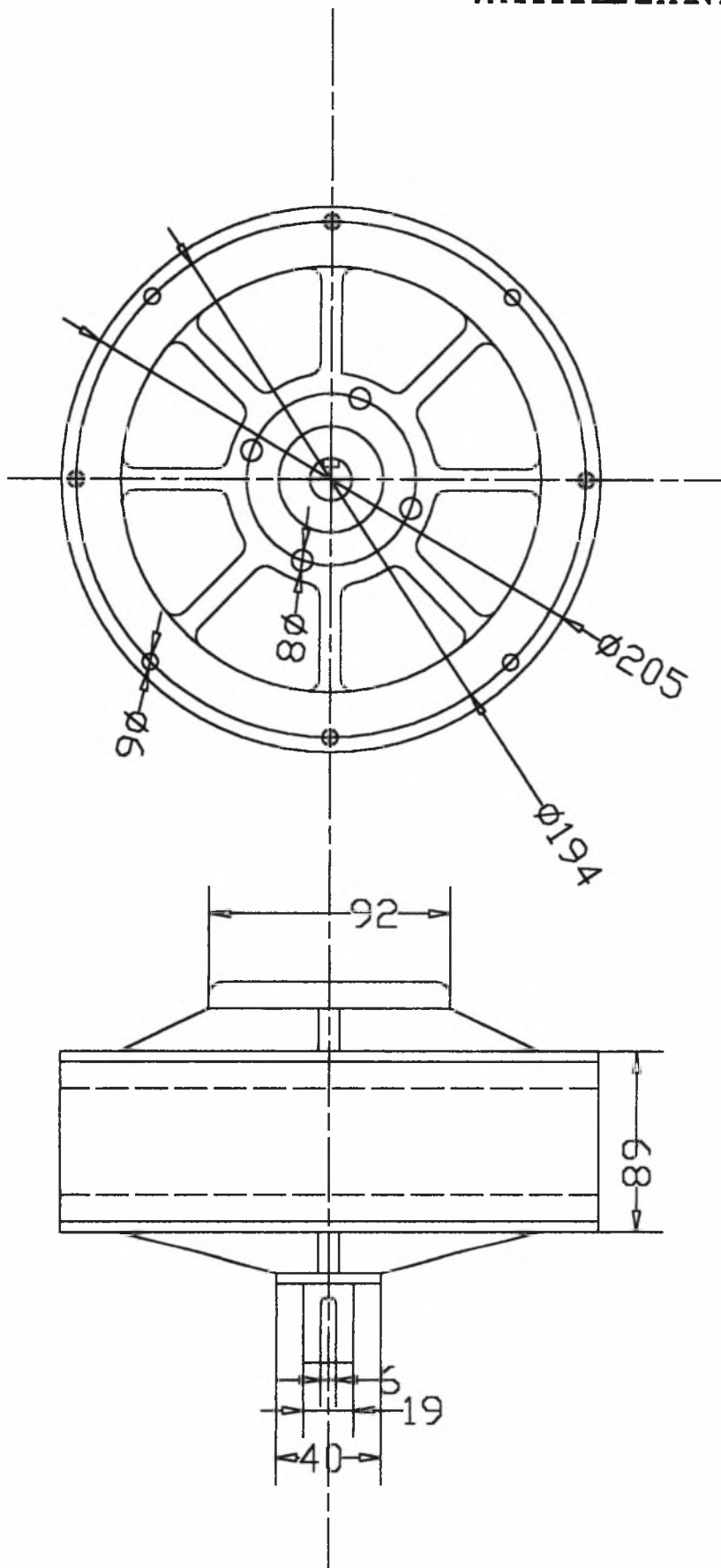


Σχήμα 7.7 Βασικές διαστάσεις του επαγωγικού κινητήρα που θα τοποθετηθεί στο όχημα
7-6



Σχήμα 7.8 Βασικές διαστάσεις του συστήματος ηλεκτροκινητήρα-μεικτήρα που θα τοποθετηθεί στο άκμα

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ



Σχήμα 7.9 Βασικές διαστάσεις του κινητήρα συνεχούς ρεύματος μονίμου μαγνήτη

7.3 ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ

Από τους υπολογισμούς του ετήσιου κόστους προέκυψε ότι η επιλογή η οποία ελαχιστοποιεί το κόστος στην περίπτωση του συνεχούς και του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η χρήση 7 και 1 συστοιχιών μολύβδου και νικελίου αντίστοιχα. Με βάση το στοιχείο αυτό, είναι πλέον δυνατόν ο υπολογισμός της τελικής μεταβολής του βάρους του οχήματος.

Ο Πίνακας (7.2) που ακολουθεί παρουσιάζει την τελική αύξηση βάρους, για κάθε κύκλωμα.

	<i>Κύκλωμα συνεχούς ρεύματος</i>	<i>Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος</i>
<i>Μείωση βάρους από αφαίρεση ΜΕΚ και λοιπών εξαρτημάτων σε kgr</i>	-20	-20
<i>Αύξηση βάρους λόγω τοποθέτησης νέου κινητήρα σε kgr</i>	+12,5	+25
<i>Αύξηση λόγω συσσωρευτών σε kgr</i>	+24	+16
<i>Αύξηση λόγω τοποθέτησης συστήματος ελέγχου σε kgr</i>	+1,6	+9,6
Τελική μεταβολή βάρους σε kgr	+ 18,1	+ 30,6

Πίνακας 7.2 Τελική μεταβολή βάρους

Παρατηρούμε ότι στο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, παρόλη τη χρήση των εξελιγμένων συσσωρευτών Νικελίου-Καδμίου η τελική μεταβολή βάρους είναι αρκετά σημαντική. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο αυξημένο βάρος του κινητήρα και του συστήματος ελέγχου. Η τελική μεταβολή του βάρους μπορεί να επηρεάσει την τελική μεταβολή του μηχανικού, σε περιπτώσεις όπου δεν είναι επιθυμητή η σημαντική μείωση του ωφέλιμου φορτίου.

7.4. ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Οι επιδόσεις της κατασκευής υπολογίζονται με βάση το διάγραμμα των ελκτικών δυνάμεων. Το διάγραμμα αυτό προκύπτει από τις καμπύλες των δυνάμεων αντίστασης στην κίνηση F_g και της ελκτικής δύναμης F_z που προκύπτει από τον κινητήρα και εφαρμόζεται στους τροχούς.

Η ελκτική δύναμη F_z στους τροχούς δίνεται από την Εξίσωση (7.1).

$$F_z = \frac{\eta_o \cdot M_m \cdot i_g \cdot i_D}{r_d} \quad (7.1)$$

<i>Σταθερά</i>	<i>Εναλλασσόμενος κινητήρας</i>	<i>Κινητήρας συνεχούς ρεύματος</i>
<i>Μηχανικός βαθμός απόδοσης η_o</i>	0,8	0,8
<i>Γινόμενο $i_g \cdot i_D$</i>	10	1,5
<i>Ακτίνα τροχού r_D σε m</i>	0,2	0,2

Πίνακας 7.3 Τιμές των σταθερών.

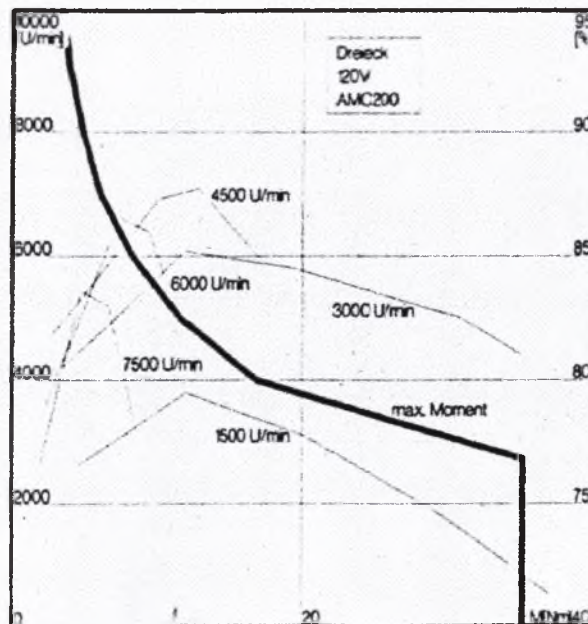
Η διαθέσιμη δύναμη για επιτάχυνση δίνεται από την Εξίσωση (7.2).

$$F_{zd} = F_z - F_g \quad (7.2)$$

Η δύναμη αυτή προκαλεί την επιτάχυνση του οχήματος. Η δύναμη αντίστασης στην κίνηση προκύπτει από τις γνωστές Εξισώσεις (3.1) ως και (3.4) και υπολογίζεται για κίνηση του οχήματος με σταθερή ταχύτητα σε επίπεδο οδόστρωμα.

7.4.1 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Με βάση το διάγραμμα ροπής-περιστροφικής ταχύτητας του κινητήρα μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της ροπής M_m σε οποιοδήποτε περιστροφική ταχύτητα. Το διάγραμμα αυτό, για τον επιλεγμένο κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το ακόλουθο, του Σχήματος (7.10).



Σχήμα 7.10 Καμπύλη ροπής του επαγωγικού κινητήρα. [10]

Η εξίσωση η οποία περιγράφει την καμπύλη της ροπής (για την περιοχή όπου η ροπή αρχίζει να μειώνεται, δηλαδή γύρω στις 2500 rpm) δίνεται από την Εξίσωση (7.3).

$$M_m = -0,1915517345 \cdot 10^{-16} \cdot (\text{rpm})^5 + 0,6057811669 \cdot 10^{-12} \cdot (\text{rpm})^4 - 0,7702447708 \cdot 10^{-8} \cdot (\text{rpm})^3 + 0,4980401854 \cdot 10^{-4} \cdot (\text{rpm})^2 - 0,1676030006 \cdot (\text{rpm}) + 248,3131372 \quad (7.3)$$

Με βάση τον τύπο αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός της ροπής M_m του κινητήρα, για οποιαδήποτε τιμή της περιστροφικής ταχύτητας.

Η διαθέσιμη επιτάχυνση δίνεται από την Εξίσωση (7.4).

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

$$a_{MAX} = \frac{F_{zd}}{e_i \cdot m_F + m_L} = \frac{F_z - F_g}{e_i \cdot m_F + m_L} \quad (7.4)$$

Ο Πίνακας (7.4) που ακολουθεί απεικονίζει τις τιμές της ροπής M_m του κινητήρα, τη διαθέσιμη δύναμη F_z για επιτάχυνση καθώς και την τιμή της δύναμης αντίστασης F_g για κίνηση του οχήματος με σταθερή ταχύτητα. Η ταχύτητα του οχήματος U προκύπτει από την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα από την Εξίσωση (7.5).

$$U = \frac{2 \cdot \pi \cdot (rpm)}{i_g \cdot i_D} \cdot r_D \quad (7.5)$$

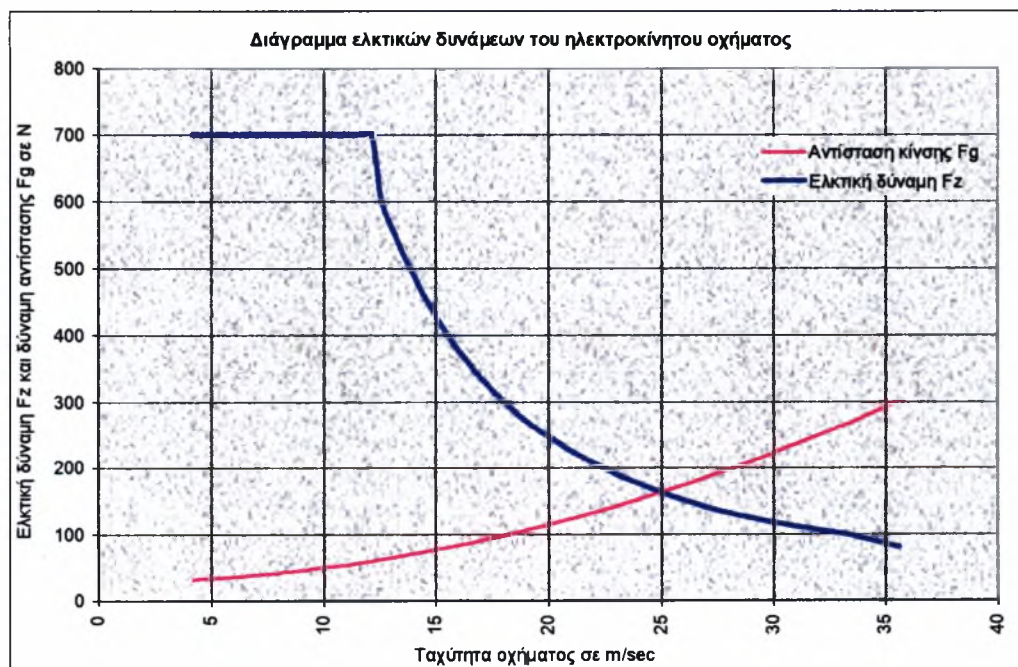
Στροφές κινητήρα σε rpm	Ροπή κινητήρα M_m σε Nm	Ελκτική F_z στους τροχούς σε N	Ταχύτητα U οχήματος σε m/sec	Αντίσταση F_g στην κίνηση σε N	Δυνατότητα επιτάχυνσης a_{MAX} σε m/sec ²
1000	35,00	700,00	4,19	31,87	2,96
1100	35,00	700,00	4,61	32,66	2,96
1200	35,00	700,00	5,03	33,53	2,96
1300	35,00	700,00	5,45	34,48	2,95
1400	35,00	700,00	5,86	35,51	2,95
1500	35,00	700,00	6,28	36,60	2,94
1600	35,00	700,00	6,70	37,78	2,94
1700	35,00	700,00	7,12	39,03	2,93
1800	35,00	700,00	7,54	40,36	2,93
1900	35,00	700,00	7,96	41,76	2,92
2000	35,00	700,00	8,38	43,24	2,91
2100	35,00	700,00	8,80	44,79	2,91
2200	35,00	700,00	9,22	46,42	2,90
2300	35,00	700,00	9,63	48,13	2,89
2400	35,00	700,00	10,05	49,91	2,88
2500	35,00	700,00	10,47	51,76	2,88
2600	35,00	700,00	10,89	53,70	2,87
2700	35,00	700,00	11,31	55,71	2,86
2800	35,00	700,00	11,73	57,79	2,85
2900	35,00	700,00	12,15	59,95	2,84
3000	30,19	603,76	12,57	62,19	2,40
3100	28,36	567,16	12,99	64,50	2,23
3200	26,68	533,52	13,40	66,89	2,07
3300	25,13	502,61	13,82	69,35	1,92
3400	23,71	474,20	14,24	71,89	1,78
3500	22,40	448,08	14,66	74,50	1,66
3600	21,20	424,05	15,08	77,19	1,54
3700	20,10	401,94	15,50	79,96	1,43
3800	19,08	381,58	15,92	82,80	1,33
3900	18,14	362,81	16,34	85,72	1,23
4000	17,27	345,48	16,76	88,72	1,14
4100	16,47	329,46	17,17	91,79	1,05
4200	15,73	314,62	17,59	94,93	0,97
4300	15,04	300,86	18,01	98,15	0,90
4400	14,40	288,06	18,43	101,45	0,83

4500	13,81	276,14	18,85	104,82	0,76
4600	13,25	265,00	19,27	108,27	0,70
4700	12,73	254,58	19,69	111,80	0,63
4800	12,24	244,80	20,11	115,40	0,57
4900	11,78	235,60	20,53	119,07	0,52
5000	11,35	226,92	20,94	122,83	0,46
5100	10,94	218,72	21,36	126,65	0,41
5200	10,55	210,95	21,78	130,56	0,36
5300	10,18	203,58	22,20	134,54	0,31
5400	9,83	196,58	22,62	138,59	0,26
5500	9,50	189,92	23,04	142,72	0,21
5600	9,18	183,58	23,46	146,93	0,16
5700	8,88	177,53	23,88	151,21	0,12
5800	8,59	171,77	24,29	155,57	0,07
5900	8,31	166,28	24,71	160,00	0,03
6000	8,05	161,06	25,13	164,51	-0,02
6100	7,80	156,08	25,55	169,10	-0,06

Πίνακας 7.4 Τιμές της ροπής M_m του κινητήρα, της ελκτικής δύναμης F_z , της δύναμης αντίστασης F_g και της διαθέσιμης επιτάχυνσης a_{MAX} .

Από τον πίνακα αυτόν είναι φανερό ότι το όχημα δεν έχει τη δυνατότητα να κινηθεί με ταχύτητες υψηλότερες των 24,71 m/sec (89 Km/h), καθώς οι δυνάμεις αντιστάσεων ισούνται με την ελκτική δύναμη.

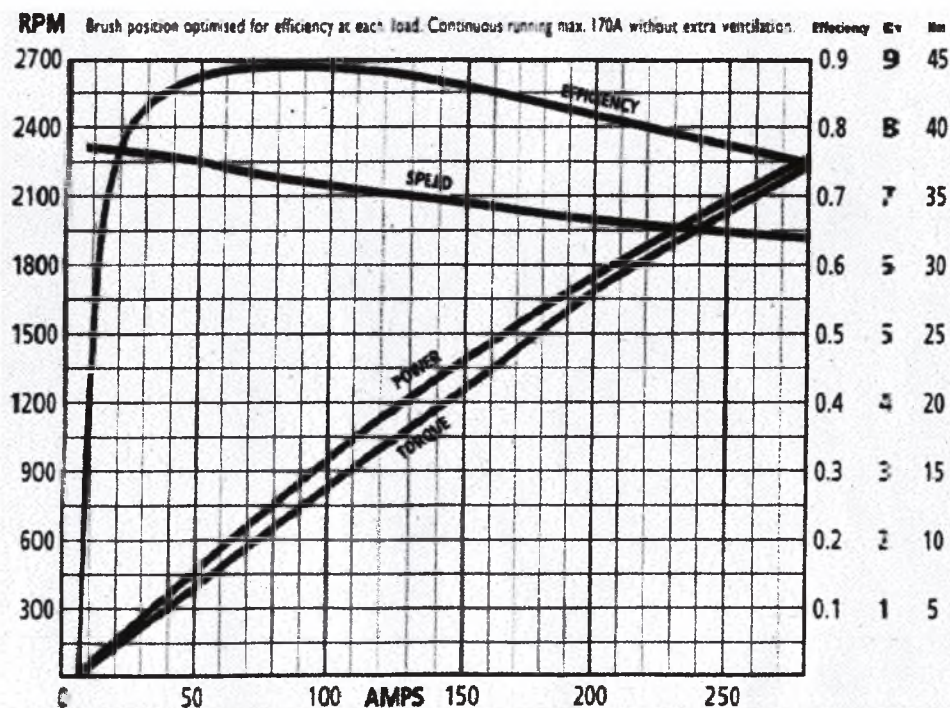
Το Σχήμα (7.11) απεικονίζει το διάγραμμα ελκτικών δυνάμεων του ηλεκτροκίνητου οχήματος, με επαγωγικό κινητήρα.



Σχήμα 7.11 Διάγραμμα ελκτικών δυνάμεων του ηλεκτροκίνητου οχήματος, με επαγωγικό κινητήρα.

7.4.2 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η καμπύλη της ροπής-περιστροφικής ταχύτητας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος δίνεται στο Σχήμα (7.12).



Σχήμα 7.12 Καμπύλη της ροπής-περιστροφικής ταχύτητας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος. [10]

Η εξίσωση της ροπής δίνεται από την Εξίσωση (7.6).

$$M_m = 0,016 \cdot (\text{rpm}) \quad (7.6)$$

Ο Πίνακας (7.5) απεικονίζει τις τιμές της ροπής M_m του κινητήρα, της ελκτικής δύναμης F_z , της αντίστασης F_g και της ταχύτητας U του οχήματος.

Στροφές κινητήρα σε rpm	Ροπή κινητήρα M_m σε Nm	Ελκτική δύναμη F_z σε N	Ταχύτητα οχήματος σε m/sec	Αντίσταση κίνησης F_g σε N
0	0	0	0,00	28,08
50	0,8	2,4	0,41	28,11
100	1,6	4,8	0,82	28,22
150	2,4	7,2	1,23	28,40
200	3,2	9,6	1,64	28,66
250	4	12	2,05	28,98
300	4,8	14,4	2,45	29,38
350	5,6	16,8	2,86	29,85
400	6,4	19,2	3,27	30,39
450	7,2	21,6	3,68	31,00
500	8	24	4,09	31,69

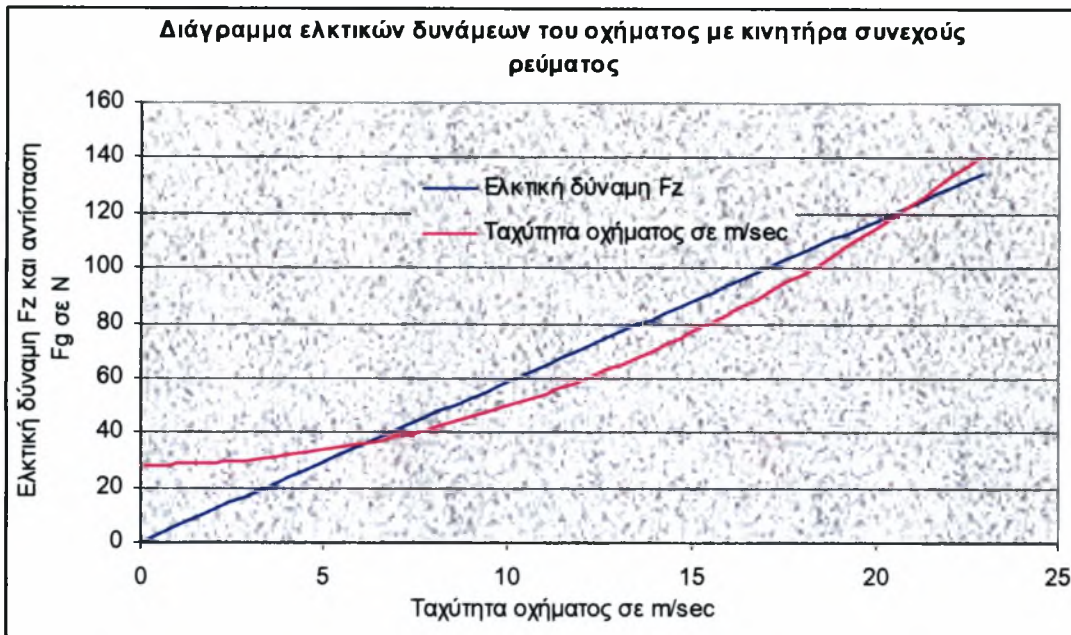
7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

550	8,8	26,4	4,50	32,45
600	9,6	28,8	4,91	33,28
650	10,4	31,2	5,32	34,19
700	11,2	33,6	5,73	35,16
750	12	36	6,14	36,21
800	12,8	38,4	6,54	37,33
850	13,6	40,8	6,95	38,52
900	14,4	43,2	7,36	39,79
950	15,2	45,6	7,77	41,12
1000	16	48	8,18	42,53
1050	16,8	50,4	8,59	44,02
1100	17,6	52,8	9,00	45,57
1150	18,4	55,2	9,41	47,20
1200	19,2	57,6	9,82	48,90
1250	20	60	10,23	50,67
1300	20,8	62,4	10,64	52,51
1350	21,6	64,8	11,04	54,43
1400	22,4	67,2	11,45	56,41
1450	23,2	69,6	11,86	58,47
1500	24	72	12,27	60,61
1550	24,8	74,4	12,68	62,81
1600	25,6	76,8	13,09	65,09
1650	26,4	79,2	13,50	67,44
1700	27,2	81,6	13,91	69,86
1750	28	84	14,32	72,35
1800	28,8	86,4	14,73	74,92
1850	29,6	88,8	15,14	77,56
1900	30,4	91,2	15,54	80,27
1950	31,2	93,6	15,95	83,05
2000	32	96	16,36	85,91
2050	32,8	98,4	16,77	88,83
2100	33,6	100,8	17,18	91,83
2150	34,4	103,2	17,59	94,91
2200	35,2	105,6	18,00	98,05
2250	36	108	18,41	101,27
2300	36,8	110,4	18,82	104,56
2350	37,6	112,8	19,23	107,92
2400	38,4	115,2	19,63	111,35
2450	39,2	117,6	20,04	114,86
2500	40	120	20,45	118,44
2550	40,8	122,4	20,86	122,09
2600	41,6	124,8	21,27	125,81
2650	42,4	127,2	21,68	129,60
2700	43,2	129,6	22,09	133,47
2750	44	132	22,50	137,41
2800	44,8	134,4	22,91	141,42

Πίνακας 7.5 Διάγραμμα ελκτικών δυνάμεων του οχήματος με κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Το όχημα επιτυγχάνει τελική ταχύτητα ίση με 20 m/sec , δηλαδή 72 Km/h.

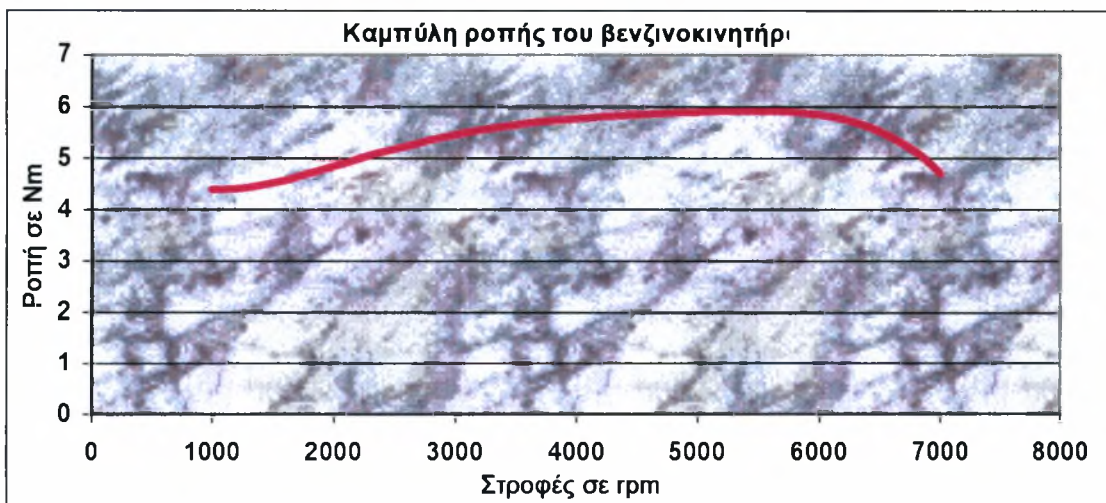
Το ακόλουθο Σχήμα (7.13) απεικονίζει το διάγραμμα των ελκτικών δυνάμεων του οχήματος με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα (7.13) Διάγραμμα ελκτικών δυνάμεων του οχήματος με κινητήρα συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη.

7.5 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Το διάγραμμα της ροπής σε σχέση με τις στροφές του βενζινοκινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα (7.14).



Σχήμα 7.14 Διάγραμμα ροπής M_m του βενζινοκινητήρα.

Οι συνολικές σχέσεις μετάδοσης (κιβώτιο ταχυτήτων και διαφορικό) του βενζινοκίνητου οχήματος δίδονται στον Πίνακα (7.6).

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Επιλεγμένη σχέση μετάδοσης	1(n)	2(n)	3(n)	4(n)
Τελική τιμή σχέσης μετάδοσης	14,5	12,8	11,32	10,02

Πίνακας 7.6 Συνολικές σχέσεις μετάδοσης (κιβώτιο ταχυτήτων και διαφορικό) για το βενζινοκίνητο όχημα.

Από το διάγραμμα της ροπής - στροφών κινητήρα προκύπτει η Εξίσωση (7.6), η οποία συσχετίζει τη ροπή με τις στροφές του βενζινοκινητήρα.

$$M_m = -0,6351259291 \cdot 10^{-17} \cdot (\text{rpm})^5 + 0,1212983183 \cdot 10^{-12} \cdot (\text{rpm})^4 - 0,8818631016 \cdot 10^{-9} \cdot (\text{rpm})^3 + 0,2919530733 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{rpm})^2 - 0,3768333591 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{rpm}) + 6,019389008 \quad (7.6)$$

Από την Εξίσωση (7.6) της ροπής-στροφών, τον Πίνακα (7.6) των σχέσεων μετάδοσης, την εξίσωση (7.1) για την ελκτική δύναμη και την Εξίσωση για την ταχύτητα του οχήματος, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας (7.7).

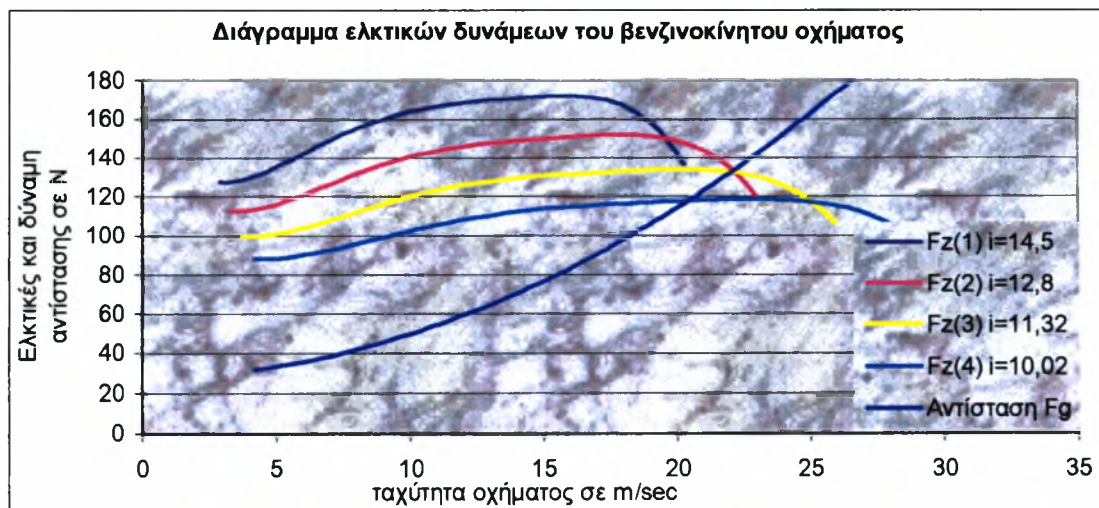
Στροφές κινητήρα σε rpm	Ροπή κινητήρα σε Nm	Fz(1) i=14,5 σε N	Fz(2) i=12,8 σε N	Fz(3) i=11,32 σε N	Fz(4) i=10,02 σε N	Αντίσταση Fg σε N	Ταχύτητα οχήματος σε m/sec
1000	4,404	127,706	112,734	99,699	88,250	31,852	4,180
1100	4,400	127,613	112,652	99,626	88,185	32,645	4,598
1200	4,413	127,988	112,982	99,919	88,444	33,513	5,017
1300	4,440	128,759	113,663	100,521	88,977	34,456	5,435
1400	4,478	129,862	114,637	101,382	89,739	35,476	5,853
1500	4,525	131,236	115,850	102,455	90,689	36,570	6,271
1600	4,580	132,828	117,255	103,698	91,789	37,741	6,689
1700	4,641	134,589	118,809	105,072	93,005	38,986	7,107
1800	4,706	136,473	120,473	106,543	94,308	40,307	7,525
1900	4,774	138,442	122,211	108,080	95,668	41,704	7,943
2000	4,843	140,461	123,993	109,656	97,063	43,176	8,361
2100	4,914	142,498	125,791	111,247	98,471	44,724	8,779
2200	4,984	144,526	127,582	112,830	99,873	46,347	9,197
2300	5,053	146,524	129,345	114,390	101,253	48,046	9,615
2400	5,120	148,470	131,064	115,909	102,598	49,820	10,033
2500	5,184	150,350	132,723	117,377	103,897	51,670	10,451
2600	5,247	152,150	134,312	118,782	105,141	53,595	10,869
2700	5,306	153,860	135,821	120,117	106,322	55,595	11,287
2800	5,361	155,472	137,245	121,376	107,437	57,672	11,705
2900	5,413	156,983	138,578	122,555	108,481	59,823	12,123
3000	5,462	158,388	139,819	123,652	109,452	62,050	12,541
3100	5,507	159,689	140,967	124,667	110,350	64,353	12,959
3200	5,548	160,885	142,022	125,601	111,177	66,731	13,377
3300	5,585	161,979	142,989	126,456	111,933	69,185	13,795
3400	5,620	162,977	143,869	127,234	112,623	71,714	14,213
3500	5,651	163,883	144,669	127,941	113,248	74,318	14,632
3600	5,679	164,703	145,393	128,582	113,815	76,999	15,050
3700	5,705	165,444	146,047	129,160	114,327	79,754	15,468
3800	5,728	166,114	146,639	129,684	114,791	82,585	15,886
3900	5,749	166,721	147,174	130,157	115,210	85,492	16,304
4000	5,768	167,272	147,660	130,587	115,590	88,474	16,722

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

4100	5,785	167,774	148,104	130,980	115,938	91,532	17,140
4200	5,801	168,236	148,512	131,340	116,257	94,665	17,558
4300	5,816	168,663	148,889	131,674	116,552	97,873	17,976
4400	5,830	169,062	149,241	131,985	116,828	101,157	18,394
4500	5,843	169,437	149,572	132,277	117,087	104,517	18,812
4600	5,855	169,790	149,884	132,554	117,331	107,952	19,230
4700	5,866	170,125	150,180	132,815	117,563	111,463	19,648
4800	5,877	170,442	150,459	133,062	117,781	115,049	20,066
4900	5,888	170,738	150,720	133,293	117,986	118,710	20,484
5000	5,897	171,009	150,960	133,505	118,173	122,447	20,902
5100	5,905	171,250	151,172	133,693	118,339	126,260	21,320
5200	5,912	171,451	151,349	133,850	118,478	130,148	21,738
5300	5,917	171,600	151,481	133,966	118,581	134,112	22,156
5400	5,920	171,683	151,554	134,031	118,639	138,151	22,574
5500	5,920	171,681	151,553	134,030	118,637	142,265	22,992
5600	5,916	171,573	151,458	133,945	118,563	146,455	23,410
5700	5,908	171,334	151,246	133,759	118,398	150,721	23,828
5800	5,894	170,934	150,893	133,446	118,121	155,062	24,246
5900	5,874	170,340	150,369	132,982	117,711	159,478	24,665
6000	5,845	169,513	149,639	132,337	117,140	163,970	25,083
6100	5,807	168,413	148,668	131,478	116,379	168,538	25,501
6200	5,758	166,991	147,413	130,368	115,397	173,181	25,919
6300	5,696	165,195	145,828	128,966	114,156	177,899	26,337
6400	5,620	162,968	143,862	127,228	112,617	182,693	26,755
6500	5,526	160,247	141,459	125,103	110,736	187,563	27,173
6600	5,412	156,962	138,560	122,539	108,466	192,508	27,591
6700	5,277	153,041	135,098	119,477	105,756	197,528	28,009
6800	5,117	148,400	131,002	115,854	102,550	202,624	28,427
6900	4,929	142,954	126,194	111,603	98,786	207,796	28,845
7000	4,711	136,609	120,593	106,649	94,402	213,043	29,263

Πίνακας 7.7 Τιμές της ροπής M_m του βενζινοκινητήρα, της αντίστασης κίνησης και των ελκτικών δυνάμεων με 1(η), 2(η), 3(η) και 4(η) ταχύτητα.

Το διάγραμμα των ελκτικών δυνάμεων σε σχέση με την ταχύτητα του οχήματος δίνεται στο Σχήμα (7.15).



Σχήμα 7.15 Διάγραμμα ελκτικών δυνάμεων του βενζινοκίνητου οχήματος.

7. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Από το Σχήμα (7.15) και τον Πίνακα (7.6) γίνεται εμφανές ότι η τελική ταχύτητα του βενζινοκίνητου οχήματος επιτυγχάνεται με την 3(η) ταχύτητα του κιβωτίου και ισούται (περίπου) με 22 m/sec, δηλαδή 79 Km/h.

Ο ακόλουθος Πίνακας (7.8) παρουσιάζει τις επιδόσεις των τριών οχημάτων.

Επιδόσεις	Ηλεκτρικό / Κινητήρας Εναλλασσόμενου Ρεύματος	Ηλεκτρικό / Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος	Βενζινοκίνητο
Τελική ταχύτητα σε km/h	89	72	79

Πίνακας 7.8 Σύγκριση επιδόσεων (τελική ταχύτητα) των τριών οχημάτων.

Ο λόγος για τον οποίο παρατηρούνται αποκλίσεις στις επιδόσεις οφείλεται στην επιλογή σχέσης μετάδοσης κάθε οχήματος. Για το ηλεκτρικό όχημα εναλλασσομένου κινητήρα, λόγω της μορφής της καμπύλης ροπής, επιλέχθηκε σχέση μετάδοσης (η οποία περιλαμβάνει και τη σχέση μετάδοσης του διαφορικού) ίση με 10. Για το ηλεκτρικό όχημα συνεχούς κινητήρα, επιλέχθηκε σχέση μετάδοσης ίση με 1,5. Για το λόγο αυτό, το ηλεκτρικό όχημα με εναλλασσόμενο κινητήρα επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη τελική ταχύτητα σε σχέση με τα δυο άλλα οχήματα.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μετατροπή οχημάτων σε ηλεκτροκίνητα αποτελεί ιδανική επιλογή για τα σύγχρονα αστικά κέντρα.

Βασικό πρόβλημα των κατοίκων των πόλεων αποτελεί η ολοένα αυξανόμενη ρύπανση της ατμόσφαιρας καθώς και η αύξηση των επιπέδων θορύβου, παράγοντες βασικοί για την ποιότητα ζωής του ατόμου. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από ειδικούς αποδεικνύουν ότι οι δυο αυτοί παράγοντες μόλυνσης (ατμοσφαιρικοί ρύποι καθώς και ηχορύπανση) επιδρούν αρνητικά στη συμπεριφορά του ανθρώπου, με προβλήματα τα οποία σε μακροπρόθεσμη κλίμακα μπορούν να αποβούν καθοριστικά για την σωματική, ψυχική και κοινωνική ασφάλεια.

Το ηλεκτρικό όχημα, λόγω της κατασκευαστικής του, έχει **μηδενική εκπομπή ρύπων, ελάχιστα επίπεδα θορύβου** (οφειλόμενα κυρίως στην επαφή των ελαστικών με το οδόστρωμα και όχι λόγω της λειτουργίας του οχήματος) και πολύ **υψηλό βαθμό απόδοσης**, γεγονός το οποίο μακροπρόθεσμα συμβάλλει στην **ελάττωση του κόστους λειτουργίας**. Βασικά μειονεκτήματα όπως αυξημένο βάρος, μικρή αυτονομία καθώς και μέτριες επιδόσεις σε σχέση με τα βενζινοκίνητα οχήματα δεν πρέπει να προβληματίζουν, καθώς το αστικό περιβάλλον λειτουργίας του ηλεκτρικού οχήματος δεν θέτει ως βασικές παραμέτρους σχεδιασμού τις επιδόσεις και την αυτονομία, αλλά την ευκολία κίνησης, την άνεση και την οικολογική συνείδηση.

Οι σύγχρονες λύσεις στον τομέα του κινητήρα και του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου δεν μειονεκτούν σε σχέση με τα βενζινοκίνητα οχήματα. Αντίθετα, η **μηδενική ρύπανση, ο χαμηλός θόρυβος και ο υψηλός βαθμός απόδοσης του ηλεκτροκινήτηρα** προβάλλουν τη λύση του ηλεκτρικού οχήματος ως τη βέλτιστη. Όμως, η χαμηλή απόδοση των συσσωρευτών (όσον αφορά την πυκνότητα ενέργειας) μειώνουν σημαντικά τις ικανότητες του οχήματος, με αποτέλεσμα την περιορισμένη ζήτηση από την πλευρά του αγοραστικού κοινού.

Εντατική έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών καθώς και εναλλακτικών μέσων αποθήκευσης ενέργειας (όπως κυψέλες καυσίμου) **μπορούν να βελτιώσουν** σημαντικά την **εικόνα της ηλεκτροκίνησης**. Επιπρόσθετα, οργανωμένη κατασκευή των δομικών στοιχείων του οχήματος σε γραμμές παραγωγής θα προσφέρει την **προοπτική μείωσης του κόστους**, με άμεσο επακόλουθο τη μεγαλύτερη αγοραστική κίνηση. Βέβαια, κυβερνητικά μέτρα θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας, δίνοντας ώθηση στην έρευνα της ηλεκτροκίνησης.

Στην περίπτωση μικρών οχημάτων πόλης για τα οποία ο σχεδιασμός έχει γίνει με βάση την κίνηση σε αστικό περιβάλλον για τη μεταφορά αντικειμένων, οι επιλογές συγκλίνουν προς **φθηνές κατασκευαστικές λύσεις**, κάτι που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον ιδανικό συνδυασμό κινητήρων, συστημάτων ελέγχου και συσσωρευτών.

Το όχημα της HONDA, GYRO-X, έχει αρχικά σχεδιαστεί από την κατασκευάστρια εταιρία για τη μεταφορά μικρών δεμάτων, περιορισμένου βάρους και όγκου, σε

αστικό περιβάλλον. Οι προτεινόμενες λύσεις του κεφαλαίου 6, έχουν σημαντική **διαφορά στο κόστος**, κάτι που αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο επιλογής οχήματος για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κίνησης. Την ίδια στιγμή, το ηλεκτροκίνητο όχημα αποδείχθηκε να έχει σημαντικά χαμηλότερο λειτουργικό κόστος από το βενζινοκίνητο όχημα, γεγονός το οποίο συμβάλλει αποφασιστικά στην προώθηση της μετατροπής από βενζινοκίνητο σε ηλεκτροκίνητο.

Οι επιδόσεις, όπως αυτές υπολογίστηκαν κατά τη μετατροπή σε ηλεκτροκίνητο με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, δεν υστερούν σε σχέση με το βενζινοκίνητο, λόγω του εξελιγμένου κινητήρα που επιλέχθηκε για τη μετατροπή.

Ο ακόλουθος Πίνακας (8.1) απεικονίζει τα κόστη και τις επιδόσεις των ηλεκτρικών οχημάτων (με κινητήρες συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος) σε σχέση με το συμβατικό GYRO-X.

	Ηλεκτρικό / Εναλλασσόμενου ρεύματος	Ηλεκτρικό / Συνεχούς ρεύματος	Βενζινοκίνητο
Τελική ταχύτητα σε km/h	89	72	79
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας 10ετίας σε δρχ	331.755	490.000	698.415
Συνολικό Κόστος Μετατροπής και Λειτουργίας σε δρχ	1.954.415	889.755	-

Πίνακας 8.1 Σύγκριση κόστους και επιδόσεων των τριών οχημάτων.

Η **κατασκευαστική διαμόρφωση** του ηλεκτροκίνητου οχήματος αποτελεί τομέα στον οποίο πρέπει να δωθεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς ο χώρος για την τοποθέτηση των συστοιχιών είναι περιορισμένος, ενώ συγχρόνως πρέπει να μην επηρεαστεί η οδική συμπεριφορά εξαιτίας της μεταβολής της κατανομής του βάρους. εξάλλου, ο χρήστης του οχήματος θα πρέπει να κάνει υποχωρήσεις όσον αφορά το ωφέλιμο φορτίο.

Η επιλογή κινητήρα-συσσωρευτών-συστήματος ελέγχου πρέπει να γίνει με γνώμονα το περιβάλλον λειτουργίας καθώς και τις απαιτήσεις του οδηγού. Για το όχημα GYRO-X, η απαίτηση κίνησης εντός αστικού περιβάλλοντος επιβάλλει την επιλογή κινητήρα ο οποίος αποδίδει σε συνθήκες πότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων. Ο κινητήρας αυτός (επαγωγικός) απαιτεί πολύ ακριβό σύστημα ελέγχου, παράμετρος η οποία αυξάνει κατακόρυφα το συνολικό κόστος του οχήματος. Για το λόγο αυτό, η τοποθέτηση ενός DC μόνιμου μαγνήτη (υψηλός βαθμός απόδοσης, υψηλή τιμή ροπής και ισχύος σε σχέση με το βάρος του, οικονομικό σύστημα ελέγχου, ελάχιστη συντήρηση) προβάλλει ως βέλτιστη. Σε συνδυασμό με την οικονομική λύση τοποθέτησης συσσωρευτών μολύβδου-οξέως, το όχημα έχει την ικανότητα να καλύψει τις ανάγκες του οδηγού με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Το ακόλουθο Σχήμα (8.1) παρουσιάζει την μεθοδολογία με βάση την οποία ο μηχανικός μπορεί να επιλέξει την ιδανική μετατροπή ηλεκτροκίνησης.

Οι βασικότερες προϋποθέσεις μετατροπής

- ύπαρξη χώρου για τοποθέτηση συσσωρευτών
- συμβιβασμός λόγω μείωσης ωφέλιμου φορτίου
- αυξημένο κόστος μετατροπής
- σχεδίαση ώστε να μην μεταβάλλεται η οδική συμπεριφορά/κατανομή βάρους
- αφαίρεση μη απαραίτητων μονάδων

καλύπτονται από το επιλεγμένο όχημα της HONDA, GYRO-X.

Οι παράμετροι του σχεδιασμού και η επιδίωξη του σχεδιαστή οδήγησαν στην τελική επιλογή του κυκλώματος συνεχούς ρεύματος.

Μικρό Ηλεκτροκίνητο Όχημα Πόλης

Απλές μετατροπής σε ηλεκτροκίνητο

**ΦΙΛΙΚΟ ΠΡΟΣ
ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

**ΜΗΔΕΝΙΚΕΣ
ΕΚΠΟΜΠΕΣ
ΡΥΠΩΝ**

**ΧΑΜΗΛΑ
ΕΠΙΠΕΔΑ
ΘΟΡΥΒΟΥ**

**ΦΙΛΙΚΟ ΠΡΟΣ
ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ**

**ΥΨΗΛΗ
ΕΠΙΤΑΓΧΥΝΣΗ
ΕΛΛΕΙΨΗ
ΚΙΒΩΤΙΟΥ
ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ
ΚΑΙ
ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ**

**ΧΑΜΗΛΟ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ
ΚΟΣΤΟΣ**

**ΦΟΡΤΙΣΗ
ΚΑΙ
ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ**

**ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΥΨΗΛΗ
ΑΣΙΟΠΙΣΤΙΑ**

Προϋποθέσεις μετατροπής

**ΥΠΑΡΞΗ ΧΩΡΟΥ ΓΙΑ
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ**

**ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΗ
ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΣΥΜΒΙΒΑΣΜΟΣ
ΛΟΓΩ ΜΕΙΩΣΗΣ
ΩΦΕΛΙΜΟΥ
ΦΟΡΤΙΟΥ**

**ΑΥΞΗΜΕΝΟ
ΚΟΣΤΟΣ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ**

**ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΣΧΕΤΙΚΑ
ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΩΣΤΕ ΝΑ
ΜΗΝ ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ
Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ**

Σχεδιασμός

ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Παράμετροι σχεδιασμού

**ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ
ΚΙΝΗΤΗΡΑ/ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ**

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ

**ΑΣΙΟΠΙΣΤΙΑ
ΚΑΙ
ΑΠΟΔΟΣΗ**

ΚΟΣΤΟΣ

Επιδίωξη σχεδιαστή

**ΑΣΤΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΚΙΝΗΣΗΣ** →

**ΥΨΗΛΗ
ΡΟΠΗ**

**ΧΑΜΗΛΟ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ
ΚΟΣΤΟΣ**

**ΑΝΘΕΚΤΙΚΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΑΣΙΟΠΙΣΤΙΑ**

Τελική επιλογή

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ →

**DC
ΜΟΝΙΜΟΥ
ΜΑΓΝΗΤΗ** →

**ΥΨΗΛΗ
ΡΟΠΗΣΚΥΣ
ΣΕ ΣΧΕΣΗ
ΜΕ ΒΑΡΟΣ**

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ
ΕΛΕΓΧΟΥ

ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

**ΥΨΗΛΟΣ
ΒΑΘΜΟΣ
ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ →

ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΟΞΕΩΣ →

ΧΑΜΗΛΟ ΚΟΣΤΟΣ

Σχήμα 8.1 Μεθοδολογία για τη μετατροπή του GYRO-X σε ηλεκτροκίνητο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “**DAKTARI**”, Σελίδα στο Ιντερνετ.
- [2] Bob Brant, “**Build your own electric vehicle**”, McGraw-Hill, 1994.
- [3] Comune di Mendrisio, “**Large-scale fleet test with lightweight electric vehicles (LEVs) in Mendrisio**”, 1997.
- [4] PIAGGIO PROFESSIONAL, “**APE ELECTRIC VERSION**”, Φυλλάδιο Τεχνικών Χαρακτηριστικών.
- [5] “**CELCO PROFIL**”, Σελίδα στο Ιντερνετ .
- [6] “**4-ΤΡΟΧΟΙ**”, Περιοδικό αυτοκινήτου, Σεπτέμβριος 1997.
- [7] “**ELECTRIC & HYBRID VEHICLE TECHNOLOGY ‘97**”, UIP, 1997.
- [8] “**ELECTRIC MACHINERY**”, McGraw-Hill, 1992.
- [9] “**SOLECTRIA**”, Φυλλάδιο Τεχνικών Χαρακτηριστικών.
- [10] “**BRUSA**”, Φυλλάδιο Τεχνικών Χαρακτηριστικών.
- [11] “**THE LEADER**”, Σελίδα στο Ιντερνετ .
- [12] “**NEV**”, Σελίδα στο Ιντερνετ.
- [13] “**OPTIMA**”, Σελίδα στο Ιντερνετ.
- [14] “**LIFELINE**”, Σελίδα στο Ιντερνετ.
- [15] “**SONNENSCHNEIN, TECHNICAL BROCHURE**”, Φυλλάδιο Τεχνικών Χαρακτηριστικών.
- [16] “**RAYOVAC**”, Φυλλάδιο Τεχνικών Χαρακτηριστικών.
- [17] Bradford Bates “**ELECTRIC VEHICLES: A DECADE OF TRANSITION**”, SAE, 1992.
- [18] “**ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ**”, ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ, 1997.
- [19] Ιωάννης Ξυπέρας, “**ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ**”, Τόμος 1, ΖΗΤΗ, 1995.
- [20] Werner Leonhard, “**CONTROL OF ELECTRICAL DRIVES**”, Springer, 1996.
- [21] Ιωάννης Τεγόπουλος, “**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑΙ ΜΗΧΑΝΑΙ**”, Μέρος Α', Παπασωτηρίου, 1997.
- [22] “**MES-DEA**”, Φυλλάδιο τεχνικών Χαρακτηριστικών.
- [23] “**DRIVE**”, Περιοδικό αυτοκινήτου, Ιανουάριος 1998.
- [24] “**Auto motor und sport**”, Περιοδικό αυτοκινήτου, 1998.
- [25] “**DOUGLAS**”, Σελίδα στο Internet.
- [26] “**LIFELINE**”, Σελίδα στο Internet