



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Συστήματα Αναγέννησης Ενέργειας σε Ηλεκτρικές Μοτοσυκλές

Τσάκωνας Αιμίλιος

Υπεύθυνος Καθηγητής: Τσουρβελούδης Νικόλαος

Εξεταστική Επιτροπή: Δοϊτσίδης Ελευθέριος, Πιπερίδης Σάββας

Χανιά, 2022

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
Περίληψη	5
Κεφάλαιο 1: Είδη Ηλεκτροκινητήρων.....	6
1.1: Εναλλασσόμενου Ρεύματος	7
1.1.1: Επαγωγικοί Ασύγχρονοι Κινητήρες	7
1.1.2: Σύγχρονοι Μόνιμου Μαγνήτη	8
1.2: Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος DC Μόνιμου Μαγνήτη Χωρίς Ψήκτρες.....	9
Κεφάλαιο 2: Είδη Συσσωρευτών Ενέργειας	10
2.1: Υπερπυκνωτές.....	10
2.2: Συσσωρευτές	11
2.2.1: Συσσωρευτές Οξέος Μόλυβδου	12
2.2.2: Συσσωρευτές Υδριδίου Μετάλλου Νικελίου (NiMH)	12
2.2.3: Συσσωρευτές Χλωριούχου Νατρίου-Νικελίου	12
2.2.4: Συσσωρευτές Λιθίου.....	12
2.2.5: Συσσωρευτές Μετάλλων και Αέρα.....	13
2.3: Μελλοντικές Τεχνολογίες Συσσωρευτών	15
2.3.1: Συσσωρευτής Νικελίου – Σιδήρου.....	15
2.3.2: Συσσωρευτής Ιόντος Λιθίου Στερεάς Κατάστασης.....	15
2.3.3: Συσσωρευτές Βαναδίου.....	15
2.3.4: Συσσωρευτές Χρυσού Νανοκαλωδίου	16
2.3.5: Συσσωρευτές Γραφενίου	16
2.3.6: Συσσωρευτές Ιόντων Νατρίου	16
Κεφάλαιο 3: Ελεγκτές	18
Κεφάλαιο 4: Τρόποι Ανάκτησης Ενέργειας	21
4.1: Σύστημα Ηλεκτροκινητήρα – Πέδησης.....	21
4.2: Ανάκτηση Ενέργειας Μέσω Αποσβεστήρα.....	24
4.3: Αποσβεστήρες Άμεσης Ανάκτησης.....	28
4.3.1: Μέθοδος Μαγνητών.....	28
4.3.2: Ηλεκτρομαγνητικός Αποσβεστήρας MR.....	29
4.4: Αποσβεστήρες Έμμεσης Μετάδοσης για Ανάκτηση Ενέργειας	31
4.4.1: Πινιόν - Σχάρα	31
4.4.2: Κοχλία – Περικόχλιο.....	31
4.4.3: Υδραυλικός Αποσβεστήρας	32
4.5: Σύγκριση Συστήματος Άμεσης και Έμμεσης Ανάκτησης Ενέργειας.	34
4.6: Υβριδικά Συστήματα Αποσβεστήρων	36

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση Ενεργειακού Οφέλους του Συστήματος Ανάκτησης Ενέργειας με Ηλεκτροκινητήρα – Πέδηση και Αποσβεστήρα.....	37
5.1: Ανάλυση Χαρακτηριστικών της Μοτοσυκλέτας	37
5.2: Θεωρητική Προσέγγιση του προβλήματος	40
5.2.1: Ανάλυση της Ενέργειας του συστήματος	40
5.2.2: Θεωρητική Ανάλυση της Ανάκτησης Ενέργειας από τον Αποσβεστήρα.....	41
5.3: Εφαρμογή της Μεθόδου	42
5.4: Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	49
Επίλογος: Συμπέρασμα – Μελλοντικές Προτάσεις	50
Συμπέρασμα	50
Μελλοντικές Προτάσεις.....	51
Ευρετήριο Σχημάτων	52
Ευρετήριο Διαγραμμάτων	52
Βιβλιογραφία	53

Πρόλογος

Στην σημερινή εποχή έχει επικρατήσει η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με κύρια έμφαση στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι μέθοδοι που ακολουθούνταν μέχρι στιγμής ήταν η μείωση του μεγέθους των κινητήρων εσωτερικής καύσης με την εισαγωγή υπερσυμπιεστή. Αυτό όμως δεν είναι η ιδανικότερη λύση στο πρόβλημα, καθώς η ανάγκη για χρήση ορυκτών καυσίμων είναι ακόμα υπαρκτή. Ένας πιο οικολογικός τρόπος μετακίνησης είναι η χρήση ηλεκτροκινητήρων από την αυτοκινητοβιομηχανία, αφού η φόρτιση τους γίνεται μέσω ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο εκτός από τα ορυκτά καύσιμα μπορεί να παραχθεί και από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Βέβαια αυτή η τεχνολογία δεν είναι τόσο εξελιγμένη όσο των ΜΕΚ (Μηχανών Εσωτερικής Καύσης) με αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά οχήματα να μην έχουν την αυτονομία σε χιλιόμετρα των αυτοκινήτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά και η φόρτιση των συσσωρευτών απαιτεί περισσότερο χρόνο σε σχέση με τον ανεφοδιασμό με βενζίνη ή ντίζελ. Για αυτό το λόγο αναπτύσσονται συστήματα, τα οποία ανακτούν ενέργεια κατά την επιβράδυνση του οχήματος, ενέργεια η οποία θα χανόταν στο περιβάλλον ως θερμότητα και μέσω της κίνησης των αποσβεστήρων.

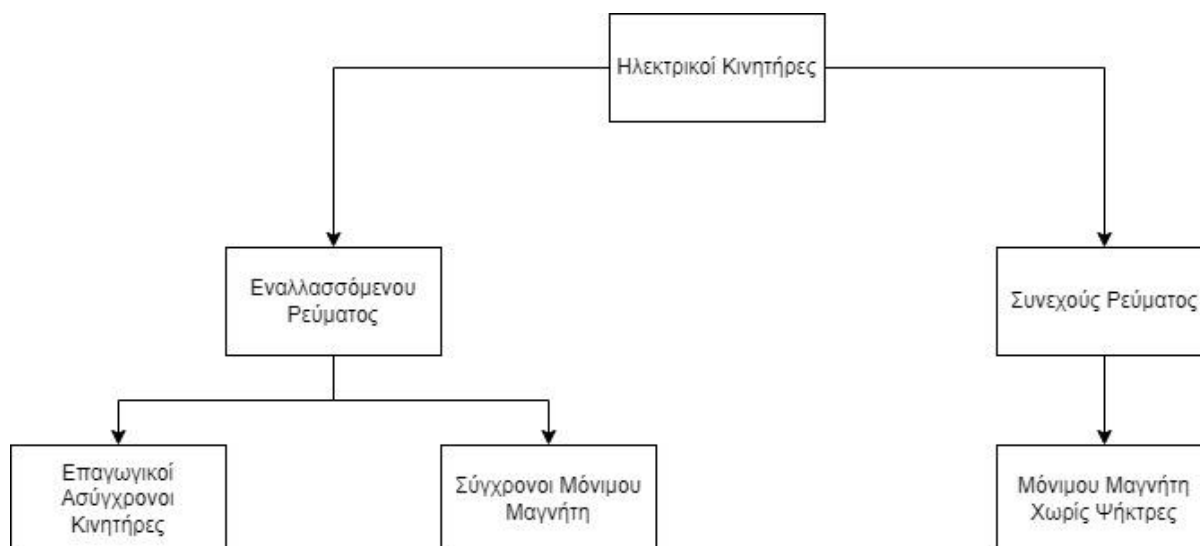
Τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας στις μοτοσυκλέτες αποτελούνται από τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και σε όλα τα οχήματα. Στις ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες έχουμε τον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος συνδέεται με τον πίσω τροχό ως επί τον πλείστον και δέχεται ενέργεια από την μπαταρία όταν λειτουργεί ως κινητήρας. Στην λειτουργία ανάκτησης ενέργειας λειτουργεί ως ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή ρεύματος, ενέργεια την οποία την αποθηκεύει τις περισσότερες φορές σε συσσωρευτές ή ορισμένες φορές σε πυκνωτές. Στην συνέχεια, υπάρχει ο συσσωρευτής ενέργειας, ο οποίος είναι το «ρεζερβουάρ» του οχήματος. Τέλος, έχουμε έναν ελεγκτή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την σωστή και αρμονική συνεργασία του ηλεκτροκινητήρα και των συσσωρευτών της μοτοσυκλέτας, ώστε να γίνεται ορθή διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνεται αλλά και παράγεται.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ασχολείται με τους τρόπους ανάκτησης ενέργειας στις ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες. Στο 1^ο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των ηλεκτροκινητήρων που είναι διαθέσιμοι στην αγορά, στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των συσσωρευτών ενέργειας που είναι διαθέσιμα αλλά και οι μελλοντικές τεχνολογίες που θα ενσωματωθούν στη μαζική παραγωγή. Στο κεφάλαιο 3, γίνεται λόγος για τους ελεγκτές και τον τρόπο με τον οποίο είναι υπεύθυνοι για την αρμονική λειτουργία των εξαρτημάτων των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών. Στο 4^ο κεφάλαιο αναφέρονται οι τρόποι ανάκτησης ενέργειας μέσω του ηλεκτροκινητήρα και των συστημάτων Ανάκτησης ενέργειας με αποσβεστήρα. Περιγράφονται όλοι οι τύποι των αποσβεστήρων και ο τρόπος με τον οποίο ανακτούν ενέργεια. Στο 5^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια θεωρητική εφαρμογή αυτών των συστημάτων σε μια ηλεκτρική μοτοσυκλέτα και αλλάζοντας τις τιμές στις παραμέτρους, συγκρίνονται τα αποτελέσματα τους. Στον επίλογο, αναφέρεται ένα γενικό συμπέρασμα ολόκληρης της εργασίας και γίνεται μνεία σε τρόπους που μπορούν να αποδώσουν αποτελεσματικότερα αυτά τα συστήματα στο μέλλον.

Κεφάλαιο 1: Είδη Ηλεκτροκινητήρων

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι το κυριότερο είδος ηλεκτρικής μηχανής που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια. Η αρχή λειτουργίας των περισσότερων ηλεκτροκινητήρων βασίζεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δυο φορείς ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν την τάση να προσανατολίζονται μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι η δημιουργία δύναμης και στην συνέχεια ροπής πάνω στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Ο βαθμός απόδοσης ενός ηλεκτροκινητήρα είναι περισσότερο από 90%, ενώ των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης είναι περίπου στο 25% – 30%. Δηλαδή αν προσφέρουμε 100 μονάδες χημικής ενέργειας σε έναν ηλεκτροκινητήρα, οι 90 θα μετατραπούν σε κινητική ενέργεια, ενώ σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης μόνο οι 25 – 30 μονάδες θα γίνουν κινητική ενέργεια. Αυτό μας δείχνει πόσο ωφέλιμοι είναι οι ηλεκτροκινητήρες στην αυτοκινητοβιομηχανία.



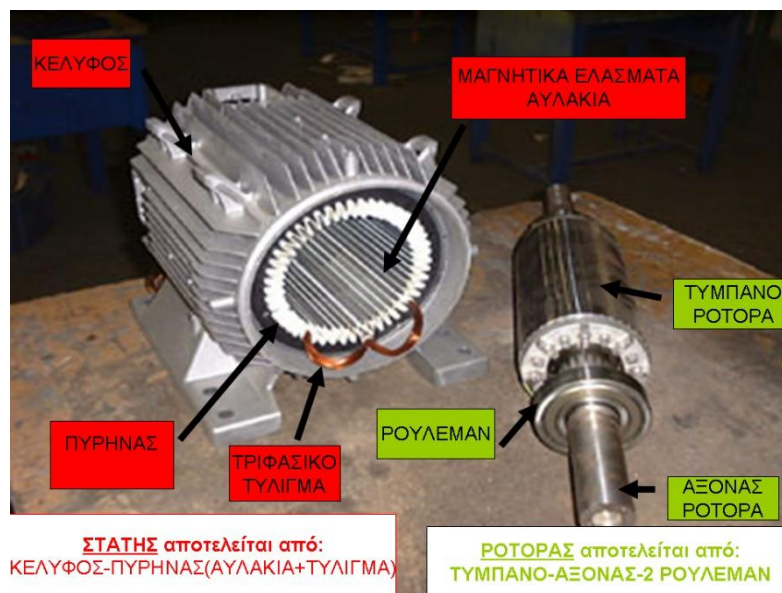
Εικόνα 1: Είδη Ηλεκτροκινητήρων

Οι ηλεκτροκινητήρες χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες, τους συνεχούς ρεύματος, τους βηματικούς και τους εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιούνται οι επαγωγικοί ασύγχρονοι (σε οχήματα όπως Tesla Model S, Mercedes EQC) και οι σύγχρονοι μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες, ο οποίος τύπος είναι και ο δημοφιλέστερος και για τις ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες. Αφού είναι μικρότερος και ελαφρύτερος λόγω της έλλειψης των ψηκτρών.

1.1: Εναλλασσόμενου Ρεύματος

1.1.1: Επαγωγικοί Ασύγχρονοι Κινητήρες

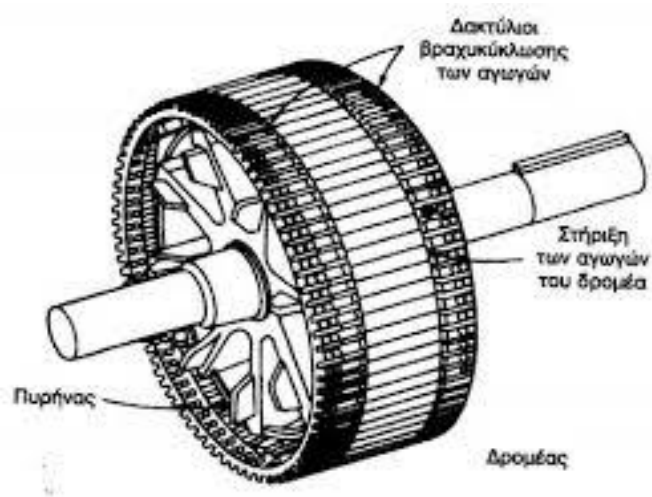
Οι κινητήρες αυτοί είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες καθώς χρησιμοποιούνται όχι μόνο στην βιομηχανία αλλά και σε οικιακές εφαρμογές, λόγω της απλής και στιβαρής κατασκευής τους, το χαμηλό κόστος κατασκευής και την ελάχιστη συντήρηση. Δημιουργήθηκαν από τον Nicola Tesla και όπως αναφέρει και το όνομα τους οι κινητήρες αυτοί έχουν ως αρχή λειτουργίας την επαγωγή ρεύματος. Δηλαδή αποτελούνται από ένα τύλιγμα τριφασικού που είναι τοποθετημένο στο κέλυφος και στον ρότορα. Όταν τροφοδοτηθεί με ρεύμα το τύλιγμα του κελύφους δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργεί ρεύματα από επαγωγή στον ρότορα. Τα ρεύματα αυτά δημιουργούν ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο και αυτά τα δυο αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και δημιουργούν δυνάμεις, οι οποίες περιστρέφουν τον ρότορα. Το μειονέκτημα τους είναι πως δεν έχουν υψηλή ροπή εκκίνησης υπό σταθερή τάση και σταθερή συχνότητα, έτσι χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές ελέγχου, όπως η μεταβολή της τάσης και της συχνότητας.



Εικόνα 2: Επαγωγικός Ασύγχρονος Κινητήρας Πηγή:
<https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2015/10/3.html>

1.1.2: Σύγχρονοι Μόνιμου Μαγνήτη

Οι συγκεκριμένοι κινητήρες διαθέτουν και αυτοί έναν ρότορα και έναν στάτη, αλλά στη μόνιμη κατάσταση ισορροπίας έχουν το ίδιο μαγνητικό πεδίο. Διαθέτουν μαγνήτες από σπάνιες γαίες, οι οποίοι βελτιώνουν τον βαθμό απόδοσης του κινητήρα κοντά στο 95% και μειώνουν τις ανάγκες ψύξης, όμως έχουν υψηλό κόστος κατασκευής. Επίσης, έχουν υψηλές τιμές ισχύος και χρησιμοποιούνται από τους περισσότερους κατασκευαστές αυτοκινήτων τόσο για τα υβριδικά, όσο και για τα ηλεκτρικά οχήματα.



Εικόνα 3: Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη Πηγή:
<http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4748/ele-36501.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

1.2: Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος DC Μόνιμου Μαγνήτη Χωρίς Ψήκτρες

Ονομάζονται έτσι γιατί δεν έχουν μετατροπέα ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς γίνεται ηλεκτρονικά η μετατροπή. Εξαιτίας αυτού δεν χρειάζονται συντήρηση. Οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλή υψηλή ροπή εκκίνησης, υψηλό βαθμό απόδοσης 95-98% και χωρίζονται σε δυο τύπους.

1. Τύπος Out-runner

Ονομάζεται και κινητήρας HUB, ο ρότορας του κινητήρα υπάρχει έξω και συνδέεται κατευθείαν με τον τροχό ενώ ο στάτορας είναι μέσα. Τέτοιου είδους κινητήρες δεν απαιτούν σύστημα μετάδοσης. Αυτός ο κινητήρας προτιμάται από κατασκευαστές δίτροχων μοτοσυκλετών με μικρές τελικές ταχύτητες.



Εικόνα 4: Κινητήρας συνεχούς ρεύματος Τύπου Out-runner
Πηγή: <https://daytona-electric.gr/model/phos-125/>

2. Τύπος In-runner

Εδώ ο ρότορας του κινητήρα είναι μέσα και ο στάτορας έξω, για αυτό οι κινητήρες αυτοί χρειάζονται και σύστημα μετάδοσης. Χρησιμοποιούνται από κατασκευαστές τρίτροχων οχημάτων και σκούτερ.

Κεφάλαιο 2: Είδη Συσσωρευτών Ενέργειας

Για την παροχή ενέργειας στους ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται είτε συσσωρευτές, είτε υπερπυκνωτές είτε συνδυασμός τους. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες στα ηλεκτρικά μέσα μεταφοράς είναι ο όγκος και το βάρος των συσσωρευτών, προσπαθώντας να εναρμονίσουν αυτά με τα χιλιόμετρα που θα μπορεί να διανύει το όχημα. Έτσι, έχουν πειραματιστεί πάνω σε διάφορα είδη συσσωρευτών.

2.1: Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται στα συστήματα ανάκτησης ενέργειας είτε σαν αποθηκευτικό μέσο για την ενέργεια που ανακτάται είτε σαν πηγή ενέργειας πέρα από το συσσωρευτή όταν είναι φορτισμένοι. Παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, μικρό βάρος, παρέχουν υψηλή ισχύ σε αντίθεση με τους συσσωρευτές, μπορούν να φορτιστούν γρήγορα με απλές μεθόδους ισχύος, όπως με ανάκτηση ενέργειας κατά την επιβράδυνση. Επίσης, δεν υποφέρουν από υποβάθμιση ισχύος σε ακραίες θερμοκρασίες, όπως οι συσσωρευτές και δεν έχουν χημικά στοιχεία. Τέλος, έχουν ενεργειακή πυκνότητα, η οποία αντιστοιχεί στο 10% περίπου των συμβατικών συσσωρευτών, αντίθετα η πυκνότητα ισχύος είναι 10-100 φορές μεγαλύτερη, καθώς έχουν πολύ μικρές τιμές εσωτερικής αντίστασης. Λόγω της μικρής ενεργειακής τους πυκνότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιοι από τις αυτοκινητοβιομηχανίες που προσδοκούν να έχουν τα οχήματα τους μεγάλη αυτονομία. Για αυτό το λόγο, οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται σε πειράματα ή για λειτουργίες όπου δεν χρειάζεται η μεγάλη αυτονομία ή σε συνδυασμό με τους συσσωρευτές [1].



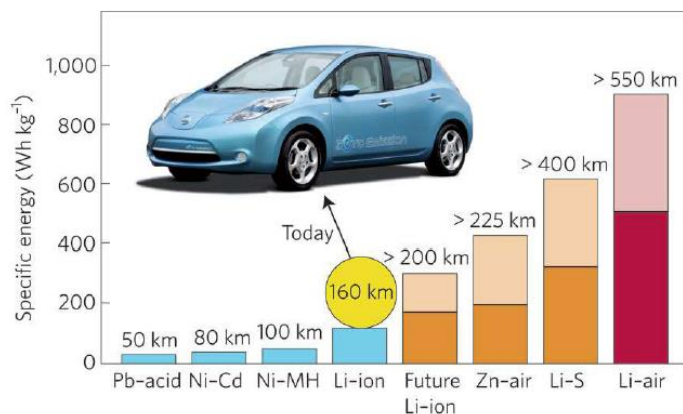
Εικόνα 5: Υπερπυκνωτής Maxwell Πηγή:
<https://www.aliexpress.com/item/4001300706573.html>

2.2: Συσσωρευτές

Η επιλογή των συσσωρευτών που κάνουν οι βιομηχανίες εξαρτάται από την ενεργειακή πυκνότητα, το βάρος και το κόστος.

Οι ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες χαμηλής εμβέλειας έχουν απλές μονάδες συσσωρευτών, ενώ τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αναπτύσσουν μεγάλο αριθμό συσσωρευτών. Έχει αναπτυχθεί μοντέλο για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής των συσσωρευτών, το οποίο αναφέρει ότι η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 10 χρόνια. Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται σε σταθμισμένα μοντέλα απόδοσης κάτω από συγκεκριμένες τυπικές συνθήκες, όπως θερμοκρασία και βάθος εκφόρτωσης για τις οποίες μπορεί ένας συσσωρευτής να επιτύχει την συνολική απόδοση του μέχρι να φτάσει στο τέλος της ζωής του. Για τα οχήματα, αυτό εκτιμάται όταν εμφανίσει ο συσσωρευτής απώλειες στη χωρητικότητα 20% και περισσότερο σε σχέση με την αρχική.

Τα είδη των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται ποικίλουν. Σήμερα, χρήση συσσωρευτών συνδυασμού ιόντων λιθίου και παραλλαγές του κερδίζουν έδαφος λόγω της καλύτερης απόδοσης, του μειωμένου βάρους, το χαμηλότερο χρόνο φόρτισης, την καλύτερη απόδοση ισχύος, τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και τις μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την απόρριψη τους. Οι τύποι συσσωρευτών που υπάρχουν για χρήση σήμερα στα ηλεκτρικά οχήματα είναι Οξύς Μόλυβδος, Νικέλιο και Κάδμιο (NiCd), Υβρίδιο Μετάλλου Νικελίου (NiMH), Χλωριούχου Νατρίου-Νικελίου (NaNiCl) και Ιόντος Λιθίου (Li-ion). Την υψηλότερη ειδική ενέργεια την παρουσιάζουν οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου σε σχέση με τους άλλους τύπους. Στο μέλλον, τεχνολογικές καινοτομίες με συσσωρευτές ιόντων λιθίου και άλλες τεχνολογίες συσσωρευτών αναμένεται να δημιουργήσουν συσσωρευτές με πολύ υψηλότερη ειδική ενέργεια και χαμηλότερο κόστος [3].



Εικόνα 6: Είδη Μπαταριών και Αυτονομία τους [6]

2.2.1: Συσσωρευτές Οξέος Μόλυβδου

Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν μικρή πυκνότητα ισχύος και ενέργεια, υπάρχουν τύποι βαθέως κύκλου με ενισχυμένα ηλεκτρόδια για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός και ο σχηματισμός ανεπιθύμητων ουσιών όπως λάσπη. Λόγω της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και ενέργειας καθώς και της ευαισθησίας στη θερμοκρασία, η οποία μειώνει τον κύκλο ζωής τους, η χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα είναι σχεδόν ανύπαρκτη [3].

2.2.2: Συσσωρευτές Υβριδίου Μετάλλου Νικελίου (NiMH)

Οι συγκεκριμένοι είναι δημοφιλής εξαιτίας του βελτιστοποιημένου υψηλού ενεργειακού περιεχομένου. Τον τελευταίο καιρό έχουν κάνει την εμφάνιση τους και συσσωρευτές νικελίου καδμίου (NiCd), οι οποίοι έχουν υψηλή ειδική ενέργεια και ειδική ισχύ. Από την άλλη πλευρά η παρουσία του καδμίου προβληματίζει τους επιστήμονες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει [3].

2.2.3: Συσσωρευτές Χλωριούχου Νατρίου-Νικελίου

Ονομάζονται και συσσωρευτές υψηλής θερμοκρασίας, έχουν τοποθετηθεί σε πολλά ηλεκτρικά οχήματα μέχρι σήμερα. Το χαρακτηριστικό της υψηλής ειδικής ενέργειας που έχουν είναι κατάλληλο για ηλεκτρικά μεγάλης εμβέλειας χιλιομέτρων. Η θερμοκρασία λειτουργίας αυτών των συσσωρευτών είναι οι 300 βαθμοί Κελσίου, οπότε απαιτούν προθέρμανση πριν την χρήση τους, το οποίο καταναλώνει αρκετή από την ενέργεια τους ειδικά όταν μένει στάσιμο το όχημα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για αυτό το λόγο είναι κατάλληλο για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούνται συνεχώς [3].

2.2.4: Συσσωρευτές Λιθίου

Οι συσσωρευτές Λιθίου ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο του ενεργού υλικού. Οι βασικοί τύποι που υπάρχουν είναι, αυτοί με υγρό (Li-ion-liquid) και αυτοί με πολυμερή ηλεκτρολύτη (Li-ionopolymer). Ο τύπος Li-ion-liquid προτιμάται γενικά για τα ηλεκτρικά οχήματα. Υπάρχουν τρία υλικά λιθίου: λίθιο με κοβάλτιο, (ή λίθιο με οξείδια μαγγανίου), φωσφορικός σίδηρος και τιτανικό λίθιο [3].

Το μαγγανικό λίθιο (LiMn_2O_4) είναι λύση χαμηλού κόστους. Έχει μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό για την εφαρμογή ηλεκτρικών οχημάτων. Το μειονέκτημα του είναι η μικρή διάρκεια ζωής του συσσωρευτή λόγω της ελαφράς διαλυτότητας του μαγγανίου [3].

Οι συσσωρευτές φωσφορικού σιδήρου λιθίου (LiFePO_4) κατασκευάζονται από πολλές εταιρείες στον κόσμο και έχουν κερδίσει την αξιοπιστία στη χρήση τους σε ηλεκτρικά

εργαλεία. Οι κυψέλες φωσφορικού σιδήρου λιθίου έχουν πολύ χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις κυψέλες τυπικής μορφής, αλλά μπορεί να φορτιστούν πολύ πιο γρήγορα (σε είκοσι έως τριάντα λεπτά). Έχει ληφθεί πρόσφατα υπόψη από τη βιομηχανία επειδή διαθέτει βελτιωμένη σταθερότητα κατά τη διάρκεια υπερφόρτισης, η οποία είναι καλή για την ασφάλεια, την πολύ υψηλή ισχύ και το χαμηλότερο κόστος λόγω της χρήσης σιδήρου [3].

Το τιτανικό λίθιο ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) επιτρέπει τη γρήγορη φόρτιση της τάξης των δέκα λεπτών και έχει αποδειχθεί ότι έχει εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής περίπου 5000 πλήρες κύκλους βαθών εκ φορτίσεων. Χρησιμοποιούνται για παροχή ενέργειας σε ηλεκτρικούς κινητήρες, UPS και φωτισμό οδών που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια [3].

2.2.5: Συσσωρευτές Μετάλλων και Αέρα

Σε αυτή τη κατηγορία έχουμε συσσωρευτές αλουμινίου αέρα (Al-air), λιθίου αέρα (Li-air) και ψευδαργύρου αέρα (Zn-air). Το θετικό ηλεκτρόδιο καλύπτεται με βάση τον άνθρακα και με μερικά πολύτιμα μέταλλα για την αντίδραση με το οξυγόνο. Το άλλο ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από ένα μέταλλο όπως ο ψευδάργυρος, το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και το λίθιο. Αφού, σε αυτούς τους συσσωρευτές ο αέρας ρέει μέσα από τη κυψέλη μερικές φορές κατηγοριοποιούνται ως κυψέλες καυσίμου. Απορροφούν οξυγόνο από την ατμόσφαιρα κατά την εκφόρτισή τους και αποβάλλουν οξυγόνο κατά τη φόρτιση. Οι συσσωρευτές αλουμινίου καταναλώνουν το ηλεκτρόδιο αλουμινίου, έτσι χρειάζεται αντικατάσταση ή επανεπεξεργασία. Σε ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα που λειτουργούν με συσσωρευτές ψευδαργύρου αέρα, οι ράβδοι του ψευδαργύρου μπορούν να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν με νέες μονάδες όταν εκφορτιστούν. Τέλος, παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα αλλά η χαμηλή ειδική ισχύς τα καθιστούν απαγορεύτηκα κυρίως σε οχήματα μεγάλων διαδρομών, παρά την υποστήριξη των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας [3].

Μεταξύ των συσσωρευτών μετάλλου-αέρα, οι συσσωρευτές λιθίου-αέρα έχουν χαρακτηριστικό ότι το ενεργειακό τους περιεχόμενο είναι σχεδόν ίσο με το ντίζελ. Δηλαδή, περίπου 100 φορές περισσότερο από τους σημερινούς συμβατικούς συσσωρευτές ιόντων λιθίου. Αυτό το γεγονός κάνει τους συσσωρευτές αυτούς ελκυστικούς καθώς έχοντας ένα συσσωρευτή 50 κιλών, μπορούμε να οδηγήσουμε περίπου 500 χιλιόμετρα [3].

Οι συσσωρευτές τέτοιου τύπου πρέπει να εξελιχθούν από τους επιστήμονες, ώστε να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που έχουν, όπως το μεταλλικό ανιόν για να γίνουν πιο πρακτικές και εύκολες στη χρήση από τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Επιπλέον, λόγω των υλικών που χρησιμοποιούνται έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής, μέχρι να αρχίσουν να παράγονται μαζικά σε ευρεία κλίμακα.

Όλα αυτά τα είδη των συσσωρευτών είναι διαθέσιμα για χρήση από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, οι οποίες αναλύουν και αξιοποιούν τα δεδομένα και τις απαιτήσεις που έχουν οι καταναλωτές, ώστε να κάνουν την ιδανικότερη επιλογή και

τοποθέτηση στο εκάστοτε όχημα. Παρά την αρκετά μεγάλη ποικιλία συσσωρευτών που υπάρχει, γίνεται μια συνεχής προσπάθεια εξέλιξης και δημιουργίας νέων συσσωρευτών, οι οποίοι θα είναι πιο αποδοτικοί, πιο ελαφροί και θα έχουν ταχύτητα φόρτισης ανάλογη με την ταχύτητα ανεφοδιασμού των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Έτσι, σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται τα παρακάτω είδη συσσωρευτών.

2.3: Μελλοντικές Τεχνολογίες Συσσωρευτών

2.3.1: Συσσωρευτής Νικελίου – Σιδήρου

Ο συσσωρευτής Edison ή Νικελίου-Σιδήρου (NiFe) ήταν ένα από τα πρώτα στοιχεία συσσωρευτή που χρησιμοποιήθηκε σε ηλεκτρικά οχήματα πριν από την εκβιομηχάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, αυτοί είχαν μεγάλο βάρος και δεν ήταν ικανοί να προσφέρουν υψηλή ισχύ. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιήθηκαν νανοσύρματα επιστρωμένα από Νικέλιο (Ni) και Σίδηρο (Fe) ως ηλεκτρόδια. Το αποτέλεσμα ήταν ένας συσσωρευτής NiFe, ο οποίος φόρτιζε σε μόλις 2 λεπτά. Επιπλέον, μπορεί να παρέχει πολύ υψηλή ισχύ έτσι ώστε ο συσσωρευτής να μπορεί να αποφορτιστεί πλήρως σε μόλις 30 δευτερόλεπτα. Ο συσσωρευτής που δημιουργήθηκε είναι φθηνότερος από τους τρέχοντες προηγμένους συσσωρευτές και το μόνο μειονέκτημα είναι ότι χαλάει όπως οι συσσωρευτές Λιθίου. Τα χαρακτηριστικά αυτού του συσσωρευτή τον καθιστούν υποψήφιο για ηλεκτρικά οχήματα, καθώς στοχεύει στη φόρτιση σε σύντομο χρόνο, στο κόστος και σε συγκεκριμένη ισχύ [3].

2.3.2: Συσσωρευτής Ιόντος Λιθίου Στερεάς Κατάστασης

Σε αυτόν τον συσσωρευτή χρησιμοποιούνται μέθοδοι που τον κάνουν να λειτουργεί σε επίπεδα υπερπυκνωτών. Μια πλήρης φόρτιση ή αποφόρτιση του συσσωρευτή μπορεί να γίνει σε μόλις επτά λεπτά. Αυτό σημαίνει ότι ο συσσωρευτής έχει πολύ υψηλή πυκνότητα ισχύος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Εάν συμβεί αυτό, χρειάζονται μόλις 7 λεπτά ένα άδικο αυτοκίνητο να φορτιστεί πλήρως όπως τα σημερινά οχήματα με ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, είναι πολύ πιο σταθεροί και ασφαλέστεροι από τους τρέχοντες συσσωρευτές λιθίου, και μπορεί να λειτουργήσει από τους -30 έως 100 βαθμούς Κελσίου [3].

2.3.3: Συσσωρευτές Βαναδίου

Ένας εξαιρετικός υποψήφιος για αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες κλίμακες είναι οι συσσωρευτές βαναδίου. Ο συσσωρευτής βαναδίου είναι ένας συσσωρευτής ροής (μια επαναφορτιζόμενη κυψέλη καυσίμου στην οποία ένας ηλεκτρολύτης που περιέχει ένα ή περισσότερα διαλυμένα ηλεκτρενεργικά στοιχεία ρέει μέσω ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου που μετατρέπει αναστρέψιμα τη χημική ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια). Έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- Οι συσσωρευτές ροής, συμπεριλαμβανομένου του συσσωρευτή βαναδίου, μπορούν να προσφέρουν απεριόριστη ενεργειακή χωρητικότητα επειδή το ενεργειακό περιεχόμενο του συσσωρευτή είναι ανεξάρτητο της δύναμής του. Μια μεγάλη δεξαμενή άλατος βαναδίου που συνδέεται με το συσσωρευτή μπορεί να είναι λειτουργική όσο

είναι διαθέσιμο το ηλεκτρόδιο. Όσο μεγαλύτερη η δεξαμενή, τόσο μεγαλύτερο το ενεργειακό περιεχόμενο.

- Το άλας βαναδίου μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς καθόλου σημαντική υποβάθμιση ακόμα κι αν έχει αποφορτιστεί πλήρως.
- Ο ηλεκτρολύτης του στοιχείου είναι υδατικός, ως εκ τούτου είναι ασφαλές σε σύγκριση με συσσωρευτές λιθίου.
- Το βανάδιο δεν είναι τοξικό.
- Οι συσσωρευτές οξειδοαναγωγής βαναδίου μπορούν να αποφορτιστούν έως και 90%.
- Η κυκλική διάρκεια ζωής των συσσωρευτών βαναδίου είναι περίπου 15.000 έως 20.000, η οποία είναι πολύ περισσότερο από αυτό των συμβατικών συσσωρευτών στερεάς κατάστασης (περίπου 2000 κύκλους) [3].

2.3.4: Συσσωρευτές Χρυσού Νανοκαλωδίου

Για να αυξήσουν τον κύκλο ζωής των συσσωρευτών, χρησιμοποιήθηκαν χρυσά νανοσύρματα που είναι χίλιες φορές πιο λεπτά από μια ανθρώπινη τρίχα. Τα συμβατικά νανοσύρματα τείνουν να διασπώνται κατά την επαναφόρτιση, αλλά τα χρυσά νανοσύρματα έδειξαν ότι αντέχουν άφθονη επαναφόρτιση [3].

Αυτή η ανακάλυψη χρησιμοποιεί νανοσύρματα χρυσού σε ηλεκτρολύτη γέλης για να αποφευχθεί η θραύση. Αυτές οι συσσωρευτές δοκιμάστηκαν στην επαναφόρτιση για περισσότερες από 200.000 φορές σε τρεις μήνες και δεν παρουσίασαν καμία υποβάθμιση [3].

2.3.5: Συσσωρευτές Γραφενίου

Οι συσσωρευτές γραφενίου είναι από τις ανώτερες διαθέσιμες κυψέλες αποθήκευσης ενέργειας. Αυτές προσφέρουν έως και 800 χιλιόμετρα με μια φόρτιση. Επιπλέον, οι συσσωρευτές μπορούν να φορτιστούν σε λίγα μόνο λεπτά και έχουν τη δυνατότητα να αποφορτιστούν 33 φορές πιο γρήγορα από τις κυψέλες ιόντων λιθίου [3].

2.3.6: Συσσωρευτές Ιόντων Νατρίου

Κατασκευάστηκαν αυτοί οι συσσωρευτές για να μειώσουν το κόστος καθώς χρησιμοποιούν νάτριο το οποίο είναι φθηνό υλικό σε σχέση με το λίθιο. Ένα άλλο πλεονέκτημα του συσσωρευτή ιόντων νατρίου έναντι των συσσωρευτών με βάση το λίθιο είναι ότι το νάτριο είναι ένα από τα πιο κοινά υλικά στον πλανήτη και όχι σπάνιο όπως το λίθιο. Χρησιμοποιώντας αλάτι, το έκτο πιο κοινό στοιχείο στον πλανήτη, οι

συσσωρευτές μπορούν να γίνουν πολύ φθηνότεροι. Η εμπορευματοποίηση αυτών των συσσωρευτών αναμένεται να ξεκινήσει για smartphone, αυτοκίνητα και άλλα μέσα στα επόμενα πέντε έως δέκα χρόνια [3].

Κεφάλαιο 3: Ελεγκτές

Οποιαδήποτε τεχνολογία συσσωρευτή έχει τη δυνατότητα να αποφορτίζεται συνεχώς από συγκεκριμένη ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος. Εάν ο συσσωρευτής αποφορτιστεί από ένα υψηλότερο ρεύμα, τότε μπορεί να γίνει ασταθής και να εκραγεί. Το ίδιο επιχείρημα ισχύει για το ρεύμα φόρτισης. Εάν το στοιχείο είναι φορτισμένο με υψηλό ρεύμα, τότε αυτό γίνεται θερμικά ασταθής και με τη σειρά του μπορεί να εκραγεί. Επιπλέον, η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια χωρητικότητας ή γήρανση του συσσωρευτή.

Για να αποφευχθεί η παραπάνω αρνητική κατάσταση χρησιμοποιούνται ελεγκτές, οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα από ποικίλους αισθητήρες και δράττον ακαριαία για την βέλτιστη ανάκτηση ενέργειας, χωρίς βέβαια να προκληθεί βλάβη σε κάποια άλλη συσκευή του συστήματος.

Τα προβλήματα που έχουν κληθεί να αντιμετωπίσουν οι ελεγκτές κατά την ανάκτηση ενέργειας στη διαδικασία της πέδησης ποικίλουν και είναι προγραμματισμένοι από τις βιομηχανίες, ώστε να τα λύνουν με το καλύτερο δυνατό τρόπο για την ασφάλεια του χρήστη.

Αναλυτικότερα, η ανάκτηση ενέργειας γίνεται μέσω του ηλεκτρικού στοιχείου, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον κινητήριο τροχό, όπως έχει προαναφερθεί, δηλαδή με τον πίσω τροχό στις μοτοσυκλές. Όταν, ο αναβάτης έχει «κλειστό» το γκάζι και έχει επιλέξει από τα χειριστήρια το βαθμό που επιθυμεί να γίνει ανάκτηση ενέργειας, δηλαδή το πόσο έντονα να μειώνει ταχύτητα η μοτοσυκλέτα (ή απλά να έχει επιλέξει την ανάκτηση ενέργειας ανάλογα με το τύπο της μοτοσυκλέτας), τότε το ηλεκτρικό στοιχείο λειτουργεί ως γεννήτρια, παράγοντας ρεύμα, το οποίο αποθηκεύεται στους συσσωρευτές κι ταυτόχρονα μειώνεται η ταχύτητα του οχήματος, λόγω της αντίστασης της ηλεκτρογεννήτριας.

Αυτή η διαδικασία για να είναι αποτελεσματική πρέπει η αρνητική ροπή της ηλεκτρογεννήτριας στον τροχό να είναι τέτοια ώστε να μην ακινητοποιηθεί ο τροχός, καθώς και το ρεύμα που παράγει να είναι αποδεκτό από τον κατασκευαστή των συσσωρευτών για την αποφυγή υπέρτασης και υπερφόρτωσης. Για την επίλυση αυτών των ζητημάτων είναι υπεύθυνος ο ελεγκτής του συστήματος. Αυτός λαμβάνει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, όπως ο αισθητήρας ταχύτητας, ο αισθητήρας αντιστάθμισης των τροχών, από το γυροσκόπιο (σε πιο εξελιγμένες μοτοσυκλές) και κατά την διαδικασία της πέδησης βελτιστοποιεί την λειτουργία ανάκτησης ενέργειας επιβραδύνοντας ταυτόχρονα την μοτοσυκλέτα με ασφάλεια και σταθερότητα.

Ο συγκεκριμένος τρόπος μείωσης ταχύτητας δεν αποτελεί τον μοναδικό, καθώς υπάρχει και ο «παραδοσιακός» τρόπος πέδησης, η χρήση δηλαδή μηχανικών υδραυλικών φρένων, ο οποίος είναι απαραίτητος για την πλήρη ακινητοποίηση του οχήματος και της πέδησης έκτακτης ανάγκης.

Για αυτό το λόγο αυτά τα δυο συστήματα πρέπει να συνεργάζονται κατάλληλα μέσω του ελεγκτή για την ομαλή λειτουργία επιβραδύνσεως. Στις μοτοσυκλές κατά τη διάρκεια της πέδησης οι περισσότερες δυνάμεις και το βάρος λόγω της αδράνειας

μεταφέρεται στον μπροστινό τροχό του οχήματος και το πίσω μέρος της είναι ελαφρύτερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί να ασκηθεί το ίδιο ποσοστό δύναμης στον μπροστινό και τον πίσω τροχό κατά τη διάρκεια της πέδησης, καθώς στον μπροστινό χρειάζεται μεγαλύτερη πίεση των φρένων και στον πίσω λιγότερη για να μην ακινητοποιηθεί. Σε συνδυασμό με το ότι ο κινητήριος τροχός είναι ο πίσω, αυτό δεν επιτρέπει την ανάκτηση ενέργειας σε μεγάλο βαθμό. Η ενέργεια που μπορεί να ανακτηθεί είναι από 8% - 34%, το οποίο επιμηκύνει τα διαθέσιμα χιλιόμετρα που μπορεί να διανύσει το όχημα με μια φόρτιση [7].

Το συγκεκριμένο πρόβλημα προσπαθούν να το αντιμετωπίσουν οι βιομηχανίες με διάφορα συστήματα, όπως τη συνεργασία του συστήματος με το ABS (Anti-Lock Brake System) σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχού. Σε αυτή τη περίπτωση ο ελεγκτής λαμβάνει σήμα από το ABS και καθορίζει το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας, δηλαδή σε τι βαθμό θα λειτουργεί το ηλεκτρικό μοτέρ, ως ηλεκτρογεννήτρια, ώστε η ροπή πέδησης να μην ακινητοποιήσει το τροχό. Επίσης, ο ελεγκτής επικοινωνεί με το μηχανικό σύστημα φρεναρίσματος και σε περίπτωση έκτακτου φρεναρίσματος αποδεσμεύει το σύστημα ανάκτησης για ασφαλέστερη μείωση ταχύτητας. Επιπλέον, για να πραγματοποιείται η ανάκτηση ενέργειας, ο κινητήρας πρέπει να έχει συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής, το οποίο ελέγχεται από τον ελεγκτή. Ανάλογα την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, παράγεται διαφορετική τάση ρεύματος με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόβλημα στους συσσωρευτές του οχήματος. Για την επίλυση του οι ελεγκτές καθορίζουν τη τάση σε συνδυασμό με τους μετασχηματιστές του συστήματος, που χρειάζονται οι συσσωρευτές βάση προδιαγραφών [8].

Τα παραπάνω επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του πρωτοκόλλου CAN-BUS που έχει θεσπιστεί απαραίτητο από την Ευρωπαϊκή Ένωση από το 2001. Το πρωτόκολλο αυτό είναι ένα ισχυρό πρότυπο διαύλου που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στους μικροελεγκτές και τις συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους με τις εφαρμογές τους χωρίς κεντρικό υπολογιστή. Είναι ένα πρωτόκολλο που βασίζεται σε μηνύματα, που δημιουργήθηκε αρχικά για πολύπλοκες ηλεκτρικές καλωδιώσεις σε οχήματα για εξοικονόμηση χαλκού, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε πολλά άλλα περιβάλλοντα. Για κάθε συσκευή, τα δεδομένα μεταδίδονται διαδοχικά σε ένα πλαίσιο αλλά με τέτοιο τρόπο ώστε αν εκπέμπουν περισσότερες από μία συσκευές ταυτόχρονα, η συσκευή υψηλότερης προτεραιότητας μπορεί να συνεχίσει ενώ οι άλλες αποχωρούν [9].

Με τη βέλτιστη αναλογία κατανομής δύναμης πέδησης και τον αναγεννητικό έλεγχο πέδησης μπορεί να σχεδιαστεί μια στρατηγική για να ανταποκρίνεται στη σταθερότητα πέδησης και τη μέγιστη ανάκτηση ενέργειας. Λόγω της σχέσης μεταξύ της ευστάθειας πέδησης και της πέδησης για την ανάκτηση ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων, δύο θέματα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της στρατηγικής ελέγχου. Πρώτον, για τον προσδιορισμό της αναλογίας κατανομής της δύναμης πέδησης στο μπροστινό μέρος και το πίσω για την επίτευξη της σταθερότητας και την ασφάλεια του οχήματος. Δεύτερον, πώς να κατανεμηθεί η αναλογία της αναγεννητικής δύναμης πέδησης και της μηχανικής δύναμης πέδησης στον κινητήριο άξονα για να επιτευχθεί η μέγιστη ανάκτηση ενέργειας. Εάν η δύναμη πέδησης του κινητήρα μπορεί να καλύψει τη ζήτηση της δύναμης πέδησης του μπροστινού άξονα, τότε

χρησιμοποιείται μόνο η δύναμη πέδησης του κινητήρα και δεν χρησιμοποιείται η μηχανική δύναμη πέδησης. Αν η δύναμη πέδησης του κινητήρα δεν μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση του μπροστινού άξονα για τη δύναμη πέδησης, προστίθεται η μηχανική. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη το ποσοστό του συσσωρευτή. Εάν το ποσοστό της είναι πολύ υψηλό, δεν είναι κατάλληλη η φόρτιση της [8].

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ευστάθεια και επαρκής αποτελεσματικότητα στη διαδικασία πέδησης, οι κανονισμοί πέδησης ECE R13 που συγκροτήθηκαν από την Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη προβάλλουν ρητές απαιτήσεις για τη δύναμη πέδησης εμπρός και πίσω σε οχήματα διπλού άξονα. Κάτω από διάφορες συνθήκες φόρτωσης, πρέπει να διασφαλίσουμε ότι η ένταση πέδησης είναι ικανοποιητική [13].

Κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί το δικό της λογισμικό με τους δικούς της αλγορίθμους για την επίτευξη της ομαλής πέδησης των οχημάτων, έχοντας βέβαια ως στόχο όσα αναλύθηκαν.

Ένας άλλος τρόπος που μπορεί να παραχθεί ενέργεια είναι μέσω της ανάρτησης του οχήματος όταν βρίσκεται σε οδόστρωμα που υπάρχουν κραδασμοί. Σε αυτή τη περίπτωση ο ελεγκτής αντιμετωπίζει προβλήματα της σκληρότητας της ανάρτησης καθώς και ότι σχετίζεται με το συσσωρευτή όπως στην περίπτωση ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση. Στη περίπτωση αυτή οι βιομηχανίες έχουν αναπτύξει διάφορα συστήματα και έχουν διαμορφώσει με ποικίλους τρόπους την ανάρτηση του οχήματος για την μέγιστη παραγωγή ενέργειας. Παρόλα αυτά, η λειτουργία αυτή βρίσκεται ακόμα σε αρκετά πρώιμο στάδιο, οπότε δεν διατίθεται στην αγορά για μαζική αξιοποίησή στα οχήματα.

Κεφάλαιο 4: Τρόποι Ανάκτησης Ενέργειας

4.1: Σύστημα Ηλεκτροκινητήρα – Πέδησης

Τα τρέχοντα συστήματα ανάκτησης στις μοτοσυκλές έχουν σχεδιαστεί με χαμηλό σταθερό ρυθμό ανάκτησης ώστε να μην προκαλείται ολίσθηση του πίσω τροχού κατά την επιβράδυνση με το φρένο ανάκτησης ανεξάρτητα από την κατάσταση του δρόμου. Αυτοί οι τύποι συστημάτων δεν χρησιμοποιούν όλη τη διαθέσιμη ισχύ ανάκτησης, καθώς δίνεται μεγαλύτερη σημασία στην ασφάλεια κατά τη πέδηση.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ότι οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν και ως γεννήτριες ισχύος. Όταν απαιτείται θετική ροπή ο κινητήρας καταναλώνει ισχύ από το συσσωρευτή και όταν τίθεται αρνητική ροπή, η ισχύς από τον κινητήρα παρέχεται στους συσσωρευτές.

Στις μέρες μας εφαρμόζονται χειριστήρια πρόσφυσης και πέδησης, με στόχο την μείωση της απόστασης πέδησης και την παροχή καλύτερης ευελιξίας και εναλλαγής κατεύθυνσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Τέτοια συστήματα είναι το Antilock Brake System (ABS) και το Traction Control System (TCS). Τα συστήματα αυτά εξελίσσονται συνεχώς και χρησιμοποιούν όλο και πιο εξελιγμένους αλγορίθμους και πολύπλοκες αρχιτεκτονικές ελέγχου, βελτιώνοντας έτσι την διαμήκη και πλευρική δύναμη του ελαστικού και επιτυγχάνοντας την μέγιστη διαθέσιμη δύναμη στην επαφή του τροχού με τον δρόμο για την πρόσφυση και ειδικά κατά την πέδηση.

Στο πανεπιστήμιο της Μάλαγας δημιούργησαν έναν αλγόριθμο χρησιμοποιώντας τα παραπάνω συστήματα με την μέθοδο ενός αλγορίθμου το σύστημα ανακτά τη μέγιστη ενέργεια κατά τη διαδικασία της πέδησης με τον πίσω τροχό της μοτοσυκλέτας, τηρώντας την ασφάλεια του αναβάτη. Το σύστημα αυτό εκτιμώντας την πρόσφυση του δρόμου καθορίζει την βέλτιστη ροπή αναγεννητικής πέδησης χωρίς να προκαλεί ολίσθηση του τροχού. Μειώνοντας την χρήση του παραδοσιακού φρένου τριβής. Οι δοκιμές που έγιναν έδειξαν ότι το σύστημα αυτό παράγει περισσότερη ενέργεια σε σχέση με ένα σύστημα που έχει ορισμένη μια μικρή μόνιμη τιμή ανάκτησης για να είναι ασφαλής σε όλες τις συνθήκες δρόμου. Επίσης, έγιναν δοκιμές συγκρίνοντας το συμβατικό σύστημα πέδησης και τη πέδηση μέσω ανάκτησης ενέργειας. Τα αποτελέσματα ήταν πως σε δρόμο με υψηλή πρόσφυση η μοτοσυκλέτα μειώνει ταχύτητα από τα 80 km/h στα 20 km/h σε μικρότερη απόσταση χρησιμοποιώντας τη συμβατική πέδηση με το σύστημα ABS από ότι με την ανάκτηση ενέργειας. Το αντίστροφο όμως συμβαίνει σε συνθήκες δρόμου με μειωμένη πρόσφυση [14].

Μια άλλη καινοτομία για ανάκτηση ενέργειας σε ηλεκτρικές μοτοσυκλές πραγματοποιήθηκε από ένα πανεπιστήμιο στο Καναδά. Για να αντικαταστήσουν το σταθερό ποσοστό ανάκτησης ενέργειας που χρησιμοποιούν πολλές εταιρείες, προσομοίωσαν την πέδηση που έχει μια βενζινοκίνητη μηχανή μέσω της περιστροφικής λαβής του επιταχυντή και του κιβωτίου ταχυτήτων. Στις βενζινοκίνητες μοτοσυκλές ανάλογα τη ταχύτητα που έχει επιλεγεί στο κιβώτιο και ανάλογα το ποσοστό περιστροφής του επιταχυντή η μοτοσυκλέτα επιβραδύνει εξαιτίας της συμπίεσης του βενζινοκινητήρα. Στις ηλεκτρικές μοτοσυκλές όμως, δεν υπάρχει πεντάλ αλλαγής ταχυτήτων και η μανέτα του συμπλέκτη. Έτσι, σκέφτηκαν την

διατήρηση αυτών και να καθορίζουν αυτά στο μέγεθος της ροπής της ανάκτησης ενέργειας. Ο οδηγός δηλαδή θα μπορεί να προσαρμόζει την ανάκτηση ενέργειας με δύο τρόπους, με την στρέψη της λαβής, όπως γίνεται ήδη στις περισσότερες μοτοσυκλέτες της αγοράς ή με την χρήση του χειροκίνητου μοχλού και του πεντάλ αλλαγής ταχυτήτων. Διαμόρφωσαν ένα σύστημα με χρήση αλγορίθμου με το οποίο ο αναβάτης θα έχει τη δυνατότητα να επιλέξει έξι διαφορετικά προγράμματα ανάκτησης ενέργειας, μέσω του μοχλού ταχυτήτων και ανάλογα με την ταχύτητα της μοτοσυκλέτας, προσομοιάζοντας με αυτό τον τρόπο την επιβράδυνση μιας βενζινοκίνητης μοτοσυκλέτας. Επιπλέον, με τη χρήση της μανέτας του συμπλέκτη και του περιστροφικού μοχλού, του δίνεται η επιλογή να ελέγχει το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας και κατά συνέπεια το ποσοστό επιβράδυνσης. Ο αλγόριθμος επιλογής προγράμματος ανάκτησης ενέργειας βασίστηκε στην επιλογή ταχυτήτων ανάλογα των στροφών και της ταχύτητας μιας βενζινοκίνητης μοτοσυκλέτας, ώστε να είναι ευκολότερη η χρήση του στον αναβάτη. Τέλος, έλαβαν μέτρα για την προστασία ολίσθησης του τροχού και την μη υπερφόρτωση του συσσωρευτή [15].

Στην προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της σταθερής τιμής ανάκτησης ενέργειας, η οποία προκαλεί αρκετά συχνά δυσφορία στον αναβάτη ανάλογα με τον τρόπο που επιθυμεί να οδηγήσει, δημιουργήθηκε ένα σύστημα που περιλαμβάνει τον ηλεκτροκινητήρα, ένα ρυθμιστή της ανάκτησης ενέργειας, ένα ανιχνευτή της κατάστασης της μοτοσυκλέτας, όπως η θέση στην οποία βρίσκεται, για να ορίζει η μονάδα ελέγχου την αρνητική ροπή του κινητήρα, έτσι ώστε να γίνεται ανάκτηση της ενέργειας με βέλτιστο τρόπο. Σε αυτήν τη διαμόρφωση, ένας αναβάτης μπορεί να προσαρμόσει τη ποσότητα ανάκτησης σύμφωνα με μια κατάσταση οδήγησης, κάτι που μπορεί να βελτιώσει την άνεση. Για παράδειγμα, ο αναβάτης μπορεί να ρυθμίσει την επιβράδυνση όταν η μοτοσυκλέτα αρχίζει να στρίβει. Αυτό του επιτρέπει να οδηγεί εύκολα το όχημα έτσι ώστε να μπορεί να σταθεροποιηθεί η στάση του. Το παραπάνω σύστημα ελέγχου πέδησης ανάκτησης μπορεί να περιλαμβάνει ένα επιταχυντή, ο οποίος λειτουργεί για να ρυθμίσει μια ροπή εξόδου ή το ρυθμό επιτάχυνσης του οχήματος, καθώς το σύστημα ρυθμίζει τη ροπή ανάκτησης. Σε αυτήν τη διαμόρφωση, η ποσότητα ανάκτησης που αντιστοιχεί στην επιβράδυνση του κινητήρα μπορεί να ρυθμιστεί με βάση τη ροπή ανάκτησης αναφοράς [17].

Στο πανεπιστήμιο Brawijaya στην Ινδονησία δημιούργησαν ένα σύστημα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της υπερφόρτισης, της καλύτερης απόδοσης του συσσωρευτή και της ανάκτησης ενέργειας σε χαμηλές ταχύτητες κίνησης. Η θεωρία ασαφούς λογικής εφαρμόζεται για τον έλεγχο της κοινής χρήσης μεταξύ της χρήσης αναγεννητικών και ηλεκτρικών φρένων. Για τη βελτίωση της τρέχουσας απόκρισης της ηλεκτρικής πέδησης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αναλογικού-ολοκληρωτικού ελέγχου. Σε σύγκριση με τις ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές πέδησης, η μέθοδος αυτή προσφέρει καλύτερη απόδοση του συσσωρευτή, πρακτικότητα και οδηγική άνεση. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί έναν αμφίδρομο μετατροπέα πηγής τάσης (voltage – source inverter VSI), οπότε ελέγχοντας τον VSI και κάποιους αισθητήρες μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας ως γεννήτρια για την ανάκτηση ενέργειας. Ο κύριος εξοπλισμός είναι ένας αμφίδρομος μετατροπέας τάσης-πηγής. Λειτουργεί και με τους δύο τρόπους, παροχή ρεύματος από τον συσσωρευτή στον κινητήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργία επιτάχυνσης και αντίστροφα από τον κινητήρα στο συσσωρευτή κατά τη διαδικασία αναγεννητικής πέδησης. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι αναλογίες κοινής χρήσης μεταξύ της χρήσης της ηλεκτρικής

πέδησης και της μηχανικής πέδησης εφαρμόζεται η θεωρία ελέγχου ασαφούς λογικής (fuzzy logic control FLC). Επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας, του επιπέδου φόρτισης του συσσωρευτή και της απαιτούμενης ροπής πέδησης. Με τη χρήση του FLC, αποφεύγεται η υπερφόρτιση του συσσωρευτή. Το ρεύμα πέδησης στον κινητήρα ελέγχεται χρησιμοποιώντας έναν αναλογικό ολοκληρωτικό ελεγκτή (PI), ο οποίος είναι γνωστό ότι παρέχει γρήγορη απόκριση στη διόρθωση σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο. Η συνολική διαμόρφωση του συστήματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα [18].

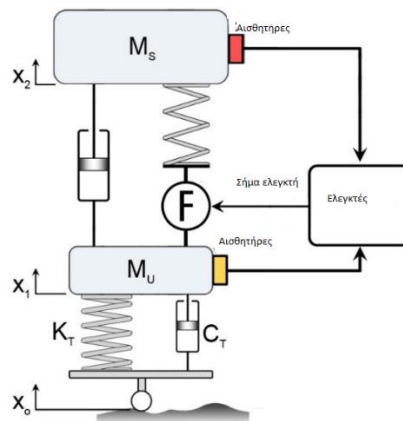
4.2: Ανάκτηση Ενέργειας Μέσω Αποσβεστήρα

Μια άλλη μέθοδος ανάκτησης ενέργειας είναι η χρήση ειδικά διαμορφωμένων αναρτήσεων. Σε αντίθεση με το συμβατικό αποσβεστήρα που μειώνει τους κραδασμούς μέσω του ιξώδους απόσβεσης και μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε θερμική ενέργεια που διαχέεται στο περιβάλλον, ο αναγεννητικός αποσβεστήρας μετατρέπει την κινητική ενέργεια κυρίως σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στους συσσωρευτές για μελλοντική χρήση. Αυτές μπορούν να αποσβέσουν ενέργεια κατά την λειτουργία τους ειδικά όταν το όχημα βρίσκεται σε ανώμαλο δρόμο. Σύμφωνα με μελέτες η ανάκτηση μέσω αυτής της μεθόδου είναι εξίσου σημαντική όσο και της μεθόδου μέσω της πέδησης, καθώς η ανακτώμενη ενέργεια μπορεί να φτάσει έως και το 70% σε ανώμαλο οδόστρωμα [20]. Σε αυτή την μέθοδο υπάρχουν αρκετές μελέτες και ποικίλες δοκιμές με διαφορετικούς τύπους αναρτήσεων, οι οποίες θα αναπτυχθούν παρακάτω. Ανάκτηση ενέργειας πραγματοποιείται τόσο με την χρήση παθητικών, όσο και με την χρήση ενεργητικών αναρτήσεων.

Η ενεργητική ανάρτηση βασίζεται στη θεωρία Skyhook, δηλαδή η ιδανική ανάρτηση θα επέτρεπε στο όχημα να διατηρεί μια σταθερή στάση σαν να είναι αναρτημένο από ένα φανταστικό άγκιστρο στον ουρανό, ανεπηρέαστο από τις συνθήκες του δρόμου. Δεδομένου ότι αυτό είναι προφανώς μη πραγματικό, τα πραγματικά ενεργά συστήματα ανάρτησης βασίζονται σε λειτουργίες ενεργοποίησης. Η νοητή γραμμή (μηδενικής κατακόρυφης επιτάχυνσης) υπολογίζεται με βάση την τιμή που παρέχεται από έναν αισθητήρα επιτάχυνσης που είναι εγκατεστημένος στο αμάξωμα του οχήματος. Τα δυναμικά στοιχεία περιλαμβάνουν μόνο το γραμμικό ελατήριο και τον γραμμικό αποσβεστήρα. Επομένως, δεν απαιτούνται περίπλοκοι υπολογισμοί. Θεωρητικά, σε περίπτωση που ο συντελεστής απόσβεσης φτάσει σε μια άπειρη τιμή, το όχημα θα είναι σε μια κατάσταση όπου είναι πλήρως στερεωμένο στη νοητή γραμμή, επομένως το όχημα δεν θα κουνιέται [19].

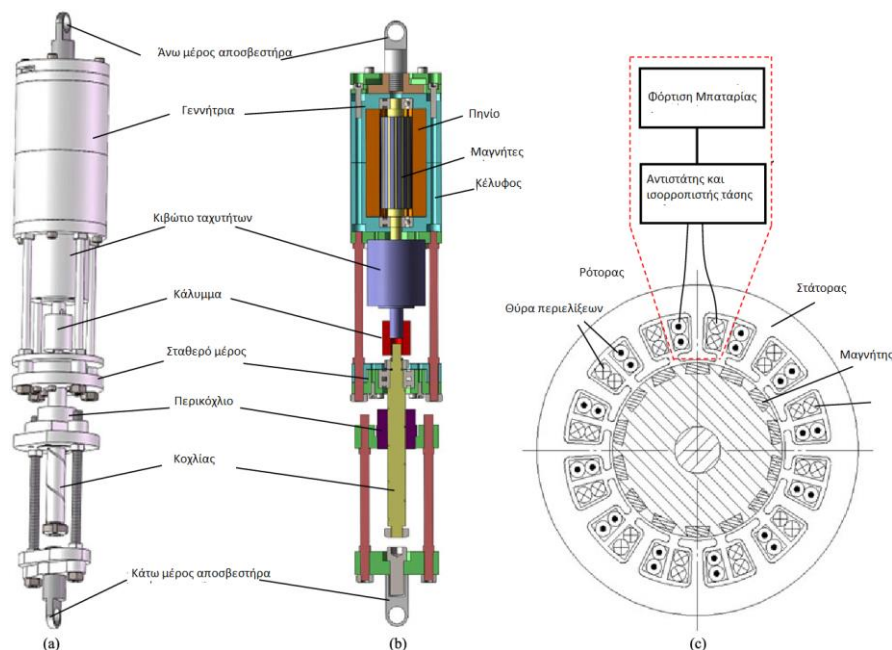
Η ενεργητική ανάρτηση είναι ένας τύπος ανάρτησης που χρησιμοποιεί ένα ενσωματωμένο σύστημα για τον έλεγχο της κατακόρυφης κίνησης των τροχών του οχήματος σε σχέση με το πλαίσιο ή το αμάξωμα του οχήματος και όχι την παθητική ανάρτηση που παρέχεται από μεγάλα ελατήρια όπου η κίνηση καθορίζεται εξ ολοκλήρου από το οδόστρωμα. Οι ενεργές αναρτήσεις χρησιμοποιούν κάποιο τύπο ενεργοποιητή για να ανυψώνουν και να κατεβάζουν ανεξάρτητα το πλαίσιο σε κάθε τροχή [20].

Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στους κατασκευαστές αυτοκινήτων να επιτύχουν μεγαλύτερο βαθμό ποιότητας κύλισης και χειρισμού του οχήματος διατηρώντας τα ελαστικά κάθετα στο δρόμο στις στροφές, επιτρέποντας καλύτερη πρόσφυση και έλεγχο. Ένας ενσωματωμένος υπολογιστής ανιχνεύει την κίνηση του αμαξώματος από αισθητήρες σε όλο το όχημα και χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, ελέγχει τη δράση των ενεργών και ημιενεργών αναρτήσεων. Το σύστημα ουσιαστικά εξαλείφει την κύλιση του αμαξώματος και τη διακύμανση του βήματος σε πολλές οδηγικές καταστάσεις, όπως οι στροφές, η επιτάχυνση και η πέδηση.

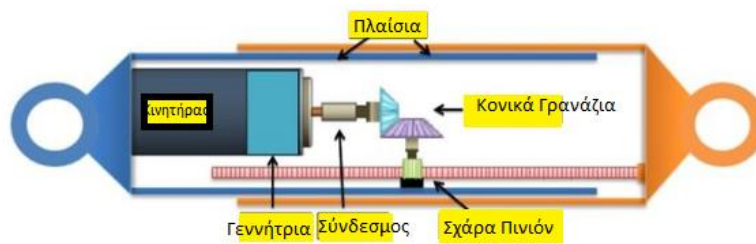


Εικόνα 7: Δυνάμεις Ενεργητικής
Ανάρτησης Πηγή:
https://www.researchgate.net/figure/High-bandwidth-active-suspension-system_fig3_301776485

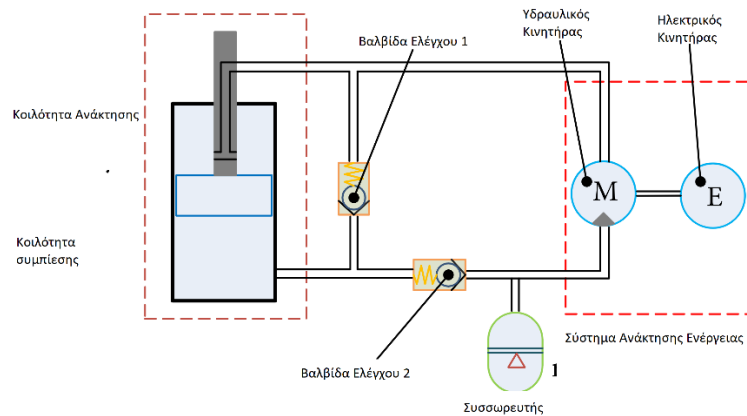
Χρησιμοποιώντας την ανάκτηση ενέργειας μέσω των αναρτήσεων μπορεί να υποστηριχθεί η ενέργεια που απαιτείται για τις βασικές λειτουργίες του οχήματος αλλά και να αποθηκευτεί στους συσσωρευτές. Τα πρωτότυπα συστήματα συλλογής ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα ηλεκτρομαγνητικά και στα υδραυλικά συστήματα, τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν στο σύστημα από λίγα watt μέχρι μερικά εκατοντάδες αναλόγως το οδόστρωμα. Αναφορικά με τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα ανάκτησης ενέργειας αποτελούνται από έναν σωληνοειδή ενεργοποιητή μόνιμου μαγνήτη, παράλληλα με το παθητικό ελατήριο και τον αποσβεστήρα. Ένας άλλος τρόπος είναι μια περιστροφική ηλεκτρομαγνητική γεννήτρια να μετατρέπει την μετακίνηση της ανάρτησης σε ηλεκτρική ενέργεια [20].



Εικόνα 8: Ηλεκτρομαγνητική Ανάκτηση Ενέργειας [20]



Εικόνα 9: Ανάρτηση Πινιόν-Σχάρα [20]



Εικόνα 10: Υδραυλική Ανάρτηση Ανάκτησης Ενέργειας [20]

Από την άλλη, όσον αφορά τα υδραυλικά συστήματα, ο υδραυλικός ενεργοποιητής μπορεί να είναι μονού ή διπλού αποσβεστήρα με ηλεκτρικά ελεγχόμενες βαλβίδες ενώ η συσκευή ανάκτησης ενέργειας είναι συνήθως ο συνδυασμός αντλίας με γεννήτρια ηλεκτρικού κινητήρα. Παρόμοιο με το ηλεκτρομαγνητικό αναγεννητικό συστήματα, η δυνητική αναγεννημένη ενέργεια των υδραυλικών συστημάτων εξαρτάται από διαφορετικές συνθήκες οδήγησης και σχεδιασμούς συστημάτων.

Αυτά τα συστήματα, όπως γίνεται κατανοητό και από τις εικόνες είναι περίπλοκα συστήματα αποσβεστήρων για την ανάκτηση ενέργειας. Έτσι, τα περισσότερα από αυτά τα βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, καθώς οι εταιρείες δεν είναι πεπεισμένες για την αξιοπιστία που μπορούν να προσφέρουν, την συμφορά τους στα ηλεκτρικά οχήματα και δεν είναι πλήρως εξελιγμένα.

Το αναγεννητικό σύστημα ανάρτησης μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες με βάση τη λειτουργία οδήγησης. Εάν η ενέργεια μπορεί να αναγεννηθεί απευθείας ως αποτέλεσμα της γραμμικής κίνησης, δηλαδή του συστήματος τροχού και του αμαξώματος του οχήματος, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως το σύστημα αποσβεστήρα με ανάκτηση άμεσης μετάδοσης κίνησης. Ο άλλος τύπος, που είναι το σύστημα ανάρτησης με ανάκτηση έμμεσης μετάδοσης κίνησης, βασίζεται σε έναν συγκεκριμένο

μηχανισμό για την επίτευξη της μετατροπής μεταξύ της γραμμικής κίνησης της ανάρτησης και της περιστροφικής κίνησης της γεννήτριας.

4.3: Αποσβεστήρες Άμεσης Ανάκτησης

4.3.1: Μέθοδος Μαγνητών

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει η εμφάνιση ηλεκτρομαγνητικών αναρτήσεων, αντικαθιστώντας τα παθητικά, ημιενεργά και υδραυλικά συστήματα, καθώς έχουν βελτιωμένη απόδοση και μειωμένο κόστος. Έρευνα απέδειξε ότι η περιορισμένη πυκνότητα δύναμης ενός ηλεκτρομαγνητικού συστήματος σε σύγκριση με ένα υδραυλικό σύστημα μπορεί να ξεπεραστεί με σωστή σχεδίαση, γεωμετρικής βελτιστοποίησης και των υλικών, με αποτέλεσμα μια σχετικά υψηλή πυκνότητα δύναμης 663 kN/m^3 . Ακόμη, η ικανότητα της ανάκτησης, παρά την αναγκαιότητα συνεχούς ισχύος σε σύγκριση με ένα υδραυλικό σύστημα καθιστούν αυτά τα συστήματα καταλληλότερα λόγω των μειωμένων εκπομπών CO_2 [20]. Επίσης, αυτά τα συστήματα προσφέρουν αυξημένο εύρος ζώνης λειτουργίας σε σχέση με τα υδραυλικά και πνευματικά συστήματα, γεγονός που βελτιώνει δραστικά την απόδοση όσον αφορά την άνεση, τη σταθερότητα και την ευελιξία του οχήματος. Τέλος, λόγω της υψηλής πυκνότητας δύναμης, της ιδανικά μηδενικής δύναμης έλξης και της σωληνοειδούς δομής, είναι εξαιρετικός υποψήφιος για την απορρόφηση δυνάμεων σε πολύ σύντομο χρόνο απόκρισης και μπορεί να μετατρέψει τη γραμμική κίνηση απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας.

Έρευνα των B.L.J. Gysen, Johannes J.H. Paulides που πραγματοποιήσαν σε αυτοκίνητο έδειξε ότι για να μην επηρεαστεί η άνεση του οχήματος η ισχύς που μπορεί να αναγεννηθεί είναι 235Watt σε ανώμαλο δρόμο και 65 Watt σε ομαλό [21].

Με σκοπό να αυξηθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου, άρα και η ισχύ εξόδου δοκιμάστηκαν διάφορα σχέδια μαγνητών. Ένας από τους ευκολότερους τρόπους είναι να αυξηθεί ο αριθμός των μαγνητών, με αποτέλεσμα περισσότερες γραμμές μαγνητικής ροής που μπορούν να παγιδευτούν ανάμεσα σε δύο στρώματα μαγνητών όπου είναι συνδεδεμένα τα πηνία, αυξάνοντας έτσι την τάση εξόδου. Πολλοί ερευνητές έχουν υιοθετήσει αυτόν τον τρόπο στα σχέδιά τους καθώς είναι αποτελεσματικός και απλός στην κατασκευή του [20].

Όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα οι μαγνήτες είναι σε μια στοίβα και δεν τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλον, αλλά τους χωρίζουν οι αποστάτες. Οι έρευνες έδειξαν ότι οι στοίβα μαγνητών αποδίδει υψηλότερη ισχύ με χρήση αποστατών ίδιου πάχους, από ότι με λεπτότερους ή παχύτερους. Η ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί σε αυτή την περίπτωση αγγίζει το 60% [20].

Το πρόβλημα που εμφανίζεται είναι το μεγάλο βάρος του συστήματος στην περίπτωση που τοποθετηθούν πολλά στρώματα μαγνητών, το οποίο θα επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα, δηλαδή μεγάλη κατανάλωση καυσίμου, αντιφατικό με την αρχικό σκοπό της συγκεκριμένης ανάρτησης.

Το μοτίβο μαγνητικής διάταξης της διάταξης Halbach μελετήθηκε από πολλούς ερευνητές για την υψηλή σταθμισμένη πυκνότητα μαγνητικής ροής σε σύγκριση με άλλα μοτίβα μαγνητών. Μια διάταξη Halbach είναι μια ειδική διάταξη

μόνιμων μαγνητών που αυξάνει το μαγνητικό πεδίο στη μία πλευρά της συστοιχίας ενώ ακυρώνει το πεδίο σχεδόν στο μηδέν στην άλλη πλευρά. Αυτό επιτυγχάνεται έχοντας ένα χωρικά περιστρεφόμενο μοτίβο μαγνητισμού [20].

Το περιστρεφόμενο μοτίβο των μόνιμων μαγνητών μπορεί να συνεχιστεί επ'αόριστον και να έχει το ίδιο αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα αυτής της διάταξης είναι περίπου παρόμοιο με πολλούς μαγνήτες πετάλου που τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλο, με τους παρόμοιους πόλους να εφάπτονται. Ο φυσικός Klaus Halbach , ενώ βρισκόταν στο Εθνικό Εργαστήριο Lawrence Berkeley κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, εφηύρε ανεξάρτητα τη διάταξη Halbach για να εστιάσει τις δέσμες επιταχυντών σωματιδίων [22].

Μια διάταξη Halbach, που δείχνει τον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου κάθε κομματιού. Αυτός ο πίνακας θα δώσει ένα ισχυρό πεδίο από κάτω, ενώ το πάνω πεδίο θα ακυρωθεί [22].

Περιστρέφοντας τον προσανατολισμό της πολικότητας των μαγνητών κατά 90 μοίρες κάθε φορά για να σχηματιστεί μια διάταξη Halbach, οι γραμμές μαγνητικής ροής μπορούν να συσσωρευτούν στη μία πλευρά της διάταξης Halbach που είναι κοντά στα πηνία, αφήνοντας σχεδόν μηδενική μαγνητική ένταση πεδίου στην άλλη πλευρά της διάταξης Halbach. Η διάταξη Halbach έχει την υψηλότερη πυκνότητα μαγνητικής κάμψης σε σύγκριση με τις συμβατικές διατάξεις προσανατολισμού πολικότητας διαμήκους και εγκάρσιου μαγνήτη με ή χωρίς τον διαχωριστή, επειδή οι ακτινικοί μαγνήτες στη διάταξη Halbach έχουν καλύτερη απόδοση από τη διάταξη άλλων μαγνητών στην επίτευξη της υψηλής πυκνότητας μαγνητικής ροής. Η χρήση του σχεδίου διάταξης μαγνητών διάταξης Halbach μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη για την απόκτηση της βελτιωμένης δυναμικής. Έχει επικυρωθεί πειραματικά ότι η διάταξη Halbach με έναν ελεγκτή μπορεί να βελτιώσει τη σταθερότητα του συστήματος. Μερικοί ερευνητές συνδύασαν τις δύο προαναφερθείσες μεθόδους και πρότειναν τα διπλά στρώματα της διάταξης μαγνητών διάταξης Halbach [20].

4.3.2: Ηλεκτρομαγνητικός Αποσβεστήρας MR

Το σύστημα αποσβεστήρα MR είναι αυτοτροφοδοτούμενο, ελεγχόμενο όπου τα συστήματα παραγωγής ενέργειας και λειτουργίας του αισθητήρα είναι ενσωματωμένα στον ίδιο τον αποσβεστήρα. Το υγρό MR είναι ένα μαγνητορεολογικό υγρό (MR fluid ή MRF), ένας τύπος έξυπνου υγρού σε ένα φέρον ρευστό, συνήθως ένας τύπος λαδιού. Όταν υποβάλλεται σε μαγνητικό πεδίο, το ρευστό αυξάνει πολύ το φαινομενικό του ιξώδες, σε σημείο να γίνεται ιξωδοελαστικό στερεό. Είναι σημαντικό ότι η τάση διαρροής του ρευστού όταν βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση μπορεί να ελεγχθεί με μεγάλη ακρίβεια μεταβάλλοντας την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι ότι η ικανότητα του ρευστού να μεταδίδει δύναμη μπορεί να ελεγχθεί με έναν ηλεκτρομαγνήτη, ο οποίος δημιουργεί πολλές πιθανές εφαρμογές που βασίζονται στον έλεγχο. Η ενσωμάτωση των συστημάτων οδηγεί σε μεγάλη μείωση χώρου και βάρους, αποδοτικότητα κόστους, αξιοπιστία και λιγότερη συντήρηση σε σύγκριση με τη διατήρηση των διαφορετικών διατάξεων διαχωρισμένων. Το προτεινόμενο σύστημα προσομοιώθηκε και δοκιμάστηκε ένα

πρωτότυπο με πειράματα. Τα πειραματικά δεδομένα ταιριάζουν καλά με τις προσομοιώσεις και τη θεωρία για όλες τις εξεταζόμενες λειτουργίες που περιλαμβάνουν την ικανότητα ελέγχου του αποσβεστήρα, την παραγωγή ενέργειας και τη λειτουργικότητα του αισθητήρα. Η δόνηση που επιβάλλεται στο σύστημα προκαλεί γραμμική κίνηση της ράβδου του εμβόλου. Το τμήμα ισχύος και το τμήμα αισθητήρα του συστήματος είναι και τα δύο άμεσα συνδεδεμένα με τη ράβδο και ως εκ τούτου κινούνται μαζί της. Το τμήμα ισχύος αποτελείται κυρίως από μόνιμους μαγνήτες και πηνία. Επειδή το εσωτερικό στρώμα του ηλεκτρικού τμήματος είναι προσαρτημένο στην κινούμενη ράβδο, εμφανίζεται σχετική ταχύτητα μεταξύ του εσωτερικού στρώματος και του εξωτερικού στρώματος του εξαρτήματος ισχύος. Αυτό προκαλεί μια αλλαγή στη μαγνητική ροή που με τη σειρά του παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το τμήμα του αισθητήρα αποτελείται κυρίως από ένα πηνίο και έναν μαγνητισμένο δακτύλιο. Όταν κινείται με τη ράβδο δημιουργεί μια αλλαγή στο μαγνητικό κύκλωμα. Από τον νόμο του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, η κίνηση δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση στο πηνίο που είναι ανάλογη με την ταχύτητα του αισθητήρα. Με τη μέτρηση της τάσης μπορεί να ληφθεί η ταχύτητα της κινούμενης ράβδου. Η ικανότητα απόσβεσης του αποσβεστήρα MR επιτυγχάνεται από το υγρό MR που βρίσκεται στο τμήμα απόσβεσης. Το ρευστό παρουσιάζει μια γρήγορη μετάβαση από μια υγρή κατάσταση σε μια ημιστερεή κατάσταση μέσα σε λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου όταν εκτίθεται σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Αυτή η γρήγορη μετάβαση και η δυνατότητα μέτρησης της ταχύτητας ανάρτησης χρησιμοποιώντας αισθητήρα είναι αυτός που κάνει τη δύναμη απόσβεσης ελεγχόμενη και αποτελεσματική. Η αναγεννητική ικανότητα του τμήματος ισχύος είναι αυτό που κάνει ολόκληρο το σύστημα αυτοτροφοδοτούμενο και επομένως εξαιρετικά αποδοτικό [23].

Το πείραμα έδειξε ότι η ποσότητα ισχύος που θα μπορούσε να παραχθεί και να χρησιμοποιηθεί για την απόσβεση του φορτίου σε μια ανάρτηση οχήματος με τη σχετική τετραγωνική ταχύτητα των $0,04-0,36 \text{ m/s}^2$ ήταν 10-90 W. Επίσης αποδείχθηκε ότι όσο το ρεύμα στον ελεγκτή απόσβεσης αυξάνεται, η δύναμη απόσβεσης αυξάνεται σταδιακά μέχρι να μηδενιστεί, λόγω κορεσμού του υγρού MR. Η δύναμη απόσβεσης που θα μπορούσε να δημιουργήσει ένας αποσβεστήρας MR είναι περίπου 2560 N με επαγόμενο ρεύμα 1 A [23].

4.4: Αποσβεστήρες Έμμεσης Μετάδοσης για Ανάκτηση Ενέργειας

Για την αποφυγή χρήσης μαγνητών, οι οποίοι προσφέρουν αρκετά μεγάλο επιπλέον βάρος, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τα οποία μετατρέπουν την γραμμική κίνηση της ανάρτησης σε περιστροφική.

Οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί και αναπτυχθεί είναι μηχανισμοί βίδας με παξιμάδι, πινιόν με σχάρα, υδραυλικοί, πνευματικοί και διάφορες ακόμα παραλλαγές τους.

Οι Li, Zuo πρότειναν ένα καινοτόμο σύστημα, το οποίο μπορεί να μετατρέψει την γραμμική κίνηση του αποσβεστήρα σε μονοκατευθυντική περιστροφή της γεννήτριας. Ο μηχανισμός οδοντωτών τροχών βοηθά στη μετατροπή και ενίσχυση της μετατόπισης. Η αμφίδρομη γραμμική κίνηση σε μονοκατευθυντική περιστροφή επιτυγχάνεται με το κωνικό γρανάζι και τον συμπλέκτη. Τα πειράματα και οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν από τους ερευνητές έδειξαν ότι επιτεύχθηκε υψηλή απόδοση 60% και ισχύ εξόδου 15 W όταν το όχημα οδηγείται με ταχύτητα 25 km/h [20].

4.4.1: Πινιόν - Σχάρα

Οι Zhang, Zhang και Guo, Liu βελτιστοποίησαν τον μηχανισμό κίνησης προτείνοντας το σύστημα διπλού συμπλέκτη. Δύο σετ από σχάρες και πινιόν και οι 2 συμπλέκτες που είναι προσαρτημένοι επιτρέπουν την αύξηση της διέγερσης και την ανόρθωση κίνησης να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα σε περιορισμένο χώρο. Ο άξονας περιστρέφεται προς μία κατεύθυνση και οδηγεί τη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος για παραγωγή ενέργειας. Η παραγόμενη ισχύς αποθηκεύεται στον πυκνωτή για άλλη εφαρμογή. Το κατασκευασμένο πρωτότυπο παρήγαγε 4.302 W στα 2,5 Hz με πλάτος μετατόπισης διέγερσης 7,5 mm. Η απόδοση απόσβεσης μπορεί να αλλάξει ρυθμίζοντας την ηλεκτρική αντίσταση εξωτερικού φορτίου [20].

4.4.2: Κοχλία – Περικόχλιο

Ο μηχανισμός σφαιρικών κοχλιών εισήχθη ως εναλλακτικός τρόπος από πολλούς ερευνητές. Παρόμοιο με το προηγούμενο σύστημα, μετατρέπει την γραμμική κίνηση σε περιστροφική κίνηση μέσω μιας βίδας που περιστρέφεται κατά μήκος του αποσβεστήρα. Λόγω της κίνησης προς τα πάνω και προς τα κάτω του αποσβεστήρα, η μετατρεπόμενη περιστροφική κίνηση είναι αμφίδρομη, οπότε χρειάζεται και αυτή διόρθωση. Οι Zhang, Huang ενσωμάτωσαν τον μηχανισμό βίδας και τον ηλεκτροκινητήρα συνεχούς τάσης χωρίς ψήκτρες σε ένα αναγεννητικό σύστημα αποσβεστήρα. Το αποτέλεσμα του πειράματος έδειξε ότι η μέγιστη τάση των 17,5 V μπορεί να δημιουργηθεί σε ανώμαλο δρόμο. Λόγω της χαμηλής τάσης, απαιτείται ένας μετασχηματιστής για τη φόρτιση του συσσωρευτή. Επίσης, η απόδοση κύλισης και άνεσης δεν μπορεί να είναι εγγυημένη σε πολύ ανώμαλο δρόμο [20].

Μια άλλη συνδυασμένη καινοτομία στο αναγεννητικό σύστημα της ανάρτησης προτάθηκε από τον Liu Xu όπου εγκατέστησε σε ένα σύστημα όπως το παραπάνω, δύο συμπλέκτες, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την διόρθωση της κίνησης από αμφίδρομη σε μονοκατευθυντική κίνηση. Ο συντελεστής ενίσχυσης της ταχύτητας εισόδου μπορεί να ρυθμιστεί μέσω ενός μηχανισμού σφαιρικού κοχλία και η κινητική ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί σε όλη την παλινδρομική κίνηση του συστήματος. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι μια μέση ισχύς εξόδου 24,7 W μπορεί να συλλεχθεί σε περίοδο 8 δευτερολέπτων και ο ρυθμιζόμενος συντελεστής απόσβεσης μπορεί να διατηρηθεί κοντά στον συντελεστή απόσβεσης των αποσβεστήρων επιβατικών οχημάτων [20].

4.4.3: Υδραυλικός Αποσβεστήρας

Αντί να μετατρέπουν τη γραμμική κίνηση σε περιστροφική κίνηση μηχανικά, τα υδραυλικά/πνευματικά συστήματα αναπτύχθηκαν σε πολλά σχέδια ανάκτησης ενέργειας για ομαλότερη λειτουργία και λιγότερη μηχανική απαγωγή ενέργειας λόγω τριβής. Όπως και τα άλλα συστήματα ανάρτησης με ανάκτηση έμμεσης μετάδοσης κίνησης, η ομαλότερη λειτουργία και η ανόρθωση κίνησης μπορούν να ελεγχθούν ταυτόχρονα από το υδραυλικό σύστημα. Αναπτύχθηκε ένα ενεργά ελεγχόμενο σύστημα υδραυλικής ανάρτησης χρησιμοποιώντας μια αντλία λαδιού για τη δημιουργία υδραυλικής πίεσης στον αποσβεστήρα. Το σύστημα είχε βαλβίδες μονής κατεύθυνσης για τον έλεγχο της κατεύθυνσης της ροής του υγρού, επιταχυνσιόμετρα και στις τέσσερις γωνίες της ανάρτησης, ενεργοποιητές και συσσωρευτές, για να μειωθεί ο χρόνος απόκρισης στο σύστημα και να διασφαλιστεί ότι διατηρείται επαρκής πίεση σε αυτό. Προτάθηκε το παρόμοιο υδραυλικό σύστημα με τέσσερις βαλβίδες αντεπιστροφής της ροής και διαπίστωσε ότι οι συσσωρευτές μπορούν να βελτιστοποιηθούν και να αυξήσουν την απόδοση ισχύος έως και 40% [20].

Το μειονέκτημα του υδραυλικού/πνευματικού συστήματος ανάκτησης ενέργειας είναι ότι ο χρόνος απόκρισης καθυστερεί λόγω του ρυθμού ροής και της συμπιεστότητας του υγρού, επίσης, η ξαφνική πίεση μπορεί να οδηγήσει σε πιθανή αστοχία, με αποτέλεσμα ένα αναξιόπιστο σύστημα που μπορεί να προκαλέσει ατυχήματα. Για να απλοποιήσουν το σύστημα δημιουργήθηκε ένα σύστημα υδραυλικής ανάκτησης όπου τοποθετούνται βαλβίδες αντεπιστροφής μέσα στο υδραυλικό έμβολο για τη μείωση της μηχανικής δυσκολίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν αύξηση 12% ανάκτησης ισχύος [20].

Το πνευματικό σύστημα ανάρτησης υιοθετήθηκε σε πολλά οχήματα, ειδικά για εκτός δρόμου καταστάσεις λόγω της υψηλής ενεργειακής του πυκνότητας σε περιορισμένο χώρο, της άνεσης και της μεταβλητής απόδοσης του αποσβεστήρα. Αυτό μπορεί να μετατραπεί σε αναγεννητικό σύστημα χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εξαρτήματα μετατροπής ενέργειας. Οι Shaiju και Mitra πρότειναν την ιδέα όπου η ενέργεια της ταλάντωσης του ελατηρίου του οχήματος θα μπορούσε να συλλεχθεί και να αποθηκευτεί με τη μορφή ενέργειας πεπιεσμένου αέρα. Τα θεωρητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η δυναμική του οχήματος θα μπορούσε να βελτιωθεί από το πνευματικό σύστημα ανάρτησης μέσω της ενσωμάτωσης στο σύστημα πέδησης, δηλαδή να παρέχει αέρα σε αυτό. Το πνευματικό σύστημα λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως

το υδραυλικό σύστημα λόγω της παρόμοιας ιδιότητας ροής, πολλοί συγγραφείς το θεωρούν ως ίδιο σύστημα. Λόγω της συμπιεστής φύσης του αέρα, ωστόσο, σε κάποιο βαθμό, το πνευματικό σύστημα λειτουργεί διαφορετικά από το υδραυλικό σύστημα. Επομένως, η αξιολόγηση της απόδοσης συλλογής ενέργειας του πνευματικού αναγεννητικού αποσβεστήρα χαρακτηρίζεται μέχρι στιγμής ως ένα ερευνητικό κενό επειδή λίγοι άνθρωποι έχουν εργαστεί σε αυτό [20].

4.5: Σύγκριση Συστήματος Άμεσης και Έμμεσης Ανάκτησης Ενέργειας.

Συγκρίνοντας αυτά τα δυο συστήματα, αναγνωρίζονται μερικά πλεονεκτήματα στη μέθοδο ανάκτησης ενέργειας μέσω της έμμεσης μετάδοσης κίνησης. Μερικά από αυτά είναι:

- Τα πλάτη συχνότητας, μετατόπισης και ταχύτητας της διέγερσης εισόδου μπορούν να αλλάξουν μέσω του εγκατεστημένου μηχανισμού για να επιτευχθεί καλύτερη συλλογή ενέργειας και δυναμική του οχήματος.
- Η αύξηση της ταχύτητας διέγερσης εισόδου μέσω του μηχανισμού ενίσχυσης ταχύτητας μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη για ισχυρό μαγνητικό πεδίο, επομένως η ποσότητα των μαγνητών μπορεί να μειωθεί και να ελαχιστοποιηθεί το ανεπιθύμητο πρόσθετο βάρος.
- Η διάταξη του συστήματος είναι πιο ευέλικτη καθώς ο μηχανισμός της έμμεσης κίνησης δεν χρειάζεται να βρίσκεται μέσα στον αποσβεστήρα [20].

Μια άλλη αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο τρόπων μετάδοσης κίνησης είναι ότι το σύστημα άμεσης μετάδοσης κίνησης έχει την έξοδο εναλλασσόμενου ρεύματος και η έμμεση μονάδα έχει την έξοδο συνεχούς τάσης. Ως αποτέλεσμα, η τάση εξόδου του συστήματος άμεσης μετάδοσης κίνησης χρειάζεται διόρθωση πριν από τη φόρτιση του συσσωρευτή, ενώ στο σύστημα έμμεσης μετάδοσης κίνησης, η περιστροφή του κινητήρα συνεχούς ρεύματος προς μια κατεύθυνση έχει σταθερή έξοδο συνεχούς τάσης, επομένως δεν απαιτείται η διαδικασία διόρθωσης. Απαιτείται ρύθμιση ή μετατροπείας DC-DC και για τα δύο συστήματα για τη διατήρηση μιας σταθερής τάσης για την αποτελεσματική φόρτιση ενός συσσωρευτή [23].

Για να συγκριθεί η απόδοση της συλλογής ενέργειας των αναγεννητικών αποσβεστήρα με διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης κίνησης, οι Gupta, Jendrzejczyk σχεδίασαν συστήματα ανάκτησης ενέργειας με αποσβεστήρα άμεσης μετάδοσης και έμμεσης μετάδοσης εγκατεστημένα σε όχημα παντός εδάφους που περνάει μια ξύλινη δοκό. Ο αποσβεστήρας στην 1^η εικόνα είναι ένας γραμμικός ηλεκτρομαγνητικός άμεσης μετάδοσης κίνησης με δύο στρώματα μαγνητών και στην 2^η είναι ένα έμμεσο σύστημα μετάδοσης κίνησης με μοχλό βραχίονα που μπορεί να μετατρέψει τη γραμμική κίνηση σε περιστροφική κίνηση όπου η ταχύτητα εισόδου ενισχύεται 6 φορές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν τρέχει πάνω από την ξύλινη δοκό, το σύστημα άμεσης μετάδοσης κίνησης μπορεί να παράγει 7,4W ενώ το σύστημα έμμεσης μετάδοσης κίνησης μπορεί να παράγει 88,8W [23].

Παρόλο που τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ των ποσοτήτων της συλλεγόμενης ισχύος, δεν μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το σύστημα έμμεσης μετάδοσης κίνησης είναι πιο αποτελεσματικό από το σύστημα άμεσης μετάδοσης κίνησης. Στα περισσότερα έγγραφα που συγκρίνουν τους τρόπους μετάδοσης κίνησης, οι διαμορφώσεις της γεννήτριας διαφέρουν καθώς το σύστημα άμεσης μετάδοσης κίνησης έχει μια γραμμική γεννήτρια και το σύστημα έμμεσης μετάδοσης

κίνησης έχει μια περιστροφική γεννήτρια, επομένως η διαφορά στις διαμορφώσεις της γεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορά της παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, θα πρέπει να αξιολογηθούν οι συντελεστές απόσβεσης των αναγεννητικών αποσβεστήρων και οι επιπτώσεις τους στη δυναμική του οχήματος [20].

Λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά των διαφορετικών τρόπων μετάδοσης κίνησης, προτείνεται σε μελλοντικές μελέτες να χρησιμοποιηθεί η ίδια σταθερά γεννήτριας ή σταθερά ηλεκτρομηχανικής σύζευξης έτσι ώστε να συγκριθούν η ικανότητα παραγωγής ενέργειας και η δύναμη αντίστασης του κινητήρα με αποτελεσματικότερο τρόπο.

4.6: Υβριδικά Συστήματα Αποσβεστήρων

Στα συγκεκριμένα συστήματα συνδυάζονται οι καινοτομίες της άμεσης και έμμεσης μετάδοσης κίνησης. Τα υβριδικά συστήματα που έχουν δημιουργηθεί σε ερευνητικό στάδιο μέχρι στιγμής είναι μεγάλα σε όγκο και δεν προσφέρουν αξιοπιστία λόγω της αυξημένης πιθανότητας αστοχίας, παρόλο τις δικλείδες ασφαλείας που παρουσιάζουν. Για την αξιοπιστία τους ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό η περιπλοκότητα των συστημάτων αυτών, καθώς και το πλήθος των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται. Επίσης, ένας μεγάλος αριθμός εξαρτημάτων μπορεί να αποβάλλει επιπλέον ποσότητα ενέργειας, με αποτέλεσμα χαμηλότερη ισχύ εξόδου σε σύγκριση με το σύστημα άμεσης μετάδοσης κίνησης και το σύστημα έμμεσης μετάδοσης κίνησης. Ενδεικτικά σε ένα υβριδικό σύστημα ο κύριος κύλινδρος λειτουργεί ως αποσβεστήρας μειώνοντας τους κραδασμούς μέσω της ανάρτησης του οχήματος και παρέχοντας επίσης την κίνηση στον δευτερεύοντα κύλινδρο για την ενίσχυση της ταχύτητας. Όταν ο δευτερεύων κύλινδρος αστοχεί, ο κύριος κύλινδρος θα συνεχίσει να λειτουργεί ως παθητικός αποσβεστήρας. Σημαντική ποσότητα ενέργειας μπορεί να παραχθεί χωρίς να διακυβεύεται η οδηγική άνεση και η οδηγική απόδοση του οχήματος [20].

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση Ενεργειακού Οφέλους του Συστήματος Ανάκτησης Ενέργειας με Ηλεκτροκινητήρα – Πέδηση και Αποσβεστήρα

5.1: Ανάλυση Χαρακτηριστικών της Μοτοσυκλέτας

Για ένα τύπο όρθιας μοτοσυκλέτας έγινε θεωρητική αποτίμηση της ενεργειακής απόδοσης που μπορεί να έχει η ανάκτηση ενέργειας μέσω ενός ηλεκτρικού μοτέρ και ενός αποσβεστήρα. Ο τύπος της μοτοσυκλέτας είναι street bike μεσαίου μεγέθους, για παράδειγμα όπως το Zero SR ZF 14.



Εικόνα 11: Zero SR ZF 14 [43]

Επιλέχθηκε αυτός ο τύπος μοτοσυκλέτας, λόγω της μεγάλης εμπορικής ζήτησης που έχει και η θεωρητική μελέτη που έγινε πάνω σε αυτό το τύπο, ενδιαφέρει ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό μοτοσικλετιστών.

Αυτή η θεωρητική προσέγγιση πραγματοποιήθηκε για μια ημερήσια διαδρομή ενός αναβάτη, ο οποίος οδηγεί την ηλεκτρική μοτοσυκλέτα του για την μεταφορά του στον χώρο εργασίας μετ' επιστροφής. Δηλαδή μια καθημερινή διαδρομή κατά μέσο όρο τριάντα χιλιομέτρων και μέσο όρο ταχύτητας τα 30 km/h, με οδήγηση κυρίως σε αστικούς δρόμους.

Ο ηλεκτρικός κινητήρας που επιλέχθηκε για την θεωρητική προσομοίωση είναι ένας BLDC (συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες). Οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλή υψηλή ροπή εκκίνησης, υψηλό βαθμό απόδοσης 95-98% και χρειάζονται σχεδόν μηδαμινή συντήρηση. Καθώς, ο τύπος της μοτοσυκλέτας είναι όρθιου τύπου κατηγορίας street bike και δεν είναι scooter, χρησιμοποιήθηκε κινητήρας Mid-drive, δηλαδή ο ηλεκτροκινητήρας συνδέεται με τον τροχό μέσω αλυσίδας ή ιμάντα και δεν είναι μέσα στον τροχό, λόγω των υψηλών ταχυτήτων που μπορεί να αναπτύξει η μοτοσυκλέτα και της μεγάλης διαμέτρου του τροχού, αφού οι HUB κινητήρες έχουν μικρή διάμετρο τροχού. Αυτού του είδους ο κινητήρας είναι εύκολα διαθέσιμος από πολλούς κατασκευαστές, λόγω της μεγάλης ζήτησης που έχει, αφού χρησιμοποιείται στα

περισσότερα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος ηλεκτροκινητήρας, δίνει στον κατασκευαστή τη δυνατότητα, να τον τοποθετήσει πάνω στη μοτοσυκλέτα σε όποιο σημείο θεωρεί πρακτικά καλύτερο. Τέλος, έχει μεγάλη ταχύτητα περιστροφής και μεγάλη ροπή.

Η μετάδοση από τον κινητήρα στον κινητήριο τροχό γίνεται μέσω του μηχανισμού αλυσίδας. Οι μηχανισμοί κίνησης αλυσίδας αποτελούνται από αλυσίδα κυλίνδρων και οδοντωτούς τροχούς. Οι περισσότερες μοτοσυκλέτες είναι εφοδιασμένες με μηχανισμούς κίνησης αλυσίδας, επειδή είναι αξιόπιστοι και φθηνοί στη συντήρηση. Οι μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης αλυσίδας αντέχουν σε εφαρμογές υψηλής ροπής και επομένως χρησιμοποιούνται από όλες σχεδόν τις μοτοσυκλέτες υψηλής ισχύος. Η απώλεια ισχύος στους ηλεκτροκινητήρες αλυσίδας λέγεται ότι είναι μικρότερη από 3%, έτσι θεωρείται αποτελεσματικό μέσο μεταφοράς ισχύος κινητήρα στην τελική μετάδοση κίνησης. Οι αλυσίδες κυλίνδρων είναι τυποποιημένα εξαρτήματα και σχετικά φθηνά. Οι κινητήρες αλυσίδας χρειάζονται ευθυγράμμιση μεταξύ του οδοντωτού τροχού κινητήρα και του τελικού οδοντωτού τροχού κίνησης. Επίσης, απαιτείται τέντωμα της αλυσίδας για βέλτιστη λειτουργία. Οι αλυσίδες είναι φθηνές στη συντήρηση αλλά απαιτούν συχνή και έγκαιρη συντήρηση (καθαρισμός, λίπανση).

Η ανάρτηση που επιλέχθηκε για την ηλεκτρική μοτοσυκλέτα είναι μια ηλεκτρομαγνητική με χρήση εξωτερικού ηλεκτροκινητήρα, καθώς είναι ένα από τα πολλά υποσχόμενα συστήματα ανάρτησης συλλογής ενέργειας παρά το σχετικά υψηλό κόστος σε σύγκριση με άλλα συστήματα. Οι μαγνήτες είναι διατεταγμένοι με τρόπο που παρέχει περισσότερη απώθηση. Οι μαγνήτες είναι της απαιτούμενης ποιότητας, με την απαιτούμενη δύναμη μαγνητικής ροής. Τα συστήματα μαγνητικής ανάρτησης έχουν μελετηθεί εκτενώς και έχουν βρει πολλές εφαρμογές. Τα περισσότερα συστήματα μαγνητικής ανάρτησης είναι συστήματα ηλεκτρομαγνητικής ανάρτησης που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνήτες, αλλά εδώ χρησιμοποιούνται μόνιμοι μαγνήτες.

Η μαγνητική ανάρτηση μπορεί να προσαρμοστεί σε ανώμαλα οδόστρωμα αρκετές εκατοντάδες φορές το δευτερόλεπτο, στην πραγματικότητα, χρειάζονται μόνο μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου για να ρυθμιστεί. Η μαγνητική ανάρτηση περιγράφεται ως η ανάρτηση με την ταχύτερη αντίδραση στον κόσμο. Κάθε απορροφητής είναι γεμάτος με ένα πολυμερές υγρό που περιέχει πολλά μικρά μαγνητικά σωματίδια. Ένα ηλεκτρικό φορτίο αποστέλλεται στο υγρό εντός του απορροφητή το οποίο αλλάζει αμέσως τη θέση των σωματιδίων μέσα στο υγρό και το ιξώδες του. Το ιξώδες του πολυμερούς υγρού αλλάζει συχνά σε μια σχεδόν στερεή κατάσταση σχεδόν σαν πλαστικό ή καουτσούκ στη σύνθεση. Επειδή το ιξώδες του υγρού αλλάζει, προσφέρει διαφορά έντασης της απόσβεσης. Αυτό εξασφαλίζει μια άνετη οδήγηση κατά μήκος διαφόρων επιφανειών δρόμου. Η μαγνητική ανάρτηση μειώνει τους κραδασμούς, την αναπήδηση, τον θόρυβο έτσι το αμάξιμο κυλάει πολύ αποτελεσματικά σε όλες τις επιφάνειες του δρόμου και με οποιαδήποτε ταχύτητα μπορεί να διανύσει το όχημα. Ο υδραυλικός αποσβεστήρας συλλογής κραδασμών εξαρτάται κυρίως από το υδραυλικό υγρό για τη μεταφορά της μετατόπισης πάνω-κάτω του κυλίνδρου και την υδραυλική αντλία/μοτέρ που είναι συνδεδεμένη σε ένα κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για εξαγωγή ισχύος από τη περιστροφική κίνηση. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι η υψηλή απόδοση σε ενέργεια, υψηλή πυκνότητα ισχύος,

μεγάλη ευαισθησία σε μικρές αλλαγές, το οποίο είναι χρήσιμο για την ανάκτηση ενέργειας ακόμα και σε μικρές μετατοπίσεις του αποσβεστήρα. Επίσης, έχει μεγάλη αποτελεσματικότητα στον έλεγχο της κίνησης και της δύναμης, μεγάλη ανθεκτικότητα, μπορεί να απορροφήσει τεράστιες δυνάμεις και έχει το μεγαλύτερο κύκλο λειτουργίας, χωρίς ζημιές σε σύγκριση με τα άλλα συστήματα. Το μεγαλύτερο αρνητικό του συγκεκριμένου τύπου ανάρτησης είναι ο μεγάλος όγκος που έχει, προκειμένου να επιτευχθεί σταθερότητα στην απόδοση του αποσβεστήρα με βάση την υδραυλική ανάκτηση, χρησιμοποιούνται στο σύστημα ορισμένα απαραίτητα εξαρτήματα, όπως συσσωρευτές αερίου και υδραυλικές βαλβίδες αντεπιστροφής ως ανορθωτές κίνησης [35].

Έχει αναπτυχθεί ένα ελεγχόμενο πλήρως ενεργό ανάρτηση συγκομιδής ενέργειας που ονομάζεται GenShock, μια εμπορική ενεργητική ανάρτηση με λειτουργία ανάκτησης ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη μια μετάδοση με υδραυλική βάση. Η καρδιά της συσκευής gen-shock ονομάζεται Activalve, η οποία αποτελείται από μια υδραυλική αντλία και μια ηλεκτρική γεννήτρια που κινείται από μια ενσωματωμένη ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Το σύστημα Activalve χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση και τη ρύθμιση του υγρού μέσα σε έναν τυπικό υδραυλικό σύστημα. Εκτός από τον σκοπό συλλογής ενέργειας, το GenShock προτάθηκε ως μια πλήρως ενεργητική ανάρτηση όπου μπορεί να εφαρμοστεί η ενεργή δύναμη, οδηγώντας σε σημαντικά βελτιωμένη οδηγική άνεση, χειρισμό και οδηγική εμπειρία [44].

Ο αναγεννητικός αποσβεστήρας είναι τοποθετημένος μόνο στον πίσω άξονα, καθώς υπάρχει επαρκής χώρος για την τοποθέτησή του. Η τοποθέτηση ηλεκτρο-υδραυλικού ή κάποιου άλλου αποσβεστήρα με λειτουργία ανάκτησης ενέργειας στον μπροστινό άξονα, δεν συνηθίζεται μέχρι στιγμής, λόγω του επιπλέον βάρους που θα επιφέρει στο σύνολο της μοτοσυκλέτας αλλά και της μεγάλης πολυπλοκότητας που έχει ένα τέτοιο σύστημα εξαιτίας και της περιστροφής που θα πρέπει να έχει.

Ο συσσωρευτής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι τεχνολογίας ιόντων λιθίου με πολυμερή, ο οποίος χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για τα ηλεκτρικά οχήματα, λόγω της αντοχής που έχουν και της τεχνολογίας που έχει αναπτυχθεί στις μέρες μας. Η αξιοπιστία της θεωρείται επαρκής, καθώς μπορεί να διανύσει θεωρητικά μέχρι και 500 χιλιάδες χιλιόμετρα, μέχρι να αρχίσει η μείωση της αξιοπιστίας της, διατηρούν τη φόρτιση τους αν δεν χρησιμοποιηθούν για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

Αυτά είναι τα γενικά χαρακτηριστικά της μοτοσυκλέτας του θεωρητικού πειράματός μας. Στη συνέχεια, αναλύονται οι τύποι για τους υπολογισμούς που έγιναν για ηλεκτρικό κινητήρα κι αποσβεστήρα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και συγκεκριμένες συνθήκες οδήγησης, όπως για παράδειγμα την τραχύτητα του δρόμου, την ταχύτητα του οχήματος.

5.2: Θεωρητική Προσέγγιση του προβλήματος

5.2.1: Ανάλυση της Ενέργειας του συστήματος

Η ποσοτικοποίηση της ενέργειας που ανακτάται κατά την μετάβαση από το σημείο A στο σημείο B, σχετίζεται με την ταχύτητα της μοτοσυκλέτας, η οποία ισούται με $\frac{1}{2}mVa$ για το σημείο A και $\frac{1}{2}mVb$ για το σημείο B. Αυτή θα ήταν η κινητική ενέργεια σε ένα ιδανικό σύστημα χωρίς τριβές, στην πραγματικότητα, όμως, υπάρχουν οι απώλειες λόγω αεροδυναμικής αντίστασης, απώλειες κύλισης και απώλειες μεταφοράς της ενέργειας του ηλεκτροκινητήρα στον τροχό κίνησης.

Η αεροδυναμική αντίσταση οφείλεται στη δύναμη που ασκεί ο αέρας ενώ το όχημα κινείται. Αυτή ορίζεται ως, $F_{aero} = (0.5\rho AVCd^2) * d$ (1), όπου

$\rho(kg/m^3)$	Η πυκνότητα του αέρα
A	Η μετωπική επιφάνεια
$V(m/s)$	Η ταχύτητα του οχήματος
Cd	Συντελεστής οπισθέλκουσας
d(m)	Διανυθήσα απόσταση

Η απώλειες κύλισης ορίζονται $f = C\pi N$

$C\pi$	Αδιάστατος συντελεστής τριβής κίνησης
$N(N*m)$	Η δύναμη κάθετη στην επιφάνεια του τροχού

Υποθέτοντας ότι ο δρόμος είναι στεγνός με υψηλό συντελεστή πρόσφυσης, η ροή ενέργειας του ηλεκτρικού οχήματος αναλύεται στις σχετικά ιδανικές συνθήκες οδήγησης ως εξής.

Η ενέργεια που καταναλώνεται κάθε χρονική στιγμή είναι

$$Ed = \int_{a \geq 0} Pd \cdot dt \quad (2)$$

$$Pd = fmgV + \frac{CdAV^2}{21.15} + NmgV \quad (3)$$

Αντίστοιχα η ενέργεια που ανακτάται κάθε χρονική στιγμή δίνεται από τον τύπο

$$Er = \int_{a < 0} Pr \cdot dt \quad (4),$$

όπου $Pr = Pd$

Συνδυάζοντας αυτούς τους τύπους βρίσκεται η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται

$$Es = Ed - \eta fd * \eta m * \eta charge * \eta discharge * \eta b * Er \quad (5)$$

η_{fd}	Απόδοση της τελικής μονάδας κίνησης
η_m	Απόδοση του κινητήρα
η_{charge}	Απόδοση της φόρτισης του συσσωρευτή
$\eta_{discharge}$	Απόδοση της εκ φόρτισης του συσσωρευτή
η_b	Απόδοση μετάδοσης κίνησης με αλυσίδα

Το τελικό ποσοστό της ανακτώμενης ενέργειας κατά τη χρήση της ηλεκτρικής μοτοσυκλέτας βρίσκεται από $\Delta = \frac{\Delta E_s}{E_d} * 100\%$, όπου $\Delta E_s = E_d - E_s$. (6)

5.2.2: Θεωρητική Ανάλυση της Ανάκτησης Ενέργειας από τον Αποσβεστήρα

Το ρεύμα που παράγει η ηλεκτρομαγνητική ανάρτηση με χρήση εξωτερικού ηλεκτροκινητήρα για μια δεδομένη ταχύτητα, δίνεται από

$$I = \frac{2\pi * Ke * nv * Qp}{q * (R_{in} + R_{ex})} = \frac{\pi^2 * Ke * nv * (D^2 - d_{rod}^2)}{2q * (R_{in} + R_{ex})} * V \quad (7)$$

Στη συνέχεια βρίσκεται η ολική ισχύ που ανακτάται από τον αποσβεστήρα μέσω του τύπου,

$$Pr = I^2 R_{ex} = \frac{\pi^4 * Ke^2 * nv^2 * (D^2 - d_{rod}^2)}{4q^2 * (R_{in} + R_{ex})^2} * V^2 \quad (8)$$

$Ke(V)$	Σταθερά Back-electromotive Force της γεννήτριας
nv	Ογκομετρική απόδοση του υδραυλικού αποσβεστήρα
$q(mm)$	Η μετατόπιση του υδραυλικού αποσβεστήρα
$R_{in}(\Omega)$	Η εσωτερική αντίσταση της γεννήτριας
$R_{ex}(\Omega)$	Η αντίσταση του εξωτερικού φορτίου της γεννήτριας
$V(m/s)$	Η ταχύτητα του εμβόλου
$D(mm)$	Η διάμετρος του κυλίνδρου
$d_{rod}(mm)$	Η διάμετρος του εμβόλου

5.3: Εφαρμογή της Μεθόδου

Ο κινητήρας του θεωρητικού πειράματος όπως προαναφέρθηκε είναι ένας BLDC (Brushless DC Motor) με τα εξής χαρακτηριστικά

Ισχύς (kW)	52
Ροπή (Nm)	157
Τάση (Volt)	48

Ο αποσβεστήρας της ηλεκτρικής μοτοσυκλέτας είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός με χρήση εξωτερικού ηλεκτροκινητήρα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά,

Διάσταση εξωτερικού κυλίνδρου (mm)	50
Διάσταση εμβόλου (mm)	40
Μετατόπιση εμβόλου (mm)	161
Μέση ταχύτητα του εμβόλου (m/s)	0,11
Ογκομετρική απόδοση της γεννήτριας	0,87
Αντίσταση της γεννήτριας (Ω)	110
Εξωτερικό φορτίο της γεννήτριας (Ω)	10
Σταθερά back-EMF της γεννήτριας (V)	80

Στη συνέχεια, έχοντας τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροκινητήρα και του αποσβεστήρα, θεωρούμε ένα σχεδόν ιδανικό σενάριο για την εφαρμογή των τύπων της προηγούμενης παραγράφου για τον υπολογισμό της ανάκτησης ενέργειας που είναι ικανή να έχει μια ηλεκτρική μοτοσυκλέτα.

Θεωρείται η μάζα της μοτοσυκλέτας μαζί με τον οδηγό 270 κιλά, η μέση ταχύτητα της στα 30 km/h, η απόσταση που εκτιμάται ότι γίνεται καθημερινά από έναν μοτοσικλετιστή για την μεταφορά του στον χώρο εργασίας μετ' επιστροφής είναι 30 χιλιόμετρα και η ποιότητα της ασφάλτου έχει υψηλό συντελεστή πρόσφυσης.

Τα χαρακτηριστικά της μοτοσικλέτας και των συνθηκών είναι

Συντελεστής τριβής τροχού με το οδόστρωμα	1.1
Η επιτάχυνση της βαρύτητας	9.81
Ο συντελεστής αντίστασης του αέρα	0.88
Η μετωπική επιφάνεια του οχήματος	0.75
Η ροπή του ηλεκτροκινητήρα	157

Χρησιμοποιώντας τον τύπο

$$Ed = \int_{a \geq 0} Pd \cdot dt$$

προκύπτει ότι η ενέργεια που απαιτείται κατά την οδήγηση με μέση ταχύτητα 30km/h είναι,

$$Pd = 1.1 * 270 * 9.81 * 8.3 + \frac{0.88 * 0.75 * 8.3^2}{21.15} + 157 * 270 * 9.81 * 8.3$$

$$= 3731374 \text{ Joule}$$

$$Ed = \int_0^{2.19} Pd \cdot dt = 8.17 * 10^6 \text{ Joule}$$

Τα όρια του ολοκληρώματος είναι τα δευτερόλεπτα που χρειάζεται η μοτοσυκλέτα για να αναπτύξει την ταχύτητα των 30km/h. Θεωρώντας ότι χρειάζεται 7.3 δευτερόλεπτα για να φτάσει τα 100 km/h και ότι η επιτάχυνση της μοτοσυκλέτας είναι γραμμική για τα 30km/h χρειάζεται 2.19 δευτερόλεπτα.

Αντίστοιχα η ενέργεια που αναγεννάτε είναι

$$Er = \int_{2.19}^0 Pr \cdot dt = \int_{2.19}^0 3731374 \cdot dt = -8.17 * 10^6 \text{ Joule}$$

Η συνολική ενέργεια βρίσκεται από

$$Es = Ed - \eta_{fd} * \eta_m * \eta_{charge} * \eta_{discharge} * \eta_b * Er$$

0.14	Απόδοση της τελικής μονάδας κίνησης
0.6	Απόδοση του κινητήρα
0.8	Απόδοση της φόρτισης του συσσωρευτή
0.8	Απόδοση της εκ φόρτισης του συσσωρευτή
0.97	Απόδοση μετάδοσης κίνησης με αλυσίδα

$$Es = 8.17 * 10^6 - 5.14 * 0.6 * 0.8 * 0.8 * 0.97 * 8.17 * 10^6 = -7471850 \text{ J} = -2.1 \text{ kWh}$$

Το συνολικό ανακτώμενο ποσοστό είναι

$$\Delta = \frac{\Delta Es}{Ed} * 100\% = \frac{Ed - Es}{Ed} * 100\% = \frac{8.17 * 10^6 + 7471850}{8.17 * 10^6} * 100\% = 1.91\%$$

Η ανακτώμενη ενέργεια για τα 30 km είναι 2.1 kWh και σε ποσοστό σε σχέση με τη συνολική ενέργεια που χρειάστηκε η μοτοσυκλέτα για να διανύσει 30 χιλιόμετρα είναι 1.91%.

Το ποσό αυτό αφορά την ανάκτηση ενέργειας που κάνει ο ηλεκτροκινητήρας. Έπειτα, αναλύεται η ανακτώμενη ενέργεια που από τον αποσβεστήρα.

Χρησιμοποιώντας τον τύπο της προηγούμενης παραγράφου για την ισχύ που παράγει ο αποσβεστήρας, προκύπτει

$$Pr = I^2 R_{ex} = \frac{\pi^4 * K e^2 * n v^2 * (D^2 - d_{rod}^2) * R_{ex}}{4 q^2 * (R_{in} + R_{ex})^2} * V^2$$

$$= \frac{\pi^4 * 80^2 * 0,87^2 * (0.050^2 - 0.040^2) * 10}{4 * 0.161^2 * 120^2} * 0.11^2 = 0.034 J$$

Η ενέργεια που ανακτάται από τον αποσβεστήρα για κάθε μέτρο είναι 0.034 Joule, άρα σε 30 χιλιόμετρα θα έχουν ανακτηθεί 1032.5 Watt.

Η ενέργεια που αναγεννιέται από τον αποσβεστήρα είναι ένα λογικό νούμερο, καθώς είναι μόνο ένας ο αποσβεστήρας που εργάζεται σε αυτό και το βάρος της κάθε μοτοσυκλέτας δεν είναι μεγάλο.

Τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού MATLAB και από τις παραπάνω σχέσεις του συγκεκριμένου κεφαλαίου, δηλαδή

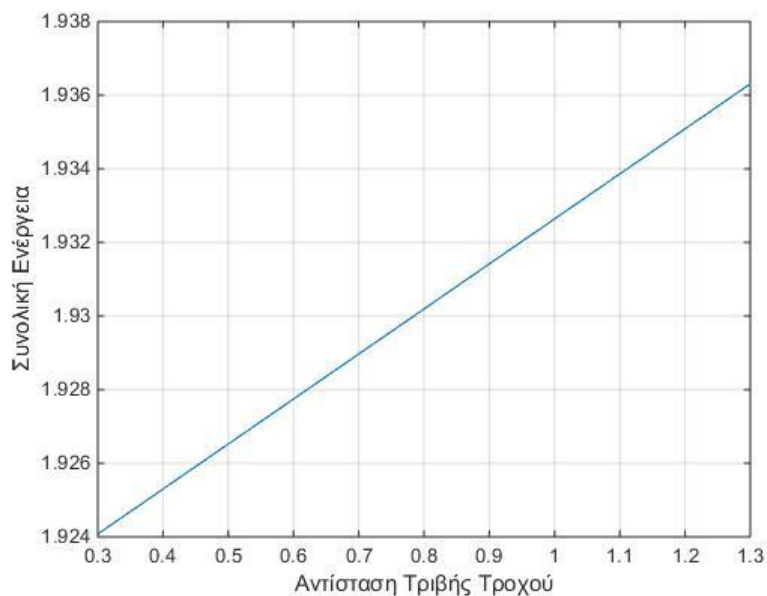
$$E_s = E_d - \eta_{fd} * \eta_m * \eta_{charge} * \eta_{discharge} * \eta_b * E_r$$

για την ενέργεια από τον ηλεκτροκινητήρα και

$$Pr = I^2 R_{ex} = \frac{\pi^4 * K e^2 * n v^2 * (D^2 - d_{rod}^2) * R_{ex}}{4 q^2 * (R_{in} + R_{ex})^2} * V^2$$

για την ενέργεια από τον αποσβεστήρα. Οι οποίες μετατράπηκαν σε γραμμικές εξισώσεις βρίσκοντας τη συνολική ενέργεια μιας μοτοσυκλέτας αλλάζοντας διάφορες παραμέτρους της εξίσωσης.

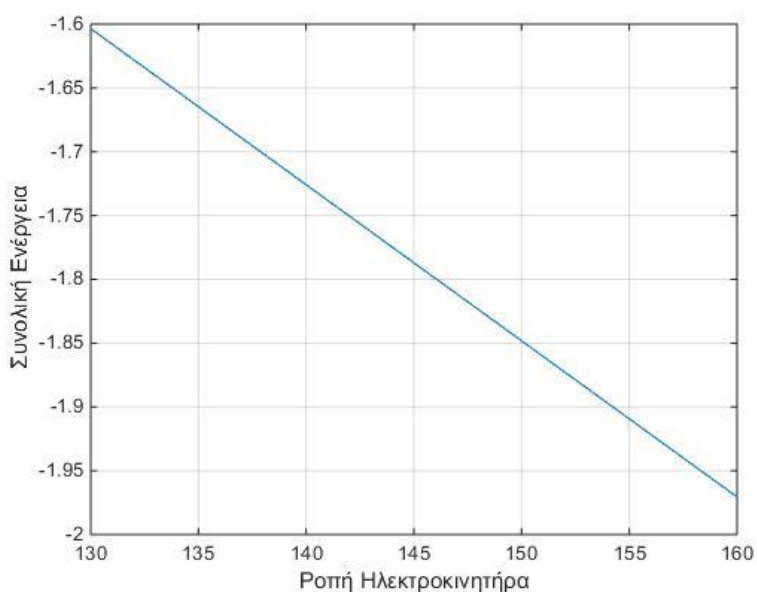
Στην περίπτωση που αλλάξει ο συντελεστής τριβής του τροχού με την ασφαλτο, τότε μεταβάλλεται και η συνολική ανακτώμενη ενέργεια. Επειδή θεωρήθηκαν οι συνθήκες του πειράματος ιδανικές το γράφημα της πρόσφυσης της μοτοσυκλέτας σε σχέση με τη συνολική ενέργεια θεωρείται λογικό, καθώς σε πραγματικές συνθήκες και για μεγαλύτερο εύρος τιμών θα παρατηρούσαμε ότι μετά από κάποιο σημείο, όπου η πρόσφυση θα είναι πολύ μεγάλη θα χρειαζόταν ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή που θα μπορούσε να ανακτήσει η μοτοσυκλέτα, δηλαδή η γραμμή του γραφήματος θα έκανε μια «βύθιση».



Διάγραμμα 1: Συντελεστής Ολίσθησης - Συνολική Ενέργεια (kwh)

Όσο μεγαλύτερη είναι η τριβή του τροχού με το οδόστρωμα τόσο αυξάνεται και η συνολική ενέργεια που χρειάζεται η μοτοσυκλέτα για να μετακινηθεί από το σημείο Α στο σημείο Β. Για παράδειγμα για αντίσταση τριβής ίση με 0,4 η συνολική ενέργεια ανέρχεται στις 1,925 kwh. Ενώ, όταν ο συντελεστής τριβής βρίσκεται στο 1 η ενέργεια που μπορεί να ανακτήσει η μοτοσυκλέτα διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους είναι 1,933 kwh.

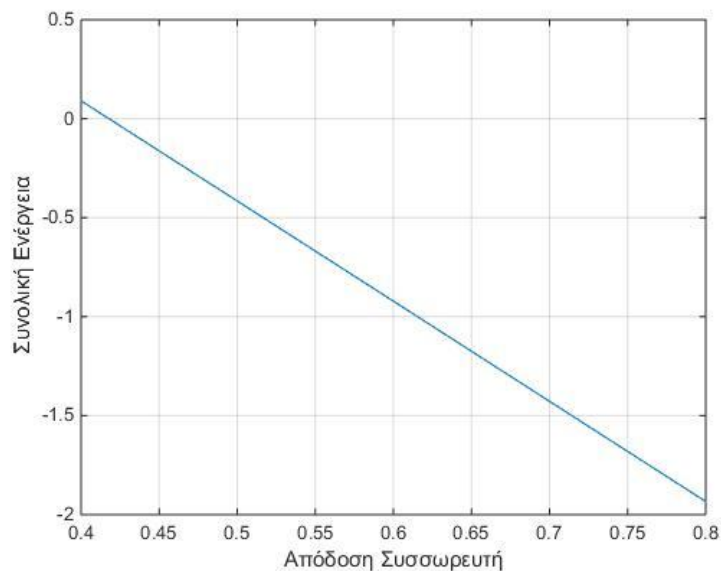
Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που επηρεάζει την ανακατωμένη ενέργεια είναι η ροπή του ηλεκτροκινητήρα όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα με την αύξηση της ροπής του ηλεκτροκινητήρα επιτυγχάνεται μεγαλύτερο ποσοστό ανακτώμενης ενέργειας.



Διάγραμμα 2: Ροπή Ηλεκτροκινητήρα (N*m) - Συνολική Ενέργεια (kwh)

Στο διάγραμμα τα αρνητικά νούμερα της συνολικής ενέργειας δηλώνουν ότι έχει ανακτηθεί ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή που έχει καταναλωθεί.

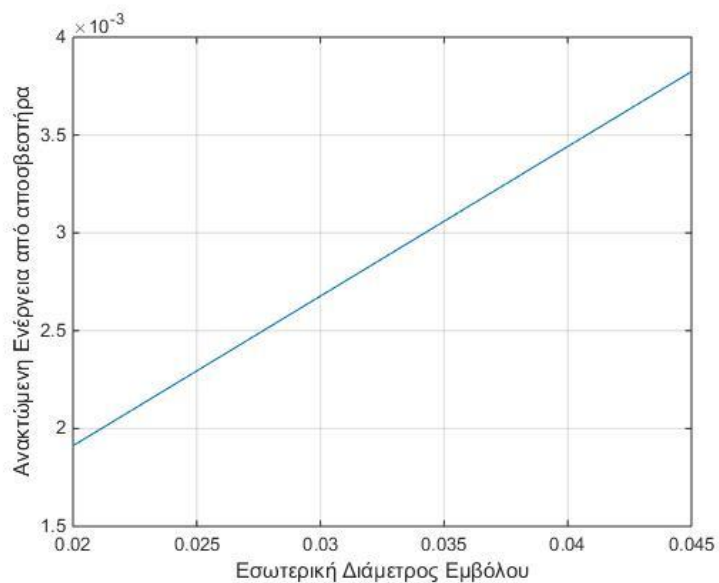
Σημαντικός παράγοντας στην συνολική ανακτώμενη ενέργεια διαδραματίζει η απόδοση του συσσωρευτή.



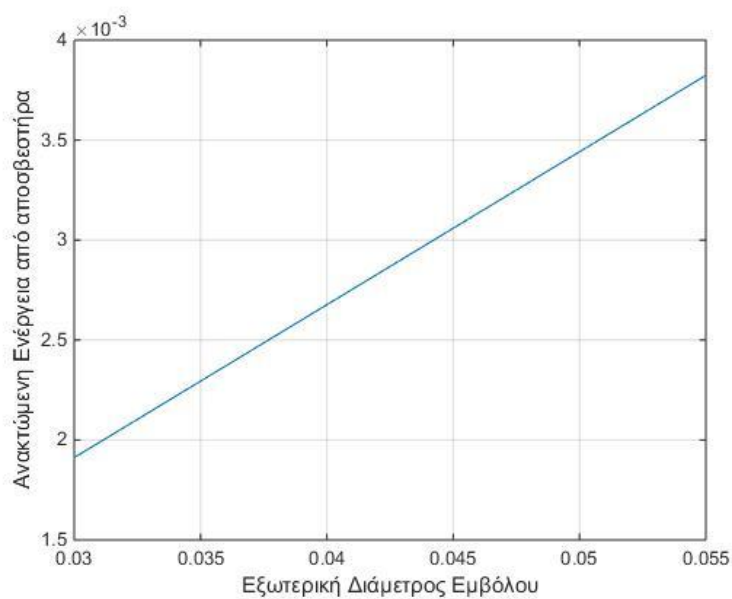
Διάγραμμα 3: Απόδοση Συσσωρευτή- Συνολική Ενέργεια (kwh)

Μελετώντας το παραπάνω διάγραμμα επισημαίνεται ότι μεταβάλλοντας την απόδοση του σωρευτή ίση με 0,4 δηλαδή 40% και διατηρώντας τις άλλες παραμέτρους σταθερές, η συνολική ενέργεια βρίσκεται πάνω από το μηδέν το οποίο σημαίνει ότι παρόλο την ανάκτηση ενέργειας που έχει κάνει το σύστημα στο συσσωρευτή δεν έχει αποθηκευτεί καθόλου ενέργεια αντιθέτως έχει καταναλωθεί. Η ανάκτηση ενέργειας που μπορεί να πραγματοποιήσει ένας αποσβεστήρας σε μια μοτοσικλέτα εξαρτάται από το μέγεθος του αποσβεστήρα όπως φαίνεται στα διαγράμματα.

Από τα διαγράμματα αυτά γίνεται κατανοητό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του αποσβεστήρα τόσο μεγαλύτερη είναι και ενέργεια που μπορεί να ανακτήσει.

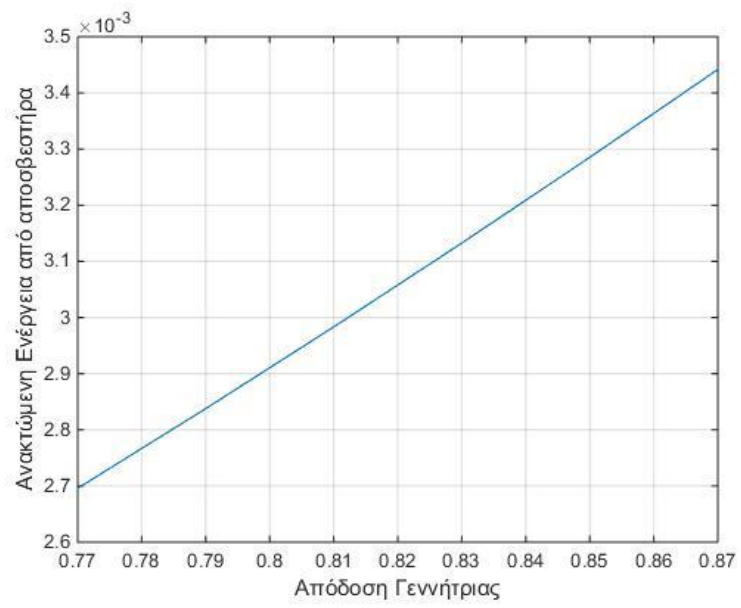


Διάγραμμα 4: Εσωτερική Διάμετρος Εμβόλου (mm) – Ανακτώμενη Ενέργεια (kwh)



Διάγραμμα 5: Εξωτερική Διάμετρος Εμβόλου (mm) – Ανακτώμενη Ενέργεια (kwh)

Στα παραπάνω γραφήματα φαίνεται πως με την αύξηση της απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα στον ηλεκτρο-υδραυλικό αποσβεστήρα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 6: Απόδοση Γεννήτριας – Ανακτώμενη Ενέργεια (kwh)

5.4: Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Παραπάνω έγινε μια θεωρητική προσέγγιση για το ποσοστό της ανάκτησης ενέργειας που μπορεί να έχει μια ηλεκτρική μοτοσυκλέτα, ανακτώντας ενέργεια με τη μέθοδο του ηλεκτροκινητήρα, οποίος λειτουργεί ως ηλεκτρογεννήτρια κατά την επιβράδυνση της μοτοσυκλέτας. Επίσης, υπολογίστηκε και η ενέργεια που μπορεί να αποκομίσει ένας εξειδικευμένος αποσβεστήρας κατά την λειτουργία του. Θεωρώντας στο πρόβλημα που αναλύθηκε, ότι ένα άτομο διανύει ημερησίως κατά μέσο όρο 30 χιλιόμετρα με την μοτοσυκλέτα του και παίρνοντας μια μέση ταχύτητα 30 km/h υπολογίστηκε η ενέργεια που μπορεί να αναγεννήσει μια μοτοσυκλέτα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και σε σχεδόν ιδανικές συνθήκες.

Το αποτέλεσμα είναι ότι μπορούν να ανακτηθούν 2.1 kWh σε 30 διανυθέντα χιλιόμετρα με μία μέση ταχύτητα 30 km/h. Αυτή η ενέργεια αποθηκεύεται στους συσσωρευτές της μοτοσυκλέτας και με αυτό το τρόπο αυξάνεται η αυτονομία της, οπότε γίνεται πιο ευχάριστη και πιο προσιτή για τον καταναλωτή, καθώς έχει τη δυνατότητα να διανύσει περισσότερα χιλιόμετρα με μια φόρτιση.

Όσον αφορά την ανάκτηση ενέργειας που επιτυγχάνει ο αποσβεστήρας, είναι σχετικά μικρή, το οποίο δικαιολογείται από το βάρος της μοτοσυκλέτας, καθώς και από το ότι ενέργεια παράγει μόνο ένας αποσβεστήρας. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δευτερεύοντες λειτουργίες της μοτοσυκλέτας, όπως για παράδειγμα να προσφέρει ενέργεια στις ενδείξεις της, στην οθόνη της και στα φώτα led που εξοπλίζεται.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να μεταβληθούν αλλάζοντας τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ανάκτηση ενέργειας όπως φάνηκε με τα παραπάνω γραφήματα το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί αλλάζοντας τις σχετικές παραμέτρους. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η τριβή ολίσθησης στις ιδανικές συνθήκες τόσο μεγαλύτερη ενέργεια παράγεται κατά τη λειτουργία της ανάκτησης καθώς έτσι ο ελεγκτής έχει τη δυνατότητα να επιβραδύνει σε μεγαλύτερο ποσοστό το τροχό χωρίς να ολισθήσει. Επίσης όταν ως συσσωρευτής έχει υψηλό ποσοστό απόδοσης αποθηκεύει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας κατά τη διάρκεια της ανάκτησης ενέργειας.

Επίλογος: Συμπέρασμα – Μελλοντικές Προτάσεις

Συμπέρασμα

Οι ηλεκτροκινητήρες που είναι διαθέσιμοι στην καταναλωτική αγορά ποικίλουν. Ο κάθε ένας διακρίνεται τόσο από θετικά, όσο και από αρνητικά χαρακτηριστικά. Όμως για την τοποθέτηση σε οχήματα δεν είναι όλοι κατάλληλοι κυρίως για οικονομικούς λόγους και λιγότερο για τεχνικούς και τοποθέτησης. Η κάθε κατασκευαστική εταιρεία οχημάτων κρίνει ποιο είδος κινητήρα είναι καταλληλότερος για το όχημα της με την πλειοψηφία των εταιρειών να επικεντρώνονται στους BLDC ηλεκτροκινητήρες.

Οι συσσωρευτές που κυκλοφορούν στην αγορά ποικίλουν ανάλογα τα υλικά κατασκευής τους. Κατάλληλοι όμως για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι λίγα μόνο είδη, τα οποία διακρίνονται από την αρκετά μεγάλη χωρητικότητά τους, την αργή αποφόρτιση τους σε περιόδους αχρηστίας, την μικρή τιμή τους, αλλά και από το μεγάλο τους βάρος και την αργή φόρτισή τους.

Αναφορικά με τους ελεγκτές κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί δικό της λογισμικό για την καλύτερη αξιοποίηση των προϊόντων που τοποθετούν στις μοτοσυκλέτες, όπως οι συσσωρευτές και οι ηλεκτροκινητήρες. Για αυτούς οι πληροφορίες που δίνει κάθε εταιρεία είναι ελάχιστες.

Οι αποσβεστήρες, οι οποίοι πραγματοποιούν και ανάκτηση ενέργειας βρίσκονται κυρίως σε πειραματικό στάδιο. Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει διάφορους τύπους αναρτήσεων, των οποίων τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας ποικίλουν. Οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί κυρίως σε οχήματα επιβατικά και μεταφοράς εμπορευμάτων, τα οποία είναι μεγαλύτερα και πιο βαριά, άρα παράγουν μεγαλύτερη ενέργεια μέσω των αποσβεστήρων σε σχέση με τις μοτοσυκλέτες που είναι ελαφρύτερες και έχουν μικρότερο αριθμό αναρτήσεων. Αυτού του είδους αποσβεστήρες δεν έχουν ενσωματωθεί ακόμα στην αγορά για παραγωγή, καθώς προσπαθούν να λύσουν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν με αυτού του είδους την τεχνολογία. Οι έρευνες για τέτοιου είδους αποσβεστήρες στις μοτοσυκλέτες είναι ελάχιστες. Σύμφωνα όμως με τη θεωρητική προσέγγιση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μια ηλεκτρική μοτοσυκλέτα ανακτά ένα καλό ποσοστό ενέργειας μέσω του ηλεκτροκινητήρα και ένα αξιόλογο ποσό μέσω της ανάρτησης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις «περιφερειακές» λειτουργίες της μοτοσυκλέτας. Το στοίχημα βέβαια των αυτοκινητοβιομηχανιών είναι να βρουν τη χρυσή τομή ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ανάκτηση ενέργειας χωρίς όμως τι μεγάλη σπατάλη υλικών. Δηλαδή όπως αναφέρθηκε κατά την αύξηση της διαμέτρου του αποσβεστήρα παρατηρείται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που αναγεννάτε σε σχέση ένα μικρότερο αποσβεστήρα αλλά αυτό δεν σημαίνει πως αν δημιουργηθεί ένας μεγάλος αποσβεστήρας θα είναι και πιο αποδοτικός.

Αξιοποιώντας αυτά τα συστήματα, τα ηλεκτρικά οχήματα θα γίνουν ακόμα πιο προσιτά στον καταναλωτή, καθώς θα αυξηθεί η αυτονομία που θα έχουν και σε συνδυασμό με την χρήση νέων τεχνολογιών σε συσσωρευτές, οι οποίοι θα φορτίζουν σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Τα ηλεκτρικά οχήματα θα αποκτήσουν την αυτονομία και τον ανεφοδιασμό εφάμιλλο με τα οχήματα εξοπλισμένα με κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Επίσης τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν μικρότερη συντήρηση καθώς έχουν λιγότερα κινητά μέρη και σε συνδυασμό με το ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι οικονομικότερο από τα ορυκτά καύσιμα, οι καταναλωτές θα στρέφονται όλο και περισσότερο στην απόκτηση ενός ηλεκτρικού οχήματος, το οποίο δεν είναι τόσο ρυπογόνο για το περιβάλλον, όσο τα οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα.

Μελλοντικές Προτάσεις

Στο μέλλον πρέπει οι αποσβεστήρες ανάκτησης ενέργειας να χρησιμοποιούνται στη μαζική κατανάλωση. Επίσης, είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν αποτελεσματικότερα λογισμικά για τους ελεγκτές ώστε να αξιοποιούν στο μέγιστο τα συστήματα ανάκτησης. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα σύστημα, το οποίο να ανακτά ενέργεια και από τους μπροστινούς αποσβεστήρες της μοτοσυκλέτας, χωρίς να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό το βάρος της μοτοσυκλέτας και η στρέψη του τιμονιού. Τέλος, η ανάπτυξη συσσωρευτών με καλύτερη απόδοση και γρηγορότερη φόρτιση από τις ήδη υπάρχον και με μικρότερο βάρος θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για την μεγαλύτερη δημοτικότητα της ηλεκτροκίνησης.

Ευρετήριο Σχημάτων

Εικόνα 1: Είδη Ηλεκτροκινητήρων.....	6
Εικόνα 2: Επαγωγικός Ασύγχρονος Κινητήρας Πηγή: https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2015/10/3.html	7
Εικόνα 3: Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη Πηγή: http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4748/ele-36501.pdf?sequence=1&isAllowed=y	8
Εικόνα 4: Κινητήρας συνεχούς ρεύματος Τύπου Out-runner Πηγή: https://daytona-electric.gr/model/phos-125/	9
Εικόνα 5: Υπερπυκνωτής Maxwell Πηγή: https://www.aliexpress.com/item/4001300706573.html	10
Εικόνα 6: Είδη Μπαταριών και Αυτονομία τους [6].....	11
Εικόνα 7: Δυνάμεις Ενεργητικής Ανάρτησης Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/High-bandwidth-active-suspension-system_fig3_301776485	25
Εικόνα 8: Ηλεκτρομαγνητική Ανάρτηση Ανάκτησης Ενέργειας [19].....	25
Εικόνα 9: Ανάρτηση Πινιόν-Σχάρα [19]	26
Εικόνα 10: Υδραυλική Ανάρτηση Ανάκτησης Ενέργειας [19].....	26
Εικόνα 11: Zero SR ZF 14 [42].....	37

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Συντελεστής Ολίσθησης - Συνολική Ενέργεια (kwh).....	45
Διάγραμμα 2: Ροπή Ηλεκτροκινητήρα ($N \cdot m$) - Συνολική Ενέργεια (kwh)	45
Διάγραμμα 3: Απόδοση Συσσωρευτή- Συνολική Ενέργεια (kwh)	46
Διάγραμμα 4: Εσωτερική Διάμετρος Εμβόλου (mm) – Ανακτώμενη Ενέργεια (kwh).....	47
Διάγραμμα 5: Εξωτερική Διάμετρος Εμβόλου (mm) – Ανακτώμενη Ενέργεια (kwh).	47
Διάγραμμα 6: Απόδοση Γεννήτριας – Ανακτώμενη Ενέργεια (kwh)	48

Βιβλιογραφία

- [1] Αμαργιανός Αλέξανδρος, “Ανάκτηση και διαχείριση ενέργειας για πρωτότυπο ηλεκτρικό όχημα”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2015.
- [2] Τζώρτζης Γιάννης, “Σχεδίαση συστήματος ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την πέδηση ηλεκτρικών οχημάτων”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2016.
- [3] University of Tehran, Tehran, Iran, “Chapter 1 – Battery technologies”, p.p.1-54, 2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128162125000052?via%3Dihub> (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
Delft University of Technology, www.transumo.nl (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [4] U.S. Department of Energy, Vehicle Technologies Program, “Plug-In Hybrid Electric Vehicle Value Proposition Study”, p.p. 13-14, July 2010.
- [5] Dr.ir. Sacha Silvester, Ir. Satish kumar Beella, Dr.ir. Arjan van Timmeren, Prof.dr.ir. Pavol Bauer, Dr. Jaco Quist, Dr.ir. Stephan van Dijk “Schiphol the grounds 2030”, Delft University of Technology, 2010.
- [6] P. R. Shukla, Indian Institute of Management, Ahmedabad Subash Dhar UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Minal Pathak CEPT University, Ahmedabad, Kalyan Bhaskar Indian Institute of Management, Ahmedabad, “Promoting Low Carbon Transport in India”, p.p.16-17, 2014
<https://unepccc.org/project/promoting-low-carbon-transport-in-india/>.
(Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [7] Khaled Itani, Alexandre De Bernardinis, Zoubir Khatir, Ahmad Jammal, “Comparison between two braking control methods integrating energy recovery for a two-wheel front driven electric vehicle”, Energy Conversion and Management 122 330-343, 2016.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890416304782?via%3Dihub> (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [8] Liang Zhang, Xue Cai, “Control strategy of regenerative braking system in electric vehicles”, Energy Procedia 152 496-501, 2018.
- [9] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [10] Giannis Tzortzis, Alexandros Amargianos, Savvas Piperidis, Eftichios Koutroulis, Nikos C. Tsourveloudis, “Development of a compact regenerative braking system for electric vehicle”, Technical University of Crete.
- [11] Savvas Piperidis, Iason Chrysomallis, Stavros Georgakopoulos, Theodoros Stefanoulis, Nikolaos Ghionis, Vasileios Katsifas, Nikos C.

Tsourveloudis, "Development of a ROS controlled chassis dynamometer for lightweight, single seater EVs", Technical University of Crete, 28th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), 2020.

- [12] Savvas Piperidis, Iason Chrysomallis, Stavros Georgakopoulos, Nikolaos Ghionis, Lefteris Doitsidis, Nikos C. Tsourveloudis, "A ROS-Based Energy Management System for a Prototype Fuel Cell Hybrid Vehicle", Technical University of Crete, Energies, 14 (7), 1964, 2021. https://www.mdpi.com/1996-1073/14/7/1964?type=check_update&version=3 (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [13] Wonseok Yeo, Sungchul Jung, Seungtaik Kim, Keonho Park, Jongsun Ko, "A regenerative energy recovery system for electric vehicles charging a battery at a low speed", Technology and Engineering Systems Journal, p.p. 64-73, 2020.
- [14] Daniel Montesinos-Miracle, Toni Ruiz-Bassols, "Regenerative braking in electric scooters", University Polytechnic Catalonia, 2017.
- [15] Jonathan Nadeau, Felix-Antoine Lebel, Pascal Messier, Joao Pedro Trovao, Alain Desrochers, "Novel ergonomic regenerative braking system for electric motorcycle", Department of Mechanical Engineering, University of Sherbrooke, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC
- [16]), 2018.
- [17] United States Patent Matsuda, Patent No: Us 9,387,764 B2, 12 July 2016.
- [18] Rini Nur Hasanah, Victor Andrean, Soeprapto, Hadi Suyono, "Bidirectional VSI as a regenerative braking converter for BLDC Motor.", Brawijaya University, Indonesia, 10th International Conference of Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2017.
- [19] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/Active_suspension (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [20] Ran Zhanga, Xu Wanga, Sabu John, "A comprehensive review of the techniques on regenerative shock absorber systems", 2018. <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/5/1167> (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [21] B.L.J. Gysen, T.P.J. van der Sande, E.A. Lomonova, Johannes J.H. Paulides, "Efficiency of a regenerative direct – drive electromagnetic active suspension", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011.
- [22] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/Halbach_array (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)

- [23] Jesper Eriksson, Shwana Piroti, "Review of Methods for Energy Harvesting from a Vehicle Suspension System", p.p. 2-17, KTH Royal Institute of Technology School of Engineering Sciences, Mathematical problems in Engineering Volume 2019.
- [24] Jiang Biao, Zhang Xiangwen, Wang Yangxiong and Hu Wenchao, "Regenerative Braking Control Strategy of Electric Vehicles Based on Braking Stability Requirements", International Journal of Automotive Technology p.p. 465-473, 2021.
- [25] Chen Lv, Junzhi Zhang, Yutong Li, Ye Yuan, "Novel control algorithm of braking energy regeneration system for an electric vehicle during safety – critical driving maneuvers", Energy Conversion and Management 106 520-529, 2015.
- [26] Andrzej Łebkowski, "Electric Motorcycle Powertrain Analysis", Gdynia Maritime University, paper on ResearchGate, 2016.
- [27] European patent application, Patent No: EP 2 314 473 A2, 2011
- [28] Juan Jesús Castillo Aguilar, Javier Pérez Fernández, Juan María Velasco García, Juan Antonio Cabrera Carrillo, "Regenerative Intelligent Brake Control for Electric Motorcycles", Journal Energies, 2017.
- [29] Thinh Pham, Christophe Lauwerys, Steven Wilkins, Miguel Dhaens, "Integrated Model for Battery Electric Vehicles with Energy Harvesting Active Suspension System", Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2017.
- [30] Lars-Henrik Björnsson, Sten Karlsson, "The potential for brake energy regeneration under Swedish conditions", Applied Energy 168 75-84, 2016.
- [31] Mohamed M Elmadany, Zuhair Abduljabbar, Mosaad Foda, "Optimal Preview Control of Active Suspensions with Integral Constraint", Journal Energies, 2003.
- [32] Xueying Lv, Yanju Ji, Huanyu Zhao, Jiabao Zhang, Guanyu Zhang, Liu Zhang, "Research review of a vehicle energy-regenerative suspension system", Jilin University, China, 2019.
- [33] Amey Konde, Aditya Pandey, Sarvesh Gandhi, Rushikesh Giri, "Regenerative suspension system for motorcycles", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2021.
- [34] Mohamed A.A. Abdelkareem, Lin Xu, Mohamed Kamal Ahmed Ali, Ahmed Elagouz, Jia Mi, Sijing Guo, Yilun Liu, Lei Zuo, "Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review.", Applied Energy on ScienceDirect p.p. 672-699, 2018.

- [35] Aniket Bharambe, "Magnetic Suspension for Motorcycles", International Journal of Science and Research, 2013.
- [36] Joel J. Kopinsky, "The design of an economic electric motorbike for urban commuting in the Netherlands", University of Twente, Faculty of Engineering Technology, 2019.
- [37] Chen Lv, Junzhi Zhang, Yutong Li, Ye Yuan, "Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles", Energy Conversion and Management, Voloume 92, 2015.
- [38] Satvik Sabarad, Shubham Gupta, "Quantification of regenerative braking energy in a two-wheeler incorporating various duty cycles", International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE), 2020.
- [39] Ανακτήθηκε από <https://circuitdigest.com/article/different-types-of-motors-used-in-electric-vehicles-ev> (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [40] Ανακτήθηκε από https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82 (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [41] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/Flow_battery (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [42] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [43] Ανακτήθηκε από <https://evehiclesdb.com/transport/zero-sr-zf-14-4/> (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [44] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/Active_suspension (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [45] Ανακτήθηκε από https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetorheological_fluid (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)
- [46] Ανακτήθηκε από <https://tejasnikumbh.com/magnetic-suspension-for-bike/> (Τελευταία πρόσβαση 12/10/2022)