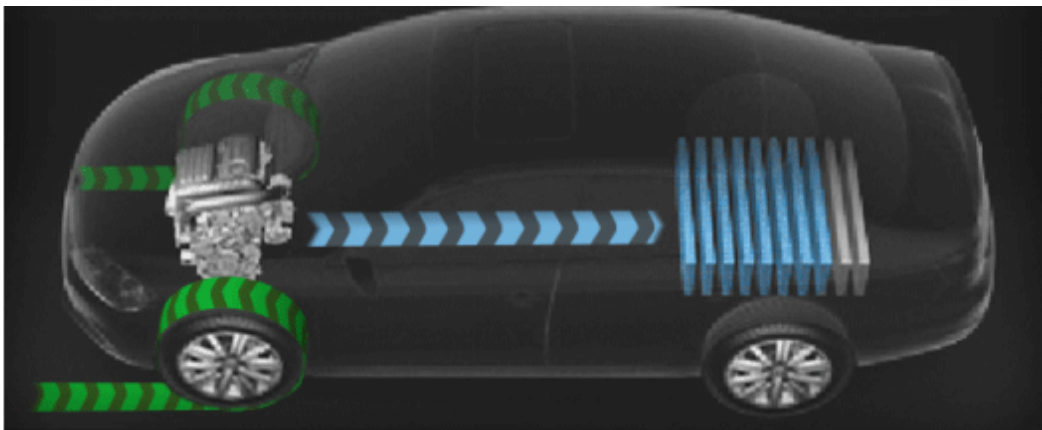


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΙΑΣ, ΣΚΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΚΟΣ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΡΚΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος και αναφέρεται στα συστήματα ανάκτησης ενέργειας πέδησης και στη κατασκευή μοντέλου κιβωτίου συνεχούς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης.

Αντικείμενο αυτής είναι η αναφορά στον τρόπο λειτουργίας κάθε συστήματος και η ανάλυση των εξαρτημάτων που τα αποτελούν με σκοπό να γνωστοποιηθούν στον αναγνώστη οι παράμετροι της αποδοτικότητάς τους. Με την κατανόηση των χαρακτηριστικών τους δίνεται αφορμή για την περεταίρω βελτίωσή τους ενώ ανοίγεται ο δρόμος για νέες τεχνολογικές εφαρμογές. Η κατασκευή του κιβωτίου συνεχούς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης έγινε αφενός για την παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας ενός βασικού εξαρτήματος, ενός εκ των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας πέδησης, αφετέρου λόγω μεγάλου ενδιαφέροντος από κατασκευαστικής πλευράς μιας και η εισαγωγή αυτού σε εφαρμογές μετάδοσης κίνησης μπορεί να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Σωτήρη Τσίρκα ο οποίος συνέβαλλε ουσιαστικά στην ολοκλήρωσή της ενώ μου έδωσε τη δυνατότητα χρήσης εργαλειομηχανών του εργαστηρίου CNC-CAM καθώς και ενός 3D printer.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων ανάκτηση ενέργειας πέδησης και των κύριων μερών που τα απαρτίζουν ενώ επίσης παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή εξαρτημάτων μοντέλου κιβωτίου συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο γίνεται αναφορά σε ένα σύστημα ανάκτηση ενέργειας πέδησης με αποθήκευση αυτής σε μπαταρία. Εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας του και αναλύονται οι ηλεκτρικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες και οι μπαταρίες. Παρουσιάζονται πτυχές της κατασκευής και της λειτουργίας των πρώτων και γίνεται μικρή σύγκριση με τους ηλεκτρικούς κινητήρες με ψήκτρες ενώ για τις δεύτερες εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας και τα μέρη των μπαταριών με αναφορά αρχικά στις μολύβδου-οξέος, που είναι οι πιο διαδεδομένες στην αυτοκινητοβιομηχανία, και αργότερα γίνεται αναφορά και σύγκριση με άλλα είδη.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά ένα παρόμοιο σύστημα με αποθήκευση σε υπερπυκνωτές, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του, η τεχνολογία των υπερπυκνωτών, τα είδη αυτών και τα χαρακτηριστικά τους.

Στο τρίτο αναλύεται ένα υδραυλικό υβριδικό σύστημα. Γίνεται αναφορά στην αρχή λειτουργίας του και στα δύο είδη διάταξης, την παράλληλη και τη σειράς. Αναλύονται τα δύο κύρια εξαρτήματα αυτών, οι υδραυλικοί συσσωρευτές και οι υδραυλικοί κινητήρες/γεννήτριες αξονικού πιστονιού.

Στο τρίτο, ένα σύστημα με αποθήκευση σε σφόνδυλο, γίνεται αναφορά στο τρόπο λειτουργίας του, στην ενέργεια που αποθηκεύει, σε διαμορφώσεις σφονδύλων και τους στόχους στο σχεδιασμό τους. Έπειτα περιγράφονται η σύνθεση και η συναρμολόγηση του στροφείου του και η περιέλιξη των νημάτων αυτού, κατασκευαστικά χαρακτηριστικά σημαντικά για την απόδοση

και την ελαχιστοποίηση αστοχίας το σφονδύλου. Αναφορά γίνεται και στα μαγνητικά ρουλεμάν τα οποία είναι κομμάτι του συστήματος και βελτιώνουν την απόδοση αυτού μειώνοντας τις τριβές κατά την περιστροφή του σφονδύλου ενώ κρίνονται εξέχουσα λύση και σε άλλες εφαρμογές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ένα κιβώτιο συνεχούς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης της NSK, εξάρτημα του συστήματος ανάκτησης ενέργειας με αποθήκευση σε σφόνδυλο, με αναφορά σε μαθηματικούς τύπους που αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τη σχέση μετάδοσης, τη μεταφορά ισχύος, την εξισορρόπηση δυνάμεων καθώς και την περιγραφή του μηχανισμού ελέγχου και της μετάδοσης κίνησης. Αποτελεί τη βάση για το μοντέλο παρουσίασης.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το κιβώτιο που κατασκευάστηκε με αναφορά σε γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μερών που το αποτελούν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΑ.....	11
1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΨΗΚΤΡΕΣ.....	12
1.2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΚΤΗ.....	14
1.2.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	15
1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΑΡΧΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	16
1.3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	17
1.3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	19
1.3.3 ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ.....	19
2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΕ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ.....	23
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ.....	23
2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ.....	26
2.2.1 ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΑΝΘΡΑΚΑ/ΑΝΘΡΑΚΑ).....	27
2.2.2 ΨΕΥΔΟΠΥΚΝΩΤΕΣ.....	28
2.2.3 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ (ΑΣΥΜΜΕΤΡΟΙ) ΠΥΚΝΩΤΕΣ.....	29
3.ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ.....	31
3.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	32
3.2 ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ.....	32
3.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΕΙΡΑΣ.....	34

3.4 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	35
3.4.1 Η ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ.....	36
3.5 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ /ΑΝΤΛΙΑ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΠΙΣΤΟΝΙΟΥ.....	38
4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΕ ΣΦΟΝΔΥΛΟ.....	41
4.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥ.....	45
4.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΦΟΝΔΥΛΩΝ.....	46
4.3 ΣΤΟΧΟΙ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥ.....	47
4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΟΦΕΙΩΝ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥ.....	47
4.4.1 ΠΕΡΙΕΛΞΗ ΝΗΜΑΤΩΝ.....	47
4.4.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΡΟΦΕΙΩΝ.....	48
5. ΚΙΒΩΤΙΟ ΣΥΝΕΧΩΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	51
5.1 ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ-ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ.....	51
5.2 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	53
5.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	54
5.4 ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΙΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ.....	56
5.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	58
5.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	59
5.7 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	61
5.8 ΡΕΥΣΤΟ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ.....	61
6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΙΒΩΤΙΟΥ ΣΥΝΕΧΩΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	62
6.1 ΓΡΑΝΑΖΙΑ.....	63
6.2 ΒΑΣΗ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ.....	65
6.3 ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΝΤΙΖΑ.....	66
6.4 ΒΑΣΗ ΤΡΟΧΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	66
6.5.ΤΡΟΧΟΙ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	67
6.6ΔΙΣΚΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ.....	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	73

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατεύθυνση της παγκόσμιας βιομηχανίας στην εξέλιξη και παραγωγή προϊόντων φιλικότερων προς το περιβάλλον οδήγησε τις κατασκευάστριες εταιρίες οχημάτων στην αναζήτηση λύσεων ώστε τα προϊόντα τους να τηρούν τους νέους κανονισμούς που αφορούν κυρίως τις εκπομπές ρύπων. Η πρόκληση λοιπόν είναι πως θα αυξηθούν οι επιδόσεις εφόσον πρέπει να μειωθούν χαρακτηριστικά που συνδέονται με αυτές αλλά και με την εκπομπή ρύπων όπως η κατανάλωση καυσίμου και η χωρητικότητα των κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Χρησιμοποιώντας την τελευταία λέξη της τεχνολογίας σε συστήματα ψεκασμού και υπερτροφοδότησης, σε υλικά κατασκευής μειώνοντας το βάρος, μειώνοντας τον κυβισμό και τους κυλίνδρους και χρησιμοποιώντας εναλλακτικές μορφές καυσίμου επήλθαν οι πρώτες σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των οχημάτων. Όμως η αυξανόμενη αυστηρότητα των κανονισμών καθώς και ο στόχος κάθε μηχανικού για καλύτερες επιδόσεις οδήγησαν στην αναζήτηση νέας, καινοτόμας τεχνολογίας.

Έπειτα από μελέτες διαπιστώθηκε ότι τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σπαταλούνται κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση. Η λύση βρέθηκε στα συστήματα υποβοήθησης με ηλεκτροκινητήρες και στα συστήματα ανάκτησης ενέργειας πέδησης γεννώντας μια νέα κατηγορία, τα υβριδικά. Η FIA, παγκόσμια ομοσπονδία αυτοκίνησης, με νέους κανονισμούς από το 2008, καθόρισε την εισαγωγή της ανάκτησης ενέργειας πέδησης στην κορωνίδα του μηχανοκίνητου αθλητισμού, τη Formula 1, καθώς και σε άλλα πρωταθλήματα δημιουργώντας νέες κατηγορίες. Έτσι δόθηκε κίνητρο και προβολή στις εταιρίες που βρίσκονται στο χώρο για την εξέλιξη των συστημάτων αυτών ώστε να είναι ασφαλή και αποδοτικά για τα οχήματα παραγωγής.

Η υβριδική τεχνολογία είναι μια καλά μελετημένη μέθοδος για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας λειτουργίας των οχημάτων. Η

υβριδική προσέγγιση γενικά περιλαμβάνει την αντικατάσταση των κινητήρων εσωτερικής καύσης, που χρησιμοποιούνται σήμερα, με υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής προώθησης του οχήματος (HEV) που αποτελούνται από μια μικρότερη πρωτογενή πηγή ενέργειας και έναν ηλεκτρικό κινητήρα με ενσωματωμένη αποθήκευση ενέργειας . Διάφορες μελέτες έχουν προβλέψει σημαντική αύξηση στην οικονομία καυσίμου που κυμαίνεται από 50 έως και πάνω από 200 %

Η ανάκτηση ενέργειας πέδησης είναι ένας μηχανισμός που μειώνει την ταχύτητα του οχήματος με τη μετατροπή μερικής από την κινητική του ενέργεια σε κάποιο άλλο είδος χρήσιμης μορφής ενέργειας π.χ. ηλεκτρικού ρεύματος , πεπιεσμένο αέρα.

Η ενέργεια συλλαμβάνεται και στη συνέχεια αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση ή για ανατροφοδότηση σε ένα σύστημα ισχύος για χρήση από άλλα οχήματα . Για παράδειγμα, τα φρένα ηλεκτρικής ανάκτησης των οχημάτων του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου τροφοδοτούν με ενέργεια το σύστημα εφοδιασμού . Σε ηλεκτρικά με μπαταρία και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα , η ενέργεια αποθηκεύεται σε μια μπαταρία ή σε πυκνωτές διπλού στρώματος για μεταγενέστερη χρήση . Άλλες μορφές αποθήκευσης ενέργειας οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιλαμβάνουν πεπιεσμένο αέρα και σφόνδυλο. Η ανάκτηση ενέργειας πέδησης χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρικό κινητήρα που ενεργεί ως γεννήτρια. Επαναχρησιμοποιεί την κινητική ενέργεια χρησιμοποιώντας τον ηλεκτροκινητήρα ώστε να ανακτήσει ηλεκτρική ενέργεια. Η ανάκτηση ενέργειας πέδησης δεν σπαταλά την ηλεκτρική ενέργεια ως θερμότητα και έτσι είναι πιο αποδοτική ενεργειακά από ό,τι η δυναμική πέδηση .

KERS

Ένας τύπος ανάκτησης ενέργειας πέδησης ονομάζεται KERS .Το KERS είναι ένα αυτοκινούμενο σύστημα για την ανάκτηση της κινητικής ενέργειας ενός οχήματος εν κινήσει κατά τη διαδικασία του φρεναρίσματος . Η ανακτώμενη ενέργεια αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή (για παράδειγμα ένα σφόνδυλο ή μια μπαταρία ή έναν υπερπυκνωτή) για μεταγενέστερη χρήση κατά την επιτάχυνση. Ηλεκτρικά συστήματα χρησιμοποιούν ένα κινητήρα - γεννήτρια που ενσωματώνεται στη μετάδοση του αυτοκινήτου , ο οποίος μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και το αντίστροφο .Αποθηκεύεται σε μια μπαταρία ή υπερπυκνωτή και απελευθερώνεται όταν απαιτείται. Η αποθήκευση σε σφόνδυλο γίνεται μηχανικά αποθηκεύοντας κινητική ενέργεια

από τον άξονα κίνησης στο σφόνδυλο και στη συνέχεια όταν χρειαστεί μεταδίδεται αντιστρόφως. Επίσης υπάρχει η περίπτωση με κατάλληλη διαμόρφωση ο σφόνδυλος να λειτουργεί σαν ηλεκτρική γεννήτρια και με την κίνησή του να παράγει ρεύμα το οποίο χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι δίνουν κίνηση.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

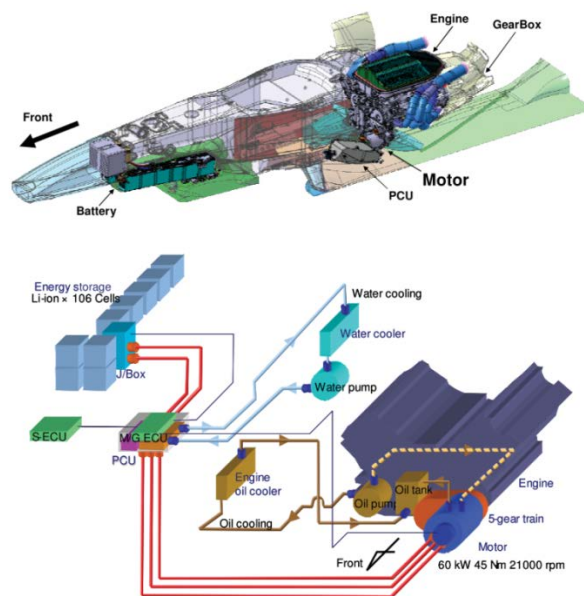
Από άποψη απόδοσης του οχήματος, οι απαιτήσεις αποθήκευσης ενέργειας ορίζονται σε σχέση με την μέγιστη ισχύ (kW) και την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας (Wh ή kWh). Οι σχεδιαστές του οχήματος επίσης ενδιαφέρονται για το βάρος και τον όγκο της μονάδας αποθήκευσης ενέργειας με γνωστές τις πηγές ενέργειας και την πυκνότητα ισχύος των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται. Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η χωρητικότητα ενέργειας και η μέγιστη ισχύς αναφέρονται στην ωφέλιμη χωρητικότητα και την χρησιμοποιήσιμη ισχύ αιχμής από τη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που μας ενδιαφέρει. Με τον όρο «ωφέλιμο» εννοείται η «ποσότητα» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την μονάδα αποθήκευσης μαζί με άλλους περιορισμούς του συστήματος, όπως η επίδραση της απόδοσης μετ' επιστροφής για μέγιστη δύναμη, το βάθος εκτόνωσης ενέργειας και τον κύκλο ζωής, τη μέγιστη τάση φόρτισης σχετικά με την χωρητικότητα ενέργειας και την ασφάλεια. Αυτές οι περαιτέρω σκέψεις, στις περισσότερες περιπτώσεις, οδηγούν σε σημαντικά μικρότερη απόδοση της μονάδας αποθήκευσης από ό,τι κάποιος θα συναγάγει αξιολογώντας τα χαρακτηριστικά που δίνονται από τον κατασκευαστή των μπαταριών ή των υπερπυκνωτών.

Μια δεύτερη δυσκολία στην ποσοτικοποίηση των απαιτήσεων ισχύος και ενέργειας αιχμής για ηλεκτρικά-υβριδικά οχήματα είναι ότι οι αξιοποιήσιμες απαιτήσεις ισχύος και ενέργειας μπορεί να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη στρατηγική ελέγχου που συνδέει τη λειτουργία του κινητήρα και το ηλεκτρικό σύστημα κίνησης. Στην περίπτωση υβριδικού υποβοήθησης, η χρησιμοποιήσιμη ενέργεια που απαιτείται μπορεί να ποικίλει από 100-300Wh ανάλογα με το πόσο συχνά και σε ποιο επίπεδο ισχύος, ο κινητήρας χρησιμοποιείται για να επαναφορτιστεί η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Στην περίπτωση των plug-in υβριδικών οχημάτων, η μέγιστη απαίτηση ισχύος εξαρτάται από τη στρατηγική ανάμειξης του ηλεκτροκινητήρα και του κινητήρα όταν το όχημα λειτουργεί σε πρόγραμμα "all-electric" ή εκκένωσης φορτίου. Εάν οι υπερπυκνωτές και οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται μαζί είτε σε ηλεκτρικά-υβριδικά ή ηλεκτρικά οχήματα, η στρατηγική που χρησιμοποιείται

για την κατανομή του φορτίου μεταξύ των δύο μονάδων αποθήκευσης ενέργειας έχει μεγάλη επίδραση στις απαιτήσεις ισχύος για κάθε μία από αυτές.

1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΑ

Ένα σύστημα ανάκτησης ενέργειας με μπαταρία ως μέσο αποθήκευσης αποτελείται επί το πλείστον από έναν ηλεκτρικό σύγχρονο κινητήρα/γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες, τη μονάδα της μπαταρίας και μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Επίσης λόγω μεγάλων θερμικών φορτίων και απαιτήσεων ψύξης στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου χρησιμοποιείται σύστημα ψύξης με νερό ενώ ο ηλεκτρικός κινητήρας ψύχεται με αντίστοιχο σύστημα λαδιού. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα τέτοιο σύστημα.



Εικόνα 1.1: Σύστημα ανάκτησης ενέργειας της Honda

Ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο εξής:

Κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης η ηλεκτρική συσκευή, που είναι συνδεδεμένη είτε στο κιβώτιο ταχυτήτων μέσω μικρότερου κιβωτίου είτε στον τελικό άξονα μετάδοσης, λειτουργεί ως γεννήτρια παράγοντας ρεύμα. Η μεταφορά ενέργειας για φόρτιση παρέχει το αποτέλεσμα της πέδησης. Το ρεύμα αφού μετατραπεί από εναλλασσόμενο σε συνεχές και δοθεί εντολή από την ηλεκτρονική μονάδα ισχύος περνά και αποθηκεύεται στην μπαταρία. Όταν κατά την επιτάχυνση χρειαστούμε την επιπλέον δύναμη με εντολή που δίνεται από το χειριστή του οχήματος η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου επιτρέπει την ροή ρεύματος, προς την ηλεκτρική συσκευή, η οποία λειτουργεί πλέον ως κινητήρας προσθέτοντας ενέργεια στα κινούμενα μέρη με τα οποία είναι σε εμπλοκή.

Παρακάτω αναλύονται τα επιμέρους τμήματα ενός τέτοιου συστήματος.

1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΨΗΚΤΡΕΣ



Εικόνα 1.2: Ηλεκτρικός κινητήρας/γεννήτρια με εφαρμογή στη Formula 1

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, είναι σύγχρονοι κινητήρες που τροφοδοτούνται από μια ηλεκτρική πηγή συνεχόμενου ρεύματος μέσω ενός ενσωματωμένου μετατροπέα / διακόπτη τροφοδοσίας, ο οποίος παράγει ένα εναλλασσόμενο σήμα για να κινήσει το μοτέρ. Στο πλαίσιο αυτό, εναλλασσόμενου ρεύματος, δεν συνεπάγεται ημιτονοειδή κυματομορφή, αλλά μάλλον αμφίδρομο ρεύμα χωρίς περιορισμό στην κυματομορφή. Πρόσθετοι αισθητήρες και ηλεκτρονικά ελέγχουν το πλάτος εξόδου του μετατροπέα, την κυματομορφή και τη συχνότητα (δηλαδή την ταχύτητα του ρότορα).

Το τμήμα του ρότορα ενός κινητήρα χωρίς ψήκτρες είναι συχνά ένας σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη, αλλά μπορεί επίσης να είναι ένας επαγωγικός κινητήρας.

Ο κινητήρας χωρίς ψήκτρες μπορεί να περιγραφεί ως βηματικός κινητήρας. Ωστόσο, ο όρος βηματικός τείνει να χρησιμοποιείται για κινητήρες που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να λειτουργούν με έναν τρόπο όπου συχνά σταματούν, με το στροφέιο σε μια καθορισμένη γωνιακή θέση. Παρακάτω περιγράφονται γενικές αρχές των συγκεκριμένων κινητήρων.

Ένας τυπικός κινητήρας χωρίς ψήκτρες έχει μόνιμους μαγνήτες που περιστρέφονται γύρω από ένα σταθερό οπλισμό, εξαλείφοντας τα προβλήματα που σχετίζονται με τη σύνδεση ρεύματος στο κινούμενο οπλισμό. Ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής αντικαθιστά τη διάταξη ψήκτρας/ συλλέκτη του κινητήρα συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες, ο οποίος αλλάζει συνεχώς τη φάση προς τα τυλίγματα για να κρατήσει τον κινητήρα σε περιστροφή. Ο ελεγκτής εκτελεί παρόμοια χρονικά διανομή ισχύος χρησιμοποιώντας ένα solid-state κύκλωμα και όχι το σύστημα ψήκτρας/ συλλέκτη.

Τα μοτέρ χωρίς ψήκτρες προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κινητήρες συνεχόμενου ρεύματος με ψήκτρες, συμπεριλαμβανομένων περισσότερη ροπή ανά βάρος, περισσότερη ροπή ανά watt (αύξηση της αποδοτικότητας), αυξημένη αξιοπιστία, μειωμένο θόρυβο, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (όχι διάβρωση ψηκτρών και συλλέκτη), την εξάλειψη των σπιθών από το συλλέκτη, και συνολική μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Χωρίς τυλίγματα στο δρομέα, αυτά δεν υποβάλλονται σε φυγόκεντρες δυνάμεις, και επειδή τα τυλίγματα που υποστηρίζονται από το περίβλημα, μπορούν να ψύχονται με αγωγή, και δεν απαιτεί καμία ροή αέρα στο εσωτερικό του κινητήρα για ψύξη. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι το

εσωτερικό του κινητήρα μπορεί να περικλείεται εντελώς και να προστατεύεται από ακαθαρσίες ή άλλα ξένα σώματα.

Κινητήρας μεταγωγής χωρίς ψήκτρες μπορεί να λειτουργήσει με λογισμικό χρησιμοποιώντας ένα μικροελεγκτή ή μικροεπεξεργαστή, ή εναλλακτικά με αναλογικό υλικό, ή με ψηφιακό firmware χρησιμοποιώντας FPGA (Field-programmable gate array). Η συνεργασία με ηλεκτρονικά αντί για ψήκτρες επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητες που δεν είναι διαθέσιμες με μοτέρ με ψήκτρες, συμπεριλαμβανομένων του περιορισμού της ταχύτητας, "μικροβηματική" λειτουργία για την αργή ή/και καλό έλεγχο κίνησης, και μια ροπή κατά τη στάση.

Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μοτέρ χωρίς ψήκτρες περιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από τη θερμότητα. Μεγάλα ποσά αυτής αποδυναμώνουν τους μαγνήτες και μπορεί να καταστραφεί η μόνωση των τυλιγμάτων.

Κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, οι κινητήρες χωρίς ψήκτρες είναι πιο αποτελεσματικοί από αυτούς με ψήκτρες. Αυτή η βελτίωση οφείλεται στο ότι η ταχύτητα του κινητήρα χωρίς ψήκτρες καθορίζεται από τη συχνότητα στην οποία έχει τεθεί η ηλεκτρική ενέργεια, και όχι από την τάση σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον κέρδος είναι, λόγω της απουσίας ψηκτρών, η μείωση των μηχανικών απωλειών ενέργειας λόγω τριβής. Η βελτιωμένη απόδοση είναι μεγαλύτερη σε περιοχή μη φορτίου και χαμηλού φορτίου της καμπύλης απόδοσης του κινητήρα. Υπό υψηλές μηχανικές καταπονήσεις, οι κινητήρες χωρίς ψήκτρες και οι υψηλής ποιότητας με ψήκτρες είναι συγκρίσιμοι σε απόδοση.

Περιπτώσεις στις οποίες οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τέτοιου τύπου κινητήρες περιλαμβάνουν λειτουργία χωρίς συντήρηση, υψηλές ταχύτητες, και λειτουργία όπου οι σπινθήρες είναι επικίνδυνοι (π.χ. εκρηκτικό περιβάλλον) ή θα μπορούσαν να επηρεάσουν τον ηλεκτρονικά ευαίσθητο εξοπλισμό.

1.2.1 Εφαρμογές ελεγκτή

Επειδή ο ελεγκτής πρέπει να κατευθύνει την περιστροφή του ρότορα, απαιτεί κάποια μέσα για τον προσδιορισμό προσανατολισμού / θέσης του ρότορα (σε σχέση με τα πηνία του στάτη.) Ορισμένα σχέδια χρησιμοποιούν αισθητήρες φαινομένου Hall ή ένα περιστροφικό κωδικοποιητή για να μετρούν απευθείας

τη θέση του ρότορα. Άλλοι μετρούν την ηλεκτρεγερτική δύναμη στα πηνία για να συμπεράνουν τη θέση του δρομέα, εξαλείφοντας την ανάγκη για ξεχωριστούς αισθητήρες φαινομένου Hall, και ως εκ τούτου, συχνά καλούνται sensorless ελεγκτές.

Ένας τυπικός ελεγκτής περιέχει 3 αμφίδρομες εξόδους (δηλαδή ελεγχόμενη έξοδος τριών φάσεων μέσω συχνότητας), η οποίες ελέγχονται από ένα κύκλωμα. Απλοί ελεγκτές χρησιμοποιούν συγκριτές για να καθορίσουν πότε πρέπει να προχωρήσει η φάση εξόδου, ενώ οι πιο προηγμένοι ελεγκτές απασχολούν έναν μικροελεγκτή για να διαχειριστεί την επιτάχυνση, να ελέγξει την ταχύτητα και να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα.

Ελεγκτές που ανιχνεύουν τη θέση του ρότορα με βάση την ηλεκτρεγερτική δύναμη έχουν επιπλέον δυσκολίες στην έναρξη της κίνησης, επειδή η ηλεκτρεγερτική δύναμη δεν παράγεται όταν το στροφείο είναι στάσιμο. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με περιστροφή ξεκινώντας από μια αυθαίρετη φάση, και στη συνέχεια, παρακάμπτοντας στη σωστή φάση εάν διαπιστωθεί ότι είναι λάθος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει τον κινητήρα να λειτουργήσει για λίγο προς τα πίσω, προσθέτοντας ακόμα μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη σειρά εκκίνησης. Άλλοι sensorless ελεγκτές είναι ικανοί να μετρούν τον κορεσμό που προκαλείται από την θέση των μαγνητών που συνάγουν τη θέση του δρομέα.

1.2.2 Διαφορές στην κατασκευή

Οι κινητήρες χωρίς ψήκτρες μπορούν να κατασκευαστούν με αρκετές διαφορετικές φυσικές διαμορφώσεις: Στη «συμβατική» (επίσης γνωστή ως Inrunner) διαμόρφωση, οι μόνιμοι μαγνήτες είναι μέρος του ρότορα. Τρία τυλίγματα στάτη περιβάλλουν το ρότορα. Στην outrunner (ή εξωτερικού ρότορα) διαμόρφωση, η ακτινική-σχέση μεταξύ των πηνίων και των μαγνητών αντιστρέφεται. Τα πηνία του στάτη σχηματίζουν το κέντρο (πυρήνα) του κινητήρα, ενώ οι μόνιμοι μαγνήτες περιστρέφονται μέσα σε ένα προεξέχον στροφείο το οποίο περιβάλλει τον πυρήνα. Η επίπεδη ή τύπου αξονικής ροής, χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει περιορισμός χώρου ή σχήματος, χρησιμοποιεί τις πλάκες του στάτη και του ρότορα, τοποθετημένες πρόσωπο με πρόσωπο. Οι outrunners έχουν συνήθως περισσότερους πόλους, που έχουν συσταθεί σε τριάδες για να διατηρήσουν τις τρεις ομάδες τυλιγμάτων, και έχουν μεγαλύτερη ροπή στις χαμηλές στροφές. Σε όλους τους κινητήρες χωρίς ψήκτρες, τα πηνία είναι σταθερά.

Υπάρχουν δύο κοινές ηλεκτρικές διαμορφώσεις τυλιγμάτων. Η διαμόρφωση τριγώνου συνδέει τρία τυλίγματα μεταξύ τους (κυκλώματα σε σειρά) σε ένα κύκλωμα που μοιάζει με τρίγωνο, και η δύναμη εφαρμόζεται σε κάθε μία από τις συνδέσεις. Η Wye (σχήματος Υ) διαμόρφωση, μερικές φορές ονομάζεται αστέρα, συνδέει όλα τα τυλίγματα σε ένα κεντρικό σημείο (παράλληλα κυκλώματα), και η δύναμη εφαρμόζεται στο άλλο άκρο του κάθε τυλίγματος.

Ένας κινητήρας με τύλιγμα σε διάταξη τριγώνου δίνει χαμηλή ροπή στις χαμηλές στροφές, αλλά μπορεί να δώσει υψηλότερη τελική ταχύτητα. Η διαμόρφωση Wye δίνει υψηλή ροπή στις χαμηλές στροφές, αλλά όχι τόσο υψηλή τελική ταχύτητα.

Μολονότι η αποδοτικότητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κατασκευή του κινητήρα, η σύνδεση αστέρα είναι συνήθως πιο αποτελεσματική. Σε τυλίγματα με σύνδεση τριγώνου, η μισή τάση εφαρμόζεται σε όλα τα παρακείμενα τυλίγματα δίπλα στο πρωτοπόρο, αυξάνοντας τις απώλειες αντίστασης. Επιπλέον, τα τυλίγματα μπορεί να επιτρέψουν υψηλής συχνότητας παρασιτικά ηλεκτρικά ρεύματα να κυκλοφορούν εξ ολοκλήρου στο εσωτερικό του κινητήρα. Ένα τύλιγμα αστέρα δεν περιέχει κλειστό βρόχο στον οποίο τα παρασιτικά ρεύματα μπορεί να ρέουν, αποτρέποντας τέτοιες απώλειες.

Από άποψη ελεγκτή, οι δύο μορφές τυλιγμάτων αντιμετωπίζονται ακριβώς το ίδιο.

1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΑΡΧΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Οι μπαταρίες λειτουργούν μετατρέποντας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων εκκένωσης. Αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στοιχεία, που το καθένα περιέχει ένα θετικό ηλεκτρόδιο, ένα αρνητικό, διαχωριστή και ηλεκτρολύτη. Τα στοιχεία μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή στοιχεία δεν είναι επαναφορτιζόμενα και πρέπει να αντικαθίστανται όταν τα αντιδρώντα εξαντληθούν. Τα δευτερογενή στοιχεία είναι επαναφορτιζόμενα και απαιτούν μια πηγή φόρτισης συνεχούς ρεύματος για την αποκατάσταση των αντιδρώντων στην πλήρως φορτισμένη κατάστασή τους. Παραδείγματα πρωτογενών στοιχείων περιλαμβάνουν άνθρακα-ψευδαργύρο, αλκαλικά-

μαγγάνιο, άργυρου-ψευδάργυρο, και τα στοιχεία του λιθίου (π.χ., λίθιο-διοξειδιο του μαγγανίου, διοξειδιο του λιθίου-θείο). Παραδείγματα δευτεροβάθμιων στοιχείων περιλαμβάνουν διοξειδιο του μολύβδου-μόλυβδο (μολύβδου-οξέος), νικέλιο-κάδμιο, νικέλιο-σίδηρο, νικέλιο-υδρογόνο, νικέλιο-υδρίδιο μετάλλου, ασήμι-ψευδάργυρο, ασήμι-κάδμιο, και ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες ταξινομούνται με βάση την ονομαστική τους τάση και χωρητικότητα μετρημένη σε αμπεροώρες. Η ονομαστική τάση βασίζεται στον αριθμό των στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και της ονομαστικής τάσης του κάθε στοιχείου (2,0 V για μολύβδου-οξέος και 1,2 V για νικελίου-καδμίου).

Το μέγιστο ποσό ενέργειας που διατίθεται από τη μπαταρία εξαρτάται από την εσωτερική κατασκευή της. Για μολύβδου-οξέος, η μέγιστη ισχύς συνήθως ορίζεται με βάση τα αμπέρ ψυχρής εκκίνησης, ή ταξινόμηση CCA. Για μπαταρίες νικελίου-καδμίου, η μέγιστη ονομαστική ισχύς συνήθως ορίζεται με βάση τη ροή ρεύματος στη μέγιστη ισχύ, ή ταξινόμηση I_{mp} . Οι ταξινομήσεις βασίζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες (- 18 ° C για CCA, 23 ° C για I_{mp}), γεγονός που καθιστά δύσκολο να συγκρίνουμε διαφορετικούς τύπους μπαταριών.

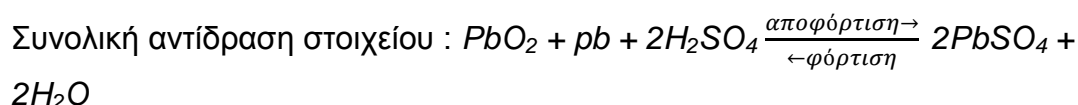
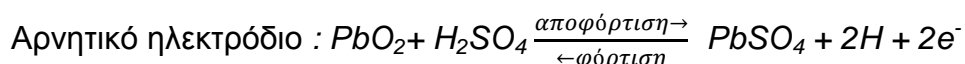
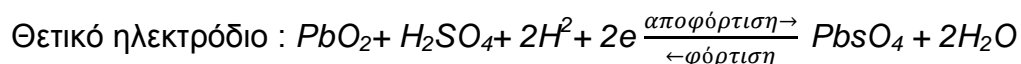
Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας είναι το ποσοστό της διαθέσιμης χωρητικότητάς της σε σχέση με την πλήρη φόρτιση. Με τον ορισμό αυτό, μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία έχει επίπεδο φόρτισης 100% και μια μπαταρία με το 20% της χωρητικότητας να έχει αφαιρεθεί έχει ένα επίπεδο του 80%.

Το επίπεδο υγείας μιας μπαταρίας είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που είναι διαθέσιμη όταν είναι πλήρως φορτισμένη σε σχέση με την ονομαστική της χωρητικότητα. Για παράδειγμα, μια μπαταρία που έχει 30 Ah, αλλά μόνο σε θέση να μεταφέρει 24 Ah όταν είναι πλήρως φορτισμένη, θα έχει επίπεδο υγείας $24/30 \times 100 = 80\%$. Έτσι, στο επίπεδο υγείας λαμβάνεται υπόψη η απώλεια της ικανότητας μιας μπαταρίας όσο αυτή 'γερνά'.

1.3.1 Αρχή Λειτουργίας

Αναφερόμενοι παρακάτω σε μπαταρίες μολύβδου-οξέος, που είναι ευρέως διαδεδομένες στην αυτοκινητοβιομηχανία, θα εξηγήσουμε τον τρόπο λειτουργίας τους και θα τις συγκρίνουμε με άλλες νεότερης τεχνολογίας.

Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν σε μια μπαταρία μολύβδου-οξέος αντιπροσωπεύεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

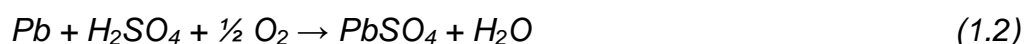


Καθώς το στοιχείο φορτίζεται, αυξάνεται η συγκέντρωση θειικού οξέως (H_2SO_4) και καθίσταται υψηλότερη όταν το στοιχείο είναι πλήρως φορτισμένο. Ομοίως, όταν το στοιχείο έχει αποφορτιστεί, η συγκέντρωση μειώνεται και γίνεται πιο αραιά, όταν το στοιχείο είναι πλήρως αποφορτισμένο. Η συγκέντρωση οξέως γενικά εκφράζεται σε όρους ειδικού βάρους, το οποίο είναι το βάρος του ηλεκτρολύτη σε σύγκριση με το βάρος ενός ίσου όγκου καθαρού νερό.

Το ειδικό βάρος του στοιχείου μπορεί να εκτιμηθεί από την τάση ανοικτού κυκλώματός του χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Ειδικό βάρος (ΕΔ)} = \text{Τάση ανοικτού κυκλώματος (ΤΑΚ)} - 0,84 \quad (1.1)$$

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι στοιχείων: εξαεριζόμενα και ανασυνδυασμένα. Τα εξαεριζόμενα στοιχεία έχουν ένα πλημμυρισμένο ηλεκτρολύτη, και τα αέρια υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται κατά τη φόρτιση εξαερίζονται από το δοχείο του στοιχείου. Τα ανασυνδυασμένα στοιχεία έχουν έναν ηλεκτρολύτη σε μορφή τζέλ, και το οξυγόνο που δημιουργείται από το θετικό ηλεκτρόδιο κατά τη φόρτιση διαχέεται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, όπου ανασυνδυάζεται για να σχηματίσει νερό με την ακόλουθη αντίδραση:



Η αντίδραση ανασυνδυασμού καταστέλλει την έκλυση υδρογόνου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας έτσι στο στοιχείο να στεγανοποιηθεί. Στην πράξη, η απόδοση ανασυνδυασμού δεν είναι 100% και μια βαλβίδα ρυθμίζει την εσωτερική πίεση σε σχετικά χαμηλή τιμή, γενικά κάτω από 10 psig.

1.3.2 Κατασκευή των στοιχείων

Τα στοιχεία μολύβδου-οξέος που αποτελούνται από εναλλασσόμενες θετικές και αρνητικές πλάκες, επικαλύπτονται με ένα ή πολλαπλά στρώματα του υλικού του διαχωριστή. Οι πλάκες είναι κατασκευασμένες με την επικόλληση δραστικού υλικού επάνω, σε μια δομή πλέγματος κατασκευασμένη από μολύβδο ή κράμα μολύβδου. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα μίγμα από θειικό οξύ και νερό. Σε πλημμυρισμένα στοιχεία, το υλικό του διαχωριστή είναι πορώδες καουτσούκ, ίνες κυτταρίνης, ή μικροπορώδες πλαστικό. Σε ανασυνδυσασμένα στοιχεία με τεχνολογία ηλεκτρολύτη 'starved', χρησιμοποιείται ένας διαχωριστής ινών υάλου, μερικές φορές με ένα προστιθέμενο στρώμα από μικροπορώδες πολυπροπυλένιο. Τα στοιχεία με τζέλ, ο άλλος τύπος του ανασυνδυσασμένου στοιχείου, γίνονται με απορρόφηση του ηλεκτρολύτη μέσω τζέλ πυριτίου που επιστρώνεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και τους διαχωριστές.

1.3.3 Μέγεθος της μπαταρίας και επιλογή

Η επιλογή της μπαταρίας είναι μια περίπλοκη διαδικασία και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Με απλά λόγια, η μπαταρία πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις αποθήκευσης ενέργειας (kWh) και μέγιστης ισχύος (kW) του οχήματος και να χωρέσει στον διαθέσιμο χώρο. Επιπλέον, οι μπαταρίες πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του κύκλου ζωής, τόσο για πλήρη λειτουργία με βαθιά αποφόρτιση όσο και για υποστηρικτική λειτουργία. Επιπλέον, η μονάδα της μπαταρίας πρέπει να σχεδιαστεί για να καλύπτεται θερμικά και από τις απαιτήσεις ασφαλείας. Οι τελικές εκτιμήσεις αφορούν με τα παραπάνω και το κόστος του κύκλου ζωής της μπαταρίας. Το μέγεθος της μπαταρίας και το κόστος θα ποικίλει σημαντικά ανάλογα με το ηλεκτρική αυτονομία του οχήματος. Είναι βολικό να αρχίσει η συζήτηση των μπαταριών για ηλεκτρικά plug-in οχήματα, με εξέταση της μπαταρίας οχημάτων που εξαρτώνται εντελώς από στην ηλεκτρική ενέργεια της μπαταρίας για την κίνηση. Οι μπαταρίες σε αυτά τα οχήματα ταξινομούνται με βάση την απαίτηση αποθήκευσης ενέργειας και όχι την ισχύ που απαιτείται από τον ηλεκτρικό κινητήρα.

Το σύστημα ανάκτησης ενέργειας με τη χρήση μπαταριών ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μπορεί να

μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια και να την αποθηκεύσει ως χημική. Αυτή η ενέργεια , όταν απαιτείται, μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί από χημική σε ηλεκτρική για την τροφοδοσία ηλεκτρικών κινητήρων. Ηλεκτροχημικές μπαταρίες μολύβδου οξέως (**PbO₂**) χρησιμοποιούνται ευρέως στα αυτοκίνητα. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας τέτοιου τύπου εξαρτάται από την συνολική κατασκευή , και γενικά μπαταρίες οξειδίου του μολύβδου έχουν απόδοση 80%, η οποία είναι ο λόγος της θερμοδυναμικής τάσης προς την τάση λειτουργίας. Οι μπαταρίες αυτές είναι σχετικά φθηνές και έχουν έναν κύκλο ζωής των 500-1000 φορτίσεων και μπορούν να αποθηκεύσουν υψηλά επίπεδα ενέργειας με πολύ μικρή απώλεια κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως έχουν πυκνότητα περίπου 25-35 Wh / kg , η οποία είναι ένας περιορισμός καθώς το πρόσθετο βάρος των μπαταριών για να λειτουργήσει ένα σύστημα ανάκτησης ενέργειας μειώνει την συνολική απόδοση .

Ένας άλλος περιορισμός όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μπαταρίες τέτοιου τύπου ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας που λαμβάνεται από την πέδηση είναι το γεγονός ότι οι μπαταρίες αυτές έχουν φτωχά χαρακτηριστικά σε θερμοκρασία κάτω από -10 ° C με μεγάλες μειώσεις της δύναμης και της πυκνότητας ενέργειας, όταν λειτουργούν σε αυτές τις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος . Η πυκνότητα ισχύος των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι σχετικά καλή με περίπου 150 W / kg , η οποία είναι επαρκής για την ώθηση ηλεκτρικών κινητήρων.

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη προηγμένων μπαταριών μολύβδου οξέως, με στόχο την υπερνίκηση μερικών εκ των προβλημάτων που συνδέονται με τις συμβατικές μπαταρίες ιδίου τύπου έχει οδηγήσει σε βελτιωμένες τεχνικές οι οποίες έχουν βελτιώσει το επίπεδο φόρτισης υψηλής τάσης και το επίπεδο εκκένωσης, μειώθηκε το βάρος των μπαταριών, και βελτιώθηκαν με την ανάμιξη του ηλεκτρολύτη. Αυτές οι προηγμένες τεχνικές έδωσαν μια αύξηση στην πυκνότητα ενεργείας σε 35-45 Wh / kg και μια αύξηση 150-250 W / kg της πυκνότητας ισχύος. Ο συνολικός κύκλος ζωής αυτών των προηγμένων μπαταριών μολύβδου οξέως έχει επίσης αυξηθεί, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι τέτοιες προηγμένες μπαταρίες είναι σημαντικά ακριβότερες από τις συμβατικές μπαταρίες ιδίου τύπου.

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (**Ni-Cd**) έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας, και μπορούν να λειτουργήσουν σε -40 ° C . Αυτό τους επιτρέπει

να λειτουργούν καλύτερα κατά τη διάρκεια ψυχρών περιόδων . Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής μέχρι 2000 κύκλους και απόδοση 75 % . Βέβαια έχουν μειονεκτήματα όπως το υψηλό αρχικό κόστος, χαμηλή τάση στοιχείων , καθώς και περιβαλλοντικές πτυχές στο χειρισμό και τη διάθεση του καδμίου. Έχουν ενεργειακή πυκνότητα 50 Wh / kg , η οποία είναι υψηλότερη από ότι των μπαταριών μολύβδου οξέως και έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος 200 W / kg . Ορισμένες μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί έτσι ώστε να έχουν πολύ γρήγορους χρόνους φόρτισης στην περιοχή των 15-20 λεπτών . Είναι σημαντικό για τη θερμοκρασία, την τάση, και το χρόνο φόρτισης αυτές οι μπαταρίες να παρακολουθούνται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι δεν θα συμβεί βλάβη στη μπαταρία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης.

Οι μπαταρίες υδρογονούχου μετάλλου του νικελίου (**NiMH**) έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με του μολύβδου οξέως και τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας .Οι μπαταρίες αυτές έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έως και 2000 κύκλους , απόδοση της τάξης του 70%, υψηλή ειδική πυκνότητα ισχύος 200-300 W/kg, και γρήγορη επαναφόρτιση με πολύ χαμηλά επίπεδα απωλειών αποθήκευσης. Δεν έχουν υψηλό ποσοστό αποφόρτισης, όπως οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου, αλλά έχουν παρόμοια δομή στοιχείου. Οι μπαταρίες αυτές έχουν καλή ενεργειακή πυκνότητα μεγαλύτερη από 70 Wh / kg και μπορούν να φορτιστούν στο 80 % της πλήρους χωρητικότητας σε περίπου 40 λεπτά. Οι μπαταρίες υδρογονούχου μετάλλου του νικελίου , ωστόσο , έχουν ένα μειονέκτημα , το υψηλό αρχικό κόστος σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών .

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) έχουν δει σημαντική εξέλιξη από την εισαγωγή τους το 1991 . Από όλους τους τύπους μπαταριών που έχουν συζητείται εδώ, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου φαίνεται να είναι οι πιο ελπιδοφόρες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για το μέλλον. Χρησιμοποιούν λιθιωμένο υλικό άνθρακα για τον αρνητικό πόλο και λιθιωμένο μέταλλο μετάβασης για το θετικό πόλο της μπαταρίας. Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται είτε από ένα στερεό πολυμερές είτε από ένα οργανικό διάλυμα . Κατά την αποφόρτιση των στοιχείων αυτών τα ιόντα λιθίου ταξιδεύουν από τον αρνητικό ακροδέκτη στο θετικό τερματικό που αποτελείται από μαγγάνιο, κοβάλτιο, ή οξειδίο του νικελίου μέσω είτε ενός στερεού πολυμερούς είτε ενός οργανικό ηλεκτρολύτη. Η αντίστροφη διαδικασία λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της φόρτισης της μπαταρίας . Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν υψηλότερο ειδικό επίπεδο πυκνότητας ενέργειας στην περιοχή των 80-130 Wh / kg σε σύγκριση με τις οξειδίου του μολύβδου 35 - 50 Wh / kg, νικελίου- 21

καδμίου 50 - 60 Wh / kg, και υδρογονούχου μετάλλου του νικελίου με 70-95 Wh / kg ενεργειακή πυκνότητα . Η πυκνότητα ισχύος τους είναι στα 250-340 W / kg. Είναι αποτελεσματικές στο να κατέχουν μεγάλα επίπεδα φόρτισης σε στοιχεία ελαφρύτερα σε βάρος από ό,τι εκείνα των εναλλακτικών τύπων μπαταριών. Βρίσκονται στην ίδια περιοχή κόστους με αυτές νικελίου-καδμίου και υδρογονούχου μετάλλου του νικελίου που τις καθιστά ως μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας πέδησης , καθώς έχουν υψηλό κύκλο ζωής έως 1000.Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά τόσο για τη φόρτιση όσο και την αποφόρτιση καθώς είναι ευαίσθητες και μπορεί να γίνουν ασύμμετρες, πράγμα που θα μπορούσε να οδηγήσει στο να πιάσουν φωτιά τα στοιχεία. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ασύμφορο να χρησιμοποιηθεί νερό για την κατάσβεση της πυρκαγιάς. CO₂ ή πυροσβεστήρας ξηρού τύπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντ 'αυτού. Όπου χρησιμοποιούνται μπαταρίες ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας σε ένα σύστημα ανάκτησης κινητικής ενέργειας , ο κύκλος λειτουργίας , το επίπεδο και η συχνότητα αποφόρτισης επηρεάζονται από τη διαμόρφωση του συνολικού συστήματος και του κύκλου οδήγησης . Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, όταν ένας ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, οι βαθιές αποφορτίσεις των μπαταριών δεν θα πρέπει να αναμένεται να συμβαίνουν συχνά και έτσι οι μπαταρίες ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας θα διατηρήσουν ένα καλό επίπεδο φόρτισης . Αυτό θα παρατείνει τον κύκλο ζωής των μπαταριών. Μια υψηλή ειδική πυκνότητα ισχύος των μπαταριών είναι επίσης ωφέλιμη για να επιτρέψει υψηλά επίπεδα επαναφόρτισης κατά τη διάρκεια της πέδησης.

2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΕ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ

Ένα τέτοιο σύστημα είναι ίδιας μορφής και αποτελείται από τα ίδια επιμέρους κομμάτια με ένα σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρία. Η διαφορά είναι στη μονάδα αποθήκευσης η οποία αποτελείται από συστοιχία υπερπυκνωτών οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ



Εικόνα 2.1: Μονάδα υπερπυκνωτή για όχημα

Μια βασική διάταξη πυκνωτή αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες, ή αγωγούς (τυπικά από αλουμίνιο), που χωρίζονται από έναν μονωτή, όπως αέρα ή ένα φιλμ κατασκευασμένο από πλαστικό, ή κεραμικό υλικό. Κατά τη

διάρκεια της φόρτισης, τα ηλεκτρόνια συσσωρεύονται στον έναν αγωγό, και κινούνται προς τον άλλο. Στην πραγματικότητα, ένα αρνητικό φορτίο βρίσκεται στη μία πλευρά, ενώ ένα θετικό φορτίο βρίσκεται στην άλλη.

Τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που θέλουν να ενταχθούν στην εκκενωμένη (θετική) πλευρά, αλλά δεν μπορούν να περάσουν το μη-αγώγιμο μονωτικό υλικό (ως επί το πλείστον, ούτως ή άλλως, υπάρχει κάποια διαρροή). Αυτός ο διαχωρισμός των θετικών και αρνητικών φορτίων, που θέλουν να ισορροπήσουν, ή να ουδετεροποιήσουν, το ένα το άλλο, δημιουργεί αυτό που ονομάζεται ηλεκτρικό πεδίο. Αποφόρτιση συμβαίνει όταν δίνεται στα ηλεκτρόνια ένα μονοπάτι για ροή προς την άλλη πλευρά-με άλλα λόγια, όταν αποκατασταθεί η ισορροπία.

Οι υπερπυκνωτές έχουν επίσης δύο μεταλλικές πλάκες, αλλά αυτές είναι επικαλυμμένες με ένα πορώδες υλικό που είναι γνωστό ως ενεργός άνθρακας. Επίσης είναι βυθισμένες σε έναν ηλεκτρολύτη που κατασκευάζεται από θετικά και αρνητικά ιόντα διαλυμένα σε ένα διαλύτη. Μία πλάκα επικαλυμμένη με άνθρακα, ή ηλεκτρόδιο, είναι η θετική, και η άλλη είναι η αρνητική. Κατά τη φόρτιση, ιόντα από τον ηλεκτρολύτη συσσωρεύονται στην επιφάνεια κάθε πλάκας επικάλυψης άνθρακα.

Όπως οι πυκνωτές, οι υπερπυκνωτές αποθηκεύουν ενέργεια σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, που δημιουργείται μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων όταν διαχωρίζονται. Υπενθυμίζουμε ότι σε έναν υπερπυκνωτή, έχουμε τον ηλεκτρολύτη, στον οποίο ένας ίσος αριθμός θετικών και αρνητικών ιόντων διασπείρονται ομοιόμορφα. Και επίσης ότι σε έναν πυκνωτή, το αρνητικό φορτίο βρίσκεται στη μία πλευρά και θετικό φορτίο στην άλλη. Ομοίως, σε έναν υπερπυκνωτή, όταν εφαρμόζεται τάση μεταξύ των δύο μεταλλικών πλακών (δηλαδή κατά τη διάρκεια της φόρτισης), το φορτίο εξακολουθεί να βρίσκεται σε δύο ηλεκτρόδια, ένα θετικό, ένα αρνητικό. Αυτό προκαλεί τότε κάθε ηλεκτρόδιο να προσελκύσει ιόντα αντιθέτου φορτίου.

Μια μονάδα υπερπυκνωτή σε ένα όχημα, Εικόνα 2.1, αποτελείται από πολλά στοιχεία σε σειρά και πιθανόν επίσης και παράλληλα όπως σε πολλές περιπτώσεις μπαταριών. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας αριθμός στοιχείων συνδυάζονται σε ενότητες για ευκολία στη συναρμολόγηση του πακέτου του υπερπυκνωτή για το όχημα. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά των στοιχείων είναι οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση της μονάδας. Για τους υπερπυκνωτές, τα κύρια χαρακτηριστικά των επιδόσεων είναι η χωρητικότητα C (Farad) και η αντίσταση R (Ohm). Με μια λογική

προσέγγιση, η χρησιμοποιήσιμη ενέργεια που αποθηκεύεται στο στοιχείο του υπερπυκνωτή δίνεται από τη σχέση:

$$E (Wh) = \frac{1}{2} C V_r^2 (3/4) / 3600 \quad (2.1)$$

όπου V_r είναι η ονομαστική τάση του στοιχείου

Η παραπάνω εξίσωση υποθέτει ότι το στοιχείο εκκενώνεται μεταξύ της ονομαστικής τάσης V_r και $\frac{1}{2} V_r$. Η ονομαστική τάση είναι η μέγιστη τάση κατά την οποία πρέπει να χρησιμοποιηθεί το στοιχείο και στην πράξη είναι συνήθως κάπως μικρότερη από την ονομαστική τάση στην οποία το στοιχείο έχει δοκιμαστεί για να προσδιοριστεί η ονομαστική ενεργειακή πυκνότητά του (Wh / kg). Ο προσδιορισμός της τάσης των στοιχείων γίνεται για να μεγιστοποιηθεί η διάρκεια του κύκλου ζωής της μονάδας του υπερπυκνωτή στο όχημα. Η χρησιμοποιήσιμη ικανότητα ισχύος παλμού του στοιχείου δίδεται από τη σχέση:

$$P_{max} (W) = 9/16 (1-EFF) V_r^2 / R \quad (2.2)$$

όπου EFF είναι η ηλεκτρική απόδοση του παλμού.

$$EFF = V_{pulse} / 3/4 V_r \quad (2.3)$$

Συχνά, η ικανότητα δύναμης ενός στοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση $2V_r / 4R$, η οποία αντιστοιχεί σε μία απόδοση του 50%. Αυτή δεν είναι μια χρησιμοποιήσιμη απόδοση για ηλεκτρικές και υβριδικές εφαρμογές οχημάτων. Πιο πρακτικές αποδόσεις είναι 75-80% για τα ηλεκτρικά (με μπαταρία) και 90-95% για υβριδική λειτουργία οχήματος. Σε κάθε περίπτωση, το βασικό χαρακτηριστικό των επιδόσεων των στοιχείων για τον καθορισμό της μέγιστης ισχύος των παλμών του είναι η αντίστασή του, R .

Η ανώτατη σταθερή ισχύς για το στοιχείο μπορεί να προσδιοριστεί από την καμπύλη Ragone ($Wh / kg \sim W / kg$). Δεδομένα δοκιμής για τυπικά στοιχεία υπερπυκνωτή δείχνουν ότι η ενεργειακή πυκνότητα για μία σταθερή δύναμη εκκενώσεως $\frac{1}{2} V_r$ με πυκνότητα ισχύος ίση με αυτή, για 95% αποδοτικά αποτελέσματα παλμού, έχει μια μείωση 10% στην πυκνότητα ενέργειας από την καθορισμένη πυκνότητα ενέργειας του στοιχείου ($W / kg = 200-300$). Εξ' ου και η χρησιμοποιήσιμη ικανότητα ισχύος παλμού ενός στοιχείου είναι σημαντικά υψηλότερη από τη σταθερή ικανότητα ισχύος του.

2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ

Υπάρχει ένας αριθμός προσεγγίσεων που επιδιώκουν την ανάπτυξη υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, για πυκνωτές υψηλής ισχύος κατάλληλους για χρήση σε εφαρμογές οχημάτων. Αυτές οι προσεγγίσεις που προσδιορίζονται στον Πίνακα 1, μαζί με τη βασική χημεία / φυσική στους μηχανισμούς αποθήκευσης ενέργειας, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα ενεργά ηλεκτρόδια, τα χαρακτηριστικά των στοιχείων, και η ενδεχόμενη επίδοσή τους (ενεργειακή πυκνότητα, η πυκνότητα ισχύος, κ.λπ.) . Καθένας από τους τύπους πυκνωτή περιγράφεται εν συντομία στις ακόλουθες ενότητες

Πίνακας 1					
Είδος	Υλικά ηλεκτροδίου	Μηχανισμός αποθήκευσης ενέργειας	Τάση στοιχείων (Volt)	Πυκνότητα ενέργειας (Wh/kg)	Πυκνότητα ισχύος (W/kg)
Διπλού στρώματος	Ενεργός άνθρακας	Διαχωρισμός φορτίου	2,5-3	5-7	1-3
Ενεργού άνθρακα	Γραφίτης άνθρακας	Μεταφορά φορτίου	3-3,5	8-12	1-2
Ενεργού άνθρακα	Νανოსωλήνες	Διαχωρισμός φορτίου	2,5-3	Δεν είναι γνωστή	Δεν είναι γνωστή
Ψευδοχωρητικότητας	Οξειδία μετάλλου	Οξειδοαναγωγική μεταφορά φορτίου	2-3,5	10-15	1-2
Υβριδικοί	Άνθρακα/οξείδια μετάλλου	Διπλού στρώματος/ Μεταφορά φορτίου	2-3,3	10-15	1-2
Υβριδικοί	Άνθρακα/ οξείδιο του μολύβδου	Διπλού στρώματος/ Φαρανταϊκή	1,5-2,2	10-12	1-2

2.2.1 Πυκνωτές διπλού στρώματος (άνθρακα / άνθρακα)

Οι περισσότεροι από τους ηλεκτροχημικούς πυκνωτές που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά ονομάζονται ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (EDLC). Η αποθήκευση ενέργειας σε πυκνωτές διπλού στρώματος προκύπτει από το διαχωρισμό του φορτίου σε μικροσκοπικά λεπτές στρώσεις που σχηματίζονται μεταξύ μιας στερεής, αγώγιμης επιφάνειας και ενός υγρού ηλεκτρολύτη που περιέχει ιόντα. Το κυρίαρχο υλικό του ηλεκτροδίου είναι μικροπορώδες, ενεργός άνθρακας. Η διπλή στιβάδα σχηματίζεται στους μικροπόρους της επιφάνειας του υλικού από άνθρακα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ένας υδατικός είτε ένας οργανικός ηλεκτρολύτης. Η απόδοση ενός ηλεκτροχημικού πυκνωτή απλά σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του υλικού του ηλεκτροδίου και του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούνται στη συσκευή. Η σχέση για την πυκνότητα ενέργειας (Wh / kg) μπορεί να εκφραστεί ως

$$Wh / kg = 1.08 (F / g) \times (V_0^2 / 3.6) \quad (2.4)$$

όπου F / g είναι η ειδική χωρητικότητα του υλικού του ηλεκτροδίου και V_0 είναι η τάση των στοιχείων η οποία εξαρτάται πρωτίστως από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται στη συσκευή.

Η ενεργειακή πυκνότητα των σήμερα διαθέσιμων συσκευών άνθρακα/άνθρακα χρησιμοποιώντας έναν οργανικό ηλεκτρολύτη είναι 4-5 Wh/kg. Οι άνθρακες σε αυτές τις συσκευές έχουν μια συγκεκριμένη χωρητικότητα περίπου 100 F/gm . Μεγάλες βελτιώσεις στην ενεργειακή πυκνότητα των συσκευών άνθρακα/άνθρακα εξαρτώνται από την ανάπτυξη ανθράκων με μεγαλύτερες ειδικές χωρητικότητες των 150-200 F / gm και ηλεκτρολυτών που μπορούν να ανεχθούν υψηλότερες τάσεις της τάξης των 3-3.5V. Αυτές οι βελτιώσεις υλικών θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πυκνότητες ενέργειας στοιχείου μεγαλύτερες από 10 Wh / kg.

Τα χαρακτηριστικά ισχύος ενός στοιχείου είναι ανάλογα προς V_0^2 / R όπου R είναι η αντίσταση συνεχούς ρεύματος της συσκευής. Εκτίμηση της αντίστασης ενός στοιχείου, συμπεριλαμβανομένης της συνεισφοράς της διάχυσης ιόντων στους μικροπόρους και τις επιπτώσεις της μετάβασης ρεύματος στα ηλεκτρόδια, δεν είναι απλή. Ωστόσο, μια πρώτη προσέγγιση για την αντίσταση μπορεί να γραφτεί ως

$$R = 2/3 t \times r_{electrol} / A_x + r_{contact} / A_x \quad (2.5)$$

όπου t είναι το πάχος του ηλεκτροδίου, r_{electrol} είναι η ειδική αντίσταση (ohm-cm) του ηλεκτρολύτη, r_{contact} είναι η ειδική αντίσταση επαφής (Ohm-cm^2) της επικάλυψης με άνθρακα επί του μετάλλου του συλλέκτη ρεύματος και Ax είναι το γεωμετρικό εμβαδόν του ηλεκτροδίου.

Ο βασικός παράγοντας για την επίτευξη χωρητικότητας υψηλής ισχύος είναι η μείωση της αντίστασης των στοιχείων. Τα περισσότερα από τα επί του παρόντος διαθέσιμα στοιχεία άνθρακα/άνθρακα έχουν σχετικά χαμηλή αντίσταση με πυκνότητα ισχύος περίπου 1.000 W/kg για 95% αποτελεσματικούς παλμούς. Μερικά από τα στοιχεία έχουν πυκνότητα ισχύος άνω των 2500 W/kg . Μπορεί να αναμένεται ακόμη υψηλότερη ικανότητα πυκνότητας ισχύος με πιο ειδικούς άνθρακες που θα επιτρέπουν τη χρήση λεπτότερων επικαλύψεων άνθρακα στα ηλεκτρόδια.

2.2.2 Ψευδο-πυκνωτές

Σε ένα ηλεκτρικό πυκνωτή διπλής στρώσης (EDLC), τα δραστικά ιόντα στον ηλεκτρολύτη δεν μεταφέρονται πάνω ή μέσα στην επιφάνεια του στερεού ηλεκτροδίου. Εάν τα ιόντα σε διπλή στοιβάδα μεταφέρονται στην επιφάνεια και συνδυαστούν με άτομα στην επιφάνεια, ο μηχανισμός ονομάζεται "ψευδο-χωρητικότητα". Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις είναι καλά παραδείγματα αυτής της διαδικασίας και οξείδια μετάλλου είναι καλοί υποψήφιοι για χρήση στα ηλεκτρόδια συσκευών ψευδοπυκνωτών. Οι *Εξισώσεις 2.4, 2.5* μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών αυτών των συσκευών, αλλά η ειδική χωρητικότητα των υλικών των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται είναι σημαντικά υψηλότερη από των μικροπορώδη ανθράκων. Έρευνα γίνεται στις συσκευές που χρησιμοποιούν ψευδο-χωρητικότητα, αλλά τα συστήματα αυτά δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμα στο εμπόριο. Δεν έχουν ακόμη δοκιμαστεί πρωτότυπα που να επιδείξουν τόσο ενεργειακή πυκνότητα $>10 \text{ Wh / kg}$, πυκνότητα ισχύος $> 2000 \text{ W / kg}$ και 95% απόδοση. Η επίτευξη υψηλού κύκλου ζωής (> 200.000 κύκλοι) χρησιμοποιώντας ψευδο-χωρητικότητα είναι επίσης μια ανησυχία.

2.2.3 Υβριδικοί (ασύμμετροι) πυκνωτές

Αυτή η κατηγορία των ηλεκτροχημικών πυκνωτών αναφέρεται σε συσκευές στις οποίες ένα από τα ηλεκτρόδια είναι μικροπορώδης άνθρακας και το άλλο ηλεκτρόδιο χρησιμοποιεί είτε ένα υλικό ψευδο-χωρητικότητας ή ένα Φαρανταϊκό υλικό σαν αυτό που χρησιμοποιείται σε μία μπαταρία. Οι συσκευές αυτές αναφέρονται συχνά ως ασύμμετροι πυκνωτές. Τα χαρακτηριστικά φόρτισης / αποφόρτισης των υβριδικών πυκνωτών όπως αυτά ενός πυκνωτή διπλής στρώσης (γραμμική τάση συναρτήσεως του χρόνου για ένα σταθερό ρεύμα φόρτισης / αποφόρτισης), και μιας μπαταρίας (τα όρια τάσης καθορίζονται από το δυναμικό του ηλεκτροδίου όμοιου με της μπαταρίας). Η ενεργειακή πυκνότητα των υβριδικών πυκνωτών χρησιμοποιώντας παρεμβολή άνθρακα (γραφίτη) σε ένα από τα ηλεκτρόδια είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των πυκνωτών διπλού στρώματος άνθρακα / άνθρακα.

Ωστόσο, ακόμη και αν η πυκνότητα ισχύος των συσκευών αυτών είναι σχετικά υψηλή (περίπου 1.000 W / kg , 95%), η χωρητικότητα δεν αυξάνεται αναλογικά προς την αύξηση της πυκνότητας της ενέργειας.

Η μείωση του σημερινού υψηλού κόστους / τιμής των EDLC είναι ένα βασικό ζήτημα για την επίτευξη υψηλής διείσδυσης στην αγορά στο μέλλον, ιδίως του μεσαίου μεγέθους και των μεγάλων συσκευών. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για τις οποίες οι EDLC προς το παρόν αποκλείονται ή ακόμη εξετάζονται σοβαρά, επειδή εξακολουθούν να είναι υπερβολικά ακριβή, ακόμη και αν η τιμή πώλησής τους έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Το κόστος κατασκευής του κάθε προϊόντος είναι στενά συνδεδεμένο με τον όγκο, με το κόστος να μειώνεται ραγδαία με την αύξηση του όγκου σε σχετικά υψηλά ποσοστά παραγωγής. Πιθανές πωλήσεις EDLC είναι πολλών εκατομμυρίων μονάδων ετησίως, οπότε αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις παραγωγής είναι απαραίτητες για να μειωθεί το κόστος ανά μονάδα σε επίπεδα στα οποία οι μεγάλες αγορές μπορούν να αναπτυχθούν. Ημι-αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις παραγωγής υπάρχουν σήμερα σε μια σειρά από εταιρείες για EDLC όλων των μεγεθών. Στην πραγματικότητα, οι δυνατότητες παραγωγής υπερβαίνουν τους όγκους πωλήσεων για τις περισσότερες συσκευές και αυτός είναι ο λόγος που η τιμή των συσκευών έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Είναι κοινό να μιλάμε για την τιμή των συσκευών όσον αφορά σεντ ανά Farad (σεντ / F) ή \$ / Wh. Είναι πιο εύκολο να ερμηνεύουμε

τις πληροφορίες των τιμών με βάση cents / F, δεδομένου ότι δεν αφορά την τάση των στοιχείων ή ποιο κλάσμα ενέργειας που αποθηκεύεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Για παράδειγμα, για μια συσκευή 10F, εάν η τιμή αυτή αναφέρεται ως 10 τοις εκατό Farad, το κόστος της συσκευής θα είναι 1 €. Παρομοίως, μια συσκευή 2500F θα κοστίζει \$ 25 στο 1 σεντ / F.

Το κόστος για την κατασκευή μιας συσκευής EDLC (άνθρακα / άνθρακα) εξαρτάται από το κόστος του υλικού και την παραγωγή. Προς το παρόν, το κόστος των υλικών είναι υψηλό. Το κόστος του άνθρακα, κατάλληλο για χρήση σε EDLC μπορεί να είναι τόσο υψηλό όπως 100 \$ / kg με τη μέση τιμή να είναι στο εύρος των 30\$- 50\$ / kg. Το κόστος του διαλύτη του ηλεκτρολύτη είναι επίσης υψηλό στην περιοχή των 5-10 \$ ανά λίτρο για ανθρακικό προπυλένιο και ακετονιτρίλιο. Τα ιοντικά άλατα που διασπώνται στο διαλύτη εντός των θετικών και αρνητικών ιόντων που κινούνται μέσα και έξω από το διπλού στρώμα στον μικροπορώδες άνθρακα για την αποθήκευση ενέργειας είναι επίσης ακριβά με 50\$ -100\$ / kg.

Εφόσον η ανάλυση των EDLC είναι απλή, το κόστος των υλικών μπορεί να υπολογιστεί με καλή ακρίβεια. Επί του παρόντος, η τιμή των EDLC είναι υψηλή, διότι τόσο το υλικό όσο και το κόστος κατασκευής είναι υψηλό. Με περισσότερο αυτοματοποιημένη παραγωγή και μειωμένο κόστος υλικού, αναμένεται ότι η τιμή του ECC σε υψηλή ένταση μπορεί να είναι στην περιοχή των 1-2 σεντ / F για μικρές συσκευές και 0,25 έως 0,5 σεντ / F για μεγάλες συσκευές όπως αυτές που χρειάζονται για εφαρμογές οχημάτων. Οι EDLC δεν μπορούν να ανταγωνιστούν τις μπαταρίες από άποψη \$/Wh, αλλά μπορούν να ανταγωνιστούν σε επίπεδο των \$/kW και \$/μονάδα για να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες εφαρμογές οχημάτων. Και οι δύο τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας πρέπει να παρέχουν την ίδια δύναμη, κύκλο ζωής και επάρκεια ενέργειας (Wh) για την εφαρμογή. Το βάρος της μπαταρίας συνήθως καθορίζεται από την απαίτηση ισχύος του συστήματος και τον κύκλο ζωής και όχι από την ελάχιστη απαίτηση αποθήκευσης ενέργειας. Η ικανοποίηση μόνο της ελάχιστης απαίτησης αποθήκευσης ενέργειας θα οδηγήσει σε μια πολύ μικρότερη, ελαφρύτερη μπαταρία ό,τι χρειάζεται για να καλύψει τις άλλες απαιτήσεις. Από την άλλη πλευρά, το βάρος του EDLC καθορίζεται από την ελάχιστη απαίτηση αποθήκευσης ενέργειας. Οι απαιτήσεις ισχύος και κύκλου ζωής συνήθως ικανοποιούνται εύκολα. Ως εκ τούτου, η μονάδα EDLC μπορεί να είναι μια πιο βέλτιστη λύση για πολλές εφαρμογές και το βάρος της μπορεί να είναι μικρότερο από εκείνο της μπαταρίας, ακόμη και αν η ενεργειακή πυκνότητά της είναι μικρότερη από το ένα δέκατο αυτής της μπαταρίας.

3. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ

Η αυξανόμενη έμφαση στην άνεση, την αυτοματοποίηση και την οδική συμπεριφορά ωθεί την τεχνολογία μετάδοσης της κίνησης σε όλο και πιο πολύπλοκες λύσεις, όπως η δύναμη μετατόπισης ή η συνεχώς μεταβαλλόμενη σχέση μετάδοσης. Μεταξύ αυτών, η υδρομηχανική λύση φαίνεται πολλά υποσχόμενη για βαρέα οχημάτων, λόγω της αξιοπιστίας και της δυνατότητας μεταφοράς υψηλής ισχύος. Η εξοικονόμηση ενέργειας έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντική λόγω των αυξήσεων στις τιμές των καυσίμων και της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας που βασίζονται σε υβριδικά σχέδια έχουν μελετηθεί για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών καυσαερίων σε αυτοκίνητα, φορτηγά, εκσκαφείς και κατασκευαστικά μηχανήματα.

Ένα υδραυλικό σύστημα θεωρείται σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, εάν έχει μία από τις ακόλουθες δυνατότητες. Πρώτα, θα πρέπει να βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της πρωταρχικής πηγής ισχύος ενός συστήματος, η οποία μπορεί να είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας ή ένας κινητήρας εσωτερικής καύσεως σε βιομηχανικές και κινητές εφαρμογές, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, πρέπει να είναι ένα σύστημα ανάκτησης που είναι σε θέση να ανακτήσει ενέργεια κατά την επιβράδυνση ή ενώ ένα φορτίο μειώνεται. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ανακτά την κινητική ενέργεια ενός οχήματος που διαχέεται από τη μεταφορά θερμότητας μέσω της τριβής των φρένων κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος θα πρέπει επίσης να είναι υψηλή σε ένα ευρύ φάσμα λειτουργίας. Για παράδειγμα, τα παραδοσιακά υδραυλικά συστήματα που χρησιμοποιούν βαλβίδες ροής με σταθερή μετατόπιση είναι αναποτελεσματικά σε περιπτώσεις όπου η επιθυμητή

ταχύτητα και το φορτίο ποικίλουν σε μία ευρεία περιοχή, δεδομένου ότι η περίσσεια ροή διασκορπίζεται μέσω βαλβίδων ανακούφισης.

3.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

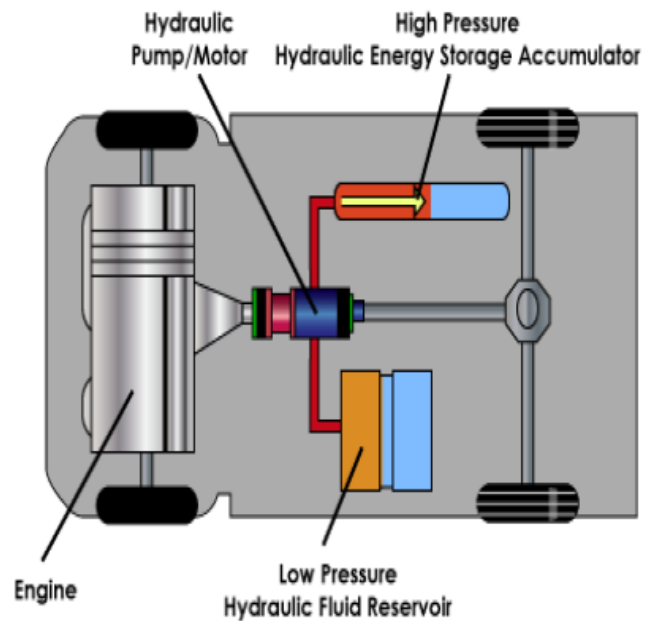
Ένα υδροστατικό σύστημα μετάδοσης είναι ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης ή μεταφοράς που χρησιμοποιεί πεπιεσμένο υδραυλικό ρευστό για να κινηθεί ένας υδραυλικός μηχανισμός. Ο όρος υδροστατικό αναφέρεται στην μεταφορά ενέργειας από τη ροή και την πίεση, όχι από την κινητική ενέργεια της ροής. Ένα υδραυλικό σύστημα κίνησης αποτελείται από τρία μέρη: τη γεννήτρια (υδραυλική αντλία), που κινείται από έναν κινητήρα (ηλεκτρικό κινητήρα, κινητήρα εσωτερικής καύσης) και την κινητήρια μονάδα (υδραυλικό κινητήρα ή υδραυλικό κύλινδρο) για την κίνηση των μηχανισμών. Υπάρχουν βάνες, φίλτρα, σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται επίσης για την καθοδήγηση και τον έλεγχο του συστήματος.

3.2 ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ

Υπάρχουν δύο τρόποι που τα συστατικά αυτά μπορούν να συζευχθούν με ένα όχημα. Σε παράλληλα υδραυλικά υβριδικά οχήματα, η αντλία / κινητήρας είναι συνήθως εγκατεστημένη μεταξύ του κινητήρα και του κιβωτίου ταχυτήτων, ή μεταξύ του κιβωτίου ταχυτήτων και του διαφορικού. Ο ρόλος της είναι η παροχή βοήθειας στον κινητήρα κατά την επιτάχυνση και την ανάκτηση της ενέργειας κατά την πέδηση. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς η αντλία / μοτέρ εξάγει κινητική ενέργεια κατά το φρενάρισμα για να αντλήσει το ρευστό από τη δεξαμενή προς το συσσωρευτή. Εκεί αποθηκεύεται σε μορφή πίεσης και σε κατάσταση επιτάχυνσης ακολουθεί την αντίθετη φορά προσθέτοντας ενέργεια στον κινητήρα/αντλία. Ενώ βοηθά το βενζινοκινητήρα κατά την επιτάχυνση (όταν ο βενζινοκινητήρας 'εργάζεται' σκληρότερα), δεν επιτρέπει στον βενζινοκινητήρα να σβήσει, όταν το όχημα δεν είναι σε κίνηση. Αυτό σημαίνει ότι το όχημα χρησιμοποιεί καύσιμο (σε αντίθεση με τα υβριδικά καυσίμου/ηλεκτρισμού, τα οποία έχουν κινητήρες που σβήνουν σε χαμηλές ταχύτητες ή κατά τη διάρκεια μιας στάσης). Αυτό είναι το κύριο μειονέκτημα σε απευθείας σύγκριση με τα υβριδικά καυσίμου / ηλεκτρισμού, αλλά, παρ' όλα αυτά, τα παράλληλα υδραυλικά συστήματα έχουν σημαντικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένων τη 40 τοις εκατό αύξηση στην οικονομία καυσίμου. Αν και δεν είναι σε ευρεία χρήση ακόμα, θα μπορούσαν να προστεθούν σε

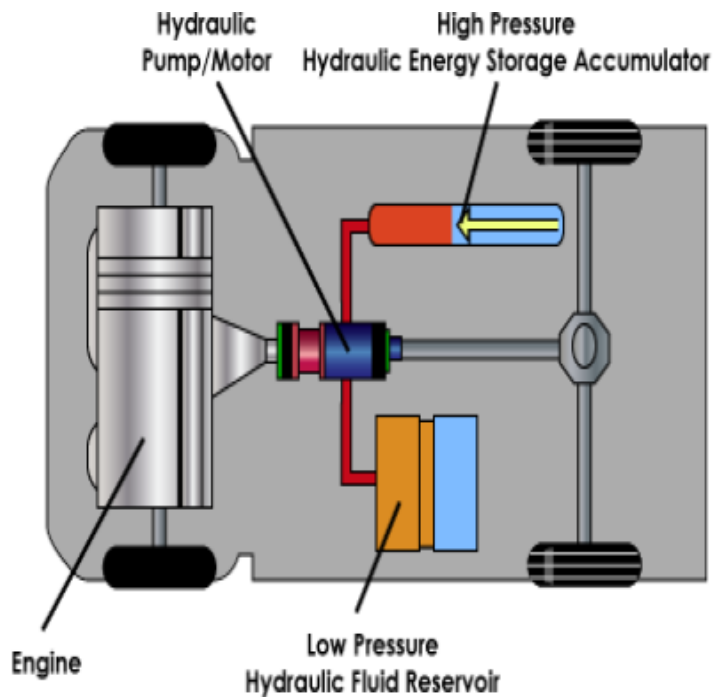
συμβατικά οχήματα. Όπως είναι τώρα, τα περισσότερα παράλληλα υδραυλικά οχήματα χρησιμοποιούνται σε βαρέα οχήματα, όχι επιβατικά αυτοκίνητα.

Στην *Εικόνα 3.1* εικόνα φαίνεται ο συσσωρευτής υψηλής πίεσης να αποθηκεύει ενέργεια κατά την διάρκεια της διαδικασίας πέδης.



Εικόνα 3.1: Παράλληλο υδραυλικό υβριδικό σε διαδικασία πέδης

Στην παρακάτω *Εικόνα 3.2* επιδεικνύεται το αντίστροφο, η υψηλή πίεση του συσσωρευτή απελευθερώνει ενέργεια κατά την επιτάχυνση.



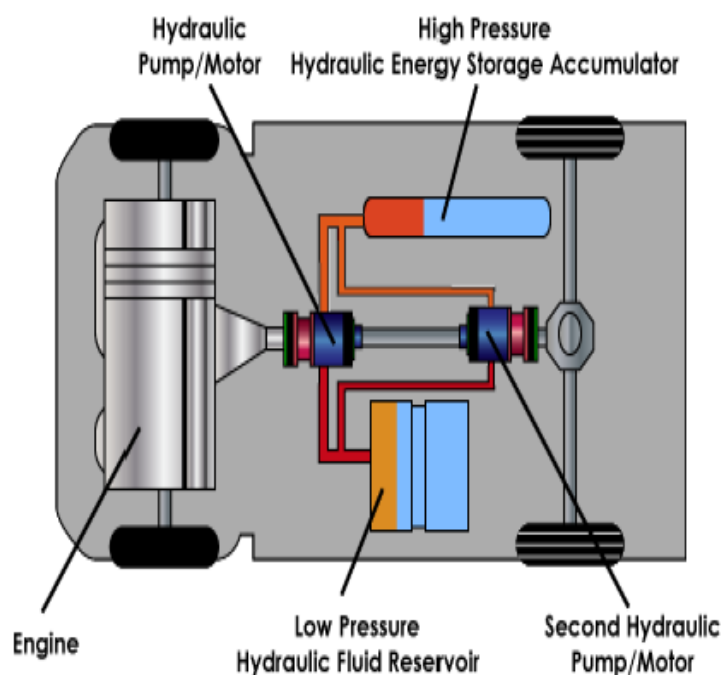
Εικόνα 3.2: Παράλληλο υδραυλικό υβριδικό σε διαδικασία επιτάχυνσης

3.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΕΙΡΑΣ

Τα υδραυλικά υβριδικά συστήματα σειράς χρησιμοποιούν την ίδια διαδικασία με τα παράλληλα. Σε υδραυλικό υβριδικό σειράς, η αντλία/κινητήρας συνδέεται άμεσα με το ημιαξόνιο ή με εσωτερικά μοτέρ των τροχών και παρέχουν σε αυτούς απευθείας κινητήρια ροπή. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι συνδεδεμένος μόνο σε μία αντλία, και έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί σε πιο αποτελεσματικό εύρος ισχύος του, για να διατηρεί τη βέλτιστη υδραυλική πίεση στον συσσωρευτή. Η μονάδα κίνησης πρέπει να παρέχει όλη τη ροπή που απαιτείται για την κίνηση του οχήματος, που σημαίνει μέγιστη απόδοση κατά την επιτάχυνση με τον κινητήρα σε λειτουργία ή όχι. Όπως συζητήσαμε προηγουμένως, μειώνοντας τον αριθμό των συνιστωσών που πρέπει να περάσει η ενέργεια πριν φτάσει το στόχο της, την καθιστά πιο αποτελεσματική. Επειδή το ίδιο το υδραυλικό σύστημα γυρίζει τους τροχούς, δεν είναι απαραίτητο ένα σύστημα μετάδοσης ή ένας κινητήριος άξονας, ο κινητήρας βενζίνης του οχήματος μπορεί να σβήσει, με αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου. Με την προστιθέμενη

αποδοτικότητα και την ικανότητα να σβήσει ο κινητήρας βενζίνης, τα υδραυλικά υβριδικά υπολογίζεται ότι βελτιώνουν την οικονομία καυσίμου κατά 60 έως 70 τοις εκατό, και αντίστοιχα μειώνουν τις εκπομπές ρύπων. Το κύριο μειονέκτημά του είναι σε σταθερή πορεία, όπου η διπλή μετατροπή της ενέργειας φέρει πρόσθετες απώλειες.

Η επόμενη Εικόνα 3.3 δείχνει τη διαδικασία σε αυτή την περίπτωση.



Εικόνα 3.3: Υδραυλικό υβριδικό σειράς

3.4 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Ένας υδραυλικός συσσωρευτής είναι μια δεξαμενή αποθήκευσης πίεσης στην οποία ένα μη συμπιεστό υδραυλικό ρευστό συγκρατείται υπό πίεση από μια εξωτερική πηγή. Η εξωτερική πηγή μπορεί να είναι ένα ελατήριο, ένα ανυψωμένο βάρος, ή ένα συμπιεσμένο αέριο. Ένας συσσωρευτής επιτρέπει σε ένα υδραυλικό σύστημα να ανταπεξέλθει με τις ακραίες απαιτήσεις χρησιμοποιώντας μια λιγότερο ισχυρή αντλία, για να ανταποκριθεί πιο γρήγορα σε μια προσωρινή ζήτηση, και να εξομαλύνει τους παλμούς. Είναι

ένας τύπος συσκευής αποθήκευσης ενέργειας. Οι συσσωρευτές συμπιεσμένου αέρα, ονομάζονται επίσης υδρο-πνευματικοί συσσωρευτές. Ένας συσσωρευτής συμπιεσμένου αέρα αποτελείται από έναν κύλινδρο με δύο θαλάμους που χωρίζονται από ένα ελαστικό διάφραγμα, μια εντελώς κλειστή κύστη, ή ένα πλωτό έμβολο. Ένας θάλαμος περιέχει υδραυλικό ρευστό και είναι συνδεδεμένος με τη σωληνογραμμή. Ο άλλος θάλαμος περιέχει ένα αδρανές αέριο υπό πίεση (συνήθως άζωτο) που παρέχει τη θλιπτική δύναμη στο υδραυλικό ρευστό. Αδρανές αέριο χρησιμοποιείται επειδή το οξυγόνο και το λάδι μπορεί να σχηματίσουν ένα εκρηκτικό μείγμα όταν συνδυάζονται κάτω από υψηλή πίεση. Καθώς ο όγκος του συμπιεσμένου αερίου αλλάζει, η πίεση του αερίου (και η πίεση επί του ρευστού) αλλάζει αντιστρόφως. Υφιστάμενοι υδραυλικοί συσσωρευτές είναι μεγάλοι και βαριοί λόγω της ανάγκης για δύο δεξαμενές αποθήκευσης και δεν έχουν την υψηλή πυκνότητα ενέργειας που απαιτείται για πολλές εφαρμογές.

3.4.1 Η ικανότητα αποθήκευσης ενός υδραυλικού συσσωρευτή

Η ενεργειακή ικανότητα ενός υδραυλικού συσσωρευτή για ένα ιδανικό αέριο μπορεί να οριστεί ως:

$$E = \frac{p_{\min} V_0 \left(\frac{p_0}{p_{\min}}\right)^{\frac{1}{K}}}{1-K} \left[1 - \left(\frac{p_{\min}}{p_{\max}}\right)^{\frac{1-K}{K}} \right] \quad (3.1)$$

Όπου:

E η χωρητικότητα ενέργειας του συσσωρευτή,

V_0 ο όγκος του συσσωρευτή,

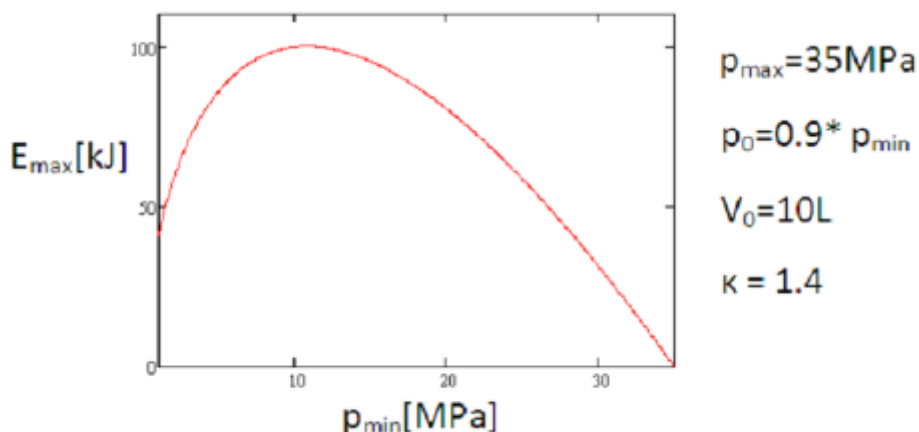
p_{\min} η ελάχιστη πίεση

p_{\max} η μέγιστη πίεση

p_0 η πίεση προφόρτισης του συσσωρευτή

K η αδιαβατική σταθερά του αζώτου

Το Σχήμα 3.4 δείχνει την ενεργειακή ικανότητα για έναν συσσωρευτή 10 λίτρων, με μέγιστη πίεση 350 bar ως συνάρτηση της p_{min} , όταν η πίεση προφόρτισης είναι $0,9 * p_{min}$.



Σχήμα 3.4: Ενεργειακή ικανότητα~ πίεσης για συσσωρευτή 10 λίτρων

Στην πράξη, ο συσσωρευτής πρέπει να λειτουργεί σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας, η οποία περιορίζει τη θεωρητική ικανότητα φόρτισης.

Το κύριο μειονέκτημα για τη γενική χρήση αυτού του είδους συστήματος είναι ότι η ενέργεια από τον συσσωρευτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο, όταν η πίεση στο συσσωρευτή είναι υψηλότερη από την πίεση φορτίου. Η προφόρτιση και η ελάχιστη πίεση λειτουργίας του συσσωρευτή μπορεί βεβαίως να επιλέγεται έτσι ώστε η πίεση του συσσωρευτή να είναι πάντα υψηλότερη από την μέγιστη πίεση του φορτίου, αλλά επίσης και τότε η χωρητικότητα ενέργειας του συσσωρευτή είναι περιορισμένη. Επίσης, η διαφορά πίεσης μεταξύ του συσσωρευτή και του συστήματος χάνεται. Η ενέργεια από το συσσωρευτή πρέπει να μετατραπεί πρώτα να μηχανική, και στη συνέχεια, μέσω της υδραυλικής αντλίας πίσω σε υδραυλική ενέργεια. Λόγω των απαιτούμενων μετατροπών ενέργειας η συνολική απόδοση μειώνεται.

3.5 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ/ΑΝΤΛΙΑ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΠΙΣΤΟΝΙΟΥ

Αυτοί οι κινητήρες, όπως και οι ομόλογες αντλίες, διατίθεται σε δύο σχέδια, μεταβλητής και σταθερής μετατόπισης. Τυπικές χρησιμοποιήσιμες (εντός αποδεκτής απόδοσης) περιστροφικές ταχύτητες κυμαίνονται από κάτω των 50 στροφών/λεπτό έως πάνω από 14.000 στρ/λεπτό. Η αποτελεσματικότητα και η ελάχιστες/μέγιστες ταχύτητες περιστροφής εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό των περιστρεφόμενων μερών, με πολλά και διαφορετικά είδη να είναι σε χρήση.

Μία αντλία αξονικού εμβόλου (Εικόνα 3.5) έχει έναν αριθμό εμβόλων (συνήθως μονός αριθμός) διατεταγμένα σε μια κυκλική συστοιχία εντός ενός περιβλήματος το οποίο συνήθως αναφέρεται ως μπλοκ κυλίνδρων, στροφείο ή κύλινδρος. Αυτό το μπλοκ κυλίνδρων οδηγείται σε περιστροφή γύρω από τον άξονα συμμετρίας του με αναπόσπαστο άξονα που είναι, περισσότερο ή λιγότερο, ευθυγραμμισμένος με τα έμβολα άντλησης (συνήθως παράλληλα αλλά όχι απαραίτητα).

Επιφάνειες συναρμογών: Ένα άκρο του μπλοκ κυλίνδρων είναι κυρτό και τρίβετε στην επιφάνεια σταθερής πλάκας βαλβίδας. Το ρευστό εισόδου και εξόδου της αντλίας διέρχεται από διάφορα μέρη της ολισθαίνουσας διεπαφής μεταξύ του μπλοκ κυλίνδρων και της πλάκας της βαλβίδας. Η πλάκα βαλβίδας έχει δύο ημικυκλικές θύρες που επιτρέπουν την είσοδο του υγρού λειτουργίας και την έξοδο του ρευστού αντίστοιχα.

Τα έμβολα άντλησης προεξέχουν από το αντίθετο άκρο του μπλοκ κυλίνδρων. Υπάρχουν πολυάριθμες διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται για τα εκτεθειμένα άκρα των εμβόλων, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις αυτά πιέζονται σε ένα έκκεντρο. Σε μονάδες μεταβλητού εκτοπίσματος, το έκκεντρο είναι κινητό και συνήθως αναφέρεται ως κεκλιμένη στρεφόμενη πλάκα ή ζυγό. Για εννοιολογικούς σκοπούς, το έκκεντρο μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα επίπεδο, ο προσανατολισμός του οποίου, σε συνδυασμό με την περιστροφή του άξονα, παρέχει την κίνηση του έκκεντρου που οδηγεί σε αντίστοιχη του εμβόλου και έτσι έχουμε άντληση. Η γωνία μεταξύ ενός διανύσματος κάθετου στο επίπεδο του έκκεντρου και στον άξονα περιστροφής του μπλόκ του κυλίνδρου, που ονομάζεται γωνία έκκεντρου, είναι μια μεταβλητή που καθορίζει το εκτόπισμα της αντλίας ή την ποσότητα του υγρού που αντλείται ανά περιστροφή του άξονα. Οι μονάδες μεταβλητής μετατόπισης έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν την γωνία έκκεντρου κατά τη λειτουργία, ενώ οι μονάδες σταθερής μετατόπισης δεν το κάνουν.

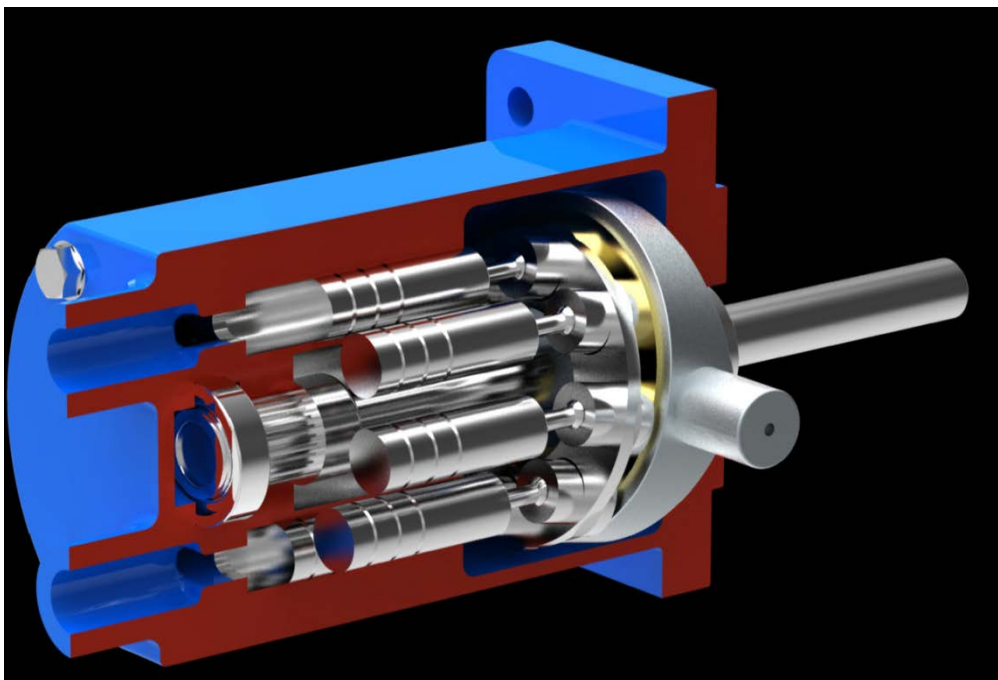
Καθώς το μπλοκ κυλίνδρων περιστρέφεται, τα εκτεθειμένα άκρα των εμβόλων είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν την επιφάνεια του επιπέδου του εκκέντρου. Δεδομένου ότι το επίπεδο του εκκέντρου βρίσκεται σε μία γωνία προς τον άξονα περιστροφής, τα έμβολα πρέπει να παλινδρομούν αξονικά. Η αξονική κίνηση των εμβόλων είναι ημιτονοειδής. Κατά τη διάρκεια ανύψωσης τμήματος του κύκλου παλινδρόμησης του εμβόλου, το έμβολο κινείται προς την πλάκα της βαλβίδας. Επίσης, κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου, το υγρό παγιδεύεται μεταξύ του βυθισμένου άκρου του εμβόλου και η πλάκα της βαλβίδας βρίσκει διέξοδο στην θυρίδα εκκενώσεως της αντλίας μέσω μιας από τις ημι-κυκλικές πλάκες της βαλβίδας - τη θύρα εκκένωσης. Καθώς το έμβολο κινείται προς την πλάκα της βαλβίδας, υγρό ωθείται ή μετατοπίζεται μέσω της θύρας εκκενώσεως της πλάκας βαλβίδας.

Όταν το έμβολο είναι στην κορυφή του κύκλου παλινδρόμησης (που συνήθως αναφέρονται ως άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ)), η σύνδεση μεταξύ του θαλάμου παγιδευμένου ρευστού και η θύρα εκκένωσης της αντλίας είναι κλειστή. Λίγο αργότερα, ο ίδιος θάλαμος είναι ανοιχτός στη θύρα εισόδου της αντλίας. Καθώς το έμβολο συνεχίζει να μετάπτωση γύρω από τον άξονα του μπλοκ κυλίνδρων, κινείται μακριά από την πλάκα της βαλβίδας αυξάνοντας έτσι τον όγκο του παγιδευμένου θαλάμου. Καθώς συμβαίνει αυτό, ρευστό εισέρχεται στο θάλαμο από την είσοδο της αντλίας για να γεμίσει το κενό. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου το έμβολο φθάσει το κάτω μέρος του κύκλου παλινδρόμησης - που συνήθως αναφέρονται ως κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ). Στο ΚΝΣ, η σύνδεση μεταξύ του θαλάμου άντλησης και της θύρας εισόδου είναι κλειστή. Λίγο αργότερα, ο θάλαμος είναι ανοικτός για εκφόρτωση και ο κύκλος άντλησης ξεκινά ξανά.

Σε μια μεταβλητή μονάδα μετατόπισης, εάν ο φορέας κανονικά προς το επίπεδο του εκκέντρου (κεκλιμένης στρεφόμενης πλάκας) είναι παράλληλος προς τον άξονα περιστροφής, δεν υπάρχει καμία κίνηση των εμβόλων στους κυλίνδρους τους. Έτσι, δεν υπάρχει έξοδος. Κίνηση της πλάκας ελέγχει την έξοδο της αντλίας από το μηδέν έως το μέγιστο.

Σε μία τυπική αντλία αντιστάθμισης πίεσης, η γωνία κεκλιμένης στρεφόμενης πλάκας ρυθμίζεται μέσω της δράσης μιας βαλβίδας η οποία χρησιμοποιεί ανατροφοδότηση πίεσης έτσι ώστε η στιγμιαία ροή εξόδου της αντλίας να είναι αρκετή για να διατηρήσει μια καθορισμένη πίεση. Εάν η ροή του φορτίου αυξηθεί, στιγμιαία η πίεση θα μειωθεί, αλλά η βαλβίδα αντιστάθμισης πίεσης θα αισθανθεί τη μείωση και στη συνέχεια να αυξήσει τη γωνία κλίσης της στρεφόμενης πλάκας για να αυξηθεί η ροή εξόδου της αντλίας, έτσι ώστε να

αποκατασταθεί η επιθυμητή πίεση. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν πίεση ως έλεγχο για αυτόν τον τύπο αντλίας. Η πίεση λειτουργίας φτάνει τα 200 bar (20 MPa ή 2900 psi) , η στρεφόμενη πλάκα οδηγείται προς μηδενική γωνία (διαδρομή εμβόλου σχεδόν μηδέν) και με τις εγγενείς διαρροές στο σύστημα επιτρέπεται στην αντλία να σταθεροποιήσει τον όγκο παράδοσης που διατηρεί την καθορισμένη πίεση. Καθώς αυξάνεται η ζήτηση η περιστρεφόμενη πλάκα κινείται σε μια μεγαλύτερη γωνία, η διαδρομή εμβόλου αυξάνεται όπως και ο όγκος του υγρού. Εάν η ζήτηση μειωθεί η πίεση θα αυξηθεί, και ο αντλούμενος όγκος θα μειωθεί καθώς αυξάνεται η πίεση. Στη μέγιστη πίεση του συστήματος η έξοδος είναι και πάλι σχεδόν μηδέν. Εάν η ζήτηση ξεπεράσει την ικανότητα της αντλίας, η πίεση του συστήματος θα μειωθεί σχεδόν στο μηδέν. Η γωνία της κεκλιμένης στρεφόμενης πλάκας θα παραμείνει στο ανώτατο επιτρεπόμενο όριο, και τα έμβολα θα λειτουργούν στο μέγιστο. Αυτό συνεχίζεται μέχρι να μειωθεί η ζήτηση ροής και η ικανότητα της αντλίας είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση. Καθώς η πίεση αυξάνεται η γωνία της περιστρεφόμενης πλάκας ρυθμίζεται ώστε να μην υπερβαίνει τη μέγιστη πίεση παράλληλα ενώ ικανοποιείται η ζήτηση.

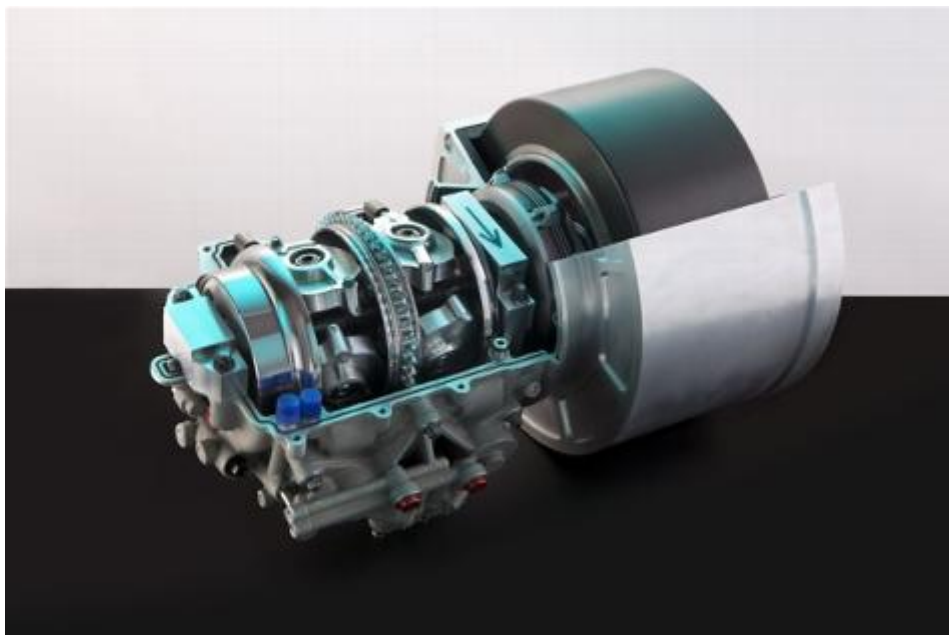


Σχήμα 3.5: Κινητήρας/αντλία αξονικού πιστονιού σε τομή όπου διακρίνονται τα εσωτερικά μέρη του.

4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΔΗΣΗΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΕ ΣΦΟΝΔΥΛΟ

Επί του παρόντος , οι σφόνδυλοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την εξομάλυνση της απόκρισης από τον κινητήρα πριν η περιστροφική δύναμη μεταφερθεί στο σύστημα μετάδοσης , και με τη σειρά της μεταφέρει ισχύ στους τροχούς για την κίνηση του αυτοκινήτου . Το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας που απαιτείται από το σφόνδυλο που χρησιμοποιείται για τη μηχανή εσωτερικής καύσης είναι σχετικά μικρό. Ωστόσο, εάν ένας σφόνδυλος χρησιμοποιείται για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας , τότε ο σχεδιασμός του σφονδύλου πρέπει να βελτιστοποιηθεί για να είναι σε θέση να μεταφέρει αποτελεσματικά την ενέργεια προς και από το σφόνδυλο.

Σε ένα τέτοιο σύστημα για την ομαλή μετάδοση της κινητικής ενέργειας από και προς το σφόνδυλο παρεμβάλλεται ένα κιβώτιο απείρων σχέσεων δακτυλοειδούς μορφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, καθώς και ένα σύστημα συμπλεκτών ώστε να τον απομονώνουν όταν είναι απαραίτητο. Η ενέργεια αποθηκεύεται μηχανικά (περιστροφή σφονδύλου) κατά την επιβράνδυνση, αφαιρώντας κινητική ενέργεια από τον άξονα κίνησης, προσθέτοντάς την στο σφόνδυλο. Σε κατάσταση επιτάχυνσης η ενέργεια ακολουθεί αντίθετη φορά, με το κιβώτιο απείρων σχέσεων να εξομαλύνει την ροή ενέργειας σε κάθε περίπτωση, ώστε να μην έχουμε απότομες αλλαγές που μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία.

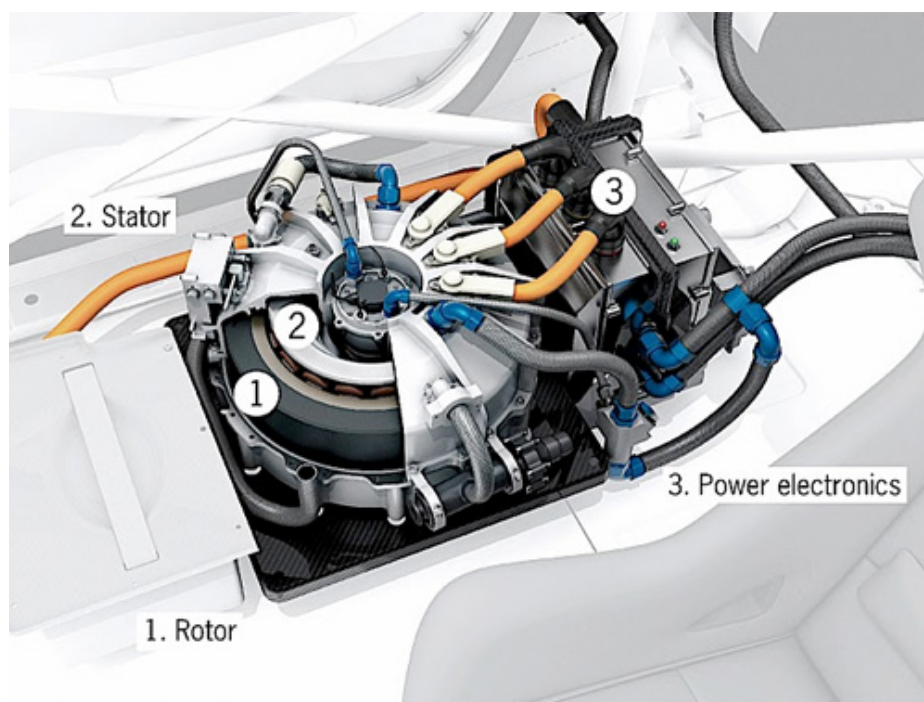


Εικόνα 4.1 : Σφόνδυλος με κιβώτιο συνεχούς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης

Υπάρχουν διάφορα πλεονεκτήματα με τη χρήση ενός σφονδύλου ως μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας, για παράδειγμα, δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, όπως μια μπαταρία. Η διαδικασία παραγωγής για την κατασκευή ενός σφονδύλου είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον, παράγοντας λιγότερα χημικά απόβλητα. Ένας σφόνδυλος είναι μια αξιόπιστη μέθοδος για την αποθήκευση ενέργειας με επαναλήψιμα χαρακτηριστικά. Το ποσό της ενέργειας που είναι αποθηκευμένο κάθε δεδομένη στιγμή εντός του σφονδύλου μπορεί να μετρηθεί με την παρακολούθηση της ταχύτητας περιστροφής του δίσκου του σφονδύλου ή του ρότορα. Είναι πολύ αποτελεσματικός με μικρές απώλειες. Μερικοί σφόνδυλοι έχουν αποδόσεις που προσεγγίζουν το ποσό των 98 % για τη μετατροπή της ενέργειας από και προς αυτούς, και οι απώλειες οφείλονται σε απώλειες τριβής και παρεκτροπής αέρα.

Μία μέθοδος για μεταφορά της ενέργειας από το αυτοκίνητο στο σφόνδυλο, κατά την διάρκεια της πέδησης είναι να χρησιμοποιηθεί μια ηλεκτρική γεννήτρια, Εικόνα 4.2. Η ενέργεια μετατρέπεται πρώτα σε ηλεκτρική και στη συνέχεια μεταφέρεται σε έναν κινητήρα που επιταχύνει το σφόνδυλο. Αυτή η ενέργεια μεταφέρεται κατόπιν πίσω στο σύστημα μεταφοράς για να επιταχυνθεί το όχημα, όταν απαιτείται. Οι πιο κατάλληλοι ηλεκτροκινητήρες

για την εφαρμογή αυτή είναι οι συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες. Ένα χαρακτηριστικό ενός κινητήρα μόνιμου μαγνήτη συνεχούς ρεύματος, όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ότι δεν παράγεται θερμότητα στο εσωτερικό του κινητήρα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τα συστήματα σφονδύλου που έχουν ρυθμιστεί με τον κινητήρα να βρίσκεται στο εσωτερικό του σφονδύλου.



Εικόνα 4.2 : Ηλεκτρομηχανικός σφόνδυλος όπως τοποθετήθηκε στο αγωνιστικό της Porsche, 911 RSR Hybrid.

Μέχρι πρόσφατα ,οι σφόνδυλοι ήταν κατασκευασμένοι από χάλυβα , αλλά σε μια προσπάθεια να βελτιστοποιηθούν, χρησιμοποιούνται ελαφριά υλικά, όπως ανθρακονήματα ή Kevlar , και έχει αποδειχθεί ότι έχουν επίπεδα ενεργειακής πυκνότητας της τάξης των 200 Wh/kg. Όμως, λόγω της μάζας των στηριγμάτων και ζητημάτων ασφάλειας, επίπεδα ενεργειακής πυκνότητας 50 Wh/kg είναι συχνότερα. Υπάρχουν διάφορες άλλες παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη όταν μελετούνται τα κατάλληλα επίπεδα πυκνότητας ενέργειας που πρέπει να απορροφηθούν από ένα σφόνδυλο για χρήση ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας σε ένα αυτοκίνητο.

Αυτές περιλαμβάνουν το διαθέσιμο χώρο μέσα στο διαμέρισμα του κινητήρα πράγμα που θα περιορίσει το συνολικό μέγεθος της συσκευής , τα διαθέσιμα σημεία στερέωσης, και το πάχος που απαιτείται για το περίβλημα του σφονδύλου πρέπει να είναι σχεδιασμένο όχι μόνο να απορροφά την ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας αστοχίας του σφονδύλου , αλλά επίσης για την πρόληψη στο να μην υπερβεί ο σφόνδυλος το περίβλημα κατά την πρόσκρουση , όπως ένα τροχαίο ατύχημα. Γι 'αυτό και είναι πιο σύνηθες να έχουν επίπεδα ενεργειακής πυκνότητας των 50 Wh / kg , καθώς οι σφόνδυλοι που δραστηριοποιούνται σε αυτό το επίπεδο περιστρέφονται σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και έτσι μπορεί να θεωρούνται ασφαλέστεροι .

Ένας σφόνδυλος μπορεί να δημιουργήσει ή να απορροφήσει υψηλά επίπεδα ενέργειας σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα που τον καθιστά κατάλληλο για συστήματα ανάκτησης κινητικής ενέργειας και έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα κοντά στο 98% σε σύγκριση με χημικές μπαταρίες οι οποίες έχουν τυπικά ένα επίπεδο απόδοσης του 75% - 80%. Για χρήση σε αυτοκίνητα, αυτή η ικανότητα να απορροφά και να παράγει ενέργεια γρήγορα θα οδηγήσει σε γρήγορη επιτάχυνση και έχει την ικανότητα να απορροφά έως 2.000 W / kg γρήγορα και με ασφάλεια .

Οι απώλειες παρεκτροπής που βιώνονται σε έναν σφόνδυλο μπορεί να ξεπεραστούν εγκλείοντας το σφόνδυλο εντός σφραγισμένου περιβλήματος κενού , αλλά αυτό προσθέτει επιπλέον κόστος και υλικό στην κατασκευή. Θα πρέπει, ωστόσο , να σημειωθεί ότι και άλλες απώλειες συμβαίνουν στο σύστημα κατά τη μετατροπή από και σε μηχανική ενέργεια περιστροφής, σε ηλεκτρική με τη χρήση ενός κινητήρα / γεννήτριας.

Ένα άλλο μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί βασίζεται στην αντοχή σε εφελκυσμό των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του δρομέα του σφονδύλου. Εάν ένας σφόνδυλος περιστρέφεται πιο γρήγορα και υπερβεί τη σχεδιασμένη αντοχή σε εφελκυσμό, τότε ο σφόνδυλος είναι πιθανό να συντριβεί , απελευθερώνοντας όλη την αποθηκευμένη ενέργεια με τη μία. Αυτό σημαίνει ότι το εξωτερικό περίβλημα του σφονδύλου πρέπει να κατασκευάζεται από ανθεκτικά υλικά για να αντέχει οποιεσδήποτε τέτοιες αποτυχίες. Αυτό αυξάνει το βάρος του συνολικού συστήματος, το οποίο είναι ένα μειονέκτημα. Όταν χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά για ρότορες υψηλής ταχύτητας, η αντίσταση στην κόπωση είναι πολύ σημαντική στο σχεδιασμό και τη διαδικασία κατασκευής σφονδύλων. Σφόνδυλοι υπερβολικά υψηλών ταχυτήτων έχουν επιτύχει ταχύτητες των 60.000 στρ/λεπτό. Για την επίτευξη

υψηλότερων ταχυτήτων με μεγαλύτερη ασφάλεια και λιγότερες τριβές μια καλή λύση είναι τα μαγνητικά ρουλεμάν (Παράρτημα, 1), σε σχέση με τα κεραμικά που ήδη χρησιμοποιούνται, αν κριθεί βέβαια ασφαλέστερη και δεν επηρεάζεται το σύνολο της κατασκευής.

Ένα από τα προβλήματα με τους σφονδύλους είναι ότι η γεννήτρια του κινητήρα που συνδέεται με τον σφόνδυλο καθιστά τον άξονα αρκετά μεγάλο καθώς τα έδρανα πρέπει επίσης να λαμβάνουν το φορτίο. Ο άξονας θα πρέπει να κατασκευασθεί με υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό για να είναι σε θέση να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε υψηλές ταχύτητες. Η εξέλιξη στον τομέα αυτό οδήγησε σε μείωση του συνολικού απαιτούμενου μήκους των αξόνων με την ανάπτυξη εδράνων με μόνιμους μαγνήτες. Ένα αποτέλεσμα της μείωσης του συνολικού μήκους του άξονα είναι ότι η πυκνότητα ισχύος μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω, αλλά πρέπει να θεωρηθεί ότι, όταν η πυκνότητα ισχύος αυξάνεται το εξωτερικό περίβλημα πρέπει επίσης να αυξηθεί σε δύναμη για να αντέξει οποιεσδήποτε πιθανές αστοχίες του συστήματος.

4.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥ

Η κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται σε έναν σφόνδυλο που περιστρέφεται με μια γωνιακή ταχύτητα ω δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$E_{kin} = 1/2I\omega^2 \quad (4.1)$$

όπου I είναι η ροπή αδρανείας της μάζας των περιστρεφόμενων εξαρτημάτων. Υποθέτοντας ότι έχουμε ένα κυλινδρικό στροφείο κατασκευασμένο από ένα μόνο υλικό με πυκνότητα ρ , και έχει μία εσωτερική και εξωτερική ακτίνα r_i και r_o και ύψος h , μια περαιτέρω έκφραση για την κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται στο στροφείο μπορεί να προσδιοριστεί ως:

$$E_{kin} = 1/4\rho\pi h(r_o^4 - r_i^4)\omega^2 \quad (4.2)$$

Από την παραπάνω εξίσωση, μπορεί να συναχθεί ότι η κινητική ενέργεια του στροφείου αυξάνεται τετραγωνικά με τη γωνιακή ταχύτητα, και συνεπώς υψηλές ταχύτητες περιστροφής είναι επιθυμητές. Η εξίσωση δείχνει επίσης ότι η διάμετρος του στροφείου έχει μια ακόμη μεγαλύτερη επίδραση στην κινητική ενέργεια. Ωστόσο πρέπει κανείς να εξετάσει τον περιορισμό ότι η μηχανική αντοχή του υλικού του στροφείου επιβάλλει την διάμετρο και τη γωνιακή

ταχύτητα του στροφείου. Θεωρώντας ένα στροφείο με λεπτό χείλος ως προσέγγιση , μπορεί να αποδειχθεί ότι το προϊόν της μέγιστης ακτίνας του στροφείου και της γωνιακής ταχύτητας εξαρτάται από την τετραγωνική ρίζα της ειδικής αντοχής του υλικού του στροφείου, δηλαδή ,

$$r_{0,max\omega} = \sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad (4.3)$$

όπου S είναι η αντοχή του υλικού στην περιμετρική ή κυκλική κατεύθυνση. Ως εκ τούτου, τα στροφεία κατασκευάζονται κατά προτίμηση από χαμηλής πυκνότητας, υψηλής αντοχής υλικό, ενισχυμένο με ίνες πολυμερών σύνθετων υλικών (FRPC) που είναι περιελιγμένο στην περιμετρική κατεύθυνση .

4.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΦΟΝΔΥΛΩΝ

Μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού ενός σφονδύλου, εκτός από την επιλογή του υλικού του στροφείου και τη διαστασιολόγηση , είναι η δομή που συνδέει το στροφείο στην ηλεκτρική μηχανή . Μια τέτοια δομή πρέπει επίσης να υποστηρίζει το στροφείο εντός του περιβλήματος της μονάδας του σφονδύλου. Είναι κοινό να συνδέεται το στροφείο μέσω ενός διανομέα με ένα περιστρεφόμενο άξονα που υποστηρίζεται από ρουλεμάν. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ηλεκτρική μηχανή είναι είτε άμεσα συνδεδεμένη με τον άξονα , ή κινεί το στροφείο χρησιμοποιώντας τον κοινό άξονα.

Σε άλλα σχέδια η ηλεκτρική μηχανή είναι ενσωματωμένη στη διάταξη του άξονα του στροφείου. Κατά την περιστροφή του στροφείου , φυγόκεντρες δυνάμεις δημιουργούν τάσεις στην περίμετρο καθώς και στην κατεύθυνση της ακτίνας. Καθώς κυριαρχούν περιμετρικές εφελκυστικές τάσεις, απαιτείται υψηλής αντοχής υλικό για την κατεύθυνση αυτή. Σε σύνθετους στροφείς σφονδύλων αυτό επιτυγχάνεται ευθυγραμμίζοντας περιφερειακά τη φάση ενίσχυσης των ινών. Οι περιμετρικές τάσεις δεν είναι ομοιόμορφες κατά μήκος της ακτίνας του στροφείου. Για στροφεία κατασκευασμένα από ένα ενιαίο υλικό, η μέγιστη περιμετρική εφελκυστική τάση θα πρέπει να αναμένεται στο εσωτερικό του ρότορα . Η περιστροφή που προκαλείται από την φόρτιση προκαλεί έτσι μια αναντιστοιχία του ρυθμού αύξησης των εφελκυστικών δυνάμεων στην κατεύθυνση της ακτίνας. Δεδομένου ότι τα στροφεία σύνθετων ινών στερούνται γενικώς ενίσχυσης στην ακτινική

κατεύθυνση , προκαλώντας χαμηλή δύναμη εγκάρσια προς την κατεύθυνση των ινών , τα στροφεία είναι πιο πιθανό να αποτύχουν λόγω ραγίσματος της πολυμερικής φάσης (αποφλοΐωση) και όχι λόγω θραύσης των ινών. Ένα κεντρικό κομμάτι του σχεδιασμού του στροφείου είναι επομένως η μείωση των εφελκυστικών τάσεων στην κατεύθυνση της ακτίνας. Ερευνητές έχουν προτείνει και υλοποιήσει διάφορες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα του σχεδιασμού με βάση την επιλογή του υλικού και τις εκτιμήσεις παραγωγής.

4.3 ΣΤΟΧΟΙ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥ

Ο σχεδιασμός μιας μονάδας σφονδύλου ακολουθεί συνήθως δύο διαφορετικούς ωστόσο συναφείς στόχους. Για εφαρμογές στις οποίες η μονάδα είναι μέρος ενός κινητού συστήματος, π.χ. αυτοκινήτου ή διαστημόπλοιου, οι σχεδιαστές προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν την ειδική κινητική ενέργεια του σφονδύλου για δεδομένους περιορισμούς και τις απαιτήσεις. Μια τέτοια προσέγγιση προϋποθέτει την ενσωμάτωση υλικών στροφείου με μέγιστη ειδική δύναμη, η οποία συνήθως συνδέεται με υψηλό κόστος. Για στατικά συστήματα σφονδύλου η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και όχι η μάζα του σφονδύλου είναι τυπικά ένας σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού. Τέτοια συστήματα είναι συνήθως σημαντικού μεγέθους, απαιτούν μεγάλες ποσότητες υλικού, και το κόστος υλικού είναι ως εκ τούτου, ένα πρόσθετο βασικό μέλημα σχεδιασμού.

4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥ

4.4.1 Περιέλιξη νημάτων

Η περιέλιξη νημάτων είναι η πιο κοινή τεχνική κατασκευής για στροφείς σφονδύλων. Σε αυτή τη μέθοδο τυλίγεται νηματοειδής ενίσχυση περιφερειακά σε κατάλληλα μανδρέλια δημιουργώντας άκρο στροφείου με υψηλή αντοχή στεφάνης. Η φάση ενίσχυσης είναι ενσωματωμένη σε ένα καλούπι από πολυμερές, που εφαρμόζεται , μαζί με τις ίνες είτε ως μία υγρή φάση (υγρή περιέλιξη), είτε ημιστερεά ή στερεά φάση (δηλαδή περιέλιξη towpreg ή prepreg υλικού). Στις τελευταίες περιπτώσεις, η φάση του πολυμερούς πρέπει

συνήθως να υγροποιείται με την εναπόθεση θέρμανσης για να επιτραπεί η σταθεροποίηση της ίνας. Θερμοσκληρυντικά πολυμερή καλούπια όπως τα εποξικά είναι κοινά για αυτές τις διαδικασίες, αλλά εναλλακτικά έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί επιτυχώς πολυμερή όπως ελαστομερή. Φάσεις θερμοσκληρυντικών πολυμερών απαιτούν περαιτέρω σκλήρυνση, τυπικά σε αυξημένες θερμοκρασίες, που μπορεί να συμβούν μετά ή ακόμα και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας περιέλιξης. Η υψηλή θερμοκρασία σκλήρυνσης μπορεί να επάγει υπολειμματικές θερμικές καταπονήσεις, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ακτινική αντοχή στον εφελκυσμό ενός σύνθετου στροφείου. Ως εκ τούτου, οι θερμικές επιδράσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό του στροφείου. Μετά τη διαδικασία περιέλιξης του νήματος το χείλος του στροφείου μπορεί να απαιτήσει την αφαίρεση του καλουπιού περιέλιξης και την μηχανική κατεργασία σε συγκεκριμένες ανοχές.

4.4.2 Σύνθεση και συναρμολόγηση στροφείου

Τα στροφεία των σφονδύλων μπορεί να είναι περιελιγμένα με νήμα ως ένα και μόνο υλικό, με μια στεφάνη. Στροφείο και άξονας μπορούν να συναρμολογηθούν με την εφαρμογή παρεμβολής η οποία θα μετριάσει τις προαναφερθείσες ακτινικές τάσεις εφελκυσμού κατά τη λειτουργία του σφονδύλου. Μία εφαρμογή παρεμβολής συχνά παράγεται από την κατάλληλη θέρμανση και ψύξη του στροφείου και του άξονα προς εκμετάλλευση των θερμικών επιδράσεων διαστολής για τη συναρμολόγηση. Μεταβάλλοντας τις τάσεις των ινών κατά τη διάρκεια της περιέλιξης του νήματος, μπορεί να επιτευχθεί κάποια επιπλέον πιεστική ακτινική προένταση του στροφείου.

Παρόλο που είναι εφικτή η κατασκευή παχών στροφείων μιας στεφάνης, τέτοια σχέδια οδηγούν γενικά σε μη βέλτιστη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας. Στροφείς με μεγάλο λόγο της έξω προς τα μέσα ακτίνας βρέθηκαν να παρέχουν μόνο περιορισμένη αντοχή στον ακτινικό εφελκυσμό..

Καλύτερη απόδοση μπορεί να επιτευχθεί με τη συναρμολόγηση ενός στροφείου από αρκετές μεμονωμένες στεφάνες από το ίδιο υλικό με μηχανική πρέσα, θερμική συστολή και συμπιεστική προσκόλληση. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να προσαρμοστεί μία πιεστική ακτινική προένταση του στροφείου που επιτρέπει στον σφόνδυλο να λειτουργεί σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής χωρίς αστοχία, επιτυγχάνεται έτσι μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Μια υβριδική δομή στροφείου που αποτελείται από πολλαπλούς δακτυλίους φτιαγμένους από διαφορετικές ίνες και/ή υλικά ρητίνης μπορεί να μειώσει περαιτέρω τις ακτινικές τάσεις εφελκυσμού. Η απόδοση του ρότορα φάνηκε να βελτιώνεται με την τοποθέτηση στεφάνων με υψηλότερη πυκνότητα του υλικού ή / και χαμηλότερο μέτρο ελαστικότητας για την εσωτερική ακτίνα του ρότορα (προώθηση της αυξημένης επέκτασης αυτών των στεφάνων κατά την ακτινική διεύθυνση κατά τη διάρκεια της περιστροφής του σφονδύλου). Αντιστρόφως, στεφάνες με προοδευτικά χαμηλότερη πυκνότητα και υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας πρέπει να τοποθετούνται προς το εξωτερικό του ρότορα (περιοριστικός ακτινικός εκτοπισμός). Ομοίως , μια μέθοδος που ονομάζεται «ερματισμός» προτάθηκε για τη μείωση των ακτινικών εφελκυστικών τάσεων και την επίτευξη ενός πιο ομοιόμορφου πεδίου τάσης στο στροφείο . Σε αυτή τη μέθοδο , η αναλογία του μέτρου ελαστικότητας της στεφάνης προς την πυκνότητα της μάζας, αυξάνεται κατά μήκος της εξωτερικής ακτινικής διεύθυνσης του στροφείου του σφονδύλου, προσαρμόζοντας τις γωνίες περιέλιξης του νήματος ή / και το είδος του υλικού του νήματος σε σχέση με την ακτινική θέση . Ο «ερματισμός» μπορεί να περιλαμβάνει ακόμη και περιοχές χαμηλού συντελεστή που περιέχουν ρητίνη με ελάχιστη ή καμία ενίσχυση. Για να περιοριστεί περαιτέρω ο κίνδυνος αστοχίας , μια πολυμερής φάση με υψηλή αντοχή και μειωμένο μέτρο ελαστικότητας μπορεί να ληφθεί υπόψιν. Ωστόσο , στροφείς με ιδιαίτερα υψηλή ακτινική ενδοτικότητα μπορούν να γίνουν ευαίσθητοι σε αντίθετη δυναμική συμπεριφορά. Ενσωματώνοντας ενδοτικά ελαστικές ή ελαστομερείς ενδοστοιβάδες μεταξύ των άκρων, έχει επίσης αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την απόδοση του στροφείου. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στην αναστολή της μετάδοσης των ακτινικών τάσεων μεταξύ των άκρων , απαλλάσσοντας έτσι τις ακτινικές τάσεις.

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της περιφερειακής διάδοσης ρωγμών σε περιελιγμένους με νήμα στροφείς σφονδύλων, εξετάστηκαν διαμορφώσεις σφονδύλων που συμπεριλαμβάνουν ενισχυτικές ίνες τόσο στην περιμετρική καθώς και την ακτινική διεύθυνση . Με τον ίδιο τρόπο , η στεφάνη μπορεί να φτιαχτεί από τα λεγόμενα πολικά σύνθετα υφαντά. Στην προσέγγιση αυτή, η στεφάνη αποτελείται από μία κυκλική ή δακτυλοειδή ύφανση που ενσωματώνει τις ίνες στην ακτινική και περιφερειακή διεύθυνση για να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ ακτινικής αντοχής και αντοχής στεφάνης. Περιορισμοί για αυτόν τον τύπο στροφείων βρέθηκαν ότι προκύπτουν από τις αποτυχίες στις ζώνες πλούσιες σε ρητίνη και το ράγισμα του καλουπιού που

προκαλείται από συστροφή των ινών και των επακόλουθων υψηλών τοπικών τάσεων.

Ένα περαιτέρω μειονέκτημα που πρέπει να ξεπεραστεί με τη χρήση ενός σφονδύλου είναι το γεγονός ότι ενεργεί ως ένα γυροσκόπιο καθώς η στροφορμή στο αυτοκίνητο είναι γενικά της ίδιας τάξης μεγέθους. Αυτό το χαρακτηριστικό των σφονδύλων μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στα χαρακτηριστικά της οδήγησης των αυτοκινήτων. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την εισαγωγή ρυθμιστών ισορροπίας έτσι ώστε η στροφορμή του σφονδύλου να διατηρείται και να έχει πολύ μικρή επίδραση επί του αυτοκινήτου. Μια εναλλακτική λύση στην εισαγωγή ρυθμιστών ισορροπίας είναι να έχουμε δύο σφόνδυλους που γυρνούν με την ίδια ταχύτητα , αλλά περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, αλλά η λύση αυτή προσθέτει περιπλοκότητα και πρόσθετο βάρος στο σύστημα, καθώς πρέπει να διατηρείται η ίδια ταχύτητα στους δύο σφονδύλους και θα απαιτούνταν δυο γεννήτριες για τη μεταφορά ενέργειας προς και από τους σφονδύλους.

5. ΚΙΒΩΤΙΟ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΜΕΤΑΒΑΛΟΜΕΝΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

5.1 ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ - ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ

Τα δακτυλιοειδή κιβώτια συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (*toroidal continuously variable transmission*) κατατάσσονται σε δύο τύπους, αναλόγως το σχήμα τους: σε πλήρως δακτυλιοειδές (*full-toroidal*) και μισό δακτυλιοειδές (*half-toroidal*). Το Σχήμα 5.1 δείχνει ένα παράδειγμα των πλήρως δακτυλιοειδών. Οι ιδιαιτερότητες της γεωμετρίας αυτού του τύπου έγκειται στο γεγονός ότι η ευθεία γραμμή OO' που βρίσκεται μεταξύ των σημείων επαφής του τροχού τροφοδοσίας (*power roller*) με τους δίσκους εισόδου (*input disks*) και εξόδου (*output disks*) διέρχεται από το κέντρο του κύκλου της κοιλότητας που σχηματίζουν οι δίσκοι εισόδου και εξόδου. Ως αποτέλεσμα, η δύναμη αντίδρασης της δύναμης επαφής που δημιουργείται για τη μετάδοση ισχύος μεταξύ του τροχού τροφοδοσίας και των δίσκων εισόδου / εξόδου δεν εφαρμόζεται στο υποστηρικτικό ρουλεμάν του τροχού τροφοδοσίας. Από την άλλη πλευρά, καθώς κάθε μια από τις γραμμές εφάπτεται στα σημεία επαφής O , O' είναι παράλληλη και δεν έχει σημείο τομής, η περιστροφή του σημείου επαφής γίνεται μεγάλη. Το Σχήμα 5.2 δείχνει τη σχηματική γεωμετρία του μέρους επαφής της τομής E και όταν αυτό το σημείο E είναι σχετικό με τον άξονα περιστροφής I , η στροφορμή των σημείων επαφής O , O' γίνεται 0. Η απώλεια ολίσθησης του μισού δακτυλιοειδούς είναι μικρότερη από του πλήρως δακτυλιοειδούς που φαίνεται στο Σχήμα.5.1, επειδή η θέση του σημείου τομής E είναι κοντά στον άξονα περιστροφής I για όλο το φάσμα της μετάδοσης και μηδενική ολίσθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με το μισό δακτυλιοειδές. Χρησιμοποιώντας τα

σύμβολα στο Σχήμα 5.2, η περιστροφή ω_{SP} στο σημείο O μπορεί να δίδεται από την Εξίσωση 5.1:

$$\omega_{SP} = \omega_1 \sin\varphi_0 - \omega_2 \cos\theta \quad (5.1)$$

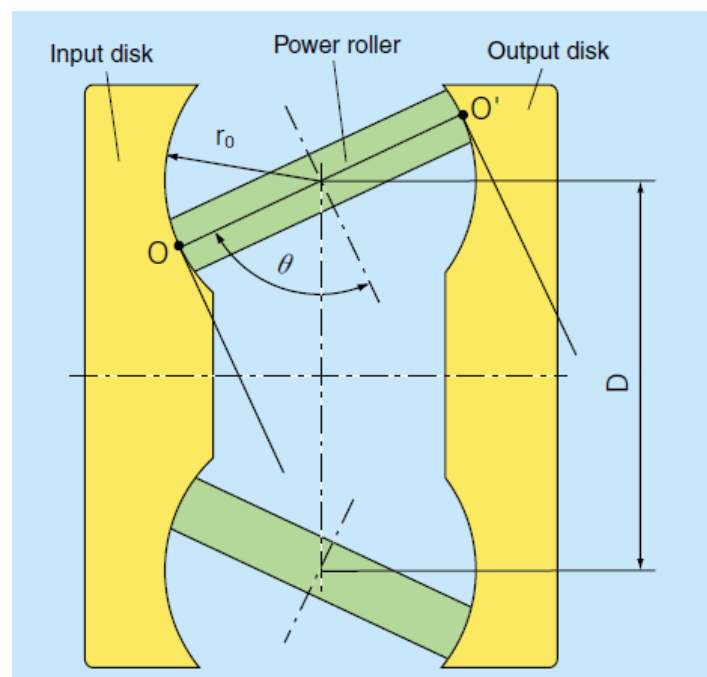
όπου

ω_1 : Ταχύτητα δίσκου εισόδου (rad / s)

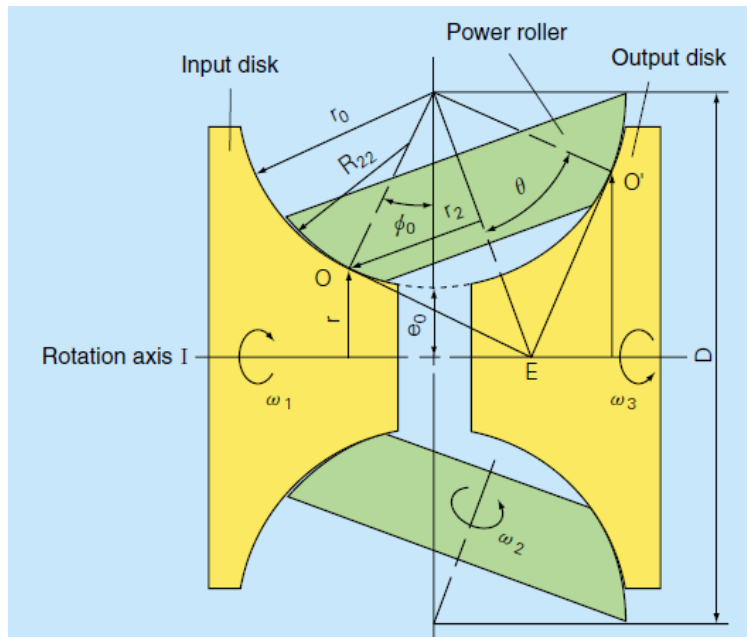
ω_2 : Ταχύτητα των τροχών τροφοδοσίας (rad / s)

φ_0 : Γωνία κλίσης (rad)

θ : Γωνία ανοίγματος του τροχού τροφοδοσίας (rad)



Σχήμα 5.1: Πλήρως δακτυλιοειδές



Σχήμα 5.2: Μισό δακτυλιοειδές

5.2 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Από το Σχ.5.2 κάθε ακτίνα περιστροφής δίνεται ως ακολούθως

$$R_1 = R_{12} (1 + k - \cos\phi_0) \quad (5.2)$$

$$R_2 = R_{12} \sin \theta \quad (5.3)$$

$$R_3 = R_{12} [(1 + k - \cos (2\theta - \phi))] \quad (5.4)$$

$$k = D_{CAV} / (2R_{12}) - 1 \quad (5.5)$$

όπου

R_1 : Ακτίνα περιστροφής με το σημείο επαφής του δίσκου εισόδου (m)

R_2 : Ακτίνα περιστροφής με το σημείο επαφής του τροχού τροφοδοσίας (m)

R_3 : Ακτίνα περιστροφής να με το σημείο επαφής του δίσκου εξόδου (m)

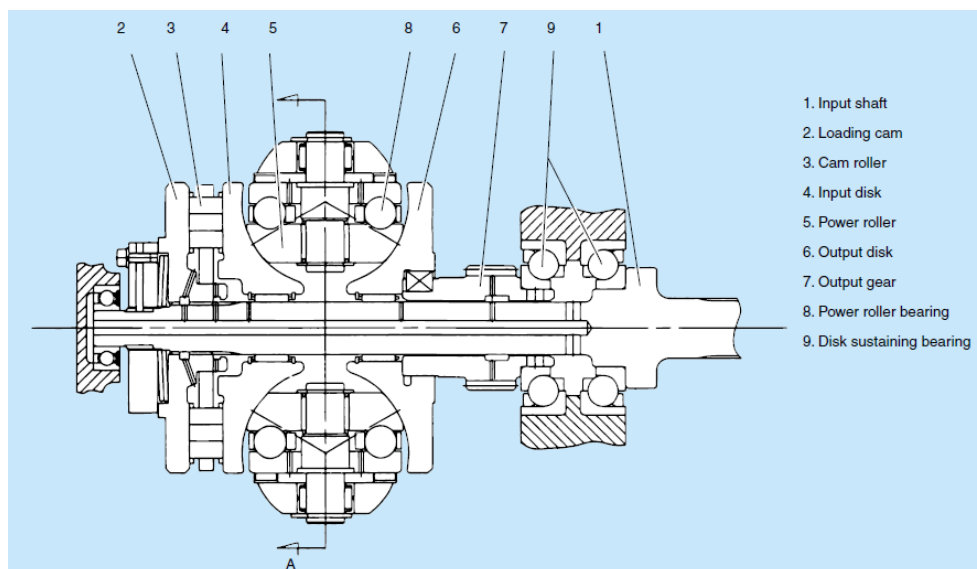
R_{12} : Ακτίνα μείζονος καμπυλότητας των δίσκων εισόδου / εξόδου

(m) D_{CAV} : Διάμετρος της δακτυλιοειδούς κοιλότητας (m)

και η σχέση μετάδοσης i δίνεται από την Εξίσωση (6):

$$i = R3 / R1 = [1 + k - \cos(2\theta - \varphi_0)] / (1 + k - \cos\varphi_0) \quad (5.6)$$

5.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΙΣΧΥΟΣ



Σχήμα 5.3: Τομή μισού δακτυλιοειδούς μονής κοιλότητας της NSK

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το Σχήμα 5.3, θα απεικονιστεί το σύστημα μεταφοράς ισχύος. Η ισχύς εισόδου στον άξονα εισόδου μεταδίδεται στον κύλινδρο φόρτισης, το έλκυστρο φόρτισης, το δίσκο εισόδου, το δίσκο εξόδου, και τον κύλινδρο εξόδου. Το σημείο επαφής του δίσκου εισόδου με τον τροχό τροφοδοσίας δηλαδή, το σημείο επαφής O στο Σχ.5.2, είναι στην πραγματικότητα ελλειπτικό με βάση τη θεωρία του Hertz και ο ήσσονος σημασίας άξονάς του a και ο ελάσσων άξονας b δίδονται από :

$$a = n \sqrt[3]{3Fc / (E' \Sigma \rho)} \quad (5.7)$$

$$b = m \sqrt[3]{3Fc / (E' \Sigma \rho)} \quad (5.8)$$

$$E' = 2 / [(1 - \nu_1^2) / E_1 + (1 - \nu_2^2) / E_2] \quad (5.9)$$

$$\Sigma \rho = 1 / R_{11} + 1 / R_{12} + 1 / R_{21} + 1 / R_{22} \quad (5.10)$$

όπου

F_c : Η δύναμη επαφής (N)

E_1 : μέτρο Young των δίσκων εισόδου (N / m²)

E_2 : μέτρο Young των τροχών τροφοδοσίας (N / m²)

ν_1 : λόγος Poisson του δίσκου εισόδου

ν_2 : λόγος Poisson του τροχού τροφοδοσίας

R_{11} : Ακτίνα κύριας καμπυλότητας του δίσκου εισόδου
(κάθετη διεύθυνση στο χώρο του Σχ.5.2, m)

R_{12} : Ακτίνα κύριας καμπυλότητας του δίσκου εισόδου
(παράλληλη διεύθυνση στο χώρο του Σχ.5.2, m)

R_{21} : Ακτίνα κύριας καμπυλότητας του δίσκου εισόδου
(κάθετη διεύθυνση στο χώρο του Σχ.5.2, m)

R_{22} : Ακτίνα κύριας καμπυλότητας του δίσκου εισόδου
(παράλληλη διεύθυνση προς το χώρο στο Σχ.5.2, m)

n, m : συντελεστές που λαμβάνονται από ελλειπτικό ολοκλήρωμα

Η μέση πίεση επιφάνειας στο το σημείο επαφής δίνεται από την *Εξίσωση*
(5.11):

$$P_{mean} = F_c / (\pi ab) \quad (5.11)$$

Η ροπή μετάδοσης και η δύναμη πρόσφυσης στο σημείο Ο δίνονται από τις ακόλουθες:

$$T_o = R_1 F_t \quad (5.12)$$

$$F_t = \mu F_c \quad (5.13)$$

όπου

T_o : μεταδιδόμενη ροπή (Nm)

F_t : δύναμη πρόσφυσης (N)

μ : συντελεστής πρόσφυσης

Η δύναμη επαφής F_c που λαμβάνεται ως ένα συστατικό της αξονικής δύναμης F_a , παράγεται αναλογικά με την μεταδιδόμενη ροπή του άξονα εισόδου:

$$F_c = F_a / (n / \sin\phi_o) \quad (5.14)$$

$$F_a = 2\pi (T_o / L_c) \quad (5.15)$$

όπου

n : αριθμός κυλίνδρων ισχύος

L_c : διαδρομή βραχίονα φόρτισης (m)

5.4 ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Το Σχήμα 5.4 δείχνει μια κάθετη τομή του Σχήματος 5.3. Η δύναμη αντίδρασης προς την δύναμη πρόσφυσης που ενεργεί στα στροφέα λαμβάνεται από την υδραυλική δύναμη τεσσάρων υδραυλικών κυλίνδρων. Όταν η ισχύς μεταδίδεται μεταξύ των δίσκων και των τροχών και όλες τις γραμμές των

αξόνων περιστροφής των τροχών τροφοδοσίας τέμνονται με τις γραμμές του άξονα περιστροφής των δίσκων , η ισορροπία στη διεύθυνση του άξονα y δίνεται από την Εξίσωση 5.16 :

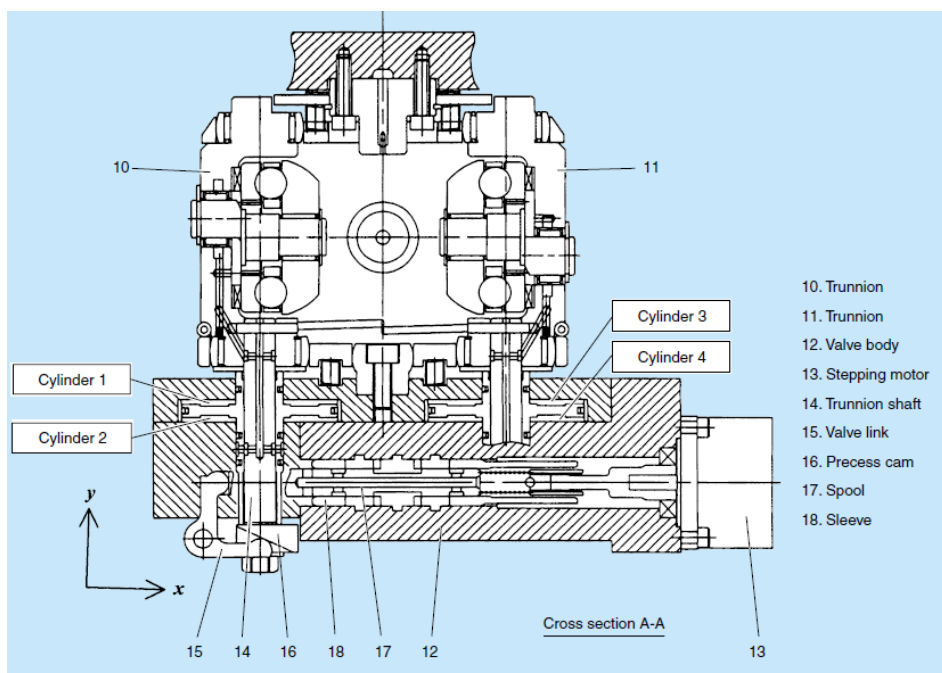
$$2F_t = P_H A - P_L A \quad (5.16)$$

P_H : Υδραυλική δύναμη των κυλίνδρων 1,4 (Pa)

P_L : Υδραυλική δύναμη των κυλίνδρων 2,3 (Pa)

A: Περιοχή της επιφάνειας του κυλίνδρου που δέχεται πίεση (m²)

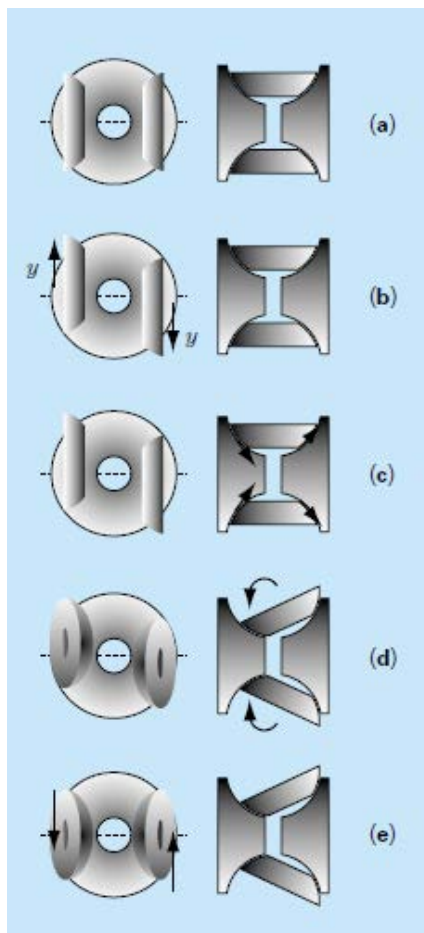
Η υδραυλική δύναμη τροφοδοτείται από εξωτερική αντλία. Οι κύλινδροι 1 και 4, και 2 και 3 συνδέονται με τις αντίστοιχες σωληνώσεις. Η πίεση αυτή ελέγχεται από τη βαλβίδα ελέγχου μετάδοσης.



Σχήμα 5.4 Κάθετη τομή μισού δακτυλιοειδούς μονής κοιλότητας της NSK

5.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Ο έλεγχος μετάδοσης του μισού δακτυλιοειδούς κιβωτίου γίνεται με τον έλεγχο της γωνίας κλίσης του τροχού τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στην ενότητα 5.2. Για την κλίση του τροχού τροφοδοσίας, παράγεται ένα διάνυσμα κίνησης στην κεκλιμένη κατεύθυνση επαφής εκτοπίζοντας τον κεντρικό άξονα του τροχού τροφοδοσίας στη διεύθυνση του y -άξονα (Σχ.5.4) .



Σχήμα 5.5

Η δύναμη κλίσης εξασφαλίζεται με την πλαγιολίσθηση που δημιουργείται στο σημείο επαφής εκείνη τη στιγμή. Το Σχ.5.5- (a) δείχνει την κατάσταση της μεταφοράς ισχύος , όταν οι ενεργούσες δυνάμεις ισορροπούν καθώς ο άξονας περιστροφής του τροχού και ο άξονας περιστροφής του δίσκου τέμνονται. Όταν ο βραχίονας της βαλβίδας ελέγχου μετατοπίζεται στη διεύθυνση του άξονα x μέσω του βηματικού κινητήρα, οι πιέσεις P_H και P_L

αλλάζουν και οι στροφείς κινούνται κατά τη διεύθυνση του γ-άξονα (στην αντίθετη κατεύθυνση) (Σχ.5.5- (b)), και τα σημεία επαφής των δίσκων και των κυλίνδρων ισχύος αλλάζουν. Στην πορεία, κεκλιμένη δύναμη περιστροφής παράγεται (Σχ.5.5- (c)), και οι δεξιοί και αριστεροί στροφείς κλίνουν σε μια συμμετρική κατεύθυνση (Σχ. 5.5- (d)).

Μία ράβδος αισθητήρα είναι τοποθετημένη σε ένα από τα έδρανα και το έκκεντρο εδράζεται στην κορυφή της ράβδου. Το έκκεντρο μετατρέπει το ποσό κλίσης προς την κίνηση της μπομπίνας στην κατεύθυνση του x-άξονα (ίδια κατεύθυνση όπως του βραχίονα) μέσω του συνδέσμου. Το έκκεντρο μετακινεί την μπομπίνα για να διορθώσει την μετατόπιση του βραχίονα και να αλλάξει την πίεση και όταν η δύναμη της Εξίσωσης (5.16) είναι ισορροπημένη, η αλλαγή κλίσης διακόπτεται (Σχ.5.7- (e)). Ως εκ τούτου, η δύναμη που απαιτείται για αλλαγή στη μετάδοση είναι μόνο όση για να ενεργοποιηθεί ο βραχίονας της βαλβίδας ελέγχου. Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτού του υδραυλικού σερβο-συστήματος είναι ότι η ελέγχουσα δύναμη δεν επηρεάζεται καθόλου από το μέγεθος της μεταδιδόμενης ισχύος.

5.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

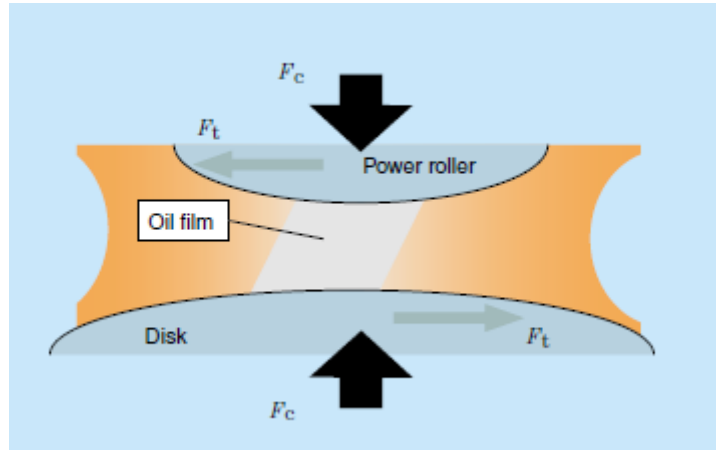
Για τη δημιουργία δύναμης επαφής, υπάρχει ένα υδραυλικό σύστημα και ένα μηχανικό σύστημα. Με το υδραυλικό σύστημα, ο ακριβής έλεγχος της δύναμης επαφής ανάλογα με τη ροπή είναι εύκολος, αλλά κατά την εγκατάσταση αυτού του συστήματος σε ένα αυτοκίνητο, λόγω των περιορισμών χώρων, η πίεση καθίσταται αναγκαία. Ως αποτέλεσμα, το κόστος της αντλίας και της απώλειας ισχύος της δημιουργούν πρόβλημα. Για να εφαρμοστεί το μισο-δακτυλοειδές CVT σε αυτοκίνητα, υιοθετήθηκε ένας μηχανικός μηχανισμός χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ενός ελατηρίου κωνικού δίσκου ρύθμισης πίεσης και ένα έκκεντρο φόρτισης. Στο σημείο επαφής O και O' στο Σχ.5.2, η δύναμη μεταδίδεται μέσω πρόσφυσης. Ας δούμε το σημείο O, για το οποίο δίνονται τα εξής:

$$F_t = \mu F_c \quad (5.17)$$

και η μεταδιδόμενη ροπή ως εξής:

$$T_o = n R_1 F_t \quad (5.18)$$

Από τις Εξισώσεις 5.17 και 5.18, η αναγκαία δύναμη επαφής για να μεταδώσει τη ροπή του άξονα εισόδου δίνεται ως ακολούθως:



Σχήμα 5.6: Ρευστό πρόσφυσης ανάμεσα σε δίσκο και τροχό ισχύος

$$F_{CN} = T_0 / (n R_1 \mu) \quad (5.19)$$

αντικαθιστώντας αυτή στην Εξίσωση 5.2, η δύναμη επαφής που απαιτείται σε όλες τις σχέσεις κιβωτίου εκφράζεται ως εξής:

$$F_{CN} = T_0 / [n \mu R_{12} (1+k-\cos\phi_0)] \quad (5.20)$$

Για να παράγουν δύναμη επαφής στο σημείο επαφής, δύο είδη μηχανισμών αξονικής δύναμης παρέχονται με το ελατήριο κωνικού δίσκου ρύθμισης πίεσης και το τύμπανο φόρτισης. Το ελατήριο κωνικού δίσκου ρύθμισης πίεσης είναι για να εξασφαλίσει την ελάχιστη δύναμη επαφής για να ικανοποιήσει τη λειτουργία μετάδοσης πρόσφυσης στο σημείο επαφής, ακόμη και όταν η ροπή του άξονα εισόδου είναι μηδέν ή πολύ μικρή. Το τύμπανο φόρτισης αρχίζει να λειτουργεί όταν η ροπή στην άτρακτο εισόδου υπερβαίνει μία ορισμένη σταθερή τιμή η οποία είναι υψηλότερη από το εύρος λειτουργίας του ελατηρίου κωνικού δίσκου ρύθμισης πίεσης . Το τύμπανο φόρτισης

περιστρέφεται από την άτρακτο εισόδου και παράγει αξονική δύναμη καθώς ο τροχός φόρτισης κυλίνεται στην επιφάνεια του τυμπάνου. Με αυτή τη δύναμη ο δίσκος εισόδου ωθείται προς τα εμπρός και πιέζει τον τροχό τροφοδοσίας. Η δύναμη επαφής στο σημείο επαφής εξασφαλίζεται με αυτόν τον τρόπο.

5.7 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

Μετάδοση δύναμης μέσω πρόσφυσης γίνεται από τη δύναμη διάτμησης ενός ελαστοϋδροδυναμικού φιλμ λιπαντικού λαδιού που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο περιστρεφόμενα σώματα, όπως φαίνεται στο Σχ.5.6 . Το πάχος του υγρού φιλμ μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη θεωρία των Hamrock-Ντόουσον , και η κεντρική μεμβράνη λαδιού πάχους h_c είναι περίπου 0,4 (μm), υπό συνθήκες πίεσης επιφάνειας επαφής $P_{\text{max}} = 2,2$ (GPa), επιφανειακή ταχύτητα $U = 24,2$ (m / sec) και 120°C θερμοκρασία λαδιού. Η σχέση μεταξύ της δύναμης επαφής F_c , και της επαπτομενικής δύναμης, T_t ,είναι όπως φαίνεται στην *Εξίσωση 5.13*. Το ιξώδες του ρευστού πρόσφυσης μεταξύ δύο περιστρεφόμενων σωμάτων αυξάνει ξαφνικά κάτω από υψηλή πίεση επιφάνειας επαφής και καθίσταται στερεό για να μεταδώσει ισχύ.

5.8 ΡΕΥΣΤΟ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ

Σε ένα σύστημα συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης, οι δίσκοι και οι τροχοί λειτουργούν μαζί σε υψηλή πίεση, που κυμαίνεται από 10 έως 30 kPa (1,5 έως 4,5 psi) και ακόμη υψηλότερη. Υπό τέτοιες συνθήκες θα παραμορφωνόταν ελαστικά, ακόμη και χάλυβας. Για να αποφευχθεί η φθορά και η τριβή, οι δίσκοι και οι κύλινδροι πρέπει να εμποδίζονται από το να έρχονται σε άμεση επαφή ο ένας με τον άλλο. Ρευστό ρέει μεταξύ των δίσκων και των τροχών, λιπαίνοντας τις επιφάνειες για την προστασία και τη μετάδοση ισχύος μεταξύ τους.

Αυτή η δυνατότητα μετάδοσης ισχύος αναφέρεται ως συντελεστής πρόσφυσης. Καθώς ο συντελεστής πρόσφυσης αυξάνεται, η δύναμη πρόσφυσης αυξάνεται αναλογικά. Ως εκ τούτου, πρέπει να παραχθεί ένας μεγαλύτερος συντελεστής πρόσφυσης για να αυξηθεί η πρόσφυση.

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ ΑΠΕΙΡΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ

Η συγκεκριμένη κατασκευή, *Εικόνα 6.7*, έγινε με σκοπό την ανάδειξη των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας ενός κιβωτίου απείρων σχέσεων τύπου half-toroidal λόγω μεγάλου μηχανολογικού ενδιαφέροντος. Εφαρμογές τέτοιου είδους μετάδοσης κίνησης μπορεί να συναντήσουμε οπουδήποτε θέλουμε ομαλή μετάδοση κίνησης με αλλαγές στην ταχύτητα και τη ροπή όπως σε κιβώτια ταχυτήτων οχημάτων και σε μεγάλες γεννήτριες ρεύματος οι οποίες παίρνουν κίνηση από κινητήρα εσωτερικής καύσης. Μια τελευταία εφαρμογή της Torotrak, εταιρίας που κατασκευάζει τέτοια κιβώτια με εφαρμογή σε αγωνιστικά συστήματα ανάκτησης ενέργειας, είναι ο έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής τουρμπίνας που χρησιμοποιείται για την υπερτροφοδότηση κινητήρα εσωτερικής καύσης ώστε να μειωθεί το φαινόμενο turbo lag.

Το κατασκευασμένο μοντέλο δεν αποτελεί αντιγραφή του μηχανισμού κίνησης των τροχών ισχύος ενός υπάρχοντος αλλά χρησιμοποιεί γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5 και έναν πρωτότυπο μηχανισμό κίνησης με γρανάζια για λόγους ευκολίας στην κατασκευή και την παρουσίαση.

Η βασική ιδέα πίσω από αυτό είναι η μόνιμη εμπλοκή τεσσάρων γραναζιών με κλίση 60° το ένα με το άλλο ώστε τα υπόλοιπα εξαρτήματα που θα δεθούν σε αυτά και εν τέλει οι τροχοί ισχύος να έχουν την ίδια γεωμετρία στο χώρο του κιβωτίου ενώ με αυτή τη διάταξη δίδεται η δυνατότητα αντίθετης περιστροφής σε αντικριστούς τροχούς ισχύος όπως ενδείκνυται.

Ο σχεδιασμός των επιμέρους κομματιών και η συναρμογή αυτών σε ένα ενιαίο λειτουργικό σύνολο έγινε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με το σχεδιαστικό

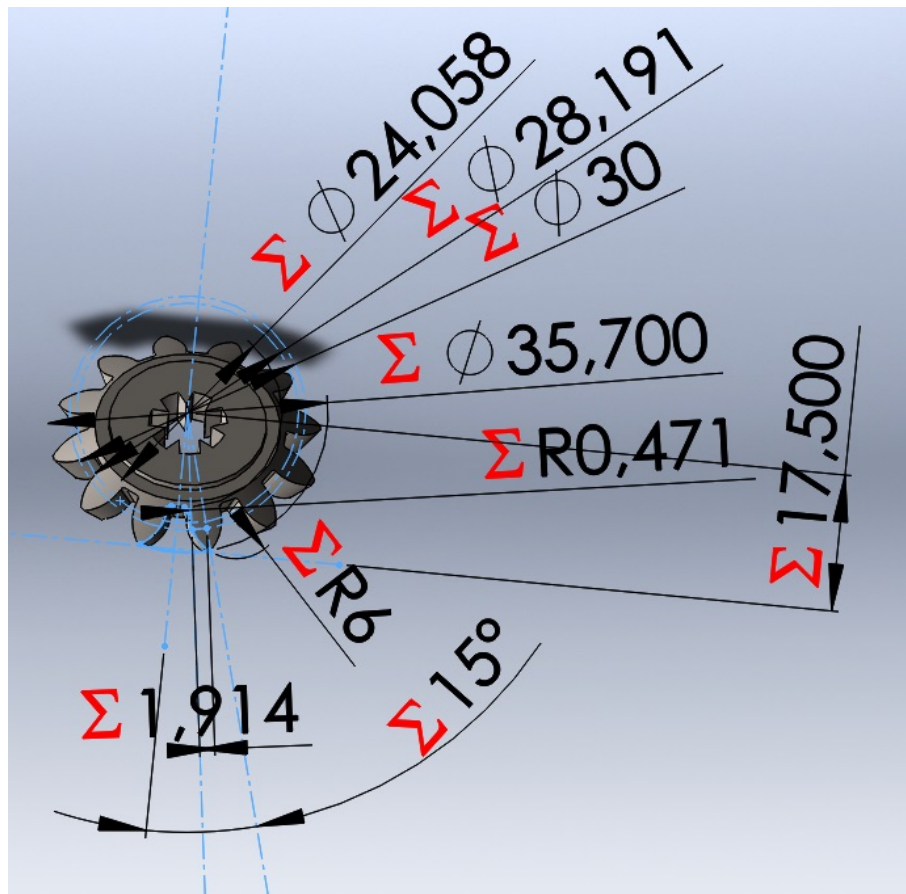
πρόγραμμα Solidworks. Για την κατασκευή κάποιων εξαρτημάτων χρησιμοποιήθηκε μέθοδος στερεολιθογραφίας (3D printing)(Παράρτημα, 2) μέσω 3D printer στο εργαστήριο CNC-CAM. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι PLA ή polylactide το οποίο είναι βιοαποικοδομήσιμος θερμοπλαστικός αλειφατικός πολυεστέρας. Άλλα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν επιλεκτικά είναι ξύλο και μέταλλο για ευκολία κατεργασίας και χαμηλό κόστος και βάρος κατασκευής.

6.1 ΓΡΑΝΑΖΙΑ

Τα γρανάζια που χρησιμοποιήθηκαν, *Σχήμα 6.1* είναι σχεδιασμένα κατά DIN-straight bevel pinion με modul 2,5 ,12 δοντιών, με εξωτερική διάμετρο άξονα 20mm και ύψος 1mm, και μέγιστη εσωτερική διάμετρο 10mm. Η γωνία κλίσης των δοντιών αλλάχτηκε σε 30°. Το πάχος του γραναζιού είναι στα 3,6mm. Είναι κατασκευασμένα μέσω 3D printer. Αναλυτικά χαρακτηριστικά της γεωμετρίας τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα ο οποίος αναπαράχθηκε από το SolidWorks.

Configuration Name		
Holding Ske	Num_Teeth	12.000000deg
	Pitch	0.400mm
	MHD	24.748mm
	Hub_diam	25.000mm
	Mounting_dist	50.000mm
	Show_teeth	12.000deg
	OAL	50.000mm
	T_dim	0.100mm
	Ap	20.000000deg
	Width	5.000mm
	Bore	0.200mm
	Backlash	0.087mm
	Addendum_fac	1.000000deg
	Dedendumfac	1.188000deg
	Clearance_fac	0.188000deg
	Dedendum_add	0.001mm
	Mating_teeth	12.000000deg
	MnMD	17.626mm
	MBD	0.200mm
	Module	2.500mm
Addendum	2.500mm	

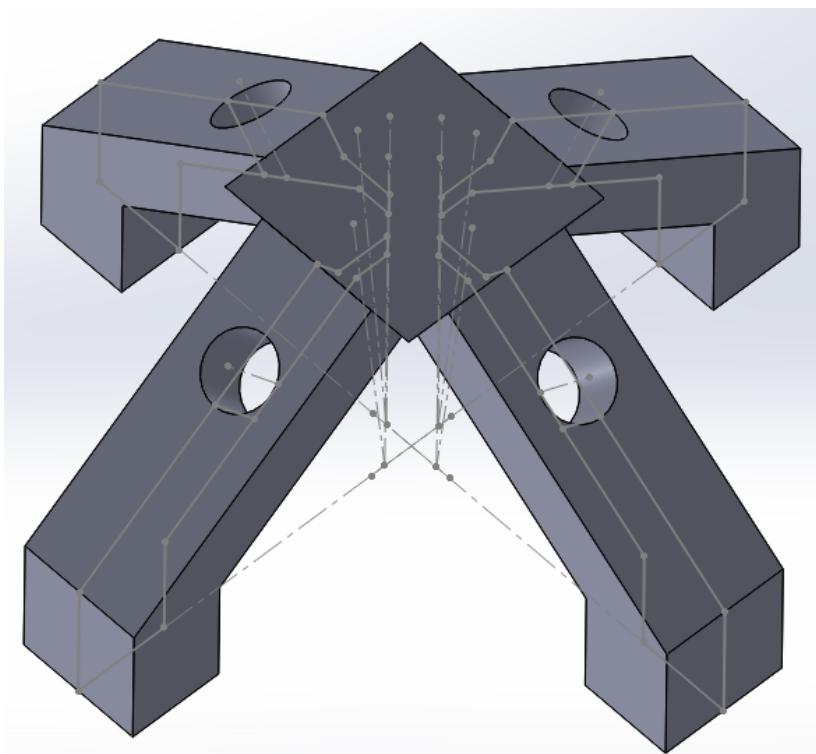
BasProSke	Pitch_rad	15.000mm
	Deddendum_plus	3.714mm
	Face-wid	5.000mm
ToothPln2	Offset	21.213mm
TooCutSke2	Dedendum_plus	3.714mm
Bore	D1	10.000mm
KeySke	Offset	0.200mm
	Width	0.100mm
Keyway	D1	100.000mm
TeethCuts	Angle	30.000000deg
	Num_teeth	12



Σχήμα 6.1: Γρανάζι με γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δοντιών του

6.2 ΒΑΣΗ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

Ο σκοπός της βάσης είναι να κρατά τα γρανάζια στη σωστή θέση ώστε να υπάρχει εμπλοκή μεταξύ τους και σε γωνία 30° από το επίπεδο ενώ έχει υποστηρικτικό ρόλο στις μεταλλικές ντίζες που ενώνουν τους τροχούς ισχύος με τα γρανάζια. Υπάρχει οπή διαμέτρου 10mm όση και η μέγιστη διάμετρος της ντίζας, Σχήμα 6.2α. Αποτελείται από τέσσερα ίδια κομμάτια (Βάση 1, Εικόνα 6.2β) τα οποία ενώνονται στο πάνω μέρος τους με ένα πέμπτο (Βάση 2) το οποίο τα κρατά σταθερά. Για να γίνει αυτό ακολουθήθηκε η λογική συναρμογής 'αρσενικού-θηλυκού' και στην ουσία ένα εξόγκωμα της Βάσης 1 συμπληρώνει ένα χώρο ίδιας γεωμετρίας στη Βάση 2 και κολλώντας τα δημιουργούν μια ενιαία κατασκευή. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών φαίνονται στα ομώνυμα σχέδια του Παραρτήματος.



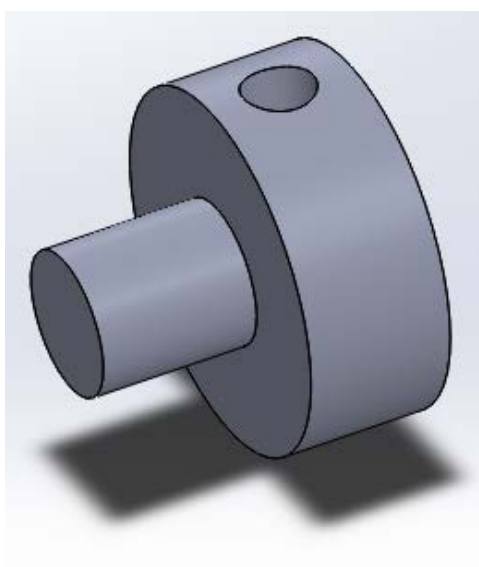
Σχήμα 6.2: Η βάσεις των γραναζιών ενωμένες με τις οπές για την υποδοχή των μεταλλικών ντιζών, όπως φαίνονται στο πρόγραμμα σχεδίασης

6.3 ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΝΤΙΖΑ

Η επιλογή αυτής έγινε λόγω κόστους, αντοχής, ευκολία κατεργασίας και στιβαρότητας που δίνει στην κατασκευή. Επιπλέον λόγω του σπειρώματος που φέρει ευνοεί τη ρύθμιση των τροχών ισχύος καθ' ύψος και τη σταθεροποίησή της βάσης τους για να ακολουθούν την κίνηση της ντίζας και κατ' επέκταση των γρاناζιών.

6.4 ΒΑΣΗ ΤΡΟΧΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Η βάση, *Εικόνα 6.3*, κατασκευάστηκε από αλουμίνιο σε τόρνο του Μηχανολογικού Εργαστηρίου. Σκοπός της να δεχθεί τον τροχό τροφοδοσίας με το ρουλεμάν που τον συνοδεύει για να βελτιώνει την κίνησή του. Η γεωμετρία της είναι κυλινδρική, δύο διαμέτρων ενώ υπάρχει κάθετη οπή 10mm όπου περνά η μεταλλική ντίζα. Η μικρή διάμετρος είναι ίση με αυτή της οπής του ρουλεμάν, ώστε να έχουν καλή συναρμογή και ο κύλινδρος έχει μήκος λίγο μεγαλύτερο από το πάχος του τροχού τροφοδοσίας με το ρουλεμάν. Η μεγάλη διάμετρος είναι η μισή από αυτή του τροχού τροφοδοσίας και χρησιμεύει στην υποστήριξη αυτού. Το μήκος του κυλίνδρου σε αυτό το σημείο είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από τη διάμετρο του κοχλία που δένει κάθετα, πάνω και κάτω στη βάση.

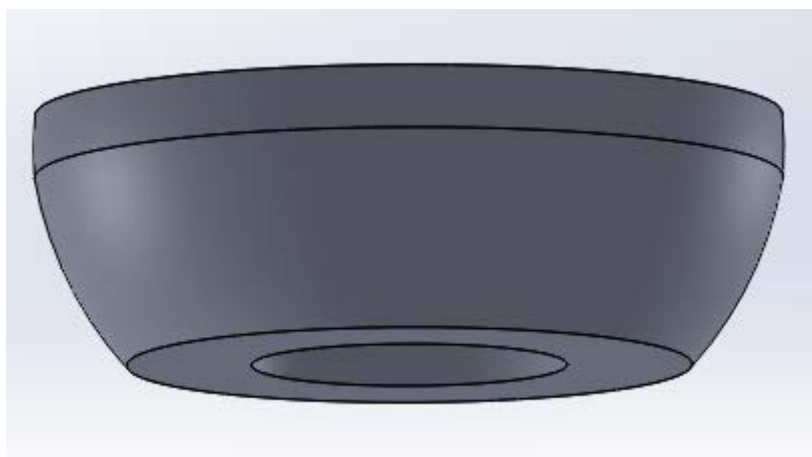


Εικόνα 6.3: Βάση τροχών ισχύος όπως φαίνεται στο πρόγραμμα σχεδίασης

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών φαίνονται στα ομώνυμα σχέδια του Παραρτήματος.

6.5 ΤΡΟΧΟΙ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Είναι σχεδιασμένοι σύμφωνα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 5 για τύπο κιβωτίου half-toroidal (Εικόνα 6.4). Κατασκευάστηκαν στον 3D-printer ενώ φέρουν διαμόρφωση για να φωλιάσει ρουλεμάν. Οι διαστάσεις αυτής είναι ίσες με αυτές του ρουλεμάν ώστε να έχουμε σφιχτή συναρμογή με τη συναρμολόγηση να γίνεται σε μέγγενη. Το πάχος που περισσεύει έχει οπή μεγαλύτερης διαμέτρου από τη μικρή της βάσης ή αντίστοιχα της οπής του ρουλεμάν για να μην επηρεάζει τη λειτουργία του. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών φαίνονται στα ομώνυμα σχέδια του Παραρτήματος.

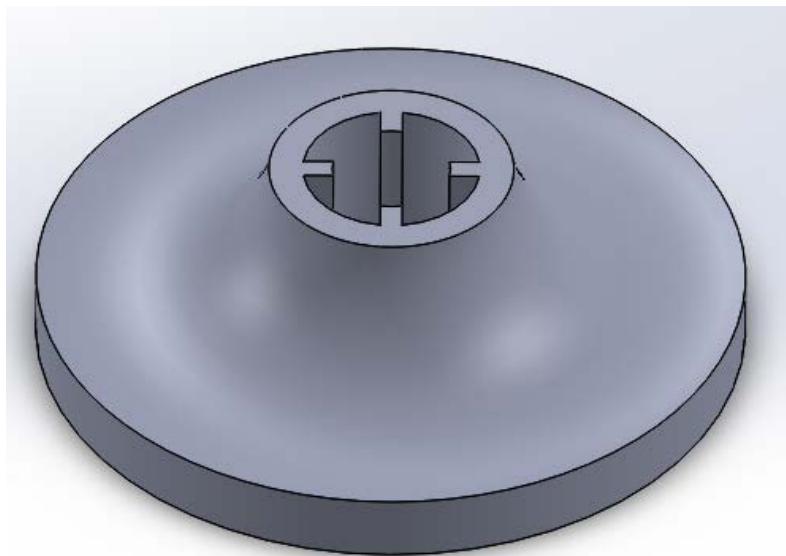


Εικόνα 6.4: Τροχός ισχύος για κιβώτιο half-toroidal όπως φαίνεται στο πρόγραμμα σχεδίασης

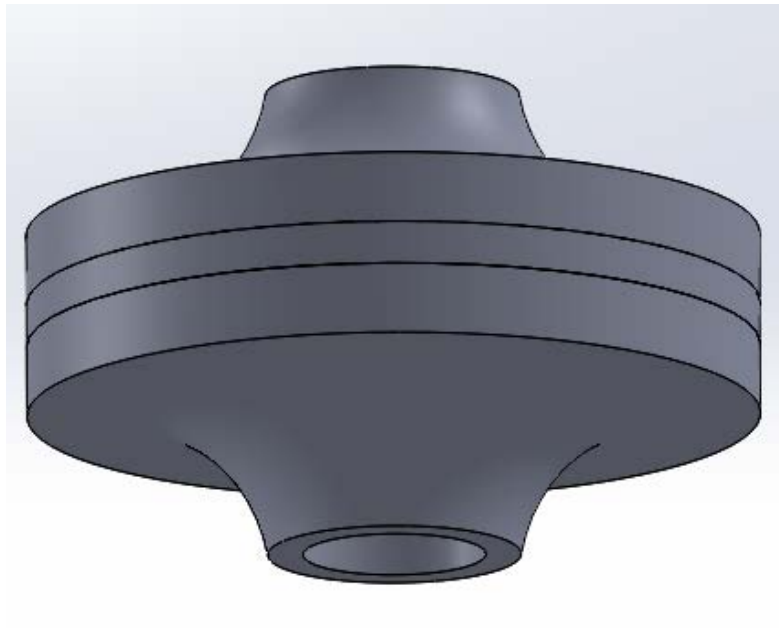
6.6 ΔΙΣΚΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ

Οι δίσκοι εισόδου (Εικόνα 6.5) και εξόδου (Εικόνα 6.6) έχουν σχεδιαστεί με ακτίνα καμπυλότητας ίδια με αυτοί των τροχών τροφοδοσίας ώστε στην ημικυκλική κοιλότητα που δημιουργούν και κινούνται οι τροχοί να έχουμε τη μέγιστη δυνατή επιφάνεια επαφής για καλύτερα αποτελέσματα πρόσφυσης.

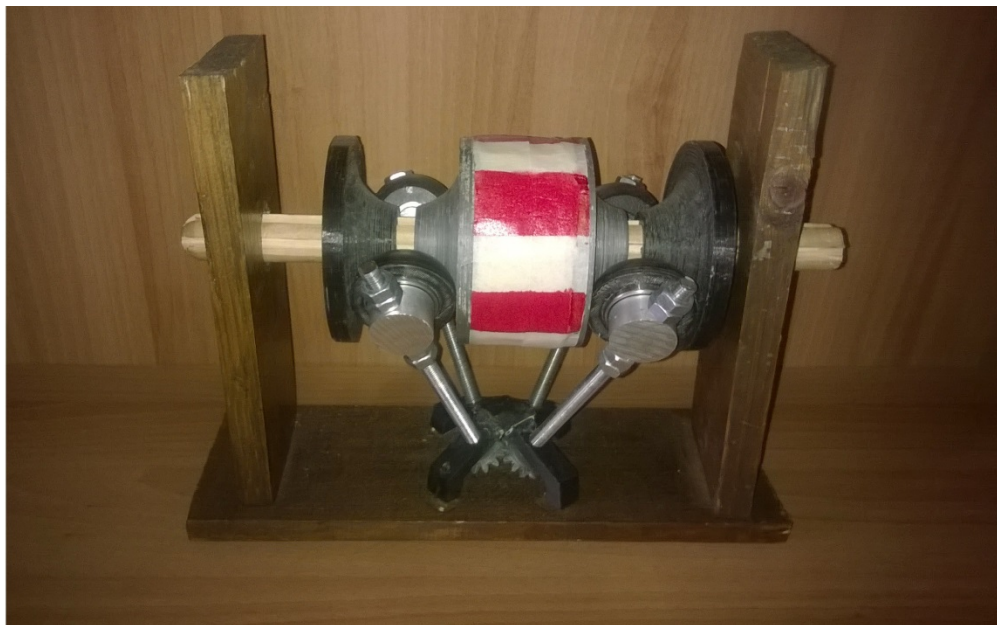
Είναι κατασκευασμένοι στον 3D printer. Η διαφορά τους είναι στην οπή απ' όπου περνά ο άξονας η οποία και είναι ίδιας διαμέτρου με αυτόν. Οι δίσκοι εισόδου έχουν εξοχές ίδιας γεωμετρίας με τις εσοχές του άξονα για να κινούνται σύμφωνα με αυτόν ενώ οι δίσκοι εξόδου δεν διαθέτουν κάποια διαφορετική γεωμετρία πέραν της οπής ώστε να κυλίσουν στον άξονα και να παίρνουν κίνηση από τους τροχούς ισχύος. Επίσης οι τελευταίοι είναι ενωμένοι με ξύλινο σκελετό και το κενό καλύφθηκε με αφρού πολυουρεθάνης. Αυτό έγινε γιατί το ακριβές σημείο επαφής των τροχών τροφοδοσίας με τους δίσκους προσδιορίστηκε κατά την τελική συναρμολόγηση ώστε, παρ' όλες τις ανοχές της κατασκευής, το σύστημα να λειτουργήσει γιατί δεν ήταν ακριβής η απόσταση μεταξύ τους όπως και το ύψος των τροχών ισχύος. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών φαίνονται στα ομώνυμα σχέδια του Παραρτήματος.



Εικόνα 6.5: Δίσκος εισόδου όπως φαίνεται στο πρόγραμμα σχεδίασης



Εικόνα 6.6 : Τροχί εξόδου ενωμένοι όπως φαίνονται στο πρόγραμμα σχεδίασης



Εικόνα 6.7: Κατασκευασμένο μοντέλο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν άρθρο περιγράφηκαν τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας πέδησης καθώς και σημαντικά μέρη αυτών. Καθένα από αυτά μπορεί να αναλυθεί διεξοδικότερα ώστε να προκύψουν τυχόν βελτιώσεις, ενώ δεν μπορεί να αποκλειστεί συνδυασμός τους. Μεγάλη έμφαση θα πρέπει να δοθεί στις περιπτώσεις χρήσης αυτών καθότι πρέπει να επιλεγεί η αποδοτικότερη λύση συμπεριλαμβανομένων οικονομικών παραγόντων. Θα πρέπει λοιπόν να συνυπολογιστεί το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, το βάρος της κατασκευής, ο κύκλος λειτουργίας και η ενεργειακή ζήτηση. Γι' αυτό για παράδειγμα είναι προτιμότερο σε βαρέα οχήματα να τοποθετούνται υδραυλικά υβριδικά συστήματα ενώ σε μικρομεσαία οχήματα συστήματα με αποθήκευση σε σφόνδυλο. Και αυτό σε κύκλο με συχνές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις γιατί διαφορετικά τα ηλεκτρικά υβριδικά μπορούν να κινηθούν και αμιγώς ηλεκτρικά έχουν πλεονέκτημα στην κατανάλωση.

Όσον αφορά το κιβώτιο συνεχούς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά και στις παραμέτρους λειτουργίας του, λόγω του μοντέλου που κατασκευάστηκε. Συναντώνται διαφορές στην μορφή και τη διάταξή του, όπως περισσότεροι ή και διαφορετικοί τροχοί ισχύος και διαφορά στον τρόπο συνεργασίας και συντονισμού τους. Ο τρόπος λειτουργίας παραμένει ίδιος.

Στο μοντέλο παρουσίασης εφαρμόζεται ένας ιδιαίτερος τρόπος συντονισμού των τροχών ισχύος σε σχέση με τα υπάρχοντα, με αντίστοιχη αλλαγή στη συνολική γεωμετρία αυτού. Βέβαια κατά την συναρμολόγηση αυτού παρουσιάστηκαν προβλήματα σε κάποιες επαφές-συναρμογές, όπως της μεταλλικής ντίζας με τη βάση των γραναζιών, που οδήγησαν σε δυσμενέστερη λειτουργία του συνόλου και κυρίως στην εμπλοκή των γραναζιών. Επίσης δυσκολία υπήρξε με την πρόσφυση ανάμεσα στα κινούμενα μέρη ώστε να μεταφερθεί σωστά η κίνηση πράγμα που οφείλεται στις όχι και τόσο λείες επιφάνειες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Burke Andy, Ultracapacitor Technologies and Application in Hybrid and Electric Vehicles, University of California, Institute of Transportation Studies, 2009

Burke, Andrew, Performance, Charging, and Second-use Considerations for Lithium Batteries for Plug-in Electric Vehicles, University of California, Institute of Transportation Studies, 2009

G. K. Gangwar, Madhulika Tiwari, Bipin Kumar Singh, Study of closed -Circuit Hydraulic Energy Renegative System for Hydrostatic Transmission Drive using Hydraulic Accumulator, International Journal of Research in Aeronotical and Mechanical Engineering , Vol.2 Issue.1,σελ 1-10, 2014

Hishashi Machida & Yasuo Murakami, Development of Powertoros Unit Half-toroidal CVT, Motion and Control No9, NSK technical Journal, σελ 15-21,2000

James G. R. Hansen David U. O'Kain, An Assessment of Flywheel High Power Energy Storage Technology for Hybrid Vehicles, Oak Ridge National Laboratory ,Oak Ridge, Tennessee, 2011

John Walsh, Tariq Muneer, Ali N. Celik, Design and analysis of kinetic energy recovery system for automobiles: Case study for commuters in Edinburgh, Journal of Renewable and Sustainable Energy 3, 2011

M Erkkilä, F Bauer, D Feld, Universal Energy Storage and Recovery System – A Novel Approach for Hydraulic Hybrid , The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Linköping, Sweden , 2013

Malte Krack, Marc Secanell and Pierre Mertiny . Rotor Design for High-Speed Flywheel Energy Storage Systems, Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids, Prof. Rosario Carbone (Ed.),σελ 41-68, 2011

Ph.D Leos Chalupa, Solutions for Electrical Traction Motor Drive-Regenerative Breaking ,Freescale Technology Forum, 2009

Radhika Kapoor, C. Mallika Parveen, Comparative Study on Various KERS, World Congress on Engineering, London UK, 2013

Sérgio Valente, Hélder Ferreira, Braking Energy Regeneration using hydraulic systems, Mestrado em Electrónica e Computadores - Automação e Sistemas, 2013

Tri-Vien Vu, Chih-Keng Chen, Chi-Wei Hung, Study of Hydraulic Regenerative Braking System in Hydraulic Hybrid Vehicles, Journal of Science and Engineering Technology, Vol. 7, No.4, σελ 9-18 ,2011

Χρήσιμες σελίδες στο διαδίκτιο

http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_hybrid

<http://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/43410-hydraulic-accumulators-theory-and-use/>

<http://www.docstoc.com/docs/109201805/Comparing-Data-Center-Batteries-Flywheels-and-Ultracapacitors>

<https://gigaom.com/2011/07/12/how-ultracapacitors-work-and-why-they-fall-short/>

<http://www.ultimatetransmissions.com/ut.php?HOME>

<http://www.torotrak.com/>

<http://www.ricardo.com/en-GB/>

<http://www.boschrexroth.com/en/xc/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΡΟΥΛΕΜΑΝ

Τα μαγνητικά ρουλεμάν είναι ρουλεμάν που υποστηρίζουν ένα φορτίο μέσω μαγνητικής αιώρησης. Υποστηρίζουν κινούμενα μέρη, χωρίς φυσική επαφή. Για παράδειγμα, είναι σε θέση να αιωρούν ένα περιστρεφόμενο άξονα και να επιτρέπουν σχετική κίνηση με πολύ χαμηλή τριβή και χωρίς μηχανική φθορά. Επίσης υποστηρίζουν υψηλότερες ταχύτητες από όλα τα είδη των ρουλεμάν και δεν έχουν περιορισμό στην ταχύτητα. Κρίνονται οπότε ιδανική λύση για εφαρμογή σε συστήματα σφονδύλου όπου επιθυμούμε τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα με ελάχιστες τριβές.

Οι παθητικοί μαγνητικοί τριβείς χρησιμοποιούν μόνιμους μαγνήτες και, ως εκ τούτου, δεν απαιτούν καμία ισχύ εισόδου, αλλά είναι δύσκολο να σχεδιαστούν λόγω των περιορισμών που περιγράφονται από το θεώρημα του Earnshaw του. Τεχνικές που χρησιμοποιούν διαμαγνητικά υλικά είναι δεν είναι αναπτυγμένες και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά του υλικού. Ως αποτέλεσμα, τα περισσότερα μαγνητικά έδρανα είναι δραστικά μαγνητικά έδρανα, χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνήτες που απαιτούν συνεχή ισχύ εισόδου και ένα ενεργό σύστημα ελέγχου για να κρατήσει σταθερό το φορτίο. Σε ένα συνδυασμένο σχεδιασμό, οι μόνιμοι μαγνήτες χρησιμοποιούνται συχνά για να μεταφέρουν το στατικό φορτίο και τα δραστικά μαγνητικά έδρανα χρησιμοποιείται όταν το αντικείμενο που ανυψώθηκε αποκλίνει από τη βέλτιστη θέση του. Τα μαγνητικά έδρανα απαιτούν συνήθως ένα έδρανο κύλισης σε περίπτωση διακοπής ρεύματος ή τον έλεγχο του συστήματος.

Ένα ενεργό μαγνητικό ρουλεμάν λειτουργεί με βάση την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής ανάρτησης και αποτελείται από μια ηλεκτρομαγνητική διάταξη, μια σειρά από ενισχυτές ισχύος που παρέχουν ρεύμα στους ηλεκτρομαγνήτες, έναν ελεγκτή, και αισθητήρες διακένου με τα σχετικά ηλεκτρονικά κυκλώματα για να παρέχουν την ανατροφοδότηση που απαιτείται για τον έλεγχο της θέσης του ρότορα εντός του διακένου. Ο ενισχυτής παρέχει

ρεύμα ίσου δυναμικού σε δύο ζεύγη ηλεκτρομαγνητών στις αντίθετες πλευρές του ρότορα. Αυτή η συνεχής διελκυστίνδα διαμεσολαβείται από τον ελεγκτή, ο οποίος αντισταθμίζει το τρέχον ρεύμα με ίσες και αντίθετες διαταραχές του ρεύματος καθώς ο ρότορας αποκλίνει από την κεντρική θέση του.

Οι αισθητήρες διακένου είναι συνήθως επαγωγικού χαρακτήρα και λαμβάνουν σε διαφορική λειτουργία. Οι ενισχυτές ισχύος σε σύγχρονη εμπορική εφαρμογή είναι συσκευές στερεάς κατάστασης που λειτουργούν σε διάταξη διαμόρφωσης πλάτους παλμού. Ο ελεγκτής είναι συνήθως ένας μικροεπεξεργαστής ή επεξεργαστής ψηφιακού σήματος.

Τα δραστικά έδρανα έχουν πολλά πλεονεκτήματα: δεν υποφέρουν από φθορά, έχουν χαμηλό συντελεστή τριβής, και μπορεί να διευκολύνουν παρατυπίες στη διανομή μάζας αυτόματα, επιτρέποντας στους δρομείς να περιστρέφονται γύρω από το κέντρο μάζας τους με πολύ χαμηλή δόνηση.

Δύο τύποι αστάθειας είναι τυπικά παρόντες σε μαγνητικά έδρανα. Οι μαγνήτες έλξης παράγουν μια ασταθής στατική δύναμη που μειώνεται με την αύξηση της απόστασης και αυξάνει με μείωση των αποστάσεων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ανισορροπία στο ρουλεμάν. Δεύτερον, επειδή ο μαγνητισμός είναι μια συντηρητική δύναμη, παρέχει μικρή απόσβεση. Ταλαντώσεις μπορεί να προκαλέσουν απώλεια της επιτυχούς αιώρησης αν υπάρχουν δυνάμεις.

Υπάρχει η ικανότητα εντοπισμού και ανάλυσης της κατάστασης σημαντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία και οι κραδασμοί σε περιστροφικές μηχανές. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οριστούν συναγερμοί και να προγραμματιστεί συντήρηση. Μεγάλο μέρος των πληροφοριών μπορεί να επιτευχθούν μέσω διεπαφής του χρήστη του ρουλεμάν χωρίς την ανάγκη πρόσθετων συστημάτων παρακολούθησης αυτού.

2. 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Η 3D εκτύπωση ή additive manufacturing (AM) είναι οποιαδήποτε από τις διάφορες μεθόδους για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου σχεδόν οποιουδήποτε σχήματος από ένα 3D μοντέλο ή άλλη πηγή ηλεκτρονικών δεδομένων κυρίως μέσω διαδικασιών προσθήκης στις οποίες διαδοχικά στρώματα υλικού στρώνονται υπό τον έλεγχο του υπολογιστή. Ένας 3D εκτυπωτής είναι ένας τύπος βιομηχανικού ρομπότ. Πρώημος

εξοπλισμός και υλικά AM αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1980. Το 1984, ο Chuck Hull της 3D Systems Corp, εφηύρε μια μέθοδο γνωστή ως στερεολιθογραφία. Ο Hull ανέπτυξε επίσης τη μορφή αρχείου STL ευρέως αποδεκτή από το λογισμικό των 3D εκτυπωτών, καθώς και διαδικασίες ψηφιακού τεμαχισμού και πλήρωσης, κοινές σε πολλές διεργασίες και σήμερα.

Ο όρος 3D εκτύπωση αναφερόταν αρχικά σε μια διαδικασία που χρησιμοποιεί πρότυπες και προσαρμοσμένες κεφαλές εκτύπωσης inkjet. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται από τους λεγόμενους 3D εκτυπωτές μέχρι σήμερα είναι η fused deposition modeling, μια ειδική εφαρμογή εκροής πλαστικού. Ο όρος στερεολιθογραφία ορίστηκε από τον Charles W. Hull ως "σύστημα για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων με τη δημιουργία ενός τμηματοποιημένου προτύπου του αντικειμένου που πρόκειται να σχηματισθεί" -σε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1984.

Τα 3D εκτυπωμένα μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν σε υπολογιστή ή μέσω 3D scanner. Η χειροκίνητη διαδικασία μοντελοποίησης της προετοιμασίας γεωμετρικών δεδομένων για 3D γραφικά υπολογιστών είναι παρόμοια τεχνών, όπως η γλυπτική. Η 3D σάρωση είναι μια διαδικασία ανάλυσης και συλλογής ψηφιακών δεδομένων σχετικά με το σχήμα και την εμφάνιση ενός πραγματικού αντικειμένου. Με βάση αυτά τα δεδομένα, τρισδιάστατα μοντέλα του σαρωμένου αντικείμενου μπορούν στη συνέχεια να παραχθούν.

ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Για να εκτελέσετε μια εκτύπωση, το μηχάνημα διαβάζει το σχέδιο από 3D εκτυπώσιμο αρχείο (αρχείο STL) και καθορίζει τις διαδοχικές στρώσεις υγρού, σκόνης, χαρτιού ή φύλλου υλικού για την κατασκευή του μοντέλου σε στρώσεις. Αυτά τα στρώματα, τα οποία αντιστοιχούν στις εικονικές διατομές του μοντέλου CAD, ενώνονται ή αυτόματα συντήκονται για να δημιουργηθεί το τελικό σχήμα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η ικανότητά της να δημιουργεί σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρικό χαρακτηριστικό.

Η ανάλυση του εκτυπωτή περιγράφει το πάχος της στρώσης και την ανάλυση στον άξονα X-Y σε dpi (κουκίδες ανά ίντσα), ή μικρόμετρα. Τυπικό πάχος στρώσης είναι περίπου 100 μm (250 DPI), αν και μερικές μηχανές μπορούν να εκτυπώσουν στρώματα τόσο λεπτά όσο 16 μm (1.600 DPI). Η ανάλυση του X-Y είναι συγκρίσιμη με εκείνη των εκτυπωτών laser. Τα σωματίδια (3D κουκκίδες) είναι περίπου 50 έως 100 μm (510 έως 250 DPI) σε διάμετρο.

Η κατασκευή ενός μοντέλου με σύγχρονες μεθόδους μπορεί να διαρκέσει από αρκετές ώρες έως αρκετές ημέρες, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται και το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Τα συστήματα προσθετικής μπορούν να μειώσουν τυπικά αυτό το χρόνο σε λίγες ώρες, αν και αυτό ποικίλλει ευρέως ανάλογα με τον τύπο της μηχανής που χρησιμοποιείται και το μέγεθος και τον αριθμό των μοντέλων που παράγονται ταυτόχρονα.

ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ

Αν και η ανάλυση του εκτυπωτή που είναι επαρκής για πολλές εφαρμογές, η εκτύπωση μιας ελαφρώς υπερμεγεθυμένης εκδοχής του επιθυμητού αντικείμενου σε πρότυπη ανάλυση και στη συνέχεια η αφαίρεση υλικού με μια υψηλότερης ανάλυσης αφαιρετική διαδικασία μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Μερικές τεχνικές additive manufacturing είναι ικανές να χρησιμοποιούν πολλαπλούς τύπους υλικών κατά τη διάρκεια της κατασκευής εξαρτημάτων. Μερικοί είναι σε θέση να εκτυπώσουν σε πολλά χρώματα και συνδυασμούς χρωμάτων ταυτόχρονα. Κάποιοι χρησιμοποιούν, επίσης, στηρίξεις κατά την κατασκευή. Αυτές είναι αφαιρούμενες ή απορροφήσιμες μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης, και χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν προεξέχοντα χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

ΟΙ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Ένας μεγάλος αριθμός των προσθετικών διεργασιών είναι πλέον διαθέσιμος. Διαφέρουν στον τρόπο που οι στιβάδες αποτίθενται για να δημιουργήσουν τμήματα και στα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ορισμένες μέθοδοι τήξη ή μαλάκυνση του υλικού για την παραγωγή των στρωμάτων, π.χ. επιλεκτική τήξη με laser ή άμεση πυροσυσσωμάτωση λέιζερ μετάλλου, επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ, μοντελοποίηση εναπόθεσης λιωμένου υλικού, ενώ άλλες χρησιμοποιούν υγρά υλικά και διαφορετικές εξελεγχόμενες τεχνολογίες, π.χ. στερεολιθογραφία. Στην παραγωγή πλαστικοποιημένου αντικείμενου, οι λεπτές στρώσεις κόβονται και ενώνονται μεταξύ τους (π.χ. χαρτί, πολυμερή, μέταλλο). Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και ορισμένες εταιρείες προσφέρουν συνεπώς μια επιλογή ανάμεσα σε σκόνη και πολυμερές για το υλικό από το οποίο είναι χτισμένο το αντικείμενο.

Η μοντελοποίηση εναπόθεσης λιωμένου υλικού [**Fused deposition modeling (FDM)**] είναι μια τεχνολογία κατασκευής προσθέτοντας ύλη που χρησιμοποιείται συνήθως για την προσομοίωση εφαρμογών, την κατασκευή πρωτοτύπων και την παραγωγή.

Η FDM λειτουργεί σε μια "πρόσθετη" αρχή τοποθετώντας υλικό σε στρώσεις, ένα πλαστικό ή μεταλλικό νήμα ξετυλίγεται από μια κουλούρα και προμηθεύει υλικό για να παραχθεί ένα τμήμα.

Η τεχνολογία αναπτύχθηκε από τον S. Scott Crump στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και κυκλοφόρησε στο εμπόριο το 1990.

Ο όρος μοντελοποίηση εναπόθεση λιωμένου υλικού και η συντομογραφία της FDM είναι εμπορικό σήμα από Stratasys Inc. Ο ακριβώς ισοδύναμος όρος, fused filament fabrication (FFF), επινοήθηκε από τα μέλη του Rep-Rap project για να δώσει μια φράση που θα μπορούσε να είναι νόμιμα χωρίς περιορισμούς στη χρήση της. Επίσης, μερικές φορές ονομάζεται Plastic Jet Print (PJP).

Η FDM αρχίζει με μια διαδικασία λογισμικού το οποίο επεξεργάζεται ένα αρχείο STL (μορφή αρχείου stereolithography), τεμαχίζει και προσανατολίζει το μοντέλο για τη διαδικασία κατασκευής. Εάν απαιτούνται μπορούν να παραχθούν υποστηρικτικές δομές. Το μηχάνημα μπορεί να εναποθέτει πολλαπλά υλικά για να επιτευχθούν διαφορετικοί στόχοι. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα υλικό για τη δημιουργία του μοντέλου και να χρησιμοποιήσει ένα άλλο ως διαλυτή δομή στήριξης, ή θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει πολλαπλά χρώματα του ίδιου τύπου θερμοπλαστικού στο ίδιο μοντέλο.

Το μοντέλο ή κομμάτι παράγεται με εξώθηση μικρών χαντρών από θερμοπλαστικό υλικό για να σχηματιστούν στρώματα, καθώς το υλικό σκληραίνει αμέσως μετά την εξώθηση από το ακροφύσιο.

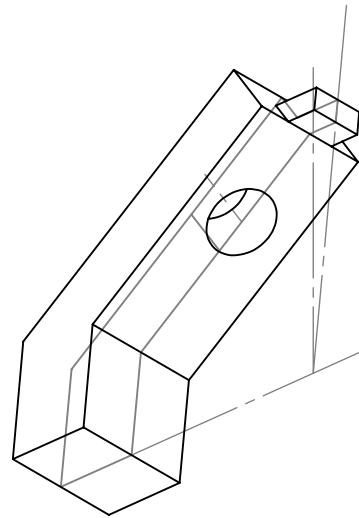
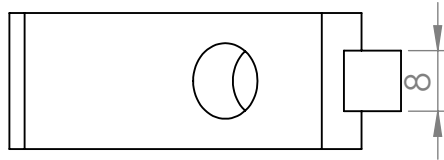
Ένα πλαστικό νήμα ή μεταλλικό καλώδιο ξετυλίγεται από μια κουλούρα και προμηθεύει υλικό σε ένα ακροφύσιο εξωθήσεως που μπορεί να ανοίξει τη ροή και να την κλείσει. Υπάρχει συνήθως μια συσκευή που ωθεί το νήμα μέσα στο ακροφύσιο με ένα ελεγχόμενο ρυθμό.

Το ακροφύσιο θερμαίνεται για να λιώσει το υλικό. Τα θερμοπλαστικά θερμαίνονται πριν τη θερμοκρασία μετάπτωσης τους και στη συνέχεια εναποτίθενται με μια κεφαλή εξώθησης.

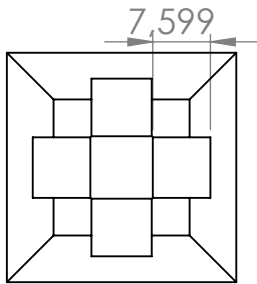
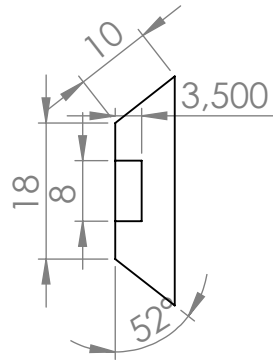
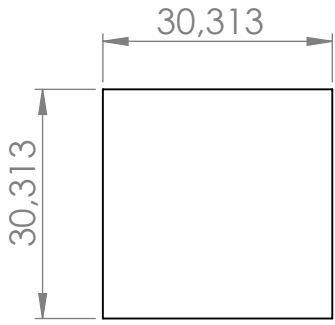
Το ακροφύσιο μπορεί να κινείται σε οριζόντιες και κάθετες κατευθύνσεις από ένα αριθμητικά ελεγχόμενο μηχανισμό. Το ακροφύσιο ακολουθεί ένα μονοπάτι που ελέγχεται με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM), και το μέρος είναι κατασκευασμένο από κάτω προς τα πάνω, ένα στρώμα τη φορά. Οι βηματικοί κινητήρες ή servo κινητήρες συνήθως χρησιμοποιούνται για να μετακινείται η κεφαλή εξώθησης. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται είναι συχνά ένας ευθύγραμμος σχεδιασμός X-Y-Z, αν και χρησιμοποιούνται άλλα μηχανικά σχέδια, όπως τα deltabot.

Παρά το γεγονός ότι μια τεχνολογία εκτύπωσης FDM είναι πολύ ευέλικτη, και τα καταφέρνει με μικρές προεξοχές μέσω της υποστήριξης από τα χαμηλότερα στρώματα, έχει γενικά ορισμένους περιορισμούς σχετικά με την κλίση της προεξοχής, και δεν μπορεί να παράγει μη υποστηριζόμενους σταλακτίτες.

Διαθέσιμα υλικά, όπως το ABS, PLA, πολυκαρβονικά, πολυαμίδια, πολυστυρένιο, λιγνίνη, μεταξύ πολλών άλλων, με διαφορετικούς συνδυασμούς μεταξύ αντοχής και θερμοκρασιακών ιδιοτήτων.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		Bàση 1	
								SCALE:1:1		A4	
						WEIGHT:		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

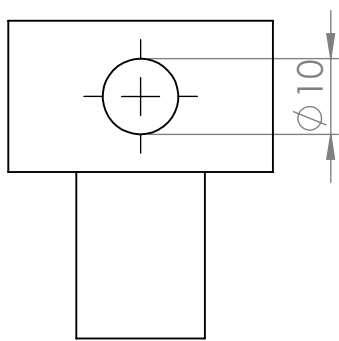
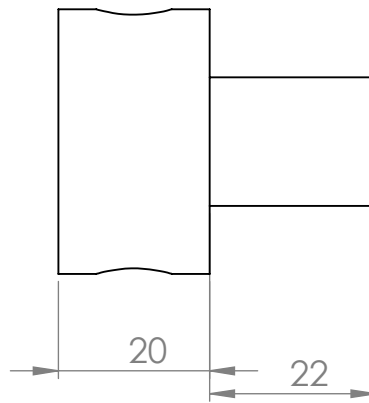
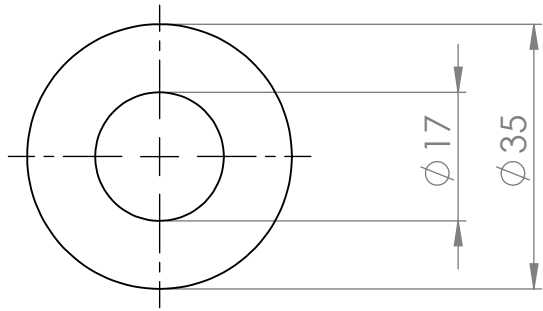
DWG NO.

Bàση2

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

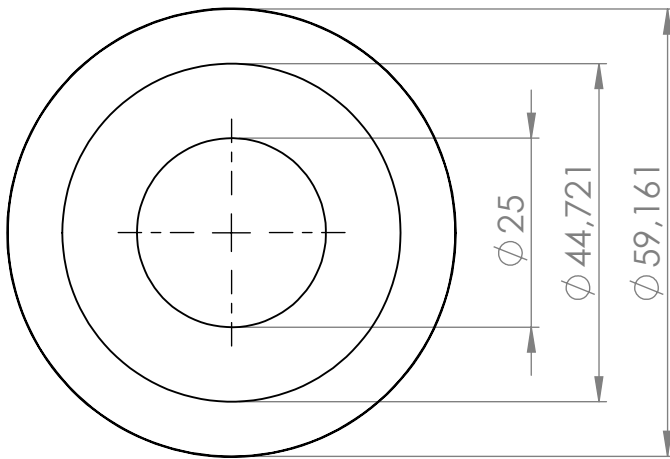
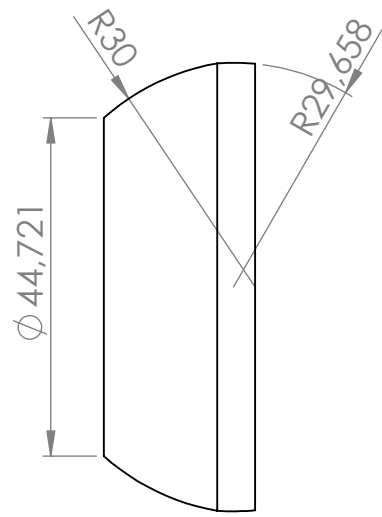
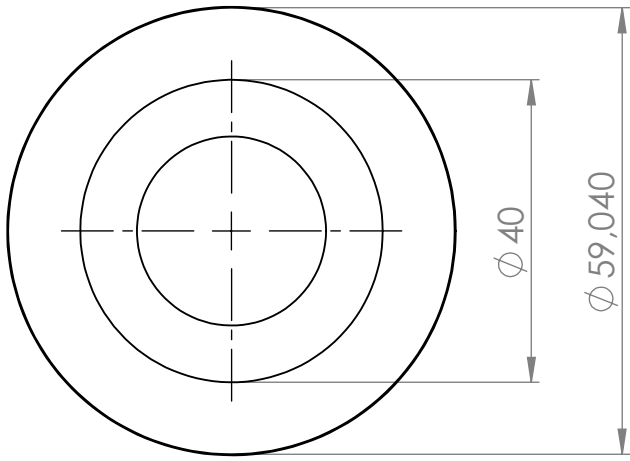
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:	
DWG NO.	Βάση τροχού ισχύος A4
SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

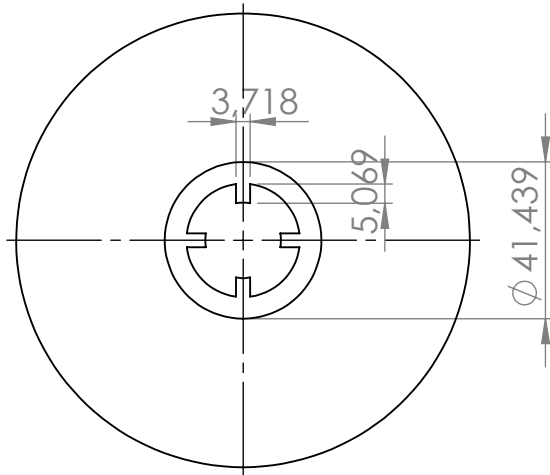
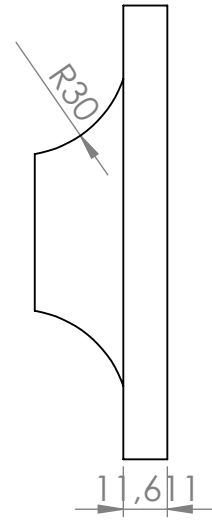
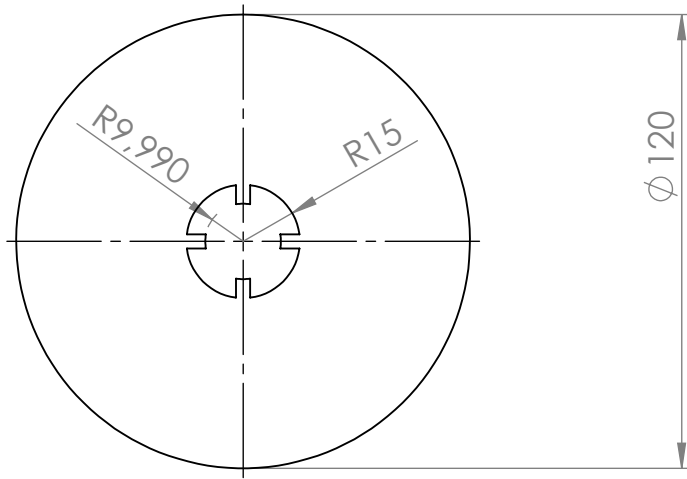
DWG NO.

Τροχός ισχύος

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

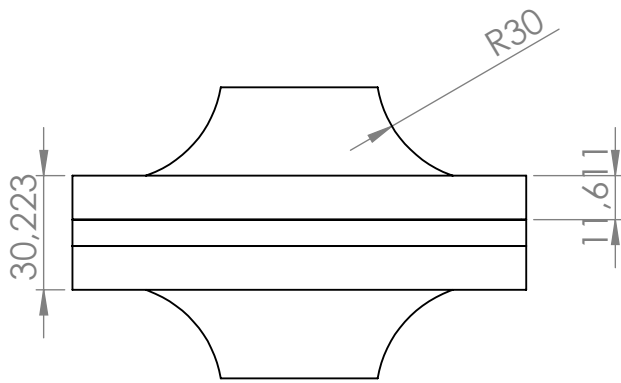
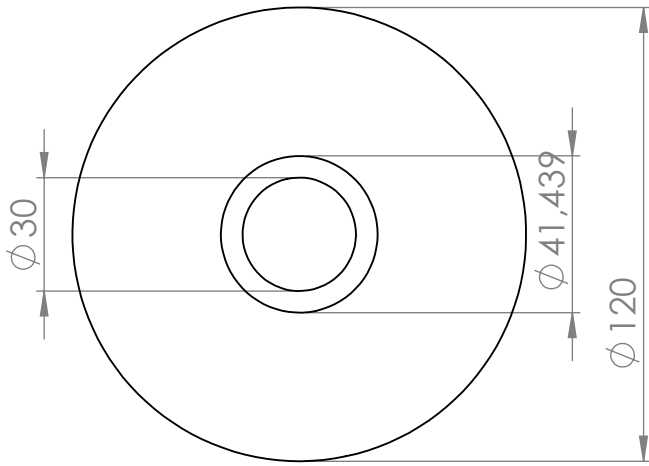
DWG NO.

Δίσκος εισόδου

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

DWG NO.

Δίσκος εξόδου

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1