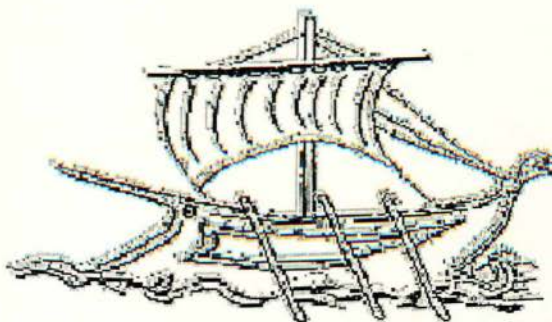


736  
M/X

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΊΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πλανητικά Συστήματα Στα Ειδικά Οχήματα  
Και Στην Βιομηχανία

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Σπουδαστές: Μάρκου Εμμανουήλ Α.Μ: 35472

Ντρέτσα Διονύσιος Α.Μ: 33752

Επιβλέπων: Τσολάκης Αντώνιος

ΓΡΑΜΜ. ΜΗΧ/ΓΙΑΣ

Αύγουστος, 2013

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Οι οδοντωτοί τροχοί γενικά έχουν ευρεία εφαρμογή στις διάφορες κατασκευές. Ιδιαίτερα τα πλανητικά συστήματα όμως είναι μια από τις πιο σημαντικές εφευρέσεις που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και κατ' επέκταση στην κοινωνία μας! Η χρήση τους είναι παντού γύρω μας χωρίς να συνειδητοποιούμε πάντα. Μάλιστα, η χρήση τους είναι γνωστή εδώ και 20 περίπου αιώνες, όταν γινόταν εφαρμογή πολύπλοκων πλανητικών συστημάτων σε μηχανισμούς ακριβείας. Χωρίς αυτά, δεν θα είχαμε πολλά χρήσιμα αντικείμενα, αλλά και τις δυνατότητες στην κατασκευή και μεταφορά ισχύος που έχουμε σήμερα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία κατεχοχόν βιβλιογραφική, όπου γίνεται περιγραφή των πλανητικών συστημάτων κίνησης, που συναντώνται οπουδήποτε απαιτείται πολλαπλασιασμός ή υποπολλαπλασιασμός στροφών σε μετάδοση κίνησης. Η εργασία περιλαμβάνει την περιγραφή των συστημάτων μετάδοσης κίνησης γενικότερα με οδοντωτούς τροχούς και ειδικότερα των κιβωτίων ταχυτήτων στα οχήματα. Γίνεται εκτενής περιγραφή των πλανητικών συστημάτων, παρουσίαση ενός μοντέλου και ανάλυση όλων των πιθανών συνδυασμών μετάδοσης κίνησης, καθώς και οι υπολογισμοί σχέσεων ταχυτήτων, στροφών και ροπών. Τέλος, ερευνάται η εφαρμογή σε όλες τις περιπτώσεις μετάδοσης κίνησης όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια ρύθμισης, όπως είναι τα αυτοκίνητα, τα οχήματα εκτός δρόμου, τα δομικά μηχανήματα, η βιομηχανία, οι ανυψωτικές διατάξεις, έως και σε πολλά μικροαντικείμενα καθημερινής χρήσης.

Η συλλογή των πληροφοριών έγινε από βιβλιογραφία και δικτυακούς τόπους όπου αναφέρονται περιγραφή αλλά και χρήσεις και εφαρμογές των παραπάνω συστημάτων.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος.....	4
Εισαγωγή.....	5
1. Οδοντοκίνηση.....	7
1.1 Περιγραφή – Λειτουργικός σκοπός.....	7
1.2 Θέσεις ατράκτων και είδη οδοντωτών τροχών.....	8
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της οδοντοκίνησης.....	10
1.4 Σχέση μετάδοσης κίνησης και λόγος αριθμών δοντιών και ροπών.....	11
1.5 Βλάβες οδοντωτών τροχών.....	13
2. Συστήματα μετάδοσης κίνησης οχημάτων.....	16
2.1 Ορισμός.....	16
2.2 Μηχανικό σύστημα μετάδοσης.....	16
2.3 Υδροστατικό σύστημα μετάδοσης.....	17
2.4 Υδροδυναμικό σύστημα μετάδοσης.....	18
2.5 Σύστημα συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (CVT).....	19
2.6 Ηλεκτρική μετάδοση της κίνησης.....	20
3. Κιβώτια ταχυτήτων.....	21
3.1 Προορισμός του κιβωτίου ταχυτήτων.....	21
3.2 Τύποι κιβωτίων ταχυτήτων, βασικά μέρη και αρχές λειτουργίας.....	23
3.3 Καθορισμός των βαθμίδων του μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων.....	28
3.4 Βοηθητικά κιβώτια ταχυτήτων-κιβώτια διανομής.....	29
4. Πλανητικά συστήματα.....	31
4.1 Ορισμός – Περιγραφή – Πλεονεκτήματα.....	31
4.2 Λειτουργία πλανητικού συστήματος.....	33
4.3 Συμπλέκτες και ταινιοπέδες.....	44
4.4 Σχέσεις ταχυτήτων και αριθμού δοντιών.....	47
4.5 Σχέσεις ροπών.....	52
4.6 Ισχύεις.....	54
4.7 Βαθμός απόδοσης.....	54
4.8 Αναγκαίες συνθήκες συναρμολόγησης.....	54
5. Εφαρμογές πλανητικών συστημάτων.....	57
5.1 Γενικά.....	57
5.2 Διάφορες εφαρμογές πλανητικών συστημάτων από παλαιότερα έως σήμερα.....	57
5.3 Εφαρμογές των πλανητικών συστημάτων στο ποδήλατο – κιβώτιο ταχυτήτων της ROHLOFF.....	62
5.4 Εφαρμογές των πλανητικών συστημάτων στο αυτοκίνητο.....	81
5.5 Εφαρμογές των πλανητικών συστημάτων στη βιομηχανία και τις κατασκευές.....	92
Βιβλιογραφία.....	104

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Οι λόγοι που με οδήγησαν να επιλέξω το συγκεκριμένο θέμα για την πτυχιακή μου εργασία ήταν η πρόκληση της ποικιλίας που συναντά κανείς στους πλανητικούς μηχανισμούς, καθώς και οι πολλαπλές δυνατότητες συνεργασίας διαφόρων συστημάτων και τέλος το τεράστιο πεδίο εφαρμογών τους. Ο μηχανισμός στην απλή του μορφή είναι εξαιρετικά εύκολος στους υπολογισμούς και απλός στην κατανόηση λειτουργίας, αλλά γίνεται ιδιαίτερα σύνθετος και πολύπλοκος στις περιπτώσεις συνεργασίας πολλών πλανητικών μηχανισμών. Οι δυσκολίες που συνάντησα στη συγγραφή ήταν η φτωχή σχετικά βιβλιογραφία, ενώ κάποια ξενόγλωσσα άρθρα δικτυακών τόπων έκαναν χρήση διαφορετικής ορολογίας.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στα πλανητικά συστήματα κίνησης, που συναντώνται στις περισσότερες περιπτώσεις μετάδοσης κίνησης και ισχύος με την απαίτηση ακριβούς ρύθμισης της σχέσης μετάδοσης.

Ένας απλός πλανητικός μηχανισμός αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: τον εξωτερικό οδοντωτό τροχό, τη στεφάνη με την εσωτερική οδόντωση με την οποία συνεργάζονται οι τρεις πλανήτες, ενώ στο κέντρο του μηχανισμού βρίσκεται ο ήλιος. Οι τρεις πλανήτες συνδέονται σε έναν κοινό φορέα. Μέσα από ένα συνδυασμό κινήσεων των παραπάνω στοιχείων, μπορούμε με αυτόν τον απλό μηχανισμό να έχουμε 7 συνδυασμούς κινήσεων. Με συνδυασμό δύο ή περισσότερων πλανητικών μηχανισμών μπορούμε να έχουμε ένα ικανοποιητικό πλήθος σχέσεων μετάδοσης στα κιβώτια ταχυτήτων. Αυτός είναι ένας από τους βασικούς λόγους που τα πλανητικά συστήματα βρίσκουν τόσο ευρεία εφαρμογή.

Τα βασικά μέλη ενός πλανητικού μηχανισμού είναι οδοντωτοί τροχοί. Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή της θεωρίας των οδοντώσεων. Η μελέτη του θέματος προϋποθέτει αυτές τις βασικές γνώσεις και δεν θα ήταν δυνατόν να στεφθεί με επιτυχία χωρίς να ξεκαθαριστούν εξ' αρχής κάποια βασικά μεγέθη που αφορούν την θεωρία των οδοντώσεων (γεωμετρία, αναπτυσσόμενες δυνάμεις), καθώς και τα αίτια της κακής λειτουργίας τους.

Τα πλανητικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις ρύθμισης της σχέσης μετάδοσης. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της σχέσης μετάδοσης και περιγράφονται τα είδη της.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των κιβωτίων ταχυτήτων, καθορίζεται ο προορισμός τους και αναφέρονται τα είδη τους και οι αρχές λειτουργίας τους. Τα κιβώτια ταχυτήτων των οχημάτων είναι μία από τις ευρύτερες εφαρμογές των πλανητικών συστημάτων όπου απαιτούνται πολλαπλές σχέσεις μετάδοσης και όπου συναντά κανείς μερικούς από τους πιο πολύπλοκους πλανητικούς μηχανισμούς και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη η περιγραφή και η κατανόηση της λειτουργίας τους.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των πλανητικών μηχανισμών. Παρουσιάζεται ο απλός μηχανισμός που περιγράφηκε παραπάνω, περιγράφεται η λειτουργία του και αναλύονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί. Αναλύονται οι σχέσεις υπολογισμού ταχυτήτων, ροπών, ισχύος και βαθμού απόδοσης και αναφέρονται οι αναγκαίες συνθήκες για την συναρμολόγηση ενός απλού πλανητικού συστήματος.

Η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, όπου παρουσιάζονται μερικές από τις εφαρμογές των πλανητικών συστημάτων. Γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή στους πρώτους πλανητικούς μηχανισμούς που χρησιμοποιήθηκαν ως μηχανισμοί ακριβείας, παρουσιάζονται εφαρμογές στο αυτοκίνητο στα κιβώτια ταχυτήτων αλλά και στα διαφορικά, στα ειδικά οχήματα κατασκευών, αλλά και στις κατασκευές και στη βιομηχανία και τέλος σε μερικές συσκευές καθημερινής χρήσης. Το πλήθος των εφαρμογών είναι μικρό αλλά ικανοποιητικό, ώστε να

αντιληφθούμε το εύρος των δυνατοτήτων και των εφαρμογών των πλανητικών συστημάτων.

Η πτυχιακή εργασία συνοδεύεται από αρχείο σε Power Point, όπου παρουσιάζεται η διάρθρωση της εργασίας με τις πιο σημαντικές εικόνες της, φωτογραφίες και video που βοηθούν στην πληρέστερη κατανόηση της λειτουργίας των πλανητικών συστημάτων.

# 1. ΟΔΟΝΤΟΚΙΝΗΣΗ

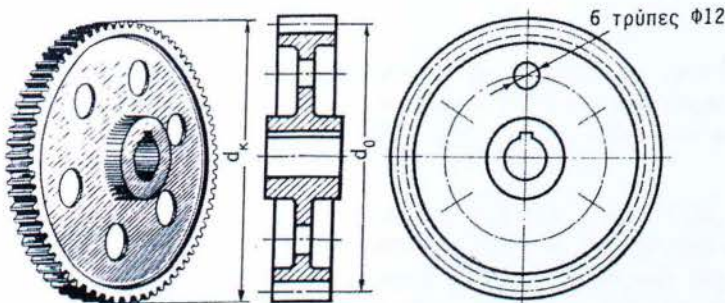
## 1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ

Στις μηχανές παρουσιάζεται πολύ συχνά, αν όχι πάντα, η ανάγκη να μεταδώσουμε κίνηση από μια άτρακτο σε μια άλλη. Οι άτρακτοι αυτές συχνά δεν συμπίπτουν και μπορεί να βρίσκονται στην ίδια ή σε διαφορετικές μηχανές.

Ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους μετάδοσης της περιστροφικής κίνησης είναι με τη χρήση εξαρτημάτων που φέρουν οδόντωση και μπορεί να είναι οδοντωτοί τροχοί, οδοντωτοί κανόνες και ατέρμονες κοχλίες.

Οι οδοντωτοί τροχοί, είναι στοιχεία μηχανών που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση περιστροφικής κινήσεως και την μεταφορά ισχύος από κινητήρια σε κινούμενη άτρακτο, μέσω διαδοχικής εμπλοκής συνεργαζόμενων οδόντων. Οι οδόντες είναι σχηματισμοί αλληπάλληλων εσοχών και προεξοχών στην περιφέρεια ενός οδοντωτού τροχού, τέτοιες ώστε να είναι δυνατή η συνεργασία της εσοχής του ενός τροχού με την προεξοχή του συνεργαζόμενου οδοντωτού τροχού και κατασκευάζονται με διάφορα προφίλ κατατομών, όπως αυτό της εξείλιγμένης, της ορθοκυκλοειδούς, της επικυκλοειδούς, της περικυκλοειδούς και της υποκυκλοειδούς καμπύλης, ή τόξου κύκλου, ή ακόμα και σπείρας. Συνηθέστερη μεταξύ αυτών είναι η κατατομή της εξείλιγμένης, η οποία είναι η καμπύλη εκείνη που διαγράφει ένα σημείο ευθείας κυλιόμενης χωρίς ολίσθηση επί κύκλου.

Ο οδοντωτός τροχός είναι συνήθως ένας ολόσωμος κύλινδρος ή δίσκος ή τροχός με βραχίονες. Πολλές φορές ο δίσκος έχει τρύπες για μείωση του βάρους. Στο κέντρο του γρναζιού υπάρχει ο «ομφαλός» σύνδεσης με την άτρακτο, η πλήμνη, που φέρει το κατάλληλο αυλάκι για τη σφήνα, στη δε περιφέρειά του υπάρχει η οδόντωση. (Σχ.1.1) Πολλές φορές η οδόντωση διαμορφώνεται στην εσωτερική επιφάνεια του οδοντωτού τροχού.



**Σχήμα 1.1:** Οδοντωτός τροχός με πλήμνη και διαμόρφωση για μείωση βάρους.

Ο οδοντωτός κανόνας είναι μία ράβδος ορθογωνικής διατομής, που στη μία έδρα της έχει διαμορφωθεί οδόντωση.

Ο ατέρμονας κοχλίας είναι ένας κύλινδρος που στην παράπλευρη επιφάνειά του έχει χαραχθεί ελίκωση με μία ή δύο συνήθως αρχές, όπως στους κοχλίες.

Με τη βοήθεια των κατάλληλων οδοντώσεων είναι δυνατή η μετάδοση κίνησης σε περιπτώσεις ατράκτων με γεωμετρικούς άξονες παράλληλους, τεμνόμενους υπό οποιαδήποτε γωνία και ασύμβατους.<sup>6</sup>

Δύο οδοντωτοί τροχοί συνθέτουν ένα απλό σύστημα οδοντοκίνησης, που για συντομία ονομάζεται και οδοντοκίνηση ή οδοντομειωτήρας. Πολλαπλά συστήματα οδοντοκίνησης που αποτελούνται από περισσότερα ζεύγη οδοντωτών τροχών, ονομάζονται και πολλαπλές (διπλές, τριπλές κ.λ.π.) οδοντοκινήσεις ή οδοντομειωτήρες δύο, τριών κ.λ.π. βαθμίδων.<sup>5</sup>

Εκτός από τη μετάδοση κίνησης με τη χρήση των οδοντώσεων επιτυγχάνουμε και τη μετατροπή των βασικών χαρακτηριστικών της, δηλαδή των στροφών και της ροπής του κινούμενου άξονα σε σχέση με αυτές του κινητήριου. Τέλος, στην περίπτωση του ζεύγους οδοντωτού τροχού-κανόνα, μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη και αντίστροφα.

Οι οδοντώσεις χρησιμοποιούνται στα κιβώτια ταχυτήτων των αυτοκινήτων και των εργαλειομηχανών, στο διαφορικό, στο τιμόνι, στον εκκεντροφόρο και στους άλλους μηχανισμούς του αυτοκινήτου, στους μειωτήρες (διατάξεις μετατροπής στροφών-ροπής), στις συνεργασίες κινητήριων μηχανών – εργομηχανών που δε συμπίπτουν οι γεωμετρικοί άξονες των ατράκτων και σε άλλες περιπτώσεις μετάδοσης κίνησης που δεν απέχουν πολύ οι συνεργαζόμενες άτρακτοι.<sup>6</sup>

## **1.2 ΘΕΣΕΙΣ ΑΤΡΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΟΔΟΝΤΩΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ**

Στις μηχανές συναντούμε ατράκτους που η μία σε σχέση με την άλλη δεν έχουν πάντοτε την ίδια θέση. Οι άτρακτοι μπορεί να είναι μεταξύ τους:

- Παράλληλες
- Τεμνόμενες
- Ασύμβατες

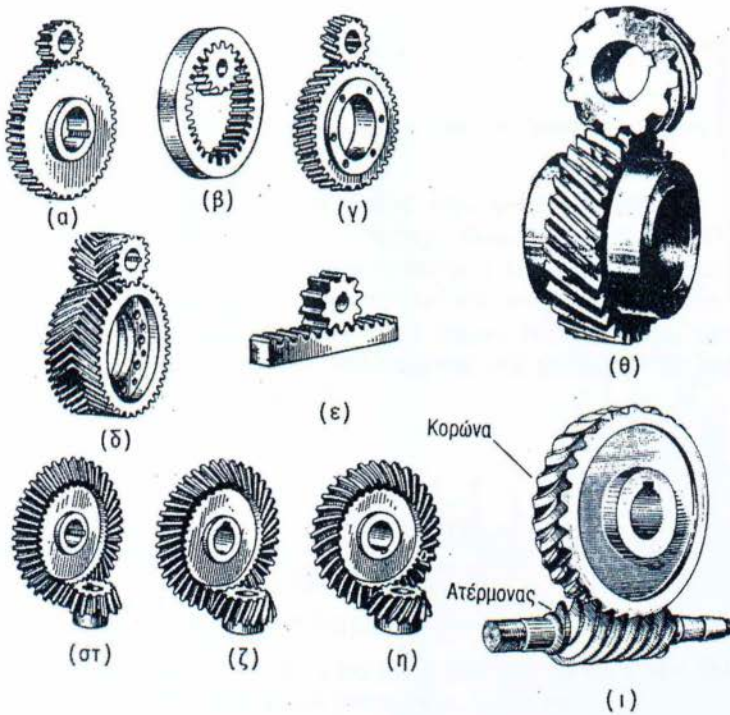
Με τους οδοντωτούς τροχούς μπορούμε να συνδέσουμε ατράκτους και να μεταδώσουμε κίνηση όποια θέση και αν έχουν. Για κάθε θέση των ατράκτων χρησιμοποιούνται και διαφορετικά είδη τροχών. Τα είδη των οδοντωτών τροχών είναι τα εξής:

- Οδοντωτοί τροχοί με παράλληλη οδόντωση (σχ. 1.2α, β και ε). Αυτοί έχουν οδόντωση παράλληλη προς το γεωμετρικό άξονα της ατράκτου. Η οδόντωση μπορεί να είναι εξωτερική (σχ. 1.2α) ή εσωτερική (σχ.1.2β), ενώ το ζευγάρι του σχ. 1.2ε λέγεται ζευγάρι οδοντωτού τροχού-οδοντωτού κανόνα (κρεμαγέρα).
- Τροχοί με ελικοειδή οδόντωση απλή (σχ. 1.2γ) ή με ελικοειδή οδόντωση διπλή (σχ. 1.2δ). Οι τροχοί με διπλή ελικοειδή οδόντωση



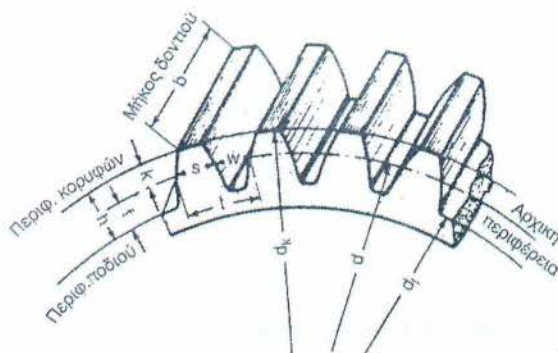
λέγονται και τροχοί γωνιώδεις ή τροχοί ψαροκόκαλο. Χρησιμοποιούνται όπως και οι οδοντωτοί τροχοί με παράλληλη οδόντωση για μετάδοση κίνησης σε παράλληλους ατράκτους.

- Κωνικοί τροχοί (σχ. 1.2στ, ζ και η). Αυτοί χρησιμοποιούνται για ατράκτους που τέμνονται ή είναι ασύμβατοι.
- Κοχλιωτοί οδοντωτοί τροχοί (σχ 1.2θ). Αυτοί είναι τροχοί με ελικοειδή οδόντωση της ίδιας φοράς. Οι γεωμετρικοί τους άξονες είναι ασύμβατοι.
- Ζευγάρι ατέρμονα κοχλία-οδοντωτού τροχού (σχ.1.2ι). Οι γεωμετρικοί άξονες κοχλία και τροχού είναι και εδώ ασύμβατοι.<sup>4</sup>



**Σχήμα 1.2:** Είδη οδοντωτών τροχών

Για να υπάρχει συνεργασία μεταξύ οδοντωτών τροχών, θα πρέπει να έχουν όμοια δόντια με ίδιο βήμα. Για καθέναν από τους συνεργαζόμενους τροχούς ορίζονται: (Σχ. 1.3)



**Σχήμα 1.3:** Χαρακτηριστικά στοιχεία οδοντώσεων.

- Η **περιφέρεια κεφαλών** που περνά από τις κορυφές των δοντιών με την αντίστοιχη διάμετρο  $d_k$ .
- Η **περιφέρεια ποδιών** που περνά από τη βάση των δοντιών με την αντίστοιχη διάμετρο  $d_f$ .
- Η **αρχική περιφέρεια**, που περνά λίγο ψηλότερα από το μέσο του ύψους του δοντιού και την αντίστοιχη διάμετρο  $d$  (ή  $d_o$ ). Οι αρχικές περιφέρειες δύο συνεργαζόμενων τροχών είναι πάντοτε εφαπτόμενες και κατά συνέπεια ταυτίζονται με τους κύκλους κυλίσεων των τροχών. Η αρχική περιφέρεια είναι μια πολύ σημαντική διάσταση, γιατί η τιμή της χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς της αντοχής των τροχών και των άλλων διαστάσεών του.<sup>6</sup>

### 1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΟΚΙΝΗΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της οδοντοκίνησης και των οδοντωτών τροχών είναι:

- Η άμεση μετάδοση της κίνησης από τον ένα τροχό στον άλλο χωρίς παρεμβολή άλλων στοιχείων (αλυσίδων, ιμάντων).
- Η σύνδεση ατράκτων σε οποιαδήποτε διάταξη.
- Η μεταφορά κίνησης με αύξηση ή ελάττωση των στροφών, ανάλογα με τον αριθμό δοντιών του κάθε τροχού.
- Η μετάδοση κίνησης χωρίς ολίσθηση. Η σχέση μετάδοσης κίνησης είναι σταθερή λόγω της εμπλοκής των δοντιών, που εμποδίζει την απώλεια στροφών κατά τη μεταφορά από τη μία άτρακτο στην άλλη. Επιπλέον, η σχέση μετάδοσης είναι ανεξάρτητη από συντελεστή τριβής και από περιφερειακή ταχύτητα.<sup>5</sup>
- Ο αριθμός στροφών δεν περιορίζει την αντοχή τους και το μέγεθος της μεταφερόμενης ισχύος λόγω πρόσθετης φυγόκεντρης πίεσης.

- Η περιορισμένη φθορά τους κατά τη λειτουργία τους προσδίδει πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής.
- Ο πολύ υψηλός αριθμός απόδοσης, που μπορεί να είναι 99% στις μετωπικές οδοντώσεις, άρα μετάδοση κίνησης χωρίς σημαντική απώλεια ενέργειας, με προϋπόθεση την καλή κατασκευή και τη σωστή λίπανση.
- Η μεταφορά μεγάλης ισχύος (π.χ. οι παράλληλοι τροχοί μπορούν να μεταφέρουν μέχρι και 20.000 KW).
- Ο μικρός απαιτούμενος όγκος λειτουργίας ανά μονάδα μεταφερόμενης ισχύος.
- Η δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες και η περιορισμένη ανάγκη συντήρησης.

Τα μειονεκτήματα της οδοντοκίνησης και των οδοντωτών τροχών είναι:

- Το υψηλό κόστος κατασκευής, ειδικά στις περιπτώσεις που απαιτούνται ειδικά μηχανήματα κατεργασίας, βαφή ή λείανση.
- Απαιτείται ακρίβεια κατασκευής και τοποθέτησης, γιατί διαφορετικά κάνουν θόρυβο και φθείρονται γρήγορα. Αυτό γίνεται πιο έντονο σε υψηλές ταχύτητες.<sup>4</sup>
- Μεταδίδουν την κίνηση χωρίς ελαστικό τρόπο. Δεν έχουν καμιά δυνατότητα παραλαβής κρουστικού φορτίου. Κάθε αιφνίδια μεταβολή του φορτίου αμέσως μεταδίδεται αυτούσια στην άλλη άτρακτο.<sup>4</sup>

## 1.4 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΛΟΓΟΣ ΑΡΙΘΜΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ

Η σχέση μετάδοσης κίνησης μιας οδοντοκίνησης γενικά είναι ο λόγος της γωνιακής ταχύτητας  $\omega_1$  του κινητήριου τροχού προς τη γωνιακή ταχύτητα  $\omega_2$  του κινούμενου τροχού. Δεδομένου ότι η γωνιακή ταχύτητα ενός τροχού εξαρτάται μόνο από τον αριθμό στροφών του ( $n$ ) σύμφωνα με τη σχέση  $\omega = \pi n / 30$ , η σχέση μετάδοσης κίνησης ορίζεται με τον γενικό τύπο:

$$i = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 \quad (1)$$

Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως όταν και οι δύο τροχοί έχουν εξωτερική οδόντωση, τότε η φορά περιστροφής τους είναι αντίθετη, ενώ, όταν ο ένας τροχός έχει εξωτερική και ο άλλος εσωτερική οδόντωση, τότε η φορά περιστροφής τους είναι η ίδια. Αυτό το γεγονός λαμβάνεται υπόψη κατά την αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών  $\omega$  στον τύπο (1). Έτσι για δεξιόστροφη φορά περιστροφής προτείνεται το πρόσημο «+», ενώ για αριστερόστροφη το «-». Με αυτόν τον τρόπο για οδοντοκίνηση για δύο τροχούς με εξωτερική οδόντωση προκύπτει  $i < 0$ , ενώ για δύο τροχούς με εξωτερική και εσωτερική οδόντωση αντίστοιχα είναι  $i > 0$ .

Επίσης, σε περίπτωση οδοντοκινήσεως με σταθερή σχέση μετάδοσης  $i$ , η περιφερειακή ταχύτητα  $v_t$  των σωμάτων κυλίσεως και των δύο τροχών στο σημείο κύλισεως πρέπει να είναι η ίδια, δηλαδή:

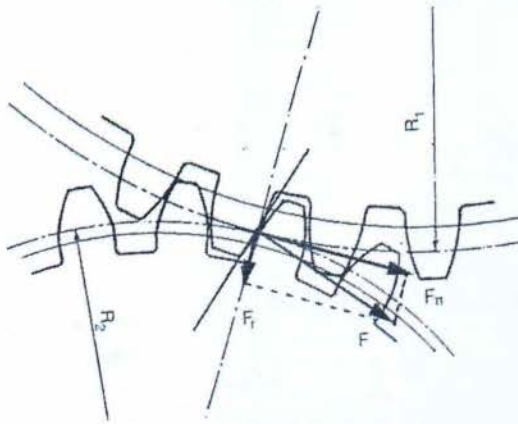
$$v_{t1} = v_{t2} \Leftrightarrow \pi d_1 n_1 / 60 = \pi d_2 n_2$$

και τελικά:

$$i = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = d_2 / d_1 \quad (2)$$

Από τη σχέση (2) φαίνεται επίσης ότι όταν η γωνιακή ταχύτητα του κινητήριου τροχού είναι μικρότερη από εκείνη του κινούμενου τροχού είναι  $i < 1$ , ενώ όταν είναι μεγαλύτερη είναι  $i > 1$ .

Κατά την εμπλοκή δύο οδοντωτών τροχών, του κινητήριου (1) και του κινούμενου (2), ασκείται δύναμη  $F$  διαδοχικά από κάθε δόντι του (1) στο αντίστοιχο του (2), η οποία είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής τους. Ο (2) ασκεί ίση και αντίθετη δύναμη στον (1). Ο τρόπος χάραξης των κατατομών των δοντιών ώστε να εξασφαλίζεται η κύλιση του ενός πάνω στον άλλο με κύκλους κύλισης τις αρχικές περιφέρειες, έχει σαν αποτέλεσμα η διεύθυνση της  $F$  να περνά από το σημείο επαφής των αρχικών περιφερειών. Έτσι μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες (σχ. 1.4): την ακτινική  $F_r$  που έχει ως συνέπεια μια τάση απομάκρυνσης των τροχών και την περιφερειακή δύναμη  $F_\pi$  που είναι εφαπτόμενη των αρχικών περιφερειών. Η δύναμη αυτή είναι η αιτία της ροπής  $M$  που αναγκάζει τον (2) να περιστρέφεται. Ισχύει:



**Σχήμα 1.4:** Περιφερειακή  $F_\pi$  και ακτινική  $F_r$  δύναμη στις οδοντώσεις

$$M = F_\pi R$$

ενώ για την περιστροφική κίνηση αποδεικνύεται ότι:

$$M = P / 2\pi n,$$

όπου  $P$  είναι η ισχύς και  $n$  ο αριθμός στροφών.

Η τελευταία σχέση είναι σημαντική για τη μετάδοση της περιστροφικής κίνησης από κινητήριο (1) σε κινούμενο (2) άξονα. Μας λέει ότι για τη

**μεταφορά σταθερής ισχύος** (το έργο και η ισχύς δεν μπορούν κατά τη μετάδοση ούτε να πολλαπλασιαστούν ούτε να μειωθούν) από τον (1) στον (2), οι ροπές των αξόνων είναι αντιστρόφως ανάλογες των στροφών τους, δηλαδή<sup>6</sup>:

$$M_1/M_2 = n_2/n_1 \quad (3)$$

Τέλος, κατά την οδοντοκίνηση τα σημεία των αρχικών περιφερειών των τροχών έχουν την ίδια περιφερειακή ταχύτητα (ίδια τόξα στον ίδιο χρόνο) και επειδή οι τροχοί έχουν όμοια δόντια (για να είναι εφικτή η εμπλοκή), θα ισχύει:

$$d_1/d_2 = z_1/z_2 \quad (4)$$

όπου  $z$  αριθμός δοντιών οδοντωτού τροχού.

Τελικά, από τις (1), (2), (3) και (4) καταλήγουμε για τη σχέση μετάδοσης:

$$i = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2 = d_2/d_1 = M_2/M_1 = z_2/z_1$$

Η σχέση μετάδοσης κίνησης  $i$  μιας πολλαπλής οδοντοκίνησης, είναι το γινόμενο των σχέσεων μετάδοσης όλων των βαθμίδων που περιλαμβάνονται σ' αυτήν:

$$i = i_1 \times i_2 \times i_3 \times \dots \times i_n$$

Στην πολλαπλή οδοντοκίνηση<sup>5</sup>:

- η σχέση μετάδοσης της κίνησης ισούται με το λόγο της γωνιακής ταχύτητας  $\omega_1$  του πρώτου τροχού προς τη γωνιακή ταχύτητα  $\omega_n$  του τελευταίου τροχού, δηλαδή:

$$i = \omega_1/\omega_n$$

- η σχέση μετάδοσης κίνησης ισούται με το λόγο της διαμέτρου κυλίσεως  $d_n$  του τελευταίου τροχού προς τη διάμετρο κυλίσεως  $d_1$  του πρώτου τροχού, δηλαδή:

$$i = d_n/d_1$$

## 1.5 ΒΛΑΒΕΣ ΟΔΟΝΤΩΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ<sup>9</sup>

Μερικές από τις αιτίες που προκαλούν την αστοχία των οδοντωτών τροχών είναι:

- Η *σημειακή υπερφόρτιση των κατατομών*, η οποία είναι το αποτέλεσμα κρουστικών φορτίων. Σαν αποτέλεσμα αυτής έχουμε την δημιουργία

ραβδώσεων επί των κατατομών του οδοντωτού τροχού που απογυμνώνουν τον οδόντα.

- Η *υπερβολική ταχύτητα περιστροφής* (πέραν του επιτρεπτού): Το αίτιο αυτό ισχύει για μηχανισμούς, οι οποίοι δεν έχουν συστήματα μέτρησης και ελέγχου της ταχύτητας. Οι τροχοί αυτοί λοιπόν, είναι πιθανό να εργάζονται σε στροφές μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου.
- Τα *ξένα σωματίδια*: Η ύπαρξη οιοδήποτε ξένου σωματιδίου στις συνεργαζόμενες κατατομές δημιουργεί επαφή στερεού με στερεό, η οποία προκαλεί τοπική συγκόλληση και φυσικά πρέπει να αποφεύγεται.
- Η *ακατάλληλη θερμική κατεργασία*: Οι οδόντες συνήθως υφίστανται επιφανειακή σκλήρυνση, η οποία όμως θα είναι ακατάλληλη αν το πάχος σκληρύνσεως προκύψει ανομοιόμορφο επί της επιφάνειας των οδόντων του τροχού.
- Η *ακατάλληλη λίπανση στις οδοντώσεις*: Γενικά στους οδοντωτούς τροχούς συνίσταται η χρήση λιπαντικού κατάλληλου για υψηλές πιέσεις, διότι η επαφή των κατατομών είναι συνήθως μόνο γραμμική. Το σύστημα λιπάνσεως, θα πρέπει να μπορεί να λιπάνει όλες τις θέσεις εργασίας, το δε λιπαντικό θα πρέπει να παραμένει επί της κατατομής του οδόντος μέχρι την στιγμή της επαφής των κατατομών. Εάν κάτι τέτοιο δεν καθίσταται δυνατόν και η λειτουργία της βαθμίδας γίνεται χωρίς την χρήση του απαραίτητου λιπαντικού, τότε η λίπανση είναι ακατάλληλη. Μέσα από το λιπαντικό μεταφέρονται και τα ξένα σωματίδια για τα οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως. Είναι απαραίτητο λοιπόν, το λιπαντικό φιλτράρεται και να είναι απαλλαγμένο από οιαδήποτε πρόσμιξη που αποτελεί απειλή για τα γρανάζια. Ακόμα, η θερμοκρασία του θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να απομακρύνει από τις θέσεις εργασίας των κατατομών το παραγόμενο, λόγω τριβής, ποσό θερμότητας.
- Η *ακατάλληλη κατασκευή*: Οι κατατομές των δοντιών πρέπει να έχουν κατασκευασθεί με ακρίβεια, τα δε fillets (πόδες) των οδόντων πρέπει να είναι τα προβλεπόμενα.
- Η *ακατάλληλη συναρμολόγηση*: Οι περισσότερες των περιπτώσεων που έχουν σχέση με την κακή συναρμολόγηση των οδοντωτών τροχών αναφέρονται παρακάτω:
  - Χαλαρή πρόσδεση, των τροχών στους άξονες, των αξόνων στα ρουλεμάν ή των ρουλεμάν στο κέλυφος, μπορούν να προκαλέσουν μεταξύ των άλλων και δονήσεις από αζυγοσταθμία.
  - Κακή ευθυγράμμιση.
  - Λάθος απόσταση μεταξύ των κέντρων των συνεργαζόμενων τροχών, δημιουργία απρόβλεπτων δυνάμεων, εκδήλωση βλάβης στα γρανάζια.
  - Η κακή σχεδιομελέτη: Στην κατασκευή των οδοντωτών τροχών, ο μελετητής θα πρέπει να ακολουθήσει την καλύτερη διαθέσιμη τεχνική για να εφοδιάσει τους τροχούς με ακριβή και κατάλληλα

μεγέθη, όπως διάμετρο αρχικού κύκλου, πλάτος, υλικό και επιφανειακές κατεργασίες (π.χ θερμική). Πρέπει να μελετηθεί επίσης προσεκτικά, η εκλογή του κατάλληλου ζεύγους οδοντωτών τροχών και να γίνει λεπτομερής ανάλυση των δυνάμεων, πριν αρχίσει η διαδικασία κατασκευής του μηχανισμού.

### Γενικά κριτήρια κακής λειτουργίας γραναζιών:

Είναι εύκολα κατανοητό ότι η καλή και αποδοτική λειτουργία μιας βαθμίδας οδοντωτών τροχών εξαρτάται από το αν λειτουργεί σύμφωνα (ή με μικρές ανοχές) ή όχι με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Αυτές είναι:

- Η απώλεια ισχύος: Η λόγω τριβής απώλεια ισχύος και η μετατροπή της σε θερμότητα είναι μια καλή ένδειξη για τον τρόπο λειτουργίας των τροχών. Αυτό το ποσό της θερμότητας μετράται και συγκρίνεται με το προϋπολογισθέν. Η μετρηθείσα θερμότητα πρέπει να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την προϋπολογισθείσα για να λέμε ότι ο μηχανισμός λειτουργεί αποδοτικά.
- Οι ταλαντώσεις: Ένα κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να παράγει ταλαντώσεις μέσα σε προβλεπόμενα όρια. Η δυναμική ζυγοστάθμιση είναι από τις πρώτες ενέργειες που θα γίνουν για τα περιστρεφόμενα μέρη του κιβωτίου. Προβλήματα ταλαντώσεων μπορούν να δημιουργήσουν τα εξής:
  - Ένας ελαστικός σύνδεσμος που κολλάει σε μια μη ζυγοσταθμισμένη θέση.
  - Κατασκευαστικά σφάλματα ή λειτουργικά λάθη των κατατομών.
  - Η κακή συναρμολόγηση ή ευθυγράμμιση των εξαρτημάτων του κιβωτίου.

Βέβαια, η καλή ή η κακή λειτουργία ενός στοιχείου μηχανής μπορεί να διαπιστωθεί με την βοήθεια των συστημάτων παρακολούθησης - μέτρησης, ύστερα (πάντα) από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και παρακολούθησεις. Τέτοιες μετρήσεις είναι:

- Μέτρηση των κρουστικών παλμών.
- Παρακολούθηση του επιπέδου δονήσεων-κραδασμών.
- Ανίχνευση βλαβών με θερμογράφηση.
- Μελέτη των ιδιοτήτων του λιπαντικού
- Μέτρηση των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας.
- Οπτική επιθεώρηση.
- Άλλες μη καταστροφικές τεχνικές δοκιμών.

## 2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

### 2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Σύστημα μετάδοσης κίνησης των οχημάτων είναι ένα σύνολο μηχανισμών που συνδέονται μεταξύ τους και έχουν προορισμό την μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στους τροχούς, όταν το θέλουμε και στο μέγεθος που το επιθυμούμε.

Η διάταξη των μηχανισμών με την οποία συνδέεται ο κινητήρας με τους κινητήριους τροχούς, καλείται κινηματική αλυσίδα.

Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και των ηλεκτρονικών συστημάτων άλλαξε σημαντικά τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων μετάδοσης της κίνησης.

Έχοντας σαν στόχο την οικονομία, την άνεση αλλά και την ασφάλεια, οι βιομηχανίες παρουσίασαν ποικίλα εξελιγμένα συστήματα μετάδοσης της κίνησης, με αυτόματα κιβώτια, ηλεκτρονικά ελεγχόμενα διαφορικά, εξελιγμένους συμπλέκτες.

Σε μια προσπάθεια κατάταξης των συστημάτων μετάδοσης κίνησης ανάλογα με το είδος των μηχανισμών που περιλαμβάνονται στην κινηματική τους αλυσίδα, μπορούμε να τα διακρίνουμε σε:

### 2.2 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Μηχανική μετάδοση της κίνησης χαρακτηρίζεται η μετάδοση η οποία αποτελείται αποκλειστικά από μηχανικά στοιχεία (συμπλέκτες τριβής, ιμάντες, ζεύγη γραναζιών, κιβώτια ταχυτήτων, μειωτήρες στροφών).

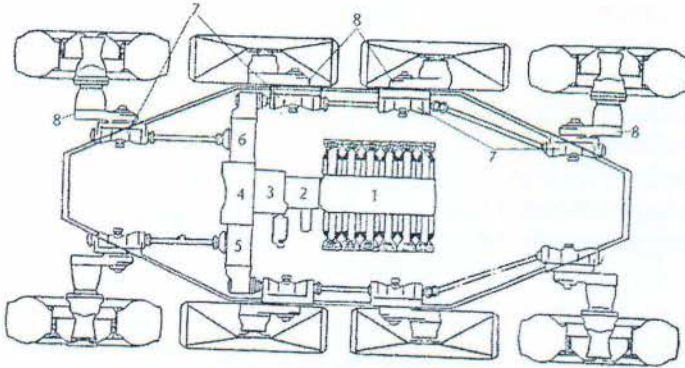
Οι βασικοί λόγοι που χρησιμοποιούνται τα μηχανικά συστήματα μετάδοσης κίνησης είναι:

- Οι αναγκαίες ταχύτητες κίνησης των διαφόρων μερών των μηχανημάτων δεν συμπίπτουν, κατά κανόνα, με τις βέλτιστες ταχύτητες των κινητήρων, αλλά είναι χαμηλότερες. Όμως οι κινητήρες με χαμηλές στροφές και μεγάλε ροπές είναι συνήθως μεγάλων διαστάσεων, βάρους και κόστους.
- Για πολλά παραγωγικά και μεταφορικά μηχανήματα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής των ταχυτήτων ώστε να μπορούν να λειτουργούν με μεγαλύτερες ροπές σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες. Η ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα δεν είναι πάντοτε εφικτή και οικονομική.
- Οι κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται για ομοειδή περιστροφική κίνηση, αλλά στα μηχανήματα χρειάζεται πολλές φορές η παλινδρομική κίνηση με καθορισμένη αναλογία ταχυτήτων.



- Οι κινητήρες δεν μπορούν πάντοτε να συνδέονται άμεσα με τα μέρη των μηχανισμών στους οποίους δίνουν κίνηση λόγω απόστασης ή λόγω ασφάλειας.

Ένα μηχανικό σύστημα μετάδοσης αποτελείται από: μηχανικό ή ηλεκτρομαγνητικό συμπλέκτη τριβής, κλιμακωτά κιβώτια ταχυτήτων (βοηθητικό, κύριο, διανομής), ατράκτους μετάδοσης της κίνησης, διαφορικά, τροχούς. (σχ. 2.1)



**Σχήμα 2.1:** Μηχανικό σύστημα μετάδοσης 1. Κινητήρας, 2. Κιβώτιο ταχυτήτων, 3. Βοηθητικό κιβώτιο ταχυτήτων, 4. Διαφορικό, 5, 6, 8. Μειωτήρες, 7. Κωνικοί μειωτήρες

Τα μηχανικά συστήματα μετάδοσης κίνησης έχουν ως πλεονέκτημα τον υψηλό βαθμό απόδοσης και το χαμηλό κόστος κατασκευής και σαν μειονέκτημα τις περιορισμένες δυνατότητες για την μεταβολή των παραμέτρων κίνησης.

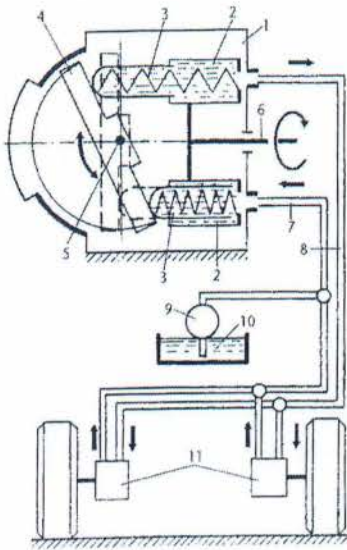
Η μηχανική μετάδοση κίνησης έχει μεγάλη εφαρμογή στη βιομηχανία, στα αυτοκίνητα, στις εργαλειομηχανές, στα δομικά μηχανήματα.<sup>8</sup>

### 2.3 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Η μετάδοση της κίνησης ονομάζεται υδραυλική όταν στην κινηματική αλυσίδα περιλαμβάνει μηχανισμούς όπου η μετάδοση κίνησης γίνεται υδραυλικά (π.χ. μετατροπέας ροπής)

Η υδραυλική μετάδοση κίνησης έχει χαμηλό βαθμό απόδοσης και μεγάλο κόστος κατασκευής, μπορεί όμως να μας αποδώσει μια συνεχώς μεταβαλλόμενη αλλαγή των παραμέτρων.

Αποτελείται από μια αντλία η οποία μετατρέπει τη μηχανική ισχύ του κινητήρα (ροπή στρέψης επί τη γωνιακή ταχύτητα) σε υδραυλική ισχύ (πίεση επί παροχή) ενός υγρού το οποίο συμπιέζεται και οδηγείται σε έναν υδραυλικό κινητήρα, όπου η ισχύς μετατρέπεται και πάλι σε μηχανική. (σχ. 2.2)<sup>8</sup>



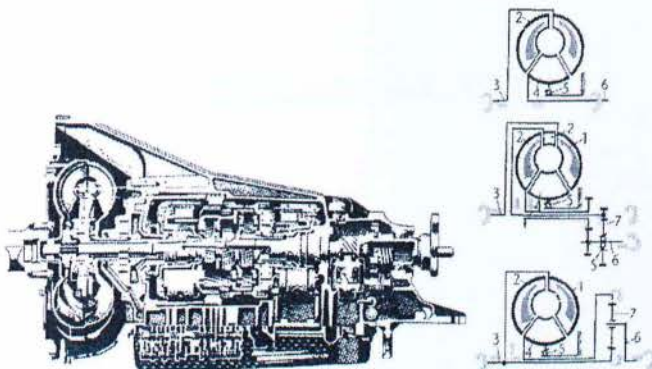
1. Αντλία υψηλής πίεσης
2. Κύλινδρος
3. Έμβολο
4. Δίσκος περιστροφής
5. Άξονας περιστροφής
6. Κινητήρια άτρακτος
7. Γραμμή αναρρόφησης
8. Γραμμή συμπίεσης
9. Αντλία βοηθητική
10. Δοχείο λαδιού για διαρροές
11. Υδραυλικός κινητήρας

**Σχήμα 2.2:** Υδροστατικό σύστημα μετάδοσης

## 2.4 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Η διαφορά μεταξύ του υδροστατικού και του υδροδυναμικού συστήματος είναι ότι στο πρώτο η αντλία προσδίδει στο υγρό ενέργεια πίεσεως, ενώ στο δεύτερο κινητική ενέργεια.

Αποτελείται από μια αντλία η οποία μετατρέπει τη μηχανική ισχύ του κινητήρα σε κινητική ενέργεια ενός υγρού, το οποίο επιταχύνεται και οδηγείται σε έναν στρόβιλο, όπου η ισχύς του μετατρέπεται πάλι σε μηχανική. (σχ. 2.3) <sup>8</sup>



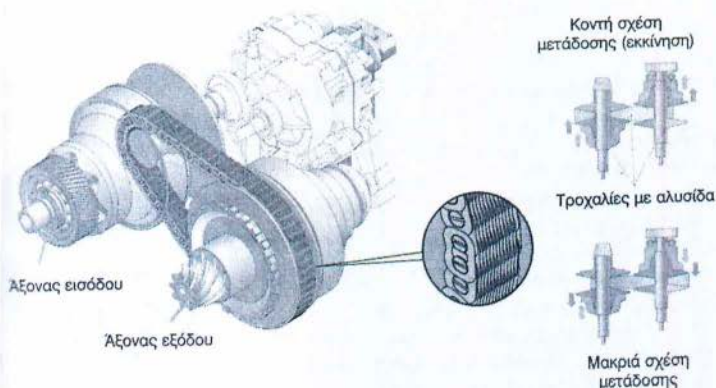
**Σχήμα 2.3:** Υδροδυναμικό σύστημα μετάδοσης

## 2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΕΧΩΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (CVT)

Ο στόχος αυτού του συστήματος είναι η συνεχής μεταβολή της σχέσης μετάδοσης κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί στην περιοχή στροφών όπου παρουσιάζεται η μέγιστη ροπή.

Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μέσω ενός ιμάντα σταθερού μήκους μεταξύ δύο τροχαλιών κωνικής διατομής και μεταβλητής διαμέτρου. Η σχέση μετάδοσης ισούται με το λόγο των διαμέτρων των τροχαλιών, οπότε από τη στιγμή που οι διάμετροι είναι μεταβλητές, το ίδιο θα είναι και η σχέση μετάδοσης. Η αλλαγή της διαμέτρου της τροχαλίας γίνεται συνήθως μέσω ενός υδραυλικού συστήματος, που μετακινεί τα κωνικά τμήματά της πάνω στον άξονά τους. (σχ. 2.4)

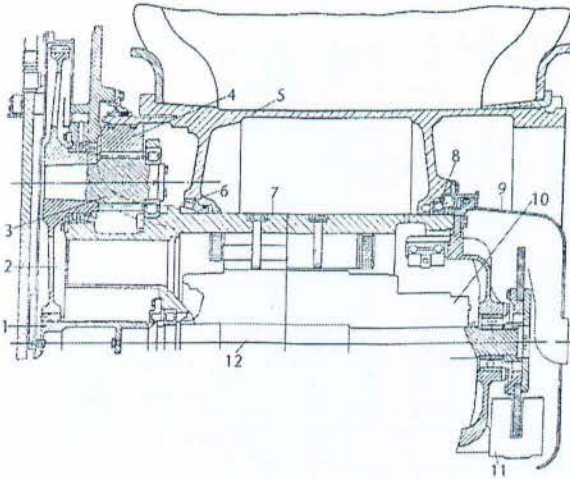
Θεωρητικά με το σύστημα αυτό μπορούν να υπάρχουν άπειρες σχέσεις μετάδοσης μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης σχέσης, στην πράξη όμως οι σχέσεις αυτές είναι συγκεκριμένες, όμως πάντα περισσότερες από τα συμβατικά κιβώτια ταχυτήτων.<sup>2</sup>



**Σχήμα 2.4:** Λειτουργικό διάγραμμα κιβωτίου CVT

## 2.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Όταν στις κινηματικές αλυσίδες η μονάδα ισχύος κινεί μια γεννήτρια η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια έναν κινητήρα ο οποίος κινεί τα εργαζόμενα μέρη (κατά κανόνα μέσω μειωτήρων στροφών), τότε μιλάμε για ηλεκτρική μετάδοση κίνησης. (σχ. 2.5)<sup>8</sup>

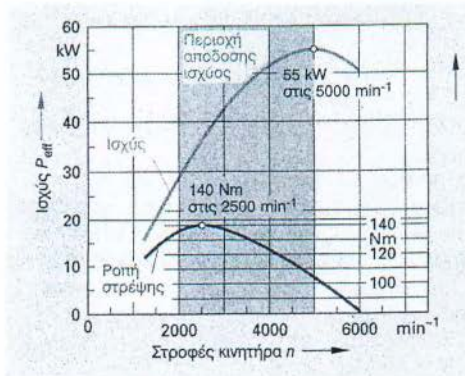


**Σχήμα 2.5:** Ηλεκτρική μετάδοση κίνησης 1. Κινητήριο γρανάζι, 2, 3. Ενδιάμεσα γρανάζια, 4. κινούμενο γρανάζι, 6, 8. Έδρανα, 7. Στάτορας, 9. Τασάκι, 10. Άγκυρα, 11. Μηχανικό φρένο, 12. Άτρακτος

### 3. ΚΙΒΩΤΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

#### 3.1 ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Κάθε κινητήρας εσωτερικής καύσης εργάζεται μεταξύ ενός ελαχίστου και ενός μεγίστου αριθμού στροφών και στην ανάλογη περιοχή στροφών αποδίδει μια καθορισμένη ροπή στρέψης (σχ. 3.1)

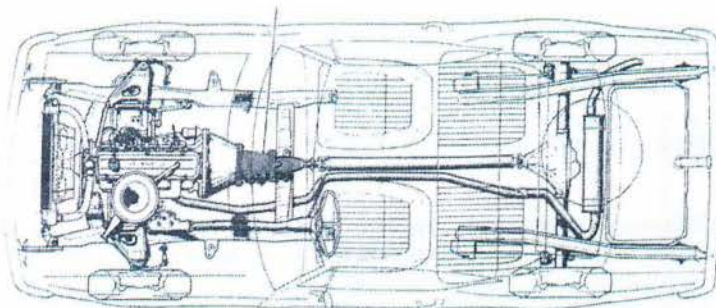


**Σχήμα 3.1:** Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος και ροπής στρέψης ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης

Οι εφικτές περιοχές φορτίου και ταχύτητας χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων και διαφορικό, καθορίζονται από την ισχύ του κινητήρα και μπορούν να παρασταθούν με μια υπερβολή στο διάγραμμα ταχύτητα κίνησης-ελκτική δύναμη.

Γι' αυτόν τον λόγο πρέπει οι στροφές των κινητήριων τροχών έναντι των στροφών του κινητήρα να τροποποιηθούν με ένα κιβώτιο ταχυτήτων και ένα διαφορικό, ώστε οι κινητήριοι τροχοί να έχουν τέτοιες στροφές οι οποίες θα επιτρέπουν τις επιθυμητές ταχύτητες.<sup>10</sup>

Το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται μεταξύ του συμπλέκτη και του κεντρικού άξονα μετάδοσης της κίνησης στο διαφορικό, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2



**Σχήμα 3.2:** Θέση του κιβωτίου ταχυτήτων στο όχημα

Σκοπός του είναι με τη βοήθεια οδοντωτών τροχών να δημιουργεί μια μεταβλητή σχέση μετάδοσης της κίνησης μεταξύ του κινητήρα και των κινητηρίων τροχών του οχήματος. Η λειτουργία του κιβωτίου ταχυτήτων βασίζεται στην αρχή των οδοντωτών τροχών, κατά την οποία, όταν δύο οδοντωτοί τροχοί με διαφορετικές διαμέτρους συνεργάζονται μεταξύ τους, αυτός που έχει τη μεγαλύτερη διάμετρο περιστρέφεται με μικρότερο αριθμό στροφών έναντι του άλλου.<sup>1</sup>

Το αποτέλεσμα της μείωσης των στροφών είναι η αύξηση της ροπής στρέψης και έτσι με τη βοήθεια του κιβωτίου ταχυτήτων επιτυγχάνουμε την αύξηση της ελκτικής δύναμης του οχήματος που είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των αυξημένων αντιστάσεων κίνησης στις διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Ακόμη το κιβώτιο ταχυτήτων μας δίνει τη δυνατότητα να κινηθούμε με μικρές ταχύτητες οι οποίες δεν εξασφαλίζονται από τον κινητήρα που έχει σχετικά υψηλές στροφές. Επίσης μας επιτρέπει την οπίσθια κίνηση και διακόπτει την σύνδεση με τον κινητήρα. Για να ικανοποιήσουμε τον απαραίτητο συνδυασμό ροπής-στροφών στους τροχούς, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες, χρησιμοποιούμε το κιβώτιο ταχυτήτων με διαφορετικές ταχύτητες.

Η εκλογή του τύπου του κιβωτίου ταχυτήτων και του αριθμού σχέσεων μετάδοσης εξαρτάται από τις συνθήκες εκμετάλλευσης του οχήματος και από τις απαιτήσεις που έχουμε ως προς την ασφάλεια, ταχύτητα, οικονομία και κόστος. Για παράδειγμα, αν με βάση τις συνθήκες εκμετάλλευσης υποθέσουμε ότι η κίνηση του αυτοκινήτου με μικρές ταχύτητες θα είναι σχετικά περιορισμένη, τότε το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να σχεδιάζεται με πολλαπλασιαστές στροφών, οπότε αυξάνεται ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος μετάδοσης της κίνησης.

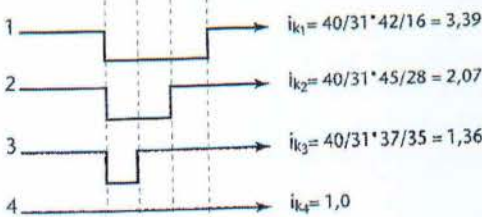
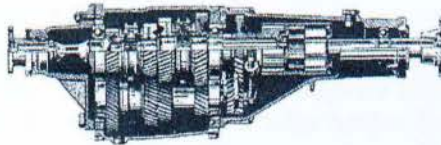
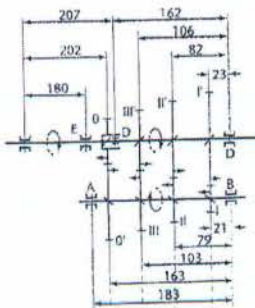
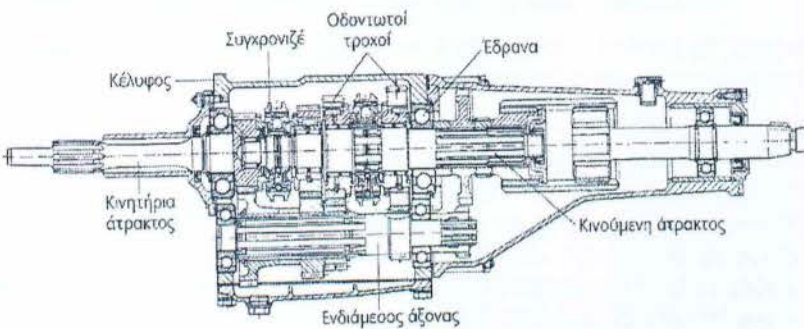
Από το κιβώτιο ταχυτήτων απαιτούμε:

- Ο αριθμός των ταχυτήτων και η σχέση μετάδοσης πρέπει να εξασφαλίζουν τις ελκτικές, επιταχυντικές και οικονομικές ιδιότητες του αυτοκινήτου στις δεδομένες συνθήκες.

- Η αλλαγή των ταχυτήτων πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς μεγάλη μυϊκή δύναμη.
- Να έχει ουδέτερη ταχύτητα για αποσύνδεση μακράς διάρκειας του κινητήρα από το σύστημα μετάδοσης της κίνησης στις στάσεις και όταν το αυτοκίνητο κινείται με αδράνεια (κυλάει).
- Να μπορούμε να αντιστρέψουμε την κίνηση για να μπορεί το αυτοκίνητο να κινηθεί προς τα πίσω.<sup>8</sup>
- Να επιτρέπει την κατεύθυνση κίνησης σε άλλους βοηθητικούς μηχανισμούς, όπως είναι: ο «γερανός», το βαρούλκο για την ανύψωση βαρών, ο «εργάτης» κλπ, σε αντιδιαστολή προς τον συμπλέκτη που αφήνει στιγμιαία αποσυμπλεγμένο τον κινητήρα από το υπόλοιπο σύστημα μετάδοσης κίνησης.<sup>1</sup>

### 3.2 ΤΥΠΟΙ ΚΙΒΩΤΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ, ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ<sup>8</sup>

Τα κυριότερα εξαρτήματα ενός κιβωτίου ταχυτήτων είναι τα εξής: (σχ. 3.3)



**Σχήμα 3.3:** Κιβώτιο ταχυτήτων

- Το κιβώτιο (κέλυφος)
- Οι άτρακτοι (κινητήρια, κινούμενη, ενδιάμεση, άξονας οπισθοπορίας)
- Οι οδοντωτοί τροχοί
- Τα έδρανα (ρουλεμάν)
- Το σύστημα επιλογής ταχυτήτων

Το κέλυφος είναι το πάνω μέρος όπου βρίσκονται όλα τα εξαρτήματα του κιβωτίου ταχυτήτων και κατασκευάζεται από φαιό σίδηρο ή από κράμα αλουμινίου.

Η κινητήρια άτρακτος ή πρωτεύων άξονας είναι ολόσωμος με έναν οδοντωτό τροχό. Είναι ο άξονας που παίρνει κίνηση από τον συμπλέκτη.

Η ενδιάμεση ή βοηθητική άτρακτος έχει ενσωματωμένο έναν πολλαπλό τροχό που συνδέεται μόνιμα με τον τροχό της κινητήριας και κινείται πάντοτε, όταν κινείται κι εκείνη.

Η κινούμενη άτρακτος βρίσκεται στην προέκταση της κύριας και παίρνει κίνηση είτε απευθείας από την κύρια άτρακτο, είτε από την ενδιάμεση και την μεταδίδει στον άξονα μετάδοσης κίνησης προς τους τροχούς.

Τέλος, ο άξονας οπισθοπορίας είναι μόνιμα σε εμπλοκή με την ενδιάμεση άτρακτο και χρησιμοποιείται όταν επιθυμείται η αντιστροφή της κίνησης.

Οι οδοντωτοί τροχοί των ατράκτων είναι σε μόνιμη εμπλοκή, ενώ παλιά τα κιβώτια ταχυτήτων κατασκευάζονταν με ολισθαίνοντες τροχούς. Το σύστημα αλλαγής ταχυτήτων στα μηχανικά κιβώτια με ολισθαίνοντες τροχούς βασίζεται στη μετακίνηση του τροχού που πρόκειται να εμπλακεί, από ένα δίχαλο, το οποίο παίρνει κίνηση από το μοχλό ταχυτήτων. Τα δίχαλα ασφαρίζονται σε συγκεκριμένες θέσεις με σύστημα σφαιρών και ελατηρίων. Ο μοχλός επιλογής ταχυτήτων μπορεί να βρίσκεται πάνω από το κιβώτιο ταχυτήτων ή μακριά από αυτό. Οι οδοντωτοί τροχοί είναι με παράλληλη οδόντωση και η λειτουργία τέτοιων κιβωτίων ταχυτήτων είναι θορυβώδης. Η δυσκολία αλλαγής ταχυτήτων και ο θόρυβος είναι η αιτία να μη χρησιμοποιούνται πλέον στα αυτοκίνητα αυτά τα κιβώτια ταχυτήτων.

Για την αλλαγή ταχυτήτων σε όλα τα σύγχρονα κιβώτια ταχυτήτων χρησιμοποιείται πλέον το σύστημα συγχρονισμού, με το οποίο επιτυγχάνεται η εξίσωση των περιφερειακών ταχυτήτων των δύο οδοντωτών τροχών που πρόκειται να εμπλακούν.

Η λειτουργία του μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων με μόνιμη εμπλοκή των οδοντωτών τροχών έχει ως εξής: με τη βοήθεια του συστήματος επιλογής ταχυτήτων, κατά την κρίση του οδηγού, εμπλέκονται διαφορετικά ζευγάρια οδοντωτών τροχών (με διαφορετική σχέση μετάδοσης) και η ροπή από την ελκυσσα (κινητήρια) άτρακτο μέσω της ενδιάμεσης ατράκτου, μεταδίδεται στην ελκυσόμενη (κινούμενη) άτρακτο μειωμένη ή αυξημένη ανάλογα με τις συνθήκες κίνησης. Τα διαφορετικά ζευγάρια έχουν διαφορετική σχέση μετάδοσης. (σχ. 3.3)

Η διάκριση των κιβωτίων ταχυτήτων γίνεται:

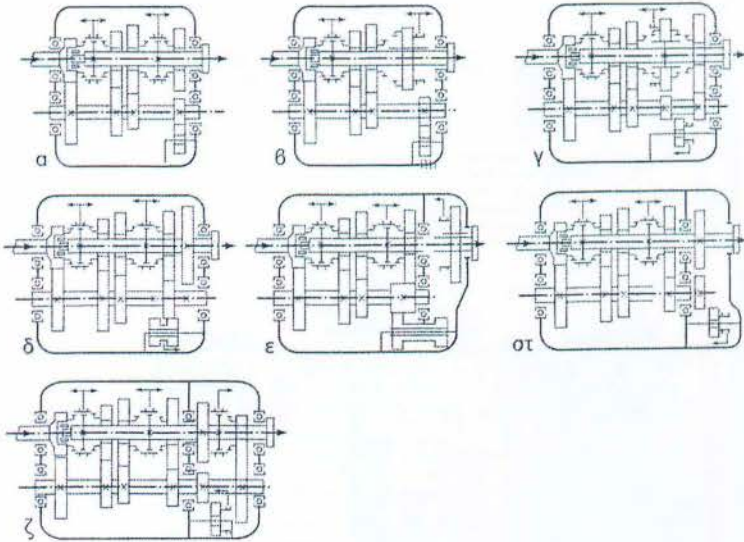


## A. Ανάλογα με τον τρόπο αλλαγής της σχέσης μετάδοσης.

Τα κιβώτια ταχυτήτων διακρίνονται σε:

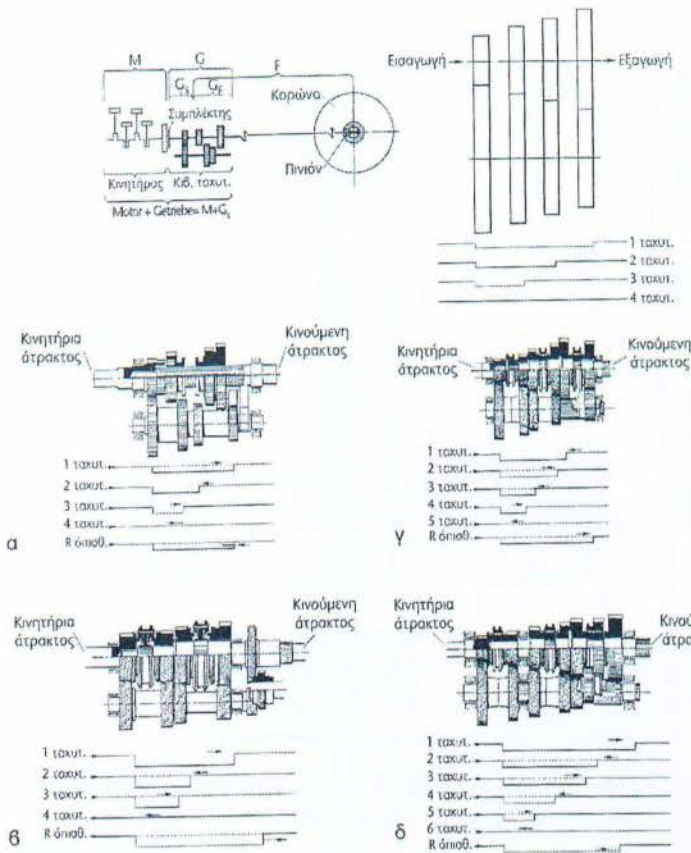
### I. Κλιμακωτά (μηχανικά) κιβώτια ταχυτήτων

Τα κλιμακωτά κιβώτια ταχυτήτων έχουν σταθερές ορισμένες σχέσεις μετάδοσης και ανάλογα με τον αριθμό ταχυτήτων τα διακρίνουμε σε: (σχ.3.4 και σχ.3.5)



**Σχήμα 3.4:** Σχήμα κλιμακωτών κιβωτίων ταχυτήτων για επιβατικά αυτοκίνητα, α,β – τριών ταχυτήτων, γ,δ,ε,στ – τεσσάρων ταχυτήτων, ζ – πέντε ταχυτήτων.

- Κιβώτια τριών ταχυτήτων (σχ.3.4α,β)
- Κιβώτια τεσσάρων ταχυτήτων (σχ.3.4γ,δ,ε,στ, σχ.3.5α,β)
- Κιβώτια πέντε και έξι ταχυτήτων κλπ. (σχ.3.4ζ, σχ.3.5γ,δ)



**Σχήμα 3.5:** Κινηματικά σχήματα κιβωτίων ταχυτήτων για πισωκίνητα οχήματα

## II. Κιβώτια ταχυτήτων συνεχούς μεταβολής της σχέσης μετάδοσης

Τα κιβώτια ταχυτήτων συνεχούς μεταβολής της σχέσης μετάδοσης, ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της ροπής στρέψης διακρίνονται σε:

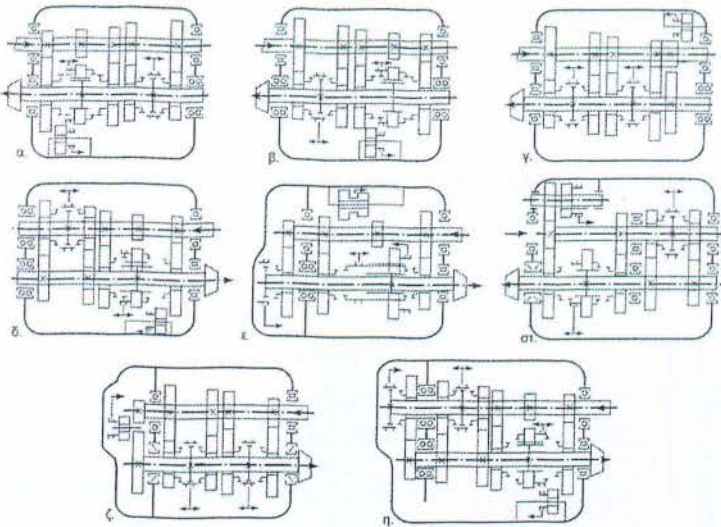
- Υδραυλικά (υδροστατικά και υδροδυναμικά)
- Ηλεκτρικά
- Μηχανικά

## III. Σύνθετα κιβώτια ταχυτήτων

Τα σύνθετα κιβώτια ταχυτήτων είναι συνδυασμός μετατροπέα ροπής με κλιμακωτό κιβώτιο ταχυτήτων περιστρεφόμενων συνήθως αξόνων (εφαρμογή πλανητικού συστήματος)

## B. Ανάλογα με τον τρόπο αλλαγής της ταχύτητας ή ανάλογα με τον τρόπο χειρισμού των κιβωτίων ταχυτήτων διακρίνουμε:

### I. Μηχανικά ή χειροκίνητα (σχ.3.6)



**Σχήμα 3.6:** Σχήμα κλιμακωτών κιβωτίων ταχυτήτων με απευθείας μετάδοση της κίνησης στη γωνιακή μετάδοση για επιβατικά αυτοκίνητα, α-ζ – τεσσάρων ταχυτήτων, η – πέντε ταχυτήτων

Στα μηχανικά κιβώτια ταχυτήτων η αλλαγή των ταχυτήτων γίνεται από τον οδηγό με τη βοήθεια του μοχλού επιλογής ταχυτήτων (λεβιές).

## II. Ημιαυτόματα κιβώτια ταχυτήτων

Στα ημιαυτόματα κιβώτια ταχυτήτων η αλλαγή των ταχυτήτων γίνεται με το μοχλό επιλογής ταχυτήτων και ο συμπλέκτης έχει αυτόματη σύμπλεξη και αποσύμπλεξη, π.χ. με την αλλαγή της θέσης του πεντάλ του γκαζιού. Στα ημιαυτόματα κιβώτια ταχυτήτων έχει καταργηθεί το πεντάλ του συμπλέκτη.

## III. Αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων

Στα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων η αλλαγή των ταχυτήτων γίνεται αυτόματα χωρίς καμιά επέμβαση του οδηγού, εκτός από την περίπτωση της οπίσθιας κίνησης. Τα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων εξασφαλίζουν τις καλύτερες επιδόσεις του οχήματος ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του. Αρκετά οχήματα έχουν σήμερα αυτόματο σύστημα αλλαγής ταχυτήτων ηλεκτρονικά ελεγχόμενο και το ίδιο το κιβώτιο έχει και χειροκίνητο χειρισμό.

Συγκριτικά, τα μηχανικά κιβώτια ταχυτήτων έχουν υψηλό συντελεστή μηχανικής απόδοσης  $\eta=0,96-0,98$ , είναι πολύ απλά στην κατασκευή τους και έχουν χαμηλό κόστος, γι' αυτό χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των οχημάτων. Μειονέκτημα των μηχανικών κιβωτίων είναι ο περιορισμένος αριθμός των σχέσεων μετάδοσης. Αυξάνοντας τον αριθμό ταχυτήτων (σχέση μετάδοσης  $i$ ) αυξάνεται και το βάρος του κιβωτίου και ο χειρισμός γίνεται πολύ δύσκολος.

Έτσι, στα επιβατικά με εμπρόσθια κίνηση χρησιμοποιούνται κιβώτια ταχυτήτων με 4 ή 5 βαθμίδες. Στα φορτηγά και ειδικά στα φορτηγά βαρέως τύπου, οι ταχύτητες φτάνουν από 8 έως 16. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κιβωτίου ταχυτήτων με μεγάλο αριθμό σχέσεως μετάδοσης ή χρησιμοποιώντας βοηθητικό κιβώτιο ταχυτήτων.

### 3.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ<sup>8</sup>

Η μέθοδος εξαρτάται:

- Από το είδος του αυτοκινήτου
- Από το είδος του κιβωτίου ταχυτήτων

Πρώτα καθορίζεται η σχέση μετάδοσης  $i_{kn}$  της τελευταίας βαθμίδας (ταχύτητας) και της πρώτης βαθμίδας  $i_{k1}$  και αφού καθοριστεί ο αριθμός των ταχυτήτων  $k$  κατανέμονται οι ενδιάμεσες βαθμίδες. Δεχόμαστε ότι το αυτοκίνητο κινείται σε οριζόντιο δρόμο με μηδενική ταχύτητα ανέμου.

#### A. Καθορισμός της σχέσης μετάδοσης $i_{kn}$ της τελευταίας βαθμίδας και $i_{\delta}$ του διαφορικού.

Η σχέση μετάδοσης  $i_{kn}$  της τελευταίας βαθμίδας είναι η μικρότερη σχέση μετάδοσης του συστήματος μετάδοσης (θέχει τη μικρότερη τιμή) και αντιστοιχεί στη μικρότερη αντίσταση της κίνησης και στη μέγιστη ταχύτητα του αυτοκινήτου.

Η ελάχιστη σχέση μετάδοσης είναι το γινόμενο της γωνιακής σχέσης μετάδοσης στο διαφορικό και της τελευταίας βαθμίδας του κιβωτίου ταχυτήτων.

$$i_{\min} = i_{kn} \times i_{\delta}$$

όπου:  $i_{kn}$  είναι η τελευταία σχέση μετάδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων

$i_{\delta}$  είναι η σχέση μετάδοσης πηνίου-κορώνας

Είναι  $i_{\min} = i_{\delta}$  όταν το  $i_{kn} = 1$ , δηλαδή οι στροφές του κινητήριου και του κινούμενου άξονα του κιβωτίου ταχυτήτων είναι ίδιες.

Ισχύει:

$$n_{\text{τρ,max}} = V_{\text{amax}} \times 60 / \pi \times d_{\text{τρ}} \times 3,6 \text{ (στρ/min)}$$

όπου:  $n_{\text{τρ,max}}$  είναι οι μέγιστες στροφές τροχού

$V_{\text{amax}}$  είναι η μέγιστη ταχύτητα του αυτοκινήτου

Επειδή ισχύει:

$$n_{\text{τρ,max}} = n_{\text{max}} / i_{\min},$$

όπου  $n_{\text{max}}$  είναι οι μέγιστες στροφές του κινητήρα ανά λεπτό, τελικά

ισχύει:

$$i_{\min} = \pi \times d_{\text{τρ}} \times 3,6 \times n_{\text{max}} / V_{\text{amax}} \times 60$$

Αν  $i_{kn} = 1$ , τότε:

$$i_{\delta} = i_{\min} = \pi \times d_{\text{TP}} \times 3,6 \times \eta_{\max} / V_{\text{amax}} \times 60$$

## B. Καθορισμός της σχέσης μετάδοσης της πρώτης βαθμίδας $i_{k1}$ .

Η σχέση μετάδοσης της πρώτης βαθμίδας  $i_{k1}$  είναι η μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης του συστήματος μετάδοσης (έχει την μεγαλύτερη τιμή) και αντιστοιχεί στη μέγιστη αντίσταση της κίνησης. Επιτυγχάνεται η μέγιστη κινητήρια ροπή στους τροχούς  $M_{\text{TP}}$ , με τη μέγιστη ελκτική δύναμη του κινητήρα  $P_{\text{max}}$

$$P_{\text{TP}} = M_{\text{TP}} / r_{\text{TP}} = M_{\text{km}} \times i_{\text{max}} \times \eta_{\text{ολ}} / r_{\text{TP}}$$

όπου:  $i_{\text{max}} = i_{k1} \times i_{\delta}$

$$\eta_{\text{ολ}} = \eta_{\text{κ.τ.}} \times \eta_{\delta}$$

$\eta_{\text{κ.τ.}} = 0,955$  βαθμός απόδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων για όλες τις ταχύτητες, εκτός όταν  $i_{\text{kn}} = 1$

$\eta_{\text{κ.τ.}} = 0,97$  βαθμός απόδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων όταν έχουμε  $i_{\text{kn}} = 1$

$\eta_{\delta} = 0,94$  βαθμός απόδοσης του διαφορικού

Η μέγιστη σχέση μετάδοσης κίνησης είναι το γινόμενο της σχέσης μετάδοσης διαφορικού (γωνιακή μετάδοση) και της πρώτης σχέσης μετάδοσης (βαθμίδα) του κιβωτίου ταχυτήτων

$$i_{\text{max}} = i_{k1} \times i_{\delta}$$

όπου:  $i_{k1}$  είναι η σχέση μετάδοσης της πρώτης ταχύτητας του κιβωτίου ταχυτήτων

$i_{\delta}$  είναι η σχέση μετάδοσης πηνίου-κορώνας

Ο καθορισμός της  $i_{\text{max}}$  γίνεται με δύο τρόπους:

- Με βάση τη μέγιστη ικανότητα ανάβασης
- Με βάση τη μέγιστη επιτάχυνση κατά το ξεκίνημα

Ο καθορισμός των βαθμίδων του κιβωτίου ταχυτήτων ολοκληρώνεται με τον καθορισμό των ενδιάμεσων σχέσεων μετάδοσης, όπου κριτήρια είναι η δυναμική, η κατανάλωση και η μέση ταχύτητα κίνησης του οχήματος. Στη θεωρία του οχήματος εξετάζονται διάφορες σειρές των βαθμίδων μετάδοσης, όπως η γεωμετρική, η αριθμητική, η αρμονική και άλλες.

## 3.4 ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΚΙΒΩΤΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ – ΚΙΒΩΤΙΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Σε πολλά ειδικά οχήματα, εκτός από το κύριο κιβώτιο ταχυτήτων στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης εγκαθίσταται ένα ή πολλά επιπρόσθετα κιβώτια ταχυτήτων διαφορετικού προορισμού (λειτουργίας).

Τα **βοηθητικά κιβώτια** ταχυτήτων χρησιμοποιούνται στα συστήματα μετάδοσης της κίνησης των οχημάτων, τα οποία για την κίνησή τους σε

δύσκολες συνθήκες είναι απαραίτητο να έχουν μεγαλύτερη τιμή της σχέσης μετάδοσης καθώς και μεγαλύτερο αριθμό σχέσεων μετάδοσης από αυτά του κύριου κιβωτίου ταχυτήτων.

Τα βοηθητικά κιβώτια μπορούν να τοποθετούνται και μπροστά και πίσω από το κύριο κιβώτιο ταχυτήτων και ανάλογα με τις ανάγκες της κίνησης να έχουν τον κατάλληλο αριθμό σχέσεων μετάδοσης.<sup>8</sup>

Στην περίπτωση που σε ένα όχημα πρέπει να μεταδίδεται η κίνηση και κατ' επέκταση η ροπή του κινητήρα ταυτόχρονα σε πολλούς άξονες, τότε είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός **κιβωτίου διανομής**, που τοποθετείται μετά το κιβώτιο ταχυτήτων.

Η αποστολή του είναι η διανομή της ροπής στρέψης σε περισσότερους κινητήριους άξονες.

Ανάλογα με το σκοπό χρησιμοποίησης του οχήματος, πρέπει το κιβώτιο διανομής να ικανοποιεί και άλλες απαιτήσεις:

- Εξίσωση στροφών μεταξύ των κινητήριων αξόνων σε σχήματα με μόνιμη κίνηση σε όλους τους τροχούς.
- Φραγή της εξίσωσης των στροφών αν υπάρχει μεγάλη διαφορά ολίσθησης μεταξύ των κινητήριων τροχών.<sup>10</sup>
- Αύξηση της ελκτικής δύναμης στους κινητήριους άξονες η οποία είναι αναγκαία για να ξεπεραστούν οι δυνάμεις αντίστασης κατά την κίνηση του οχήματος σε ανώμαλα εδάφη ή ανηφόρα.<sup>8</sup>
- Διεύρυνση του λόγου μετάδοσης π.χ. σε αυτοκίνητα ανωμάλου εδάφους και φορτηγά- λεωφορεία.
- Δευτερεύουσα κίνηση σε μηχανήματα παραγωγής έργου.<sup>10</sup>
- Δυνατότητα κίνησης του οχήματος με την ελάχιστη ταχύτητα ( $V_{\min}=2-5$  km/h) όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε καθεστώς μέγιστης ροπής<sup>8</sup>.

## 4. ΠΛΑΝΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

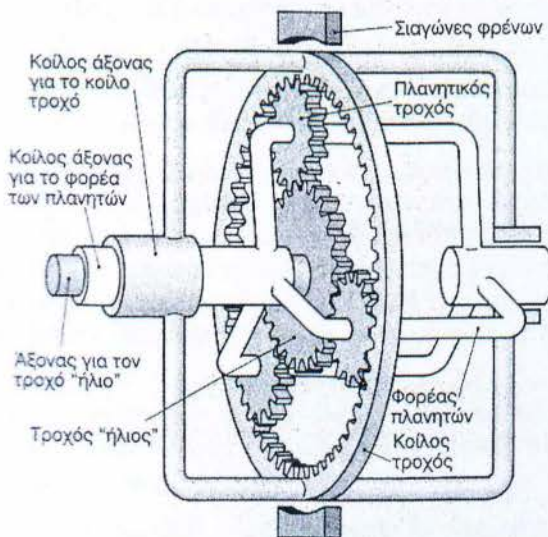
### 4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Το τεχνολογικά προηγμένο πλανητικό σύστημα χρησιμοποιείται στις κατασκευές εδώ και εκατοντάδες χρόνια, πριν οι επιστήμονες καταλήξουν στα εξαιρετικά χαρακτηριστικά επίδοσής του<sup>11</sup>.

Με την τοποθέτηση πλανητικών κιβωτίων ταχυτήτων η αλλαγή των βαθμίδων γίνεται χωρίς διακοπή της μεταδιδόμενης ισχύος, που είναι απαραίτητη για την εξίσωση των γωνιακών ταχυτήτων των περιστρεφόμενων εξαρτημάτων του κιβωτίου ταχυτήτων.

Ένα πλανητικό σύστημα κίνησης αποτελείται από: (σχ. 4.1)

- Έναν κοίλο τροχό, τη στεφάνη ή κορώννα, που φέρει εσωτερική οδόντωση.
- Έναν κεντρικό οδοντωτό τροχό που ονομάζεται «ήλιος».
- Δύο, τρεις, ή περισσότερους οδοντωτούς τροχούς που καλούνται «πλανήτες» και οι οποίοι είναι πάντοτε σε εμπλοκή μεταξύ στεφάνης και ήλιου και περιστρέφονται επί αξονίσκων.
- Το «φορέα των πλανητών», επί του οποίου είναι στερεωμένοι οι προηγούμενοι αξονίσκοι. Ο φορέας αυτός καταλήγει σε έναν άξονα, ο οποίος είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του ήλιου, ενώ και οι δύο αυτοί άξονες είναι απόλυτα κεντραρισμένοι στην οδοντωτή στεφάνη, η οποία και φέρει το δικό της άξονα.<sup>1</sup>



Σχήμα 4.1: Απλό πλανητικό συγκρότημα

Οι αξονίσκοι των πλανητών είναι έτσι στερεωμένοι στον φορέα, ώστε οι μεταξύ τους αποστάσεις να διατηρούνται σταθερές. Ο άξονας του φορέα περιστρέφεται όταν τα γρανάζια παίρνουν κίνηση.

Η κίνηση στο πλανητικό σύστημα μπορεί να μεταδοθεί μέσω καθενός από τα εξαρτήματά του, ενώ ο άξονας ενός από τα άλλα θα πρέπει να είναι σταθεροποιημένος. Αυτό γίνεται συνήθως μέσω μιας ταινιοπαίδης (φρένο).<sup>2</sup>

Έτσι, τα παραπάνω σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μειωτήρας στροφών, δηλαδή σαν υποπολλαπλασιαστής τους σε ένα κιβώτιο ταχυτήτων, ή και σαν πολλαπλασιαστής τους, γνωστός σαν Over Drive, είτε σε συνδυασμό με άλλα πλανητικά συστήματα στο αυτόματα κιβώτιο ταχυτήτων.<sup>1</sup>

Σε σύγκριση με τους σταθερούς μονοβάθμιους μειωτήρες τα απλά πλανητικά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Με τις ίδιες διαμέτρους οδοντωτών τροχών μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης (3,5 έως 13).
- Ομοαξονική είσοδο και έξοδο.<sup>5</sup>
- Υψηλότερος συντελεστής απόδοσης επειδή η ισχύς μεταδίδεται χωρίς απώλειες (0,97 έως 0,98 %).
- Η αλλαγή των ταχυτήτων γίνεται με τη βοήθεια συμπλεκτών με πολλαπλούς δίσκους τριβής και φρένα. Αυτό επιτρέπει την αυτοματοποίηση των διαδικασιών αλλαγής ταχυτήτων και είναι δυνατόν η αλλαγή να πραγματοποιείται χωρίς διακοπή της μετάδοσης ισχύος.<sup>8</sup>
- Χαμηλότερες τιμές ταχύτητας ολίσθησης, που είναι πλεονέκτημα για «άρπαγμα», αλλά μειονέκτημα για αργόστροφους κινητήρες με κίνδυνο φθοράς.
- Εξοικονόμηση χώρου. Η ρύθμιση στροφών με πλανητικά συστήματα επιτρέπει πολλαπλά στάδια μείωσης στροφών σε μικρότερο χώρο.
- Υψηλή ροπή στρέψης. Επειδή η ροπή μεταδίδεται συνεχώς και μοιράζεται μεταξύ πολλών σετ των δοντιών στο πρωτεύον γρανάζι κίνησης, η ικανότητα μετάδοσης ροπής αυξάνεται σημαντικά.
- Αυξημένη αξιοπιστία και εμφάνιση ακτινικών φορτίων μόνο στον άξονα εξόδου, καθώς στους άξονες του πλανητικού συστήματος δεν εμφανίζονται καθόλου ακτινικά φορτία (σε αντίθεση με τα συστήματα παράλληλων δοντιών). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ενώ η μείωση των ακτινικών φορτίων στο κιβώτιο ταχυτήτων επιτρέπει να αναπτυχθούν μεγαλύτερα ακτινικά φορτία στον κινητήριο μηχανισμό.
- Εξάλειψη της πολυπλοκότητας των συνδέσεων και του κόστους και χρόνου εργασίας για τη σωστή ευθυγράμμιση του κιβωτίου ταχυτήτων με τον μηχανισμό της κινητήριας δύναμης.
- Ευελιξία της ισχύος εισόδου. Αυτό επιτρέπει το πλανητικό σύστημα να συνδυάζεται με μια μεγάλη γκάμα ηλεκτρικών κινητήρων, άλλων τύπων κιβωτίων ταχυτήτων και μειωτήρων.<sup>11</sup>



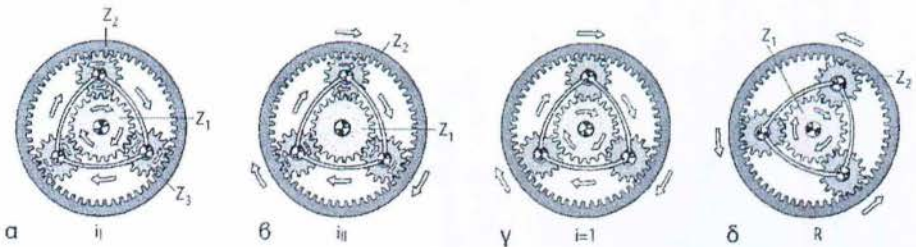
Παράλληλα, τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Κατασκευαστική πολυπλοκότητα, περισσότερα εξαρτήματα, περισσότερες κατεργασίες, δυσκολότερη επισκευή και συντήρηση.
- Η ελάχιστη δυνατή σχέση μετάδοσης (3,5) είναι αρκετά μεγάλη.
- Ο όγκος του λιπαντικού είναι μικρότερος και έτσι είναι χειρότερη η ψύξη.<sup>5</sup>

## 4.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι διάφοροι λόγοι μετάδοσης με τη χρήση ενός πλανητικού συστήματος πραγματοποιούνται δίνοντας κίνηση είτε στον ήλιο, είτε στην στεφάνη, είτε στον φορέα των πλανητών. Εδώ θα πρέπει ένα από τα μη κινητήρια μέρη να είναι ακίνητο από ένα φρένο. Η έξοδος της κίνησης γίνεται από εκείνο το μέρος που δεν είναι ούτε κινητήριο, ούτε πέδηση.<sup>10</sup>

Σύμφωνα με το σχ. 4.2 και τον πίνακα 4.1, σε ένα απλό πλανητικό σύστημα με τρεις ήλιους μπορούμε να διακρίνουμε τις περιπτώσεις<sup>8</sup>:



**Σχήμα 4.2:** Κινηματική διάταξη ενός πλανητικού συστήματος

1. Αν έχουμε την περίπτωση του σχήματος 4.2α και του πίνακα 4.1-N1: η οδοντωτή στεφάνη (2) κρατείται ακίνητη με φρένο και ο ήλιος (1) περιστρέφεται, οπότε θα παρασύρει τους πλανήτες (3) σε αντίθετη περιστροφή. Επειδή όμως η στεφάνη είναι ακίνητη θα κινηθεί ο φορέας των πλανητών (4) με αντίθετη φορά με αυτή του ήλιου και στην έξοδο θα έχουμε πρώτη ταχύτητα.
2. Αν έχουμε την περίπτωση του σχήματος 4.2β και του πίνακα 4.1-N2: ο ήλιος (1) είναι ακίνητος, κινείται η οδοντωτή στεφάνη (2) και θα παρασύρει τους πλανήτες (3) στην ίδια φορά, οπότε ο φορέας πλανητών (4) μεταδίδει την κίνηση κατά την ίδια φορά περιστροφής και στην έξοδο θα έχουμε δεύτερη ταχύτητα.

N	Ταχύτητα	Σχέση μετάδοσης	Από τον κινητήρα	Προς την κινούμενη ατρ.	Ακίνητο στοιχείο	
1	I ταχύτητα		$i_I = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$	κινείται: ο ήλιος (1)	μεταδίδει: ο φορέας πλανητών(4)	η στεφάνη (2)
2	II ταχύτητα		$i_{II} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$	κινείται: η στεφάνη (2)	μεταδίδει: ο φορέας πλανητών(4)	ο ήλιος (1)
3	III Πολλαπλασιασμό στροφών		$i_{od} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$	κινείται: ο φορέας πλανητών(4)	μεταδίδει: η στεφάνη (2)	ο ήλιος (1)

N	Ταχύτητα	Σχέση μετάδοσης	Από τον κινητήρα	Προς την κινούμενη ατρ.	Ακίνητο στοιχείο
---	----------	-----------------	------------------	-------------------------	------------------

4	IV over drive		$i_{od}'' = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$	κινείται: ο φορέας πλανητών(4)	μεταδίδει: ο ήλιος (1) η στεφάνη (2)
---	---------------	--	------------------------------------	--------------------------------	---

5	απ' ευθείας μετάδοση	<p>όλα είναι συνδεδεμένα "μπλοκαρισμένα" μεταξύ τους</p>	$i_{III} = 1$	κινείται ο ήλιος (1) η στεφάνη (2) ο φορέας πλανητών (4)	μεταδίδει: ο ήλιος(1) η στεφάνη (2) ο φορέας πλανητών(4)	Όλα τα στοιχεία περιστρέφονται όμως δύο από αυτά είναι μπλοκαρισμένα
---	----------------------	--	---------------	--	--	--

6	Όπισθεν R		$i_R' = \frac{Z_2}{Z_1}$	κινείται: ο ήλιος (1)	μεταδίδει: η στεφάνη (2)	ο φορέας πλανητών(4)
---	-----------	--	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

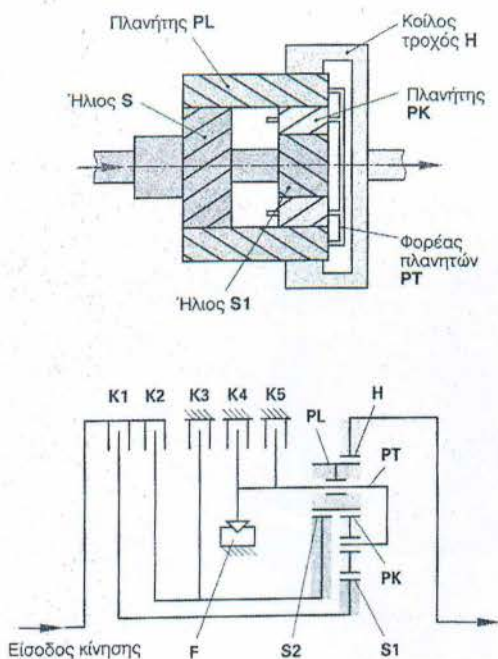
N	Ταχύτητα	Σχέση μετάδοσης	Από τον κινητήρα	Προς την κινούμενη ατρ.	Ακίνητο στοιχείο	
7	Όπισθεν R πολλαπλασιασμό στροφών (over drive)		$i_R'' = \frac{Z_1}{Z_2}$	κινείται: η στεφάνη(2)	μεταδίδει: ο ήλιος (1)	ο φορέας πλανητών(4)
8	ουδέτερη		Κανένα στοιχείο δεν συγκρατείται από —την περιστροφή και δεν μπλοκάρεται από άλλα στοιχεία			

3. Αν ο ήλιος (1) είναι ακίνητος, όπως στην περίπτωση του πίνακα 4.1-N3 και κινητήρια άτρακτος είναι ο φορέας των πλανητών (4), οι πλανήτες (3) θα κινηθούν κυλιόμενοι πάνω στον ακίνητο ήλιο και περιστρεφόμενοι γύρω από τον άξονά τους. Οι πλανήτες θα μεταδώσουν την κίνηση στη στεφάνη (2), η οποία θα περιστρέφεται γρηγορότερα επειδή δέχεται δύο κινήσεις και θα έχουμε πολλαπλασιασμό στροφών στην έξοδο.
4. Στην περίπτωση του σχήματος 4.2γ και του πίνακα 4.1-N5, ο ήλιος (1) και ο φορέας των πλανητών (4) κινούνται μαζί να είναι συνδεδεμένα (μπλοκαρισμένα), η στεφάνη (2) θα τους ακολουθήσει στην ίδια φορά περιστροφής και θα έχουμε τα τρία μέρη του πλανητικού μηχανισμού να περιστρέφονται με την ίδια φορά, με αποτέλεσμα να έχουμε απευθείας μετάδοση της κίνησης ( $i=1$ ).
5. Στην περίπτωση του σχήματος 4.2δ και του πίνακα 4.1-N1, ο φορέας των πλανητών (4) είναι ακίνητος, κινητήρια άτρακτος είναι η άτρακτος του ήλιου (1), οι πλανήτες (3) περιστρέφονται αντίστροφα και επειδή ο φορέας των πλανητών είναι σταθερός, οι πλανήτες παρασέρνουν την οδοντωτή στεφάνη (2) κατά την ίδια φορά, οπότε έχουμε την όπισθεν (αναστροφή της περιστροφής) μετάδοση.<sup>8</sup>
6. Στις περιπτώσεις του πίνακα 4.1-N4 και 4.1-N7 μπορούμε να έχουμε πολλαπλασιασμό στροφών (Over Drive). Στην περίπτωση 4.1-N4 η στεφάνη (2) παραμένει ακίνητη, ενώ κινητήρια άτρακτος είναι η άτρακτος του φορέα των πλανητών (4) και κινούμενη είναι η άτρακτος του ήλιου (1) και έχουμε πολλαπλασιασμό των στροφών σε εμπρός κίνηση. Στην περίπτωση 4.1-N7 ακίνητος παραμένει ο φορέας των πλανητών (4), ενώ κινητήρια είναι η στεφάνη (2) και κινούμενη είναι η άτρακτος του ήλιου (1), με αποτέλεσμα να έχουμε πολλαπλασιασμό των στροφών στην όπισθεν.

Ένα απλό πλανητικό σύστημα όπως αυτό που περιγράφηκε παραπάνω δεν είναι κατάλληλο για αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων, διότι δεν έχει λόγους μετάδοσης χρήσιμους στην πράξη και χρειάζεται δύο άξονες για την έξοδο της κίνησης. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται 2 ή 3 τέτοια συγκροτήματα συνδεδεμένα σε σειρά.

- **A** - Στο σχήμα 4.3 δίνεται σαν παράδειγμα το συγκρότημα Ravigneaux το οποίο αποτελείται από:

- Έναν κοινό κοίλο τροχό (στεφάνη)
- Έναν κοινό φορέα πλανητών
- Δύο ήλιους διαφορετικού μεγέθους
- Πλανήτες διαφορετικού μήκους (μικρού K και μεγάλου L).

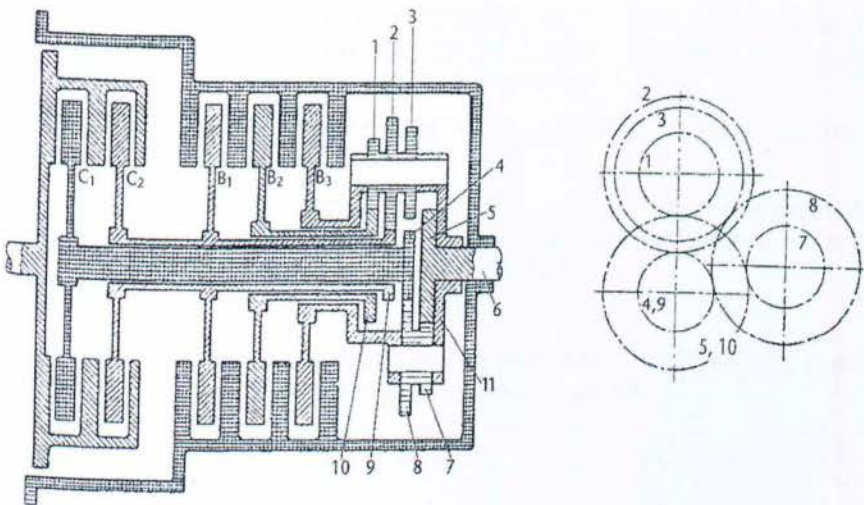
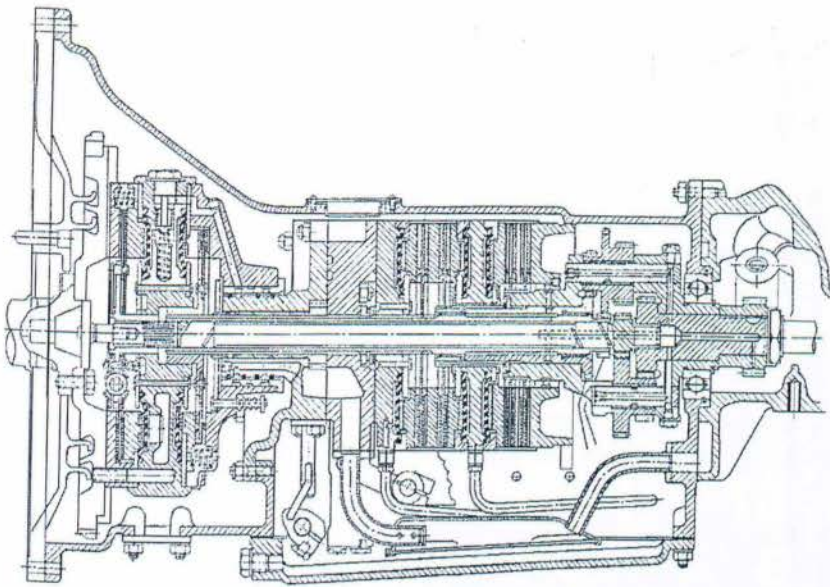


**Σχήμα 4.3:** Πλανητικό συγκρότημα Ravigneaux

- K1: κινητήριος συμπλέκτης. Αυτός κινεί τον οπίσθιο ήλιο S1.
- K2: κινητήριος συμπλέκτης. Αυτός κινεί τον οπίσθιο ήλιο S2.
- K3: συμπλέκτης – φρένο. Αυτός ακινητοποιεί τον ήλιο S2.
- K4: συμπλέκτης – φρένο. Αυτός ακινητοποιεί τον F.
- K5: συμπλέκτης – φρένο. Αυτός ακινητοποιεί τον φορέα πλανητών PT.
- F: συμπλέκτης μιας διεύθυνσης («ελεύθερο»). Αυτός υποστηρίζει τον φορέα πλανητών PT.

Οι διάφοροι λόγοι μετάδοσης επιτυγχάνονται, όπως και στα απλά πλανητικά συστήματα, με κίνηση ή ακινητοποίηση των διαφόρων οδοντοτροχών ή και όλου του συστήματος. Η έξοδος της κίνησης γίνεται από τη στεφάνη ή τον φορέα των πλανητών.<sup>10</sup>

- Β - Άλλο παράδειγμα δίνεται στο σχήμα 4.4, όπου φαίνεται ένα κλιμακωτό κιβώτιο ταχυτήτων πλανητικής διάταξης, το οποίο έχει δύο ήλιους και δύο ομάδες πλανητών.



όπου:  $C_1, C_2$  – συμπλέκτες

$B_1, B_2, B_3$  – φρένα

1,2,3 – τριπλός πλανήτης ή ομάδα τριών πλανητών

4 – ήλιος

7,8 – διπλός πλανήτης

5 – οδοντωτός τροχός

9 – ήλιος

6 – κινούμενη άτρακτος

10 – οδοντωτός τροχός

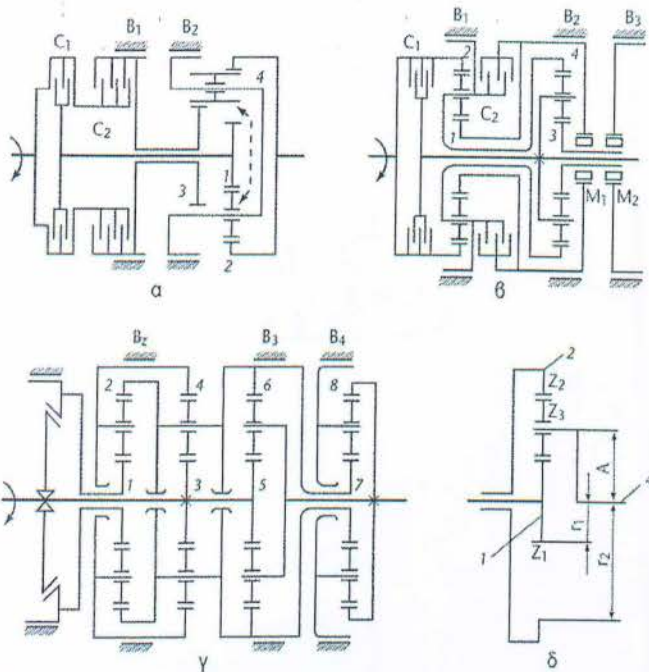
11 – φορέας πλανητών

**Σχήμα 4.4:** Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων και κινηματικό σχήμα της πλανητικής του διάταξης

Η λειτουργία αυτού του πλανητικού κιβωτίου είναι:

- 1<sup>η</sup> Ταχύτητα: σύμπλεξη του συμπλέκτη C1, ακινητοποίηση του φρένου B3, ακίνητος ο φορέας πλανητών (11). Η κίνηση από τον ήλιο (4) μεταδίδεται μέσω των πλανητών (7,8) στον τροχό (5) της κινούμενης ατράκτου (6).
  - 2<sup>η</sup> Ταχύτητα: σύμπλεξη του συμπλέκτη C1, ακινητοποίηση του φρένου B2. Η κίνηση από τον ήλιο (4), μέσω των τροχών (8) και (3) μεταδίδεται στον τροχό (1) (του τριπλού πλανήτη 1,2,3) ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ακίνητο τροχό (10) και αναγκάζει τον φορέα πλανητών (11) να περιστρέφεται.
  - 3<sup>η</sup> Ταχύτητα: σύμπλεξη του συμπλέκτη C1, ακινητοποίηση του φρένου B1. Η κίνηση από τον ήλιο (4), μέσω των τροχών (8,3) μεταδίδεται στον τροχό (2) (του τριπλού πλανήτη 1,2,3) ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ακίνητο τροχό (9) και αναγκάζει τον φορέα πλανητών (11) να περιστρέφεται.
  - 4<sup>η</sup> Ταχύτητα: σύμπλεξη των συμπλεκτών C1 και C2, όλα είναι συνδεδεμένα: ο ήλιος, ο φορέας πλανητών και η στεφάνη περιστρέφονται μαζί,  $\tau_{oi}=1$ , όλο το πλανητικό σύστημα συμπεριφέρεται σαν μπλοκαρισμένο.
  - Όπισθεν: σύμπλεξη του συμπλέκτη C2, ακινητοποίηση του φρένου B3, ακίνητος ο φορέας πλανητών (11). Η κίνηση από τον ήλιο (9) μέσω (2,3,8,7,5) μεταφέρεται στην κινούμενη άτρακτο (6).
  - Ουδέτερη θέση: αποσύμπλεξη των συμπλεκτών C1 και C2 και τα φρένα B1, B2, B3 είναι ελεύθερα.
  - Η ταχύτητα με την οποία κινείται το αυτοκίνητο και η υποπίεση που δημιουργείται με την αναρρόφηση του κινητήρα καθορίζουν τη στιγμή της μεταβίβασης από τη μία ταχύτητα στην άλλη.
- Γ - Σε κάποια κιβώτια ταχυτήτων έχουμε δύο ή περισσότερες ομάδες πλανητών με έναν ή δύο ήλιους, όπως στο σχήμα 4.5.

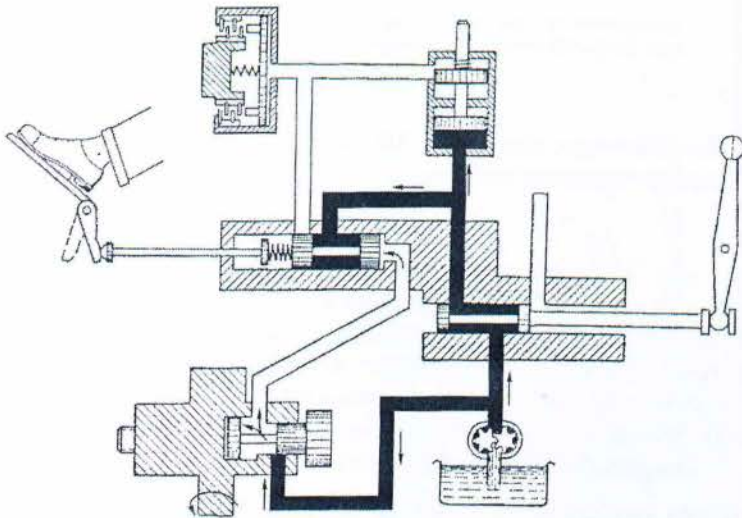
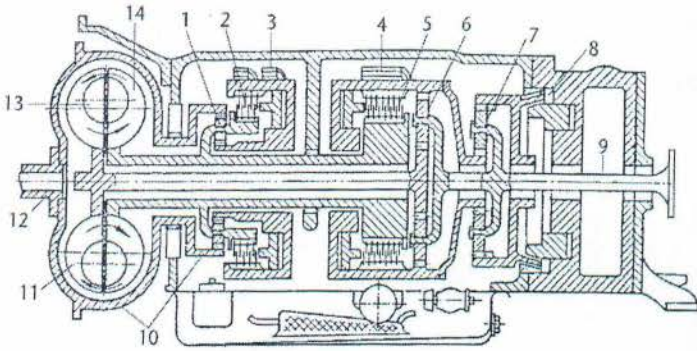




- όπου: α) κιβώτιο ταχυτήτων με μία πλανητική σειρά  
 1 – ήλιος  $z_1$       3 – πλανήτης  $z_3$   
 2 – στεφάνη  $z_2$     4 – φορέας πλανητών  
 β) κιβ. ταχ. με δύο πλανητικές σειρές  
 γ) κιβ. ταχ. με πολλές πλανητικές σειρές  
 δ) απλή πλανητική διάταξη

**Σχήμα 4.5:** Κινηματική διάταξη πλανητικών κιβωτίων ταχυτήτων

- **Δ** - Στο σχήμα 4.6 έχουμε το παράδειγμα ενός πλανητικού κιβωτίου ταχυτήτων με υδραυλικό συμπλέκτη και η αλλαγή των ταχυτήτων γίνεται με τη βοήθεια δύο συμπλεκτών με πολλαπλούς δίσκους 2,5 και δύο φρένα 3,4 (ταινιοπαίδες).<sup>8</sup>



Το πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων αποτελείται από τρεις ομάδες πλανητών στη σειρά 1,6,7, συμπλέκτης 2 και φρένο 3 για την πρώτη ομάδα πλανητών και συμπλέκτης 5 και φρένο 4 για τη δεύτερη ομάδα πλανητών. Η τρίτη ομάδα είναι για την όπισθεν.

8. κωνικός συμπλέκτης για όπισθεν.

9. κινούμενη άτρακτος.

10. κέλυφος αντλίας – σφονδύλου

11. στρόβιλος.

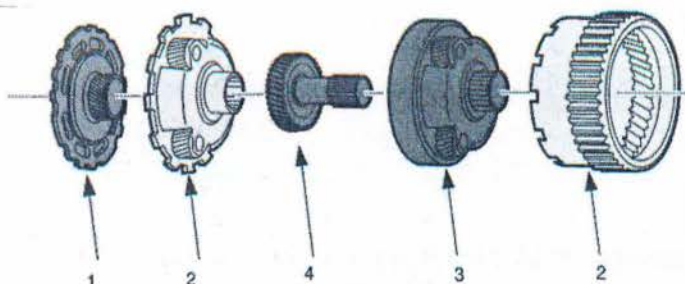
12. στροφαλοφόρος άξονας.

13. υδραυλικός συμπλέκτης.

14. αντλία του υδραυλικού συμπλέκτη.

**Σχήμα 4.6:** Πλανητικό κλιμακωτό κιβώτιο ταχυτήτων και κινηματικό σχήμα του αυτόματου υδραυλικού συστήματος διεύθυνσής του

- Ε - Στο σχήμα 4.7 φαίνεται ένας διπλός πλανητικός μηχανισμός ενός κιβωτίου τεσσάρων σχέσεων. Η δημιουργία των σχέσεων πραγματοποιείται με συνδυασμό σύμπλεξης των διαφορετικών εξαρτημάτων μεταξύ τους.



1. Ήλιος 2<sup>ου</sup> συστήματος
2. Φορέας πλανητών 2<sup>ου</sup> συστήματος και στεφάνη 1<sup>ου</sup> συστήματος
3. Φορέας πλανητών 1<sup>ου</sup> συστήματος και στεφάνη 2<sup>ου</sup> συστήματος
4. Ήλιος 1<sup>ου</sup> συστήματος
5. Γρανάζι εξόδου

**Σχήμα 4.7:** Πλανητικός μηχανισμός αυτόματου κιβωτίου τεσσάρων σχέσεων

Στην περίπτωση αυτή ο φορέας των πλανητών του πρώτου συστήματος είναι σταθερά συνδεδεμένος με τη στεφάνη του δεύτερου συστήματος. Αντίστοιχα και ο φορέας των πλανητών του δεύτερου συστήματος είναι συνδεδεμένος με τη στεφάνη του πρώτου συστήματος. Το γρανάζι εξόδου είναι συνδεδεμένο με πολύσφηνο με τον άξονα του φορέα των πλανητών του πρώτου συστήματος. Από το γρανάζι εξόδου η κίνηση μεταφέρεται μέσω ενός μειωτήρα στροφών στο διαφορικό.

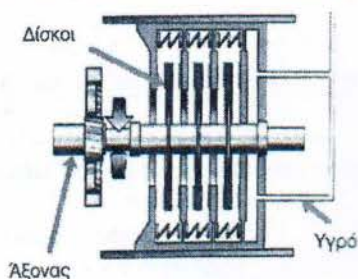
Με την ενεργοποίηση διαφόρων συμπλεκτών και φρένων κάποια από τα εξαρτήματα του πλανητικού μηχανισμού παίρνουν κίνηση, ενώ κάποια άλλα ακινητοποιούνται, οπότε προκύπτει η τελική σχέση μετάδοσης.<sup>2</sup>

### 4.3 ΣΥΜΠΛΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΤΑΙΝΙΟΠΕΔΕΣ

Σ' ένα κιβώτιο που λειτουργεί με πλανητικά συστήματα, επιτυγχάνονται οι διάφορες σχέσεις μείωσης των στροφών με την αλληλεπίδραση ορισμένων κινητών μελών του ή με την ακινητοποίηση ορισμένων άλλων τα οποία χρησιμεύουν ως σημεία υποστήριξης.

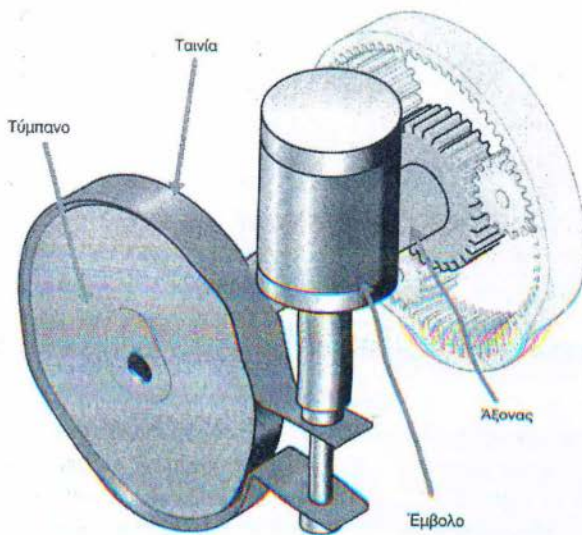
Έτσι, για να εξασφαλιστούν αυτές οι λειτουργίες, χρησιμοποιούνται συνήθως είτε συμπλέκτες πολλαπλών δίσκων οι οποίοι κινούνται μέσα σε λάδι, είτε φρένα των οποίων η λειτουργία είναι παρόμοια με αυτή των συμπλεκτών.<sup>1</sup>

Οι υγροί συμπλέκτες μεταφέρουν την κίνηση λειτουργώντας με την πίεση του υγρού που παρέχεται μέσω των βαλβίδων της υδραυλικής μονάδας (σχ. 4.8). Αυτοί αποτελούνται από πολλά δισκάκια (υγροί πολύδισκοι συμπλέκτες) που όταν συμπλέκουν μεταφέρουν την κίνηση σε κάποιο εξάρτημα του πλανητικού φορέα. Υπάρχει όμως η περίπτωση ο υδραυλικός συμπλέκτης να χρησιμοποιείται για να ακινητοποιήσει ένα κινούμενο εξάρτημα, οπότε στην περίπτωση αυτή λειτουργεί σαν φρένο.



**Σχήμα 4.8:** Υγρός συμπλέκτης μεταφοράς κίνησης

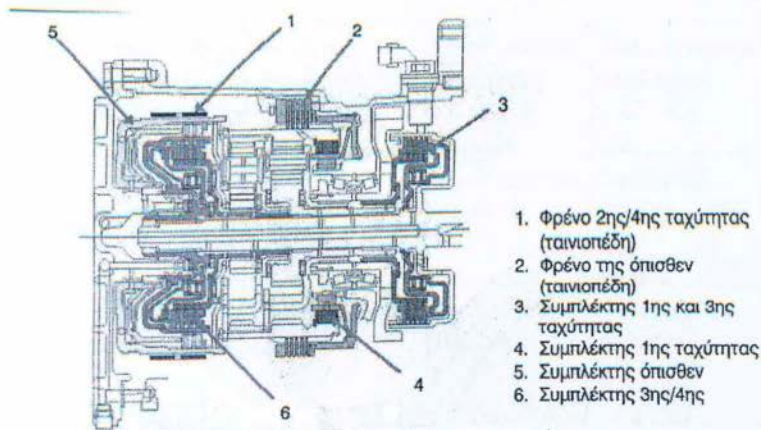
Την ίδια λειτουργία μπορεί να εκτελεί και μια ταινιοπέδη (φρένο) (σχ. 4.9). Αποτελείται από το τύμπανο, την ταινία και το υδραυλικό έμβολο. Όταν το έμβολο ενεργοποιείται σφίγγει την ταινία και ακινητοποιεί το τύμπανο. Η πίεση του υγρού που ενεργοποιεί το έμβολο ελέγχεται από τη σχετική βαλβίδα του βαλβιδοφόρου.



**Σχήμα 4.9:** Ταινιοπέδη (φρένο) ακινητοποίησης του άξονα του ήλιου

**Θέση συμπλεκτών και φρένων σε ένα αυτόματο σύστημα.**

Το παρακάτω σχήμα 4.10 δείχνει τις θέσεις των συμπλεκτών και των φρένων σε ένα τυπικό αυτόματο κιβώτιο αυτοκινήτου με μπροστινή κίνηση.



**Σχήμα 4.10:** Διάγραμμα θέσης συμπλεκτών και φρένων σε αυτόματο κιβώτιο (Ford 4F27E)

- Ο συμπλέκτης της 1<sup>ης</sup> – 3<sup>ης</sup> ταχύτητας συνδέεται με τον πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου με τον ήλιο του πρώτου συστήματος.
- Ο συμπλέκτης της 3<sup>ης</sup> – 4<sup>ης</sup> ταχύτητας συνδέεται με τον πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου με τον φορέα των πλανητών του δεύτερου συστήματος.

- Ο συμπλέκτης της όπισθεν συνδέει τον πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου με τον ήλιο του δεύτερου συστήματος.
- Η ταινιοπέδη της 2<sup>ης</sup> – 4<sup>ης</sup> ταχύτητας συνδέει τον ήλιο του δεύτερου συστήματος με το κέλυφος του κιβωτίου ταχυτήτων.
- Ο μονόφορος συμπλέκτης (μιας κατεύθυνσης) για την 1<sup>η</sup> ταχύτητα ακινητοποιεί τη στεφάνη του πρώτου συστήματος κατά τη μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στο κιβώτιο ταχυτήτων. Με τη χρήση του συμπλέκτη αυτού δεν υπάρχει η δυνατότητα φρεναρίσματος του κινητήρα με το κιβώτιο. Σε περίπτωση «κατεβάσματος» ταχύτητας, όπου η ταχύτητα εξόδου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα εισόδου, η στεφάνη μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα.

Η μετάδοση της κίνησης επιτυγχάνεται με το συνδυασμό φρένων και συμπλεκτών έτσι, ώστε να παίρνουν κίνηση κάποια εξαρτήματα των πλανητικών συστημάτων, τη στιγμή που κάποια άλλα παραμένουν σταθερά.

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί λειτουργίας των πλανητικών συστημάτων.<sup>2</sup>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΜΠΛΟΚΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ**

ΣΤΑΘΕΡΟ ΕΞΑΡΤΗΜΑ	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>	Όπισθεν
Ήλιος 1 <sup>ου</sup> συστήματος	Ροπή εισόδου (σύμπλεξη 1 <sup>ης</sup> -3 <sup>ης</sup> )	Ροπή εισόδου (σύμπλεξη 1 <sup>ης</sup> -3 <sup>ης</sup> )	Ροπή εισόδου (σύμπλεξη 1 <sup>ης</sup> -3 <sup>ης</sup> )	Περιστρέφεται ελεύθερα	Περιστρέφεται ελεύθερα
Ήλιος 2 <sup>ου</sup> συστήματος	Περιστρέφεται ελεύθερα	Σταθερός (φρένο 2 <sup>ης</sup> -4 <sup>ης</sup> )	Περιστρέφεται ελεύθερα	Σταθερός (φρένο 2 <sup>ης</sup> -4 <sup>ης</sup> )	Ροπή εισόδου (σύμπλεξη όπισθεν)
Στεφάνη 1 <sup>ου</sup> συστήματος & φορέας πλανητών 2 <sup>ου</sup> συστήματος	Σταθερή (μονόφορος συμπλέκτης 1 <sup>ης</sup> )	Περιστρέφεται ελεύθερα	Ροπή εισόδου (σύμπλεξη 3 <sup>ης</sup> -4 <sup>ης</sup> )	Ροπή εισόδου (σύμπλεξη 3 <sup>ης</sup> -4 <sup>ης</sup> )	Σταθερή (φρένο όπισθεν)
Στεφάνη 2 <sup>ου</sup> συστήματος & φορέας πλανητών 1 <sup>ου</sup> συστημ.	Ροπή εξόδου	Ροπή εξόδου	Ροπή εξόδου	Ροπή εξόδου	Ροπή εξόδου

#### 4.4 ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΥ ΔΟΝΤΙΩΝ

Κατά τη μελέτη και κατασκευή του πλανητικού μηχανισμού πρέπει να έχουμε υπόψη κάποια βασικά δεδομένα:

- Το άθροισμα των δοντιών του ήλιου και της στεφάνης πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του αριθμού των πλανητών, δηλαδή πρέπει:

$$z_1 + z_2 = A \kappa,$$

όπου:  $z_1$  είναι ο αριθμός δοντιών του ήλιου

$z_2$  είναι ο αριθμός δοντιών της στεφάνης

$\kappa$  είναι ο αριθμός των πλανητών

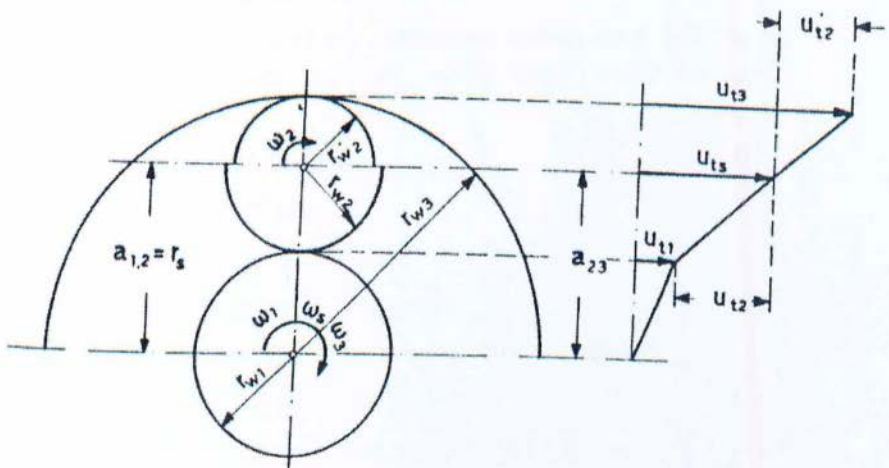
$A$  είναι ακέραιος αριθμός

- Για την εξασφάλιση της συναρμολόγησης μεταξύ του ήλιου, της οδοντωτής στεφάνης και των πλανητών θα πρέπει να ισχύει:

$$z_2 - z_1 = 2z_3$$

όπου:  $z_3$  είναι ο αριθμός δοντιών του πλανητικού συστήματος.<sup>8</sup>

Πρέπει καταρχήν να τονιστεί, ότι όλες οι γεωμετρικές και κινηματικές σχέσεις που ισχύουν για τις εξωτερικές οδοντώσεις, ισχύουν επίσης και για τις εσωτερικές οδοντώσεις. Η μόνη διαφοροποίηση είναι ότι στις εσωτερικές οδοντώσεις παίρνουν αρνητικό πρόσημο όλες οι τιμές εκείνων των μεγεθών, τα οποία συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τον αριθμό δοντιών  $z$ .



Σχήμα 4.11: Περιφερειακές ταχύτητες ενός απλού πλανητικού συστήματος

Στο σχήμα 4.11 παριστάνονται οι κύκλοι κυλίσεως  $r_w$  και οι περιφερειακές ταχύτητες  $v_t$  σε ένα απλό μετωπικό πλανητικό σύστημα με την υπόθεση ότι όλα τα εξαρτήματα περιστρέφονται δεξιόστροφα. Η δεξιόστροφη περιστροφή θεωρείται ότι έχει θετικό πρόσημο, ενώ η αριστερόστροφη αρνητικό.

Για τις αξονικές αποστάσεις του συστήματος του σχήματος 4.11 ισχύουν οι σχέσεις:

$$a_{12} = r_{w1} + r_{w2} = r_s$$

$$a_{23} = r'_{w2} + r_{w3}$$

$$a_{12} = -a_{23}$$

Οι ακτίνες των κύκλων κυλίσεως είναι:

$$r_{w1} = [z_1/(z_1+z_2)]a_{12}$$

$$r_{w2} = [z_2/(z_1+z_2)]a_{12}$$

$$r'_{w2} = [z_2/(z_2+z_3)]a_{23}$$

$$r_{w3} = [z_3/(z_2+z_3)]a_{23}$$

Οι περιφερειακές ταχύτητες είναι:

$$v_{t1} = \omega_1 r_{w1}$$

$$v_{t2} = \omega_2 r_{w2}$$

$$v'_{t2} = \omega_2 r'_{w2}$$

$$v_{t3} = \omega_3 r_{w3}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:

$$v'_{t2}/v_{t2} = r'_{w2}/r_{w2} = a_{23}/a_{12} = (z_1+z_2)/(z_2+z_3)$$

Σύμφωνα με το σχήμα 4.11 και παίρνοντας υπόψη ότι η τιμή της  $v_{t3}$  όπως ορίζεται στο σχήμα είναι αρνητική ( $v_{t3} < 0$ ), επειδή  $\omega_3 > 0$  και  $r_{w3} < 0$ , προκύπτουν οι σχέσεις:

$$v_{ts} = v_{t1} + v_{t2} \quad (1)$$

$$\text{και} \quad -v_{t3} = v_s + v'_{t2}$$

και τελικά:

$$v_{ts} = v_{t2} (z_1+z_2)/(z_2+z_3) - v_{t3} \quad (2)$$

Από τους τύπους (1) και (2) προκύπτουν επίσης οι σχέσεις:

$$v_{t1} + v_{t2} [1 - (z_1+z_2)/(z_2+z_3)] + v_{t3} = 0 \quad (3)$$

$$\text{και} \quad v_{t1} - v_{ts} [1 - (z_2+z_3)/(z_1+z_2)] + v_{t3}(z_2+z_3)/(z_1+z_2) = 0 \quad (4)$$

Τέλος, οι τύποι (1), (2), (3) και (4) μετασχηματίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων μεταξύ των κύκλων κυλίσεως  $r_{w1}$ ,  $r_{w2}$ ,  $r_{w3}$ ,  $r_s$  και του αριθμού δοντιών  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$  και παίρνουν τη μορφή:



$$\omega_1 - \omega_s (1 + z_2/z_1) + \omega_2 z_2/z_1 = 0 \quad (5)$$

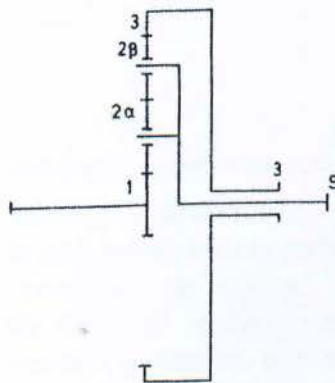
$$\omega_2 - \omega_s (1 + z_3/z_2) + \omega_3 z_3/z_2 = 0 \quad (6)$$

$$\omega_1 + \omega_2 z_2/z_1 [1 - (z_1+z_2)/(z_2+z_3)] - \omega_3 z_3/z_1 (z_1+z_2)/(z_2+z_3) = 0 \quad (7)$$

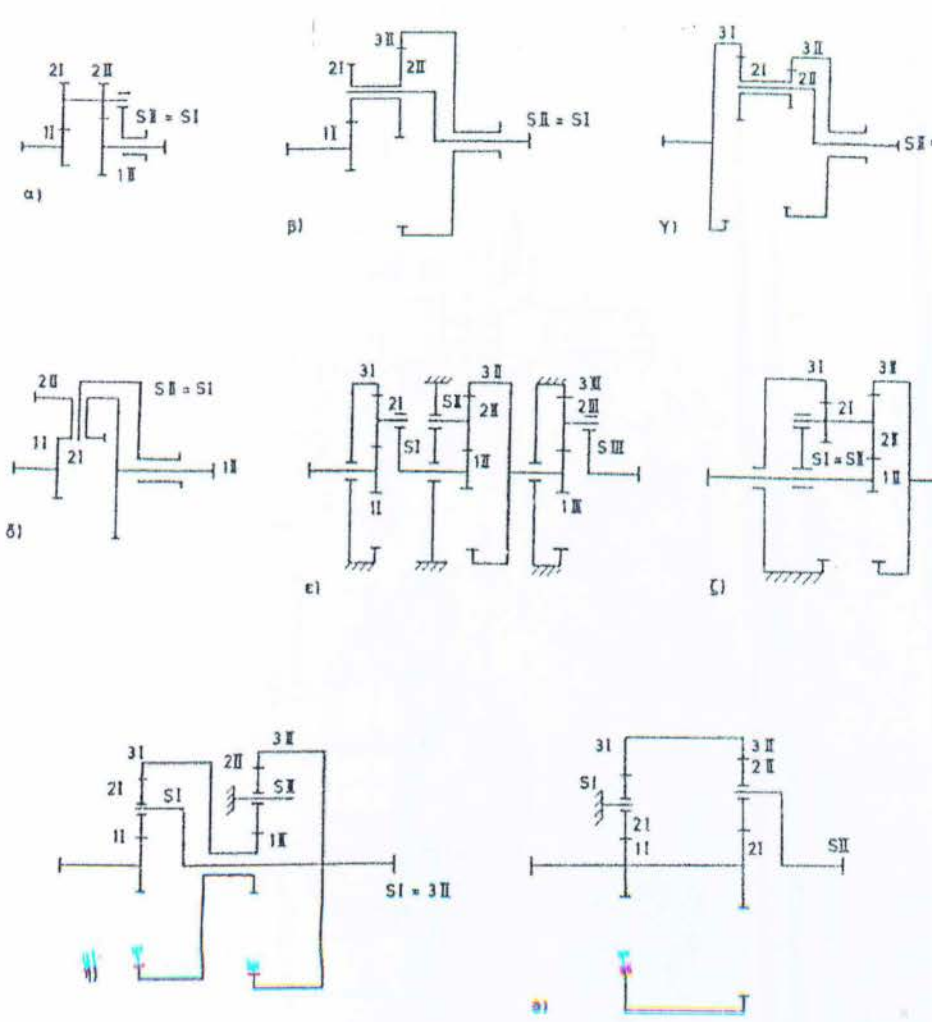
$$\omega_1 - \omega_s (1 - z_3/z_1) - \omega_3 z_3/z_1 = 0 \quad (8)$$

Από τις τέσσερις αυτές τελευταίες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν οποιοσδήποτε δύο για ένα απλό πλανητικό σύστημα με μετωπικούς (ή ακόμη και με κωνικούς) οδοντωτούς τροχούς. Προφανώς οι εξισώσεις αυτές ισχύουν και για τους αριθμούς στροφών  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  και  $n_s$ , αν αυτοί τοποθετηθούν αντίστοιχα όπου εμφανίζονται οι γωνιακές ταχύτητες  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  και  $\omega_s$ . Οι τιμές των μεγεθών  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ ,  $\omega_s$  (ή  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_s$ ) και  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$  μπορούν να προσδιοριστούν μονοσήμαντα, όταν δίνονται δύο οποιοσδήποτε γωνιακές ταχύτητες  $\omega$  (ή  $n$ ) και δύο οποιοδήποτε αριθμοί δοντιών  $z$ . Όταν ένα μέλος του πλανητικού συστήματος δεν περιστρέφεται, τότε η γωνιακή του ταχύτητα είναι ίση με μηδέν ( $\omega = 0$ ). Έτσι οι παραπάνω εξισώσεις απλουστεύονται και ευκολύνεται ο υπολογισμός.

Μια ειδική εφαρμογή πλανητικού συστήματος με δύο σειρές πλανητών παρουσιάζεται στο σχήμα 4.12 όπου οι πλανήτες 2α απλώς αντιστρέφουν τη φορά της περιστροφής των πλανητών 2β. Έτσι, ο εσωτερικός ήλιος 1 και οι πλανήτες 2β είναι ομόστροφοι. Στις σχέσεις (5), (6), (7) και (8) πρέπει επομένως να αντικατασταθούν τα μεγέθη  $z_2$  και  $n_2$  ως εξής:  $z_2 = z_{2\beta}$  και  $n_2 = -n_2$ .



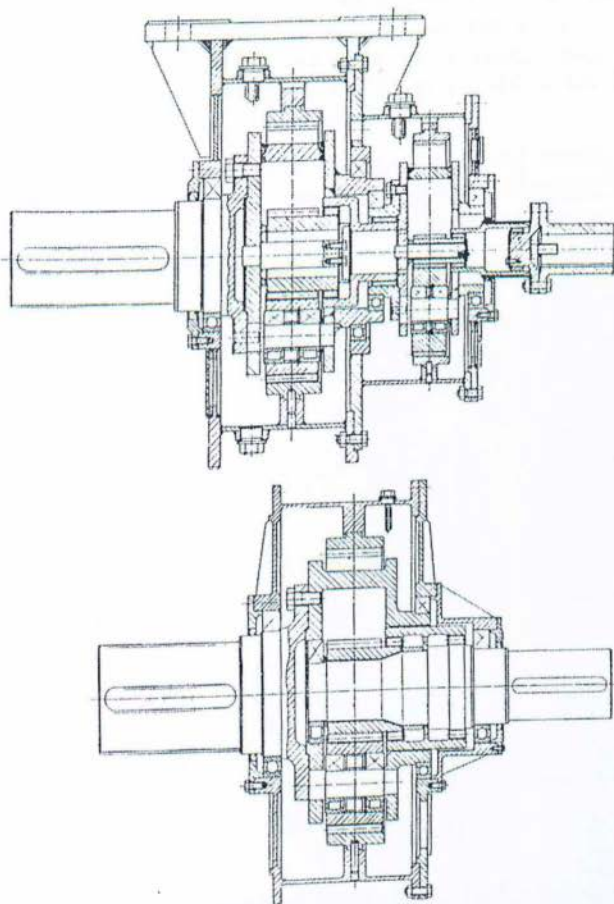
**Σχήμα 4.12:** Απλό πλανητικό σύστημα με αναστροφή φοράς περιστροφής των πλανητών



**Σχήμα 4.13:** Παραδείγματα σύνθετων πλανητικών συστημάτων

Σε περίπτωση ενός σύνθετου πλανητικού συστήματος, όπως στο σχήμα 4.13 οι εξισώσεις αυτές ισχύουν για κάθε ένα από τα απλά πλανητικά συστήματα από τα οποία αποτελείται το σύνθετο. Οι εξισώσεις που καταστρώνονται έτσι για κάθε ένα απλό πλανητικό σύστημα, συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια οριακών συνθηκών, οι οποίες εκφράζουν ποια στοιχεία των γειτονικών συστημάτων περιστρέφονται με τους ίδιους αριθμούς δοντιών. Στα παραδείγματα των σύνθετων πλανητικών συστημάτων του σχήματος 4.13α, β, γ, δ, ζ π.χ. η οριακή συνθήκη μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης βαθμίδας είναι ότι οι γωνιακές ταχύτητες των πλανητών και των φορέων τους είναι ίσες, δηλαδή  $\omega_{2I} = \omega_{2II}$  και  $\omega_{S I} = \omega_{S II}$ . Στο παράδειγμα του

συστήματος του σχήματος 4.13ε ισχύουν οι οριακές συνθήκες  $\omega_{sI} = \omega_{1II}$  και  $\omega_{3II} = \omega_{1III}$ .



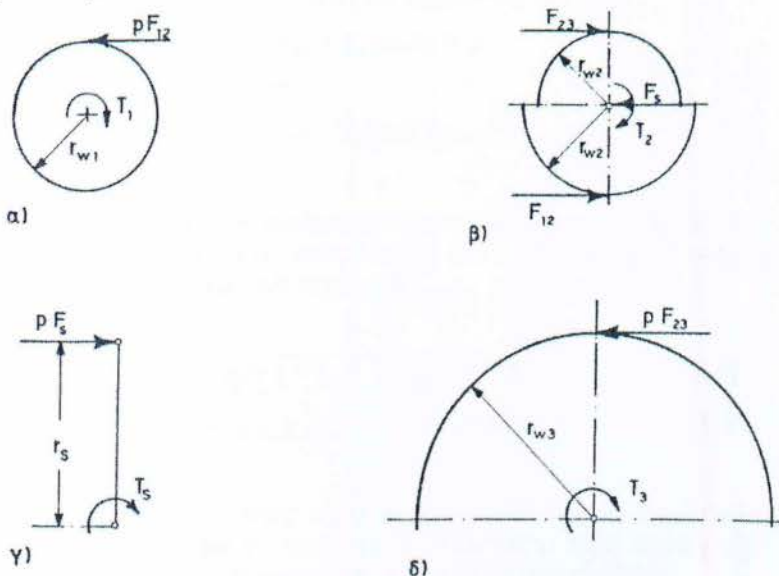
**Σχήμα 4.14:** Παραδείγματα κατασκευαστικών λύσεων  
α) ενός απλού πλανητικού συστήματος  
β) ενός σύνθετου αποτελούμενο από δύο απλά σε σειρά

Στο σχήμα 4.14 παριστάνονται δύο κατασκευασμένα πλανητικά συστήματα. Το ένα (α) είναι απλό και το δεύτερο (β) είναι σύνθετο αποτελούμενο από δύο απλά σε σύνθεση σειράς, όπου ισχύει  $\omega_{sI} = \omega_{1II}$ .<sup>5</sup>

#### 4.5 ΣΧΕΣΕΙΣ ΡΟΠΩΝ<sup>5</sup>

Το μέγεθος και η φορά των στρεπτικών ροπών  $T_1, T_2, T_3$  και  $T_4$  που μπορούν να εφαρμοστούν σαν εξωτερικά φορτία στον εσωτερικό ήλιο (1), σε κάθε πλανήτη (2), στον εξωτερικό ήλιο (3) και στο φορέα (s) ενός απλού πλανητικού συστήματος, εξαρτώνται από τις περιφερειακές δυνάμεις των οδοντώσεων  $F_{12}$  και  $F_{23}$  (μεταξύ 1 και 2 και μεταξύ 2 και 3) και από τις δυνάμεις των εδράσεων των πλανητών  $F_s$ .

Στο σχήμα 4.15 παριστάνεται ποιες στρεπτικές ροπές και δυνάμεις εφαρμόζονται σε κάθε ένα μέλος του πλανητικού συστήματος. Εφαρμόζοντας τις βασικές εξισώσεις ισορροπίας ενός ελεύθερου σώματος για κάθε ένα μέλος ξεχωριστά προκύπτει ότι:



**Σχήμα 4.15:** Εξωτερικά φορτία  $T_1, T_2, T_3, T_s$  και εσωτερικές δυνάμεις  $F_{12}, F_{23}, F_s$  που εφαρμόζονται σε ένα απλό πλανητικό σύστημα και στα μέλη του.

- A) Εσωτερικός ήλιος  
 Β) Πλανήτες (=αριθμός πλανητών)  
 Γ) Φορέας  
 Δ) Εξωτερικός ήλιος

- Για τον εσωτερικό ήλιο (σχ. 4.15α ) είναι:

$$T_1 - p F_{12} r_{w1} = 0$$

ή 
$$F_{12} = T_1 / p r_{w1} \quad (9)$$

όπου  $p$  είναι ο αριθμός των συμμετρικά διατεταγμένων πλανητών.

- Για έναν πλανήτη σύμφωνα με το σχ. 4.15β

$$F_{12} + F_{23} - F_s = 0 \quad (10)$$

και 
$$\boxed{T_2 - F_{12} r_{w2} + F_{23} r'_{w2} = 0} \quad (11)$$

- Για τον φορέα (σχ. 4.15γ) είναι:

$$T_s + p F_s r_s = 0$$

ή 
$$\boxed{F_s = -T_s/p r_s} \quad (12)$$

- Για τον εξωτερικό ήλιο ισχύει σύμφωνα με το σχ. 4.15δ

$$T_3 + p F_{23} r_{w3} = 0$$

ή 
$$\boxed{F_{23} = -T_3/p r_{w3}} \quad (13)$$

Με τη βοήθεια των τύπων (9), (12) και (13) προκύπτει η σχέση:

$$T_1 - T_3 r_{w1}/r_{w3} + T_s r_{w1}/r_s = 0$$

ενώ από τον τύπο (11) προκύπτει ότι:

$$T_2 - (T_1/p) (r_{w2}/r_{w1}) - (T_3/p) (r'_{w2}/r_{w3}) = 0$$

Οι λόγοι των ακτινών των κύκλων κυλίσεως  $r_{w1}/r_{w3}$ ,  $r_{w1}/r_s$ ,  $r_{w2}/r_{w1}$  και  $r'_{w2}/r_{w3}$  μπορούν να εκφραστούν με τους λόγους των αριθμών των δοντιών. Έτσι οι παραπάνω σχέσεις παίρνουν τη μορφή:

$$\boxed{T_1(1 + z_2/z_1) + T_s + T_3 (z_2/z_3) = 0} \quad (14)$$

και 
$$\boxed{T_1 (z_2/z_1) - p T_2 + T_3 (z_2/z_3) = 0} \quad (15)$$

Εκτός από τις δύο τελευταίες σχέσεις που συνδέουν τις στρεπτικές ροπές  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  και  $T_s$ , ισχύει γι' αυτές και η παρακάτω τρίτη σχέση σαν εξίσωση ελεύθερου σώματος ολόκληρου του πλανητικού συστήματος:

$$\boxed{T_1 + p T_2 + T_s + T_3 = 0} \quad (16)$$

Με τις σχέσεις (14), (15) και (16) μπορούν να προσδιοριστούν οι εξωτερικές στρεπτικές ροπές. Πρέπει να τονιστεί ότι τα πρόσημα των τιμών των ροπών που προκύπτουν από αυτές τις σχέσεις είναι θετικά, όταν η φορά τους είναι ίδια με αυτή που παριστάνεται στο σχήμα 4.15. Όταν είναι αρνητικά η φορά τους είναι αντίθετη. Το ίδιο βέβαια ισχύει και για τις εσωτερικές δυνάμεις  $F$ .

Σε περίπτωση που ένα ή περισσότερα μέλη του πλανητικού συστήματος δεν κινούνται δεν υπάρχουν εξωτερικές στρεπτικές ροπές, οπότε γι' αυτά τα μέλη είναι  $T=0$  και οι παραπάνω τρεις σχέσεις απλουστεύονται.

#### 4.6 ΙΣΧΕΙΣ<sup>5</sup>

Θεωρώντας ότι σε ένα απλό πλανητικό σύστημα δε δημιουργούνται απώλειες, τότε, για να υπάρχει ενεργειακό ισοζύγιο στη μονάδα του χρόνου, πρέπει το άθροισμα των ισχύων που μπαίνουν σε αυτό το σύστημα ή βγαίνουν από αυτό να είναι μηδέν.

$$\Sigma P = P_1 + p P_2 + P_s + P_3 = 0$$

όπου  $P = T \omega$ , η σχέση που ορίζει την ισχύ συναρτήσει της στρεπτικής ροπής  $T$  και της γωνιακής ταχύτητας  $\omega$  ενός μέλους του συστήματος.

Γενικά, για μια ισχύ εισόδου ορίζεται το θετικό πρόσημο (+). Σε ένα μέλος ενός πλανητικού συστήματος μπαίνει ισχύς εισόδου όταν η φορά της στρεπτικής ροπής  $T$  που εφαρμόζεται σε αυτό και η φορά της περιστροφής του (δηλαδή της γωνιακής του ταχύτητας  $\omega$ ) συμπίπτουν. Σε αντίθετη περίπτωση η ισχύς ενός μέλους έχει αρνητικό πρόσημο και είναι ισχύς εξόδου.

Προφανώς όταν ένα μέλος δεν περιστρέφεται ( $\omega = 0$ ), ή κινείται μεν αλλά δεν επιβάλλεται σε αυτό εξωτερικό φορτίο ( $T = 0$ ), τότε η ισχύς του είναι  $P = 0$ .

#### 4.7 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ<sup>5</sup>

Ο ολικός βαθμός απόδοσης  $\eta_{\pi}$  ενός πλανητικού συστήματος εξαρτάται από τις απώλειες ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις απώλειες λόγω τριβής ολισθήσεως στις οδοντώσεις, στα έδρανα και στα στεγανοποιητικά, όπως επίσης και στις απώλειες ισχύος κατά την ανάδευση του λιπαντικού.

Όταν αναφέρεται κανείς στο βαθμό απόδοσης ενός πλανητικού συστήματος έχει συνηθιστεί να αναφέρεται μόνο σε εκείνες τις απώλειες που οφείλονται στην τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των συνεργαζόμενων παρείων των οδοντώσεων.

Για μετωπικές οδοντώσεις μπορεί να θεωρηθεί ότι ο βαθμός απόδοσης  $\eta_z$  μεταξύ δύο τροχών με εξωτερική οδόντωση είναι  $\eta_z = 0,995$ . Ανάλογα με το πόσες και τι οδοντώσεις περιλαμβάνει ένα πλανητικό σύστημα μπορεί για σχετικές συγκρίσεις να χρησιμοποιηθεί ο ολικός βαθμός απόδοσης  $\eta_{\pi}$ , ο οποίος ανάλογα με τις μεμονωμένες οδοντοκινήσεις που περιλαμβάνει ένα σύστημα με τους επιμέρους βαθμούς απόδοσής τους  $\eta_{z1}$ ,  $\eta_{z2}$ ,  $\eta_{z3}$ , υπολογίζεται με τον τύπο:

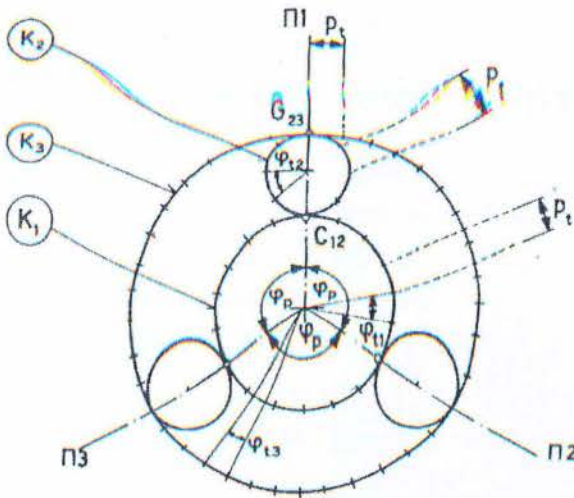
$$\eta_{\pi} = \eta_{z1} \eta_{z2} \eta_{z3} \dots$$

#### 4.8 ΑΝΑΓΚΑΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ<sup>5</sup>

Οι πλανήτες ενός πλανητικού συστήματος είναι κατά κανόνα τρεις ή περισσότεροι έως το πολύ έξι. Η διάταξη των πλανητών γίνεται έτσι, ώστε να απέχουν κατά τις ομόκεντρες γωνίες  $\varphi_p$  μεταξύ τους (σχ. 4.16)

$$\varphi_p = 360^\circ / p$$

όπου  $p$  είναι ο αριθμός των πλανητών του συστήματος.



**Σχήμα 4.16:** Θέσεις των πλανητών ενός πλανητικού συστήματος που έχουν τοποθετηθεί σε ίσες ομόκεντρες γωνίες  $\varphi_p$ .

Παρατηρώντας την κίνηση των κύκλων κύλισης ενός πλανητικού συστήματος, όπως παριστάνεται στο σχήμα 4.16, μπορούν να βγουν βασικά συμπεράσματα για εκείνες τις προϋποθέσεις οι οποίες επιτρέπουν την τοποθέτηση των πλανητών κατά την συναρμολόγηση έτσι ώστε να ισαπέχουν μεταξύ τους κατά  $\varphi_p$ .

Ας θεωρηθεί ότι ο εξωτερικός ήλιος είναι ακίνητος, ενώ οι αρχικές θέσεις των πλανητών είναι αυτές που παριστάνεται στο σχήμα 4.16 (θέσεις  $P_1$ ,  $P_2$  και  $P_3$ ). Τα σημεία κυλίσεως  $C_{12}$  και  $C_{23}$  του πλανήτη στη θέση  $P_1$  μπορούν να θεωρηθούν ότι συμπίπτουν με τις αρχές μετρήσεως των βημάτων  $r_t$  πάνω στους κύκλους κυλίσεως  $K_1$ ,  $K_2$  και  $K_3$ . Τα σημεία κυλίσεως των πλανητών στις θέσεις  $P_2$  και  $P_3$  δεν συμπίπτουν κατά κανόνα με αρχές μετρήσεως βημάτων.

Επειδή οι αριθμοί δοντιών όλων των τροχών του συστήματος είναι βέβαια ακέραιοι αριθμοί, όλοι οι κύκλοι κυλίσεως διαιρούνται σε αντίστοιχους ακέραιους αριθμούς τόξων ίσων με  $r_t$ . Από αυτό το βήμα  $r_t$  προκύπτουν στον εσωτερικό ήλιο, στους πλανήτες και στον εξωτερικό ήλιο οι αντίστοιχες κυκλικές γωνίες:

$$\varphi_{t1} = 360^\circ / z_1, \quad \varphi_{t2} = 360^\circ / z_2, \quad \varphi_{t3} = 360^\circ / z_3$$

Υποθέτουμε τώρα, ότι μέσα σε ένα χρονικό διάστημα  $T$  ο πλανήτης που βρίσκεται αρχικά στη θέση  $P_1$  μετακινείται και φτάνει στη θέση  $P_2$ , ενώ στη θέση  $P_1$  έρχεται στο τέλος του χρόνου  $T$  ο πλανήτης που βρισκόταν αρχικά στη θέση  $P_3$ . Αυτό σημαίνει ότι στη θέση  $P_1$  πρέπει μετά το τέλος του

Χρονικού διαστήματος  $T$  να συμπίπτουν πάλι τα σημεία κυλίσεως με κάποιες αρχές βημάτων των κύκλων κυλίσεως. Οι περιφέρειες των κύκλων κυλίσεως των πλανητών και του εσωτερικού κύκλου περιστράφηκαν δηλαδή κατά κυκλικές γωνίες, που αντιστοιχούν σε τόξα τα οποία είναι ακέραια πολλαπλάσια του βήματος λειτουργίας  $\rho_t$ , δηλαδή ακέραια πολλαπλάσια των κυκλικών γωνιών  $\varphi_t$ .

Συγκεκριμένα, ο κύκλος κυλίσεως του εσωτερικού ήλιου περιστρέφεται κατά μια γωνία  $\varphi_1$ :

$$\varphi_1 = \omega_1 T = \varphi_{t1} k_1 = (360^\circ / z_1) k_1$$

ενώ ο φορέας περιστρέφεται στο χρόνο  $T$  κατά μια γωνία  $\varphi_s$ :

$$\varphi_s = \omega_s T = 360^\circ / p$$

Τελικά για τις γωνιακές ταχύτητες προκύπτει:

$$\omega_1 = (360^\circ / z_1 T) k_1 \quad \text{και} \quad \omega_s = 360^\circ / p T$$

Έτσι από τη σχέση (8) προκύπτει ότι:

$$(360^\circ / z_1) k_1 - 360^\circ / p T (1 - z_3/z_1) - 0 = 0$$

$$\text{και} \quad \boxed{(z_1 - z_3)/p = k_1 = \text{ακέραιος}}$$

Αυτή είναι και η βασική σχέση που θα πρέπει να ισχύει για να μπορεί να συναρμολογηθεί ένα πλανητικό σύστημα, του οποίου οι πλανήτες ισαπέχουν μεταξύ τους κατά  $\varphi_s = 360^\circ / p$ . Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγει κανείς με τη βοήθεια της σχέσης (8) θεωρώντας ότι ο ήλιος είναι ακίνητος ή ότι όλα τα μέλη του πλανητικού συστήματος περιστρέφονται.

Σε ένα απλό πλανητικό σύστημα με ή χωρίς μετατόπιση κατατομής των οδοντώσεων πρέπει επίσης η αξονική απόσταση λειτουργίας  $a_{w12}$  μεταξύ εσωτερικού ή εξωτερικού πλανήτη να είναι ίση με την αξονική απόσταση λειτουργίας  $a_{w23}$  μεταξύ των πλανητών και του εξωτερικού ήλιου, δηλαδή:

$$a_{w12} = a_{w23}$$

Με δεδομένο ότι όλες οι οδοντώσεις ενός πλανητικού συστήματος έχουν κοινό  $\text{modul}$  οδοντώσεως  $m_n$  και κοινή κάθετη γωνία εμπλοκής  $\alpha_n$ , προκύπτει ότι:

$$\alpha_{t12} = \alpha_{t23}, \text{ και τελικά}$$

$$\boxed{(z_1 + z_2) / (z_2 + z_3) = - (\sin a_{w12}) / (\sin a_{w23})}$$

Αυτή είναι μια ακόμη σχέση που πρέπει να ισχύει για να είναι δυνατή η συναρμολόγηση ενός απλού πλανητικού συστήματος.



## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΛΑΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι οδοντωτοί τροχοί γενικά είναι στοιχεία μηχανών που κυριαρχούν στα διάφορα συστήματα μεταφοράς ισχύος. Ήδη από την αρχαιότητα έχουν χρησιμοποιηθεί, κυρίως μέσα σε πολύπλοκους μηχανισμούς όπου εκμεταλλευόμενοι τις ιδιαίτερες κινηματικές τους ιδιότητες οι άνθρωποι κατάφεραν να αποθηκεύουν πληροφορίες με μηχανικό τρόπο. Παρ' όλο που στην αρχαιότητα δεν χρησιμοποιήθηκαν τέτοιου είδους διατάξεις για εφαρμογές μεταφοράς ισχύος, από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά τα συστήματα οδοντοτροχών επικράτησαν λόγω της αξιοπιστίας τους και της ικανότητάς τους να μεταφέρουν μεγάλες ισχύεις

Τα πλανητικά συστήματα είναι μια από τις πιο εντυπωσιακές εφευρέσεις που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και κατ' επέκταση στην κοινωνία μας! Η χρήση τους είναι παντού γύρω μας χωρίς να συνειδητοποιούμε πάντα, από τις βαριές βιομηχανικές και μηχανολογικές κατασκευές, έως τα παιχνίδια και τα Lego για τα παιδιά. Χωρίς αυτά, δεν θα είχαμε πολλά χρήσιμα αντικείμενα, αλλά και τις δυνατότητες στην κατασκευή και μεταφορά ισχύος που έχουμε σήμερα ...

### 5.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΛΑΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΑ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ...

#### Πλανητάριο του Αρχιμήδη

Είναι γνωστό ότι ο Αρχιμήδης κατασκεύαζε πολύπλοκους μηχανισμούς, οι οποίοι αναπαριστούσαν με μηχανικό τρόπο τις κινήσεις ουράνιων σωμάτων, δεν έχουν διασωθεί όμως τεχνικές περιγραφές γι' αυτούς τους μηχανισμούς. Εικάζεται ότι ο τρόπος λειτουργίας τους πρέπει να ήταν παρόμοιος με αυτόν του μηχανισμού του πλανητικού συστήματος. Κατασκευές του Αρχιμήδη έχουν αναφέρει σε έργα τους, μεταξύ άλλων, οι Πάππος, Πρόκλος, Σέξτος Εμπειρικός, Μαρτιανός, Οβίδιος, καθώς επίσης ο Κικέρων (Cicero Marcus Tullius, 106-43 π.Χ.). Ο στρατηγός Μάρκελλος, ο κατακτητής των Συρακουσών, είχε μεταφέρει τους μηχανισμούς του Αρχιμήδη, μετά τη δολοφονία του τελευταίου, και τους τοποθέτησε στον ναό της Αρετής στη Ρώμη, όπου παρέμειναν για μεγάλο χρονικό διάστημα.<sup>12</sup>

#### Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων πήρε αυτή την ονομασία από το ναυάγιο κοντά στη νήσο Αντικύθηρα, μέσα στο οποίο βρέθηκε το έτος 1901 μαζί με άλλα αρχαία αντικείμενα και όχι επειδή κατασκευάστηκε ή χρησιμοποιήθηκε σ' αυτό το μικρό νησί μεταξύ Κυθήρων και Κρήτης.



*Εικόνα 5.1: Τα υπολείμματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στο Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών*

Άλλες ονομασίες που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό αυτού του ευρήματος είναι «υπολογιστής» και «πλανητάριο». Με την πρώτη εξ αυτών υπονοείται ότι πρόκειται για ένα μηχανικό «υπολογιστή», ο οποίος βάσει των γεωμετρικών σχέσεων των γραναζιών του αναπαράγει διάφορα αστρονομικά φαινόμενα· δηλαδή πρόκειται για ένα αναλογικό υπολογιστή, αφού τα αποτελέσματα που αναφέρονται σε χρονικές στιγμές και περιόδους, προκύπτουν κατ' αναλογία προς μηχανικά μεγέθη. Με τη δεύτερη ονομασία δεν υπονοείται προφανώς το κτήριο ενός πλανηταρίου, αλλά οι λειτουργίες υπολογισμών που πραγματοποιούνται σ' αυτό.

Συμπληρωματικές έρευνες και μελέτες έδειξαν ότι ο μηχανισμός αυτός πρέπει να κατασκευάστηκε περί το 80 π.Χ. Οι υπολογισμοί που εικάζεται ότι εκτελούσε ο μηχανισμός προκύπτουν από τις επιγραφές στην επιφάνειά του. Σ' αυτές τις επιγραφές γίνεται αναφορά στο ημερολόγιο που χρησιμοποιείτο στον ελληνόφωνο χώρο κατά τον τελευταίο αιώνα π.Χ., στον Ήλιο, τη Σελήνη και τους πέντε τότε γνωστούς πλανήτες (Ερμής, Αφροδίτη, Άρης, Δίας, Κρόνος).

Ο κύριος μηχανισμός περιλαμβάνει γραναζία με δόντια που έχουν κοπεί με κλίση  $60^\circ$ , καθώς επίσης ένα διαφορικό σύστημα για την εκτέλεση αφαιρέσεων, κάτι που δηλώθηκε για ευρεσιτεχνία στην Αγγλία το έτος 1832. Σήμερα γνωρίζουμε ότι η κλίση των  $60^\circ$  στα δόντια των γραναζιών δεν παρέχει καλό βαθμό αποδόσεως, προκαλεί όμως μεγάλη εντύπωση ως γεγονός η ύπαρξη τέτοιων γραναζιών.



**Εικόνα 5.2:** Γραφική αναπαράσταση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας στη Θεσσαλονίκη

Στον αστρολάβο υπήρχαν 27 διαφορετικά γρανάζια τα οποία κινούνταν ταυτόχρονα σύμφωνα με τις επιλογές μιας χειρολαβής. Όλα βρισκόνταν σε ξύλινο κουτί με πιθανότερες διαστάσεις 33 x 17 x 10 εκατοστά. Στο εμπρός μέρος υπήρχαν δύο ομόκεντροι δίσκοι με ενδείξεις ημερομηνίας σε σχέση με την θέση του ήλιου, και ημερομηνία σε σχέση με την σελήνη. Στην πίσω όψη υπήρχαν δύο δίσκοι. Ο ένας μέτραγε μέρες του σεληνιακού μήνα αλλά και τον υπολογισμό των εκλείψεων σελήνης. Ίσως αυτά φαίνονται απλά, αλλά αντίστοιχοι υπολογισμοί απαιτούν χρήση αριθμών με έξι δεκαδικά ψηφία.

Ο χειριστής γύριζε τον τροχό στο πλάι της συσκευής και η περιστροφή αυτή μεταφερόταν με ατέρμονα κοχλία στα δύο μεγάλα γρανάζια με τις τέσσερις ακτίνες. Το πρόσθιο από αυτά τα γρανάζια κινούσε, μέσω ενός έκκεντρου τυμπάνου, τους δύο δείκτες στο δίσκο ενδείξεων της πρόσοψης. Το οπίσθιο από τα δύο μεγάλα γρανάζια κινούσε, μέσω δύο ομάδων μικρότερων γραναζιών, τους δείκτες της πίσω όψης. Με κάθε μικρή ή μεγάλη περιστροφή του πλαϊνού τροχού, μετατοπιζόνταν οι διάφοροι δείκτες στις δύο πλευρές.

Σήμερα δεν είναι γνωστό και δεν είναι δυνατόν πια να εκτιμηθεί, αν ο μηχανισμός βρισκόταν σε αυτόματη λειτουργία ή ρυθμιζόταν με το χέρι. Ο Πράις ήταν της γνώμης ότι ο μηχανισμός λειτουργούσε σε σταθερή θέση και είχε ως κινητήριο μηχανισμό κάποιο υδραυλικό ρολόι ή κάτι αντίστοιχο.

Η μάλλον πιο αξιόπιστη ανακατασκευή του μηχανισμού θεωρείται αυτή του Πράις, η οποία εκτίθεται στο Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών.<sup>12</sup>

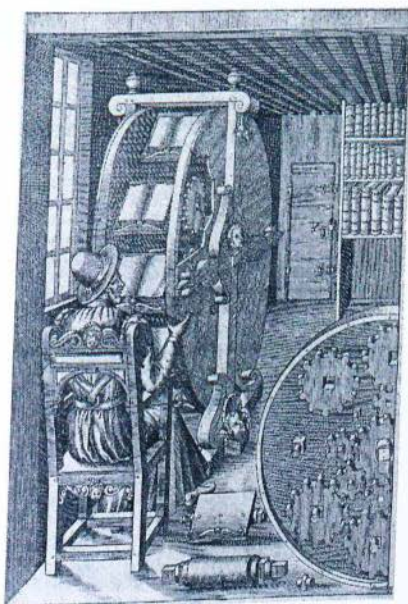
### Το αστρονομικό ρολόι του Richard του Wallingford

Το αστρονομικό ρολόι που αναπτύχθηκε από τον Richard του Wallingford στο St Albans κατά τη διάρκεια του 1330, είναι ένα αριστουργήματα του τύπου του. Δεν έχει διασωθεί η κατασκευή, αλλά

διασώθηκαν οι λεπτομερείς περιγραφές του σχεδιασμού και της κατασκευής του, και έχουν γίνει σύγχρονες αναπαραγωγές. Το ρολόι του Wallingford μπορούσε να δείξει τον ήλιο, το φεγγάρι (ηλικία, φάση, και ο κόμβος), τα αστέρια και τους πλανήτες, και είχε, επιπλέον, ένα τροχός της τύχης και μια ένδειξη της κατάστασης της παλίρροιας στο Λονδίνο. Ήταν κατασκευή με επτά όψεις και με 107 κινούμενα μέρη, που έδειχναν τις θέσεις του ήλιου, της σελήνης, πέντε πλανητών, καθώς και θρησκευτικών εορτών. <sup>13</sup>

### Περιστρεφόμενο αναλόγιο (bookwheel)

Το περιστρεφόμενο αναλόγιο, είναι μια συσκευή που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει σε ένα πρόσωπο να διαβάσει μια σειρά από βαριά βιβλία σε μια τοποθεσία με ευκολία. Τα βιβλία περιστρέφονται κάθετα σαν μια ρόδα λούνα παρκ (σε αντίθεση με μια επίπεδη, περιστρεφόμενη επιφάνεια του τραπεζιού). Αυτή η συσκευή επινοήθηκε από τον ιταλό μηχανικό του στρατού Agostino Ramelli το 1588. Για να εξασφαλιστεί ότι τα βιβλία παρέμειναν σε σταθερή γωνία, η Ramelli ενσωμάτωσε ένα επικυκλικό ρυθμιστή, ένα σύνθετο πλανητικό σύστημα που είχε μόνο έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε αστρονομικά ρολόγια <sup>14</sup>



**Εικόνα 5.3:** Αναπαράσταση του περιστρεφόμενου αναλόγιου της Agostino Ramelli

### Πλανητικές ξύστρες<sup>24</sup>

Πρόκειται για σταθερή μηχανική ξύστρα που μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα γραφείο ή τον τοίχο και είναι εξοπλισμένη από μια μανιβέλα. Συνήθως, το μολύβι εισάγεται στην ξύστρα με το ένα χέρι, ενώ το άλλο γυρίζει το στρόφαλο, ο οποίος περιστρέφει μια σειρά από κυλινδρικούς κόφτες, που ακονίζουν γρήγορα το μολύβι, με ακριβέστερο φινίρισμα από την απλούστερη συσκευή με λεπίδα. Ορισμένες εκδόσεις προσφέρουν επίσης ένα ρυθμιστή της επιθυμητής ευκρίνειας στο φινίρισμα. Τέτοιες ξύστρες μπορεί να είναι πολύ εύκολες στη χρήση ακόμα και από τα παιδιά.



*Εικόνα 5.4: Μια πλανητική ξύστρα (το περίβλημα αφαιρεθεί για να αποκαλυφθεί ο μηχανισμός).*

### Πλανητικό τυμπουσόν<sup>25</sup>

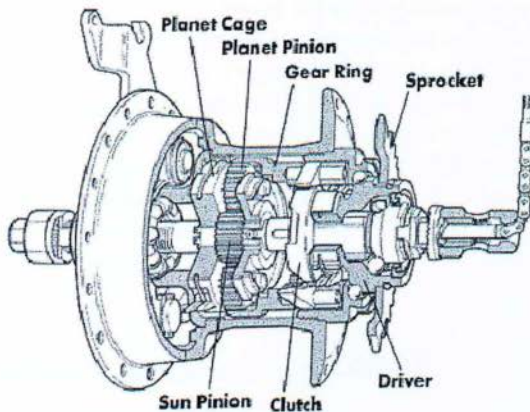


*Εικόνα 5.5: Το πλανητικό τυμπουσόν*

Αυτό το ανοιχτήρι εκμεταλλεύεται την υψηλή ροπή των πλανητικών συστημάτων γραναζιών - το ίδιο που θα συναντούσαμε σε αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων και ηλεκτρικά κατσαβίδια - για να ανοίξει ένα μπουκάλι κρασί. Το πλανητικό σύστημα μετάδοσης ανοίγει το μπουκάλι χωρίς ταλαιπωρία, ιδανικό για άτομα χωρίς δύναμη στα χέρια.

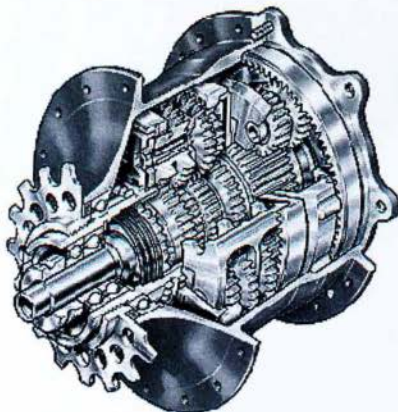
### 5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΗΛΑΤΟ – ΚΙΒΩΤΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ROHLOFF<sup>32</sup>

Από την πρώτη δεκαετία του 20ου αιώνα, κατασκευάστηκαν ποδήλατα με τρεις ταχύτητες αλλά τα πλανητικά συστήματα στο κιβώτιο αλλαγής ταχυτήτων άρχισαν να εφαρμόζονται από το 1970 περίπου, καθιστώντας τα πιο αποτελεσματικά και ελαφρύτερα σε σύγκριση με τα παλαιότερα συστήματα των τροχαλιών. Ένα κιβώτιο τριών ταχυτήτων φαίνεται στην εικ. 5.6.25



Εικόνα 5.6: Το κιβώτιο τριών ταχυτήτων σε ποδήλατα

Στα τέλη της δεκαετίας του '90 κατασκευάστηκαν κιβώτια ποδηλάτων με 7 ταχύτητες, ενώ σήμερα υπάρχουν κατασκευαστικές λύσεις και με 14 ταχύτητες, όπως το κιβώτιο της εικ. 5.7



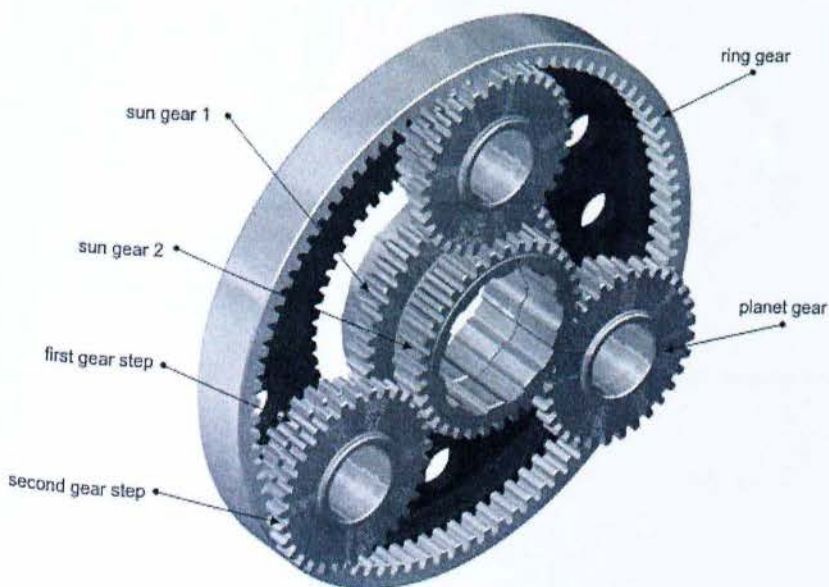
Εικόνα 5.7: Το κιβώτιο 14 ταχυτήτων σε ποδήλατα

Σε αυτό το κιβώτιο ταχυτήτων ο μηχανισμός των οδοντωτών τροχών βρίσκεται σε λουτρό λιπαντικού ώστε να εξασφαλίζεται μεγάλη διάρκεια ζωής υπό οιοσδήποτε συνθήκες χρήσης.

Η σύμπλεξη των τροχών γίνεται μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων. Οι ισόποσες αυξήσεις ταχύτητας του 13.6% εξασφαλίζουν μαζί με το μεγάλο συνολικό εύρος του 526% ότι για κάθε περίπτωση χρήσης υπάρχει ο σωστός συνδυασμός των οδοντωτών τροχών που δίνει την καλύτερη συμπεριφορά.

Η επιλογή του σωστού συνδυασμού οδοντωτών τροχών αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα που καθορίζει την άνεση κατά τη χρήση του συστήματος. Ο λόγος ανάμεσα στο χαμηλότερο και στο υψηλότερο γρανάζι (το συνολικό εύρος) καθορίζει το βαθμό της κλίσης κεκλιμένου επιπέδου που μπορεί να αντιμετωπιστεί και τη μεγαλύτερη ταχύτητα που μπορεί να επιτευχθεί στο οριζόντιο επίπεδο. Οι βαθμοί αύξησης καθορίζουν την άνεση και ευκολία με την οποία η ταχύτητα και η ορμή διατηρούνται κατά την αλλαγή σχέσης μετάδοσης. Οι απώλειες μηχανικής ισχύος με το Rohloff SPEED-HUB 500/14 είναι αποτέλεσμα απωλειών τριβής που δημιουργούνται στο κάτω υποστήριγμα, στην αλυσίδα και στη κεντρική περιοχή των οδοντωτών τροχών. Η συνολική μέση απώλεια τριβής με το σύστημα Rohloff SPEEDHUB 500/14 κυμαίνεται μεταξύ 1.5 - 5%.

### Πλανητικό Σύστημα Οδοντωτών Τροχών

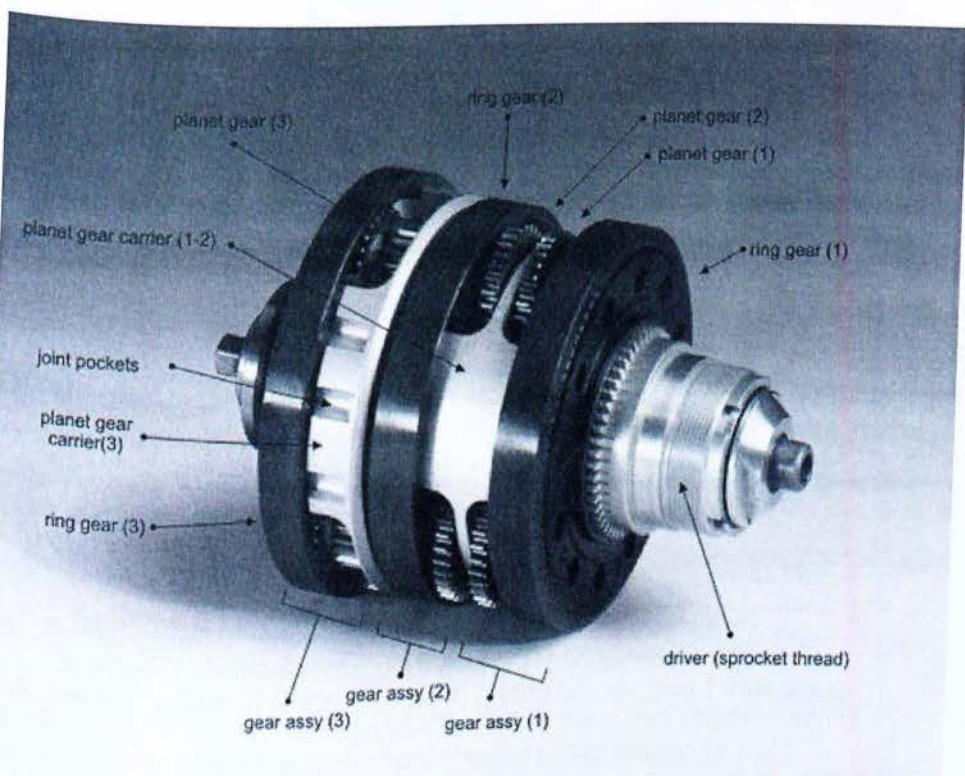


Ένα πλανητικό σύστημα μετάδοσης αποτελείται φυσιολογικά από ένα κεντρικά τοποθετημένο οδοντωτό τροχό (ήλιος), έναν οδοντωτό τροχό με

εσωτερική οδόντωση (στεφάνη) και μερικούς οδοντωτούς τροχούς που περιστρέφονται ανάμεσα στον ήλιο και στη στεφάνη (πλανήτες). Αυτή η γεωμετρία εξηγεί τον όρο πλανητικό σύστημα μετάδοσης.

Το πλεονέκτημα μίας πλανητικής μετάδοσης ισχύος καθορίζεται από την κατανομή φορτίου σε πολλαπλούς πλανήτες. Έτσι είναι δυνατόν να μεταφερθεί υψηλή ροπή με συμπαγή σχεδιασμό.

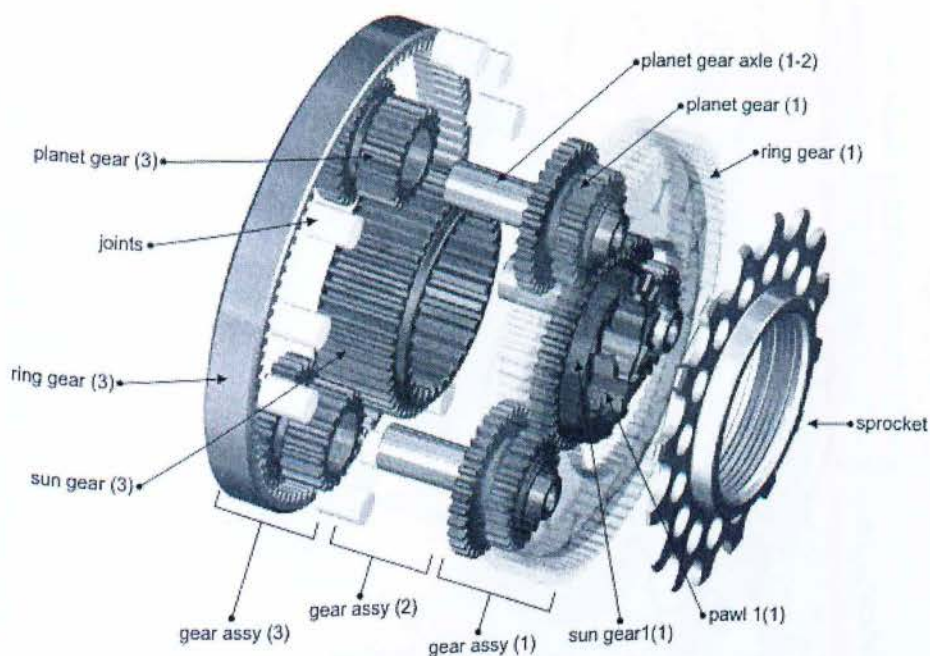
Οι πλανητικοί μηχανισμοί (1) και (2) του κιβωτίου ταχυτήτων Rohloff SPEEDHUB 500/14 έχουν από δύο οδοντωτούς τροχούς σαν ήλιο, τον ήλιο 1 και τον ήλιο 2. Σε κάθε έναν ήλιο αντιστοιχεί ένα σετ πλανητών το 1 και το 2. Το 1ο σετ πλανητών εμπλέκεται με τον ήλιο 1 και το 2ο σετ πλανητών εμπλέκεται με τον ήλιο 2. Υπάρχουν τρεις επιλογές μετάδοσης ισχύος ανά πλανητικό μηχανισμό (1) ή (2). Στην 1η ο ήλιος 1 εμπλέκεται με τον άξονα. Στην 2η ο ήλιος 2 εμπλέκεται με τον άξονα. Στην 3η ο ήλιος 1 εμπλέκεται με την στεφάνη..





Το κιβώτιο ταχυτήτων της Rohloff SPEEDHUB 500/14 , αποτελείται από τρεις συνδεδεμένους σε σειρά πλανητικούς μηχανισμούς (1), (2) και (3). Η είσοδος ισχύος μεταδίδεται από τον τροχό που είναι συνδεδεμένος με τον πλανητικό μηχανισμό (1). Οι πλανητικοί μηχανισμοί (1) και (2) είναι όμοιοι, κατοπτρικοί μεταξύ τους και μοιράζονται τον ίδιο πλανητικό φορέα (1-2). Η έξοδος ισχύος γίνεται από τον πλανητικό φορέα του 3ου πλανητικού μηχανισμού που συνδέεται με το κέλυφος του κέντρου του τροχού.

### Ταχύτητα 1η



#### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Η στεφάνη του πλανητικού μηχανισμού (1) οδηγείται από τον τροχό (sprocket στο σχήμα). Ο σύνδεσμος (pawl 1) εμπλέκει τον ήλιο 1 στον άξονα. Οι πλανήτες (1) του πλανητικού μηχανισμού οδηγούνται από την στεφάνη (1) και ταυτόχρονα κυλιούνται στον σταθερό ήλιο 1. Το αποτέλεσμα είναι μία σχέση μετάδοσης ίση με 1.466 μεταξύ της εισόδου (τροχός – sprocket) και της εξόδου (πλανητικός φορέας).

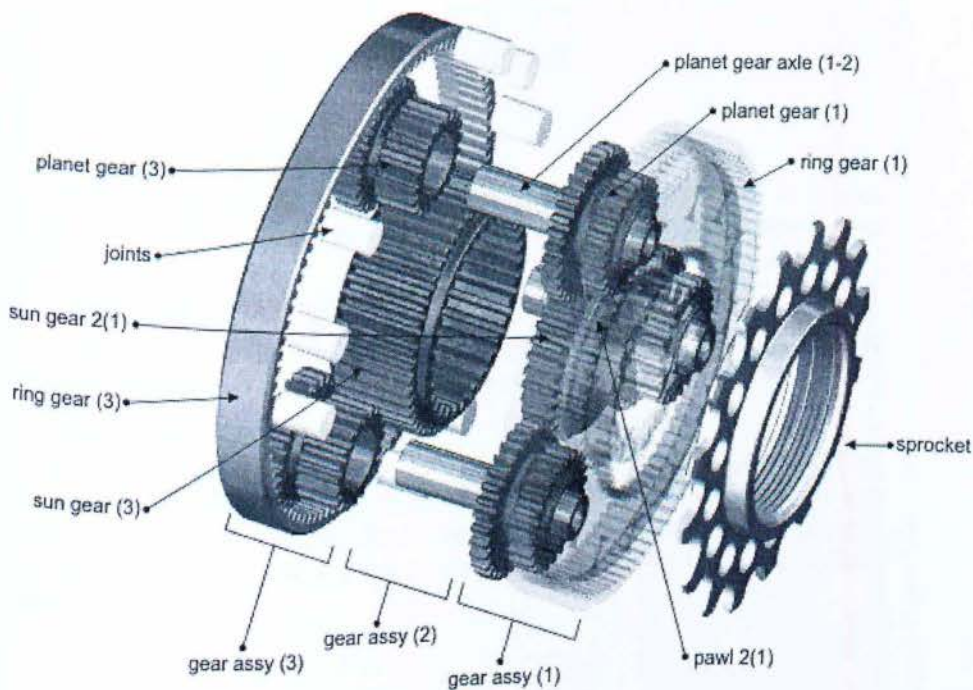
#### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Η ισχύς μεταφέρεται με σχέση μετάδοσης 1:1 από τον πλανητικό μηχανισμό (2) στον ήλιο του πλανητικού μηχανισμού (3).

### Πλανητικός Μηχανισμός 3.

Η στεφάνη του πλανητικού μηχανισμού (3) εμπλέκεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού (3) οδηγούνται από τον ήλιο του (3) και κυλίνουνται στην σταθερή στεφάνη επιτυγχάνοντας σχέση μετάδοσης βαθμίδας 2.445. Το αποτέλεσμα είναι ότι η συνολική σχέση μετάδοσης είναι 3.584

### Ταχύτητα 2η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Η στεφάνη (1) οδηγείται από τον τροχό (sprocket). Ο σύνδεσμος (pawl 2(1)) συνδέει τον ήλιο 2 του πλανητικού μηχανισμού (1) στον άξονα. Το σετ πλανητών (1) οδηγείται από τη στεφάνη ενώ το σετ πλανητών 2 κυλιέται στον σταθερό ήλιο 2 του πλανητικού μηχανισμού (1). Το αποτέλεσμα είναι σχέση μετάδοσης 1.292 μεταξύ του τροχού (sprocket) και του πλανητικού φορέα του μηχανισμού 1.

### Πλανητικός μηχανισμός 2

Με σχέση μετάδοσης 1:1 μεταφέρεται η ισχύς μέσω του πλανητικού μηχανισμού 2 από τον πλανητικό μηχανισμό 1 στον ήλιο του πλανητικού μηχανισμού 3.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του πλανητικού μηχανισμού (3) συνδέεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού (3) οδηγούνται από τον ήλιο του (3) και κυλίσουν στη σταθερή στεφάνη επιτυγχάνοντας σχέση μετάδοσης της βαθμίδας ίση με 2.445. Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι: 3.159.

## Ταχύτητα 3η

### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Στον πλανητικό μηχανισμό 1 γίνεται ότι στην 1η ταχύτητα. Η έξοδος είναι ο πλανητικός φορέας και η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού είναι 1.466.

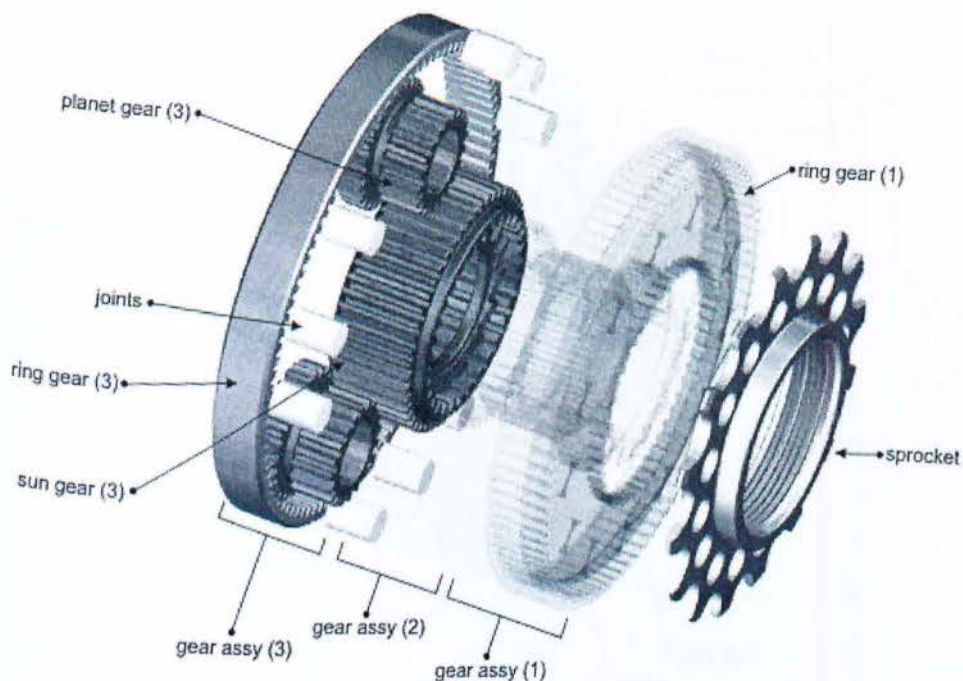
### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Γίνεται ότι στην 6η ταχύτητα. Επιτυγχάνεται σχέση μετάδοσης 0.774. Η ισχύς μεταφέρεται στον ήλιο του πλανητικού μηχανισμού 3.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του πλανητικού μηχανισμού 3 συνδέεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού 3 οδηγούνται από τον ήλιο του μηχανισμού και κυλίσουν στη σταθερή στεφάνη. Επιτυγχάνεται σχέση μετάδοσης μεταξύ ηλίου του 3 και πλανητικού φορέα του 3 ίση με 2.445. Συνολική σχέση μετάδοσης: 2.774.

## Ταχύτητα 4η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Με σχέση μετάδοσης 1:1 μεταφέρεται η ισχύς από τον τροχό (sprocket) απευθείας στον πλανητικό φορέα του μηχανισμού 1.

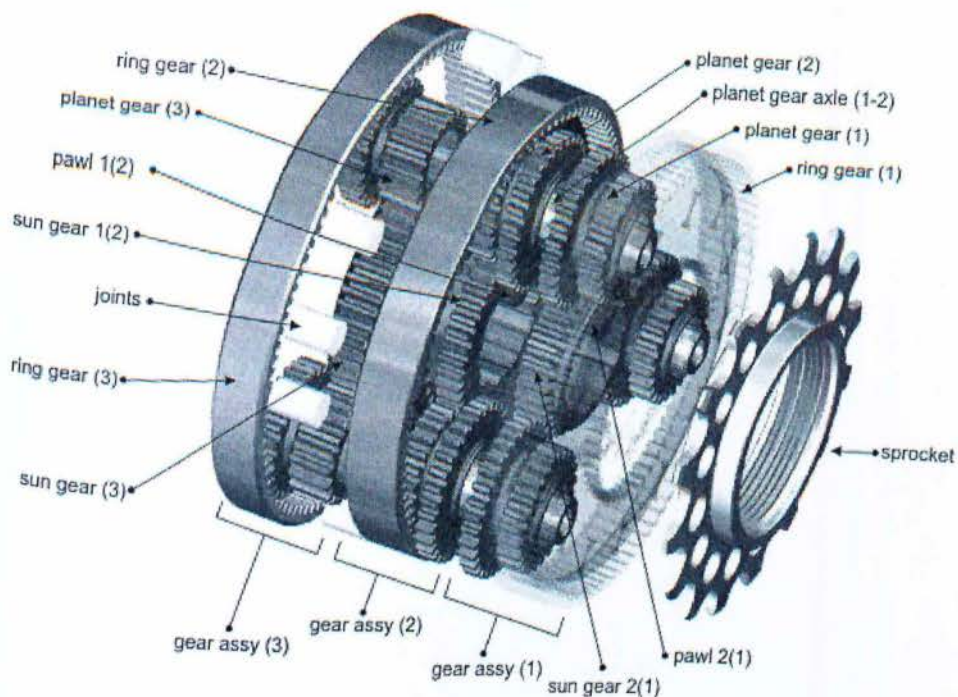
### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Με σχέση μετάδοσης 1:1 μεταφέρεται η ισχύς από τον πλανητικό μηχανισμό 1 στον ήλιο του πλανητικού μηχανισμού 3.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) συνδέεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού (3) οδηγούνται από τον ήλιο του μηχανισμού (3) και κυλίσουν στη σταθερή στεφάνη του (3). Η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού είναι 2.445. Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι:  $1 \times 1 \times 2.445 = 2.445$ .

## Ταχύτητα 5η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Γίνεται ότι στη 2η ταχύτητα. Η σχέση μετάδοσης μεταξύ τροχού (sprocket) και πλανητικού φορέα του μηχανισμού είναι 1.292.

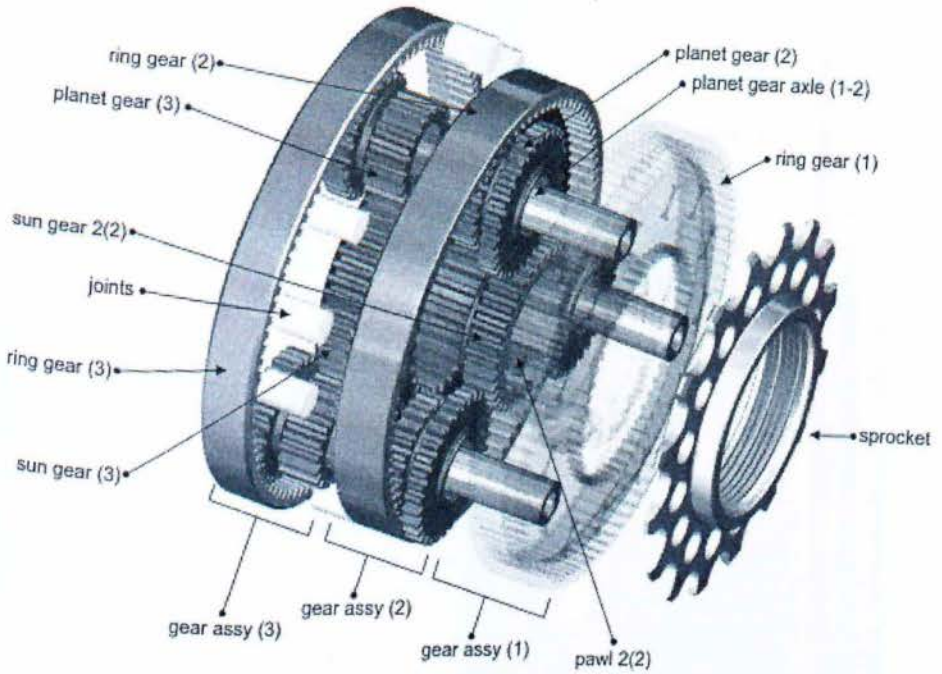
### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Γίνεται ότι στην 7η ταχύτητα. Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του πλανητικού φορέα και του ηλίου του μηχανισμού 3 είναι ίση με 0.682.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού 3 συνδέεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού 3 κινούνται από τον ήλιο του 3 και κυλιούνται στη σταθερή στεφάνη του μηχανισμού. Η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού 3 είναι 2.445. Συνολική σχέση μετάδοσης: 2.154.

## Ταχύτητα 6η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Με σχέση μετάδοσης 1:1 μεταφέρεται η ισχύς από τον τροχό (sprocket) στον πλανητικό φορέα (1-2).

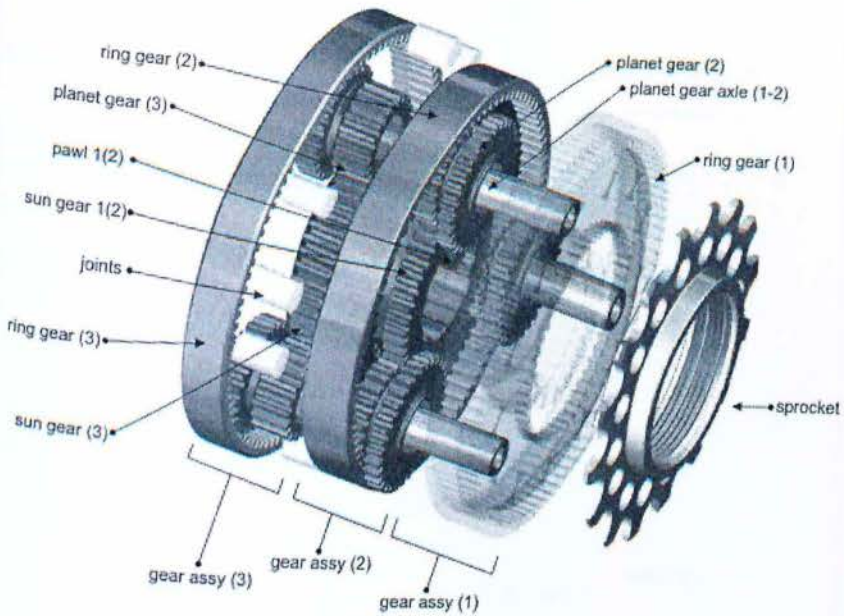
### Πλανητικός μηχανισμός 2

Ο σύνδεσμος (Pawl 2(2)) συνδέει τον ήλιο 2του μηχανισμού με τον άξονα. Ο πλανητικός φορέας (1-2) οδηγεί το 2ο σετ πλανητών που κυλινδρουν στον ήλιο 2. Σχέση μετάδοσης μεταξύ του πλανητικού φορέα και της στεφάνης του μηχανισμού που συνδέεται με τον ήλιο του μηχανισμού 3 είναι ίση με 0.774.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού 3 συνδέεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού 3 οδηγούνται από τον ήλιο του μηχανισμού και κυλινδρουν στη σταθερή στεφάνη. Η σχέση μετάδοσης είναι 2.445. Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι: 1.892.

## Ταχύτητα 7η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Με σχέση μετάδοσης 1:1 η ισχύς μεταφέρεται από τον τροχό (sprocket) στον πλανητικό φορέα (1-2).

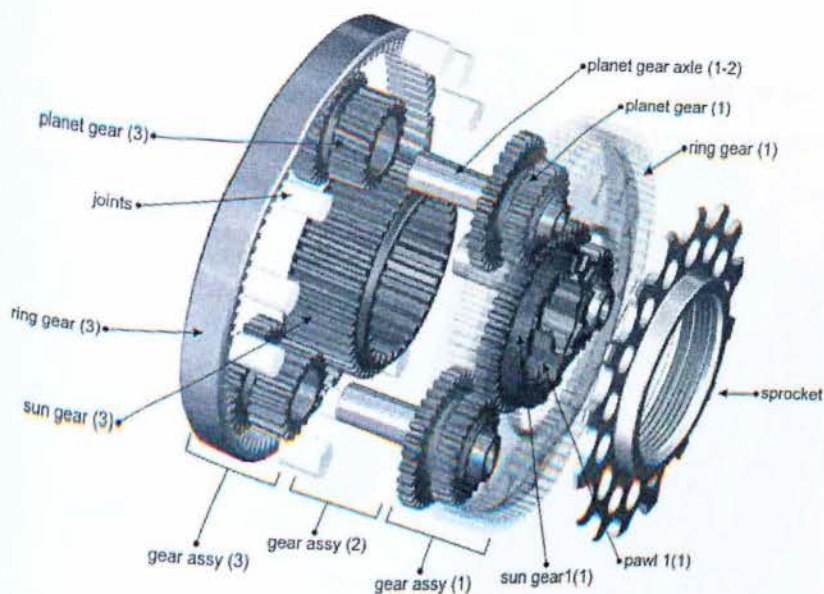
### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Ο σύνδεσμος (Pawl 1(2)) συνδέει τον ήλιο 1 του μηχανισμού (2) απευθείας στον άξονα. Ο πλανητικός φορέας (1-2) οδηγεί τους πλανήτες (2) που κυλίνουν στον σταθερό ήλιο 1 του μηχανισμού 2. Η σχέση μετάδοσης είναι 0.682 μεταξύ του πλανητικού φορέα και της στεφάνης του μηχανισμού 2, η οποία συνδέεται με τον ήλιο του μηχανισμού 3.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού 3 συνδέεται με τον άξονα. Οι πλανήτες του μηχανισμού 3 οδηγούνται από τον ήλιο του μηχανισμού 3 και κυλίνουν στη σταθερή στεφάνη. Η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού 3 (ήλιος 3 - πλανητικός φορέας 3) είναι 2.445. Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι: 1.667.

## Ταχύτητα 8η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Η στεφάνη του μηχανισμού οδηγείται από τον τροχό ( sprocket). Ο σύνδεσμος (pawl 1) του μηχανισμού (1) συνδέει τον ήλιο 1 του μηχανισμού με τον άξονα. Η 1η βαθμίδα των πλανητών του μηχανισμού 1 οδηγείται από τη στεφάνη του μηχανισμού και ταυτόχρονα κυλιέται στον σταθερό ήλιο. Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του τροχού (sprocket) και του πλανητικού φορέα του μηχανισμού είναι 1.466.

### Πλανητικός Μηχανισμός 2

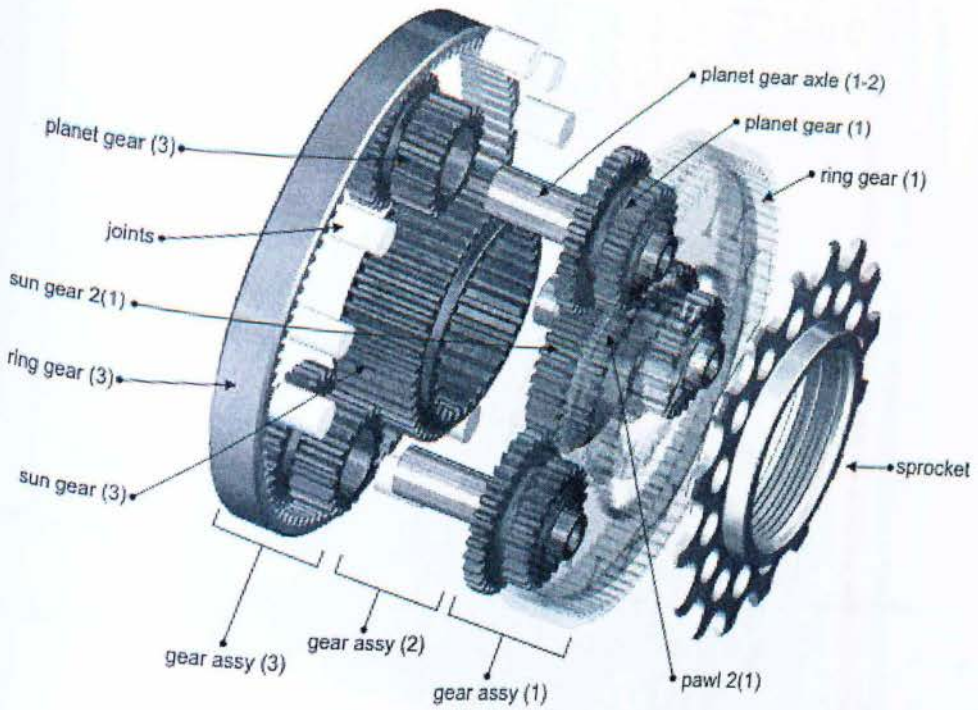
Με σχέση μετάδοσης 1:1 μεταφέρεται η ισχύς στον ήλιο του μηχανισμού 3.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού 3 και ο ήλιος του μηχανισμού 3 συνδέονται μεταξύ τους οπότε οι πλανήτες δεν περιστρέφονται περί το κέντρο τους. Η σχέση μετάδοσης από τον ήλιο του μηχανισμού 3 στον πλανητικό φορέα του μηχανισμού 3 είναι ίση με 1. Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι: 1.466.



## Ταχύτητα 9η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Η στεφάνη του μηχανισμού (1) οδηγείται από τον τροχό ( sprocket). Ο σύνδεσμος (pawl 2(1)) συνδέει τον 2ο ήλιο του μηχανισμού 1 με τον άξονα. Η βαθμίδα των πλανητών (1) οδηγείται από τη στεφάνη του μηχανισμού (1), ενώ το 2ο σετ της βαθμίδας των πλανητών κυλιέται στον σταθερό ήλιο. Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του τροχού (sprocket) και του πλανητικού φορέα του μηχανισμού είναι 1.292.

### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Με σχέση μετάδοσης 1:1 η ισχύς μεταφέρεται στον ήλιο του μηχανισμού 3.

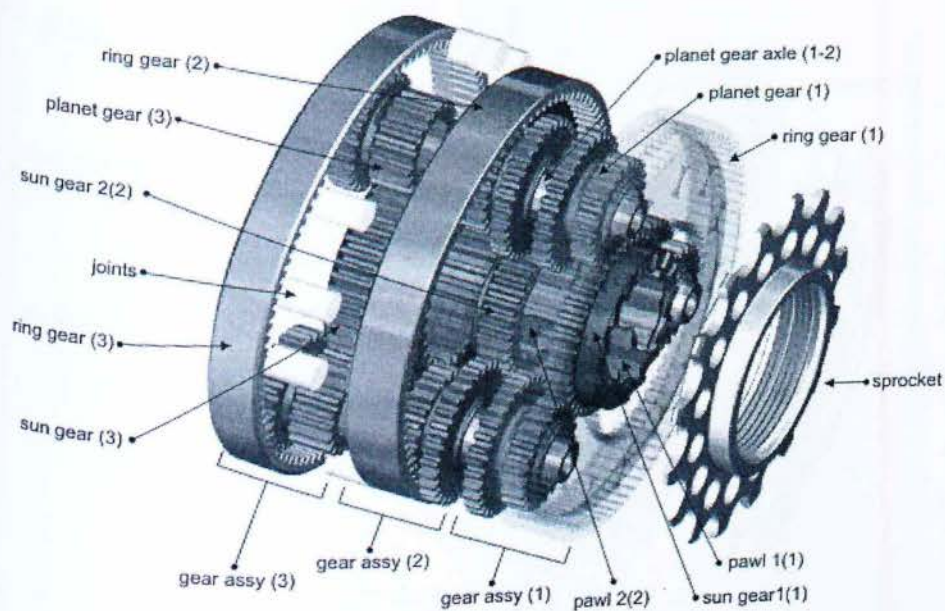
### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) και ο ήλιος του μηχανισμού (3) συνδέονται μεταξύ τους, έτσι οι πλανήτες του μηχανισμού (3) δεν περιστρέφονται. Έτσι ο πλανητικός μηχανισμός (3) έχει σχέση μετάδοσης 1:1

και μεταφέρει τις στροφές από τον μηχανισμό (2) απευθείας στον πλανητικό φορέα του μηχανισμού (3)

Η σχέση μετάδοσης είναι  $1.292$  (μηχανισμός 1)  $\times$  1 (μηχανισμός 2)  $\times$  1 (μηχανισμός 3) =  $1.292$ .

### Ταχύτητα 10η



#### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Στον πλανητικό μηχανισμό (1) γίνεται ότι στην 1η ταχύτητα. Η σχέση μετάδοσης είναι  $1.466$ .

#### Πλανητικός μηχανισμός 2

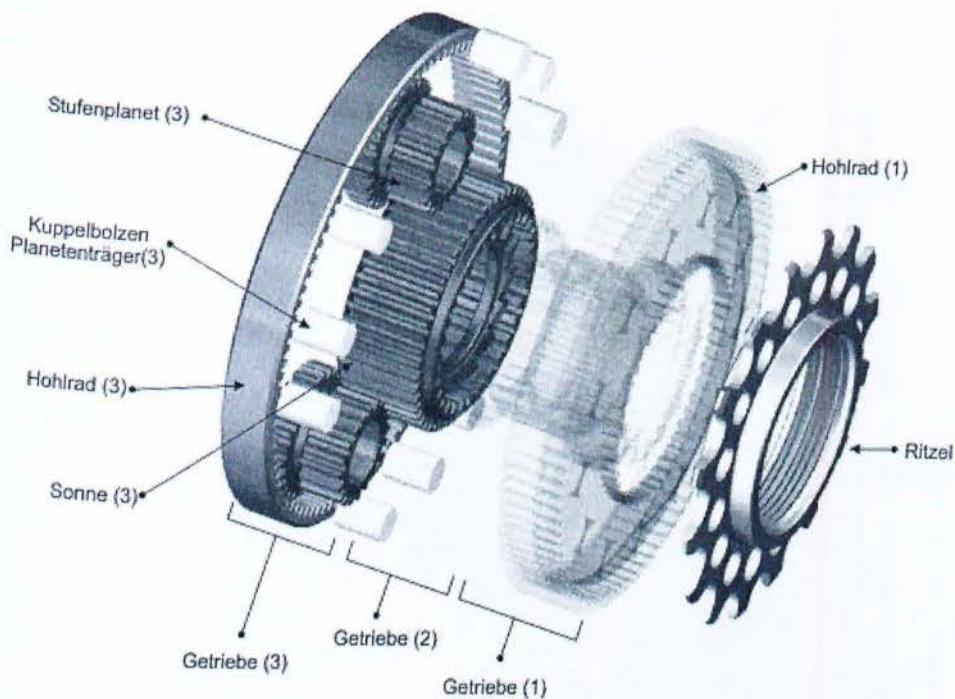
Στον πλανητικό μηχανισμό (2) γίνεται ότι στην 6η ταχύτητα. Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του πλανητικού φορέα και της στεφάνης του μηχανισμού (2) που είναι συνδεδεμένη με τον ήλιο του μηχανισμού (3) είναι  $0.774$ .

#### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) και ο ήλιος του μηχανισμού (3) συνδέονται μεταξύ τους, έτσι οι πλανήτες του μηχανισμού (3) δεν μπορούν να περιστραφούν. Ο πλανητικός μηχανισμός (3) έχει σχέση μετάδοσης 1 και

μεταφέρει τις στροφές από τον πλανητικό μηχανισμό (2) απευθείας στον πλανητικό φορέα (3). Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι 1.135.

### Ταχύτητα 11η



#### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Με σχέση μετάδοσης 1, μεταφέρονται οι στροφές απευθείας στον πλανητικό φορέα (1-2).

#### Πλανητικός Μηχανισμός 2

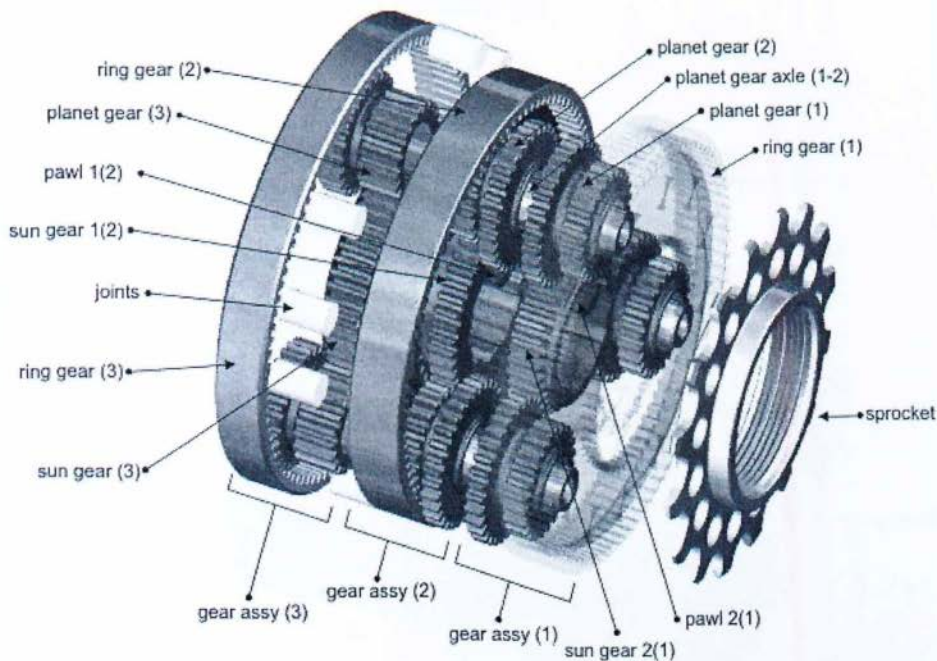
Με σχέση μετάδοσης 1, μεταφέρεται η ισχύς απευθείας στον ήλιο του μηχανισμού(3).

#### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) και ο ήλιος του μηχανισμού (3) συνδέονται μεταξύ τους, έτσι οι πλανήτες του μηχανισμού (3) δεν

περιστρέφονται. Ο πλανητικός μηχανισμός (3) με σχέση μετάδοσης 1 μεταφέρει την περιστροφή από τον μηχανισμό (2) απευθείας στον πλανητικό φορέα (3). Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι 1.

### Ταχύτητα 12η



#### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Στον πλανητικό μηχανισμό (1) γίνεται ότι στη 2η ταχύτητα. Η σχέση μετάδοσης είναι 1.292.

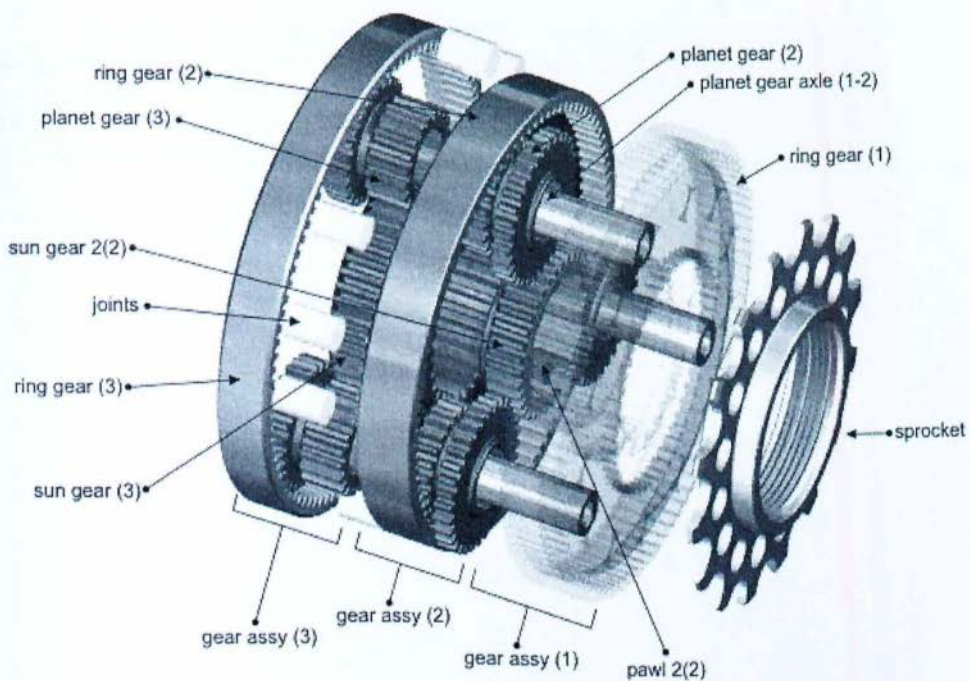
#### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Στον πλανητικό μηχανισμό (2) γίνεται ότι στην 7η ταχύτητα. Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του πλανητικού φορέα (1-2) και των συνδεδεμένων στεφάνης του (2) και ήλιου του (3) είναι 0.682.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) και ο ήλιος του μηχανισμού (3) είναι σε σύνδεση, έτσι οι πλανήτες του μηχανισμού (3) δεν περιστρέφονται. Η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού (3) είναι 1 με έξοδο ισχύος από τον πλανητικό φορέα του μηχανισμού (3). Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι 0.881.

### Ταχύτητα 13η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Στον πλανητικό μηχανισμό 1 με σχέση μετάδοσης 1 μεταφέρεται η ισχύς στον πλανητικό φορέα (1-2).

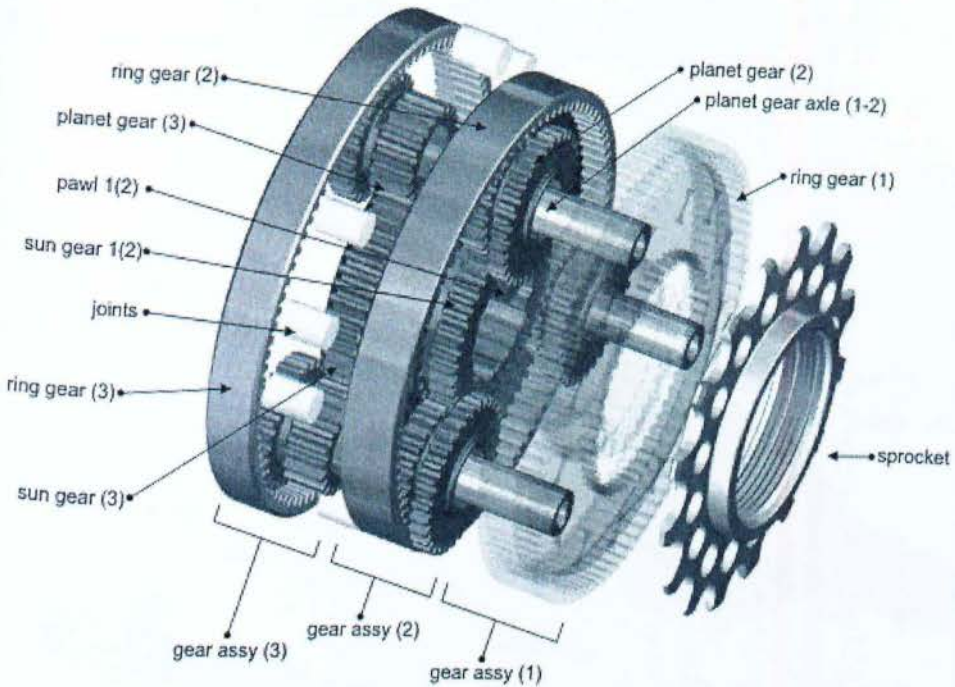
### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Το εξάρτημα 2(2) (Pawl 2(2)) συνδέει τον ήλιο 2 του μηχανισμού (2) απευθείας στον άξονα. Ο πλανητικός φορέας (1-2) οδηγεί τους πλανήτες του μηχανισμού (2). Οι πλανήτες του μηχανισμού (2) περιστρέφονται γύρω από τον σταθεροποιημένο ήλιο 2 του μηχανισμού (2). Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του πλανητικού φορέα (1-2) και των συνδεδεμένων στεφάνης του μηχανισμού (2) και ήλιου του μηχανισμού (3) είναι 0.774.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) και ο ήλιος του μηχανισμού (3) συνδέονται μεταξύ τους, έτσι οι πλανήτες του μηχανισμού (3) δεν μπορούν να περιστραφούν. Η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού (3) είναι 1 για την μεταφορά ισχύος από τον μηχανισμό (2) απευθείας στον πλανητικό φορέα (3). Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι ίση με 0.774.

## Ταχύτητα 14η



### Πλανητικός Μηχανισμός 1

Ο πλανητικός μηχανισμός (1) με σχέση μετάδοσης 1 μεταφέρει απευθείας την ισχύ στον πλανητικό φορέα (1-2).

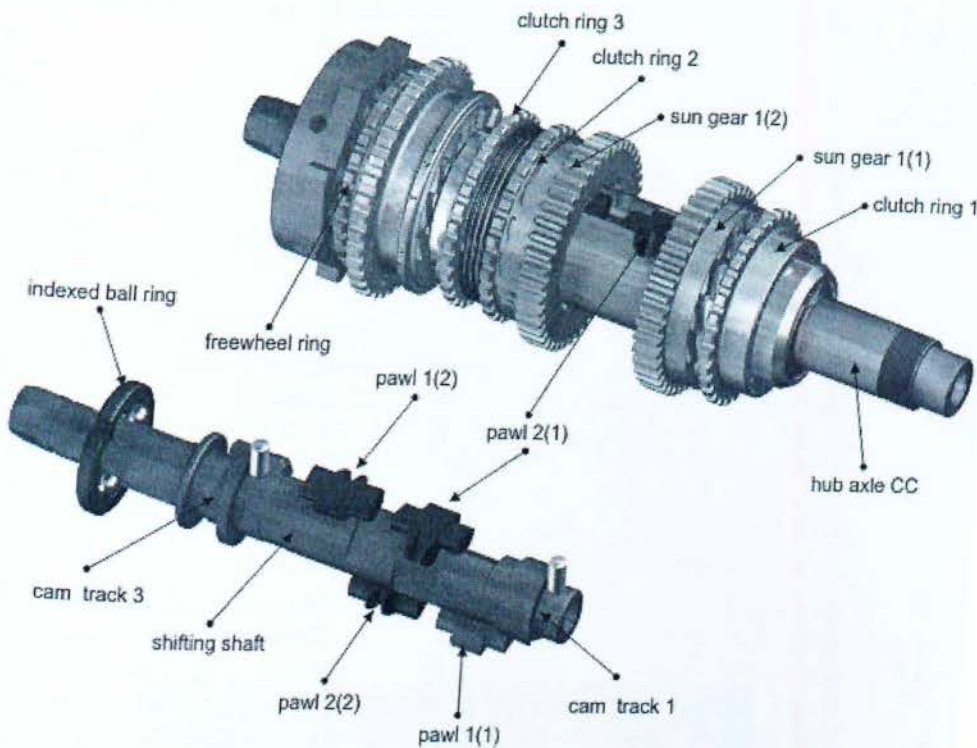
### Πλανητικός Μηχανισμός 2

Το εξάρτημα 1(2) (Pawl 1(2)) συνδέει τον ήλιο 1 του μηχανισμού (2) απευθείας στον άξονα. Ο πλανητικός φορέας (1-2) οδηγεί τους πλανήτες του μηχανισμού (2) γύρω από τον σταθερό ήλιο 1 του μηχανισμού (2). Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του πλανητικού φορέα (1-2) και της συνδεδεμένης στεφάνης του μηχανισμού (2) με τον ήλιο του μηχανισμού (3) είναι 0.682.

### Πλανητικός Μηχανισμός 3

Η στεφάνη του μηχανισμού (3) και ο ήλιος του μηχανισμού (3) συνδέονται μεταξύ τους, έτσι οι πλανήτες του μηχανισμού (3) δεν περιστρέφονται. Η ισχύς μεταδίδεται στον πλανητικό φορέα του μηχανισμού (3) με σχέση μετάδοσης 1. Η συνολική σχέση μετάδοσης είναι 0.682.

### Μηχανισμός σύμπλεξης



Η ανωτέρω απεικόνιση δείχνει τον άξονα με τα σε αυτόν στοιχεία σύμπλεξης: Οι δακτύλιοι σύμπλεξης (1), (2) και (3) μαζί με τους ήλιους 1 του μηχανισμού (1) και 1 του μηχανισμού (2). Οι ενδιάμεσοι ήλιος 2 του μηχανισμού (1) και ήλιος 2 του μηχανισμού (2) δεν εμφανίζονται για να απεικονιστούν τα εξαρτήματα σύνδεσης (pawls).

Ο άξονας περιλαμβάνει τον άξονα μετατόπισης (shift shaft), σφαιρικά εξαρτήματα σύνδεσης, τα εξαρτήματα σύνδεσης (pawls) 1, 2 του μηχανισμού (1), 2 του μηχανισμού (2) and 1 του μηχανισμού (3) και τις διαδρομές εκκέντρου (cam tracks) για τους δακτυλίους σύμπλεξης (clutch rings) 1 and 2. Οι αντίστοιχοι ήλιοι συνδέονται με τον άξονα (axle) με τα εξαρτήματα



σύνδεσης (pawls). Οι δακτύλιοι σύμπλεξης (clutch rings) φέρουν τους πλανητικούς μηχανισμούς (1), (2) or (3) αντίστοιχα σε σχέση μετάδοσης (1:1).

Οι ταχύτητες 1-7 εφαρμόζονται με τη 1η περιστροφή του τμήματος μετατόπισης (shift shaft). Με την αλλαγή ταχυτήτων από 7η -8η ο δακτύλιος σύμπλεξης 3 μετατρέπει τον μηχανισμό 3 σε απευθείας μετάδοση. Οι ταχύτητες 8η -14η εφαρμόζονται με την 2η περιστροφή του άξονα μετατόπισης (shift shaft).

## 5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

### Το αυτόματο κιβώτιο – γενικά 15,16

Το 1941, η Chrysler παρουσίασε το πρώτο αυτόματο σύστημα μετάδοσης, το οποίο περιελάμβανε μία υδραυλική σύζευξη μεταξύ του κινητήρα και του συμπλέκτη.

Σήμερα, το σύγχρονο αυτόματο κιβώτιο αποτελείται από πολλά στοιχεία και συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να συνεργαστούν σε μια προηγμένη μηχανική, υδραυλική, ηλεκτρική και ηλεκτρονική τεχνολογία που έχει εξελιχθεί με τα χρόνια σε μια μορφή τέχνης, σύμφωνα με την γνώμη πολλών μηχανικών. Η προσπάθεια να δοθούν απλές, γενικές εξηγήσεις, όπου είναι δυνατόν, ώστε να περιγραφούν αυτά τα συστήματα, λόγω της πολυπλοκότητας ορισμένων από αυτά τα στοιχεία, καταλήγει επίπονη εργασία και δυσπρόσιτη ακόμα και για άψογα καταρτισμένους μηχανικούς.

Τα αυτόματα κιβώτια αποδίδουν πολλές ταχύτητες σε διάφορους συνδυασμούς. Σε ένα χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, τα γρανάζια που είναι τοποθετημένα κατά μήκος των αξόνων, εμπλέκονται με κάποιο μηχανισμό όπως απαιτείται κάθε φορά προκειμένου να παρέχεται η σωστή σχέση μετάδοσης. Σε ένα αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων όμως, τα γρανάζια βρίσκονται διαρκώς σε μόνιμη εμπλοκή. Η επιλογή της κατάλληλης σχέσης μετάδοσης επιτυγχάνεται με τη χρήση των πλανητικών σετ εργαλείων (συνήθως 2-3) που συνδυάζονται μεταξύ τους και έτσι προκύπτει η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στον στροφαλοφόρο και την έξοδο προς το διαφορικό. Η διαμόρφωση του συνδυασμού πραγματοποιείται με την ταινιοπέδη, κάτι σαν «φρένο» που ενεργοποιείται υδραυλικά και ρυθμίζει την θέση των διατάξεων. Σχεδόν κάθε σύγχρονο κιβώτιο διαθέτει και «σειραϊκή» λειτουργία (επιτρέπει χειροκίνητη μόνο διαδοχική αλλαγή σχέσεων) ενώ υπάρχουν διάφορα προγράμματα ανάλογα με τις συνθήκες κίνησης (comfort, sport, economy κ.α.).

Πολλοί περισσότεροι είναι οι πιθανοί συνδυασμοί με δύο ή περισσότερα πλανητικά σύνολα που συνδέονται με διάφορους τρόπους για να προσφέρουν τις διαφορετικές ταχύτητες προς τα εμπρός και πίσω, που βρίσκονται στα σύγχρονα αυτόματα κιβώτια. Έτσι δημιουργούνται αυτόματα κιβώτια πέντε, έξι ακόμα και επτά και οκτώ ταχυτήτων, καθιστώντας αρκετά

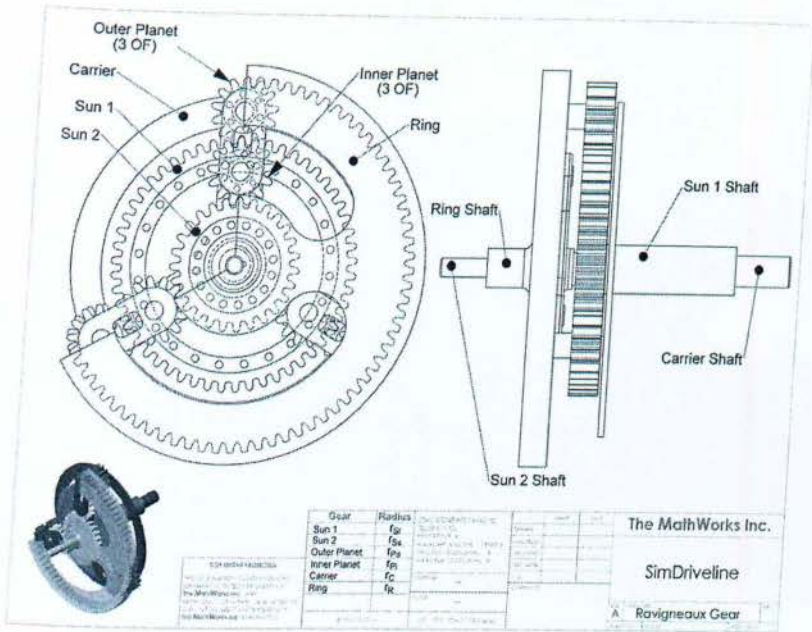
πολύπλοκη την προσπάθεια να κατανοήσει κανείς τη ροή της ενέργειας μέσω της μετάδοσης.

Τα κύρια στοιχεία που συνθέτουν ένα αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων είναι:

- Το πλανητικό σύστημα, το οποίο είναι το μηχανικό σύστημα που παρέχει τις διάφορες σχέσεις μετάδοσης εμπρόσθιας κίνησης, καθώς και την αντιστροφή της κίνησης.
- Το υδραυλικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί έναν ειδικό υγρό «διαβιβαστή» που αποστέλλεται υπό πίεση από αντλία λαδιού μέσω του σώματος βαλβίδων για τον έλεγχο των συμπλεκτών και των συγκροτημάτων προκειμένου να ελέγχεται η λειτουργία του πλανητικού συστήματος στο σύνολό της.
- Τσιμούχες και σωλήνες που χρησιμοποιούνται για το δίκτυο και τη στεγανοποίηση του υγρού του υδραυλικού συστήματος.
- Ο μετατροπέας ροπής ο οποίος ενεργεί σαν ένας συμπλέκτη για να επιτρέπει στο όχημα να μεταβεί στην αλλαγή της ταχύτητας, ενώ ο κινητήρας εξακολουθεί να λειτουργεί.
- Η ντίζα του γκαζιού που προσδιορίζει πότε θα γίνει αλλαγή ταχύτητας ανάλογα με τη θέση του πεντάλ του γκαζιού.
- Ο κεντρικός υπολογιστής, ο οποίος επεξεργάζεται τα σήματα που δέχεται από τους αισθητήρες και μέσω ηλεκτρικών πηνίων ελέγχει τη ροή του υδραυλικού συστήματος για την αποτελεσματική λειτουργία του αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων.

Παραδείγματα: Κάθε αυτόματη έκδοση κιβωτίου με μετατροπέα ροπής

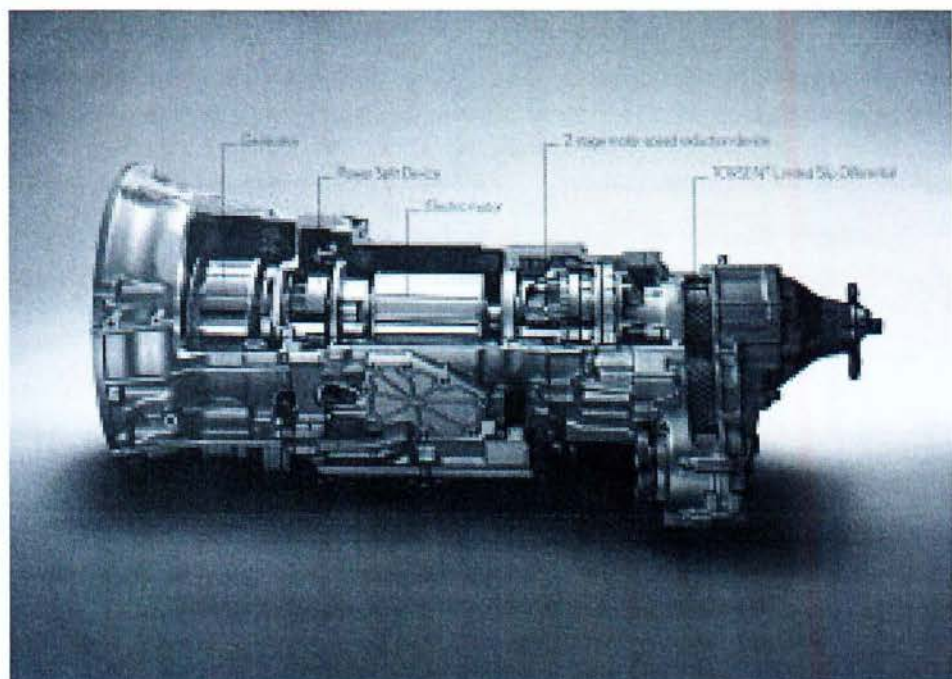
Το αυτόματο κιβώτιο με πλανητικό σύστημα Ravigneaux<sup>18</sup>



**Εικόνα 5.8:** Το πλανητικό σύστημα Ravigneaux

Το πλανητικό σύστημα Ravigneaux περιλαμβάνει δύο ήλιους (ένα μικρότερο και ένα μεγαλύτερο) και ένα μόνο φορέα που εμπλέκεται με δύο σετ πλανητών (ένα εσωτερικό, ένα εξωτερικό). Ο φορέας μπορεί να είναι μονός αλλά έχει να παντρέψει δύο σχέσεις μετάδοσης, των εσωτερικών και εξωτερικών πλανητών, τα οποία μπορεί να κινούνται ανεξάρτητα αλλά πάντοτε με συγκεκριμένη σχέση μετάδοσης καθώς κάθε κίνηση του ενός γραναζιού συνυπολογίζεται στο άλλο και το αντίστροφο. Τα ζεύγη των εσωτερικών πλανητών εμπλέκονται με τον μικρό ήλιο και των εξωτερικών με τον μεγάλο ήλιο. Η στεφάνη εμπλέκεται με τα εξωτερικά ζεύγη πλανητών.

Εφαρμογή του συστήματος Ravigneaux βλέπουμε στα πολυτελή γρήγορα της Lexus όπου οι επιδόσεις πρέπει να είναι μεγάλες



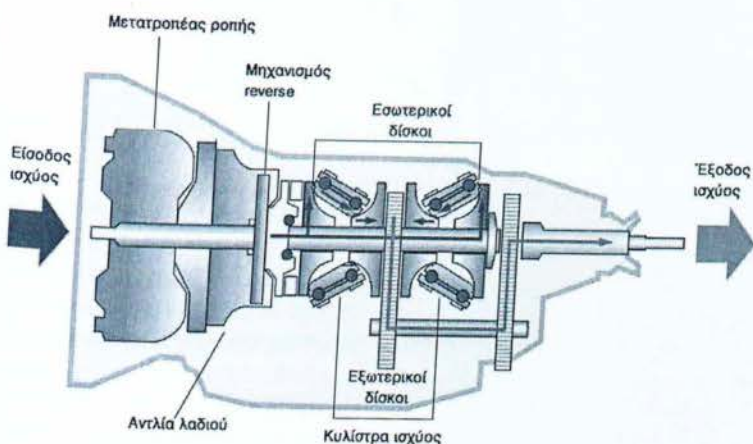
**Εικόνα 5.9:** Το σύστημα του Lexus LS 600h. Παρατηρούμε την θέση του πλανητικού μηχανισμού ανάμεσα στον ηλεκτροκινητήρα και στο Torsen.

Στην περίπτωση των GS 450h και LS 600h το πλανητικό σύστημα μετάδοσης (μεταβαλλόμενων σχέσεων) αναβαθμίστηκε με το μηχανικό σύστημα Ravigneaux το οποίο εμπλέκεται αυτόματα. Κάτι σαν ένα σύστημα 1-mode με δύο φάσεις ταχυτήτων. Στο LS 600h το πλανητικό σύστημα Ravigneaux βρίσκεται μετά τον ηλεκτροκινητήρα και αναλαμβάνει να αλλάζει την σχέση μετάδοσης του τελευταίου ανάμεσα στην κοντή σχέση (3,900:1) και στην μακριά (1,900:1). Κατά την επιτάχυνση ο μειωτήρας αλλάζει ανεπαίσθητα από την κοντή στην μακριά σχέση περίπου στα 85km/h (το κατέβασμα γίνεται στα περίπου 50km/h) και κάπως έτσι εξηγείται η αφθονία ροπής του LS 600h κατά την εκκίνηση.

### **To Extroid της Nissan<sup>17</sup>**

Το Extroid της Nissan έχει την ικανότητα μεταφοράς πολύ μεγάλων μεγεθών ροπής, καθώς ο ιμάντας και οι τροχαλίες από τα οποία αποτελούνται τα “συμβατικά” CVT κιβώτια έχουν αντικατασταθεί από ένα πλανητικό σύστημα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από κύλιστρα, τα οποία παρεμβάλλονται ανάμεσα στον εσωτερικό δίσκο που μεταφέρει την ισχύ από

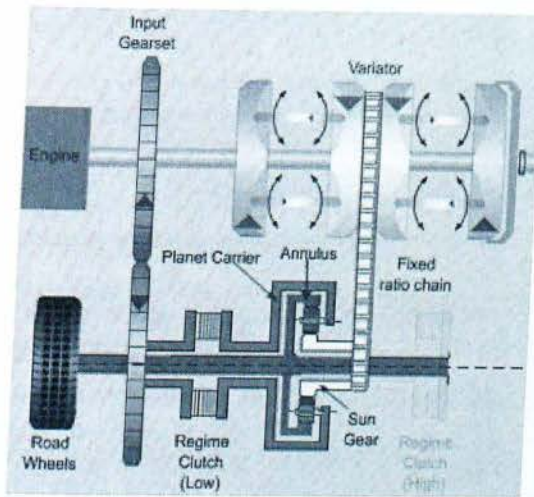
τον στροφαλοφόρο και στον εξωτερικό δίσκο που συνδέεται με τον άξονα μετάδοσης. Μεταβάλλοντας ηλεκτροϋδραυλικά τη γωνία επαφής των κυλινδρικών, μεταβάλλεται συγχρόνως και η σχέση μετάδοσης. Ωστόσο, η επαφή δεν είναι άμεση δεδομένου ότι παρεμβάλλεται ένα ειδικό λιπαντικό το οποίο "ρυθμίζει" τη γωνία και παράλληλα μειώνει το μέγεθος της τριβής και τη φθορά των υλικών. Το ειδικό λιπαντικό αποτελείται από σφηνοειδούς μορφής κόκκους, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να "κλειδώνονται" ανάμεσα στις δύο επιφάνειες. Η πίεση που ασκείται στα σημεία επαφής σε κανονικές συνθήκες φόρτισης προσδιορίζεται σε περίπου τρεις τόνους με όριο αντοχής τους δέκα τόνους.



Εικόνα 5.10: Σχηματική αναπαράσταση του Extroid της Nissan

### Torotrak IVT- Η εξέλιξη του CVT!<sup>17</sup>

Η αγγλική εταιρία Torotrak μετά από πολυετή μελέτη και εξέλιξη, κατασκεύασε ένα κιβώτιο άπειρων μεταβαλλόμενων σχέσεων IVT (Infinitely Variable transmission) το οποίο ουσιαστικά αποτελεί παραλλαγή των κιβωτίων CVT. Σύμφωνα με την εταιρία η εφαρμογή ενός κιβωτίου Torotrak IVT σε ένα όχημα μειώνει την κατανάλωση περισσότερο από 17% σε σχέση με τα μηχανικά κιβώτια αν και χαρακτηρίζεται ως ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο λειτουργικά παρά κατασκευαστικά σύστημα. Για το Torotrak έχει εκφράσει το ενδιαφέρον εδώ και αρκετό καιρό η GM και συγκεκριμένα η Ford. Μάλιστα μεταξύ της αγγλικής εταιρίας και της Toyota είχε συμφωνηθεί συνεργασία την οποία η τελευταία και αναίρεσε πρόσφατα ισχυριζόμενη ότι το κιβώτιο IVT εμφανίζει κραδασμούς. Παρ' όλα αυτά η Torotrak έχει ήδη γνωστοποιήσει ότι βρίσκεται σε επαφή με οκτώ μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, οι οποίες προς το παρόν διατηρούν την ανωνυμία τους.



Εικόνα 5.11: Σχηματική αναπαράσταση του Torotrak IVT

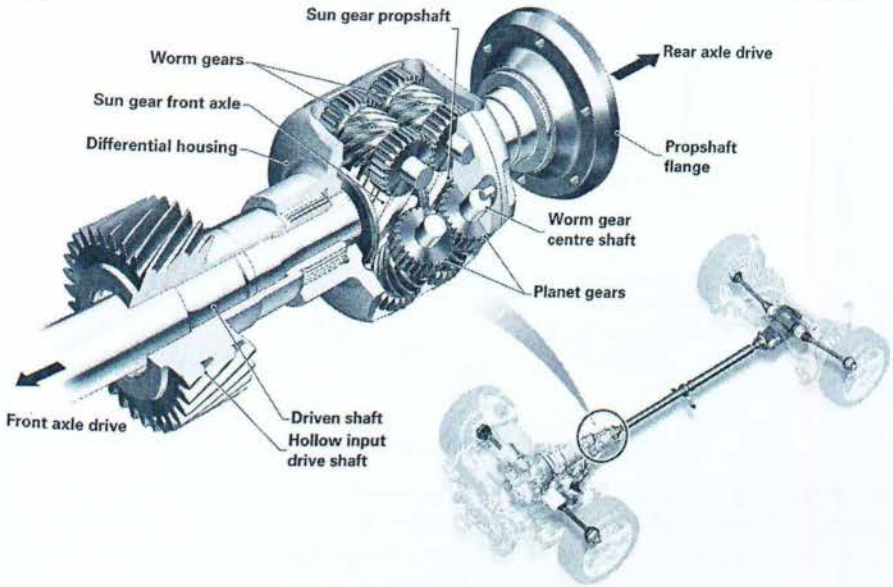
Όπως φαίνεται στο σχήμα, το Torotrak IVT απαρτίζεται από δυο βασικά παράλληλες ατράκτους εκ των οποίων η μια είναι συνδεδεμένη με επικυκλικό γρανάζι μετάδοσης το οποίο αποτελείται από ένα σύμπλεγμα μικρότερων γραναζιών. Η συγκεκριμένη μηχανική συναρμογή έχει την ιδιότητα να «κλειδώνει» ανάλογα με το μέγεθος της ροπής και να μεταβάλλει την έξοδο ισχύος. Στην πραγματικότητα η παραπάνω διάταξη λαμβάνει τον ρόλο της σύμπλεξης και αποσύμπλεξης αντικαθιστώντας τον κλασικό μετατροπέα ροπής που έχουν τα κλασικά αυτόματα κιβώτια. Η κίνηση στο πλανητικό σύστημα μεταδίδεται από δύο μεγάλα γρανάζια τα οποία γεφυρώνουν τους δυο άξονες μέσω ενός συμπλέκτη χαμηλών στροφών ενώ μια μεγάλη καδένα μεταδίδει την κίνηση στον ήλιο του επικυκλικού γραναζιού. Στον άλλο άξονα έχει τοποθετηθεί το σύστημα το οποίο ουσιαστικά μεταβάλλει συνεχώς την μετάδοση της κίνησης καθώς αποτελείται από δύο ζεύγη κυλίστρων, των οποίων η αρχή λειτουργίας παραπέμπει σε αυτή του Exctroid της Nissan. Τα κύλιστρα είναι τοποθετημένα ανάμεσα σε δύο δίσκους. Ο εσωτερικός δίσκος μεταφέρει την ισχύ από τον στροφαλοφόρο και ο εξωτερικός δίσκος την μεταφέρει στον άξονα μετάδοσης. Μεταβάλλοντας ηλεκτροϋδραυλικά την γωνία επαφής των κυλινδρίσκων μέσω υδραυλικών εμβόλων μεταβάλλεται συγχρόνως και η σχέση μετάδοσης. Για παράδειγμα, σε φάση μικρής σχέσης, το ένα άκρο των κυλίστρων εφάπτεται με την κάτω κοιλότητα του εσωτερικού δίσκου ενώ το άλλο εφάπτεται με την άνω κοιλότητα του εξωτερικού με αποτέλεσμα ο εξωτερικός δίσκος να περιστρέφεται πολύ πιο αργά από τον εσωτερικό. Ωστόσο η επαφή δεν είναι άμεση αφού παρεμβάλλεται ένα ειδικό λιπαντικό ρυθμίζοντας την γωνία και παράλληλα μειώνοντας την τριβή και την φθορά των υλικών.

## Διαφορικό Torsen<sup>19</sup>

Διαφορικό είναι ο μηχανισμός που σκοπό έχει να επιτρέψει στους δύο κινητήριους τροχούς στα προσθιοκίνητα ή οπισθιοκίνητα οχήματα, ή στους δύο άξονες μετάδοσης στα τετρακίνητα, να περιστρέφονται με διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες και να κατανέμει τη ροπή στρέψης, ανάλογα με τον συντελεστή πρόσφυσης στους κινητήριους τροχούς.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι διαφορικών πέρα του συμβατικού, τα οποία αντιλαμβάνονται είτε τη ροπή, είτε την ταχύτητα περιστροφής των κινητήριων τροχών.

Το διαφορικό Torsen είναι ένα διαφορικό περιορισμένης ολίσθησης που αντιλαμβάνεται τη ροπή. Το χρησιμοποίησε το επαναστατικό -για τα τότε δεδομένα- σύστημα τετρακίνησης του Audi Quattro 4WD, ενώ και σήμερα τοποθετείται σε διάφορα μοντέλα όπως τα Audi A4, A6 και All Road, Alfa Romeo 159 κ.α. Το Torsen (Torque Sensing) αποτελείται από ένα πλανητικό σύστημα (μια μηχανική συναρμογή μετωπικών και κωνικών γραναζιών), το οποίο αντιλαμβάνεται τη διαφορά ροπής ανάμεσα στα δύο ημιαξόνια των τροχών. Στο κέντρο της συναρμογής βρίσκονται ελικοειδή γρανάζια, τα οποία μεταφέρουν τη ροπή στους άξονες, ενώ στην περιφέρειά τους εφάπτονται επιπλέον ζευγάρια οδοντωτών τροχών. Η ιδιότητα της παραπάνω διάταξης είναι ότι η περιστροφή πραγματοποιείται κατά μια συγκεκριμένη φορά, ενώ κατά την αντίθετη η συναρμογή "κλειδώνει". Πιο απλά, όταν ο ένας τροχός σπινάρει η ροπή μεταδίδεται στον άλλο που δεν γυρίζει, δηλαδή σε αυτόν που έχει πρόσφυση. Το μηχανικό σύστημα Torsen αντιδρά άμεσα παρέχοντας μόνιμη κίνηση και στους τέσσερις τροχούς, ενώ δεν "εξαπατάται" από διάφορες καταστάσεις, όπως συμβαίνει στους συνεκτικούς συμπλέκτες οι οποίοι κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος πολλές φορές "κλειδώνουν", καθώς αντιλαμβάνονται τη διαφορά περιστροφής των τροχών. Το διαφορικό Torsen μπορεί να τοποθετηθεί σε όλες τις διατάξεις μετάδοσης στον εμπρός και τον πίσω άξονα ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως κεντρικό διαφορικό. Το βασικότερο μειονέκτημά του έγκειται στο μεγάλο βάρος, την αδράνεια και την τριβή των φερόμενων μαζών των γραναζιών. Τα Toyota RAV 4 (προηγούμενης γενιάς) και Lexus RX300 διαθέτουν κεντρικό Torsen που συνδυάζεται με συνεκτικό συμπλέκτη ενώ το Jeep Cherokee 3,7 και το Subaru Forester έχουν ίδιο διαφορικό στον πίσω άξονα τους. Μηχανικά Torsen συναντούμε στους πίσω άξονες και σπορ αυτοκινήτων (Mazda MX-5 2.0, Toyota MR-2), σε αρκετές περιπτώσεις ελέγχονται και συνδυάζονται με ηλεκτρονικούς μηχανισμούς (BMW M3, Mitsubishi EVO) καθώς και στον εμπρός άξονα αγωνιστικών αυτοκινήτων.



Εικόνα 5.12: Το διαφορικό Torsen της Audi

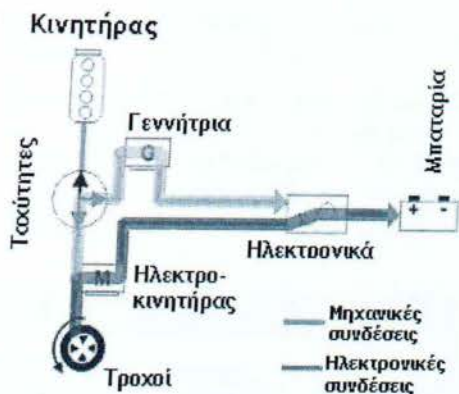
Υβριδικά αυτοκίνητα<sup>33</sup>

Τα κύρια μέρη του υβριδικού συστήματος του αυτοκινήτου είναι ο ηλεκτροκινητήρας, ο κινητήρας εσωτερικής καύσεως, η γεννήτρια, η συστοιχία συσσωρευτών (μπαταρία) και ο μετασχηματιστής ρεύματος (εικ.5.13 και εικ. 5.14)



Εικόνα 5.13: Κύρια μέρη του υβριδικού αυτοκινήτου





**Εικόνα 5.14:** Σχηματικό διάγραμμα του υβριδικού αυτοκινήτου

Ο ηλεκτροκινητήρας αναλαμβάνει εξ ολοκλήρου την κίνηση του αυτοκινήτου σε σταθερή, ομαλή πορεία και μη κεκλιμένο επίπεδο. Παρέχει επιπλέον ισχύ στο βενζινοκινητήρα μόνο στις υπόλοιπες περιπτώσεις όπως κατά την επιτάχυνση, στο κεκλιμένο επίπεδο (ανηφόρα). Είναι μόνιμα συνδεδεμένος με το πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων τύπου CVT όπου ρυθμίζεται η κατανομή ισχύος ανάμεσα στις δύο μονάδες (ηλεκτροκινητήρας - βενζινοκινητήρας) για τη μετάδοση της κίνησης στους τροχούς. Φυσικά ο ηλεκτροκινητήρας επικοινωνεί με τη γεννήτρια και τις μπαταρίες όπου δέχεται ενέργεια. Η μεγάλη επανάσταση στο συγκεκριμένο μέρος του οχήματος είναι ότι κατά το φρενάρισμα μετατρέπεται σε γεννήτρια η οποία επαναφορτίζει τις μπαταρίες.

Είδη υβριδικών αυτοκινήτων είναι τα υβριδικά «στάσης-εκκίνησης», τα πλήρη υβριδικά συστήματα και τα «ήπια» υβριδικά

- Το σύστημα κίνησης "Hybrid Synergy Drive" της Toyota<sup>34</sup>

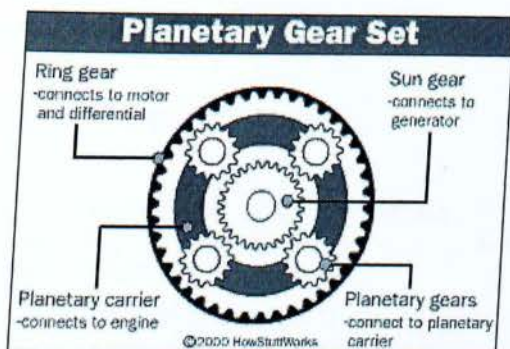
Ένα πλήρως υβριδικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος "Hybrid Synergy Drive" της Toyota που χρησιμοποιείται στο μοντέλο Prius, έχει την δυνατότητα να κινεί το όχημα μόνο με τον βενζινοκινητήρα ή μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα ή και τους δύο ταυτόχρονα.

Το σύστημα της Toyota, το οποίο έχει παραχωρηθεί μερικώς και στην Ford και έχει εγκατασταθεί στο υβριδικό μοντέλο Escape, χρησιμοποιεί μια συσκευή «κατανομής ισχύος» που συνεχώς μεταβάλλει την κατανομή ισχύος που διατίθεται από τον κινητήρα για την κίνηση του οχήματος και την κίνηση της ηλεκτρογεννήτριας.

Η συσκευή κατανομή ισχύος είναι ένα έξυπνο κιβώτιο ταχυτήτων που ενώνει τον κινητήρα καυσίμου, την γεννήτρια και τον ηλεκτροκινητήρα μαζί. Επιτρέπει το αυτοκίνητο να λειτουργεί σαν ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα - ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να τροφοδοτήσει το αυτοκίνητο από μόνο του,

όπως και ο κινητήρας καυσίμου, αλλά μπορούν επίσης να κινήσουν το αυτοκίνητο συνεργαζόμενοι.

Η συσκευή κατανομή ισχύος είναι ένα πλανητικό σύστημα. Το ηλεκτρικό μοτέρ είναι συνδεδεμένο με τη στεφάνη του πλανητικού συστήματος. Είναι, επίσης, άμεσα συνδεδεμένο με το διαφορικό, το οποίο οδηγεί τους τροχούς. Έτσι, ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ηλεκτρικού μοτέρ η κίνηση της στεφάνης καθορίζει την ταχύτητα του αυτοκινήτου (εικ. 5.15).



**Εικόνα 5.15:** Το πλανητικό σύστημα του "Hybrid Synergy Drive" της Toyota

Η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη με τον ήλιο του σετ εργαλείων, και ο κινητήρας συνδέεται με τον φορέα των πλανητών. Η ταχύτητα της στεφάνης εξαρτάται από τις τρεις συνιστώσες (πλανήτες, φορέας πλανητών, ήλιος), έτσι ώστε όλα τα μέλη να συνεργάζονται ανά πάσα στιγμή για να ελέγχουν την ταχύτητα εξόδου.

Όταν επιταχύνει, αρχικά το ηλεκτρικό μοτέρ οι μπαταρίες παρέχουν όλη την ισχύ, ενώ η στεφάνη αρχίζει να περιστρέφεται με το μοτέρ. Ο φορέας των πλανητών, ο οποίος συνδέεται με τον κινητήρα, είναι σε στάση, επειδή ο κινητήρας δεν λειτουργεί. Δεδομένου ότι η στεφάνη περιστρέφεται, οι πλανήτες πρέπει να περιστρέφονται, και έτσι αναγκάζονται ο ήλιος και η γεννήτρια να περιστραφούν. Καθώς το αυτοκίνητο επιταχύνει, η γεννήτρια περιστρέφεται με την ταχύτητα που είναι αναγκαία προκειμένου ο κινητήρας να παραμείνει εκτός λειτουργίας.

Με την επίτευξη συγκεκριμένης ισχύος, ανάβει ο κινητήρας καυσίμου. Η γεννήτρια αλλάζει ξαφνικά ταχύτητα, προκαλώντας τον φορέα να ξεκινήσει τον κινητήρα. Όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε λειτουργία, διατηρεί μια σταθερή ταχύτητα, ενώ η γεννήτρια μεταβάλλει την ταχύτητα της ώστε να ταιριάζει με την ταχύτητα εξόδου με τον ηλεκτροκινητήρα. Όταν υπάρχει απαίτηση για επιτάχυνση, ο κινητήρας θα αντλήσει επιπλέον ενέργεια από τις μπαταρίες. Όταν το υπάρχει απαίτηση για υψηλή ταχύτητα το αυτοκίνητο θα κινήθει σύμφωνα με έναν συνδυασμό ηλεκτρισμού με καύσιμο, με όλη την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την γεννήτρια.

Όταν δεν απαιτείται όλη η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα για την κίνηση του οχήματος, αυτή η περίσσεια ισχύος χρησιμοποιείται για την φόρτιση των μπαταριών. Σε συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου και σε χαμηλές ταχύτητες (όταν ο βενζινοκινητήρας είναι μη αποδοτικός), ο κινητήρας σβήνει

και ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτούμενος από τις μπαταρίες αναλαμβάνει να κινήσει το όχημα.

Το σύστημα είναι πολύπλοκο, όμως με την χρήση του επιτυγχάνεται μεγάλη ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω της συνεχούς λειτουργίας του βενζινοκινητήρα σε αποδοτικό αριθμό στροφών.

Το σύστημα που έχει εγκατασταθεί στο υβριδικό μοντέλο της Honda καθώς και στο υβριδικό με κίνηση στους 4 τροχούς Lexus RX400h που είναι παρόμοιο αλλά διαθέτει δυο ηλεκτρικές μηχανές, μια για του εμπρός και μια για τους πίσω τροχούς.

- Το σύστημα κίνησης του Opel Ampera<sup>30</sup>

Το Ampera αποτελεί το πρώτο ηλεκτρικό όχημα στην Ευρώπη που έχει τη δυνατότητα επέκτασης της αυτονομίας, με στόχο την πιο αποδοτική και παράλληλα απολαυστική οδηγική εμπειρία.

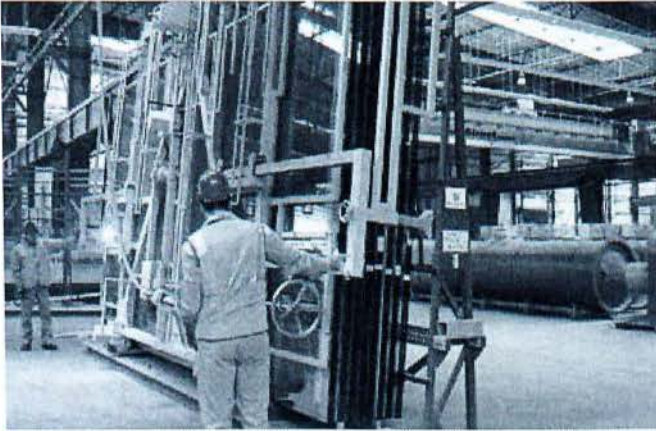
Αντίθετα με τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας, που χρησιμοποιούν έναν ηλεκτροκινητήρα με σταθερό μειωτήρα στροφών ώστε να εναρμονίζεται με την ταχύτητα περιστροφής των τροχών, το Ampera χρησιμοποιεί μία πρωτότυπη ηλεκτρική μονάδα κίνησης που αυξάνει την απόδοση. Η απόδοση οποιουδήποτε ηλεκτροκινητήρα μειώνεται καθώς πλησιάζει στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του.

Το σύστημα κίνησης του Ampera αποτελείται από δύο ηλεκτροκινητήρες, τρεις συμπλέκτες και ένα σετ πλανητικών γραναζιών που βελτιώνουν τη συνολική απόδοση μειώνοντας τη συνδυασμένη περιστροφική ταχύτητα των δύο ηλεκτροκινητήρων. Αυτό το σύστημα μειώνει την κατανάλωση ενέργειας από την μπαταρία στις υψηλές ταχύτητες, προσθέτοντας μέχρι και 4 χλμ περίπου επιπλέον αυτονομίας με ηλεκτροκίνηση (EV).

Οι ηλεκτροκινητήρες του Ampera και το σετ πλανητικών γραναζιών τοποθετούνται εν σειρά με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης που επεκτείνει την αυτονομία. Δύο από τους συμπλέκτες χρησιμοποιούνται είτε για το κλείδωμα του πλανητικού περιφερειακού γραναζιού ή για τη σύνδεσή του με τον ηλεκτροκινητήρα/γεννήτρια ανάλογα με το πρόγραμμα λειτουργίας.

## 5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΠΛΑΗΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

### Μετάδοση κίνησης και ισχύος με μειωτήρες<sup>26,27</sup>



**Εικόνα 5.15:** Γερανογέφυρα η οποία διαθέτει σειρά κινητήρων μεγάλης ισχύος, στους οποίους είναι προσαρμοσμένοι κατάλληλοι μειωτήρες.

Η μετάδοση ισχύος σε μια βιομηχανική εγκατάσταση συνιστά μια διαδικασία πολλών σταδίων αλλά και πολλαπλών μετατροπών. Για παράδειγμα η ευθύγραμμη κίνηση ενός ιμάντα προκύπτει από τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης του κινητήριου μοτέρ σε ευθύγραμμη κίνηση, ωστόσο η μετατροπή αυτή έγινε σε περισσότερα από ένα στάδια. Οι πολλαπλές αυτές μετατροπές αφορούν διάφορες παραμέτρους της κίνησης και διαμορφώνουν έναν τελικό συντελεστή ισχύος του εκάστοτε μηχανισμού μετάδοσης κίνησης. Το πρώτο στάδιο μιας τυπικής διαδικασίας μετάδοσης ισχύος είναι η μείωση (ή σπανιότητα η αύξηση) των στροφών του κινητήριου μοτέρ που συνδυάζεται συχνά με την αλλαγή του άξονα περιστροφής της μεταδιδόμενης κίνησης. Αυτή η πρώτη μετατροπή της κίνησης που παράγεται από την ενέργεια που μεταδίδει ένας κινητήρας στον άξονά του γίνεται από τους μειωτήρες στροφών.

Ο άξονας περιστροφής της κίνησης που μεταδίδει ο μειωτήρας μπορεί να είναι παράλληλος, τεμνόμενος ή ασύμβατος με τον άξονα του κινητήρα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με γρανάζια. Τα γρανάζια σαν μηχανισμός αλλαγής των στροφών εξασφαλίζουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας, ακριβή σχέση μετάδοσης, δυνατότητα υπερφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλο βαθμό απόδοσης. Μέσα στο κέλυφος ενός μειωτήρα μπορούν να είναι προσαρμοσμένοι πολλοί οδοντωτοί τροχοί διαφόρων τύπων. Οι συνήθεις τύποι γραναζιών που αξιοποιούνται στην κατασκευή των μειωτήρων οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί, οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, οι κοχλιωτοί οδοντωτοί τροχοί, το σύστημα ατέρμονα κοχλία – οδοντωτού τροχού και η επικυκλική οδόντωση.

## - Τύποι και δομή

Οι διάφοροι τύποι μειωτήρων καθορίζονται από τη μετατροπή της κίνησης που είναι επιθυμητή και αξιοποιούν διάφορους τύπους γραναζιών από αυτούς που προαναφέρθηκαν προκειμένου να επιτύχουν τη ζητούμενη σχέση μετάδοσης. Στους διάφορους τύπους άλλωστε των μειωτήρων χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχοι τύποι γραναζιών.

## - Πλανητικοί μειωτήρες

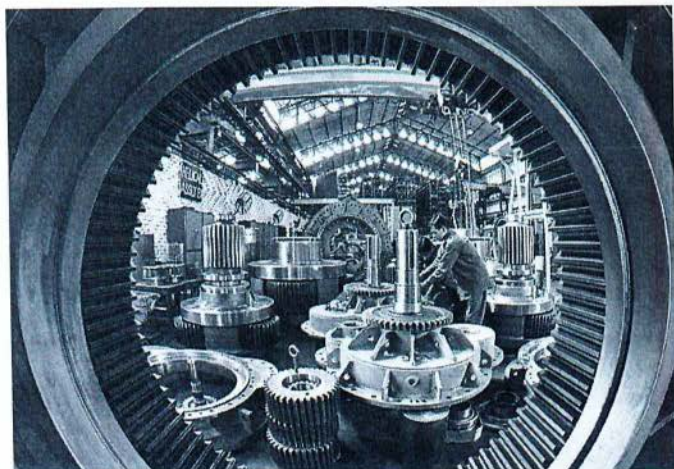
Οι πλανητικοί μειωτήρες παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους διακρίνουν από τους συνήθεις μειωτήρες. Το βασικότερο είναι η χαμηλή (κατά κανόνα αλλά όχι πάντα) ισχύς λειτουργίας τους, αλλά και η μεγάλη ακρίβεια ρύθμισης που επιτυγχάνουν. Χαρακτηρίζονται επίσης από το ότι μολονότι επιτυγχάνουν σημαντικές σχέσεις μείωσης και αρκετά μεγάλες ροπές εξόδου κατασκευάζονται σε μικρά σχετικά μεγέθη. Πρέπει να σημειώσουμε εδώ πως σε ορισμένες εφαρμογές όπως σε αυτοκινούμενες υπερκατασκευές χρειάζεται να διαχειριστούν πολύ μεγάλα φορτία. Κάποια άλλα χαρακτηριστικά τους είναι η αυξημένη μηχανική απόδοση τους και η ιδιαίτερα αθόρυβη λειτουργία τους. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων και εν γένει έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και προσφέρουν μεγάλη αξιοπιστία.

Στους πλανητικούς μειωτήρες συνηθέστατα ο άξονας εξόδου είναι φλαντζωτός. Αυτό προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα όπως τη δυνατότητα διαχείρισης υψηλών ακτινικών φορτίων, αλλά και η οικονομία που επιτυγχάνεται στην κατανάλωση ισχύος διότι το οδηγούμενο φορτίο συνδέεται απευθείας με το κινητήριο σύστημα χωρίς τα συνήθη στοιχεία σύνδεσης (π.χ κόμπλερ, αντάπτορες, κ.λ.π). Πρέπει να σημειωθεί ακόμα πως στους περισσότερους πλανητικούς μειωτήρες η λίπανση γίνεται με συνθετικό λάδι, το οποίο διαρκεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του μειωτήρα.

Οι πλανητικοί μειωτήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα ελέγχου κίνησης (motion control systems). Βρίσκουν ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα πιο εξελιγμένα από αυτά τα συστήματα όπως στα συστήματα ρομποτικής και τούτο γιατί προσφέρουν υψηλή ακρίβεια θέσης συνδεδεμένοι με ειδικές διατάξεις με τους σερβοκινητήρες και τους βηματικούς κινητήρες οι οποίοι ενεργοποιούν τους μηχανισμούς κίνησης στα συστήματα αυτά. Πρέπει να τονίσουμε πως καθώς εξελίχθηκε η τεχνολογία των πλανητικών μειωτήρων τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί σε διάφορα μοντέλα μειωτήρων πολλαπλές δυνατότητες οδήγησης. Υπάρχουν λοιπόν πλανητικοί μειωτήρες που οδηγούνται από ηλεκτροκινητήρα, αλλά κι άλλοι που οδηγούνται από υδραυλικό κινητήρα ή από ελεύθερο άξονα. Αντίστοιχες δυνατότητες έχουν αναπτυχθεί και στις εξόδους των διαφόρων τύπων πλανητικών μειωτήρων, καθώς μια σειρά από διαφορετικούς σχεδιασμούς καλύπτει πολλαπλές απαιτήσεις.



**Εικόνα 5.16:** Πλανητικοί μειωτήρες της Zollern



**Εικόνα 5.17:** Πλανητικός μειωτήρας της Kavitsu 10.000 kg

Χαρακτηριστικές εφαρμογές των πλανητικών μειωτήρων είναι:

- μηχανήματα εξόρυξης, χωματοουργικά μηχανήματα
- βιομηχανία ζάχαρης (π.χ. μύλοι άλεσης ζαχαροκάλαμου, πύργοι εξόρυξης, τύμπανα προθέρμανσης, πρέσες ζαχαρότευτλων, μηχανήματα κοπής ζαχαρότευτλων, συστήματα μεταφοράς)
- βιομηχανία καουτσούκ και πλαστικών
- βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα
- χαρτοβιομηχανίες
- μηχανήματα συσκευασίας
- εξοπλισμοί επεξεργασίας λυμάτων
- κλωστοϋφαντουργίες
- βιομηχανίες άνθρακα
- βιομηχανίες τσιμέντου

- εργαλειομηχανές
- χημικές βιομηχανίες
- βιομηχανία πετρελαίου και αερίου

### Ανυψωτικά συστήματα<sup>26,27</sup>



**Εικόνα 5.18:** Μεγάλοι γερανοί που διατάσσουν ογκώδη και βαριά φορτία σε υπαίθριο αποθηκευτικό χώρο.

Τα ανυψωτικά συστήματα αποτελούν μια επιμέρους κατηγορία του ευρύτερου τομέα των μεταφορικών συστημάτων. Τα μεταφορικά συστήματα στη βιομηχανία αναφέρονται στη διακίνηση υλικών, προϊόντων και μηχανημάτων. Η διακίνηση υλικών και προϊόντων αναφέρεται συνήθως στην εισαγωγή υλικών, στη συναρμολόγηση, στη συσκευασία και στην αποθήκευση. Τα μηχανήματα διακίνησης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα μηχανήματα συνεχούς μεταφοράς και στα μηχανήματα ασυνεχούς μεταφοράς.

Τα μηχανήματα της πρώτης κατηγορίας λειτουργούν συνεχώς για μεγάλο χρονικό διάστημα μεταφέροντας συνήθως υλικά και προϊόντα, είτε αυτά είναι διαταγμένα κατά τεμάχια, είτε είναι στοιβαγμένα χύδην. Ένα κλασικό παράδειγμα τέτοιου μηχανισμού αποτελούν οι μεταφορικές ταινίες που υποστηρίζουν μια μεγάλη γκάμα γραμμών παραγωγής. Τα μηχανήματα ασυνεχούς μεταφοράς εκτελούν διαδοχικές διαδρομές προώθησης και παραλαβής. Σε αυτή την κατηγορία των συστημάτων διακίνησης υπάγονται και τα ανυψωτικά συστήματα.

Τα ανυψωτικά συστήματα συνιστούν μια από τις πιο σύνθετες μηχανολογικές ή ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις. Και τούτο γιατί αποτελούνται από μια σειρά πολλαπλών μηχανισμών που περιλαμβάνουν μια μεγάλη γκάμα στοιχείων μηχανών, σιδηρών κατασκευών αλλά και ηλεκτρικών διατάξεων. Είναι γεγονός ότι οι ανάγκες ανύψωσης υλικών και εξοπλισμού στη βιομηχανία ποικίλλουν πάρα πολύ είτε ως προς το βάρος, το μέγεθος και

τη μορφή του ανυψωμένου φορτίου, είτε ως προς τη δυσκολία πρόσβασης στα σημεία παραλαβής και απόθεσης και το ύψος στο οποίο βρίσκονται αυτά, είτε ως προς το άνοιγμα και την ταχύτητα λειτουργίας, είτε ως προς μια μεγάλη και δύσκολα καταγραφόμενη σειρά παραμέτρων στις διάφορες βιομηχανικές ανυψώσεις φορτίων.

Για το λόγο αυτό στα ανυψωτικά συστήματα περιλαμβάνονται μηχανισμοί που διαφέρουν πολύ μεταξύ τους ως προς το σχεδιασμό, το μέγεθος και την ισχύ τους. Η πολυμορφία των ανυψωτικών συστημάτων και η ιδιαιτερότητα του πλήθους των εφαρμογών τους έχει σαν συνέπεια οι περισσότερες ανυψωτικές μηχανές να μην κατασκευάζονται σε σειρά. Εξαιρέση αποτελούν οι μικρές ανυψωτικές μηχανές και ορισμένες κανονικές κατασκευές. Στη μεγάλη πλειοψηφία των υπολοίπων περιπτώσεων ο κατασκευαστής ή ο προμηθευτής ενός ανυψωτικού συστήματος δίνει –έστω και λίγο- διαφορετικές λύσεις σε κάθε καινούργια εφαρμογή, οι οποίες συχνά δεν έχουν δοκιμασθεί ξανά ως αυτούσιες ολοκληρωμένες διατάξεις.

#### - Σχεδιασμός

Σε μεγάλες και μάλιστα φορητές κατασκευές, όπως τα ανυψωτικά συστήματα σημαντικό κριτήριο σχεδιασμού συνιστά προφανώς και το βάρος του συνολικού συστήματος, αλλά και του εκάστοτε επιμέρους μηχανισμού. Σε ειδικά τεμάχια της κατασκευής όπως στις κεραίες γερανών, στα φορεία γερανογεφυρών, στις αρπάγες κ.α, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο ελαφρύ της κατασκευής. Αναφορικά με άλλα σημαντικά υποσυστήματα, όπως το κιβώτιο ταχυτήτων, η επιλογή ελαφρότερων υλικών (π.χ στα γρανάζια μετάδοσης κίνησης) μπορεί να επηρεάσει την αντοχή και τη λειτουργικότητα. Για το λόγο αυτό μελετάται η γεωμετρία του μηχανισμού αυτού ώστε να έχουμε μικρότερες διαστάσεις και κατά συνέπεια μικρότερα βάρη.

Μια πολύ σημαντική γενική παράμετρος σχεδιασμού, που αφορά τα περισσότερα ανυψωτικά συστήματα, αλλά κυρίως τα μεγάλου όγκου και βάρους συστήματα, τα οποία διαχειρίζονται πολύ μεγάλα φορτία, είναι η μελέτη των συνθηκών κατά την εκκίνηση και κατά το σταμάτημα της λειτουργίας του ανυψωτικού συστήματος. Είναι γνωστό ότι οι ανυψωτικές μηχανές δεν εργάζονται ομοιόμορφα και συνεχώς, αλλά κάνουν πολλές στάσεις λειτουργίας. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων έχουμε ένα μανουβράρισμα του φορτίου – ιδιαίτερα όταν αυτό είναι βαρύ, ογκώδες και με μη κανονικό σχήμα. Έτσι λοιπόν οι χρόνοι σύζευξης και οι διακοπές λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων τους εναλλάσσονται μεταξύ τους.

Σε κάθε επανεκκίνηση, ακόμα και όταν αυτή συμβαίνει στο μέσο της διαδρομής μεταφοράς, έχουμε μια επιτάχυνση της ανυψωτικής μηχανής από την ηρεμία μέχρι την κανονική ταχύτητα. Αντίστοιχα σε κάθε σταμάτημα, που μπορεί επίσης να συμβαίνει σε μια σειρά ενδιάμεσων σημείων της διαδρομής, έχουμε επιβράδυνση από την κανονική ταχύτητα μέχρι τη μηδενική. Οι επιταχύνσεις όμως και οι επιβραδύνσεις αυτές αναφέρονται σε πολύ μεγάλες μάζες οι οποίες έχουν συχνά σύνθετες μορφές.

Συνοπώς οι δυνάμεις επιτάχυνσης και επιβράδυνσης είναι πολύ μεγάλες, οι δε αντίστοιχες ροπές στρέψης εκτός του ότι είναι επίσης μεγάλες (μεγαλύτερες των αντίστοιχων ροπών κανονικής λειτουργίας) απαιτούν και



ιδιαίτερη μελέτη, καθώς συναρτώνται από τη ροπή αδράνειας και την ιδιαίτερη δυναμική συμπεριφορά πολύπλοκων μηχανισμών. Τα παραπάνω διαμορφώνουν ειδικές απαιτήσεις για τη ροπή εκκίνησης του ηλεκτροκινητήρα, αλλά και για την πέδη του ανυψωτικού μηχανήματος. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι σε δύσκολες ανυψώσεις απομακρυσμένων και βαρέων φορτίων απαιτείται μια κατά περίπτωση ειδική μελέτη της μεθόδου ανύψωσης και μεταφοράς.

#### - Μηχανική λειτουργία

Τα ανυψωτικά συστήματα διαφέρουν πολύ μεταξύ τους ως προς τον τρόπο λειτουργίας. Η διαφορετικότητα της λειτουργίας χαρακτηρίζεται από τη διακεκομμένη λειτουργία και από τη μεταβολή των φορτίσεων ή των κατευθύνσεων της ανυψωτικής κίνησης. Έτσι μπορεί να έχουμε Διακεκομμένη λειτουργία, μεταβολή της φόρτισης, μεταβολή της φοράς περιστροφής, ακρίβεια της μετακίνησης ή εκκίνηση υπό φορτίο.

Για τον έλεγχο της κίνησης και την επίτευξη των αναγκαίων ροπών εκκίνησης, αλλά και το συντονισμό της κατασκευής στις μεταβολές των φορτίων, χρησιμοποιούνται τα πλανητικά κιβώτια ταχυτήτων περιστροφής, η χρήση των οποίων έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας.

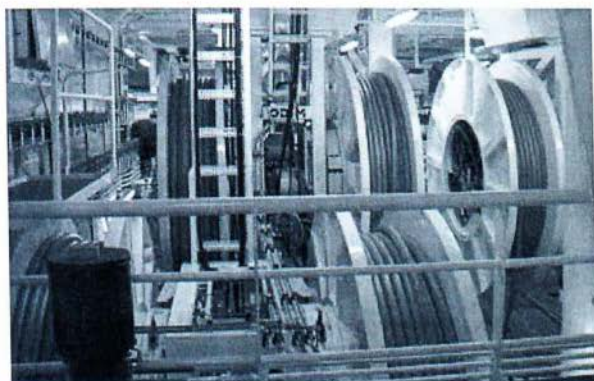
Χαρακτηριστικές εφαρμογές πλανητικών συστημάτων σε ανυψωτικούς μηχανισμούς είναι:

- κινητοί γερανοί
- οικοδομικοί γεραμούς και μεταφορικά μέσα
- ανελκυστήρες
- γερανοί για φόρτωση πλοίων
- μηχανισμοί διάσωσης και ανέλκυσης ναυαγίων
- γερανοί ναυπηγείων
- γερανογέφυρες εμπορευματοκιβωτίων
- πλατφόρμες πρόσβασης

#### Ανυψώσεις με βαρούλκα<sup>26,27</sup>

Τα βαρούλκα συνιστούν μηχανισμούς ανύψωσης και μεταφοράς φορτίων τα οποία περιλαμβάνουν τροχαλίες και συρματόσχοινα. Στα βαρούλκα έχουμε διανομή του φορτίου σε περισσότερους κλάδους συρματόσχοινου και η σύνδεση του συρματόσχοινου με το άγκιστρο δεν γίνεται άμεσα αλλά μέσω συστήματος ανάρτησης.

Στα βαρούλκα συναντώνται διάφορες διατάξεις ανάρτησης φορτίου. Μπορεί να έχουμε ανάρτηση είτε από ένα κλάδο, είτε από δύο κλάδους, είτε απευθείας οδήγηση του συρματόσχοινου προς το βάρος.



**Εικόνα 5.19:** Βαρουλκομηχανισμοί έλξης καλωδίων σε μηχανοστάσιο σκάφους σεισμικών ερευνητών.

Τα βαρούλκα είναι μηχανισμοί χειροκίνητοι ή ηλεκτροκίνητοι. Μια ειδική περίπτωση βαρούλκου με ευρεία εφαρμογή είναι το βαρούλκο τριβής, ενώ σε ειδικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται και βαρούλκα μικρής δυναμικότητας που ενεργοποιούνται με πετρευσμένο αέρα.

#### -Ηλεκτρικά

Η έννοια του ηλεκτρικού βαρούλκου είναι συνυφασμένη με έναν ολοκληρωμένο ανυψωτικό μηχανισμό. Έχουν ευρεία χρήση και η πιο συνηθισμένη εφαρμογή τους είναι στις γερανογέφυρες. Είναι ιδιαίτερα σύνθετες διατάξεις σε σχέση με τα χειροκίνητα βαρούλκα και περιλαμβάνουν ως βασικά στοιχεία τον κινητήρα το τύμπανο με το συρματόσχοινο, τη διάταξη μειωτήρα και τον οριακό διακόπτη.

Συνήθως ο κινητήρας έχει ολισθαίνοντα δρομέα και κωνική πέδη. Η μετατροπή των στροφών γίνεται με μια διάταξη τριών επικυκλικών οδοντώσεων προσαρμοσμένη μέσα στο τύμπανο του βαρούλκου. Το σύνολο του μηχανισμού περικλείεται από προστατευτικό κέλυφος κατασκευασμένο από χαλύβδινο έλασμα. Ο οριακός διακόπτης επιτρέπει στο βαρούλκο να ελέγχει το ύψος ανύψωσης. Ο έλεγχος αυτός επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ακρίβειας στροφής του τυμπάνου. Μια άλλη λειτουργικά απαραίτητη διάταξη ελέγχου είναι αυτή που προστατεύει το βαρούλκο έναντι υπερφόρτισης.

Όλες οι διατάξεις ελέγχου είναι τοποθετημένες μέσα σε ένα κιβώτιο τοποθετημένο σε εκείνη την πλευρά του συνολικού μηχανισμού βαρούλκου, στην οποία υπάρχει η καλύτερη δυνατή πρόσβαση. Ένας κατάλληλος σύνδεσμος προσαρμόζει τον κινητήρα στον άξονα των επικυκλικών οδοντώσεων και συνιστά το σημείο διαχωρισμού δύο διακριτών διατάξεων. Η πρώτη είναι η κινούσα διάταξη που περιλαμβάνει τον κινητήρα και την κωνική πέδη και η δεύτερη είναι το κινούμενο μέρος του μηχανισμού που περιλαμβάνει το τύμπανο, το συρματόσχοινο, τις επικυκλικές οδοντώσεις και τις διατάξεις ελέγχου. Ο σύνδεσμος αυτός επιτρέπει την τοποθέτηση και την αφαίρεση του κινητήρα.

Τα ηλεκτρικά βαρούλκα συνιστούν μηχανισμούς με ευρύτατο εμπορικό ενδιαφέρον και συμμορφώνονται προς διεθνείς προδιαγραφές και τυποποιήσεις. Βασικά χαρακτηριστικά επιλογής ενός ηλεκτρικού βαρούλκου είναι εκτός από την ανυψωτική ικανότητα η ταχύτητα ανύψωσης του φορτίου, αλλά και οι μεταφορικές ταχύτητες των φορείων. Μια άλλη λειτουργική παράμετρος είναι το είδος της φόρτισης. Οι φορτίσεις διακρίνονται ως ελαφρές, μεσαίες και μεγάλες και η διάκριση αυτή εντάσσει το κάθε βαρούλκο σε συγκεκριμένη κατηγορία με βάση τις διεθνείς τυποποιήσεις.

Οι πιο σημαντικές ομάδες προϊόντων για βαρούλκα είναι:



*Εικόνα 5.20: βαρούλκο ανέλκυσης, βαρούλκο ελεύθερης πτώσης, βίντσι*

Κάθε βαρούλκο έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με βάση τις ακριβείς απαιτήσεις της εφαρμογής.

#### ♦ ΒΑΡΟΥΛΚΑ ΑΝΕΛΚΥΣΗΣ

Χαρακτηριστικές εφαρμογές είναι:

- κινητοί γερανοί
- οικοδομικοί γερανοί και μεταφορικά μέσα
- ανελκυστήρες
- γερανοί φόρτωσης και μεταφοράς φορτίου
- γερανογέφυρες εμπορευματοκιβωτίων
- πλατφόρμες πρόσβασης

#### ♦ ΒΑΡΟΥΛΚΑ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΠΤΩΣΗΣ

Χαρακτηριστικές εφαρμογές είναι:

- γεωτρύπανα
- μηχανήματα τοποθέτησης σωλήνων

#### ♦ ΒΙΝΤΣΙΑ ΔΙΑΣΩΣΗΣ

Χαρακτηριστικές εφαρμογές είναι:

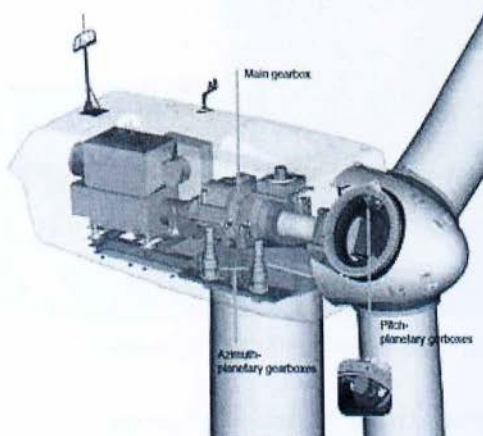
- σκάφη λιμενικού
- σωσίβιες λέμβοι
- συστήματα εκκένωσης



*Εικόνα 5.21: Το μοντέλο που παρουσιάστηκε στο περίπτερο της NKE το 2009 στην εμπορική έκθεση στο Αννόβερο: Πλανητικό σύστημα για ένα κιβώτιο ταχυτήτων ανεμογεννήτριας 1,5 MW*



*Εικόνα 5.22: Αναπαράσταση κιβώτιου ταχυτήτων ανεμογεννήτριας με δύο πλανητικά συστήματα*

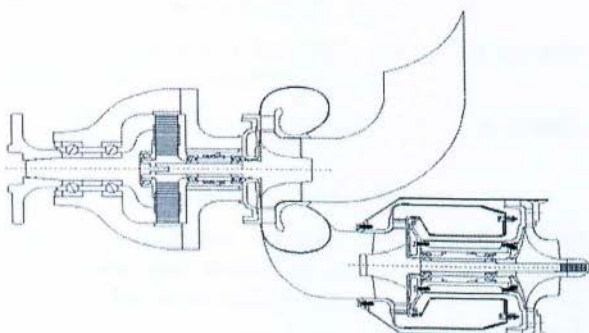


*Εικόνα 5.23: Σχηματική αναπαράσταση ανεμογεννήτριας με την εφαρμογή των πλανητικών συστημάτων*

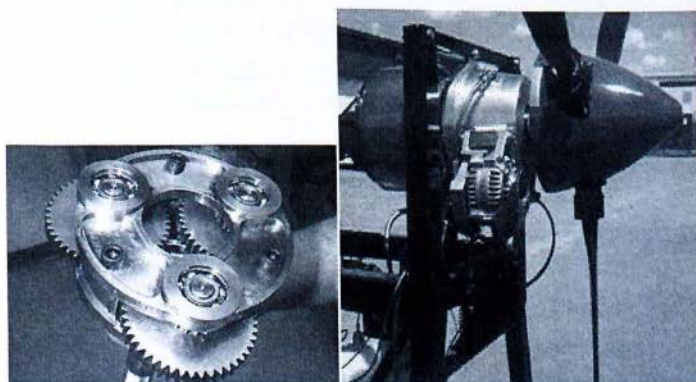
Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν κιβώτια ταχυτήτων για να μετατρέψουν τη σχετικά χαμηλή ταχύτητα περιστροφής του κύριου άξονα σε υψηλές ταχύτητες που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός όμως από το κιβώτιο ταχυτήτων, μπορούν να τοποθετηθούν δύο, τρία ή και τέσσερα σετ πλανητικών συστημάτων όπως αυτό της βάσης των πτερυγίων (εικ. 5.23) για την αποτελεσματικότερη διαχείριση της αιολικής ενέργειας και σύμφωνα πάντα με τον τύπο της ανεμογεννήτριας.

Τα κύρια κιβώτια ταχυτήτων για εφαρμογές αιολικής ενέργειας φθάνουν έως το μέγεθος των 2,5 MW για την ανεμογεννήτρια, ενώ για μεγαλύτερες κατηγορίες ισχύος του κινητήρα μπορούν να κατασκευαστούν κατόπιν παραγγελίας.

### Ελικοστρόβιλος



*Εικόνα 5.24: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ελικοστρόβιλου*



*Εικόνα 5.25: Πλανητικό σύστημα που χρησιμοποιείται σε ελικοστρόβιλο και τοποθέτησή του*

Πρόκειται για καινοτομία, η κατασκευή του ελικοστρόβιλου, που με χαμηλό κόστος λειτουργίας, επειδή εκμεταλλεύεται τα καυσάερια του κινητήρα, μπορεί να λειτουργήσει η ανεπτυγμένη τουρμπίνα – υπερσυμπιεστής. Οι ελεύθερες ταχύτητες περιστροφής της τουρμπίνας μειώνονται μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων, ώστε να παράγουν χρήσιμες

ταχύτητες περιστροφής για την οδήγηση ενός έλικα. Ο λόγος της μείωσης είναι 14.344:1. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σύνθετου πλανητικού συστήματος (εικ. 5.25 ) που συναρμολογείται στη βάση του άξονα του έλικα (εικ. 5.24 και 5.25 )

**Παρακάτω ακολουθεί κατάλογος βιομηχανικών και κατασκευαστικών εφαρμογών της κατασκευαστικής εταιρείας china-reducers<sup>29</sup>**

- Φορητά μεταφορές εμπορευμάτων ( Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, δίσκοι περιστροφής )
- Κινητοί γερανοί (δίσκοι περιστροφής, Πλανητικό σύστημα στους οδηγούς-τροχούς)  
Πυργογερανοί (δίσκοι περιστροφής, Βαρούλκα)
- Τηλεσκοπικοί γερανοί (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, Πλανητική τροχοκίνηση, κατευθυντήριους άξονες)
- Γερανοί Dock (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, Πλανητική τροχοκίνηση, Βαρούλκα)
- Γερανοί φορτίου (δίσκοι περιστροφής, Βαρούλκα)
- Περονόφορα ανυψωτικά οχήματα (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, Πλανητικό σύστημα στους οδηγούς-τροχούς, ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης, Υδραυλικό τιμόνι,)
- Πυργίσκοι φορητών (ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης)
- Περονόφορα ανυψωτικά παλετών (ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης)
- Τηλεσκοπικός βραχίονας ( Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, Πλανητική τροχοκίνηση , ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης )
- Ψαλίδι (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, Πλανητική κομμάτι και μονάδες δίσκου τροχού, ηλεκτρικά συστήματα διεύθυνσης)
- Ανελκυστήρες (μονάδες ηλεκτρικού συστήματος διεύθυνσης)
- Μικρά τροχοφόρα μηχανήματα (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης)
- Αντιολισθητικοί φορτωτές (Ηλεκτρικά εργαλεία του συστήματος διεύθυνσης)  
Εκκαφείς-Φορτωτές (συσκευές ελέγχου για την υδροστατική μετάδοση)
- Συμπιεστές εδάφους (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης)
- Αναμικτήρες γεωργικών ζωοτροφών (πλανητικά γρανάζια και κιβώτια ταχυτήτων)  
Αντλίες σκυροδέματος (δίσκους περιστροφής)
- Οδοστρωτήρες (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης)

Βιομηχανικές σκούπες, σάρωθρα δρόμων, ροδέλες, Multi-επαγγελματικά οχήματα, εκχιονιστικές μηχανές, Ανεμογεννήτριες, Τρακτέρ

- Οχήματα για τα άτομα με ειδικές ανάγκες
- Εξοπλισμός επεξεργασίας νερού (Πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων)
- Βιομηχανίες επεξεργασίας χάλυβα, Επεξεργασίας τροφίμων, Βιομηχανίες Πλαστικών / επεξεργασίας καουτσούκ, Ποτοποιίες, Βαρούλκα, Έλεγχος της κατεύθυνσης σε έλικες

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΒΙΒΛΙΑ

1. Ανδρινός, Ν., Παναγιωτίδης, Π. & Παπαδόπουλος, Ν. (2001). *Συστήματα Αυτοκινήτου Ι*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
2. Αλεξάνδρου, Δ., Γιάννος, Γ. & Καπετανάκης, Γ. (2002). *Συστήματα Αυτοκινήτου ΙΙ*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
3. Βάος, Ε. (1997). *Αυτοκίνητο*. Αθήνα: Ευγενίδιο Ίδρυμα.
4. Βελαώρας, Ι. (2005). *Στοιχεία Μηχανών*. Αθήνα: ΙΩΝ.
5. Γραϊκούσης, Ρ. (1983). *Στοιχεία Μηχανών ΙΙΙ Σ': Οδοντοκινήσεις*. Αθήνα: Γιαχούδη.
6. Καρβέλης, Ι., Μπαλντούκας, Α. & Ντασκαγιάννη, Α. (1999). *Στοιχεία Μηχανών - Σχέδιο*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
7. Κωστόπουλος, Θ. (2010). *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*. Αθήνα: Συμείων.
8. Στολάκη, Ν. (2010). *Οχήματα - Συστήματα Μετάδοσης της Κίνησης*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.
9. ΤΡΙΑΝΤΗΣ, Γ. (Οκώβριος 2008). *Ταυτοποίηση Βλαβών Οδοντωτών Τροχών*. Διδακτορική διατριβή. ΑΘΗΝΑ
10. Bohner, M. (2000). *Τεχνολογία Αυτοκινήτου - 2η Έκδοση*. Μετάφραση από τα Γερμανικά από Βούλγαρη, Μ. Αθήνα: ΙΩΝ - Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις.

### ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

11. <http://www.ferret.com.au/c/Bonfiglioli-Transmission-Aust/Planetary-gearboxes-winning-inner-space-race-n723075>
12. <http://www.tmith.gr/sciencelated/64-arxaia-elliniki-technology/534-antikythera-mecanism-ii>
13. [http://en.wikipedia.org/wiki/Epicyclic\\_gearing](http://en.wikipedia.org/wiki/Epicyclic_gearing)
14. <http://en.wikipedia.org/wiki/Bookwheel>
15. <http://www.familycar.com/transmission.htm>
16. <http://www.mistertransmission.com/transmission-components>



17. <http://www.caroto.gr/2009/05/10/%CE%BA%CE%B9%CE%B2%CF%8E%CF%84%CE%B9%CE%B1-cvt/>
18. <http://www.caroto.gr/2012/03/21/transmission-and-gearbox/>
19. <http://www.caroto.gr/2009/03/16/4x4>
20. [http://www.kavitsugroup.com/Product\\_PlanetaryGearbox.html](http://www.kavitsugroup.com/Product_PlanetaryGearbox.html)
21. <http://www.zollern.de/en/drive-technology/gearboxes.html>
22. <http://www.ferret.com.au/t/Industrial-Gears>
23. [http://www.china-reducers.com/Planetary\\_Gears.htm#Refs](http://www.china-reducers.com/Planetary_Gears.htm#Refs)
24. [http://en.wikipedia.org/wiki/Pencil\\_sharpener](http://en.wikipedia.org/wiki/Pencil_sharpener)
25. <http://www.thinkgeek.com/product/ebe4/>
26. <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=73>
27. [http://www.zollern.de/index.php?eID=tx\\_cms\\_showpic&file](http://www.zollern.de/index.php?eID=tx_cms_showpic&file)
28. <http://www.nke.at/en/news-events/news-single/article/modularsystem-von-nke-fuer-planetenlager-in-getrieben-fuer->
29. <http://www.china-reducers.com/Planetary-Gearboxes.htm>
30. [autotriti.gr](http://autotriti.gr)
31. [Harris cyclery](http://Harriscyclery)
32. [http://www.rohloff.de/en/technology/speedhub/gear\\_steps/gear\\_08](http://www.rohloff.de/en/technology/speedhub/gear_steps/gear_08)
33. <http://www.carshybrid.gr/technology/types-of-hybrid-cars->
34. [http://net.toyota.gr/cars/new\\_cars/prius/index.aspx](http://net.toyota.gr/cars/new_cars/prius/index.aspx)

