



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ  
Επιβλέπων: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ, Εργ. Συνεργάτης

*Ανάλυση δομής και λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος*

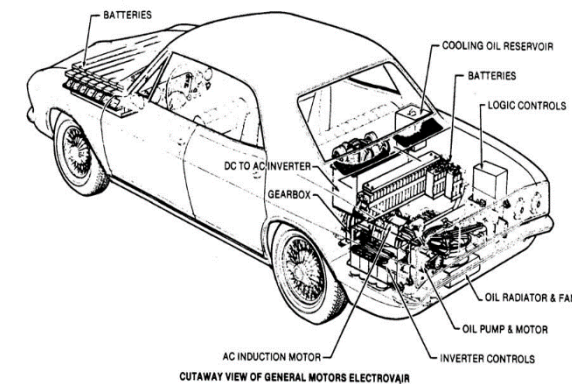
**Νομικός Ν. Σπυρίδων (Α.Μ. 35006)**  
**Janocha Piotr Ian (Α.Μ. 37841)**

# ***ΕΙΣΑΓΩΓΗ***

*Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των βασικών τμημάτων ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, έτσι θα γίνει μια αναφορά σε κάποια βασικά τμήματα του και ανάλυση των ποιοιον σημαντικών.*

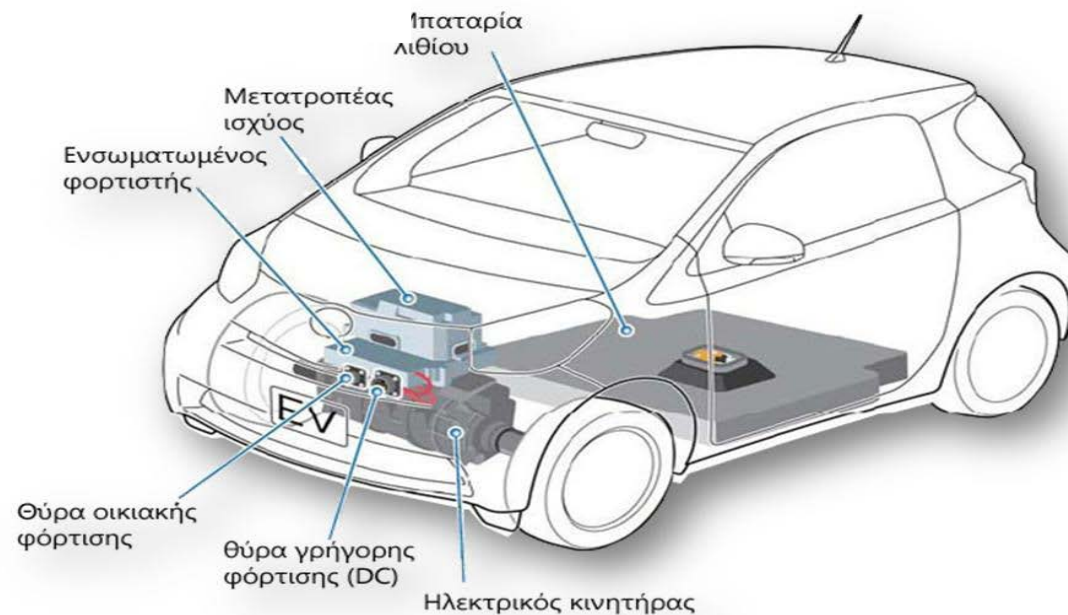
# Σύντομη ιστορική αναδρομή

- **Η πρώτη περίοδος :** τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν μια μακρόχρονη ιστορία που ξεκινά περίπου 170 χρόνια πιο πίσω, στα μέσα του 19ου αιώνα. Η εξέλιξή τους έγινε παράλληλα με την εξέλιξη δύο άλλων ανταγωνιστικών τύπων οχημάτων, τα ατμοκίνητα οχήματα και τα οχήματα με Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. ο σκωτσέζος Robert Anderson εφηύρε ένα πρώτο αρκετά πρόχειρο αυτοκίνητο όχημα που κινούνταν με ηλεκτρισμό. Την ίδια εποχή (1835) ο ολλανδός καθηγητής Stratingh του Groningen έφτιαξε ένα μικρού μεγέθους όχημα. Αυτές οι πρώτες εφευρέσεις είχαν καθαρά δοκιμαστικό χαρακτήρα καθώς και οι ηλεκτρικοί κινητήρες που υπήρχαν ήταν πειραματικοί και μη εφαρμόσιμοι στην πράξη μέχρι το 1837 όπου ο Thomas Davenport κατασκεύασε τον κινητήρα του.
- **Η μεσαία περίοδος:** Αυτή η περίοδος σηματοδοτεί την παρακμή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και την καθολική επικράτηση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Σε αυτό συντέλεσαν διάφοροι λόγοι με σπουδαιότερους τους ακόλουθους:
  - Την εποχή εκείνη το υπεραστικό οδικό δίκτυο της Αμερικής είχε βελτιωθεί σημαντικά με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της ανάγκης για οχήματα μεγάλης αυτονομίας .
  - Η ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου στο Τέξας κατέστησε ιδιαίτερα χαμηλό το κόστος των καυσίμων για τους καταναλωτές.
  - Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή (στάρτερ) από τον Charles Kettering το 1911 έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση.
  - Η μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford που έκανε τα οχήματα αυτά διαθέσιμα σε αρκετά χαμηλές τιμές μεταξύ 500 και 1000\$. Σε αντίθεση οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχώς αυξάνονταν.



# Σύντομη ιστορική αναδρομή

- **Το ηλεκτρικό όχημα σήμερα:** Με το ενδιαφέρον για τη χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων να εντείνεται από τις κυβερνήσεις διαφόρων κρατών όλο και περισσότερες βιομηχανίες οχημάτων παρουσιάζουν τα μοντέλα τους μετά τη δεκαετία του 1980. Επισταμένες μελέτες που παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1990, δείχνουν μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής μόλυνσης εξ' αιτίας της χρήσης συμβατικών οχημάτων. Για την αντιμετώπιση του βασικού αυτού προβλήματος ξεκίνησαν προσπάθειες με θέσπιση μέτρων τόσο σε εθνικά επίπεδα όσο και σε διεθνή. Το σύστημα κίνησης ενός σύγχρονου ηλεκτρικού αυτοκινήτου αποτελείται από τον κινητήρα, το μετατροπέα ισχύος (ελεγκτή), την πηγή ενέργειας (μπαταρία) και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.



# ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

**Τα μέρη του αυτοκινήτου:** Τα βασικά τμήματα ενός αυτοκινήτου ηλεκτρικού και μη

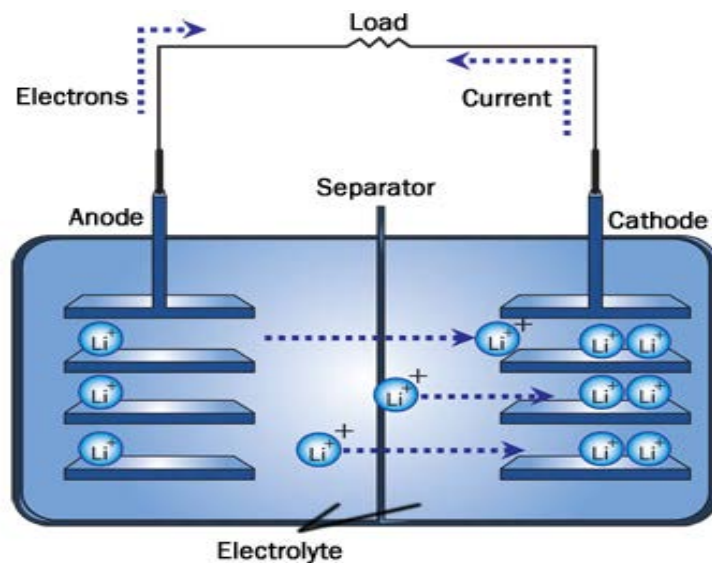
- **Αμάξωμα** Όλα τα εξωτερικά μέρη ενός αυτοκινήτου
- **Πλαίσιο:** Βασική αρχή για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου αποτελεί το πλαίσιο. Πάνω σε αυτό στηρίζονται όλα τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου όπως ο κινητήρας και οι αναρτήσεις και γενικά όλο το αμάξωμα.
- **Ανάρτηση:** Η ανάρτηση ορίζει τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου στο δρόμο, ενώ ένα σωστό ρυθμισμένο σύστημα οφείλει να αντιδρά σωστά στις δυνάμεις που ασκούνται επάνω του προσφέροντας άνεση και ασφάλεια.
- **Σύστημα διεύθυνσης:** Το σύστημα διεύθυνσης είναι ένας μηχανισμός ο οποίος μεταφέρει την εντολή που δίνει ο οδηγός από το τιμόνι στους τροχούς έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή πορεία.
- **Φρένα:** Τα φρένα, το σύστημα πέδησης, αποτελεί δομικό στοιχείο του αυτοκινήτου και βασικός παράγοντας οδικής ασφάλειας.



# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

**Τροφοδοσία:** Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα από αυτό καθορίζεται η λειτουργία του και επομένως η αποδοτικότητα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Εδώ γίνεται αναφορά στους πιθανούς τρόπους αποθήκευσης και τροφοδοσίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

➤ **Μπαταρίες:** Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, ή κοινώς μπαταρίες, είναι το πλέον διαδεδομένο μέσο για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία για το σκοπό αυτό μετατρέπουν σε χημική. Συνήθως οι μπαταρίες αποτελούνται από πλήθος μικρότερων στοιχείων, τα λεγόμενα κελιά (cells). Κάθε κελί αποτελείται από δύο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται μεταξύ τους με κάποιο ηλεκτρολύτη, ο οποίος διαφοροποιείται από εφαρμογή σε εφαρμογή. Όταν στην άνοδο και στην κάθοδο συνδεθεί ένα εξωτερικό κύκλωμα τότε υπάρχει ροή ηλεκτρονίων ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή εξ' αιτίας ηλεκτροχημικής αντίδρασης που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη που εκφράζεται στο εξωτερικό κύκλωμα ως ηλεκτρικό ρεύμα.



# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## *Βασικά στοιχεία μπαταριών:*

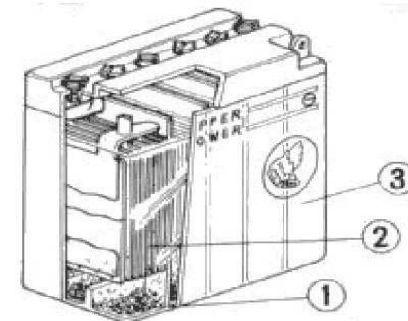
- ❑ *Χωρητικότητα μπαταρίας-Αμπερώρια (Ampere-Hour)* :Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας είναι η χωρητικότητα της, η οποία μετράται σε αμπερώρια.
- ❑ *Αμπέρ κατά την κρύα εκκίνηση (cold-cranking amperes)* Αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές για τις μπαταρίες εκκίνησης.
- ❑ *Ηλεκτρική τάση (battery voltage)* :Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών ως προς την ονομαστική τάση τους.
- ❑ *Ηλεκτρική αντίσταση (resistance)* :Η τάση της μπαταρίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ροή του ρεύματος και με την αντίσταση που αυτή συναντάει



# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Είδη μπαταριών :

- **Μπαταρία Lead-acid (μολύβδου)** :Τα κελιά αυτών των μπαταριών έχουν ηλεκτρόδια φτιαγμένα από μόλυβδο και από οξείδιο του μολύβδου. Οι μπαταρίες μολύβδου είναι από τις παλιότερες σχεδιαστικά μπαταρίες στο εμπόριο.
- **Μπαταρία Nickel-cadmium (νικελίου-καδμίου)**: Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι από υδροξείδιο του νικελίου και από κάδμιο. Ο ηλεκτρολύτης είναι υδροξείδιο του καλίου. Αυτές οι μπαταρίες είναι οικονομικές και χαρακτηρίζονται από την μακροζωία.
- **Μπαταρία Sodium-Sulfur (θεικού νατρίου)** :Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι κατασκευασμένα από νάτριο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και από θειάφι (θετικό ηλεκτρόδιο). Αυτός ο τύπος μπαταρίας είναι πολύ αποδοτικός και χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά οχήματα.



- ① Sediment
- ② Plates
- ③ Battery Case



# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Είδη μπαταριών :

- **Μπαταρία Sodium-Nickel-Chloride (χλωριούχο νικέλιο του νατρίου)** Τα ηλεκτρόδια σε μία τέτοια μπαταρία είναι κατασκευασμένα από νικέλιο και από χλωριούχο νάτριο. Αυτές οι μπαταρίες έχουν περίπου 5 φορές μεγαλύτερη ενέργεια από αυτές του μολύβδου και είναι πλήρως ανακυκλώσιμες
- **Μπαταρία Lithium-Polymer (πολυμερές λιθίου)** : Τα ηλεκτρόδια είναι φτιαγμένα από άνθρακα και από οξείδιο του μετάλλου.
- **Μπαταρία Zinc-Air (αερίου-ψευδαργύρου)** : Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό σε αυτές τις μπαταρίες είναι ότι το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα χρησιμοποιείται στην κάθοδο. Η άνοδος είναι μία αντικαταστάσιμη πλάκα φτιαγμένη από μόρια ψευδαργύρου. Για την επαναφορτίσει θα πρέπει να αντικατασταθεί η πλάκα της ανόδου



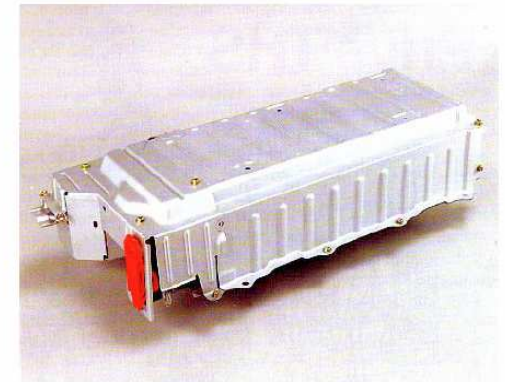
Σχήμα. 3-4 Μπαταρία Sodium- Nickel-Chloride.



# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Είδη μπαταριών :

- **Μπαταρία Nickel-Zinc (ψευδαργύρου-νικελίου):** Αυτές οι μπαταρίες έχουν υψηλή ειδική ενέργεια, μπορούν να λειτουργήσουν σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Οι μπαταρίες αυτές θεωρούνται αλκαλικές επαναφορτιζόμενες.
- **Μπαταρία NiMH:** Στα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κατά βάση είναι η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH). Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρόμοια με την μπαταρία Νικελίου – Καδμίου (NiCd), με τη διαφορά ότι αντί για κάδμιο στην άνοδο της έχει ένα κράμα απορροφητικό σε υδρογόνο. Στην κάθοδο, όπως και στις NiCd μπαταρίες, χρησιμοποιεί νικέλιο. Μια NiMH μπαταρία έχει δυο με τρεις φορές τη χωρητικότητα μιας ισοδύναμου μεγέθους μπαταρίας NiCd. Ωστόσο, συγκρινόμενη με την μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium-ion battery), η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλότερη και η αυτοεκφόρτιση μεγαλύτερη.
- **Μπαταρία Li-ion:** Οι Li-ion μπαταρίες είναι επαναφορτιζόμενες και χρησιμοποιούνται ευρέως στα κάθε είδους ηλεκτρονικά. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες στα φορητά ηλεκτρονικά με μια από τις καλύτερες αναλογίες ενέργειας προς βάρος, και με αργό ρυθμό αποφόρτισης όταν δεν χρησιμοποιούνται.

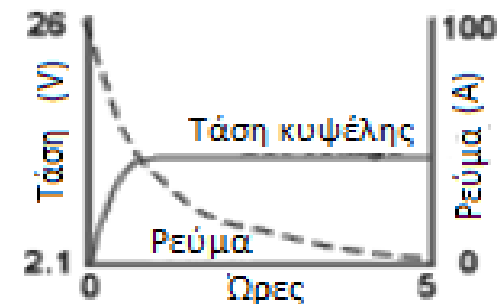


# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

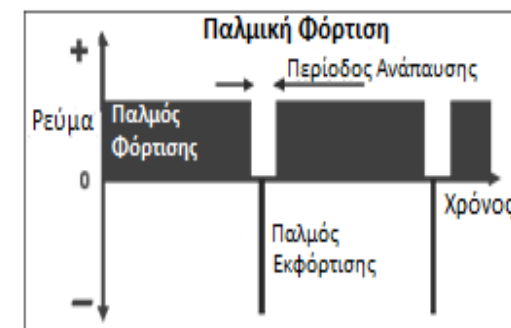
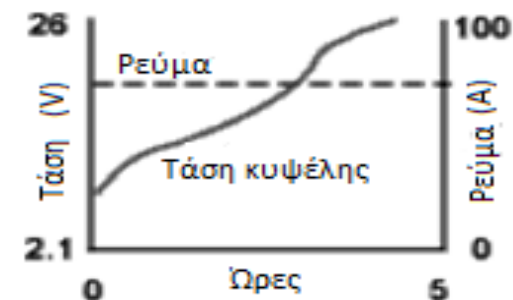
## Σύστημα φόρτισης μπαταριών

- **Φόρτιση σταθερής τάσης**: Ο κύκλος φόρτισης ξεκινά με μεταβλητής τιμής ρεύμα έως ότου η τάση να φτάσει ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Τότε, μεταβαίνει σε φόρτιση σταθερής τάσης.
- **Φόρτιση σταθερού ρεύματος**: Ο κύκλος φόρτισης γίνεται με σταθερό ρεύμα ανεξαρτήτως της τιμής της τάσης.
- **Παλμική φόρτιση** Η φόρτιση πραγματοποιείται με τροφοδότηση της μπαταρίας με σταθερού πλάτους και μεταβλητού εύρους παλμούς ρεύματος.
- **Τυχαία φόρτιση (Random Charging)**: Η τυχαία φόρτιση προκύπτει από τις ιδιαίτερες συνθήκες διαθεσιμότητας της τροφοδοτούμενης ενέργειας που συναντώνται συνήθως στα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα.

Σταθερή Τάση



Σταθερό Ρεύμα



# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Σύστημα φόρτισης μπαταριών

**Διατάξεις και σενάρια φόρτισης:** Οι συσσωρευτές έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια και να την αποδίδουν στο ηλεκτροκινητήριο σύστημα. Για την φόρτισή τους απαιτείται ειδική διάταξη η οποία να μετατρέπει μια οποιαδήποτε μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική υπό μορφή συνεχούς τάσεως.

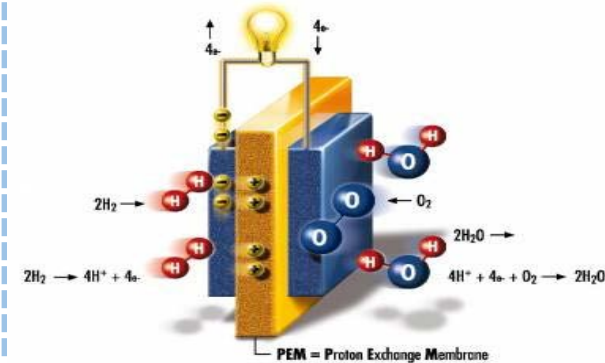
Από τις διάφορες στρατηγικές φόρτισης που έχουν προταθεί ξεχωρίζουμε τις ακόλουθες:

- **Οικιακή φόρτιση:** Πρόκειται για τον πιο διαδεδομένο τρόπο φόρτισης μιας και ένα όχημα βρίσκεται πολλές ώρες της ημέρας κοντά στο σπίτι του χρήστη.
- **Φόρτιση σε σταθμούς παρκαρίσματος (Park and Charge-PAC):** Μια εναλλακτική μέθοδος φόρτισης είναι σε σταθμούς παρκαρίσματος όπου το όχημα θα φορτίζεται όταν είναι παρκαρισμένο.
- **Ανάκτηση ενέργειας:** Ένα αρκετά σημαντικό σενάριο φόρτισης των συσσωρευτών είναι η φόρτιση κατά την ανάκτηση ενέργειας, που συμβαίνει όταν το όχημα επιβραδύνει ή κινείται σε κατηφόρα.
- **Φόρτιση από ηλιακή ακτινοβολία:** Σύμφωνα με το σενάριο αυτό η φόρτιση γίνεται μέσω φωτοβολταϊκών κυττάρων τα οποία είναι τοποθετημένα επί της οροφής του οχήματος ή και σε στέγαστρα σε πάρκινγκ.
- **Φόρτιση με Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος:** Πρόκειται για ένα αρκετά διαδεδομένο σενάριο το οποίο εφαρμόζεται στην περίπτωση των Σειριακών Υβριδικών Οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, ένας βενζινοκινητήρας περιστρέφει μια γεννήτρια η οποία φορτίζει τους συσσωρευτές.
- **Φόρτιση κατά την κίνηση (Move and Charge-MAC):** Πρόκειται για ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο τα οχήματα θα κινούνται σε δρόμους που θα έχουν ειδικές ηλεκτροφόρες ράγες επί του εδάφους. Το όχημα μέσω δύο ειδικών ακροδεκτών θα παίρνει ηλεκτρική ενέργεια τόσο για κίνηση όσο και για φόρτιση.

# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Τροφοδοσία:

- **Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells):** Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο. Αποτελούν ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός αποδίδεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος.



- **Σφόνδυλοι:** Η κινητική ενέργεια του σφονδύλου απελευθερώνεται κατά τη μείωση της ταχύτητάς του. Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας προσαρμόζεται στον άξονα του σφονδύλου, με κατάλληλο σύστημα μετάδοσης, μία ηλεκτρική μηχανή η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια. Με αυτό τον τρόπο η γεννήτρια μπορεί να φορτίσει κάποιες μπαταρίες μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική (regenerative brake).



- **Υπερπυκνωτές:** Οι υπερπυκνωτές (supercapacitor) χαρακτηρίζονται από την ίδια αρχή λειτουργίας με τους συνήθεις πυκνωτές, αλλά έχουν τη δυνατότητα φόρτισης και εκφόρτισης σε πολύ μικρούς χρόνους και παρέχουν μεγάλη χωρητικότητα σε μικρό σχετικά όγκο. Αποτελούνται από δύο στρώσεις υλικού, έχοντας δύο ηλεκτρόδια άνθρακα τοποθετημένα σε οργανικό ηλεκτρολύτη.



# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

**Κινητήρες:** Μία ηλεκτρική μηχανή είναι ένας μετατροπέας ενέργειας, καθώς από ηλεκτρική ενέργεια παράγει κίνηση στη λειτουργία ως κινητήρας και το αντίστροφο όταν λειτουργεί ως γεννήτρια. Αποτελεί την καρδιά κινητηρίων συστημάτων και πάνω στα χαρακτηριστικά του βασίζεται ο όλος σχεδιασμός του συστήματος. Υπάρχουν διάφορα είδη κινητήρων, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή σε οχήματα αλλά και γενικότερα σε εφαρμογές που απαιτείται η δημιουργία κίνησης. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ύπαρξη της δύναμης Lorentz, η οποία δημιουργεί δυνάμεις μεταξύ αγωγών που διαρρέονται από ρεύμα. Με την κατάλληλη κατασκευή των αγωγών, που στις περισσότερες μηχανές γίνεται κυκλική και με την τροφοδότηση τους με τα κατάλληλα ηλεκτρικά μεγέθη, δημιουργείται κίνηση, συγκεκριμένα περιστροφική, η οποία μπορεί να εκμεταλλευθεί για τους σκοπούς της εκάστοτε εφαρμογής.

Στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συναντάμε κινητήρες συνεχούς ρεύματος και κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Από τους κατασκευαστές υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με το καταλληλότερο είδος κινητήρα.

## ➤ Είδη ηλεκτρικών κινητήρων αυτοκίνησης

### α. Συνεχούς ρεύματος

1. Ξένης διέγερσης
2. Διέγερσης σειράς
3. Παράλληλης διέγερσης
4. Σύνθετης διέγερσης

### β. Εναλλασσόμενου ρεύματος

1. Σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες
2. Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες
3. Κινητήρες με συλλέκτη

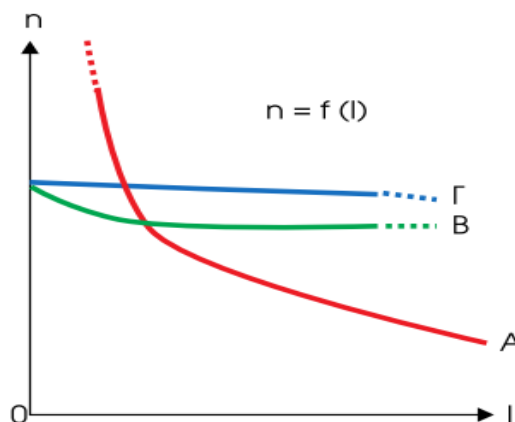
# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

**Μηχανές συνεχούς ρεύματος:** Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος τροφοδοτούνται, όπως δηλώνει και η ονομασία τους, με συνεχή μεγέθη. Διακρίνεται σε αυτές μία ακίνητη κατασκευή, ο στάτης που έχει κυκλική μορφή και ο σκοπός του είναι να δημιουργήσει μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του. Εκεί τοποθετείται μία κατασκευή που έχει την ευχέρεια περιστροφής, ο ρότορας, ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα και αλληλεπιδρώντας με το πεδίο του στάτη αποκτά κινητική ενέργεια. Η παροχή τροφοδοσίας στο ρότορα γίνεται μέσω ενώσεων που ονομάζονται ψήκτρες. Γενικά ο έλεγχος των μηχανών συνεχούς ρεύματος είναι απλούστερος, και γίνεται με καθορισμό του παρεχόμενου ρεύματος.

## Είδη μηχανών συνεχούς ρεύματος και λειτουργία

Πέρα από τη μηχανή με μόνιμους μαγνήτες, οι άλλοι τύποι μηχανών συνεχούς απαιτούν τροφοδοσία και στο στάτη και στο δρομέα. Προκύπτουν, οπότε, διάφορες συνδεσμολογίες ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων των δύο μερών. Αυτές είναι:

- Μηχανή ξένης διέγερσης
- Μηχανή με τύλιγμα σε σειρά
- Μηχανή παράλληλης διέγερσης
- Μηχανή με συνδυασμό διέγερσης (παράλληλα και εν σειρά)



$$n = f(I)$$

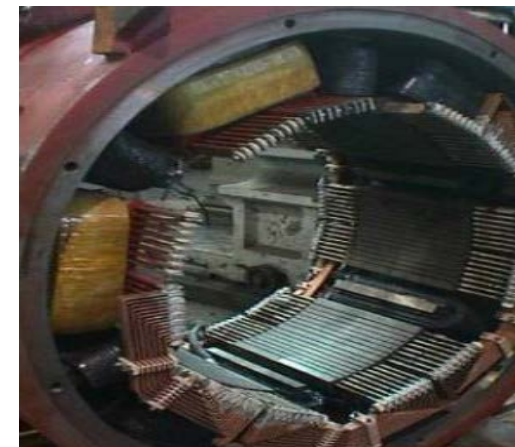
### Σχ. 6.5:

Συγκριτικό διάγραμμα χαρακτηριστικής (φόρτισης) της μεταβολής των στροφών, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης.

$A$  = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα διέγερσης σειράς.

$B$  = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα σύνθετης διέγερσης (Αθρ.).

$\Gamma$  = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα παράλληλης διέγερσης και ξένης.



# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

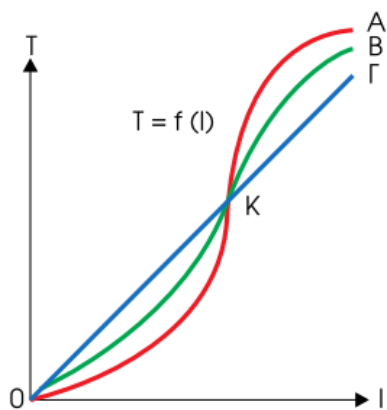
## Επιλογή τύπου κινητήρα συνεχούς ρεύματος

Ο κινητήρας του ηλεκτρικού αυτοκινήτου πρέπει να ικανοποιεί βασικές απαιτήσεις όπως:

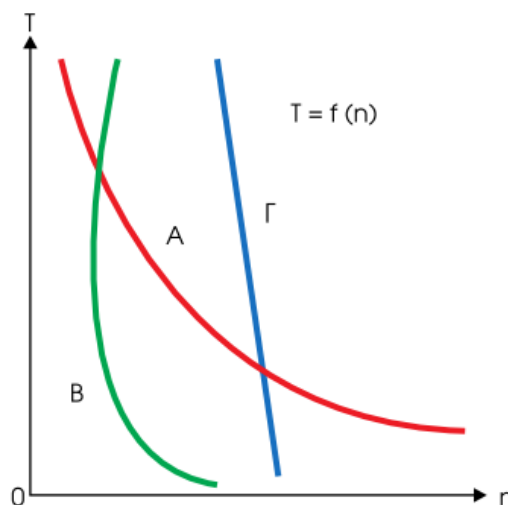
- Να δίνει μεγάλη ροπή εκκίνησης για να ξεκινήσει το αυτοκίνητο
- Να μπορεί να ανεβάσει το αυτοκίνητο σε δρόμους με ανοδική κλίση
- Να μπορεί να δώσει στο αυτοκίνητο ικανοποιητική επιτάχυνση και ταχύτητα
- Να έχει καλή απόδοση λειτουργίας
- Να δίνει στο αυτοκίνητο ελαστικότητα λειτουργίας σε μεγάλο φάσμα στροφών

Ο κινητήρας που ικανοποιεί τις περισσότερες από τις παραπάνω απαιτήσεις είναι ο κινητήρας διέγερσης σειράς. Όταν καλείται να αντιμετωπίσει αύξηση φορτίου (εκκίνηση, ανοδική κλίση) χαμηλώνει τις στροφές του, μειώνεται η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη, αυξάνεται το ρεύμα που απορροφά από το δίκτυο και φυσικά αυξάνεται τετραγωνικά σε σχέση με το ρεύμα, η ροπή του κινητήρα.

Η μεγάλη ροπή, δίνει μεγάλη ροπή επιτάχυνσης που επιταχύνει το όχημα και του δίνει τη δυνατότητα να κινείται σε δύσκολες συνθήκες πολλές φορές χωρίς να χρειάζεται σύστημα μετάδοσης κίνησης (διαφορικό)



**α:** Χαρακτηριστικές καμπύλες της μεταβολής της ροπής, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης.  
(Α) Καμπύλη για κινητήρα σειράς.  
(Β) Καμπύλη για κινητήρα σύνθετης διέγερσης (Αθρ.).  
(Γ) Καμπύλη για κινητήρα ξέννης και παράλληλης διέγερσης.  
K = σημείο τομής των χαρακτηριστικών



**β:** Χαρακτηριστικές καμπύλες της μεταβολής της ροπής T σε συνάρτηση με τη μεταβολή της ταχύτητας n  
(Α) καμπύλη για κινητήρα σειράς  
(Β) Καμπύλη για κινητήρα σύνθετης Αθρ. Διέγερσης  
(Γ) Καμπύλη για κινητήρα ξέννης και παράλληλης διέγερσης.



# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

### **Σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες**

Ο στάτης του σύγχρονο κινητήρα αποτελείται από τρία τυλίγματα διατεταγμένα στο χώρο με γωνία 120 μοιρών μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από τριφασικό δίκτυο με τάσεις που έχουν διαφορά φάσης 120 μοιρών. Στο εσωτερικό του στάτη δημιουργείται περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο σύγχρονης ταχύτητας  $n=(60*f)/p$ .

Ο δρομέας αποτελείται από περιέλιξη που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα μέσα από δύο δακτυλίδια και ψύκτρες.

Κατά την εκκίνηση ο δρομέας, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να αποκτήσει αμέσως τη σύγχρονη ταχύτητα, δεν είναι όμως δυνατόν να λειτουργήσει με ταχύτητα μικρότερη από τη σύγχρονη και επομένως χρειάζεται εκκινητή.

### **Οι συνηθέστεροι εκκινητές είναι:**

- 1) Μικρός κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος, που περιστρέφει το δρομέα όπως η μίζα το στρόφαλο, μέχρι να φθάσει στη σύγχρονη ταχύτητα.
- 2) Ειδική κατασκευή τυλίγματος κλωβού στα πέδιλα του δρομέα (τύλιγμα απόσβεσης) που του δίνει τη δυνατότητα να ξεκινήσει σαν ασύγχρονος και αφού επιταχυνθεί να τροφοδοτηθεί με συνεχές ρεύμα και να λειτουργήσει σαν σύγχρονος.
- 3) Εκκίνηση με μείωση της συχνότητας τροφοδοσίας. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος μπορούμε να μεταβάλουμε τη συχνότητα τροφοδοσίας με ανορθωτές – αντιστροφείς και κυκλομετατροπείς. Κατά την εκκίνηση χρησιμοποιούμε τάση τροφοδότησης του στάτη πολύ μικρής συχνότητας. Έτσι το μαγνητικό πεδίο στρέφεται πολύ αργά και ο δρομέας μπορεί να το παρακολουθήσει.

# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

## Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

- **Πλεονεκτήματα σύγχρονου κινητήρα**

Μεγάλος βαθμός απόδοσης λόγω ελάχιστων απωλειών.

Μεγάλη ροπή σε όλες τις περιοχές στροφών.

Μικρό κόστος για συντήρηση.

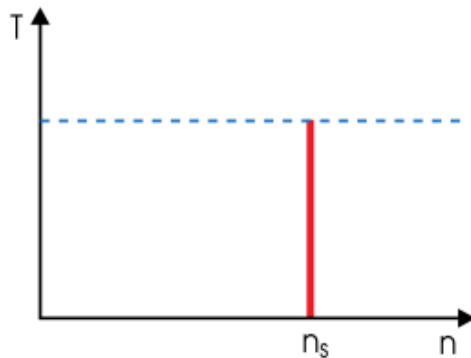
Πλήρης έλεγχος μέσω ρύθμισης με ηλεκτρονικά ισχύος.

Λειτουργεί και ως γεννήτρια για πέδηση με φόρτιση των συσσωρευτών του αυτοκινήτου.

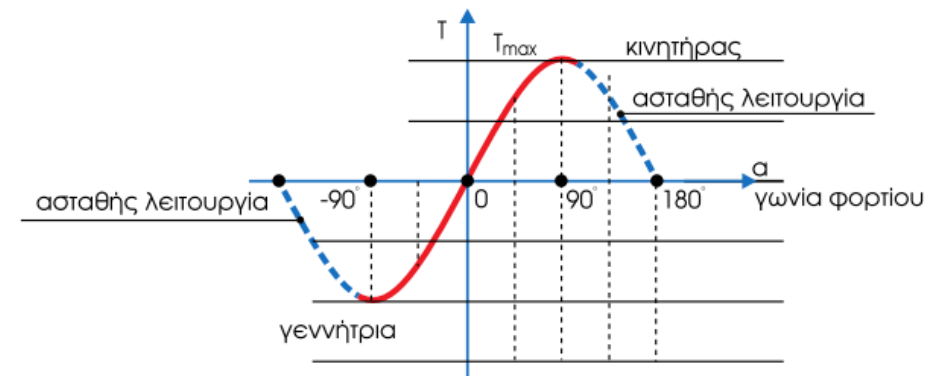
- **Μειονεκτήματα σύγχρονο κινητήρα**

Υψηλή τιμή αγοράς κινητήρα και ηλεκτρονικού ρυθμιστή.

Οι σύγχρονοι κινητήρες σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς ρυθμιστές κερδίζουν συνεχώς έδαφος στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται ηλεκτρικά αυτοκίνητα με σύγχρονους κινητήρες.



Χαρακτηριστική Ροπής-Ταχύτητας σύγχρονου κινητήρα.



Καμπύλη ροπής, ισχύος και γωνίας φορτίου σύγχρονου μηχανής.

# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

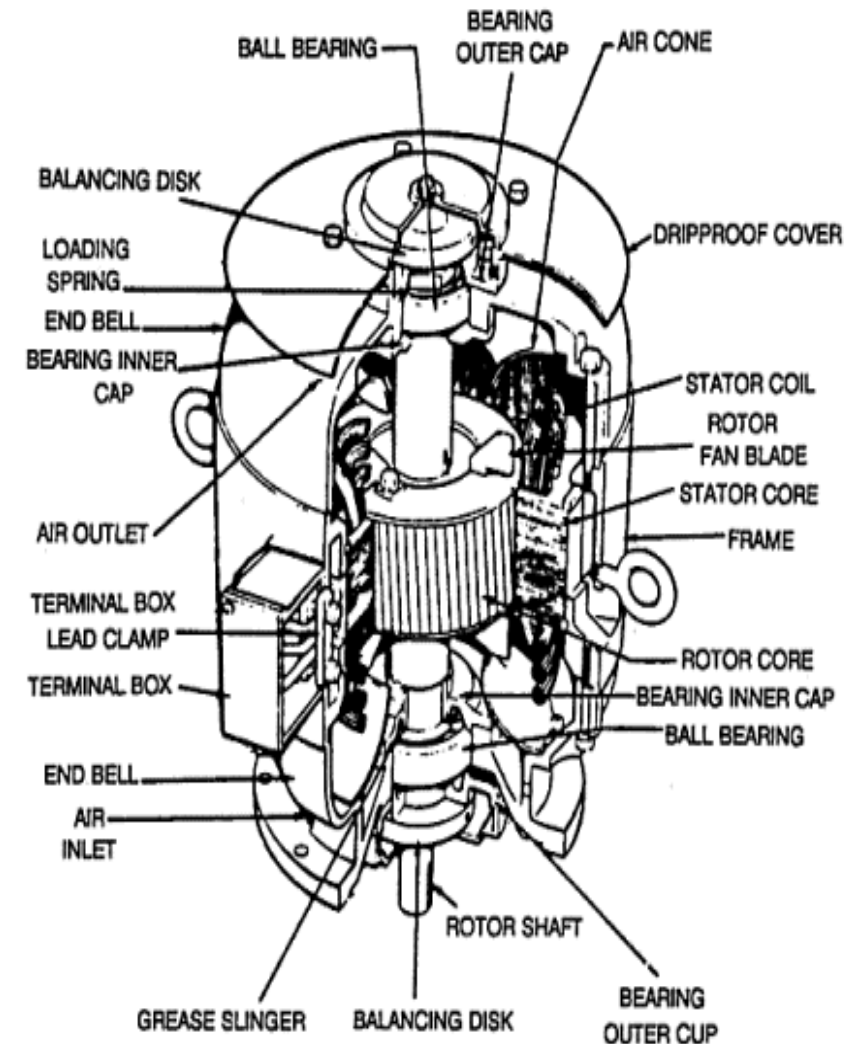
## Ασύγχρονες Μηχανές

Οι ασύγχρονοι κινητήρες αποτελούν την πιο διαδεδομένη επιλογή σε βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές. Πλέον, με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών και μεθόδων ελέγχου τους κατέχουν ένα σημαντικό κομμάτι επί του ποσοστού των κινητήρων που τροφοδοτούν ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Στα κύρια πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται η απλή και στιβαρή κατασκευή τους, το χαμηλό κόστος και η έλλειψη τακτικής συντήρησης. Οι ασύγχρονοι κινητήρες συναντώνται σε διάφορες μορφές ανάλογα με τη φύση της εφαρμογής τους.

Παρόλο που η σχεδίασή τους είναι απλούστερη σε σύγκριση με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος, ο έλεγχος της ταχύτητας και ροπής τους απαιτεί βαθύτερη γνώση του σχεδιασμού και των χαρακτηριστικών της μηχανής.

## **Βασικά κατασκευαστικά στοιχεία και λειτουργία**

Όπως η πλειοψηφία των ηλεκτρικών κινητήρων, οι ασύγχρονοι αποτελούνται από μία σταθερή εξωτερική κατασκευή, το στάτη και ένα κινούμενο τμήμα, το δρομέα, ο οποίος περιστρέφεται στο εσωτερικό με ένα μικρό διάκενο αέρα να ορίζει την απόσταση των δύο. Κατά τη λειτουργία δημιουργούνται στον ασύγχρονο κινητήρα δύο ξεχωριστά ζεύγη ηλεκτρομαγνητών, το πρώτο εκ των οποίων είναι στο στάτη λόγω της τροφοδοσίας. Στο δρομέα επάγεται τάση από το στάτη, η οποία ευθύνεται για τη δημιουργία ηλεκτρομαγνήτη σε αυτόν, για τον λόγο αυτό οι ασύγχρονοι κινητήρες ονομάζονται και επαγωγικοί. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των πεδίων των δύο ηλεκτρομαγνητών προκαλεί περιστροφική δύναμη και κατά συνέπεια ροπή στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα.

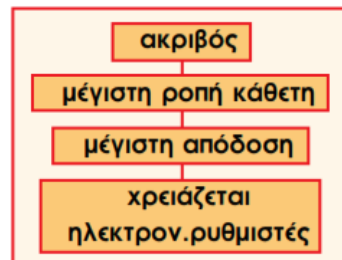


# ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

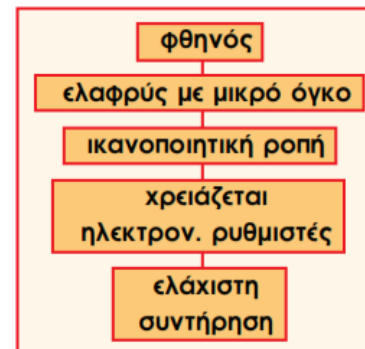
## Επιλογή τύπου κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος – Συγκρίσεις

**Ο σύγχρονος κινητήρας** όπως φαίνεται στο σχήμα παρουσιάζει σχεδόν κάθετη ροπή και ισχύ δηλαδή λειτουργεί πάντα κοντά στη μέγιστη ροπή και ισχύ, Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόδοση από όλους τους κινητήρες με δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος μέσα από ρύθμιση της διέγερσης. Μπορεί να δώσει μέγιστη ροπή ακόμα και σε ελάχιστη ταχύτητα. Λειτουργεί σαν γεννήτρια για ηλεκτρική πέδη και φόρτιση συσσωρευτή. Το μειονέκτημα του σύγχρονου κινητήρα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η συντήρηση που χρειάζεται λόγω δακτυλιδιών και ψηκτρών. Στους σύγχρονους κινητήρες χωρίς ψηκτρες έχει ξεπεραστεί το τελευταίο πρόβλημα και έχει βελτιωθεί η απόδοση. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος κατασκευάστηκαν ηλεκτρονικοί ρυθμιστές ταχύτητας που ξεπέρασαν τη βασική αδυναμία του σύγχρονου κινητήρα που ήταν η δυνατότητα του να κινείται μόνο με τη σύγχρονη ταχύτητα.

**Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας** έχει απλή κατασκευή, το χαμηλότερο κόστος από όλους τους κινητήρες χρειάζεται ελάχιστη συντήρηση, έχει το μικρότερο βάρος και όγκο δεν χρειάζεται τροποποιήσεις και ειδικό σχεδιασμό για αυτοκίνηση. Παρουσιάζει τις λιγότερες βλάβες από όλους τους κινητήρες και μπορεί να λειτουργήσει και αυτός σαν γεννήτρια για ηλεκτρική πέδηση και φόρτιση συσσωρευτή. Έχει μεγάλη ροπή εκκίνησης που δεν είναι όμως σταθερή με την αύξηση των στροφών. Με τους ηλεκτρονικούς ρυθμιστές είναι αρκετά ικανοποιητική η ροπή και η ισχύς για κίνηση ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Το κόστος των ηλεκτρικών ρυθμίσεων είναι ακόμα πολύ μεγάλο και φθάνει λίγο κάτω από το κόστος του συστήματος κίνησης. Η επιλογή σύγχρονου ή ασύγχρονου κινητήρα είναι δύσκολη και έχει σχέση με τις προτεραιότητες που έχει ο κατασκευαστής.



Σύγχρονος κινητήρας



Ασύγχρονος κινητήρας

## *Ηλεκτρονικά Ισχύος για ηλεκτρικά αυτοκίνητα*

### **Μετατροπέας ισχύος**

Ο μετατροπέας ισχύος παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής ισχύος και του κινητήρα και μετασχηματίζει την ισχύ εισόδου σε τάση και ρεύμα εξόδου κατάλληλης μορφή και πλάτους. Το είδος του μετατροπέα που απαιτείται για κάθε εφαρμογή εξαρτάται από το είδος της πηγής ισχύος και το είδος της μηχανής.

Οι συνηθέστεροι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης είναι οι εξής:

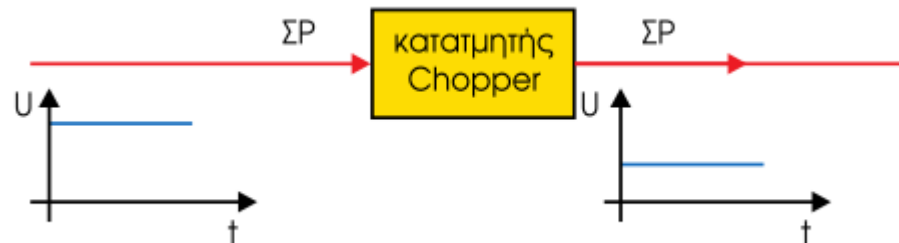
- DC – DC μετατροπέας (chopper, DC converter)
- DC – AC μετατροπέας, αντιστροφέας (DC – AC converter, inverter)

# Ηλεκτρονικά Ισχύος για ηλεκτρικά αυτοκίνητα

## Καταμητής συνεχούς ρεύματος DC-DC (chopper)

### Δομή – λειτουργία

Ο καταμητής είναι ένας ηλεκτρονικός μηχανισμός με θυρίστορ που μετατρέπει μία συνεχή τάση, σε συνεχή άλλης τιμής, είναι δηλαδή ένας μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ



Ο καταμητής είναι ένας διακόπτης ON/OFF. Κατά τη διάρκεια του χρόνου αγωγής  $t_{on}$ , ο καταμητής άγει και στο φορτίο εφαρμόζεται τάση  $U$ . Κατά τη διάρκεια του χρόνου  $t_{off}$  ο καταμητής αποκόπτει το κύκλωμα και η διόδος ελεύθερης ροής  $D$  βραχυκυκλώνει το φορτίο. Η μέση τιμή της τάσης  $U_o$  που εφαρμόζεται στο φορτίο είναι :

$$U_o = U_i \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = U_i \frac{t_{ON}}{T} = a U_i$$

Όπου  $a = t_{on}/T$  : σχετική διάρκεια παλμού

Η τάση φορτίου  $U_o$  μπορεί να μεταβληθεί με δύο μεθόδους:

#### ➤ **A. Διαμόρφωση πλάτους παλμών PWN** (pulse-width modulation)

Η περίοδος  $T$  και η συχνότητα  $f$  φυσικά αφού  $f=1/T$  παραμένουν σταθερές και μεταβάλλεται ο χρόνος αγωγής

#### ➤ **B. Διαμόρφωση συχνότητας παλμών FM** (frequency modulation)

Η περίοδος  $T$  μεταβάλλεται, ενώ παραμένει σταθερός ο χρόνος  $t_{on}$  ή  $t_{off}$ . Η μέθοδος που έχει επικρατήσει είναι η διαμόρφωση πλάτους παλμού.

# Ηλεκτρονικά Ισχύος για ηλεκτρικά αυτοκίνητα

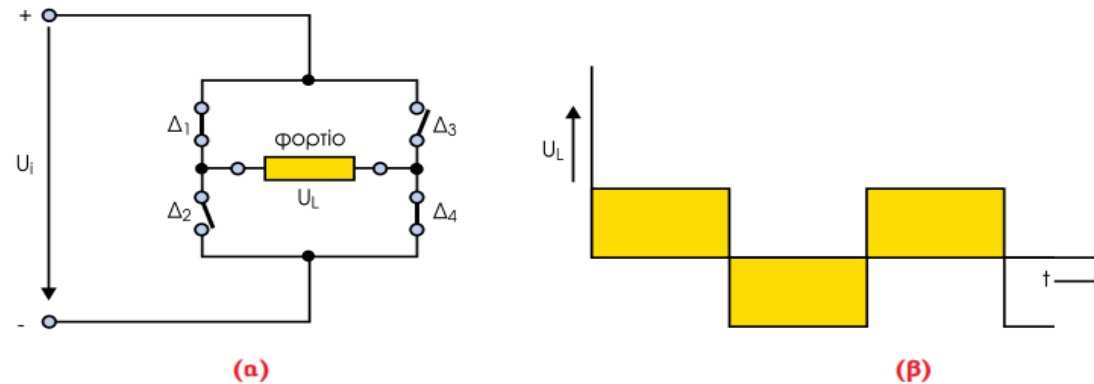
## Μετατροπéας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο DC-AC (αντιστροφέας)

Για την παραγωγή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος από μια πηγή συνεχούς χρησιμοποιούνται στρεφόμενοι ή στατικοί αντιστροφέες. Οι πρώτοι είναι ζεύγη μηχανών (κινητήρας συνεχούς – ασύγχρονης ή σύγχρονης γεννήτριας), ενώ οι δεύτεροι είναι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, χωρίς κυλιόμενα μέρη, με διόδους, θυρίστορ ή τρανζίστορ ισχύος.

### Αρχή λειτουργίας του αντιστροφέα

#### Ισοδύναμο κύκλωμα με διακόπτες για τροφοδότηση μονοφασικού φορτίου

Η αρχή λειτουργίας του μονοφασικού αντιστροφέα εξηγείται σε πρώτη προσέγγιση με το κύκλωμα των τεσσάρων διακοπών σχ. 5.17(α). Αν ένα ζεύγος διακοπών (πχ  $\Delta_1, \Delta_2$ ) κλείνει και το άλλο (πχ  $\Delta_3, \Delta_4$ ) παραμένει ανοικτό τότε δημιουργείται η τετραγωνική κυματομορφή του σχήματος 5.17 (β) στην έξοδο του κυκλώματος. Η κυματομορφή αυτή αφού περάσει μέσα από ειδικό φίλτρο μπορεί να προσεγγίσει τη μορφή του εναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχ. 6.49: Ισοδύναμο κύκλωμα τεσσάρων διακοπών και αντίστοιχη κυματομορφή ρεύματος.