



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ηλεκτροκίνητα τρένα



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σωτήριος Ντούρος

Επιβλέπων : Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ηλεκτροκίνητα τρένα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σωτήριος Ντούρος

Επιβλέπων : Μαρία Γ. Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17 Δεκεμβρίου 2015.

.....
Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2015

Σωτήριος Ντούρος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σωτήριος Ντούρος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Το τραίνο και τα σιδηροδρομικά συστήματα εμφανίστηκαν στις αρχές του 18^{ου} αιώνα με την χρησιμοποίηση της ατμομηχανής ως κύριας μηχανής έλξης. Από τότε η εξέλιξη ήταν ραγδαία με κυριότερη όλων την ηλεκτροκίνηση των σιδηροδρομικών δικτύων και την χρησιμοποίηση των ηλεκτραμαξών.

Οι ηλεκτρομηχανές ή ηλεκτράμαξες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ενέργεια καθώς τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο. Πάνω από τις σιδηροδρομικές γραμμές υπάρχει ένα ηλεκτρικό δίκτυο συνεχούς ρεύματος 3 kV ή μονοφασικού εναλλασσόμενου 25 kV. Η υψηλή τάση χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ηλεκτρική μηχανή έχει ένα σύστημα λήψης του ηλεκτρικού ρεύματος, παρόμοιο με αυτό των τρόλεϊ, και ένα μετασχηματιστή για τον υποβιβασμό της υψηλής τάσης του δικτύου τροφοδοσίας σε τάση λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους συρμούς μπορεί να γίνει είτε μέσω εναέριου συστήματος τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας είτε μέσω της τρίτης ράγας η οποία είναι τοποθετημένη παράλληλα στις σιδηροτροχιές που κινείται το τραίνο, διαμέσου των υποσταθμών του δικτύου. Τα ηλεκτρικά ισχύος των ηλεκτραμαξών παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στην πρόωση και την πέδηση των συρμών. Η κατανάλωση ενέργειας, που είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με τις ντιζελάμαξες και οι πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχει κάνει την ηλεκτροκίνηση αρκετά δημοφιλή την τελευταία δεκαετία. Η εξέλιξη των συστημάτων ηλεκτροκίνησης είναι τα σιδηροδρομικά συστήματα μαγνητικής αιώρησης (Maglev) που εφαρμόζονται σε κάποιες χώρες και έχουν οδηγήσει στην δημιουργία τραίνων πολύ υψηλών ταχυτήτων. (400-500 km/hr).

Λέξεις – Κλειδιά: Ηλεκτροκίνηση, ηλεκτρικάσιδηροδρομικάδίκτυα, ηλεκτράμαξες

Abstract

Railway systems and trains were introduced on the beginning of the 18th century with the use of the steam engine as the main locomotive. Since then, the development of the railway systems were rapidly and the main development were the electrification of the systems and the use of the electric locomotive.

The electric locomotives transform the electricity into kinetic energy from the energy that have been supplied from the national grid. Over the railway lines, there is a catenary with DC 3 kV network or AC 25 kV network. The electric locomotive use the pantograph in order to receive electricity from the system. This system is similar with the system that trolleybuses uses. Therefore there is a transformer which degradate the of high voltage power network to the voltage of the motors. The supply of the electric energy to the train can be with the use of a catenary system over the railway lines or with the use of a third rail which is located in parallel with the railway lines. The energy consumption compare with the diesel engines is much more lower in the electric locomotives as also the greenhouse gases emission are extremely low and these effects made the railway electrification quite popular the last decade. The development of the electrification of the railway systems are the railway systems of magnetic elevation.(Maglev) which are implement in some countries and have made railway systems with high speed trains which are reach the speed of 400-500 km/hr

Key-Words: Electrification, Electricrailwaysystems, electriclocomotives

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά την καθηγήτρια μου κ.Μαρία Γ.Ιωαννίδου που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα αλλά και για την υπομονή της και την στήριξη της σε κάθε πρόβλημα πάνω στην εργασία.

Ακόμα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους φίλους μου και στην Βάσω για την συμπαράσταση και την υπομονή τους.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου η οποία με στήριξε με κάθε τρόπο καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη.....
στην γιαγιά μου Άννα

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract	6
Περιεχόμενα	11
Ευρετήριο Εικόνων	14
Ευρετήριο Πινάκων	16
Εισαγωγή.....	17
Κεφάλαιο 1 ^ο – Ηλεκτροκίνητες αμαξοστοιχίες.....	20
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	20
1.2 Είδη ηλεκτροκίνητων αμαξοστοιχιών	25
Κεφάλαιο 2ο – Τροφοδοσία ηλεκτρικών τρένων.....	26
2.1 Ιστορία ηλεκτροδότησης.....	26
2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία ηλεκτροκίνησης.....	28
2.2.1 Τρόποι Τροφοδοσίας.....	28
2.2.2 Σύστημα τροφοδοσίας με τρίτη ράγα.....	29
2.2.3 Εναέριες γραμμές τροφοδοσίας.....	33
2.2.4 Κατασκευαστικά στοιχεία εναέριων γραμμών τροφοδοσίας	37
2.3 Ο παντογράφος	40
2.4 Ηλεκτροδότηση 25kV/50 Hz	42
2.5 Οι Υποσταθμοί	45
2.6 Δίκτυα διανομής και τυποποίησης	47
2.7 Τμηματισμός της Γραμμής Επαφής	48
Κεφάλαιο 3 ^ο – Λειτουργία και έλεγχος ηλεκτράμαξας.....	49
3.1 DC αντίσταση ελέγχου	49
3.2 Πέδηση επιστροφής ηλεκτρικής ενέργειας.....	53

Κεφάλαιο 4 ^ο – Ηλεκτρονικά ισχύος ηλεκτράμαξας	54
4.1 AC/DC τροφοδοσία	54
4.1.1 Τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος	55
4.1.2 Τροφοδοσία με εναλλασσόμενο ρεύμα.....	56
4.2 Η δίοδος	56
4.3 Το thyristor	57
4.4 Sepex.....	58
4.5 DC choppers	59
4.6 Δυναμική πέδηση.....	60
4.7 AC κινητήρες και AC έλεγχος λειτουργίας	60
4.8 Ο ασύγχρονος κινητήρας	61
4.9 Το GTO thyristor	62
4.10 IGBT	64
Κεφάλαιο 5 ^ο – Ηλεκτράμαξες ΟΣΕ	68
5.1 Ηλεκτράμαξες στην Ελλάδα	69
5.2 Hellasprinter – Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	70
5.3 Desiro – Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	72
5.4 Εξοπλισμός έλξης	74
5.4.1 Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνησης έλξης των ηλεκτραμαξών Siemens	75
5.4.2 Ο μετασχηματιστής	76
5.4.3 Μετατροπέας έλξης	77
5.4.4 Ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS	78
5.4.5 Μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR)	79
Κεφάλαιο 6 ^ο – Συστήματα Σηματοδότησης σιδηροδρομικού δικτύου	80
6.1 Σηματοδότηση σιδηροδρομικού δικτύου	80
6.1.1 Το σύστημα διαστήματος χρόνου.....	80
6.1.2 Μήκη αποκλεισμού	81
6.2 Τύποι σηματοδότησης	82

6.3 Αυτόματα συστήματα σηματοδότησης	83
6.4 Αυτόματη προστασία συρμών (ATP).....	84
6.4.1 Άλλα συστήματα αυτόματης προστασίας των συρμών	87
6.5 Κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας	88
Κεφάλαιο 7 ^ο – Τραίνα μαγνητικής αιώρησης (MAGLEV)	92
7.1 Εισαγωγή.....	92
7.2 Τεχνολογία MAGLEV	94
7.3 Ηλεκτρομαγνητική αιώρηση.....	95
7.4 Ηλεκτροδυναμική αιώρηση	97
7.5 Πρόωση και σταθερότητα.....	99
7.6 Καθοδήγηση	99
7.7 Σύγκριση μεταξύ των διάφορων συστημάτων Maglev.....	99
7.7.1 Ηλεκτρομαγνητική αιώρηση (EMS)	100
7.7.2 Ηλεκτροδυναμική αιώρηση (EDS)	100
7.8 Σύγκριση με τα συμβατικά τρένα.....	100
7.9 Μεταφορικό Σύστημα Monorail	102
Κεφάλαιο 8 ^ο – Συμπεράσματα.....	108
Βιβλιογραφία.....	112

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Η πρώτη ηλεκτράμαξα του KalmanKando	21
Εικόνα 2: Η ηλεκτράμαξα Road Class EP-2 του Milwaukee.	24
Εικόνα 3: Η αμαξοστοιχία EuroprinterES64U4.	24
Εικόνα 4: Σύστημα ηλεκτροκίνησης με 3 ^η ράγα.....	30
Εικόνα 5: τρίτη σιδηροδρομική γραμμή στο Μετρό της Αθήνας	31
Εικόνα 6: Παπούτσι επαφής 3ης ράγας	32
Εικόνα 7: Απλοποιημένο Διάγραμμα Υποσταθμού Συνεχούς (DC) Τάσης για Τροφοδοσία Συστήματος Ηλεκτροκίνησης με Τρίτη Σιδηροτροχιά	32
Εικόνα 8: Αλυσοειδής ανάρτηση καλωδίων	35
Εικόνα 9: Εναέριο σύστημα ηλεκτροδότησης	36
Εικόνα 10: Σύστημα ανάρτησης των καλωδίων	38
Εικόνα 11: Μηχανισμός τάνισης των καλωδίων με εφαρμογή βάρους	39
Εικόνα 12: Διάγραμμα υποσταθμού Υ/Σ.....	40
Εικόνα 13: Παντογράφος τύπου Z	41
Εικόνα 14: Συρμός του προαστιακού στην Αθήνα με τον παντογράφο και τα εναέρια καλώδια τροφοδοσίας	41
Εικόνα 15: Διακόπτης φορτίου 25 kV	43
Εικόνα 16: Σχηματικό διάγραμμα υποσταθμών από την Θεσσαλονίκη έως την Ειδομένη	46
Εικόνα 17: Ηλεκτρικό κύκλωμα υποσταθμού 25 kV/50 Hz	46
Εικόνα 18: Διάταξη κυκλώματος ελέγχου.	50
Εικόνα 19: Ρελέ προστασίας του κινητήρα	51
Εικόνα 20: Διάταξη κυκλώματος ελέγχου σειράς-παράλληλης συνδεσμολογίας	52
Εικόνα 21: Διαφορές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος	54
Εικόνα 22: Τυπικό κύμα εναλλασσόμενου ρεύματος.....	55
Εικόνα 23: Το θυρίστορ.....	57
Εικόνα 24: Κύκλωμα DC Chopper με πηνίο και πυκνωτή.....	59
Εικόνα 25: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας	62
Εικόνα 26: Το GTO θυρίστορ	63
Εικόνα 27: Σχηματική αναπαράσταση του GTO θυρίστορ.....	64

Εικόνα 28: Σχηματικό διάγραμμα των IGBT	65
Εικόνα 29: Το IGBT	66
Εικόνα 30: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ Thyristor και GTO-Thyristor	67
Εικόνα 31: Απώλειες διατάξεων με στοιχεία GTO και IGBT	67
Εικόνα 32: Θάλαμος Ελέγχου Hellas Sprinter	71
Εικόνα 33: Διάταξη της ηλεκτράμαξας Hellas Sprinter.	72
Εικόνα 34: Σχηματική διάταξη συρμού Desiro	73
Εικόνα 35: Συρμός Desiro προσεγγίζει τον σταθμό του Κιάτου	73
Εικόνα 36: Συστήματα ηλεκτρικής κίνησης στο Desiro	74
Εικόνα 37: Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης για το ένα φορείο ηλεκτράμαξας SIEMENS	76
Εικόνα 38: Ανορθωτής 4 τεταρτημορίων 4QS	79
Εικόνα 39 : Σύστημα σηματοδότησης με βάση τα μήκη αποκλεισμού	81
Εικόνα 40 : Σημαφορός σε ανοικτή και κλειστή θέση	82
Εικόνα 41 : Κύκλωμα γραμμής με ένδειξη πράσινο σήμα	83
Εικόνα 42 : Κύκλωμα γραμμής με ένδειξη κόκκινο σήμα	84
Εικόνα 43: Σχηματικό διάγραμμα συνεχούς μετάδοσης σημάτων στην καμπίνα του μηχανοδηγού.....	85
Εικόνα 44: Ραδιοφάρος.....	86
Εικόνα 45: Εικόνα από το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας σιδηροδρόμων στην Ιταλία	90
Εικόνα 46: Τρένο Maglev	94
Εικόνα 47: Μαγνητικά πηνία που τοποθετούνται στα τοιχώματα.....	96
Εικόνα 48: Σύστημα βραχίωνων τύπου C	96
Εικόνα 49: Σύγχρονο σύστημα ηλεκτρομαγνητικής αιώρησης.	97
Εικόνα 50: Monorail που κρέμεται	103
Εικόνα 51: Τυπικό Monorail	104
Εικόνα 52: Monorail στον αστικό ιστό της Μόσχας	104
Εικόνα 53: Χάραξη υπερυψωμένου μέσου σταθερής τροχιάς Monorail στο λιμάνι του Πειραιά.....	106
Εικόνα 54: Τυπική διατομή σταθμού Monorail στον Πειραιά.....	107
Εικόνα 55: Ενεργειακός ισολογισμός συστήματος κίνησης	110

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Διεθνές πρότυπο τυποποίησης της τάσης.....	48
Πίνακας 2: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ασύγχρονου κινητήρα	62
Πίνακας 3: Σύνολο δικτύου με ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα	68
Πίνακας 4: Γενικά χαρακτηριστικά Hellas Sprinter	71
Πίνακας 5: Γενικά χαρακτηριστικά Desiro	73
Πίνακας 6: Ηλεκτρικά στοιχεία κυρίως μετασχηματιστή ηλεκτράμαξας Siemens ..	77
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα έλξης	78

Εισαγωγή

Το τραίνο και τα σιδηροδρομικά συστήματα εμφανίστηκαν στις αρχές του 18^{ου} αιώνα με την χρησιμοποίηση της ατμομηχανής ως κύριας μηχανής έλξης. Η οικονομική ανάπτυξη και η πρόοδος της τεχνολογίας έδωσαν τεράστια ώθηση στην κατασκευή εκτεταμένων σιδηροδρομικών δικτύων στην Ευρώπη και στην Αμερική. Η εμφάνιση του αυτοκινήτου και αργότερα του αεροπλάνου περιόρισαν κάπως τον ρόλο του σιδηρόδρομου αλλά αυτό οδήγησε επίσης και στην τελειοποίηση των σιδηροδρομικών δικτύων αλλά και του τροχαίου υλικού και των συστημάτων έλξης προκειμένου ο σιδηρόδρομος να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες. Η βελτίωση του τροχαίου υλικού έχει δυο στόχους: τη βελτίωση των μηχανών έλξης και τη βελτίωση των βαγονιών.

Με την βελτίωση των μηχανών έλξης επιτεύχθηκε αύξηση της ταχύτητας του τρένου αλλά και αύξηση του βάρους μεταφοράς των τραιίνων. Σήμερα χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο ντιζελομηχανές και ηλεκτράμαξες ενώ η μέση ωριαία ταχύτητα αγγίζει τα 300 km/hr.

Η ενεργειακή και περιβαλλοντική κρίση της τελευταίας δεκαετίας τουλάχιστον, έχει αναδείξει ξανά την σπουδαιότητα των σιδηροδρομικών δικτύων καθώς η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μικρότερη για την μεταφορά φορτίων ορισμένου βάρους σε σύγκριση με άλλα μέσα μεταφοράς.

Οι ηλεκτρομηχανές ή ηλεκτράμαξες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ενέργεια καθώς τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο. Πάνω από τις σιδηροδρομικές γραμμές υπάρχει ένα ηλεκτρικό δίκτυο συνεχούς ρεύματος 3 kV ή μονοφασικού εναλλασσόμενου 25 kV. Η υψηλή τάση χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ηλεκτρική μηχανή έχει ένα σύστημα λήψης του ηλεκτρικού ρεύματος, παρόμοιο με αυτό των τρόλεϊ, και ένα μετασχηματιστή για τον υποβιβασμό της υψηλής τάσης του δικτύου τροφοδοσίας σε τάση λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων.

Για την κίνηση της ηλεκτράμαξας είναι απαραίτητη μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση η οποία θα μεταφέρει ρεύμα από το δίκτυο της ΔΕΗ, θα επεξεργάζεται το ρεύμα σε υποσταθμούς και θα την μεταφέρει στο ηλεκτρικό δίκτυο έλξης.

Σύμφωνα με τον ΟΣΕ, το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο έχει μήκος 2.572 χλμ. Το πλάτος των γραμμών δεν είναι το ίδιο σε όλο το δίκτυο. Έτσι το θεσσαλικό και το πελοποννησιακό δίκτυο έχουν πλάτος γραμμής 1 μ. σε συνολικό μήκος 1.012 χλμ. Το υπόλοιπο δίκτυο (με μήκος 1.560 χλμ.) έχει πλάτος γραμμής 1,43 μ. και συνδέεται με το ευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο. Η πρώτη σιδηροδρομική γραμμή στην Ελλάδα κατασκευάστηκε στις 27 Φεβρουαρίου 1869 και συνέδεσε την Αθήνα με τον Πειραιά.

Στην εργασία αυτή γίνεται μια εκτενής αναφορά στις διατάξεις ηλεκτρικής ισχύος των ηλεκτραμαξών αλλά και στο σύστημα ηλεκτροκίνησης γενικότερα και όλα τα παρελκόμενα του δικτύου.

Οι διατάξεις ηλεκτρικής ισχύος τροφοδοτούν με ρεύμα τις ηλεκτράμαξες ενώ το σύστημα κίνησης των συρμών κινείται με καλύτερο συντελεστή ισχύος αφού οι διατάξεις αυτές μπορούν να λειτουργούν και στα τέσσερα τεταρτημόρια με αποτέλεσμα να αξιοποιείται, τις περισσότερες φορές, η ισχύς πέδης.

Πιο αναλυτικά η δομή της παρούσης εργασίας έχει ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής ιστορική αναδρομή στην ηλεκτροκίνηση και στα είδη των ηλεκτραμαξών που υπάρχουν σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της ηλεκτροδότησης των σιδηροδρομικών δικτύων, παρουσιάζονται οι τάσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα καθώς επίσης και οι τρόποι τροφοδοσίας του δικτύου, που μπορεί να είναι εναέρια με την βοήθεια παντογράφου ή από τρίτη ράγα που είναι τοποθετημένοι παράλληλα στις άλλες 2 σιδηροδρομικές ράγες ενώ επιπροσθέτως παρουσιάζεται η κωδικοποίηση του δικτύου και των υποσταθμών.

Στο τρίτο και το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η λειτουργία και ο έλεγχος της ηλεκτράμαξας μέσω των ηλεκτρικών ισχύος που διέπουν την λειτουργία τους και παρουσιάζεται ο τρόπος που λειτουργούν οι ηλεκτράμαξες μέσω αναλυτικών σχεδίων των διατάξεων ηλεκτρικής ισχύος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι 2 ηλεκτράμαξες που χρησιμοποιούνται σήμερα στο δίκτυο του ΟΣΕ, της HellasSprinter και της Desiro. Παρουσιάζονται όλα τα γενικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των 2 ηλεκτράμαξών αλλά και των τεχνικών χαρακτηριστικών που διέπουν την λειτουργία τους. Επί της ουσίας πραγματοποιείται μια σύνδεση των κεφαλαίων 3 και 4 με το κεφάλαιο 5 όπου παρουσιάζεται η εφαρμογή στην πράξη των διατάξεων ηλεκτρικής ισχύος στις ηλεκτράμαξες. Ταυτόχρονα αναλύονται οι μετασχηματιστές έλξης και κίνησης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτράμαξες που κινούνται στο Ελληνικό Σιδηροδρομικό Δίκτυο.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα σήμανσης και ελέγχου των συρμών στο δίκτυο της ηλεκτροκίνησης με έμφαση στους τρόπους ελέγχου και προστασίας των συρμών.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τρένα μαγνητικής αιώρησης, τα Maglev τα οποία μπορούμε να ισχυριστούμε πως αποτελούν την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση της τεχνολογίας της μαγνητικής αιώρησης και επιχειρείται να γίνει μια σύγκριση μεταξύ των συμβατικών τραίνων με τα τρένα μαγνητικής αιώρησης.

Τέλος στο 8^ο κεφάλαιο παρατίθεται τα συμπεράσματα μας από την εργασία αυτή επάνω στην ηλεκτροκίνηση και εξετάζεται το μέλλον της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Επιπροσθέτως πραγματοποιούνται κάποιες προτάσεις για το μέλλον σε ότι αφορά μελλοντικές εργασίες πάνω στην ηλεκτροκίνηση.

Κεφάλαιο 1^ο – Ηλεκτροκίνητες αμαξοστοιχίες

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ηλεκτροκίνηση στον σιδηρόδρομο και οι ηλεκτράμαξες δεν είναι μια καινούρια ιστορία. Κάθε άλλο, καθώς η πρώτη γνωστή ηλεκτράμαξα κατασκευάστηκε το 1837 στην Σκωτία και χρησιμοποιούσε μπαταρίες γαλβανικών κυττάρων. Στην συνέχεια ο Robert Davidson που κατασκεύασε την πρώτη ηλεκτράμαξα, κατασκεύασε μια μεγαλύτερη μηχανή την οποία ονόμασε Galvani και το 1841 δοκιμάστηκε στην γραμμή Εδιμβούργου – Γλασκώβης. Η χρήση της όμως δεν γενικεύτηκε καθώς ήταν πολύ περιορισμένη η διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας από μπαταρίες εκείνη την εποχή.

Το 1879 στο Βερολίνο παρουσιάστηκε το πρώτο ηλεκτρικό όχημα μεταφοράς επιβατών από τον Werner von Siemens. Η μηχανή αυτή κινούταν με κινητήρα 2,2 kW και το τρένο το οποίο κινούταν με μέγιστη ταχύτητα 13 km/hr αποτελούνταν από την ηλεκτράμαξα και 3 οχήματα.

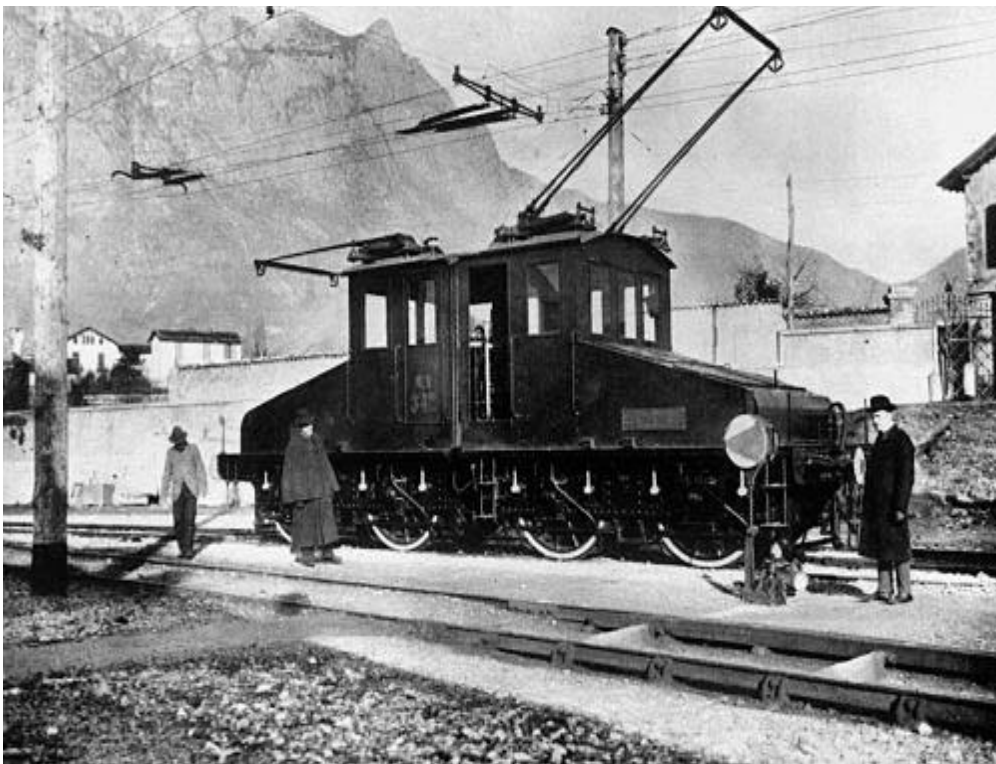
Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχονταν από μια τρίτη σιδηροδρομική γραμμή η οποία ήταν τοποθετημένη μεταξύ των γραμμών και ένα σταθερό δυναμό παρείχε ηλεκτρική ενέργεια.

Η ηλεκτροκίνηση του σιδηρόδρομου είχε αρχίσει να μπαίνει για τα καλά στην Ευρώπη και το 1883 εγκαινιάστηκε στο Brighton της Αγγλίας ο πρώτος ηλεκτρικός σιδηρόδρομος.

Μεγάλο μέρος της αρχικής ανάπτυξης της ηλεκτροκίνητης μετακίνησης προήλθε από την αυξανόμενη χρήση των σηράγγων, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Ο καπνός από τις ατμομηχανές ήταν επιβλαβής, και οι δήμοι είχαν όλο και περισσότερο την τάση να απαγορευθεί η χρήση τους μέσα στα όρια τους. Έτσι, από τις πρώτες εφαρμογές όπου έγινε πράξη αυτή η ρήτρα απαγόρευσης του ατμού ήταν στους υπόγειους σιδηρόδρομους των περιοχών City και South London Railway της Μεγάλης Βρετανίας. Οι γραμμές αυτές επαναλειτούργησαν χρησιμοποιώντας ηλεκτρικές αμαξοστοιχίες κατασκευασμένες από τους Mather και Platt.

Ο ηλεκτρισμός έγινε γρήγορα η κύρια επιλογή τροφοδοσίας για τους υπόγειους σιδηρόδρομους, υποκινούμενη από την εφεύρεση του Sprague για αμαξοστοιχίες πολλαπλών μονάδων το 1897. Τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς τα οποία μετακινούνταν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους χρησιμοποιούσαν κατά κύριο λόγο ατμό μέχρι που άλλαξαν τα διατάγματα.

Το 1894 είναι μια χρονιά-ορόσημο στην ηλεκτροκίνηση των σιδηροδρόμων καθώς ο Ούγγρος Kalman Kando ανέπτυξε για πρώτη φορά κινητήρες και γεννήτριες υψηλών τάσεων με τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα. Το 1915, διατύπωσε την αρχή ότι τα ηλεκτρικά συστήματα τρένων μπορούν να είναι επιτυχή εάν μπορούν να χρησιμοποιήσουν, με απλούς υποσταθμούς μετασχηματιστών, άμεσα την τυποποιημένη συχνότητα ηλεκτρικής ενέργειας από το δημόσιο δίκτυο. Αφού συνειδητοποίησε αυτό, παρείχε και τα μέσα για να κατασκευαστεί ένα τέτοιο δίκτυο με την επινόηση ενός περιστροφικού μετατροπέα φάσης κατάλληλο για χρήση σε αμαξοστοιχίες. Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται η πρώτη ηλεκτράμαξα του Kando.



Εικόνα 1: Η πρώτη ηλεκτράμαξα του Kalman Kando

ΟDuffy σημείωσε πως το πριν το πρώτο παγκόσμιο πόλεμο ένας μεγάλος αριθμός ηλεκτροκίνητων γραμμών λειτουργούσε στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη ενώ μετά την λήξη του πολέμου ξεκίνησαν μεγάλα προγράμματα ηλεκτροκίνησης στην Σουηδία, στην Ελβετία, στην Νορβηγία στην Γερμανία και στην Αυστρία.

Στην Ευρώπη, τα έργα ηλεκτροδότησης αρχικά επικεντρώθηκαν σε ορεινές περιοχές, για πολλούς λόγους σύμφωνα πάντα με τον Duffy(2003):

- οι προμήθειες σε κάρβουνο ήταν δύσκολες ενώ η υδροηλεκτρική ενέργεια ήταν άμεσα διαθέσιμη.
- Επίσης σε αυτή τη φύση των γραμμών οι ηλεκτρικές μηχανές έδιναν μεγαλύτερη έλξη. Για παράδειγμα: σήμερα το 100% της ελβετικών γραμμών είναι ηλεκτροκίνητο.
- Οι σιδηροδρομικές εισοδοι στη Νέα Υόρκη απαιτούσαν παρόμοιες σήραγγες, και τα προβλήματα του καπνού ήταν πιο οξεία εκεί.

Μια σύγκρουση στη σήραγγα ParkAvenue το 1902 οδήγησε την νομοθεσία της Πολιτείας της Νέας Υόρκης να απαγορεύσει την χρήση τρένων που παράγουν καπνό μετά τον Ιούλιο του 1908. Τα ηλεκτροκίνητα τρένα ξεκίνησαν να λειτουργούν το 1904 στον κεντρικό σιδηρόδρομο της Νέας Υόρκης. Την δεκαετία του 1930 ο σιδηρόδρομος της Πενσυλβάνια ηλεκτροδότησε ολόκληρη περιοχή ανατολικά του Harrisburg.

Οι Ιταλικοί σιδηρόδρομοι ήταν οι πρώτοι που εφάρμοσαν την ηλεκτροδότηση σε όλο το μήκος των γραμμών του δικτύου. Το δίκτυο σχεδιάστηκε από τον KálmánKando.

Το ηλεκτρικό σύστημα ήταν τριφασικό με τάση 3 kV και συχνότητα 15 Hz. Η τάση ήταν χαρακτηριστικά υψηλότερη από ό, τι χρησιμοποιούνταν νωρίτερα και έτσι απαιτούνταν νέα σχέδια για ηλεκτρικούς κινητήρες και συσκευές μετάδοσης. Κατά την περίοδο της ηλεκτροδότησης των ιταλικών σιδηροδρόμων, έγιναν κάποιες δοκιμές για τον τύπο τροφοδότησης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί: σε ορισμένα τμήματα υπήρχε 3,6 kV 16,6 Hz με τριφασική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, σε άλλα σημειώθηκαν 1500 VDC, DC 3 kV και 10 kVAC 50 Hz. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930, επιλέχθηκε τροφοδοσία 3 kV συνεχούς ρεύματος για το σύνολο

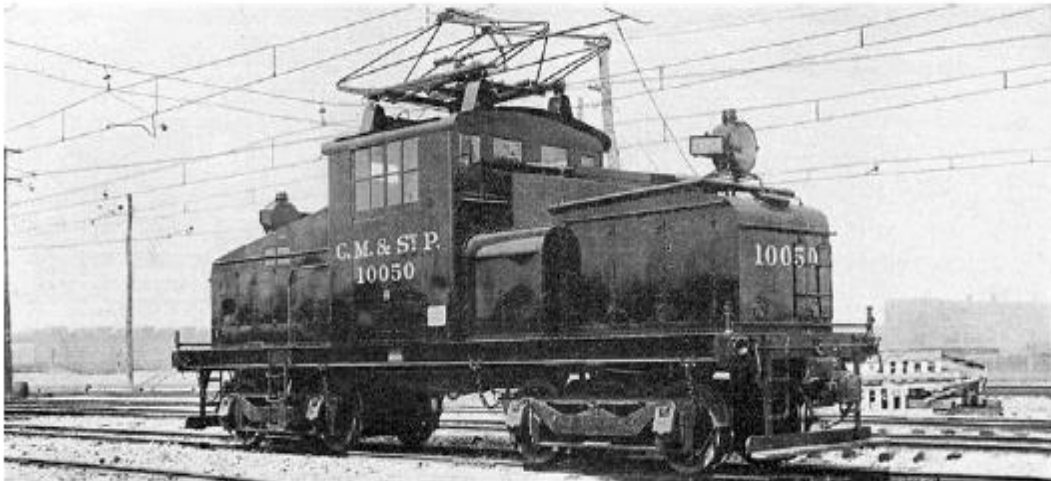
του ιταλικού σιδηροδρομικού συστήματος. (Σήμερα, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται 1500 VDC σε ορισμένες γραμμές κοντά στη Γαλλία ενώ τροφοδοσία 25 kV/ 50 Hz χρησιμοποιούνται για τρένα υψηλής ταχύτητας).

Σύμφωνα με τον Haut(1987) το 1960 ηλεκτροδοτήθηκαν πολλές από τις κύριες γραμμές τις Ευρώπης συμπεριλαμβανομένου και της Ανατολικής Ευρώπης. Η τεχνολογία των ηλεκτρικών αμαξοστοιχιών αναπτύχθηκε σταθερά από το 1920 έως και σήμερα.

Συγκρίνοντας:

η αμαξοστοιχία RoadClassEP-2 (1918) του Milwaukee ζύγιζε 240 τόνους με ισχύ 3.330 kW και μέγιστη ταχύτητα 112 km/h, η γερμανική αμαξοστοιχία E-18 είχε ισχύ 2.800 kW, ζύγιζε μόλις 108 τόνους και είχε μέγιστη ταχύτητα 150 km/h. Στις 29 Μαρτίου του 1955 η γαλλική αμαξοστοιχία CC7107 έφτασε την ταχύτητα των 331 km/h. Το 1960 η σουηδικής κατασκευής αμαξοστοιχία SJClassDM 3 έφτανε σε ισχύ τα 7.200 kW. Την ίδια περίοδο κατασκευάστηκαν στην Γερμανία και την Γαλλία αμαξοστοιχίες που εξυπηρετούσαν την μεταφορά εμπορευμάτων και την μετακίνηση επιβατών που έφταναν τα 200 km/h. Η τεχνολογία των τρένων βελτιώθηκε σημαντικά με την έλευση των ηλεκτρονικών τα οποία επέτρεπαν την χρήση πολύ μικρότερων και ισχυρότερων κινητήρων. Από το 1990 και μετά ξεκίνησε η πιο πυκνή εφαρμογή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων οι οποίοι τροφοδοτούνται από GTO-inverter.

Τη δεκαετία του 1980, την ανάπτυξη των τρένων υψηλών ταχυτήτων έφερε μια αναγέννηση της ηλεκτροδότησης. Η Ιαπωνική αμαξοστοιχία Shinkansen και το γαλλικό TGV ήταν τα πρώτα συστήματα για τα οποία οι γραμμές υψηλής ταχύτητας κατασκευάστηκαν από το μηδέν. Παρόμοια συστήματα εγκαταστάθηκαν στην Ιταλία, τη Γερμανία και την Ισπανία ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες, η μόνη νέα εργασία ήταν μια επέκταση της ηλεκτροδότησης στη γραμμή βορειοανατολικά της χώρας.



Εικόνα 2: Η ηλεκτράμαξα Road Class EP-2 του Milwaukee.

Στις 2 Σεπτεμβρίου 2006, ένα πρότυπης παραγωγής τρένο ηλεκτρικής έλξης της Siemens και συγκεκριμένα το Europrinter τύπου ES64-U4 (ÖBB κλάση 1216) επέτυχε ταχύτητα που έφτασε τα 357 km/h, ταχύτητα ρεκόρ για μια μηχανή με ρυμουλκούμενο τρένο στη νέα γραμμή μεταξύ μεταξύ Ingolstadt και Νυρεμβέργης. Η συγκεκριμένη ηλεκτράμαξα παρουσιάζεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Η αμαξοστοιχία EuroprinterES64U4.

1.2 Είδη ηλεκτροκίνητων αμαξοστοιχιών

Κινητήρια μονάδα (locomotive) ονομάζεται κάθε είδους αυτοκινούμενο (self-propelled) όχημα, που χρησιμοποιείται για να κινεί σιδηροδρομικά βαγόνια πάνω στις ράγες. Παρότι η κινητήρια δύναμη μπορεί να ενσωματωθεί σε οχήματα, στα οποία υπάρχει επίσης χώρος για επιβάτες, αποσκευές ή εμπορεύματα, συνήθως αυτή παρέχεται από την ξεχωριστή κινητήρια μονάδα (locomotive), η οποία περιλαμβάνει τους μηχανισμούς για τη δημιουργία ισχύος (ή, στην περίπτωση της ηλεκτράμαξας, για τη μετατροπή της) και τη μετάδοση της ισχύος στους κινητήριους τροχούς. Στις μέρες μας υπάρχουν δύο κύριες πηγές ισχύος μιας κινητήριας μονάδας:

- Το πετρέλαιο με την μορφή ντίζελ
- Και το ηλεκτρικό ρεύμα

Τα βαγόνια τα οποία συμπληρώνουν μια ολοκληρωμένη ηλεκτροκίνητη αμαξοστοιχία χωρίζονται σε τέσσερα είδη:

- βαγόνι ενέργειας,
- βαγόνι κινητήρα,
- βαγόνι χειρισμού και ελέγχου
- και απλό βαγόνι.

Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου τα βαγόνια έχουν διπλή ιδιότητα, για παράδειγμα ένα βαγόνι μπορεί να είναι ενέργειας και κινητήρα.

Το βαγόνι ενέργειας φέρει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για να συλλέγει την ηλεκτρική ενέργεια από την εγκατάσταση τροφοδοσίας του σιδηροδρόμου όπως είναι ο αγωγός επαφής για την τρίτη σιδηροτροχιά ή ο παντογράφος για τα εναέρια συστήματα και τους μετασχηματιστές.

Τα βαγόνια κινητήρα έχουν στο εσωτερικό τους του κινητήρες έλξης τα οποία συνήθως είναι κοινά με αυτά της ενέργειας ώστε να αποφεύγονται συνδέσεις μεταξύ των οχημάτων που μεταφέρουν υψηλή τάση.

Το βαγόνι χειρισμού και ελέγχου περιέχει τον θάλαμο ελέγχου του τρένου. Στις ηλεκτροκίνητες αμαξοστοιχίες υπάρχουν δυο, ένα σε κάθε άκρη.

Κεφάλαιο 2ο – Τροφοδοσία ηλεκτρικών τρένων

2.1 Ιστορία ηλεκτροδότησης

Η ιστορία της ηλεκτροδότησης ξεκίνησε από το 1922 με πρωτοπόρο τον Ούγγρο Kalman Kando, στον οποίο αναφερθήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η πρώτη επιτυχής επιχειρησιακή και τακτική χρήση του συστήματος των 50Hz έγινε το 1931 και χρησιμοποιήθηκε εναλλασσόμενο ρεύμα 16 kV ασύγχρονης έλξης καθώς και ένας ρυθμιζόμενος αριθμός πόλων. Η πρώτη γραμμή ηλεκτρικού σιδηρόδρομου για τη δοκιμή του ήταν Βουδαπέστη-Ντουνακέσι-Αλάγκ. Η πρώτη πλήρως ηλεκτροδοτημένη γραμμή ήταν Βουδαπέστη-Γκιόρ-Εγκέσαλομ (μέρος της γραμμής μεταξύ Βουδαπέστης και Βιέννης). Παρόλο που αυτή η λύση του Kando έδειξε τον δρόμο για το μέλλον, οι φορείς εκμετάλλευσης των σιδηροδρόμων εκτός από την Ουγγαρία έδειξαν έλλειψη ενδιαφέροντος για τον σχεδιασμό αυτό.

Ο πρώτος σιδηρόδρομος που χρησιμοποίησε αυτό το σύστημα ολοκληρώθηκε το 1951 από την SNCF και η διαδρομή ήταν μεταξύ Aix-Les-Bains και La Roche-Sur-Foron στη νότια Γαλλία.

Το σύστημα των 25 kV στη συνέχεια εγκρίθηκε ως πρότυπο στη Γαλλία, αλλά δεδομένου των σημαντικών αποστάσεων νοτίως του Παρισιού, που είχε ήδη ηλεκτροδοτηθεί με 1500 VDC, συνέχισε ορισμένα σημαντικά νέα έργα ηλεκτροδότησης συνεχούς ρεύματος, μέχρι που αναπτύχθηκαν οι αμαξοστοιχίες διπλής τάσης το 1960.

Ο κύριος λόγος που η ηλεκτροδότηση σε αυτή τάση δεν είχε χρησιμοποιηθεί πιο πριν ήταν η αξιοπιστία του ανορθωτή τύπου υδραργύρου που δεν χωρούσε μέσα στο τρένο. Αυτό όμως σχετιζόταν άμεσα με την χρήση κινητήρων συνεχούς ρεύματος, οι οποίοι απαιτούσαν την μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Ως εκ τούτου η χρήση του ανορθωτή ήταν απαραίτητη. Μέχρι τις αρχές του 1950, οι ανορθωτές υδραργύρου ήταν δύσκολο να λειτουργήσουν ακόμα και σε ιδανικές συνθήκες με αποτέλεσμα να ήταν ακατάλληλοι για χρήση στην βιομηχανία των σιδηροδρόμων.

Ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (και ορισμένοι σιδηρόδρομοι χρησιμοποιούσαν, με διαφορετικούς βαθμούς επιτυχίας), αλλά δεν είχαν κάποιο ιδανικό χαρακτηριστικό για τους σκοπούς της έλξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο έλεγχος της ταχύτητας είναι δύσκολος χωρίς την μεταβολή της συχνότητας, και η εξάρτηση με την τάση για τον έλεγχο της ταχύτητας δίνει μια ροπή σε διάφορες ταχύτητες χωρίς αυτές να είναι ιδανικές. Αυτός είναι ο λόγος που οι DC κινητήρες σειράς ήταν η καλύτερη επιλογή για λόγους έλξης, δεδομένου ότι μπορούν να ελέγχονται από την τάση, και έχουν ένα σχεδόν ιδανικό χαρακτηριστικό της ροπής έναντι της ταχύτητας.

Ο Μίχαλος (2010) σημειώνει πως στην δεκαετία του 1990 τα τρένα υψηλών ταχυτήτων άρχισαν να χρησιμοποιούν ελαφρύτερα, με λιγότερη ανάγκη για συντήρηση τριφασικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Το ShinkansenN700 χρησιμοποιεί μετατροπέα τριών επιπέδων για τη μετατροπή 25 kV μονοφασικό AC σε 1520VAC (μέσω μετασχηματιστή) σε 3000 VDC (μέσω ελέγχου φάσης που χρησιμοποιεί ανορθωτή με θυρίστορ) σε ένα ανώτατο όριο 2300 V τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος (με τη βοήθεια μεταβλητή τάσης, μεταβλητή συχνότητας inverter χρησιμοποιώντας ένα μονωμένο διπολικό τρανζίστορ πύλης με διαμορφωτή πλάτους) για τη λειτουργία των κινητήρων. Το σύστημα λειτουργεί αντίστροφα για την πέδηση με ανάκτηση.

Η επιλογή των 25 kV δεν βασίστηκε σε ένα τακτοποιημένο και καθαρό λόγο της τάσης τροφοδοσίας, αλλά μάλλον συνδέεται με την απόδοση της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε συνάρτηση με την τάση και το κόστος. Για ένα συγκεκριμένο επίπεδο ισχύος, η υψηλότερη τάση επιτρέπει την ροή χαμηλής τιμής ρεύματος και συνήθως καλύτερη απόδοση στο μεγαλύτερο κόστος για τους εξοπλισμούς υψηλής τάσης. Διαπιστώθηκε ότι τα 25 kV ήταν το βέλτιστο σημείο, όπου ακόμη και η υψηλότερη τάση θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα αλλά όχι σε σημαντικό ποσό σε σχέση με το υψηλό κόστος που έγκειται στην ανάγκη για μεγαλύτερη απόσταση και μεγαλύτερους μονωτήρες.

2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία ηλεκτροκίνησης

Η ηλεκτροκίνηση από τα πρώτα χρόνια δημιουργίας της μέχρι και σήμερα έχει και συνδυάζει διάφορα χαρακτηριστικά. Είναι γεγονός πως υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ηλεκτρικών συστημάτων έλξης σε όλο τον κόσμο τα οποία έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με την διαθέσιμη τεχνολογία κατά την στιγμή της εγκατάστασης. Είναι χαρακτηριστικό πως υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις οι οποίες κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά πριν από 100 χρόνια. Η σιδηροδρομική ηλεκτροκίνηση γνώρισε αλματώδη ανάπτυξη τα τελευταία 20 χρόνια.

Σε αυτό συντέλεσαν η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και των μικροεπεξεργαστών. Ότι ήταν αποδεκτό για τα πρότυπα της βιομηχανίας τα τελευταία 80 χρόνια αντικαταστάθηκε από θεμελιώδης αλλαγές στον σχεδιασμό, στην κατασκευή και στην λειτουργία των σιδηροδρόμων.

2.2.1 Τρόποι Τροφοδοσίας

Η τροφοδοσία του ηλεκτρικού σιδηρόδρομου θα πρέπει να είναι συνεχόμενη και θα πρέπει επίσης η αμαξοστοιχία να έχει πρόσβαση σε αυτή κάθε στιγμή. Παράλληλα θα πρέπει να είναι ασφαλής, οικονομική και φιλική προς τον χρήστη. Χρησιμοποιείται συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα (DC ή AC). Η χρήση του συνεχούς ρεύματος ήταν απλούστερη σε ότι αφορά την έλξη ενώ στην δεύτερη περίπτωση το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι πολύ καλύτερο για μεγάλες αποστάσεις και φθηνότερο στην εγκατάσταση αλλά κάπως πιο περίπλοκο για τον έλεγχο στο επίπεδο της αμαξοστοιχίας.

Η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται πάντα κατά μήκος της γραμμής είτε μέσω εναέριων καλωδίων είτε στο επίπεδο της σιδηροδρομικής γραμμής χρησιμοποιώντας μια σιδηροδρομική δοκό που βρίσκεται κοντά στις τρέχουσες ράγες.

Στα εναέρια καλώδια χρησιμοποιείται μόνο εναλλασσόμενο ρεύμα ενώ στην τρίτη σιδηροδρομική γραμμή χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα. Και στις 2 περιπτώσεις πάντως θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας συλλέκτης ο οποίος συνδέεται με την αμαξοστοιχία και είναι σε επαφή συνέχεια με την ηλεκτρική ενέργεια.

Στην περίπτωση της τρίτης ράγας χρησιμοποιείται ένα «παπουτσάκι» το οποίο συνέχεια σε επαφή με την τρίτη ράγα ενώ στην περίπτωση του εναέριου συστήματος χρησιμοποιείται ο παντογράφος ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το εναέριο σύστημα τροφοδοσίας. Η επιστροφή πραγματοποιείται μέσω της ράγας πίσω στον υποσταθμό.

2.2.2 Σύστημα τροφοδοσίας με τρίτη ράγα

Το σύστημα τρίτης σιδηροτροχιάς είναι ένα μέσο για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας έλξης για σιδηροδρομικά τρένα, και χρησιμοποιούν μια πρόσθετη σιδηροτροχιά, την τρίτη ράγα, ή τρίτη σιδηροτροχιά για τον σκοπό αυτό. Στα περισσότερα συστήματα, η τρίτη ράγα τοποθετείται προς την άκρη των στρωτήρων έξω από τις κύριες σιδηροτροχιές ενώ σε μερικές περιπτώσεις τοποθετείται στο κέντρο ενδιάμεσα στις κύριες σιδηροτροχιές. Η τρίτη σιδηροτροχιά τοποθετείται πάνω σε κεραμικούς μονωτήρες, ή μονωμένα στηρίγματα, τα οποία έχουν μια τυπική απόσταση μεταξύ τους περίπου στα 3 m.

Το σύστημα τροφοδοσίας με την τρίτη ράγα είναι ένα σύστημα τροφοδοσίας του σιδηροδρόμου με συνεχές ρεύμα. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ένα «παπούτσι» για την συλλογή του ρεύματος από την αμαξοστοιχία και το οποίο γλιστρά πάνω στην τρίτη ράγα και συλλέγει το ρεύμα. Στην εικόνα 4 φαίνεται το σύστημα τροφοδοσίας με την τρίτη ράγα. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στους αστικούς σιδηρόδρομους. Στην Ελλάδα, το Μετρό της Αθήνας και οι ηλεκτρικοί σιδηρόδρομοι Αθηνών-Πειραιώς χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα.



Εικόνα 4: Σύστημα ηλεκτροκίνησης με 3^η ράγα

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο το «παπουτσάκι» γλιστρά πάνω στην τρίτη ράγα και συλλέγει το ρεύμα. Ο πιο απλός τρόπος συλλογής ρεύματος ονομάζεται άνω επαφής και ονομάζεται έτσι επειδή εκείνο είναι το μέρος της σιδηροδρομικής γραμμής το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το «παπούτσι». Αυτό το σύστημα είναι το πιο απλό αλλά έχει και κάποια μειονεκτήματα.

Σε ότι αφορά στο κόστος, επειδή αυτό είναι συνήθως το μεγαλύτερο θέμα, τα συστήματα τρίτης σιδηροτροχιάς είναι φτηνά στην εγκατάσταση, σε σχέση με τα εναέρια συστήματα τροφοδοσίας, καθώς δεν υπάρχουν κατασκευές για την μεταφορά του καλωδίου επαφής. Με αυτό το σύστημα υπάρχει και λιγότερη οπτική όχληση προς το περιβάλλον.

Ωστόσο, καθώς τα συστήματα τρίτης ράγας εκπνέουν τον κίνδυνο του ηλεκτρικού σοκ, τα συστήματα υψηλών τάσεων (πάνω από 1.500 V) δεν είναι εφικτά. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται υψηλά ρεύματα, που σαν αποτέλεσμα έχουν την σημαντική απώλεια ισχύος στο σύστημα, και την εγκατάσταση υποσταθμών τροφοδοσίας σε πολύ τακτά σημεία.

Επίσης, το δίκτυο που τροφοδοτείται από την τρίτη ράγα μπορεί να είναι πλήρως απομονωμένο από ανισόπεδες διαβάσεις, ή, από την στιγμή που υπάρχουν, να εγκαθίσταται κάποιο είδους μηχανισμού ώστε να ειδοποιεί και να σταματά αποτελεσματικά τους πεζούς στο να περάσουν από τις ράγες.

Μετά από μια διακοπή της τρίτης ράγας, η ράμπα ομαλής επαναφοράς του αγωγού επαφής του τρένου παρουσιάζει ένα όριο στην ταχύτητα λόγω της μηχανικής επαφής του “παπουτσιού” με την σιδηροτροχιά και δεν πρέπει να ξεπερνά τα 160 km/h.

Τα συστήματα τρίτης σιδηροτροχιάς παρουσιάζουν πολλά προβλήματα στις άσχημες καιρικές συνθήκες, ειδικά στο χιόνι και τον πάγο. Σε αρκετά δίκτυα υπάρχουν ειδικά κατασκευασμένα τρένα για τον καθαρισμό των σιδηροτροχιών τα οποία περνούν με ένα ελαιώδες υγρό την επιφάνεια της τρίτης ράγας για να αποφύγουν τυχόν ατυχήματα ή δυσλειτουργίες στο σιδηροδρομικό δίκτυο.

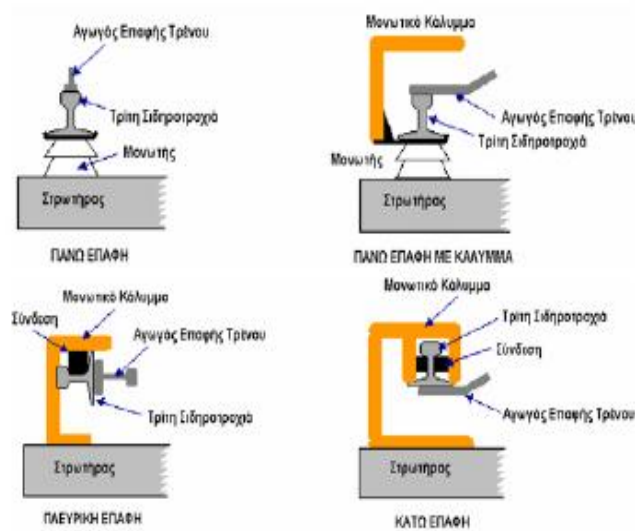
Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται με κίτρινο χρώμα η Τρίτη σιδηροδρομική γραμμή στο Μετρό της Αθήνας ενώ διακρίνεται και το «παπούτσι» που συλλέγει το ρεύμα.



Εικόνα 5: τρίτη σιδηροδρομική γραμμή στο Μετρό της Αθήνας

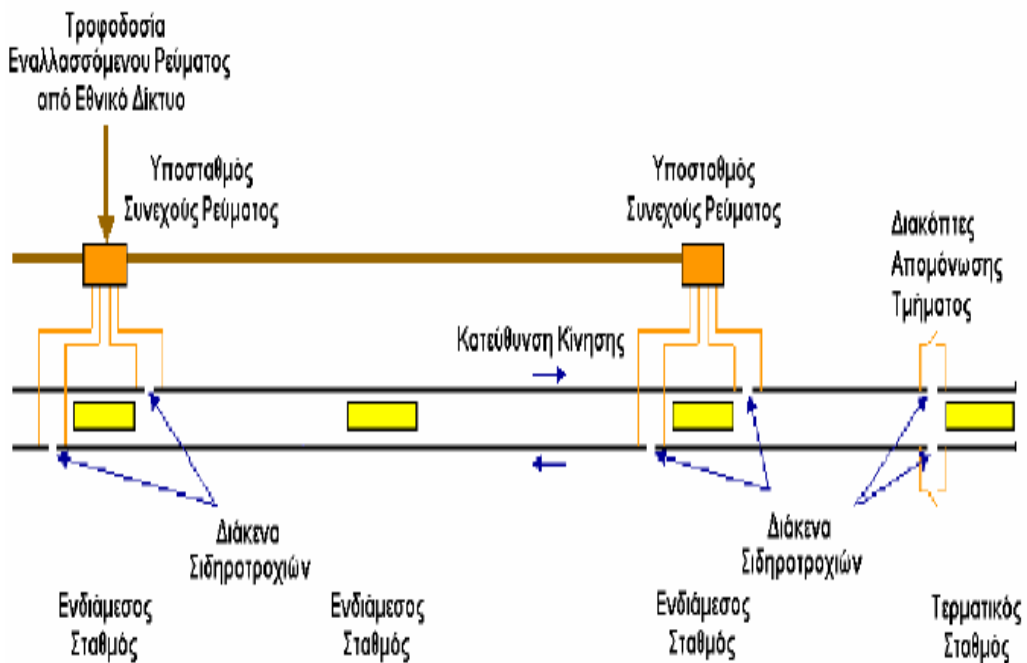
Αυτό το DC “παπούτσι” άνω επαφής έχει απομακρυσμένες εγκαταστάσεις ανύψωσης. Όλα τα «παπούτσια» χρειάζονται κάποιο τρόπο για να μετακινηθούν και να μην έρχονται καθόλου σε επαφή με την ράγα, συνήθως για λόγους έκτακτης ανάγκης. Ο πιο συνηθισμένος λόγος όμως είναι ένα παπούτσι να μπορεί διακόπτει την επαφή του με τη ράγα ώστε να αποκαθίσταται η ηλεκτρική ασφάλεια του τρένου. Τα άλλα παπούτσια που βρίσκονται στο ίδιο κύκλωμα πρέπει να απομονώνονται όταν συμβαίνει αυτό, εκτός αν η τροφοδοσία του ρεύματος διακοπεί από ολόκληρο το τμήμα, πράγμα το οποίο ενδέχεται να επηρεάσει και άλλες αμαξοστοιχίες.

Τα παπούτσια τα οποία κάνουν επαφή στα πλάγια ή από την κάτω πλευρά της ράγας πιέζονται ώστε να κάνουν επαφή μέσω ελατηρίων.



Εικόνα 6: Παπούτσια επαφής 3ης ράγας

Το απλοποιημένο διάγραμμα τροφοδοσίας εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος με τρίτη τροχιά φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Απλοποιημένο Διάγραμμα Υποσταθμού Συνεχούς (DC) Τάσης για Τροφοδοσία Συστήματος Ηλεκτροκίνησης με Τρίτη Σιδηροτροχιά

2.2.3 Εναέρια γραμμές τροφοδοσίας

Η εναέρια γραμμή τροφοδοσίας είναι η δημοφιλέστερη μορφή τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος σε σιδηρόδρομο.

Τα κύρια κατασκευαστικά στοιχεία του εναέριου συστήματος τροφοδοσίας είναι οι στύλοι οι οποίοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα ή από μέταλλο, οι αγκυρώσεις και τα άκαμπτα πλαίσια. Η γραμμή επαφής που τοποθετείτε υπολογίζεται και εξαρτάται από παραμέτρους όπως είναι η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, το ονομαστικό ρεύμα, τα χαρακτηριστικά της σιδηροδρομικής γραμμής και η τοποθέτηση των σημείων τροφοδοσίας.

Ο αγωγός επαφής κατασκευάζεται από σκληρό ηλεκτρολυτικό χαλκό, έχει υψηλή μηχανική αντοχή σε φθορά και διάβρωση και καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Για να εξασφαλιστεί καλή συμμετοχή του φέροντα αγωγού στην αγωγιμότητα, τοποθετούνται εγκάρσιες συνδέσεις με ευλύγιστο χάλκινο καλώδιο μεταξύ αγωγού επαφής και φέροντα αγωγού, συνήθως κάθε 300 m.

Οι εναέρια γραμμές ή οι εναέριοι αγωγοί χρησιμοποιούνται για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε τραμ, τρόλεϋ και τρένα από τους υποσταθμούς παροχής ενέργειας. Τα πιο γνωστά συστήματα εναέριων γραμμών είναι:

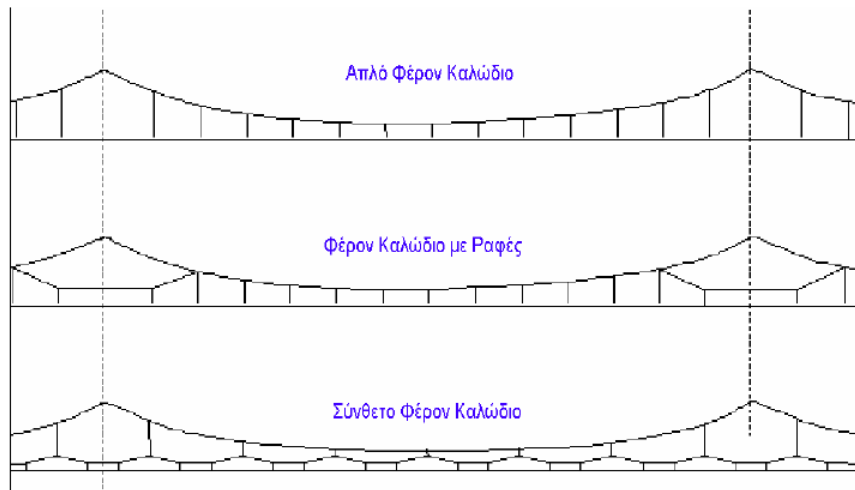
- Εναέριο σύστημα επαφής ή Εξοπλισμός εναέριας γραμμής ή Overheadlineequipment (OLEorOHLE).
- Overhead contact system (OCS)
- Εναέρια καλωδίωση ή Overhead wiring (OHW)
- Αλυσοειδής καλωδίωση ή Catenary το οποίο είναι εγκατεστημένο στις Η.Π.Α., την Σιγκαπούρη και τον Καναδά

Το σύστημα της εναέριας γραμμής έχει σχεδιαστεί με την αρχή ότι ένα ή περισσότερα καλώδια βρίσκονται πάνω από τις σιδηροδρομικές γραμμές, ανυψωμένες ψηλά ώστε να καλύπτουν ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά τις

ανάγκες του τρένου και επίσης βρίσκονται σε συνεχή σύνδεση με τους σταθμούς ή υποσταθμούς τροφοδοσίας σε τακτά διαστήματα.

Αναλυτικότερα, το Σύστημα της Εναέριας Γραμμής Επαφής (ΕΓΕ) περιλαμβάνει όλες τις αναγκαίες πάγιες εγκαταστάσεις για την τροφοδοσία με ηλεκτρική ισχύ των κινητηρίων οχημάτων συντιθέμενο από:

- Την *αλυσοειδή*, που είναι σύστημα ανάρτησης της εναέριας γραμμής επαφής, στο οποίο ο αγωγός επαφής στηρίζεται στον φέροντα αγωγό μέσω αναρτήρων. Ο αναρτήρας είναι εύκαμπτο καλώδιο το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ φέροντος αγωγού και αγωγού επαφής για την στερέωση του αγωγού επαφής μέσω αρπαγών στο φέροντα αγωγό. Η αλυσοειδής τρέχει κατά μήκος της τροχιάς σε ορισμένο ύψος στηριζόμενη από στύλους στην ανοιχτή γραμμή ή από ειδικά χαλύβδινα στηρίγματα στα τεχνικά έργα (σήραγγες κα).
- Τον *αγωγό επαφής*, που είναι ο αγωγός από τον οποίο με συνεχή επαφή μέσω του παντογράφου το κινητήριο όχημα πραγματοποιεί την λήψη του ρεύματος.
- Το *κύκλωμα επιστροφής*, που περιλαμβάνει όλους τους αγωγούς που αποτελούν τον διάδρομο για την επιστροφή του ρεύματος έλξης, π.χ. αγωγό επιστροφής ρεύματος ή συλλεκτήριο αγωγό, σιδηροτροχιές, αγωγούς γειώσεως κλπ.
- Τον *αγωγό τροφοδοσίας η φέρον αγωγός*, που είναι εναέριος αγωγός στερεωμένος στην ίδια με την αλυσοειδή κατασκευή στήριξης για την τροφοδοσία των διαδοχικών σημείων τροφοδοσίας κατά μήκος της γραμμής.
- Τον *αγωγό ενίσχυσης (παράλληλο τροφοδότη)*, που είναι εναέριος αγωγός σε γειτνίαση με τον αγωγό επαφής και κατά διαστήματα συνδεόμενος με αυτόν για την αύξηση της ενεργής διατομής του.
- Θεμελιώσεις, στύλους, κατασκευές ανάρτησης και άλλα εξαρτήματα τα οποία εξυπηρετούν την στήριξη, ανάρτηση, ευθυγράμμιση, τάνυση και μόνωση του αγωγού επαφής αλλά και των υπολοίπων αγωγών.
- Διακοπτικό υλικό και εξοπλισμό για την επιτήρηση, συντήρηση και προστασία εγκατεστημένο σε κατασκευές αντίστοιχες με αυτές της εναέριας γραμμής επαφής.



Εικόνα 8: Αλυσοειδής ανάρτηση καλωδίων

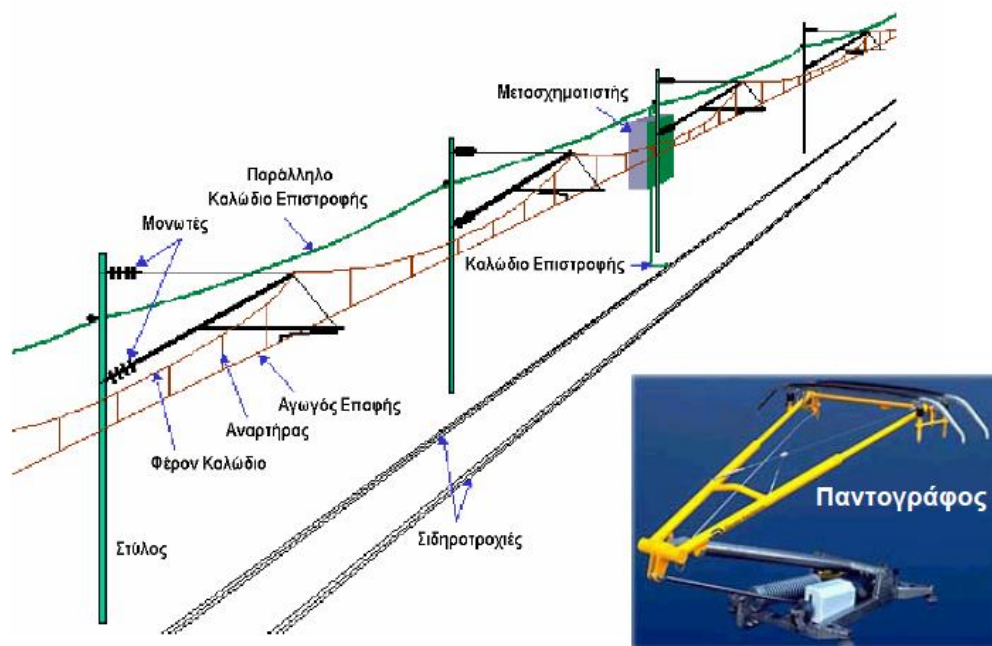
Οι εναέριοι αγωγοί, ονομάζονται αλυσοειδής εξαιτίας της καμπύλης που σχηματίζεται από το υποστηρικτικό καλώδιο και έχουν μια σύνθετη γεωμετρία. Ο αγωγός επαφής στηρίζεται οριζοντίως και είναι τεντωμένος και τραβιέται από τα πλάγια ώστε να ακολουθεί τις γραμμές. Το μήκος του αγωγού είναι συνήθως μεταξύ 1000 και 1500 μέτρων και είναι ανάλογο με το εύρος των θερμοκρασιών στην περιοχή. Ο αγωγός τοποθετείται στο κέντρο της σιδηροδρομικής γραμμής προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι θα έρθει σε επαφή με τον παντογράφο.

Ο Stanescu έχει σημειώσει πως ο αγωγός επαφής κατασκευάζεται από σκληρό ηλεκτρολυτικό χαλκό, έχει υψηλή μηχανική αντοχή σε φθορά και διάβρωση και καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Για να εξασφαλιστεί καλή συμμετοχή του φέροντα αγωγού στην αγωγιμότητα, τοποθετούνται εγκάρσιες συνδέσεις με ευλύγιστο χάλκινο καλώδιο μεταξύ αγωγού επαφής και φέροντα αγωγού, συνήθως κάθε 300 m. Το κυριότερο πρόβλημα που μπορεί να δημιουργηθεί στα εναέρια συστήματα ηλεκτροδότησης είναι να δημιουργηθεί κύμα στο σύρμα από την επαφή του πρώτου παντογράφου του συρμού με αποτέλεσμα να μην γίνει επαφή στους επόμενους παντογράφους που ακολουθούν στον συρμό. Το πρόβλημα αυτό είναι μεγαλύτερο στα τρένα υψηλών ταχυτήτων. Η γαλλική αμαξοστοιχία TGV που είναι ένα τρένο υψηλών ταχυτήτων έχει μόνο έναν παντογράφο για αυτό ακριβώς τον λόγο.

Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτροδοτούνται τμηματικά αλλά στο εναλλασσόμενο ρεύμα τα τμήματα αυτά είναι πολύ μεγαλύτερα σε σχέση με τα τμήματα που ηλεκτροδοτούνται με συνεχές ρεύμα στο σύστημα με την τρίτη ράγα.

Κάθε τμήμα της τροφοδοσίας είναι απομονωμένο από το επόμενο και το προηγούμενο μέσω των μονωτών. Οι μονωτές καθώς επίσης και όλο το σύστημα εναέριας ηλεκτροδότησης διακρίνονται στην εικόνα 9.

Τα ηλεκτρικά τρένα που τροφοδοτούνται από εναέρια γραμμές χρησιμοποιούν μια συσκευή όπως ο παντογράφος για την συλλογή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συσκευή αυτή πιέζει προς το κάτω μέρος του χαμηλότερου καλωδίου του συστήματος, τον αγωγό επαφής. Οι συλλέκτες ρεύματος είναι ηλεκτρικά αγώγιμοι και επιτρέπουν το ρεύμα να περνά στο τρένο και από εκεί πίσω στους σταθμούς τροφοδοσίας μέσω των ραγών. Στο δίκτυο με τέτοια συστήματα μπορούν να μετακινούνται και απλές ντίζελ-αμαξοστοιχίες χωρίς να επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και την λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος έλξης. Μπορεί αυτό το σύστημα να είναι το πιο διαδεδομένο αλλά υπάρχουν και άλλα μέσα ηλεκτρικής έλξης όπως η τρίτη σιδηροδρομική ράγα.



Εικόνα 9: Εναέριο σύστημα ηλεκτροδότησης

Οι πιο πρόσφατες εγκαταστάσεις εναέριων συστημάτων χρησιμοποιούν την απλή ανάρτηση των καλωδίων η οποία είναι τοποθετημένη προς τα κάτω προκειμένου να παρέχει καλή επαφή με τον παντογράφο σε υψηλές ταχύτητες. Αυτός ο τρόπος ανάρτησης λειτουργεί πάρα πολύ καλά σε ταχύτητες 200 km/hr.

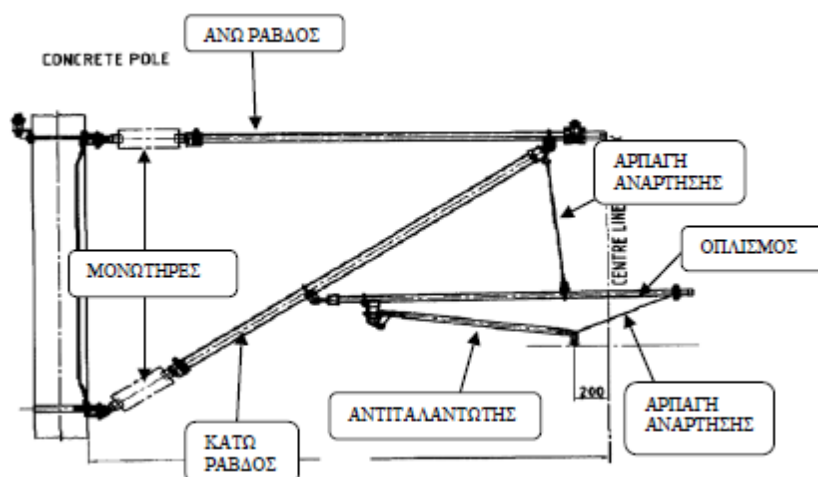
Στις γραμμές που είναι εξοπλισμένες με εναέριους αγωγούς εναλλασσόμενου ρεύματος, λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις για την μείωση των παρεμβολών στα καλώδια επικοινωνίας. Εάν ένας αγωγός επικοινωνίας είναι τοποθετημένος παράλληλα με τις σιδηροτροχιές που επιστρέφουν το ρεύμα της εναέριας γραμμής τροφοδοσίας, μπορεί να προκληθεί το φαινόμενο της πτώσης τάσης. Σε μεγάλες αποστάσεις η πτώση τάσης μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ασφάλεια. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, εγκαθίστανται μετασχηματιστές που ενισχύουν τη τάση. Αυτοί είναι τοποθετημένοι στους ιστούς κατά διαστήματα κατά μήκος της διαδρομής και είναι συνδεδεμένοι με τους υποσταθμούς τροφοδοσίας σε ανάλογη πάλι απόσταση ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής απόδοση της χαμένης τάσης.

2.2.4 Κατασκευαστικά στοιχεία εναέριων γραμμών τροφοδοσίας

Το καλώδιο επαφής στις υψηλές ταχύτητες πρέπει να διατηρηθεί εντός κάποιων γεωμετρικών ορίων. Αυτό επιτυγχάνεται με την υποστήριξη του καλωδίου επαφής από πάνω με ένα δεύτερο καλώδιο. Αυτό το καλώδιο ακολουθεί την φυσική πορεία του καλωδίου επαφής και είναι τεντωμένο μεταξύ 2 σημείων και σχηματίζει μια καμπύλη και ονομάζεται φέρων καλώδιο. Το φέρων καλώδιο συνδέεται με τον αγωγό επαφής σε τακτά διαστήματα με κατακόρυφα σήματα με τους αναρτήρες. Στην εικόνα 10 φαίνεται το φέρων καλώδιο και η ανάρτησή του.

Όλο το εναέριο σύστημα τροφοδοσίας υποστηρίζεται και από κάποιες άλλες κατασκευές όπως τροχαλίες και σφιγκτήρες ενώ υποβάλλεται και σε μια μηχανική τάνυση προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή θέση και η καμπή των καλωδίων και των συρμάτων. Η ταινία επαφής του καλωδίου, δηλαδή το σημείο που έρχεται σε επαφή με τον παντογράφο είναι κατασκευασμένο από ανθρακονήματα.

Είναι προτιμότερο το καλώδιο επαφής, καθώς το τρένο κινείται, να μην κάνει συνεχώς επαφή σε ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας του παντογράφου. Σε μια στροφή, το καλώδιο μεταξύ των κατασκευών βρίσκεται σε μια ευθεία, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να περάσει από όλη την επιφάνεια του παντογράφου καθώς το τρένο στρίβει, κάνοντας έτσι ακόμα καλύτερη επαφή αποφεύγοντας παράλληλα και τις εγκοπές. Σε ευθεία τροχιά, το σύρμα επαφής σκοπίμως δεν είναι και αυτό σε μια ευθεία μεταξύ των υποστηρίξεων αλλά λαμβάνει μια κυματοειδή μορφή για να εφάπτεται ομοιόμορφα με τον παντογράφο.



Εικόνα 10: Σύστημα ανάρτησης των καλωδίων

Οι ταλαντώσεις που δημιουργεί ο παντογράφος δημιουργεί κύματα στα καλώδια τα οποία θα πρέπει να κινούνται γρηγορότερα από τον συρμό αλλιώς τα καλώδια θα κοπούν. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να εφαρμόζεται μια μηχανική τάνση στα καλώδια. Η μηχανική τάνση εφαρμόζεται με μέσα που χρησιμοποιούν το βάρος και εξασφαλίζουν πως τα καλώδια βρίσκονται στην τάνση που πρέπει ανεξαρτήτως των θερμοκρασιακών συνθηκών. Τυπικά η τάνση θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 9 και 20 kN για κάθε καλώδιο.

Στη χρήση της αυτόματης μεθόδου, υπάρχει ένα όριο για το συνεχές μήκος της εναέριας γραμμής που μπορεί να εγκατασταθεί. Αυτό οφείλεται στην μεταβολή της θερμοκρασίας που επιφέρει την επέκταση ή μείωση του μήκους της γραμμής. Στην περίπτωση των 35 kV το μέγιστο μήκος της τάνσης είναι 1970 m.

Ο Stanescu σημειώνει πως εντός σηράγγων όπου η θερμοκρασία είναι σταθερή, χρησιμοποιείται ένας προκαθορισμένος εξοπλισμός όπου τα καλώδια τερματίζουν ανάμεσα στις κατασκευές στήριξης. Σε αυτή την περίπτωση η τάνση είναι περίπου 10 kN.



Εικόνα 11: Μηχανισμός τάνυσης των καλωδίων με εφαρμογή βάρους

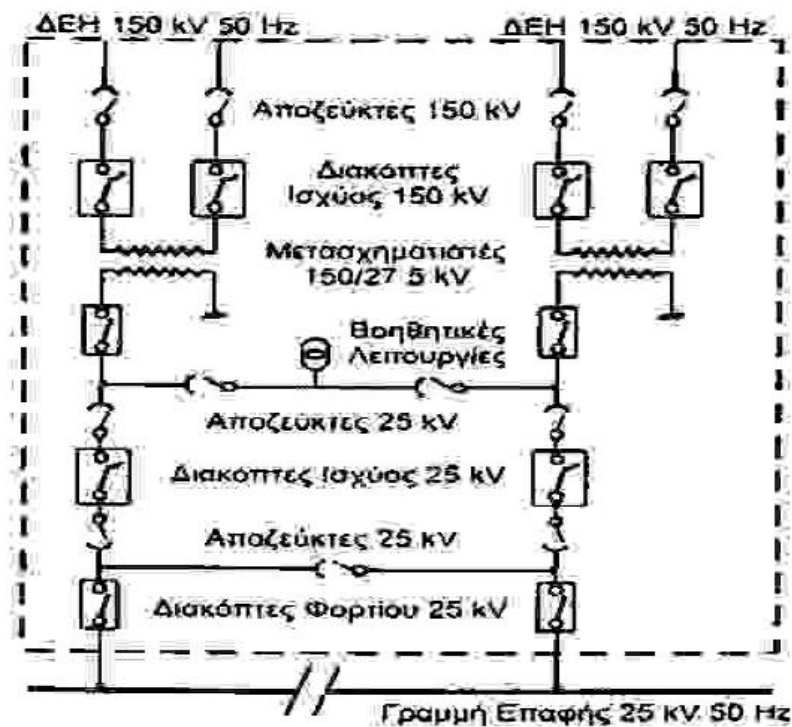
Για την σύνδεση με το δίκτυο υψηλής τάσης απαιτείται η κατασκευή ενός υποσταθμού ο οποίος και τροφοδοτεί το σύστημα εναέριας τροφοδοσίας με ηλεκτρικό ρεύμα.

Στους υποσταθμούς γίνεται η απαραίτητη μετατροπή της υψηλής τάσεως των 150kV σε τάση ικανή για την αδιάλειπτη τροφοδοσία των ηλεκτρικών συρμών.

Η επιλογή της θέσης του υποσταθμού γίνεται με κριτήρια της άνετης και ομαλής τροφοδότησης του δικτύου με τάση και ισχύ σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Ο υποσταθμός περιλαμβάνει τον ακόλουθο βασικό εξοπλισμό:

- Την τροφοδοσία από το δίκτυο Υψηλής Τάσης (150kV) με τις διάφορες διατάξεις διακοπής, προστασίας, χειρισμού κλπ
- Τον εξοπλισμό των Υψηλής Τάσης (150kV) με τις διάφορες διατάξεις διακοπής για την απομόνωση του συστήματός μας από το δίκτυο Υψηλής Τάσης
- Τους Μετασχηματιστές που υποβιβάζουν την τάση από 150kV σε 25kV.
- Τις διατάξεις σύνδεσης, προστασίας, διακοπής στα 25kV προς την γραμμή επαφής.
- Τις διατάξεις μέτρησης, προστασίας και χειρισμού



Εικόνα 12: Διάγραμμα υποσταθμού Υ/Σ

2.3 Ο παντογράφος

Ο παντογράφος είναι η συσκευή που συλλέγει το ηλεκτρικό ρεύμα από τα εναέρια καλώδια στα τρένα αλλά και στα τραμ.

Στην ουσία αποτελεί μια βελτίωση του πόλου που χρησιμοποιούν τα τρόλεϊ ο οποίος παρέμενε συνεχώς συνδεδεμένος με τα καλώδια και αυτό τα απέτρεπε να κινούνται με μεγάλες ταχύτητες.

Ο πιο κοινός παντογράφος είναι ο παντογράφος τύπου Ζο οποίος έχει εξελιχθεί έτσι ώστε να παράσχει μια πιο συμπαγή και ενιαία σχεδίαση βραχίονα για υψηλές ταχύτητες, αφού τα ίδια τα τρένα γίνονται ολοένα και πιο ταχύτερα. Ο παντογράφος τύπου Ζ μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλα τα ηλεκτρικά τρένα, είτε αναπτύσσουν πολύ υψηλές ταχύτητες όπως το TGV, είτε είναι χαμηλών ταχυτήτων όπως ένα κοινό αστικό τραμ. Ο σχεδιασμός του παντογράφου τύπου Ζ λειτουργεί με την ίδια αποτελεσματικότητα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση της κίνησης της αμαξοστοιχίας, όπως αποδεικνύεται άλλωστε από τους Ελβετικούς και Αυστριακούς σιδηρόδρομους των οποίων οι νέες μηχανές υψηλής απόδοσης, η Re 460 και η Taurus λειτουργούν και προς τις δυο κατευθύνσεις.

Στην παρακάτω εικόνα 13 φαίνεται ένας παντογράφος τύπου Z.



Εικόνα 13: Παντογράφος τύπου Z

Οι παντογράφοι μπορούν να έχουν μονό ή διπλό βραχίονα. Οι παντογράφοι διπλού βραχίονα είναι συνήθως πιο βαρύτεροι, απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να ανυψωθούν ή να χαμηλώσουν αλλά είναι πιο ανεκτικοί σε σφάλματα. Αυτός ήταν ο λόγος που πολλά σιδηροδρομικά συστήματα ανά τον κόσμο που αντιμετώπισαν προβλήματα επαφής με το καλώδιο τροφοδοσίας κατά τις μετακινήσεις αμαξοστοιχιών, αντικατέστησαν τον μονό με διπλού βραχίονα παντογράφους.



Εικόνα 14: Συρμός του προαστιακού στην Αθήνα με τον παντογράφο και τα εναέρια καλώδια τροφοδοσίας

2.4 Ηλεκτροδότηση 25kV/50 Hz

Το σύστημα ηλεκτροδότησης των 25 kV/50Hz τέθηκε σε ευρεία χρήση το 1950. Είναι το ιδανικό σύστημα για ηλεκτροδότηση σιδηροδρόμων που καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλές αμαξοστοιχίες ταυτόχρονα. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται αυτή την στιγμή σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες που έχουν σιδηρόδρομους υψηλών ταχυτήτων όπως είναι η Ισπανία, η Ιταλία, το Βέλγιο, η Σλοβακία και η Ολλανδία. Σε αυτές τις χώρες, πριν χρησιμοποιούνταν το σύστημα 3kVDC/1.5 kV το οποίο άλλαξε σε 25 kV/50Hz.

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος που είναι τα ακόλουθα:

- Η επιστροφή του ρεύματος έλξης από την ηλεκτράμαξα στον υποσταθμό γίνεται μέσω της σιδηροτροχιάς
- Η τροφοδοσία από το δίκτυο είναι υψηλής τάσης των 150 kV
- Η σύνδεση με το δίκτυο γίνεται μέσω απλών υποσταθμών ενώ ο τρόπος σύνδεσης με το τριφασικό σύστημα των υποσταθμών είναι ιδιαίτερος καθώς γίνεται με μονοφασικούς μετασχηματιστές. (Στο δίκτυο του ΟΣΕ τουλάχιστον)
- Οι υποσταθμοί έλξης έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.(περίπου 40 χιλιόμετρα).
- Με το σύστημα ηλεκτροδότησης των 25 kV/50 Hz απαιτείται μικρότερη κατανάλωση χαλκού σε σχέση με τα άλλα συστήματα.
- Το σύστημα αυτό έχει απλά διαγράμματα τροφοδοσίας και τμηματοποίησης της γραμμής.

Το σύστημα ηλεκτροδότησης των 25 kV/50 Hz διαθέτει διακόπτη φορτίου και μετασχηματιστή έντασης 25 kV 800/5/5 και μετασχηματιστή τάσης 25/0,1 kV.

Ο διακόπτης φορτίου είναι εξωτερικού χώρου τοποθετημένος σε μεταλλικό ιστό σε μονοφασικό σύστημα ηλεκτροκίνησης των 25 kV/50 Hz.

Ο μονοπολικός διακόπτης ισχύος χρησιμοποιείται στον υποσταθμό μονοφασικής ισχύος έλξης 150kV / 25kV-50 Hz. Ο διακόπτης ισχύος 25 kV τοποθετείται στην πλευρά 25 kV των μετασχηματιστών ισχύος στον υποσταθμό ενέργειας έλξης, καθώς και στην περιοχή των τροφοδοτών.

Ο μηχανισμός λειτουργίας του έχει κοινή βάση που είναι προσβάσιμη στον χειριστή ή την ομάδα συντήρησης, ενώ το ερμάριο του είναι εξοπλισμένο με αντιστάσεις θέρμανσης ελεγχόμενες από θερμοστάτη για την αποφυγή δημιουργίας συμπυκνωμάτων. Επιπροσθέτως, διαθέτει:

- Ένδειξη θέσης που θα εμφανίζει ευκρινώς την ανοικτή και κλειστή θέση
- Διάταξη μέτρησης εκκινήσεων
- Διακόπτη επιλογής με τρεις θέσεις λειτουργίας
- Δύο κουμπιά για τοπικό άνοιγμα και κλείσιμο

Ο μηχανισμός λειτουργίας του διαθέτει κύκλωμα ελέγχου, κινητήρα, ένδειξη θέσης ανοικτός/κλειστός, ηλεκτρομαγνήτη ελάχιστης τάσης. Σε περίπτωση πτώσης της τάσης λειτουργίας είναι δυνατή η χειροκίνητη λειτουργία αυτού του μηχανισμού με χειροστρόφαλο που αποθηκεύεται ξεχωριστά. Οι καλωδιώσεις του διακόπτη φορτίου αποτελούνται από αγωγούς ελάχιστης διατομής 1,5 mm σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60228, ενώ ολόκληρη η μεταλλική κατασκευή του έχει προστασία εν θερμώ γαλβανισμού. Στην παρακάτω εικόνα 15 παρουσιάζεται ένας διακόπτης φορτίου.



Εικόνα 15: Διακόπτης φορτίου 25 kV

Ο μετασχηματιστής έντασης 25 kV 800/5/5 A είναι εξωτερικού χώρου τοποθετημένος σε ιστό στους υποσταθμούς ισχύος έλξης και χρησιμοποιείται για την μέτρηση και προστασία του εξοπλισμού 25 kV στον ηλεκτρικό υποσταθμό έλξης του συστήματος ηλεκτροκίνησης του μονοφασικού 25 kV/50 Hz.

Το εσωτερικό του μετασχηματιστή είναι εξ ολοκλήρου επενδυμένο με μονωτικό υλικό υψηλής ποιότητας και είναι προστατευμένος έναντι των περιβαλλοντικών συνθηκών ενώ οποιαδήποτε αλλαγή του όγκου του ελαίου λόγω θερμοκρασιακών διακυμάνσεων παραλαμβάνονται από τις κατάλληλες φυσούνες διαστολής που βρίσκονται στον μετασχηματιστή. Επιπροσθέτως έχει εξοπλιστεί με δείκτη αλλαγής του όγκου του ελαίου ορατό από την στάθμη του εδάφους, ενώ ο μετασχηματιστής έντασης εγκαθίσταται σε εξωτερικό χώρο χωρίς κανένα προστατευτικό περίβλημα.

Συνολικά το σύστημα ηλεκτροδότησης των 25 kV/50 Hz, ενώ είναι το δημοφιλέστερο σύστημα ηλεκτροδότησης σιδηροδρομικών δικτύων σε όλη την Ευρώπη, παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Απαιτούνται αυστηρότερα και πιο δαπανηρά μέτρα προστασίας των εγκαταστάσεων της σιδηροδρομικής γραμμής και της εγγύς περιοχής από την περίπτωση του συστήματος συνεχούς ρεύματος, λόγω ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων. Τα σημαντικότερα μέτρα προστασίας λαμβάνονται για τις τηλεπικοινωνιακές γραμμές, τις γραμμές χαμηλής τάσης, τους αγωγούς που διασχίζουν υπογείως τη σιδηροδρομική γραμμή ή είναι παράλληλοι με αυτήν, τις μεταλλικές κατασκευές πλησίον της γραμμής και για τις εγκαταστάσεις σηματοδότησης.
- Οι παραμορφώσεις τάσεων και ρεύματος
- Η επίδραση που έχει το σύστημα ηλεκτροδότησης στο σύστημα του δικτύου
- Οι απώλειες στις γεννήτριες, στις γραμμές και στους μετασχηματιστές

Περιστασιακά τα 25 kV διπλασιάζονται ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερη ισχύ, και να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των υποσταθμών. Αυτές οι γραμμές συνήθως απομονώνονται από τις άλλες γραμμές για να αποφευχθούν επιπλοκές.

2.5 Οι Υποσταθμοί

Για την τροφοδοσία της Εναέριας Γραμμής Επαφής και την λειτουργία του συστήματος της Ηλεκτροκίνησης των Σιδηροδρομικών δικτύων απαιτείται η κατασκευή υποσταθμού για την σύνδεση με το δίκτυο υψηλής τάσης. Η επιλογή της θέσης του Υ/Σ γίνεται ώστε να μπορεί να τροφοδοτεί τμήμα του δικτύου με τάση και ισχύ σύμφωνα με τα πρότυπα και εξασφαλίζοντας σε κάθε περίπτωση την άνετη κίνηση των συρμών

Οι υποσταθμοί που είναι εγκατεστημένοι στο δίκτυο αναλαμβάνουν την σύνδεση του σιδηροδρομικού δικτύου ηλεκτρικής τροφοδότησης με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού, τον μετασχηματισμό του ρεύματος στα 25 kV/50Hz από τα 150 kV/50 Hz και την μεταφορά της τροφοδοσίας στην γραμμή επαφής. Οι υποσταθμοί τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους οι οποίοι είναι περιφραγμένοι για να προφυλάσσουν τον εξοπλισμό της υψηλής τάσης.

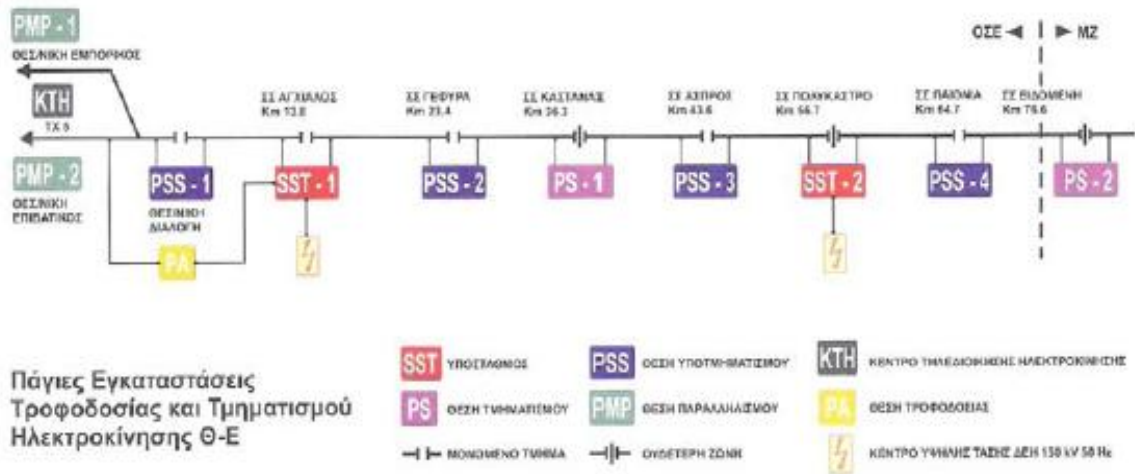
Ο κάθε υποσταθμός διαθέτει 2 μετασχηματιστές λαδιού ισχύος 10 MVA ενώ ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός και ο εξοπλισμός ελέγχου, προστασίας και μέτρησης είναι στεγασμένος σε κτίριο το οποίο έχει κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ο κάθε υποσταθμός είναι εξοπλισμένος με 3 αλεξικέραυνα ύψους 10 μέτρων για την προστασία από κεραυνούς ενώ στην περίπτωση που κάποιος υποσταθμός τεθεί εκτός λειτουργίας τότε υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργήσει με τροφοδοσία από τους παρακείμενους σταθμούς.

Οι υποσταθμοί κατασκευάζονται κατά μήκος όλης της σιδηροδρομικής γραμμής σε διάφορα σημεία τα οποία επιλέγονται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

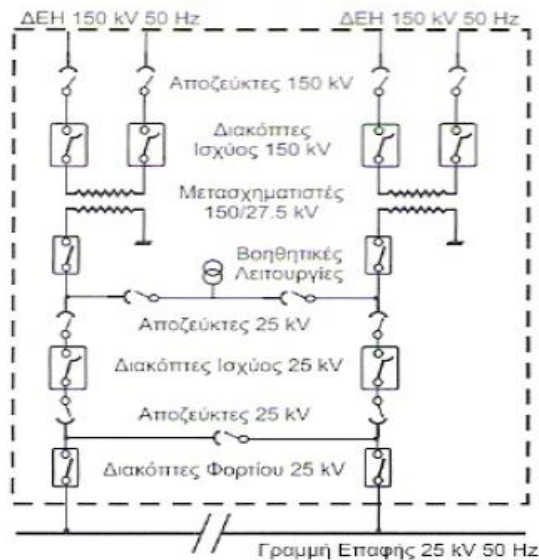
- 1) Η απόσταση σύνδεσης του υποσταθμού με τη γραμμή επαφής και η επιστροφή της πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντινή.
- 2) Τόσο η φόρτιση όσο και η εκφόρτιση των μετασχηματιστών πρέπει να είναι εφικτή και δυνατή από τη σιδηροδρομική γραμμή.
- 3) Η εγκατάσταση σύνδεσης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο οικονομική.
- 4) Πρέπει να είναι μέρος του ‘σιδηροδρομικού περιβάλλοντος’, χωρίς να επηρεάζουν ή να τροποποιούν το φυσικό τοπίο ή να παρεμποδίζουν το οδικό δίκτυο.
- 5) Ταυτόχρονα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη με την κατασκευή του απαραίτητου οδικού δικτύου που θα ενσωματωθεί στο υπάρχον οδικό δίκτυο.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα των υποσταθμών από την Θεσσαλονίκη έως την Ειδομένη.



Εικόνα 16: Σχηματικό διάγραμμα υποσταθμών από την Θεσσαλονίκη έως την Ειδομένη

Το ηλεκτρικό κύκλωμα του υποσταθμού που μετατρέπει το ρεύμα των 150 kV σε 25 kV/50 Hz παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 17.



Εικόνα 17: Ηλεκτρικό κύκλωμα υποσταθμού 25 kV/50 Hz

2.6 Δίκτυα διανομής και τυποποίησης

Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τον σταθμό παραγωγής στο σιδηροδρομικό δίκτυο γίνεται σε υψηλές τάσεις μέσω ενός δικτύου εναέριων καλωδίων και πυλώνων.

Η τάση που διανέμεται στο δίκτυο όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια για την πραγματοποίηση έλξης εντάσεως 25kV, είναι 400 kV, 275 kV ή 132 kV.

Μέσω ενός τριφασικού συστήματος μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός μετασχηματιστή που βρίσκεται στους υποσταθμούς ο οποίος συνδέεται με τις δύο από τις τρεις τάσεις της υψηλής τάσης και οποίος ελαττώνει το μέγεθος της τάσης από τα 400 kV, 275 kV ή 132 kV στα 25 kV.

Πλέον η σιδηροδρομική ηλεκτροδότηση στα 25 kV/50 Hz έχει τυποποιηθεί σε ένα διεθνές πρότυπο το οποίο διαχωρίζεται σε 2 βασικά πρότυπα που ορίζουν τις τάσεις του συστήματος αυτού σε όλο τον κόσμο.

Τα 2 πρότυπα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- BSEN 50163:2004 - «Σιδηροδρομικές εφαρμογές. Τάσεις παροχής των συστημάτων έλξης»
- IEC 60850 - «Σιδηροδρομικές εφαρμογές. Τάσεις παροχής των συστημάτων έλξης»

Το επιτρεπτό εύρος των τάσεων κατά τα ανωτέρω λαμβάνοντας υπόψη και τον αριθμό των αμαξοστοιχιών που χρησιμοποιούν το δίκτυο αλλά και την απόστασή τους από τους υποσταθμούς φαίνονται στον πίνακα 1.

Το σύστημα αυτό είναι μέρος του διευρωπαϊκού προτύπου διαλειτουργικότητας και διασύνδεσης των σιδηροδρόμων της ΕΕ με τίτλο 1996/48/EC "Διαλειτουργικότητα του διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος μεγάλης ταχύτητας" και 2001/16/EC "Διαλειτουργικότητα του διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος".

Σύστημα ηλεκτροδότησης	Χαμηλότερη μη μόνιμη τάση	Χαμηλότερη μόνιμη τάση	Ονομαστική τάση	Υψηλότερη μόνιμη τάση	Υψηλότερη μη μόνιμη τάση
25000 V, AC 50 Hz	17.500 V	19.000 V	25.000 V	27.500 V	29.000 V

Πίνακας 1: Διεθνές πρότυπο τυποποίησης της τάσης

2.7 Τμηματισμός της Γραμμής Επαφής

Με την έννοια τμηματισμός της γραμμής εννοείται ότι ολόκληρο το δίκτυο της σιδηροδρομικής γραμμής χωρίζεται σε τμήματα που ορίζεται από τους 2 διαδοχικούς υποσταθμούς που εξυπηρετείτε έτσι ώστε να είναι εφικτό να διακοπεί η τροφοδοσία για ένα τμήμα του δικτύου για λόγους συντήρησης ή ανωμαλίας.

Για το σύστημα των 25 kV/50 Hz, προβλέπεται σε γενικές γραμμές μια Θέση Τμηματισμού (PS, PostedeSectionement) στο μέσον του τμήματος μεταξύ δυο Υποσταθμών (SST) και από μια Θέση Υποτμηματισμού (PSS, PostedeSous-Sectionement) στο μέσον των τμημάτων εκατέρωθεν της Θέσης Τμήσεως. Έτσι, προκύπτει ο τμηματισμός της μορφής SST-PSS-PS-PSSSST με τα επιμέρους τμήματα να απέχουν μεταξύ τους συνήθως 10 km.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια κάθε σιδηροδρομικού σταθμού καθορίζουν επίσης “τμήμα”, στο οποίο είναι δυνατόν να διακοπεί η τροφοδοσίας είτε με τηλε-εντολή είτε τοπικά από το σταθμάρχη. Στις θέσεις Τμηματισμού και Υποτμηματισμού προβλέπονται φυλάκια δίπλα στη γραμμή, τα οποία περιλαμβάνουν εξοπλισμό απόξευξης και διακοπής τροφοδοσίας – τοποθετημένο υπαίθρια – και τα δευτερεύοντα κυκλώματα χειρισμού, προστασίας και τηλεχειρισμού που στεγάζονται σε κατάλληλη καμπίνα.

Στην εικόνα 16 που παρουσιάστηκε προηγουμένως στην παράγραφο που αναλύθηκαν οι υποσταθμοί φαίνονται και τα τμήματα που έχει διαχωριστεί η σιδηροδρομική γραμμή Θεσσαλονίκης – Ειδομένης με τους χαρακτηριστικούς κωδικούς SST,PSS και PS και τα αντίστοιχα χρώματα.

Κεφάλαιο 3^ο – Λειτουργία και έλεγχος ηλεκτράμαξας

Σε αυτό το κεφάλαιο και στο επόμενο θα αναλυθεί η λειτουργία της ηλεκτράμαξας καθώς και τα ηλεκτρονικά ισχύος της ηλεκτρικής έλξης των ηλεκτραμαξών.

Στις ηλεκτράμαξες που κινούνται στις περισσότερες χώρες χρησιμοποιείται κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

Ένας DC κινητήρας έχει χαμηλή αντίσταση οπλισμού και ένα πεδίο. Εξαιτίας αυτού, όταν εφαρμόζεται τάση σε αυτό το ρεύμα είναι υψηλό (από τον νόμο του Ωμ όπου ρεύμα = τάση/αντίσταση). Το πλεονέκτημα του υψηλού ρεύματος είναι ότι τα μαγνητικά πεδία μέσα στον κινητήρα είναι δυνατά, παράγοντας έτσι υψηλή ροπή που σημαίνει ότι είναι ιδανικό για την εκκίνηση του τρένου. Το μειονέκτημα είναι ότι το ρεύμα που ρέει στον κινητήρα πρέπει να περιορίζεται αλλιώς η τροφοδοσία ανεβαίνει επικίνδυνα

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος λειτουργεί όταν περνάει ρεύμα μέσα από το κύκλωμα του κινητήρα και προκαλείται αντίδραση μεταξύ του ρεύματος στο πεδίο και του ρεύματος του οπλισμού. Η αντίδραση αυτή προκαλεί την περιστρεφόμενη άτρακτο του κινητήρα να γυρίσει ενώ θα πρέπει να σημειωθεί πως το πεδίο και ο οπλισμός είναι συνδεδεμένα σε σειρά..

Ο ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης έχει αποδειχτεί ο δημοφιλέστερος στην ηλεκτροκίνηση επειδή είναι πολύ εύκολος κατασκευής ενώ και ο έλεγχος του είναι αρκετά εύκολος. Βέβαια δεν θα πρέπει να παραλειφθούν και τα μειονεκτήματα του συνεχούς ρεύματος τα οποία είναι η ανάγκη για κατασκευή υποσταθμών σε συχνά διαστήματα και η ανάγκη για δημιουργία υποδομών για την εναέρια τροφοδότηση.

3.1 DC αντίσταση ελέγχου

Όταν ξεκινά να περιστρέφεται ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος η αλληλεπίδραση που προκαλείται μεταξύ των μαγνητικών πεδίων δημιουργεί μια εσωτερική τάση. Η τάση αυτή, έρχεται σε αντίθεση με την εφαρμοσμένη τάση του κινητήρα και το ρεύμα που ρέει ελέγχεται από την διαφορά αυτών των 2 τάσεων.

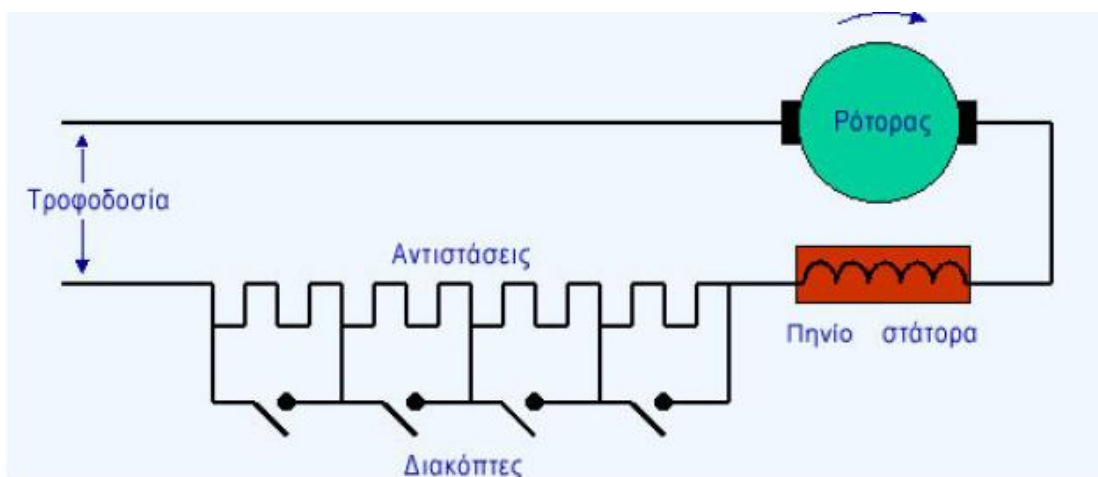
Η εσωτερική τάση αυτή αυξάνεται όταν το τρένο επιταχύνει και η εφαρμοσμένη τάση μειώνεται ακόμα περισσότερο με αποτέλεσμα λιγότερο ρεύμα να αναγκάζεται να διαπεράσει τον κινητήρα με αποτέλεσμα η ροπή να μειώνεται.

Όταν η ταχύτητα της αμαξοστοιχίας έρθει σε ισορροπία με την ροπή που παράγεται από τους κινητήρες, τότε ο κινητήρας παύει να επιταχύνει.

Για να συνεχιστεί η επιτάχυνση του τρένου, οι αντιστάσεις αφαιρούνται σταδιακά, η εφαρμοσμένη τάση τότε αυξάνεται όπως το ρεύμα και η ροπή και αυτό διαρκεί λίγο χρόνο ώστε και ο κινητήρας να μπορεί να τους ακολουθήσει.

Στο κύκλωμα του κινητήρα εφαρμόστηκε ένας ρελέ επιτάχυνσης ο οποίος παρακολουθεί την πτώση του ρεύματος κάθε φορά που η αντίσταση αυξανόταν ή μειωνόταν.

Το μόνο που χρειαζόταν να κάνει ο οδηγός ήταν να επιλέξει μεταξύ τριών ταχυτήτων, χαμηλή, μέση ή υψηλή και η συσκευή έκανε τα υπόλοιπα. Στην εικόνα 18 παρουσιάζεται η διάταξη του κυκλώματος ελέγχου του κινητήρα.



Εικόνα 18: Διάταξη κυκλώματος ελέγχου.

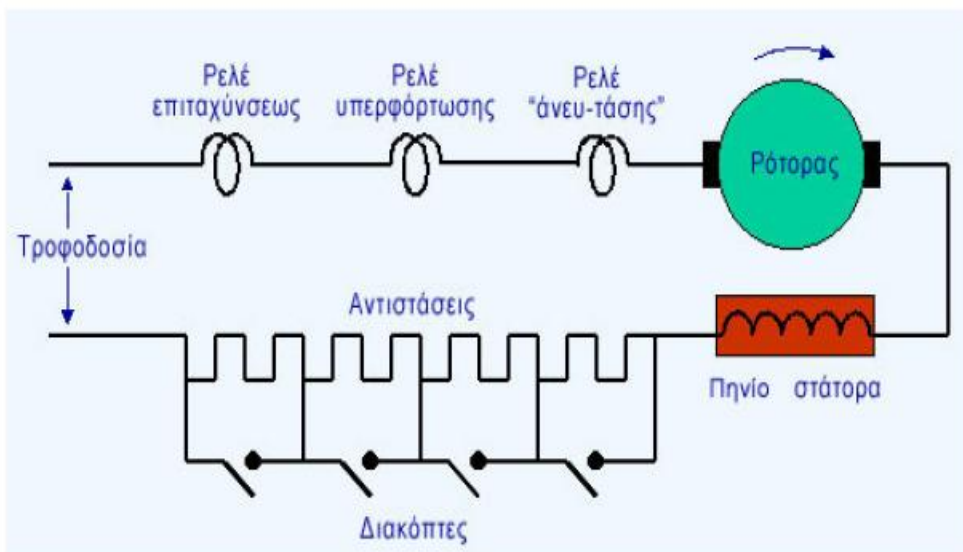
Για την προστασία του κινητήρα υπάρχουν και άλλα ρελέ καθώς οι γρήγορες αλλαγές του ρεύματος μπορεί να καταστρέψουν τον κινητήρα. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητα τα συστήματα ελέγχου και προστασίας του κινητήρα. Τα ρελέ αυτά ονομάζονται ρελέ υπερφόρτωσης προκειμένου να ελέγχουν και να εντοπίζουν τυχόν υπερφόρτωση του ρεύματος στον κινητήρα και στο κύκλωμα. Το ρελέ

υπερφόρτωσης παρεμβαίνει προκειμένου να απενεργοποιηθεί η τροφοδοσία και να προφυλαχτεί η καταστροφή του κινητήρα.

Στην συνέχεια ο οδηγός της ηλεκτράμαξας μπορεί να απελευθερώσει τον ρελέ και να αποκατασταθεί η τροφοδοσία του κινητήρα. Στις σύγχρονες ηλεκτράμαξες αυτό συμβαίνει πλέον αυτόματα.

Μια ακόμα προστατευτική διάταξη της αντίστασης ελέγχου είναι το ρελέ της «άνευ-τάσης» το οποίο εντοπίζει την οποιαδήποτε απώλεια ενέργειας στον κινητήρα συνεχούς τάσης και διασφαλίζει την αποκατάσταση του ελέγχου όταν τροφοδοτείται ξανά το τρένο. Αυτή η διάταξη διασφαλίζει ώστε να μην εφαρμοστεί μεγάλη ενέργεια σε περίπτωση που χαθεί η τροφοδοσία και ο κινητήρας επιβραδύνει.

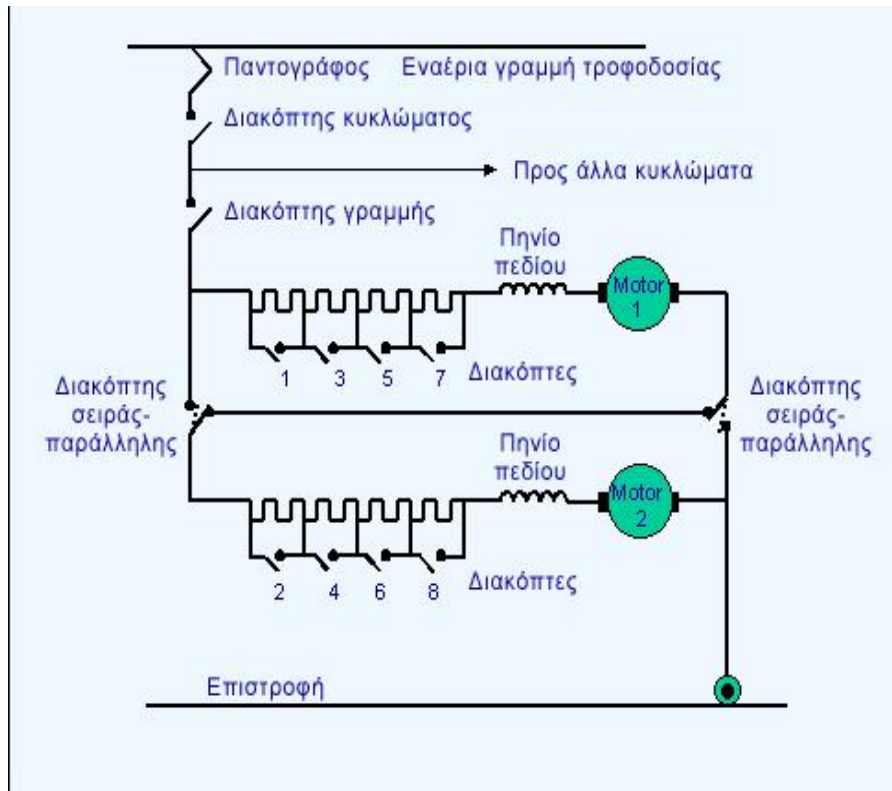
Στην εικόνα 19 παρουσιάζονται τα ρελέ προστασίας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 19: Ρελέ προστασίας του κινητήρα

Στην εικόνα 20 παρουσιάζεται ένα απλό κύκλωμα ελέγχου του κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Τα περισσότερα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος φτάνουν να ελέγχουν από δύο έως τέσσερις κινητήρες. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό με την ονομασία «ελέγχου σειράς – παράλληλης». Σημειώνεται πως υπάρχουν τρία στάδια, σειράς, μετάβασης και παράλληλης τα οποία λειτουργούν με αυτή την σειρά. Καθώς το

τρένο επιταχύνει αλλάζει και η σειρά των συνδέσεων. Όταν ξεκινάει το τρένο οι κινητήρες είναι σε σειρά μεταξύ τους και με όλη την αντίσταση εν ισχύ. Η αντίσταση αυτή μειώνεται καθώς το τρένο επιταχύνει σε πλήρη σειρά και στο τέλος της επιτάχυνσης μηδενίζεται η αντίσταση.



Εικόνα 20: Διάταξη κυκλώματος ελέγχου σειράς-παράλληλης συνδεσμολογίας

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος είναι ανοικτός σε μετατροπές προκειμένου να λειτουργεί γρηγορότερα από την βασική ταχύτητα ισορροπίας. Αυτό συμβαίνει όταν το κύκλωμα βρίσκεται σε παράλληλη σύνδεση και δεν περιλαμβάνει μέσα καμία αντίσταση. Μέσα στον κινητήρα τότε παρέχεται ένα επιπλέον κύκλωμα, το οποίο προσθέτει μια αντίσταση σε παράλληλη σύνδεση με το πεδίο.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον εξαναγκασμό του οπλισμού να επιταχύνει και να αποκαταστήσει την ισορροπία μεταξύ του μαγνητικού πεδίου και του πεδίου που παράγεται στα πηνία με φυσικό επακόλουθο την επιτάχυνση του τρένου.

3.2 Πέδηση επιστροφής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος στις αμαξοστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως γεννήτριες που παράγουν ισχύ για την πέδηση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την απώλεια ενέργειας καθώς με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται αρκετή ενέργεια καθώς το μοτέρ του κινητήρα συνεχούς ρεύματος μπορεί να λειτουργήσει και ως γεννήτρια συνεχούς ρεύματος.

Αυτή η ιδέα στηρίχθηκε στο ότι αφού η ενέργεια μπορεί να επιστρέψει στην πηγή της, και τα τρένα θα μπορούσαν να το κάνουν. Οι αμαξοστοιχίες λοιπόν που σχεδιάστηκαν με αυτή τη λειτουργία, που θα μπορούσαν δηλαδή να επιστρέψουν ηλεκτρικό ρεύμα, παρήγαγαν ενέργεια την οποία επέστρεφαν στα καλώδια τροφοδοσίας και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από άλλα τρένα.

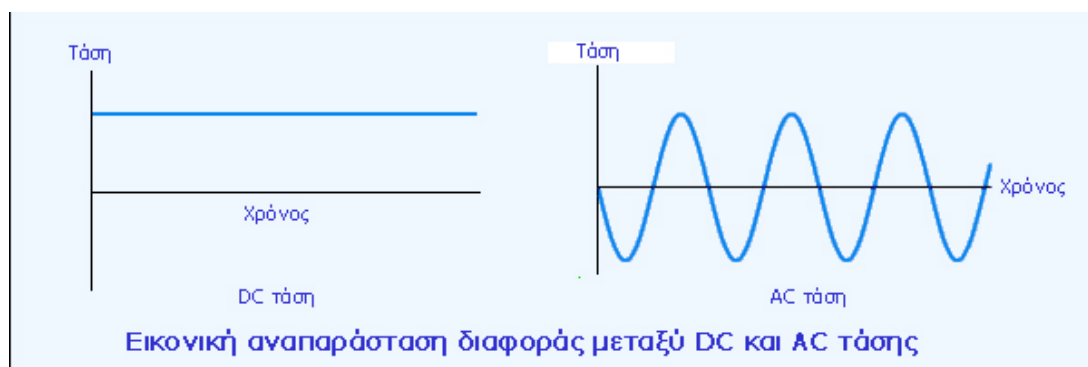
Το σοβαρό πρόβλημα με την πέδηση επιστροφής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι η γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι πάντα σε θέση να δεχθεί το ρεύμα που επιστρέφεται. Κάποιοι σιδηρόδρομοι εγκατέστησαν υποσταθμούς με γιγαντιαίες αντιστάσεις για την απορρόφηση της ενέργειας που δεν χρησιμοποιούσαν τα τρένα αλλά αυτό κατέληξε να είναι ένα πολύπλοκο σύστημα και μια μη αξιόπιστη λύση. Αφού λοιπόν το κάθε τρένο είχε ήδη εγκατεστημένες αντιστάσεις το πιο λογικό θα ήταν να απέθετε εκεί την ενέργεια. Η λύση σε αυτό ονομάζεται ρεοστατική πέδηση. Όταν ο οδηγός πατάει το φρένο, το κύκλωμα τροφοδοσίας κινητήρων αλλάζει από την λειτουργία ενέργειας στη λειτουργία φρένου και αντιστάτες προστίθενται στο κύκλωμα του κινητήρα. Καθώς ο κινητήρας παράγει ενέργεια αυτή περνάει στις αντιστάσεις και το τρένο ελαττώνει ταχύτητα. Αυτό το σύστημα φρένου μπορεί να φτάσει την ταχύτητα μέχρι τα 20 μίλια/ώρα όπου εκεί παίρνουν θέση τα φρένα τριβής.

Κεφάλαιο 4ο – Ηλεκτρονικά ισχύος ηλεκτράμαξας

4.1 AC/DC τροφοδοσία

Για να γίνουν πιο κατανοητές οι αρχές των σύγχρονων συστημάτων έλεγχου έλξης, θα πρέπει να εξετάσουμε κάποιες βασικές έννοιες του εναλλασσομένου και συνεχούς ρεύματος. Το DC είναι το συνεχές ρεύμα και η ροή του είναι μόνο προς μια κατεύθυνση ενώ το AC, δηλαδή το εναλλασσόμενο ρεύμα, μπορεί να κινείται και στις δυο κατευθύνσεις. Αυτό βέβαια γίνεται στιγμιαία. Ο αριθμός που αντιστοιχεί στον αριθμό των αλλαγών κατεύθυνσης του εναλλασσομένου ρεύματος ονομάζεται συχνότητα και μετριέται σε Hertz (Hz).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι διαφορές που έχουν το συνεχές με το εναλλασσόμενο ρεύμα.



Εικόνα 21: Διαφορές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος

Όλα τα ηλεκτρικά κυκλώματα μπορούν να θεωρηθούν ως μια πηγή ενέργειας αλλά και αντίστασης ταυτόχρονα. Το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα κύκλωμα εξαρτάται από το δυναμικό της πηγής και το μέγεθος της αντίστασης ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς ισούται με την τάση της επί το ηλεκτρικό ρεύμα. Στην ηλεκτροκίνηση η ενέργεια

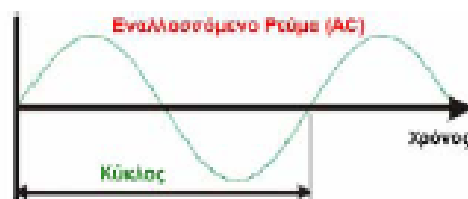
χρησιμοποιείται για την κίνηση της μάζας και του φορτίου της αμαξοστοιχίας. Η ηλεκτρική πηγή ενέργειας μπορεί να ανήκει μόνο σε 2 τύπους:

- Συνεχούς ρεύματος (DC) ή
- Εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

Για να γίνει πιο κατανοητό, η ηλεκτρική τάση συνεχούς ρεύματος είναι εκείνη που διατηρεί τη πολικότητα της όπως κάνει μια απλή μπαταρία. Αντιθέτως η ηλεκτρική τάση εναλλασσόμενου ρεύματος εναλλάσσει την πολικότητα όπως συμβαίνει και στην οικιακή παροχή των 220 V.

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα εισάγεται μια καινούρια παράμετρος όπως προαναφέρθηκε, αυτής της συχνότητας που αποτελεί το μέτρο του αριθμού των κύκλων ανά δευτερόλεπτο και μετριέται σε Hz.

Στην παρακάτω εικόνα 21 παρουσιάζεται το τυπικό κύμα του εναλλασσόμενου ρεύματος.



Εικόνα 22: Τυπικό κύμα εναλλασσόμενου ρεύματος

4.1.1 Τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος

Στην τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος, όπως έχει προαναφερθεί οι συνηθέστερες τάσεις που επικρατούν (στην τροφοδοσία με εναέριο καλώδιο) είναι τα 1500 και τα 3000 V. Στα συστήματα τροφοδοσίας με τρίτη ράγα χρησιμοποιείται τάση της τάξης των 600-750 V.

Τα μειονεκτήματα της τροφοδοσίας με συνεχές ρεύμα είναι ότι απαιτούνται αρκετά πολύπλοκα και δαπανηρά έργα υποδομής όπως είναι οι υποσταθμοί και τα συστήματα εναέριας τροφοδοσίας.

4.1.2 Τροφοδοσία με εναλλασσόμενο ρεύμα

Το κυριότερο πλεονέκτημα του εναλλασσόμενου ρεύματος στην τροφοδοσία των εναέριων καλωδίων τροφοδοσίας είναι οι υψηλές τάσεις που αυτό έχει (10000 V ή και μεγαλύτερες) με αποτέλεσμα να μην απαιτούνται τόσο πολλοί υποσταθμοί. Παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελαφρύτερο καλώδιο τροφοδοσίας και άρα μειώνεται το κόστος της κατασκευής της υποδομής της ηλεκτροκίνησης.

Τα πρώτα χρόνια εφαρμογής της ηλεκτροκίνησης με εναλλασσόμενο ρεύμα οι διαθέσιμοι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος δεν ήταν κατάλληλοι για την λειτουργία με το εναλλασσόμενο ρεύμα της συχνότητας των 50 Hz. Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούσαν χαμηλότερες συχνότητες (16 Hz στην Ευρώπη) με συνέπεια να απαιτούνται ειδικά σιδηροδρομικά συστήματα ηλεκτρικής τροφοδοσίας ικανά να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα στην απαιτούμενη συχνότητα, ή εξοπλισμό μετατροπής της συχνότητας, από την διαθέσιμη βιομηχανική στην απαιτούμενη σιδηροδρομική συχνότητα.

Σήμερα τα ηλεκτρικά ισχύος των ηλεκτραμαξών έχουν λύσει τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν τα κυριότερα ηλεκτρικά ισχύος όπως οι δίοδοι, τα θυρίστορ και θα αναλυθεί η λειτουργία των ηλεκτράμαξων σε AC λειτουργία.

4.2 Η δίοδος

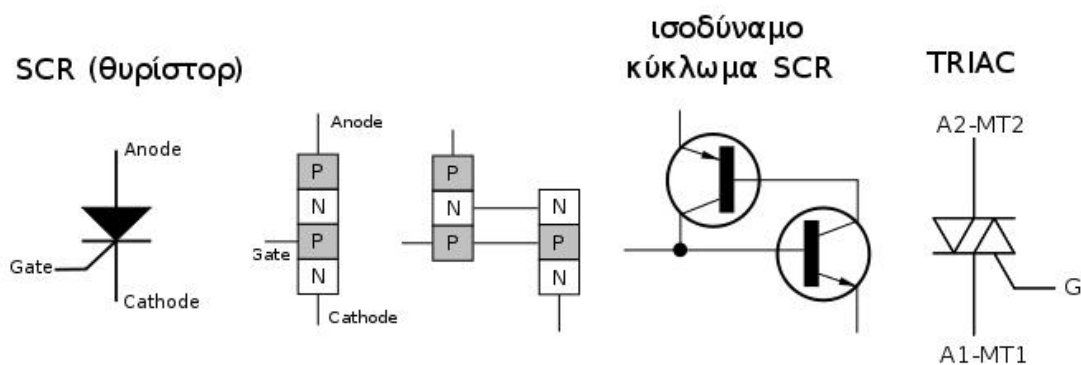
Η δίοδος είναι μια συσκευή η οποία επιτρέπει την ροή του ρεύματος μέσα από αυτή προς μια μόνο κατεύθυνση και είναι γνωστή και ως ημιαγωγός.

Η δίοδος μπλοκάρει το ρεύμα το οποίο προσπαθεί να περάσει προς την αντίθετη κατεύθυνση ενώ εάν τοποθετηθούν τέσσερις δίοδοι σε μια γέφυρα μπορεί να μετατρέψουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ή να ανορθώσει το ρεύμα. Η γέφυρα αυτή ονομάζεται ανορθωτής γέφυρας και έγιναν δημοφιλείς στους

σιδηροδρόμους επειδή αντιπροσωπεύουν την επιλογή της χαμηλής συντήρησης. Για πρώτη φορά οι διόδους εμφανίστηκαν στα τέλη του 1960 όταν οι ανορθωτές με διόδους εμφανίστηκαν για πρώτη φορά σε ηλεκτράμαξες των 25 kV/AC.

4.3 Το thyristor

Το θυρίστορ είναι η εξέλιξη των διόδων καθώς και λειτουργεί σαν διάδος και επιτρέπει την ροή του ρεύματος προς μια μόνο κατεύθυνση αλλά μπορεί να επιτρέψει και την ροή του ρεύματος προς την αντίθετη κατεύθυνση όταν η πύλη είναι ανοιχτή. Αυτή η λειτουργία, είναι απλό να επιτευχθεί σε μια μηχανή έλξης εναλλασσόμενου ρεύματος καθώς το ρεύμα αλλάζει κατεύθυνση κατά την διάρκεια του κάθε κύκλου. Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη οδήγησε στην παραγωγή ελεγχόμενων ανορθωτών καταργώντας τους έως τότε μηχανισμούς.



Εικόνα 23: Το θυρίστορ

Το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων (p-n-p-n), το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν συνδυασμός δύο τρανζίστορ. Όταν στην πύλη (Gate) του θυρίστορ δεν υπάρχει παλμός έναυσης, ανεξάρτητα αν είναι θετικά πολωμένο, τότε δεν υπάρχει ροή ρεύματος μέσω του θυρίστορ.

Για να μεταβεί το θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής, πρέπει στην πύλη του να δοθεί παλμός έναυσης, με την προϋπόθεση ότι το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο. Ένα τέτοιο στοιχείο όταν βρεθεί στην κατάσταση αγωγής, μετά την εφαρμογή του παλμού έναυσης, θα εξακολουθεί να παραμένει στην κατάσταση αυτή, ακόμα και αν ο παλμός έναυσης αφαιρεθεί. Μπορεί να διακοπεί η κατάσταση αγωγής μόνο όταν

το ρεύμα, το οποίο ρέει μέσα στο thyristor μηδενισθεί ή η πολικότητα της ανόδου γίνει αρνητική σε σχέση με την κάθοδο.

Ο Κωστάκης σημειώνει πως στην ουσία το thyristor είναι ένας διακόπτης ταχύτατης λειτουργίας μεγάλης ισχύος με τον οποίο οι περίοδοι on και off κάθε κύκλου μπορεί να μεταβάλλεται κλασματικά. Η εξέλιξη αυτή βοήθησε στην ομαλή διαβαθμισμένη εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης στους κινητήρες έλξης. Παράλληλα σημειώνεται πως ο έλεγχος μέσω των thyristor μείωσε και την κατανάλωση ρεύματος.

4.4 Sepex

Η εξέλιξη των thyristor που παρουσιάστηκαν προηγουμένως είναι η σύνδεση SEPEX. Σύμφωνα και με τον Μίχαλο(2010) όταν ο οπλισμός και τα πεδία δεν είναι συνδεδεμένα σε σειρά και συνδέονται ξεχωριστά και άρα διεγείρονται ξεχωριστά τότε η σύνδεση αυτή αποκαλείται SEPEX.

Στα πιο σύγχρονα συστήματα ελέγχου thyristor, οι κινητήρες συνδέονται ξεχωριστά σε σχέση με την παλιά πρότυπη ρύθμιση DC. Ο οπλισμός και τα πεδία δεν είναι συνδεδεμένα σε σειρά, συνδέονται ξεχωριστά άρα διεγείρονται και ξεχωριστά, με ένα τρόπο που αποκαλείται SEPEX. Κάθε πεδίο έχει το δικό του thyristor, το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των επιμέρους πεδίων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Δεδομένου ότι οι κινητήρες διεγείρονται ξεχωριστά, η ακολουθία επιτάχυνσης πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, ο οπλισμός τροφοδοτείται από το ρεύμα των thyristor του μέχρι να φθάσει την πλήρη τάση. Αυτό θα μπορούσε να δώσει περίπου το 25% της πλήρους ταχύτητας της αμαξοστοιχίας. Στο δεύτερο στάδιο, οι thyristor του πεδίου που χρησιμοποιούνται για να αποδυναμώσουν το ρεύμα του πεδίου, εξαναγκάζοντας έτσι τον κινητήρα να επιταχύνει ώστε να αντισταθμίσει. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως εξασθένιση τομέα και έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε προ-ηλεκτρονικές εφαρμογές.

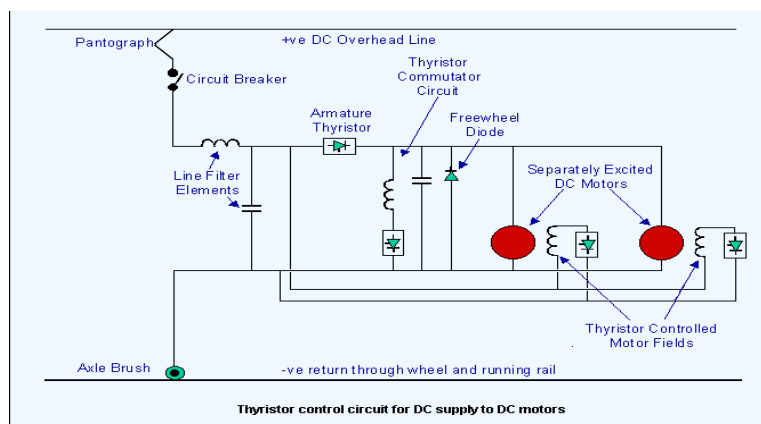
Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του SEPEX είναι ότι η ολίσθηση των τροχών μπορεί να ανιχνευθεί και να διορθωθεί γρήγορα, αντί για την παραδοσιακή μέθοδο όπου ο τροχός γλιστρούσε μέχρι να το συνειδητοποιήσει ο μηχανοδηγός και να διακόψει το ρεύμα από το ρελέ του ρεύματος και να το επανεκκινήσει.

4.5 DCchoppers

Ο έλεγχος των αντιστάσεων των κινητήρων συνεχούς ρεύματος έχει το μειονέκτημα της απώλειας ρεύματος καθώς αυτό προέρχεται από την εναέρια γραμμή και όταν εφαρμόζεται ολόκληρη η τάση, τότε μόνο ένα μέρος αυτού χρησιμοποιείται για να επιταχύνει το τρένο. Το υπόλοιπο ρεύμα καταναλώνεται στις αντιστάσεις.

Όπως προαναφέρθηκε, τα θυρίστορ μπορούσαν και έλεγχαν αυτό το πρόβλημα όταν υπήρχε εναλλασσόμενο ρεύμα, οι περισσότεροι κατασκευαστές ξεκίνησαν να ψάχνουν το πώς θα μπορούσαν να εφαρμοστούν τα θυρίστορ και στο συνεχές ρεύμα. Το κυριότερο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν το πως θα έκλεινε το θυρίστορ όταν αυτό είχε διεγερθεί, με άλλα λόγια, πως θα μπορούσε να αλλάξει την κατεύθυνση της τάσης και να λειτουργεί σε ένα ουσιαστικά μονόδρομο κύκλωμα DC. Η λύση στο πρόβλημα αυτό και ήταν η προσθήκη ενός συντονισμένου κυκλώματος που χρησιμοποιεί ένα πηνίο και έναν πυκνωτή τα οποία αναγκάζουν το ρεύμα να κατευθύνεται στην αντίθετη κατεύθυνση από την φυσιολογική του. Αυτό έχει σαν φυσικό επακόλουθο την εναλλαγή του θυρίστορ. Ένα τέτοιο κύκλωμα παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα (εικόνα 23).

Δύο ακόμα χαρακτηριστικά του κυκλώματος είναι το φίλτρο γραμμής και η δίοδος ελεύθερου τροχού. Η δίοδος ελεύθερου τροχού, κρατάει το ρεύμα έτσι ώστε αυτό να κυκλοφορεί μέσα στον DC κινητήρα ενώ το θυρίστορ είναι κλειστό. Με αυτό τον τρόπο ο κινητήρας χρησιμοποιεί την επαγωγή του δικού του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Εάν δεν υπήρχε η δίοδος ελεύθερου τροχού, το ρεύμα που χρησιμοποιείται για τον κινητήρα, θα τον έκανε πιο αργό.



Εικόνα 24: Κύκλωμα DCChopper με πηνίο και πυκνωτή

Το φίλτρο γραμμής χρησιμοποιεί ένα πηνίο και έναν πυκνωτή και χρησιμοποιείται για την αποφυγή παρεμβολών από το κύκλωμα ισχύος του τρένου στο σύστημα τροφοδοσίας. Συμπερασματικά, το DCchopper στις DC εφαρμογές έλξης ελέγχει το ρεύμα που εφαρμόζεται στον κινητήρα “κόβοντας” το σε μικρά κομμάτια στην αρχή για την διαδικασία επιτάχυνσης, και διευρύνοντας τα σταδιακά όσο αυξάνεται η ταχύτητα.

4.6 Δυναμική πέδηση

Τα συστήματα θυρίστορ που παρουσιάστηκαν στις 2 προηγούμενες παραγράφους προσφέρουν στις αμαξοστοιχίες την δυναμική πέδηση μέσω της οποίας οι κινητήρες μετατρέπονται σε γεννήτριες και τροφοδοτούν το πλεονάζον ρεύμα σε μια αντίσταση ή το επιστρέφουν στο δίκτυο τροφοδοσίας. Καθώς οι κινητήρες επιβραδύνουν τα θυρίστορ επιτρέπουν τον έλεγχο ροής του ρεύματος μέσω του σχεδιασμού του κυκλώματος. Ο χειρισμός αυτός πραγματοποιείται από τον οδηγό. Η ανίχνευση του δικτύου εάν αυτό είναι σε θέση να δεχτεί τάση πραγματοποιείται μέσω της επιλογής της δυναμικής ή της ρεοστατικής πέδησης, που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και αυτό αποτελεί ακόμα ένα πλεονέκτημα των θυρίστορ. Με αυτό τον τρόπο, η τάση που δημιουργείται περνάει κατευθείαν στο φίλτρο σύνδεσης με το δίκτυο και όταν αυτό φτάσει σε κάποια ανώτερη τιμή τότε αυτό ενεργοποιείται και στέλνει το ρεύμα στην αντίσταση.

4.7 AC κινητήρες και AC έλεγχος λειτουργίας

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε 2 τύπων κινητήρες, τους σύγχρονους και τους ασύγχρονους κινητήρες. Στον σύγχρονο κινητήρα η τροφοδοσία πραγματοποιείται στο τύλιγμα του στάτη με τριφασικό ρεύμα, δημιουργώντας ένα διπολικό μαγνητικό πεδίο που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα. Το τύλιγμα της διέγερσης στον σύγχρονο κινητήρα εγκαθίσταται στον δρομέα το οποίο τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα διπολικό μαγνητικό πεδίο το οποίο περιστρέφεται λόγω και της περιστροφής του δρομέα.

Οι περιστρεφόμενοι πόλοι του μαγνητικού πεδίου του στάτη και οι ετερόνυμοι πόλοι του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του δρομέα, έλκονται και έτσι με αυτό τον τρόπο ο δρομέας παρασύρεται και κινείται με την ταχύτητα του στρεφόμενου πεδίου του στάτη. Ο σύγχρονος κινητήρας χρησιμοποιείται στην Γαλλία στο περίφημο τρένο υψηλών ταχυτήτων, το TGV.

Αυτό χρησιμοποιεί μια τροφοδοσία 25kVAC, το οποίο μετατρέπεται σε DC και μετά μέσω inverter μετατρέπεται πάλι σε AC ώστε να τροφοδοτήσει τον κινητήρα.

Το πλεονέκτημα για το σύγχρονο κινητήρα στην παρούσα εφαρμογή είναι ότι ο κινητήρας παράγει τις αντίστροφες τάσεις που απαιτούνται ώστε να κλείσουν τα θυρίστορ. Αυτή η χρήση ήταν μια καλή λύση αλλά ξεπεράστηκε από τον άλλο τύπο κινητήρα, τον ασύγχρονο ο οποίος θα παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο.

4.8 Ο ασύγχρονος κινητήρας

Ο ασύγχρονος κινητήρας ο οποίος ονομάζεται και επαγωγικός κινητήρας είναι ένας κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος που περιλαμβάνει έναν δρομέα και έναν στάτη όπως και ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με την διαφορά ότι δεν χρειάζεται διέγερση ο οπλισμός του κινητήρα. Ο δρομέας περιστρέφεται εξαιτίας της ροής του ρεύματος αλλά χρειάζεται να υπάρχει μια τριφασική πηγή καθώς διαθέτει τριφασικό τύλιγμα όπου το κάθε ρεύμα ξεκινά και από διαφορετικό σημείο στο ένα τρίτο του κύκλου της περιόδου.

Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του τριφασικού σχεδιασμού του είναι ότι ο κινητήρας αυτός δεν έχει ψήκτρες επειδή δεν υπάρχει ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ του πυρήνα και το πεδίο, επιπροσθέτως ο πυρήνας είναι κατασκευασμένος από λεπτά ελάσματα χάλυβα αντί του μεγάλου αριθμού περιελίξεων που υπάρχουν σε άλλους κινητήρες και αυτά τα πλεονεκτήματα τον καθιστούν φθηνότερο στην κατασκευή σε σχέση με τους άλλους κινητήρες.

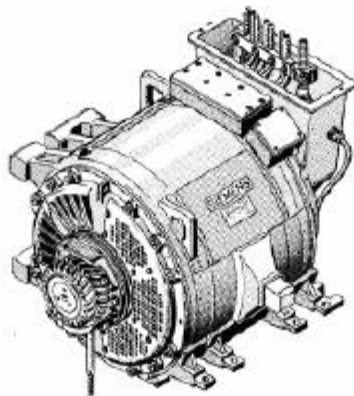
Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας που παρουσιάζεται στην εικόνα 25 χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα στους πεντάδυμους συρμούς DESIRO και έχει έναν βραχυκυκλωμένο δρομέα ο οποίος είναι κατάλληλος για λειτουργία στους μεταλλάκτες εύρους παλμών IGBT και είναι ανθεκτικός στην καταπόνηση που προκύπτει από τη χρήση του σε σιδηροδρομικό όχημα.

Ο κινητήρας προσφέρει σύγχρονη τεχνολογία, κατασκευή με περιορισμένες ανάγκες συντήρησης, απλό και ανθεκτικό σύστημα ψύξης και μειωμένες απώλειες θερμότητας. Τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 2.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ασύγχρονου κινητήρα στον μετατροπέα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ισχύς	1403 kW
Τάση	1871 V
Ρεύματα	521 A
Συχνότητα	50 Hz
Αριθμός στροφών	1500/min
Συντελεστής ισχύος cosφ	0,863
Συνδεσμολογία	Y

Πίνακας 2: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ασύγχρονου κινητήρα



Εικόνα 25: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας

4.9 ToGTOthyristor

Το θυρίστορ το οποίο παρουσιάστηκε σε προηγούμενες παραγράφους εξελίχθηκε πάρα πολύ στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η εξέλιξη αυτή του έδωσε την δυνατότητα να απενεργοποιείται από ένα κύκλωμα ελέγχου και να ενεργοποιείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Αυτό έφερε μια μικρή «επανάσταση» στην ηλεκτροκίνηση καθώς καταργήθηκε το κύκλωμα των θυρίστορ για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Το GTO θυρίστορ ανοίγει και κλείνει εικονικά και κατά βούληση και μόνο ένα θυρίστορ χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Αυτή ήταν και η κορύφωση των συστημάτων συνεχούς ρεύματος καθώς από εκεί και μετά οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος άρχισαν να επικρατούν στην ηλεκτρική έλξη.

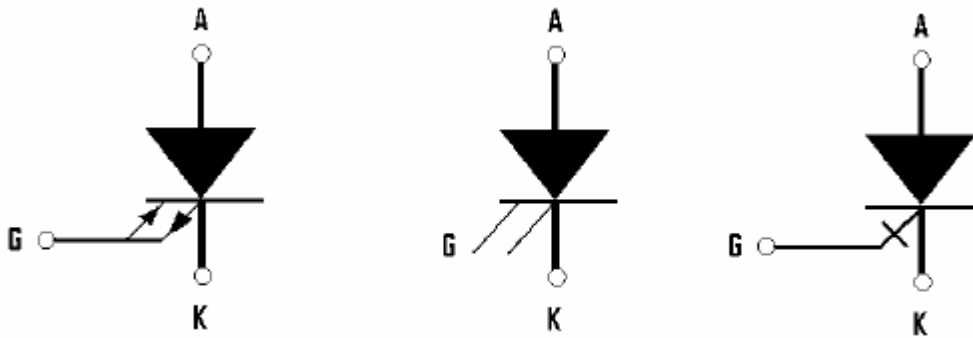
Τα ημιαγωγικά στοιχεία GTO (GateTurnOff) θυρίστορ (εικόνα 27), είναι ένα είδος θυρίστορ του οποίου η σβέση ή η αποκοπή επιτυγχάνεται μέσω της πύλης του. Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά ισχύος και ταχύτητας των GTO αποτελούν ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ αυτών των θυρίστορ και αυτών των τρανζίστορ. Οι εφαρμογές ισχύος μεταξύ 3 και 10 MW αποτελούν το πεδίο χρήσης του GTO ως ημιαγωγικού διακόπτη. Η διακοπτική του ταχύτητα φθάνει έως τα 10KHz.

Το GTO μεταβαίνει σε κατάσταση αγωγής όταν μια θετική τάση εφαρμοστεί μεταξύ πύλης και καθόδου δημιουργώντας έτσι ένα θετικό ρεύμα έναυσης στην πύλη του. Το GTO μεταβαίνει από την κατάσταση αγωγής στην κατάσταση αποκοπής με την εφαρμογή μιας αρνητικής τάσης μεταξύ της πύλης και της καθόδου του. Τονίζεται ότι το αρνητικό ρεύμα που δημιουργείται στην πύλη του λόγω της εφαρμογής της αρνητικής τάσης είναι αυτό που δίνει την εντολή της σβέσης του.



Εικόνα 26: Το GTO θυρίστορ

Τυπικές εφαρμογές τους είναι οι μετατροπείς DC-DC, οι μεταλλάκτες (αντιστροφείς) και οι ανορθωτές. Χρησιμοποιούνται επίσης στον έλεγχο ταχύτητας περιστροφής ηλεκτρικών μηχανών, UPS, αντιστάθμιση αέργου ισχύος και επαγωγική θέρμανση.



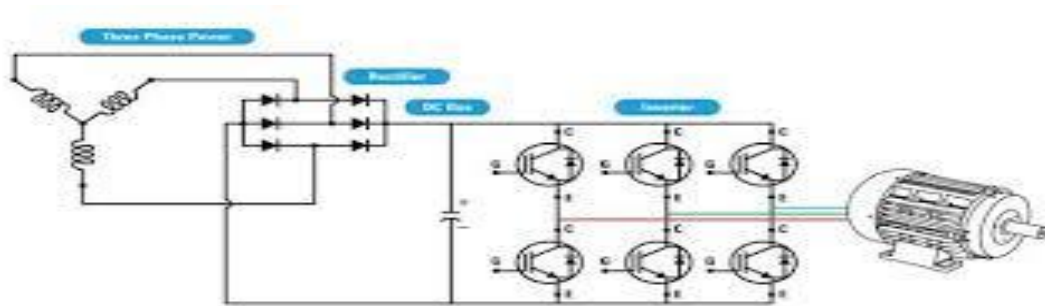
Εικόνα 27: Σχηματική αναπαράσταση του GTO θυρίστορ

4.10 IGBT

Τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν πλέον επικρατήσει σε παγκόσμιο επίπεδο, σαν το πιο σύγχρονο σύστημα έλξης στους σιδηροδρόμους που υπάρχει. Για αυτό τον λόγο οι μηχανικοί των ηλεκτρονικών ισχύος ανέπτυξαν μια συσκευή που ονομάζεται InsulatedGateBipolarTransistor (IGBT) τα οποία είναι διπολικά τρανζίστορ μονωμένης πύλης. Τα τρανζίστορ θεωρούνταν και ήταν ο πρόδρομος της σύγχρονης ηλεκτρονικής και μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν σαν θυρίστορ, με την διαφορά ότι δεν χρειάζονται τα υψηλά ρεύματα που έχουν ανάγκη τα θυρίστορ για να απενεργοποιηθούν. Μέχρι πολύ πρόσφατα όμως, μπορούσαν να διαχειριστούν ρεύματα μόλις εκατοντάδων αμπερ. Η μορφή του IGBT μπορεί να διαχειριστεί ρεύμα χιλιάδων αμπερ και έχουν εφαρμοστεί σε συστήματα έλξης. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 μια έκδοση των IGBT χρησιμοποιήθηκε στα συστήματα έλξης η οποία μπορούσε να διαχειριστεί μερικές εκατοντάδες αμπερ, αντί των θυρίστορ. Πλέον χρησιμοποιούνται IGBT διαχείρισης πολλών χιλιάδων αμπερ με το κυριότερο πλεονέκτημα τους να αποτελεί ότι μπορούν να αλλάξουν ή να διακοπουν πολύ πιο γρήγορα από ότι στο παρελθόν.

Τα IGBT συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά ενός τρανζίστορ ισχύος με τα χαρακτηριστικά ενός MOSFET. Η λειτουργία του IGBT στηρίζεται στην αγωγή του με την εφαρμογή θετικής τάσης στην πύλη, ενώ με την αφαίρεσή της συμβαίνει σβέση. Η συχνότητα λειτουργίας ενός τυπικού IGBT είναι μέχρι περίπου 50 kHz .

Τα περισσότερα IGBT έχουν ενσωματωμένη μια αντι-παράλληλη δίοδο η οποία ονομάζεται δίοδος διέλευσης και δίνει την δυνατότητα στον ημιαγωγικό διακόπτη να έχει μια αμφίπλευρη ροή ρεύματος. Στα συστήματα εναλλασσόμενης έλξης, τα IGBT χρησιμοποιούνται σαν διακόπτες. Όταν τα IGBT βρίσκονται σε κατάσταση αποκοπής θεωρούνται σαν ανοικτοί διακόπτες και όταν βρίσκονται σε κατάσταση αγωγής θεωρούνται ως κλειστοί διακόπτες.



Εικόνα 28: Σχηματικό διάγραμμα των IGBT

Η ιδιότητα των IGBT να λειτουργούν σαν διακόπτες μειώνει το ρεύμα που καταναλώνεται στα συστήματα έλξης εναλλασσόμενου ρεύματος και παράγεται θερμότητα. Αυτό έχει σαν συνέπεια την κατασκευή μικρότερων και ελαφρύτερων μονάδων. Η πολύ γρήγορη μετάβαση από τον κύκλωμα του ανοικτού διακόπτη στο κύκλωμα του κλειστού διακόπτη μειώνει επίσης το συγκρότημα αλλαγής των ταχυτήτων με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται πιο ομαλή επιτάχυνση και να μειώνεται και ο ήχος της επιτάχυνσης ενώ εξαιτίας των IGBT εξαφανίστηκαν οι μηχανισμοί αλλαγής ταχυτήτων στις ηλεκτράμαξες.

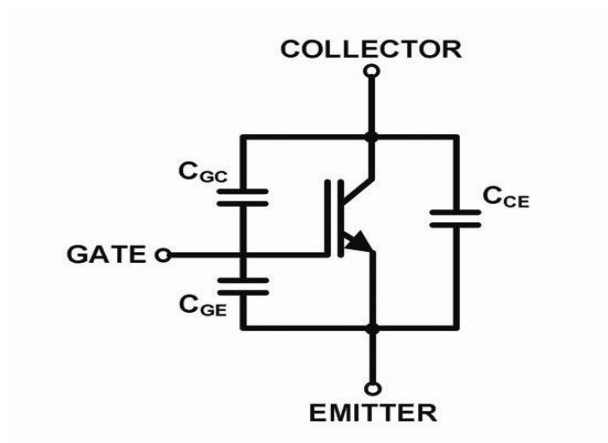


Fig. 1. IGBT capacitances.

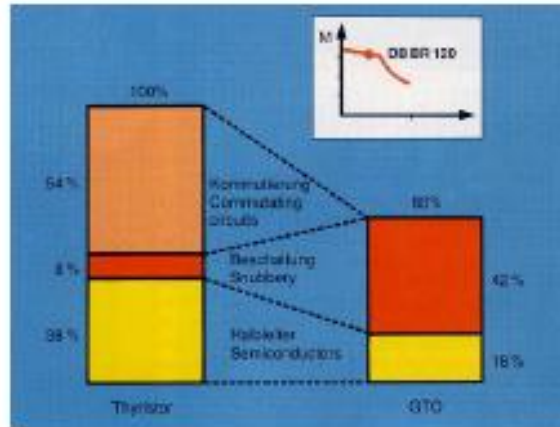
Εικόνα 29: Το IGBT

Τα ηλεκτρονικά ισχύος καταναλώνουν ένα μέρος των απωλειών σε ηλεκτρική ενέργεια των κινητήριων συστημάτων, στην ηλεκτροκίνηση.

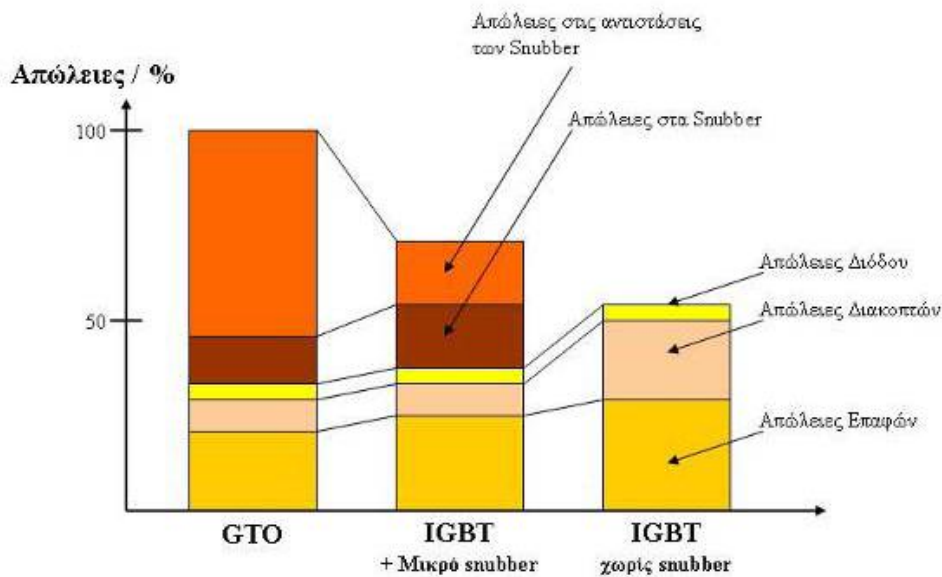
Τα ημιαγώγιμα στοιχεία είναι αυτά που καταναλώνουν τις απώλειες αυτές κυρίως, κατά την διάρκεια της μετάβασης από το άναμμα και το σβήσιμο της μηχανής, ενώ και τα παθητικά σημεία του συστήματος καταναλώνουν ένα μέρος των απωλειών του συστήματος.

Υπάρχει όμως μια διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας στο σύστημα όταν οι διατάξεις χρησιμοποιούν thyristor και όταν χρησιμοποιούν τα GTO thyristor. Στα GTO thyristor, δεν υπάρχουν κυκλώματα μετάβασης και οι απώλειες ελαττώνονται στο 60% των απωλειών σε σχέση με τις ηλεκτρικές διατάξεις που χρησιμοποιούν το απλό thyristor.

Στην παρακάτω εικόνα 30 παρουσιάζεται η διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ των διατάξεων που χρησιμοποιούν GTO thyristor και απλό thyristor, ενώ στην εικόνα 31 γίνεται η σύγκριση μεταξύ των διατάξεων που χρησιμοποιούν το IGBT και GTO thyristor, όπου φανερώνεται πως με το IGBT τρανζίστορ, οι απώλειες είναι ακόμα μικρότερες σε σχέση με το GTO thyristor.



Εικόνα 30: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ Thyristor και GTO-Thyristor



Εικόνα 31: Απώλειες διατάξεων με στοιχεία GTO και IGBT

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια αναλυτική παρουσίαση των ηλεκτρικών ισχύος, συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος που διέπουν την λειτουργία των ηλεκτραμαζών σε όλο τον κόσμο. Στην Ελλάδα, οι ηλεκτράμαξες που χρησιμοποιούνται λειτουργούν πάνω-κάτω με παρόμοιο τρόπο. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι ηλεκτράμαξες που χρησιμοποιούνται σήμερα στο δίκτυο του ΟΣΕ και είναι η HellasSprinter και η Desiro. Θα αναλυθούν τα ηλεκτρικά ισχύος που διέπουν την λειτουργία των συγκεκριμένων ηλεκτραμαζών και θα αναλυθούν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στον ΟΣΕ.

Κεφάλαιο 5^ο – Ηλεκτράμαξες ΟΣΕ

Ηλεκτροκίνηση στο Ελληνικό Σιδηροδρομικό δίκτυο

Σύμφωνα με στοιχεία του ΟΣΕ και της θυγατρικής αυτού εταιρίας, υπεύθυνης για μελέτες και κατασκευαστικά έργα του οργανισμού, την ΕΡΓΟΣΕ, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, με στοιχεία για το τύπο της γραμμής και το μήκος αυτής, καθώς και οι χάρτες σταδιακής ολοκλήρωσης του έργου στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο.

Τμήμα Γραμμής	Μήκος	Γραμμή
ΣΚΑ-Οινόη	52,3 Km	Διπλή
Οινόη-Χαλκίδα	22 Km	Μονή
Οινόη-Τιθορέα	93,9 Km	Διπλή
Δομοκός – Πλατύ Ημαθίας	190,2 Km	Διπλή
Πλατύ - Θεσσαλονίκη	42,3 Km	Διπλή
Θεσσαλονίκη – Προμαχώνας	143,4 Km	Μονή
Θεσσαλονίκη- Ειδομένη	76 Km	Μονή
ΣΥΝΟΛΟ	619,4 Km	

Πίνακας 3: Σύνολο δικτύου με ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα

Στο δίκτυο αυτό κινούνται οι ηλεκτράμαξες του ΟΣΕ που θα παρουσιαστούν παρακάτω. Σχετικά με την επέκταση του δικτύου ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα, στο 8^ο Κεφάλαιο περιγράφονται οι επεκτάσεις της ηλεκτροκίνησης που υπεγράφησαν σχετικά πρόσφατα.

Σε αντίθεση με τις ατμομάζες και τις ντιζελάμαξες, οι ηλεκτράμαξες, όντας απλώς μηχανές μετατροπής και όχι παραγωγής ενέργειας, έχουν αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- Προκειμένου να εκκινήσουν την έλξη ενός βαρέως συρμού ή να ανέβουν μια έντονη κλίση με μεγάλη ταχύτητα, μπορούν να καταφύγουν στους πόρους του δικτύου ηλεκτροκίνησης, ώστε να αναπτύξουν ισχύ πολύ μεγαλύτερη από την ονομαστική τους. Μια τυπική σύγχρονη ηλεκτράμαξα ονομαστικής ισχύος 6.000 HP έχει παρατηρηθεί να αναπτύσσει για μικρή περίοδο ισχύ μέχρι 10.000 HP, κάτω από συνθήκες αντίστοιχες με τις προαναφερθείσες.
- Επιπλέον, οι ηλεκτράμαξες είναι πιο αθόρυβες κατά τη λειτουργία τους από άλλους τύπους κινητηρίων μονάδων και δεν παράγουν καπνό ή καυσαέρια.
- Οι ηλεκτράμαξες χρειάζονται λιγότερο χρόνο στο μηχανοστάσιο για συντήρηση, το κόστος συντήρησής τους είναι χαμηλό και έχουν μεγαλύτερη ωφέλιμη ζωή από τις ντιζελάμαξες

5.1 Ηλεκτράμαξες στην Ελλάδα

Στο σύγχρονο τροχαίο σιδηροδρομικό υλικό οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα. Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούνται στις σιδηροδρομικές εφαρμογές ικανοποιούν τις αυξανόμενες ανάγκες ελέγχου της ηλεκτρικής ισχύος στους ηλεκτροκινητήρες και παράλληλα αύξησαν την διάρκεια ζωής των ηλεκτροκινητήρων καθώς οι ηλεκτράμαξες, ξεκινούν και σταματούν πιο ήπια χωρίς τις αιχμές τάσης και ρεύματος.

Τα τελευταία χρόνια ο Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος (Ο.Σ.Ε) προέβη στην αγορά τροχαίου υλικού ηλεκτροκίνησης το οποίο χρησιμοποιεί την τελευταία λέξη της τεχνολογίας στην ηλεκτροκίνηση.

Πιο συγκεκριμένα αγοράστηκαν:

- 30 ηλεκτράμαξες Siemens
- 20 Πεντάδυμες Ηλεκτροκίνητες Αυτοκινητάμαξες Κανονικής Γραμμής DESIROSIEMENS

- 36 Δ/Η ADtranz

Σε όλους αυτούς τους τύπους οχημάτων οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς έλξης μετατρέπουν την συνεχή τάση του ενδιαμέσου κυκλώματος σε εναλλασσόμενη τριφασική τάση μεταβλητής συχνότητας και πλάτους που τροφοδοτεί τους ασύγχρονους ηλεκτροκινητήρες έλξης.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται κίνηση των οχημάτων με υψηλή οικονομική αποδοτικότητα αλλά και μικρή κατανάλωση ενέργειας λόγω της δυνατότητας αξιοποίησης της ενέργειας πέδησης.

Στην Ελλάδα αυτή την στιγμή χρησιμοποιούνται σε ορισμένες σιδηροδρομικές γραμμές τα Desiro και τα HellasSprinter της Siemens τα οποία μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες.

5.2 Hellasprinter – Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα HellasSprinter παραδόθηκαν από την Γερμανική εταιρία Siemens για πρώτη φορά το 1998. Το σχέδιο αυτό βασίστηκε σε ένα πειραματικό τρένο, το EuroSprinter με την διαφορά ότι η Ελληνική ηλεκτράμαξα είναι κατά 6-8 τόνους ελαφρύτερες από αυτές του μοντέλου εξαιτίας διάφορων περιορισμών στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Ο ίδιος τύπος ηλεκτράμαξών χρησιμοποιείται και στην Ισπανία και την Πορτογαλία.

Το 2005 παραδόθηκε η σειρά της δεύτερης παραγγελίας των HellasSprinter των οποίων τα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

1η Σειρά

6 τρένα

Περίοδος παράδοσης 11/1997 – 12/1997

Κατασκευασμένα για την Ελλάδα μόνο

Αρίθμηση από 120 001 έως 120 006

2η Σειρά

24 τρένα

Περίοδος παράδοσης 9/2004 – 11/2005

Κατασκευασμένα για την Ελλάδα μόνο

Αρίθμηση 120 07 έως 120 030

Τροφοδοσία	25 kV/ 50Hz εναλλασσομένου ρεύματος
Συνολικό μήκος	19.580 mm
Βάση τροχών	9.900 mm
Αριθμός αξόνων/Διαρρύθμιση	4/Bo'Bo'
Εύρος γραμμής	1435 mm
Μέγιστη ταχύτητα	200kph
Μέση ισχύς	5.000 kW
Δύναμη έλξης κατά την εκκίνηση	300 kN

Πίνακας 4: Γενικά χαρακτηριστικά Hellas Sprinter

Για τα τρένα HellasSprinter υιοθετήθηκε το γενικό αμάξωμα του πρωτότυπου EuroSprinter με λίγες τροποποιήσεις.

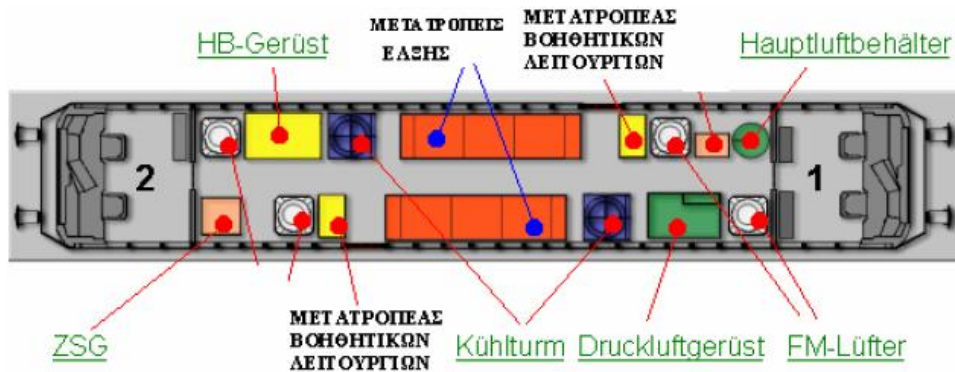
Τα 24 τρένα της δεύτερης σειράς που παραδόθηκαν το 2005 ήταν πανομοιότυπα με την πρώτη σειρά. Οι μόνες διαφορές με την πρώτη σειρά ήταν η αλλαγή του λογότυπου του ΟΣΕ αλλά και το νέο σύστημα αρίθμησης των ηλεκτραμαξών.

Τα τρένα Η 561 μέχρι Η 566 της πρώτης σειράς παραδόθηκαν με έναν ασύμμετρο χρωματισμό μπλε και κόκκινων λωρίδων. Όλες οι μηχανές είχαν το παλιό σήμα του Ο.Σ.Ε. και την αρίθμηση με μικρή γραμματοσειρά ενώ τα τρένα της δεύτερης σειράς παραδόθηκαν με τον ίδιο ακριβώς χρωματισμό της πρώτης σειράς, με το νέο λογότυπο του Ο.Σ.Ε. (σε σκούρο μπλε και γκρι χρώμα) και νέα αρίθμηση.



Εικόνα 32: Θάλαμος Ελέγχου HellasSprinter

Στην ηλεκτράμαξα HellasSprinter υπάρχει ένας υποδαπέδιος μετασχηματιστής που τροφοδοτεί μέσω έξι τυλιγμάτων έλξης τους μετατροπέες έλξης των δυο φορείων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μέσα στο εσωτερικό του οχήματος. Μέσω των μετατροπέων έλξης, τροφοδοτούνται δύο ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες που βρίσκονται σε κάθε φορείο του οχήματος. Στην επόμενη εικόνα 33 φαίνεται η διάταξη της ηλεκτράμαξας HellasSprinter.

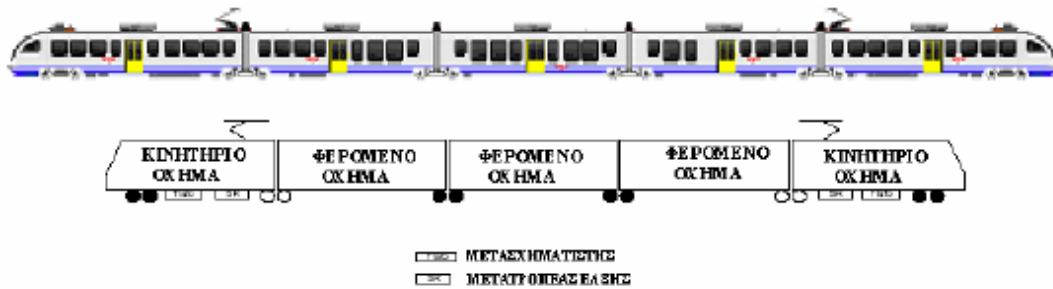


Εικόνα 33: Διάταξη της ηλεκτράμαξας HellasSprinter.

Όπως προαναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, οι δυο τύποι ηλεκτράμαξών που χρησιμοποιούνται από τους Ελληνικούς σιδηροδρόμους έχουν κατασκευαστεί από την Γερμανική εταιρία Siemens. Σε επόμενη παράγραφο θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών ισχύος που διέπουν την λειτουργία των 2 ηλεκτράμαξών, της Desiro και της HellasSprinter.

5.3 Desiro – Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα ηλεκτροκίνητα τρένα Desiro είναι μια αυτοκινητάμαξα η οποία αποτελείται από πέντε οχήματα εκ των οποίων τα 2 είναι του συρμού και τα άλλα τρία ρυμουλκούμενα. Τα τρένα Desiro κατασκευάστηκαν από την Γερμανική εταιρία Siemens αλλά και στα ελληνικά ναυπηγεία.



Εικόνα 34: Σχηματική διάταξη συρμού Desiro

Ο συρμός Desiro χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην γραμμή του προαστιακού Αθήνα – Κιάτο. Στην παρακάτω εικόνα 35 φαίνεται ο συρμός Desiro, να προσεγγίζει τον σταθμό του Κιάτου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συρμού Desiro φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 4.

Τροφοδοσία	25 kV/ 50Hz εναλλασσομένου ρεύματος
Συνολικό μήκος	89.340 mm
Βαγόνια ανα συρμό	5
Καθίσματα ανά αμαξοστοιχία	313
Βάση τροχών	9.900 mm
Αριθμός αξόνων/Διαρρύθμιση	4/Bo'Bo'
Εύρος γραμμής	1435 mm
Μέγιστη ταχύτητα	160 km/h
Μέση ισχύς	5.000 kW
Δύναμη έλξης κατά την εκκίνηση	210 kN

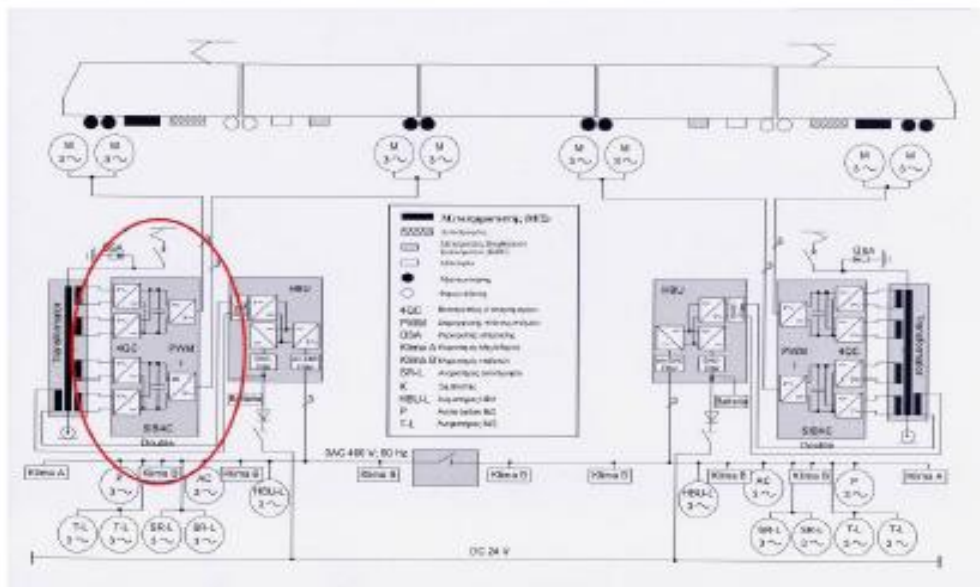
Πίνακας 5: Γενικά χαρακτηριστικά Desiro



Εικόνα 35: Συρμός Desiro προσεγγίζει τον σταθμό του Κιάτου

Τα συστήματα ηλεκτροκίνησης του συρμού παρουσιάζονται στην εικόνα 36 όπου φαίνονται 2 συστήματα κίνησης. Το κάθε σύστημα αποτελείται από έναν μετασχηματιστή (Μ/Σ), από τους μετατροπείς (σύστημα διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος SIBAC) για την τροφοδοσία των κινητήρων έλξης, τους μετατροπείς HBU για την τροφοδοσία των φορτίων των βοηθητικών λειτουργιών, τα φορτία των βοηθητικών λειτουργιών και από τους κινητήρες.

Ο Μ/Σ έχει περισσότερα τυλίγματα στο δευτερεύον. Τα δευτερεύοντα του Μ/Σ έχουν διαφορετικές τάσεις σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Για παράδειγμα άλλη τάση απαιτούν στην είσοδό τους οι ανορθωτικές διατάξεις του συστήματος έλξης και άλλη οι ανορθωτικές διατάξεις των βοηθητικών φορτίων. Ο κάθε μετατροπέας αποτελείται από δύο ζεύγη μονοφασικών ανορθωτών τεσσάρων τεταρτημορίων. Το κάθε ζεύγος έχει δύο μονοφασικούς ανορθωτές, οι οποίοι συνδέονται παράλληλα.



Εικόνα 36: Συστήματα ηλεκτρικής κίνησης στο Desiro

5.4 Εξοπλισμός έλξης

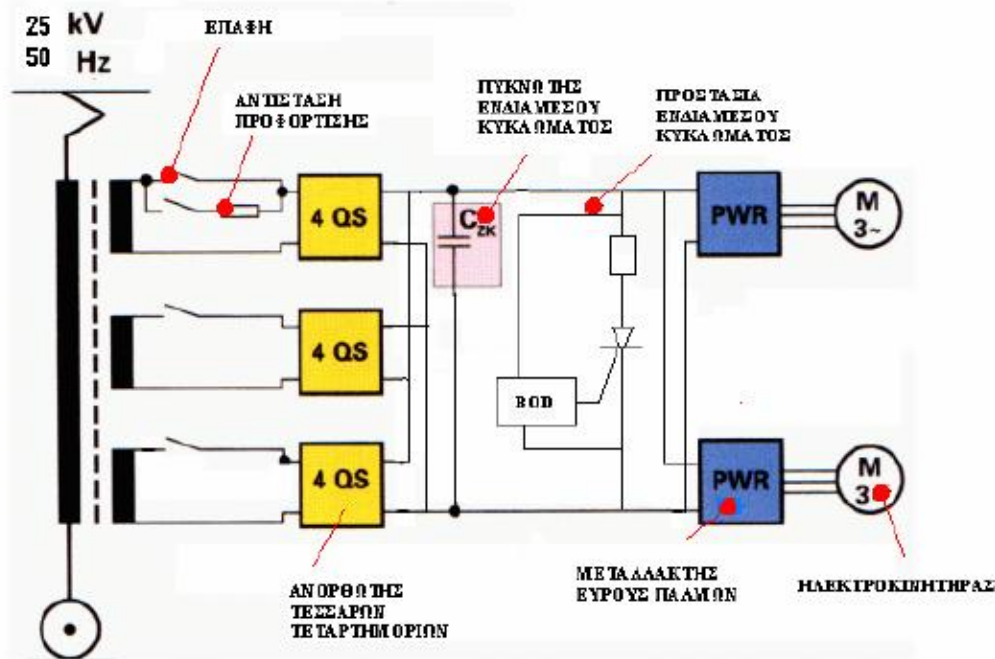
Το σύστημα έλξης των αμαξοστοιχιών της Siemens έχει σχεδιαστεί για τροφοδοσία 25 kV / 50 Hz. Το σύστημα έλξης αποτελείται από 2 ξεχωριστά και ανεξάρτητα μεταξύ τους κυκλώματα έλξης τα οποία περιλαμβάνουν:

- 2 παντογράφους
- 2 κύριους διακόπτες
- 2 μετασχηματιστές έλξης
- 2 κιβώτια ταχυτήτων
- 8 κινητήρες έλξης

Οι μετασχηματιστές είναι υποδαπέδιοι όπως έχει προαναφερθεί και παρέχουν ενέργεια στους στατικούς μετατροπείς και τους μετατροπείς έλξης. Υποδαπέδια του φορείου του οχήματος βρίσκονται και οι IGBT οι οποίοι είναι αερόψυκτοι και τροφοδοτούν τους τριφασικούς ασύγχρονους κινητήρες. Η ενέργεια που παράγεται από την πέδηση, επιστρέφει μέσω της εναέριας γραμμής στο δίκτυο ενώ η ηλεκτράμαξα είναι εξοπλισμένη με 2 ξεχωριστά συστήματα πέδησης.

5.4.1 Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνησης έλξης των ηλεκτραμαξών Siemens

Ο παντογράφος που είναι τοποθετημένος στο όχημα μεταφέρει στον κύριο μετασχηματιστή την τάση του αγωγού επαφής. Οι 6 περιελίξεις έλξης που διαθέτει ο μετασχηματιστής μετατρέπουν την τάση του αγωγού επαφής σε μια τάση προσαρμοσμένη στον μετατροπέα. Μέσω του ανορθωτή 4QS η εναλλασσόμενη μονοφασική τάση μετατρέπεται σε συνεχή τάση η οποία οδηγείται στον μεταλλάκτη μέσω του ενδιάμεσου κυκλώματος και εκεί μετατρέπεται σε τριφασική τάση με μεταβλητό πλάτος και συχνότητα. Η τάση αυτή είναι που τροφοδοτεί τους ασύγχρονους κινητήρες έλξης και δίνουν την κίνηση στον συρμό. Σχηματικά, η αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνησης έλξης παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα 37.



Εικόνα 37: Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης για το ένα φορείο ηλεκτράμαξας SIEMENS

Στα οχήματα Desiro συμβαίνει ακριβώς η ίδια διαδικασία με την διαφορά ότι ο κύριος μετασχηματιστής διαθέτει 4 περιελίξεις έλξης αντί για 6 που διαθέτει ο μετασχηματιστής του HellasSprinter.

Στην συνέχεια θα αναλυθούν ένα, ένα τα επιμέρους στοιχεία της ηλεκτροκίνητης έλξης.

5.4.2 Ο μετασχηματιστής

Ο κύριος μετασχηματιστής των ηλεκτράμαξών της Siemens είναι ένας μονοφασικός μετασχηματιστής για τα 25 kV / 50 Hz τοποθετημένος κάτω από το φορείο. Ο τετραγωνικός πυρήνας του είναι κατασκευασμένος με 2 στήλες, οι οποίες είναι χωρισμένες σε 3 ηλεκτρικά τμήματα που επάνω τους τοποθετούνται έξι δευτερεύοντα τυλίγματα και έξι παράλληλα συνδεδεμένα τυλίγματα υψηλής τάσης.

Η τροφοδοσία των 25 kV οδηγείται στον μετασχηματιστή μέσω ενός καλωδίου υψηλής τάσης. Στον ακόλουθο πίνακα 6 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του μετασχηματιστή.

Ηλεκτρικά Στοιχεία Μετασχηματιστή	
Πρωτεύον περιτύλιγμα (OS)	
Ονομαστική Ισχύς	6212 kVA
Ονομαστική τάση εισόδου	25 kV
Ονομαστικό ρεύμα	248 A
Συχνότητα	50 Hz
Δευτερεύον (US)	
6 Περιελίξεις ισχύος	
Ονομαστική ισχύς	6 X 867 kVA
Ονομαστική τάση	6 X 1300 V
Ονομαστικό ρεύμα	6 X 667 A
1 Περιέλιξη Θέρμανσης	
Ονομαστική ισχύς	810 kV σε 12°C 660 kV σε 45°C
Ονομαστική τάση	1512 V
Ονομαστικό ρεύμα	535 A
Περιέλιξη Βοηθητικών	
Ονομαστική ισχύς	200 kVA
Ονομαστική τάση	886 V
Ονομαστικό ρεύμα	226 A

Πίνακας 6: Ηλεκτρικά στοιχεία κυρίως μετασχηματιστή ηλεκτράμαξας Siemens

5.4.3 Μετατροπέας έλξης

Ο μετατροπέας έλξης των ηλεκτραμαξών Siemens είναι ίσως η σπουδαιότερη μονάδα λειτουργίας των ηλεκτραμαξών της Siemens. Τα ηλεκτρικά ισχύος είναι κατασκευασμένα με την τεχνολογία GTO και εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ισχύ του οχήματος σε συνεργασία με τους 4 τριφασικούς ασύγχρονους ηλεκτροκινητήρες έλξης. Ο μετατροπέας έλξης αποτελείται από:

- 2 ενδιάμεσα κυκλώματα με ένα πυκνωτή και προστατευτικό module το καθένα
- 2 x 3 ανορθωτές τεσσάρων τεταρτημορίων (4QS)
- 4 μεταλλάκτες εύρους παλμών (PWR)

Οι ανορθωτές των 4 τεταρτημορίων 4QS τροφοδοτούν κατά τη διάρκεια της πορεία του οχήματος, ένα ενδιάμεσο κύκλωμα με ενέργεια από το δίκτυο.

Κατά την πέδηση οι 4QS επαναφέρουν την ενέργεια πέδησης στο δίκτυο έτσι ώστε η ανάγκη σε ενέργεια της Ηλεκτράμαξας να μειώνεται αισθητά. Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του μετατροπέα έλξης της Siemens.

Μετατροπέας Εισόδου	
Αρχή λειτουργίας	3 παράλληλα εργαζόμενοι 4QS
Ονομαστική τάση εισόδου	1300 V / 50 HZ
Ισχύς εξόδου	3 X 950 kW
Συχνότητα παλμοδότησης των GTO θυρίστορ	250 HZ
Αριθμός Παλμών	5
Ενδιάμεσο Κύκλωμα	
Τάση	2400-2600 V
Πυκνωτής Ενδιάμεσου κυκλώματος	2 X 4,8 mF / 2800 V
Πυκνωτής Κυκλώματος απόσβεσης	3 mF/ 3400 V
Module Προστασία	1
Μετατροπέας Εξόδου	
Αρχή λειτουργίας	2 μεταλλάκτες εύρους παλμών
Ισχύς εξόδου	2 X 1350 kW
Max ρεύμα εξόδου	2 X 790 A
Συχνότητα παλμοδότησης των GTO	260 Hz
Τάση Εξόδου (μεταξύ φάσεων)	2 X 2028 V
Συχνότητα Εξόδου (μεταβαλλόμενη)	2 X 135 Hz
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	- 20° C έως + 45° Ψ

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα έλξης

5.4.4 Ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS

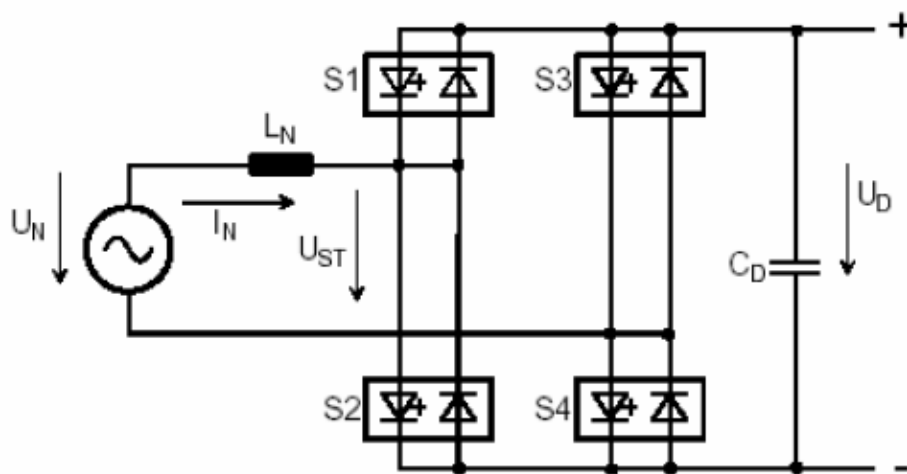
Ο ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS ο οποίος παρουσιάζεται στην εικόνα 41, ανορθώνει την εναλλασσόμενη μονοφασική τάση τροφοδοσίας σε συνεχή τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος και χρησιμοποιείται ως μετατροπέας εισόδου, κατάλληλος για τροφοδότηση από το δίκτυο με $\cos\phi=1$ και συντελεστή ισχύος $\lambda \approx 1$ σε υψηλές ισχύεις.

Με την μετατοπισμένη παλμοδότηση των 6 4QS που υπάρχουν συνολικά στις ηλεκτράμαξες της Siemens επιτυγχάνεται μια πολύ περιορισμένη περιεκτικότητα αρμονικών στο ρεύμα του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα τα σήματα παλμοδότησης των τριών 4QS είναι μεταξύ τους μετατοπισμένα κατά TP/3. Με κατάλληλο συγχρονισμό των μετατροπέων των δύο φορείων, η διαφορά φάσης του σήματος

παλμοδότησης και των έξι εργαζομένων στο δίκτυο 4QS γίνεται TP/6. Σε σχέση με την υψηλή συχνότητα παλμοδότησης στο ρεύμα του δικτύου της Ηλεκτράμαξας προκύπτουν πολύ χαμηλές αρμονικές.

Στο δίκτυο των 25 kV, οι 4QS παλμοδοτούνται πενταπλά, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε μισή ταλάντωση του δικτύου αναλύεται σε 5 παλμούς. Ταυτόχρονα προκύπτει, σε σχέση με το δίκτυο, μια μέση συχνότητα ανάδρασης 500 Hz ανά 4QS η οποία είναι και η διακοπτική συχνότητα των GTO- θυρίστορ ($f_p = 2 \times 5 \times f_N = 500 \text{ Hz}$)

Ο 4QS ως μετατροπέας εισόδου κάνει επίσης δυνατή την αντίστροφη τροφοδότηση της ενέργειας πέδησης στο δίκτυο .



Εικόνα 38: Ανορθωτής 4 τεταρτημορίων 4QS

5.4.5 Μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR)

Οι μεταλλάκτες εύρους παλμών των ηλεκτραμαξών Siemens παράγουν , το μεταβαλλόμενη συχνότητας και τάσης τριφασικό σύστημα εναλλασσόμενης τάσης, που είναι αναγκαίο για τη λειτουργία των τριφασικών ασύγχρονων ηλεκτροκινητήρων έλξης. Το ρεύμα εξόδου του μεταλλάκτη παλμών παρουσιάζει με εφαρμογή της διαμόρφωσης κατά πλάτος παλμού (PWM) , μια προσεγγιστική ημιτονοειδή μορφή. Η μέγιστη συχνότητα παλμοδότησης του PWR ανέρχεται σε 260 Hz.

Κεφάλαιο 6^ο – Συστήματα Σηματοδότησης σιδηροδρομικού δικτύου

6.1 Σηματοδότηση σιδηροδρομικού δικτύου

Η σιδηροδρομική σηματοδότηση είναι πολύ σημαντική για την ασφάλεια των σιδηροδρόμων και είναι μια μορφή επικοινωνίας για τους μηχανοδηγούς της αμαξοστοιχίας προκειμένου να είναι ενήμεροι για τις συνθήκες που επικρατούν στην γραμμή μπροστά τους. Με την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, αυξήθηκαν κατά πολύ και οι ταχύτητες με τις οποίες κινούνται οι συρμοί στο δίκτυο με αποτέλεσμα να είναι απολύτως αναγκαία η σιδηροδρομική σήμανση και η επικοινωνία μεταξύ του μηχανοδηγού και του κέντρου ελέγχου κυκλοφορίας.

Οι μέθοδοι ελέγχου κυκλοφορίας των τρένων εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν με την πάροδο των χρόνων μετά από πολλές προσπάθειες αλλά και λάθη και ατυχήματα. Είναι χαρακτηριστικό πως στην αρχή της εποχής των σιδηροδρόμων, το 1830-1840, σ δεν υπήρχε κανένα σύστημα πληροφόρησης και σήμανσης του δικτύου και το τρένο κινούνταν σύμφωνα με τα όσα έβλεπε ο μηχανοδηγός. Διάφορα ατυχήματα απέδειξαν πως ήταν πολύ δύσκολο να σταματήσει ο συρμός αφ' ότου ο μηχανοδηγός είχε θέα του κινδύνου, ενώ παράλληλα θα έπρεπε να βρεθεί και ένας τρόπος για να μην έρχονται αντιμέτωπα τα τρένα που κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Για αυτό τον λόγο αναπτύχθηκαν 2 συστήματα ελέγχου και σηματοδότησης της κίνησης των συρμών, που βασίζονταν στην τήρηση χρονικών διαστημάτων και στην τήρηση μηκών αποκλεισμού.

6.1.1 Το σύστημα διαστήματος χρόνου

Τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης της σηματοδότησης του σιδηροδρομικού δικτύου, το πιο συνηθισμένο ήταν να κυκλοφορούν τα τρένα σε σταθερά χρονικά διαστήματα.

Αυτό συνέβαινε στην προσπάθεια να τηρηθεί μια χρονική απόσταση ασφαλείας για την προστασία των τρένων αλλά το σύστημα δεν ήταν πολύ αξιόπιστο καθώς εκείνη την εποχή τα τρένα δεν κινούνταν με σταθερές ταχύτητες ενώ υπήρχε περίπτωση ένας συρμός να ακινητοποιηθεί για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα σε έναν σταθμό.

6.1.2 Μήκη αποκλεισμού

Τα μήκη αποκλεισμού αποτέλεσαν την πρώτη μεγάλη βελτίωση στην ανάπτυξη των συστημάτων κυκλοφορίας βασισμένων σε διαστήματα μήκους. Στα συστήματα αυτά που βασίζονται στα μήκη αποκλεισμού, απαγορεύεται ένα τρένο να εισέλθει σε ένα τμήμα της γραμμής χωρίς πρώτα να έχει αποχωρήσει από το συγκεκριμένο τμήμα το προπορευόμενο τρένο. Κάθε ένα τμήμα αποκλεισμού προστατεύεται από ένα σταθερό σήμα που είναι τοποθετημένο στην είσοδο του τμήματος όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα 39.

Εάν στο συγκεκριμένο τμήμα δεν υπάρχει κάποιος προπορευόμενος συρμός το σήμα θα έχει πράσινη ένδειξη ενώ εάν στο τμήμα κυκλοφορεί κάποιος συρμός, τότε το σήμα θα έχει κόκκινη ένδειξη και το τρένο θα πρέπει να περιμένει μέχρι να εξέλθει από το συγκεκριμένο τμήμα της γραμμής το προπορευόμενο τρένο. Τα συστήματα σηματοδότησης, ακόμα και τα πιο μοντέρνα, βασίζονται σε αυτή την αρχή.



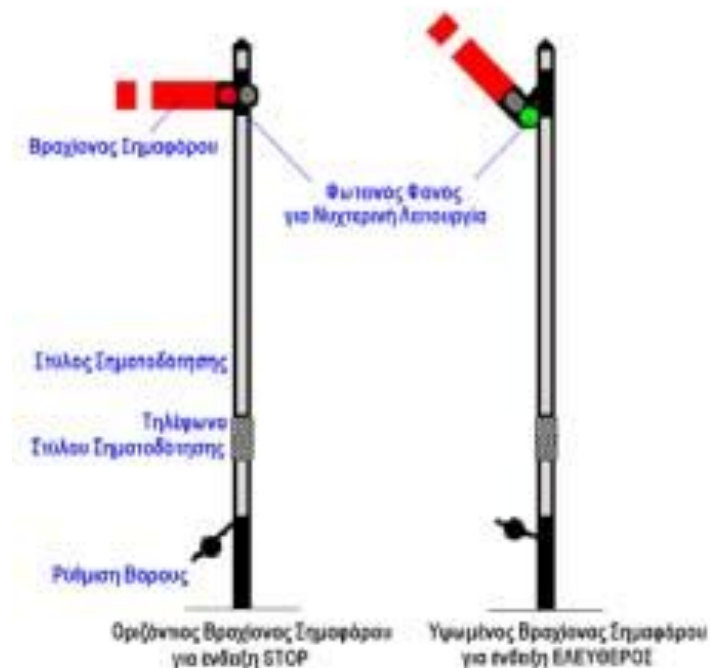
Εικόνα 39 : Σύστημα σηματοδότησης με βάση τα μήκη αποκλεισμού

6.2 Τύποι σηματοδότησης

Η πρώτη μορφή σιδηροδρομικού σήματος ήταν μια απλή σημαία κατά την διάρκεια της ημέρας ή μια απλή λάμπα κατά την διάρκεια της νύχτας ενώ το πρώτο κινητό σήμα ήταν ο σημαφορός ο οποίος εφαρμόστηκε το 1841. Μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ο σημαφορός αποτελούσε ένα σήμα διεθνούς εφαρμογής ο οποίος σιγά σιγά αντικαταστάθηκε από την έγχρωμη φωτεινή σηματοδότηση.

Οι φωτεινές αυτές ενδείξεις είναι συνήθως κόκκινο, πράσινο και κίτρινο, είτε μόνα, είτε με ταυτόχρονη ένδειξη δύο χρωμάτων.

Οι διαφορετικοί χρωματισμοί επιτυγχάνονται είτε μέσω της περιστροφής κατάλληλων χρωματικών φίλτρων μπροστά από μια δέσμη φωτός, είτε με τη χρήση ξεχωριστών λαμπτήρων και φακών για κάθε χρώμα.



Εικόνα 40 : Σημαφορός σε ανοικτή και κλειστή θέση

6.3 Αυτόματα συστήματα σηματοδότησης

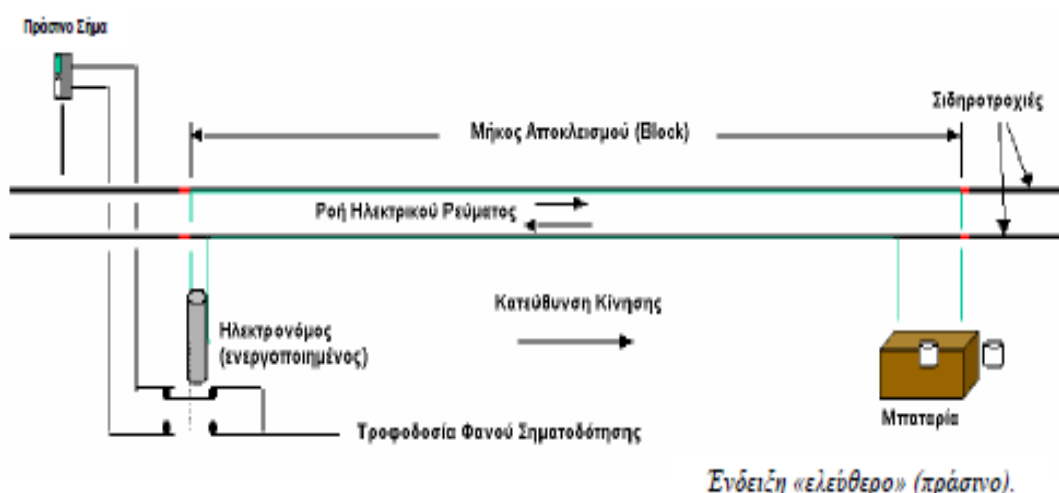
Τα αυτόματα συστήματα σηματοδότησης αποτελούν την βάση του συστήματος σιδηροδρομικής σηματοδότησης που εφαρμόζεται παγκοσμίως και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1872 αποτελώντας μια πρώτη εφαρμογή του αυτοματισμού στην βιομηχανία.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται κυκλώματα γραμμής που βραχυκυκλώνονται από τους τροχούς και τους άξονες του τρένου ενεργοποιώντας την ένδειξη του κινδύνου (κόκκινο) στον φανό σηματοδότησης.

Τα κυκλώματα γραμμής χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλη κλίμακα στο μετρό του Λονδίνου στις αρχές της δεκαετίας του 1900.

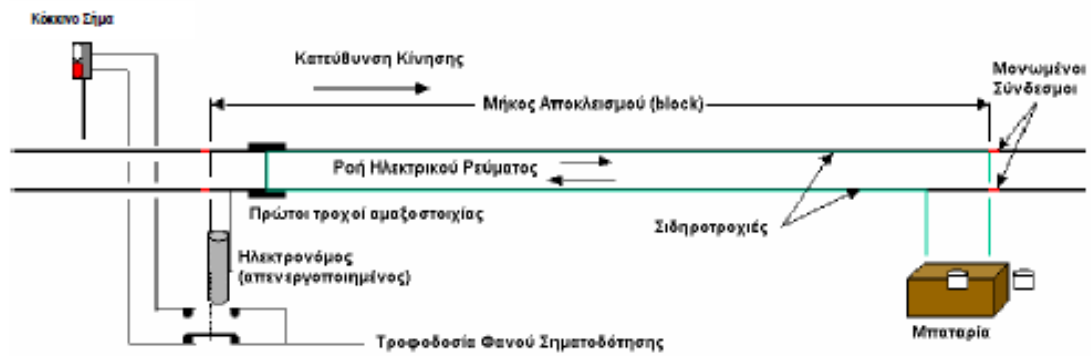
Το κύκλωμα γραμμής αποτελείται από τις δύο σιδηροτροχιές ενός τμήματος γραμμής,

μονωμένες στα άκρα τους. Το ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης με το οποίο τροφοδοτούνται οι σιδηροτροχιές στο ένα άκρο του τμήματος, ρέει μέσω ηλεκτρονόμου (*relay*) αρχικά ή ηλεκτρονικού κυκλώματος (πιο πρόσφατα) προς το αντίθετο άκρο, όπου και το σήμα, δίδοντας την ένδειξη «ελεύθερο» (πράσινο).



Εικόνα 41 : Κύκλωμα γραμμής με ένδειξη πράσινο σήμα

Στην περίπτωση που θα πρέπει να μεταδοθεί απαγορευτικό σήμα (κόκκινη ένδειξη), οι τροχοί του τρένου βραχυκυκλώνουν την τροφοδοσία του ρεύματος και απελευθερώνουν τον ηλεκτρονόμο. Η διακοπή αυτή ακριβώς θα προκαλέσει την κόκκινη ένδειξη στην σηματοδότηση όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα 42.



Εικόνα 42 : Κύκλωμα γραμμής με ένδειξη κόκκινο σήμα

6.4 Αυτόματη προστασία συρμών (ATP)

Η αυτόματη προστασία των συρμών είναι ένα πολύ κρίσιμο συστατικό για την ασφάλεια των σιδηροδρομικών μεταφορών. Η κεντρική ιδέα του συστήματος της αυτόματης προστασίας των συρμών προέρχεται από την ανάγκη να εξασφαλίζεται η συμμόρφωση των μηχανοδηγών στις απαγορεύσεις και στα σήματα κυκλοφορίας του σιδηροδρομικού δικτύου.

Η πρώτη βασική μορφή του αυτόματου ελέγχου των συρμών ξεκίνησε να εφαρμόζεται στην δεκαετία του 1920. Οι πρώιμες αυτές μορφές ελέγχου των συρμών στηρίζονταν στην ενεργοποίηση μιας ηλεκτρομαγνητικής συσκευής μεταξύ των σιδηροτροχιών όταν η ένδειξη της σηματοδότησης ήταν απαγορευτική και εξέπεμπε ένα ηχητικό σήμα στον θάλαμο των μηχανοδηγών. Εάν ο μηχανοδηγός, για οποιοδήποτε λόγο δεν ανταποκρινόταν στην ηχητική προειδοποίηση για ένα μικρό χρονικό διάστημα, τότε ενεργοποιούνταν η αυτόματη πέδηση της αμαξοστοιχίας.

Αυτό το σύστημα εξελίσσεται συνεχώς από την δεκαετία του 1950 και είναι διεθνώς γνωστό ως σύστημα αυτόματης προστασίας συρμών. (AutomaticTrainProtection –

ATP).

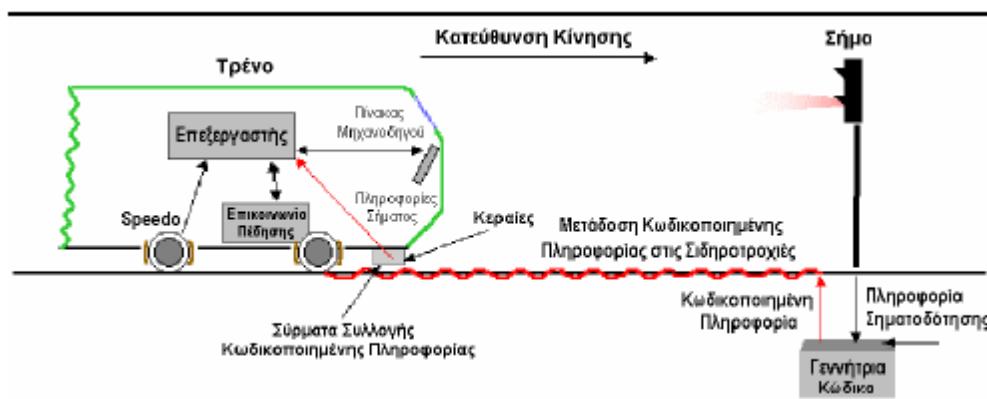
Το σύστημα αυτόματης προστασίας συρμών έχει εφαρμοστεί και εφαρμόζεται σε αστικές και προαστιακές σιδηροδρομικές γραμμές καθώς και στα τρένα υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία. Το σύστημα αυτόματης προστασίας των συρμών, προκαλεί οπτικές ενδείξεις μέσα στην καμπίνα του μηχανοδηγού και μέσω των ενδείξεων αυτών αναπαράγονται οι ενδείξεις των φωτεινών φανών μέσα στην καμπίνα προκειμένου οι μηχανοδηγοί να γνωρίζουν πως θα πρέπει να ενεργήσουν. Παράλληλα, μέσω του συστήματος αυτού δίνονται πληροφορίες στον μηχανοδηγό σχετικά με την ταχύτητα του συρμού ή την πιθανή επιβράδυνση του συρμού πάντα σε σχέση με την κατάσταση που επικρατεί στην σιδηροδρομική γραμμή μπροστά.

Στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο, ο μηχανοδηγός δεν ενεργήσει κατάλληλα σύμφωνα και με τις ενδείξεις που έχει, τότε ενεργοποιείται η αυτόματη πέδηση του συρμού και η μείωση της παρεχόμενης ισχύος στον συρμό.

Μέσα στην καμπίνα του μηχανοδηγού τα σήματα αυτά μπορούν να φτάσουν με 2 τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι η συνεχή μετάδοση των σημάτων, ενώ ο άλλος τρόπος είναι η χρήση ραδιοφάρων οι οποίοι είναι προσαρμοσμένη στην γραμμή όπως αυτός της εικόνας 43.

Το σύστημα συνεχούς μετάδοσης χρησιμοποιεί κυκλώματα γραμμής ή βρόγχους καλωδίων μεταξύ των γραμμών, για τη μετάδοση πληροφοριών στο τρένο, καθώς αυτό κινείται.

Ένα ζεύγος συρμάτων συλλογής, που κρέμονται κάτω από το εμπρόσθιο τμήμα του τρένου, καταγράφουν τη ροή πληροφοριών και τη μεταβιβάζουν στην καμπίνα του μηχανοδηγού, στους επεξεργαστές του συστήματος ATP.



Εικόνα 43: Σχηματικό διάγραμμα συνεχούς μετάδοσης σημάτων στην καμπίνα του μηχανοδηγού

Στον δεύτερο τρόπο μετάδοσης των σημάτων μέσα στην καμπίνα του οδηγού με τους ραδιοφάρους, αυτοί βρίσκονται τοποθετημένοι μεταξύ των σιδηροτροχιών. Το τρένο εκπέμπει συνεχώς μια δέσμη η οποία ενεργοποιεί τον ραδιοφάρο μόλις περάσει από επάνω του και οι πληροφορίες αυτές μεταβιβάζονται στην καμπίνα του οδηγού.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του συστήματος μετάδοσης των σημάτων μέσω των ραδιοφάρων είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης και η αποφυγή εγκατάστασης πρόσθετου εξοπλισμού στο πλάι της γραμμής.

Ένα μειονέκτημα όμως που έχει το σύστημα με τους ραδιοφάρους είναι πως αφού το τρένο περάσει τον ραδιοφάρο και λάβει τις ειδοποιήσεις, εφόσον το σήμα αυτό αλλάξει σε λιγότερο απαγορευτική ένδειξη ο οδηγός δεν πρόκειται να το αντιληφθεί αυτό πριν περάσει από επάνω από τον επόμενο ραδιοφάρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τις άσκοπες μειώσεις των ταχυτήτων των συρμών καθώς επίσης και τις καθυστερήσεις στα δρομολόγια.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί σε μεγάλο βαθμό να αντιμετωπιστεί με την εγκατάσταση περισσότερων ραδιοφάρων κοντά στα σήματα.



Εικόνα 44: Ραδιοφάρος

6.4.1 Άλλα συστήματα αυτόματης προστασίας των συρμών

Το κυριότερο σύστημα προστασίας των συρμών είναι το ATP το οποίο περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Όπως προαναφέρθηκε, το ATP είναι και το δημοφιλέστερο σύστημα που χρησιμοποιείται στα περισσότερα σιδηροδρομικά δίκτυα του κόσμου αλλά δεν είναι το μοναδικό.

Υπάρχουν όμως και κάποια άλλα συστήματα αυτόματης προστασίας των συρμών που είναι τα ακόλουθα:

- Το ATO. Με το σύστημα ATO (AutomaticTrainOperation – Αυτόματη λειτουργία Συρμών, ελέγχεται η πέδηση και η κίνηση ενός τρένου. Εξαιτίας αυτού του ελέγχου, ο μηχανοδηγός δεν μπορεί να ελέγξει την πέδηση και την κίνηση του τρένου και για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη και η εγκατάσταση του συστήματος ATP. Κοινώς, χωρίς την εγκατάσταση ενός συστήματος ATP το σύστημα ATO δεν μπορεί να λειτουργήσει. Στα περισσότερα συστήματα ATO επιτρέπεται στον μηχανοδηγό να λειτουργήσει χειροκίνητα τον συρμό, αλλά δεν του επιτρέπεται να παραβιάσει το σύστημα ATP.
- ΤοATC. Το σύστημα ATC (AutomaticTrainControl) αποτελεί στην ουσία έναν συνδυασμό των συστημάτων ATP και ATO.
- Το σύστημα ATS. Το σύστημα ATS (AutomaticTrainSupervision - Αυτόματη εποπτεία Συρμών) βασίζεται στον κεντρικό έλεγχο των κινήσεων των τρένων και χρησιμοποιούταν πριν γίνουν διαθέσιμα τα συστήματα ATP ή ATO. Το κέντρο ελέγχου έχει την πλήρη εικόνα των κινήσεων των συρμών και μπορεί να οργάνωση την κίνηση των τρένων σε όλο το δίκτυο με εύκολο τρόπο. Στην αρχή αυτός ο έλεγχος πραγματοποιούνταν με την αποστολή τηλεφωνικών μηνυμάτων προς τους χειριστές της σηματοδότησης. Στην σημερινή εποχή, η ενημέρωση των κλειδούχων γίνεται αυτόματα μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών.

6.5 Κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας

Η πρόοδος της τεχνολογίας και των υπολογιστικών συστημάτων έχουν δώσει την δυνατότητα του ακριβούς ελέγχου και διαχείρισης της πυκνής σιδηροδρομικής κυκλοφορίας μέσα σε ένα δίκτυο, παρέχοντας την δυνατότητα της παρακολούθησης και τον έλεγχο της σηματοδότησης σε μια μεγάλη περιοχή από ένα κέντρο ελέγχου λειτουργίας και σηματοδότησης, το οποίο ονομάζεται Κεντρικός Έλεγχος Κυκλοφορίας (CentralizedTrafficControl – CTC).

Στην Μ.Βρετανία όπου υπάρχει ένα εκτεταμένο σιδηροδρομικό δίκτυο, ένα κέντρο τηλε-διοίκησης και ελέγχου κυκλοφορίας μπορεί να καλύψει ένα δίκτυο σε ακτίνα 320 χιλιομέτρων από αυτή. Το ελεγχόμενο δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει 450 σημεία αλλαγών και 1200 πιθανές εναλλακτικές διαδρομές. Στις ΗΠΑ το σύνολο της ρύθμισης της κυκλοφορίας έχει συγκεντρωθεί σε μια πόλη της Νεμπράσκα. Οι ικανότητες που έχουν τα υπολογιστικά και πληροφοριακά συστήματα έχουν καταστήσει εφικτή μια τέτοια συγκέντρωση πλήθους σημάτων, κόμβων και διαδρομών.

Η συγκέντρωση αυτή του ελέγχου σημάτων και αλλαγών τροχιάς είναι δυνατή, λόγω της ικανότητας των ηλεκτρονικών συστημάτων να μεταφέρουν μέσω ενός διαύλου επικοινωνιών πλήθος διαφόρων εντολών προς τις συσκευές εδάφους, ξεχωριστά κωδικοποιημένων, καθώς και να παραλαμβάνουν διαβεβαιώσεις εκτέλεσης των εντολών εξίσου ταχύτητα.

Τα πληροφοριακά συστήματα έχουν αυξήσει κατά πολύ τις δυνατότητες των κυκλωμάτων γραμμής καθώς ο αλφαριθμητικός κωδικός του τρένου, ο αριθμός δρομολογίου και άλλα δεδομένα, εισάγονται στο σύστημα σηματοδότησης του ελεγχόμενου τμήματος της γραμμής το οποίο διασχίζει το τρένο.

Καθώς το τρένο μετακινείται από το ένα τμήμα αποκλεισμού στο επόμενο, η κατάληψη διαδοχικών κυκλωμάτων γραμμής προκαλεί αυτομάτως τη μετακίνηση του αριθμού ή κωδικού του στον πίνακα ελέγχου του κέντρου τηλε-διοίκησης, από τη μία θέση στην επόμενη. Όταν το τρένο περνά από την δικαιοδοσία ενός κέντρου τηλε-διοίκησης σε αυτήν του επομένου, ο κωδικός του εμφανίζεται αυτομάτως στον πίνακα ελέγχου του νέου κέντρου τηλε-διοίκησης.

Οι πληροφορίες σε-πραγματικό-χρόνο (*real-time data*) για την πορεία κάθε τρένου, που παράγονται από ένα τέτοιο σύστημα, μπορούν να αξιοποιηθούν και να μεταδοθούν σε κάθε ενδιαφερόμενο μέσα στη σιδηροδρομικό σύστημα. Ειδικότερα, στις σιδηροδρομικές μεταφορές επιβατών, οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν σε πίνακες ενημέρωσης κοινού στους σταθμούς. Στην ιδιαίτερη περίπτωση των αστικών και προαστιακών σιδηροδρομικών συστημάτων, η τηλεδιοίκηση των αλλαγών στους σιδηροδρομικούς κόμβους μπορεί να αυτοματοποιηθεί, όταν ο αριθμός ή κωδικός του τρένου παρέχει και την ένδειξη της διαδρομής του. Η ένδειξη αυτή αναγνωρίζεται ηλεκτρονικά από το σύστημα, καθώς το τρένο καταλαμβάνει το κύκλωμα γραμμής πλησιάζοντας στο σημείο αλλαγής κατεύθυνσης.

Το μεγαλύτερο μέρος από τις δυνατότητες αυτές των υπολογιστικών συστημάτων και ελέγχου λειτουργίας των δικτύων έχει επίσης αξιοποιηθεί σε προηγμένα συστήματα μετρό.

Η επέκταση της επεξεργασίας από ηλεκτρονικούς υπολογιστές των σε-πραγματικό-χρόνο πληροφοριών για την κίνηση των τρένων, οι οποίες έχουν ως πηγή τα κυκλώματα γραμμής, έχει περαιτέρω διευκολύνει τον έλεγχο της κυκλοφορίας στα μεγάλα σιδηροδρομικά δίκτυα. Στα πιο σύγχρονα Ευρωπαϊκά σιδηροδρομικά κέντρα, που ελέγχουν πυκνή κυκλοφορία επιβατικών τρένων, το προσωπικό ελέγχου έχει στη διάθεσή του:

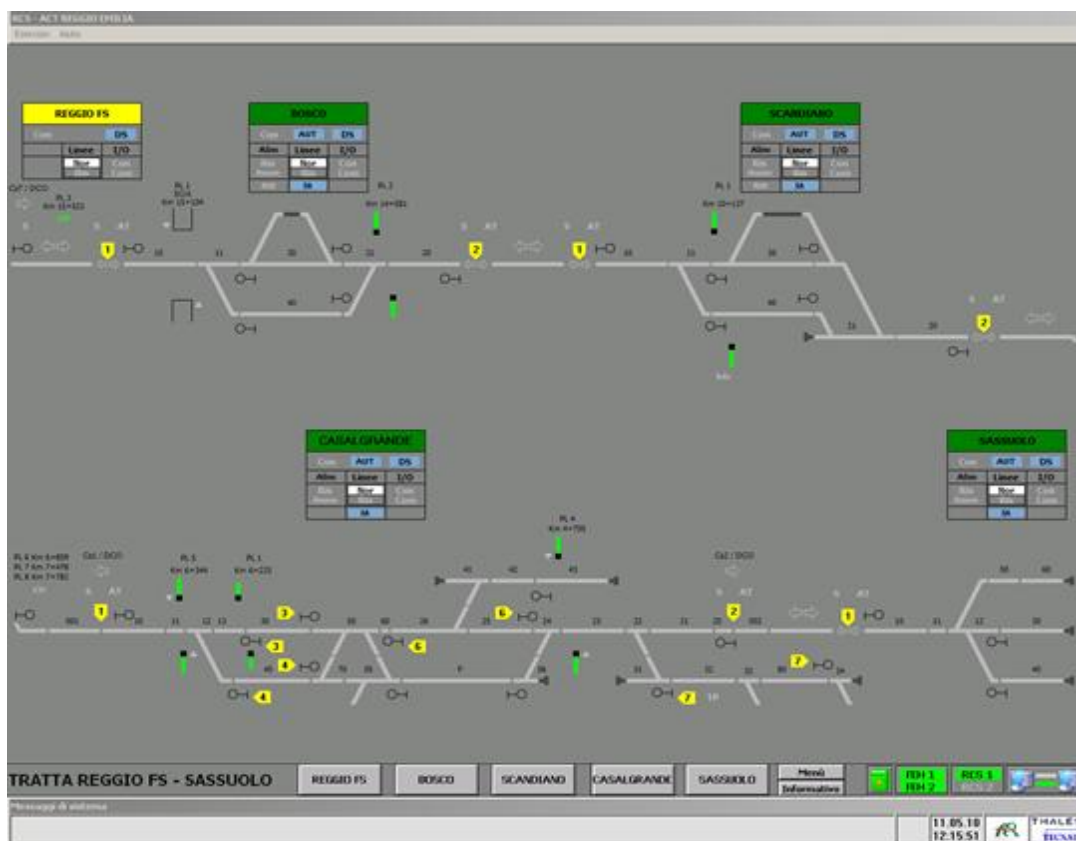
- γραφικές οθόνες σύγκρισης του πραγματικού δρομολογίου του τρένου με το θεωρητικό,
- προβλέψεις για πιθανά προβλήματα σε κόμβους, όταν τα τρένα κινούνται με καθυστέρηση σε σχέση με το δρομολόγιο και
- συστάσεις για τη επανεξέταση των σχετικών προτεραιοτήτων των τρένων, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διατάραξη του πλέγματος των δρομολογίων.

Στις ΗΠΑ που έχουν ένα από τα πιο εκτεταμένα σιδηροδρομικά δίκτυα του κόσμου και πολλές γραμμές του δικτύου είναι μονές, το σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας μέσω των Η/Υ απαλλάσσει τον χειριστή από πολλή δουλειά η οποία μπορεί να θεωρηθεί εύκολη.

Στο κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας, που βρίσκεται στην Νεμπράσκα, όπως προαναφέρθηκε, από τη στιγμή που ο ρυθμιστής κυκλοφορίας εισάγει τον κωδικό και την κατηγορία προτεραιότητας ενός τρένου, το σύστημα αυτομάτως προσδιορίζει αντιστοίχως τη διαδρομή του, καθορίζοντας και τον τρόπο υπέρβασης μεταξύ αυτού και των άλλων τρένων, σύμφωνα με την κατηγορία προτεραιότητας ενός εκάστου.

Το υπολογιστικό σύστημα με βάση πραγματικά δεδομένα κυκλοφορίας των τρένων αλλά και μεταβαλλόμενων συνθηκών στην γραμμή, ανανεώνει και τροποποιεί αυτομάτως, την κυκλοφορία των συρμών.

Στον ρυθμιστή παρέχεται η δυνατότητα να παρέμβει και να πάρει αποφάσεις διαφορετικές από τις υποδεικνύμενες από το σύστημα.



Εικόνα 45: Εικόνα από το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας σιδηροδρόμων στην Ιταλία

Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις Κεντρικού Ελέγχου Κυκλοφορίας (CTC), ο μεγάλος πανοραμικός πίνακας ελέγχου διατηρείται εν γένει, αλλά οι ρυθμιστές είναι εφοδιασμένοι με έγχρωμες οθόνες, που παρουσιάζουν σε μεγαλύτερη κλίμακα

την κίνηση του δρομέα (cursor) στην οθόνη με τη βοήθεια light-pencil ή tracker-ball αρκεί για τον προσδιορισμό της διαδρομής που πρέπει να μεταβληθεί. Εναλλακτικά, οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιούν αλφαριθμητικά πληκτρολόγια, στα οποία εισάγουν τους κωδικούς των νέων διαδρομών. (εικόνα 45)

Επειδή στις ΗΠΑ τα τμήματα αποκλεισμού έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος από ότι στην Ευρώπη, έλεγχος της κίνησης και της σηματοδότησης των συρμών και του συστήματος είναι αρκετά δυσκολότερη σε σχέση με τα Ευρωπαϊκά συστήματα.

Για να ξεπεράσουν το πρόβλημα αυτό, οι μεγάλες σιδηροδρομικές επιχειρήσεις των ΗΠΑ και του Καναδά συνεργάστηκαν στη διάρκεια τη δεκαετίας του 1980, για την εκπόνηση και εφαρμογή ενός Ανεπτυγμένου Συστήματος Ελέγχου των Συρμών (*Advanced Train Control System - ATCS*), που θα αξιοποιούσε τις δυνατότητες της τεχνολογίας της μικροηλεκτρονικής και των επικοινωνιών. Στην πλήρη εφαρμογή του *ATCS*, τα τρένα στέλνουν συνεχώς και αυτομάτως στο κέντρο ελέγχου την ακριβή θέση και ταχύτητά τους, οι οποίες προσδιορίζονται από την ανάγνωση ενός σαρωτή (scanner) επί του τρένου των πληροφοριών που εκπέμπουν ραδιοφάροι της γραμμής.

Όπως φαίνεται και είναι κατανοητό η σηματοδότηση, ο έλεγχος λειτουργίας των αλλαγών και η ρύθμιση της κυκλοφορίας των συρμών είναι αλληλένδετα με την ηλεκτροκίνηση του σιδηροδρομικού συστήματος και ταυτόχρονα αρκετά πολύπλοκα. Η τεχνολογική πρόοδος που έχει αναπτυχθεί στα υπολογιστικά συστήματα, έχει κάνει την ζωή ευκολότερη των ελεγκτών κυκλοφορίας των σιδηροδρόμων αλλά πολλοί παράμετροι εξαρτώνται από τον παράγοντα άνθρωπο.

Με αυτή την παράγραφο ολοκληρώνεται η αναφορά στην ηλεκτροκίνηση των σιδηροδρόμων και των συστημάτων τους καθώς επίσης και στα ηλεκτρονικά ισχύος που διέπουν την λειτουργία των ηλεκτραμαξών.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει εκτενής αναφορά στα τρένα που κινούνται με μαγνητική αιώρηση (Maglev) καθώς επίσης και στο αστικό κατά κύριο λόγο σιδηροδρομικό σύστημα Monorail.

Κεφάλαιο 7^ο – Τραίνα μαγνητικής αιώρησης (MAGLEV)

7.1 Εισαγωγή

Τα τρένα μαγνητικής αιώρησης είναι τρένα υπερσύγχρονης τεχνολογίας που κινούνται αιωρούμενα με την βοήθεια μαγνητικών πεδίων, με πολύ υψηλές ταχύτητες που κυμαίνονται από 400-500 km/hr, υψωμένα πάνω από τις ράγες.

Οι έρευνες για την ανάπτυξη του μαγνητικού τρένου άρχισαν στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και συνεχίστηκαν κατά τις επόμενες δεκαετίες στην Ευρώπη, την Ιαπωνία και τις ΗΠΑ. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 έχουν επικρατήσει δύο κύριες παραλλαγές του που βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, τη δημιουργία ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου που ανυψώνει και προωθεί το τρένο, και διαφέρουν στο σχεδιασμό και στις διατάξεις που δημιουργούν το πεδίο. Η κίνηση του τρένου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια γραμμικού επαγωγικού κινητήρα, ενός τύπου ηλεκτροκινητήρα σε εξελισσόμενο στάδιο που παράγει ένα οδεύον μαγνητικό πεδίο.

Η πρώτη παραλλαγή (ηλεκτρομαγνητική αιώρηση) αναπτύχθηκε στη Γερμανία από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Το γερμανικό μαγνητικό τρένο Transrapid είναι διαμορφωμένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να περιβάλλει τη σιδηροτροχιά και φέρει στο κάτω μέρος του μόνιμους μαγνήτες. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται ανυψώνει το τρένο 1 εκατοστό περίπου πάνω από τη σιδηροτροχιά, που είναι συνήθως κατασκευασμένη από σίδηρο και μπετόν, σε σχήμα T και φτάνει σε ύψος περίπου 5 μέτρων. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 το Transrapid δοκιμάστηκε σε μια πειραματική διαδρομή μήκους 31,5 χλμ. στο Λατέν (Εμσλαντ) της Γερμανίας και το 1989 έφτασε την ταχύτητα των 435 χλμ./ώρα. Η δεύτερη παραλλαγή (ηλεκτροδυναμική αιώρηση) αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία. Το ιαπωνικό μαγνητικό τρένο Maglev (magneticlevitation) φέρει υπεραγωγίμους μαγνήτες από κράματα νιοβίου-τιτανίου και νιοβίου-κασσιτέρου που ψύχονται με υγρό ήλιο. Κατά μήκος της σιδηροτροχιάς, που έχει συνήθως σχήμα U, στη βάση και στα πλάγια υπάρχουν πηνία που δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που απωθεί τους υπεραγωγίμους μαγνήτες και ανυψώνει το τρένο 10 έως 15 εκατοστά.

Για ταχύτητες έως και 100 χλμ. το τρένο χρησιμοποιεί συμβατικούς ελαστικούς τροχούς, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες ανυψώνεται.

Το Transrapid απαιτεί συνεχή ρύθμιση της σιδηροτροχιάς με υπολογιστές, καθώς κινείται πάνω από τη σιδηροτροχιά, σε μικρή απόσταση από αυτή και υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να τη χτυπήσει. Αντίθετα το Maglev, χάρη στους υπεραγωγίσιμους μαγνήτες που παρέχουν ισχυρότερα μαγνητικά πεδία, εξασφαλίζει μεγάλη απόσταση από την τροχιά, έτσι ώστε να αποκλείεται ο κίνδυνος σύγκρουσης με την τροχιά, ακόμη και στην περίπτωση μετακίνησης της λόγω σεισμού. Επιπλέον, είναι σταθερότερο και δεν απαιτεί συνεχείς ρυθμίσεις, λόγω όμως των υπεραγωγίσιμων μαγνητών παρουσιάζει υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, καθώς και πολύ υψηλή μαγνητική ροή στο εσωτερικό του που υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια και μπορεί να επηρεάσει ηλεκτρονικές συσκευές.

Τα μαγνητικά τρένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλές ταχύτητες (μικρότερες από 100 χλμ./ώρα) για μικρές αποστάσεις σε αστικές περιοχές, σύνδεση πόλεων με αεροδρόμια, λιμάνια κ.λπ. Τέτοια περίπτωση αποτελεί το μαγνητικό τρένο του Μπέρμινχαμ της Αγγλίας, που από το 1984 συνδέει το σταθμό με το αεροδρόμιο της πόλης. Ωστόσο, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα μαγνητικά τρένα υψηλής ταχύτητας για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Το 1994 αποφασίστηκε η κατασκευή τροχιάς 284 χλμ. για την εισαγωγή μαγνητικού τρένου για τη σύνδεση του Αμβούργου με το Βερολίνο.

Ο Μίχαλος(2010) αναφέρει πως το 1994 αποφασίστηκε η προώθηση σχεδίου ανάπτυξης υπόγειων μαγνητικών τρένων στην Ελβετία, μια κατεξοχήν ορεινή χώρα, με το σκεπτικό ότι με τους υπόγειους συρμούς δεν θα επιβαρυνθεί το περιβάλλον από επίγειες κατασκευές και ρύπους. Τα αρχικά σχέδια προβλέπουν την κατασκευή διπλών σηράγγων διαμέτρου 5 μέτρων και μήκους εκατοντάδων χιλιομέτρων, που θα συνδέουν τη Γενεύη (νοτιοδυτικά) με το Σαιντ Γκάλεν (βορειοανατολικά) και τη Βασιλεία (βορειοδυτικά) με τη Μελνζόν (νοτιοανατολικά).

7.2 Τεχνολογία MAGLEV

Η τεχνολογία Maglev είναι ένα σύστημα μεταφοράς που καθοδηγεί και ωθεί τα τρένα με την χρήση μαγνητικής αιώρησης από ένα πολύ μεγάλο αριθμό μαγνητών που βοηθάνε στην ανύψωση και την πρόωση των τρένων. Άλλωστε ο όρος Maglev προέρχεται από τις λέξεις magnetic elevation, δηλαδή μαγνητική αιώρηση. Η μέθοδος της μαγνητικής αιώρησης όπως αναφέρουν και οι Wong,et.all(2013) έχει την δυνατότητα να είναι πιο γρήγορη, πιο αθόρυβη και πιο ομαλή σε σχέση με τους συμβατικούς σιδηρόδρομους. Η δύναμη που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η μαγνητική αιώρηση συνήθως δεν είναι μεγάλη σε σχέση με το ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται από ένα σιδηροδρομικό σύστημα. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται από ένα σιδηροδρομικό σύστημα χρησιμοποιείται για να ξεπεραστεί η έλξη του αέρα όπως συμβαίνει με όλα τα συστήματα στα τρένα υψηλής ταχύτητας.



Εικόνα 46: Τρένο Maglev

Η τεχνολογία maglev έχουν ελάχιστη αλληλεπικάλυψη με την συμβατική τεχνολογία των τρένων και δεν είναι συμβατή με τις κοινές σιδηροτροχιές. Έτσι λοιπόν, επειδή δεν μπορούν να μοιραστούν τις ίδιες υποδομές, τα συστήματα maglev, σχεδιάζονται ξεχωριστά με δικά τους συστήματα υποδομής. Το σύστημα Applied Levitation SPM είναι διαλειτουργικό με τις συμβατικές σιδηροτροχιές και επιτρέπει σε οχήματα maglev και συμβατικά τρένα να λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια τροχιά.

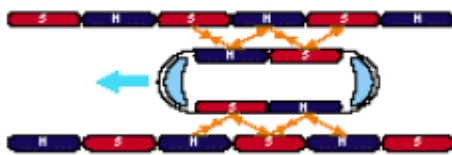
Υπάρχει δύο κύριοι τύποι των τρένων της μαγνητικής μετεώρισης:

1. **Ο ηλεκτροδυναμικός τύπος της ανύψωσης** (ή EDS), που χρησιμοποιεί μαγνήτες υπεραγωγούς. Supraconductrices μπομπίνες τοποθετούνται μέσα στο τρένο και οι ηλεκτρομαγνήτες τοποθετούνται κατά μήκος της τροχιάς. Ενώ το τρένο κινείται, ένα ρεύμα προκαλείται μέσα στους ηλεκτρομαγνήτες .
2. **Ο τύπος ηλεκτρομαγνητική ανύψωση** (ή EMS), που χρησιμοποιεί τους κλασικούς ηλεκτρομαγνήτες . Η Ηλεκτρομαγνητική δύναμη είναι εδώ πολύ αδύνατη, σε πολλές περιπτώσεις μηδενική

7.3 Ηλεκτρομαγνητική αιώρηση

Στην ηλεκτρομαγνητική αιώρηση είναι εγκατεστημένα σε πλαϊνά τοιχώματα της υποδομής τα πηνία αιώρησης, όπως αυτά φαίνονται στην εικόνα 49. Όταν το τρένο περνά πάνω από τα πηνία αιώρησης, με τους υπεραγωγίμους μαγνήτες που διαθέτει και κινούμενο σε πολύ υψηλές ταχύτητες, το ηλεκτρικό ρεύμα περνά μέσα από αυτά τα πηνία και το ηλεκτρικό ρεύμα τα μετατρέπει σε ηλεκτρομαγνήτες.

Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται δυνάμεις που ωθούν τον υπεραγωγίμο μαγνήτη προς τα κάτω, κάνοντας το τρένο maglev να αιωρηθεί. Οι Wong,et.all(2013) σημειώνουν πως ανάμεσα στους μαγνήτες δημιουργείται μια δύναμη απώθησης και μια ελκτική δύναμη που κάνουν την ώθηση δυνατή την ώθηση του συρμού. Τα πηνία πρόωσης, όπως αυτό της εικόνας 47, τροφοδοτούνται με τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα, δημιουργώντας έτσι το μαγνητικό πεδίο κατά μήκος της γραμμής. Οι υπεραγωγίμοι μαγνήτες που βρίσκονται πάνω στον συρμό, απωθούνται και έλκονται από το μαγνητικό πεδίο δημιουργώντας την αιώρηση και την ώθηση της αμαξοστοιχίας.



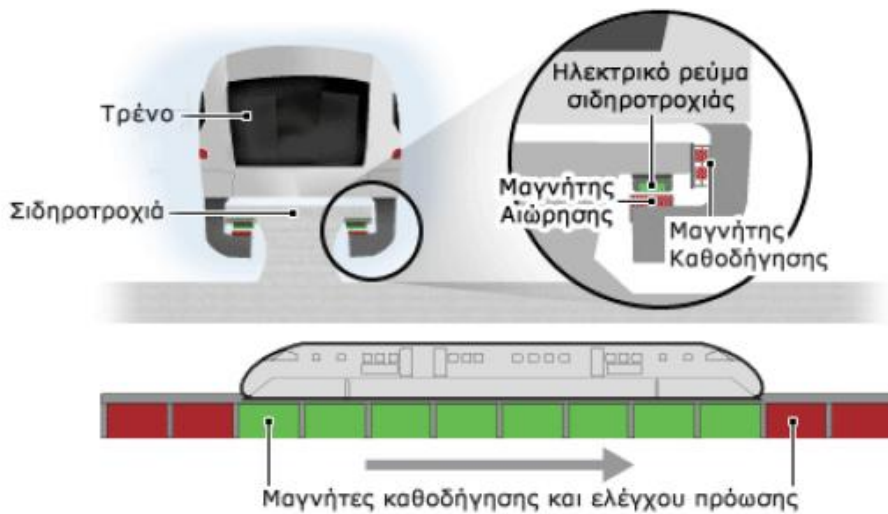
Εικόνα 47: Μαγνητικά πηνία που τοποθετούνται στα τοιχώματα

Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρομαγνητικής αιώρησης (EMS), το τρένο αιωρείται πάνω από τις σιδηροτροχιές, ενώ ηλεκτρομαγνήτες, που είναι συνδεδεμένοι με το τρένο, είναι προσανατολισμένοι προς τη σιδηροτροχιά που βρίσκεται κάτω από την αμαξοστοιχία. Το σύστημα είναι συνήθως τοποθετημένο σε μια σειρά βραχιόνων που σχηματίζουν ένα C, με το πάνω μέρος του βραχίονα να βρίσκεται προς το όχημα και το κάτω άκρο μέσα όπου περιέχει τους μαγνήτες. Η σιδηροδρομική γραμμή βρίσκεται μεταξύ του άνω και του κάτω άκρου του βραχίονα της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 48: Σύστημα βραχιόνων τύπου C

Η σχηματική αναπαράσταση της ηλεκτρομαγνητικής πρόωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 49.



Εικόνα 49: Σύγχρονο σύστημα ηλεκτρομαγνητικής αιώρησης.

Η μαγνητική έλξη είναι ανάλογη με την απόσταση εις την τρίτη. Έτσι λοιπόν, μικρές αλλαγές στην απόσταση μεταξύ των μαγνητών και των σιδηροδρομικών γραμμών παράγουν πολύ διαφορετικές δυνάμεις. Οι αλλαγές αυτές στις δυνάμεις είναι ασταθής με αποτέλεσμα εάν υπάρξει έστω και μια μικρή απόκλιση από την τυπική θέση, η τάση αυτή θα υποχρεώσει τα συστήματα ανατροφοδότησης να διατηρήσουν το τρένο σε σταθερή απόσταση από την γραμμή. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτρομαγνητικής αιώρησης είναι ότι δουλεύει με όλες τις ταχύτητες σε αντίθεση με τα ηλεκτροδυναμικά συστήματα που για να λειτουργήσουν χρειάζονται την ελάχιστη ταχύτητα των 30 km/hr. Αυτή η ιδιότητα απλοποιεί κατά κάποιο τρόπο την διάταξη των γραμμών, αλλά η δυναμική αστάθεια του συστήματος δημιουργεί απαιτήσεις για σιδηροτροχιές πολύ υψηλών ανοχών.

7.4 Ηλεκτροδυναμική αιώρηση

Στην κίνηση του τρένου Maglev με ηλεκτροδυναμική αιώρηση, η σιδηροτροχιά και το ίδιο το τρένο ασκούν από ένα μαγνητικό πεδίο. Η αποθητική δύναμη του μαγνητικού πεδίου του συρμού και του μαγνητικού πεδίου της σιδηροτροχιάς είναι αυτή που κινεί το τρένο.

Ο συρμός παράγει το μαγνητικό του πεδίο είτε από μια σειρά μόνιμων μαγνητών είτε από μια σειρά από ηλεκτρομαγνήτες. Μέσα στις ράγες είναι τοποθετημένα καλώδια ή άλλες αγώγιμες λωρίδες οι οποίες προκαλούν την απωθητική δύναμη στην σιδηροτροχιά μέσω του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του απωθητικών συστημάτων Maglev είναι ότι είναι φυσικά σταθερά και σε περίπτωση που μικρύνει η απόσταση μεταξύ της γραμμής και των μαγνητών δημιουργούνται ισχυρές δυνάμεις για την απόθεση των μαγνητών πίσω στην αρχική τους θέση, ενώ μια μικρή αύξηση στην απόσταση μειώνει σημαντικά τη δύναμη και πάλι επιστρέφει το όχημα στην σωστή απόσταση.

Το μειονέκτημα όμως των απωθητικών συστημάτων είναι ότι στις χαμηλές ταχύτητες, το ρεύμα που αναπτύσσεται στα πηνία και η μαγνητική ροή που ακολουθεί δεν είναι αρκετά μεγάλη για να στηρίξει το βάρος της αμαξοστοιχίας. Το μειονέκτημα αυτό υπερκαλύπτεται με την τοποθέτηση τροχών στην αμαξοστοιχία οι οποίοι στηρίζουν τον συρμό μέχρι αυτός να φτάσει στην επιθυμητή ταχύτητα η οποία μπορεί να στηρίξει την αιώρηση.

Το απωθητικό σύστημα δημιουργεί ένα φυσικό πεδίο μπροστά και πίσω από τους μαγνήτες άνωσης, οι οποίοι είναι αντίθετοι από τους μαγνήτες και δημιουργούν μια μορφή έλξης.

Αυτή η οπισθέλκουσα δύναμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος του ηλεκτροδυναμικού συστήματος, εντούτοις, δεδομένου ότι δημιουργεί μια ισχύ στις σιδηροτροχιές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα αντιδραστικό σύστημα οδήγησης της αμαξοστοιχίας, χωρίς την ανάγκη για μια ξεχωριστή πλάκα αντίδρασης, όπως στα περισσότερα συστήματα γραμμικού κινητήρα.

Εναλλακτικά, τα πηνία πρόωσης που βρίσκονται πάνω στο τρένο, χρησιμοποιούνται για να ασκήσουν δύναμη στους μαγνήτες και να κινήσουν την αμαξοστοιχία προς τα εμπρός. Τα πηνία πρόωσης, τα οποία ασκούν δύναμη επί της αμαξοστοιχίας μπορούν να χαρακτηριστούν και ως ένας γραμμικός κινητήρας.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα που διαρρέει τα πηνία δημιουργεί ένα συνεχές μαγνητικό πεδίο που κινείται προς τα εμπρός κατά μήκος της γραμμής. Η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι συγχρονισμένη να ταιριάζει με την ταχύτητα του τρένου. Η αντιστάθμιση μεταξύ του τομέα που ασκείται από τους μαγνήτες του τρένου και το εφαρμοσμένο πεδίο των γραμμών δημιουργεί μια κινητήρια δύναμη της αμαξοστοιχίας προς τα εμπρός.

7.5 Πρόωση και σταθερότητα

Ένα σύστημα ηλεκτροδυναμικής αιώρησης μπορεί να παρέχει, μέσω ενός γραμμικού κινητήρα επί του συρμού τόσο αιώρηση όσο και προώθηση. Τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα μπορούν να αιωρήσουν το τρένο με τους μαγνήτες που υπάρχουν επί του συρμού αλλά δεν μπορούν να ωθήσουν τον συρμό προς τα εμπρός. Για αυτό τον λόγο προκειμένου να επιτευχθεί η πρόωση του συρμού τοποθετείται ένας γραμμικός κινητήρας στις σιδηροτροχιές. Για την επίτευξη της σταθερότητας του συρμού ένας συνδυασμός στατικών μαγνητών μπορεί να συνυπάρχει σε σταθερή ισορροπία. Τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα βασίζονται στην ενεργή ηλεκτρονική σταθεροποίηση του συρμού. Τα εν λόγω συστήματα μετρούν συνεχώς την απόσταση του τρένου από την σιδηροτροχιά και προσαρμόζουν το ρεύμα του ηλεκτρομαγνητισμού αναλόγως.

7.6 Καθοδήγηση

Για την καθοδήγηση του συρμού στα τρένα Maglev χρησιμοποιείται το σύστημα NullFlux ή αλλιώς NullCurrent. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ένα πηνίο το οποίο τυλίγεται έτσι ώστε να δημιουργεί 2 αντίθετα εναλλασσόμενα πεδία. Με αυτό τον τρόπο όταν ο συρμός κινείται σε ευθεία θέση δεν διαρρέεται ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά όταν ο συρμός κινείται εκτός γραμμής τότε δημιουργείται μια μεταβαλλόμενη ροή η οποία δημιουργεί ένα πεδίο που σπρώχνει το τρένο πίσω στην γραμμή και το καθοδηγεί.

7.7 Σύγκριση μεταξύ των διάφορων συστημάτων Maglev

Κάθε εφαρμογή της μαγνητικής αιώρησης περιλαμβάνει διαφορές καθώς επίσης και μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα.

Παρακάτω θα αναλυθούν και θα παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διάφορων τεχνολογιών Maglev.

7.7.1 Ηλεκτρομαγνητική αιώρηση (EMS)

Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρομαγνητικής αιώρησης είναι πως τα μαγνητικά πεδία τα οποία βρίσκονται μέσα και έξω από το όχημα είναι λιγότερα σε σχέση με τα πεδία που βρίσκονται στην ηλεκτροδυναμική αιώρηση, ενώ το συγκεκριμένο σύστημα είναι ένα σύστημα που είναι αρκετά γρήγορο καθώς η ταχύτητα του συρμού ξεπερνά τα 500 km/hr. Επιπροσθέτως δεν απαιτούνται τροχοί ή κάποιο δευτερεύον σύστημα πρόωσης. Τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου συστήματος είναι πως η σιδηροτροχιά και το όχημα θα πρέπει να παρακολουθούνται από ηλεκτρονικό υπολογιστή και να διορθώνονται για την αποφυγή ατυχημάτων εξαιτίας της ασταθής φύσης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Επιπροσθέτως εγκαθίστανται εξωτερικά συστήματα διόρθωσης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αναταράξεις στην αμαξοστοιχία.

7.7.2 Ηλεκτροδυναμική αιώρηση (EDS)

Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροδυναμικής αιώρησης είναι ότι οι μαγνήτες επί του οχήματος και η μεγάλη απόσταση που έχουν αυτοί από την σιδηροτροχιά και το ίδιο το τρένο δίνουν την δυνατότητα για ανάπτυξη υψηλότερης ταχύτητας. Το μεγάλο μειονέκτημα του εν λόγω συστήματος είναι πως τα ισχυρά μαγνητικά πεδία κάνουν το τρένο, επί της ουσίας μη προσβάσιμο καθώς οι επιβάτες δεν θα πρέπει να μεταφέρουν μαγνητικά αντικείμενα όπως αποθηκευτικά μέσα δεδομένων και πιστωτικές κάρτες, καθώς αυτές θα αχρηστεύονται εξαιτίας των ισχυρών μαγνητικών πεδίων. Επιπροσθέτως στις χαμηλές ταχύτητες θα πρέπει να υπάρχει ένα υποβοηθητικό σύστημα το οποίο να υποβοηθάει τον συρμό για την πρόωση.

7.8 Σύγκριση με τα συμβατικά τρένα

Τα τρένα μαγνητικής αιώρησης όπως είναι τα Maglev πλεονεκτούν σε πολλά σημεία έναντι των συμβατικών τρένων αλλά έχουν και αρκετά μειονεκτήματα και

αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο έχουν αναπτυχθεί σε λίγες χώρες όπως είναι η Ιαπωνία ή η Γαλλία. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Maglev είναι πως αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες και μειώνουν τους χρόνους διαδρομής. Επιπροσθέτως επιταχύνουν και φρενάρουν γρηγορότερα και πιο ομαλά ενώ κινούνται χωρίς προβλήματα σε δύσκολες καιρικές συνθήκες όπως χιόνι και βροχή και δεν επηρεάζονται από τις ανωφέρειες.

Επιπροσθέτως σε σύγκριση με τα συμβατικά τρένα, τα τρένα μαγνητικής αιώρησης προκαλούν λιγότερο θόρυβο, παρουσιάζουν αρκετά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά τρένα και τα αεροπλάνα ενώ είναι και φιλικά προς το περιβάλλον καθώς η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας δεν προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος. Η ενεργειακή απόδοση των τρένων μαγνητικής αιώρησης είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της απουσίας της αντίστασης κύλισης.

Στα μειονεκτήματα των τρένων μαγνητικής αιώρησης σε σχέση με τα συμβατικά τρένα και την ηλεκτροκίνηση είναι η μη συμβατότητα με τις υφιστάμενες σιδηροτροχιές των ηλεκτρικών τρένων. Αυτό σημαίνει κατασκευή εξολοκλήρου ολόκληρης της υποδομής για την λειτουργία των Maglev και άρα πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής.

Συγκριτικά λοιπόν:

- Ένα σύστημα MAGLEV θα καταναλίσκει περίπου 300Wh/επιβάτη/χιλιόμετρο (για μέση ταχύτητα 300km/h).
- Ένα συμβατικό ηλεκτροκίνητο τρένο 160Wh/επιβατοχιλιόμετρο (για μέση ταχύτητα 250km/h).
- Ένα κοινό επιβατικό τετραθέσιο αυτοκίνητο για ταχύτητα 130km/h ξοδεύει 350Wh/επιβατοχιλιόμετρο.
- Και ένα αεροπλάνο 400-600Wh/επιβατοχιλιόμετρο για ταχύτητες 900km/h. Ας σημειωθεί όμως ότι τα ενεργειακά λειτουργικά έξοδα δεν θα υπερβαίνουν το 10% του κόστους λειτουργίας για το MAGLEV.
- Το MAGLEV χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια δεν εξαρτάται από υγρά καύσιμα (πετρέλαιο).
- Το MAGLEV κινείται χωρίς τις ανεπιθύμητες ταλαντώσεις που δημιουργούν οι τροχοί σε υψηλές ταχύτητες.

- Το MAGLEV κινείται σχεδόν αθόρυβα με μόνο τον ήχο του οχήματος που διασχίζει τον αέρα.
- Η συντήρησή του είναι πολύ εύκολη και γίνεται σε αραιά διαστήματα αφού το μόνο κινητό τμήμα είναι το ίδιο το όχημα και η τροχιά δεν φθείρεται αφού δεν έρχεται σε επαφή μαζί της.
- Το φορτίο του τρένου κατανέμεται ομοιόμορφα εξαιτίας της ανάρτησης με ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, έτσι το σύστημα γίνεται πολύ ελαφρότερο απ' ό,τι υπάρχει στην περίπτωση στήριξης σε τροχούς.
- Η ακτίνα στροφής μπορεί να γίνει μικρότερη (ευκολότερη δηλαδή χάραξη τροχιάς) επειδή στις στροφές δεν βασιζόμαστε στην πρόσφυση των τροχιών, φθάνοντας τα 2,5 km.
- Η πέδηση συνδυασμός ηλεκτρομαγνητικής και μηχανικής είναι ταχύτερη, ασφαλέστερη και με δυνατότητες αναγέννησης της ισχύος πέδησης.
- Το ουσιώδες μειονέκτημα των MAGLEV είναι η απαιτούμενη πολύ μεγαλύτερη επένδυση ανά Km γραμμής έναντι των συμβατικών τραίνων.
- Αυτό αν συνδυαστεί με το γεγονός ότι τα TGV (συμβατικά τρέινα μεγάλων ταχυτήτων) ήδη έχουν ξεπεράσει το όριο των 500 Km καθιστούν την επιλογή των MAGLEV σε υπέργειες διαδρομές μη ανταγωνιστική. Εν τούτοις για υπόγειες διαδρομές μέσα σε τούνελ χαμηλής πίεσης (βλέπε SwissMetro π.χ.) η χρήση MAGLEV είναι αναγκαία.

7.9 Μεταφορικό Σύστημα Monorail

Το μεταφορικό σιδηροδρομικό σύστημα Monorail είναι ένα μέσο σταθερής τροχιάς κυρίως αστικού τύπου. Χρησιμοποιείται μέσα σε λιμάνια και υποδομές καθώς επίσης και σε θεματικά πάρκα. Το Monorail είναι μέσο σταθερής τροχιάς το οποίο είναι υπερυψωμένο και είναι ιδανικό για πυκνοκατοικημένες περιοχές. Το μέσο είναι ηλεκτροκίνητο και έχει χαμηλό κόστος κατασκευής επειδή κατασκευάζεται μια μονή γραμμή ενώ είναι και αθόρυβο καθώς χρησιμοποιούνται ελαστικοί τροχοί. Επίσης είναι αρκετά φιλικό προς το περιβάλλον καθώς καταλαμβάνει μικρό χώρο και δεν έχει εκπομπές αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Εντάσσεται πολύ ομαλά στον αστικό ιστό και καταλαμβάνει πολύ λιγότερο χώρο από ότι το τράμ ενώ, όπως προαναφέρθηκε είναι αρκετά οικονομικότερο στην κατασκευής

Είναι ένα μέσο μεταφοράς «ελαφρού τύπου» και η τροφοδοσία του με ηλεκτρικό ρεύμα γίνεται από τρίτη ράγα στο πλάι της κύριας γραμμής.

Υπάρχουν δυο τύποι Monorail:

- Το Monorail το οποίο κρέμεται από την δοκό ανάρτησης (εικόνα 50)
- Το τυπικό Monorail που «αγκαλιάζει» την δοκό και κινείται πάνω σε αυτή (εικόνα 51)



Εικόνα 50: Monorail που κρέμεται



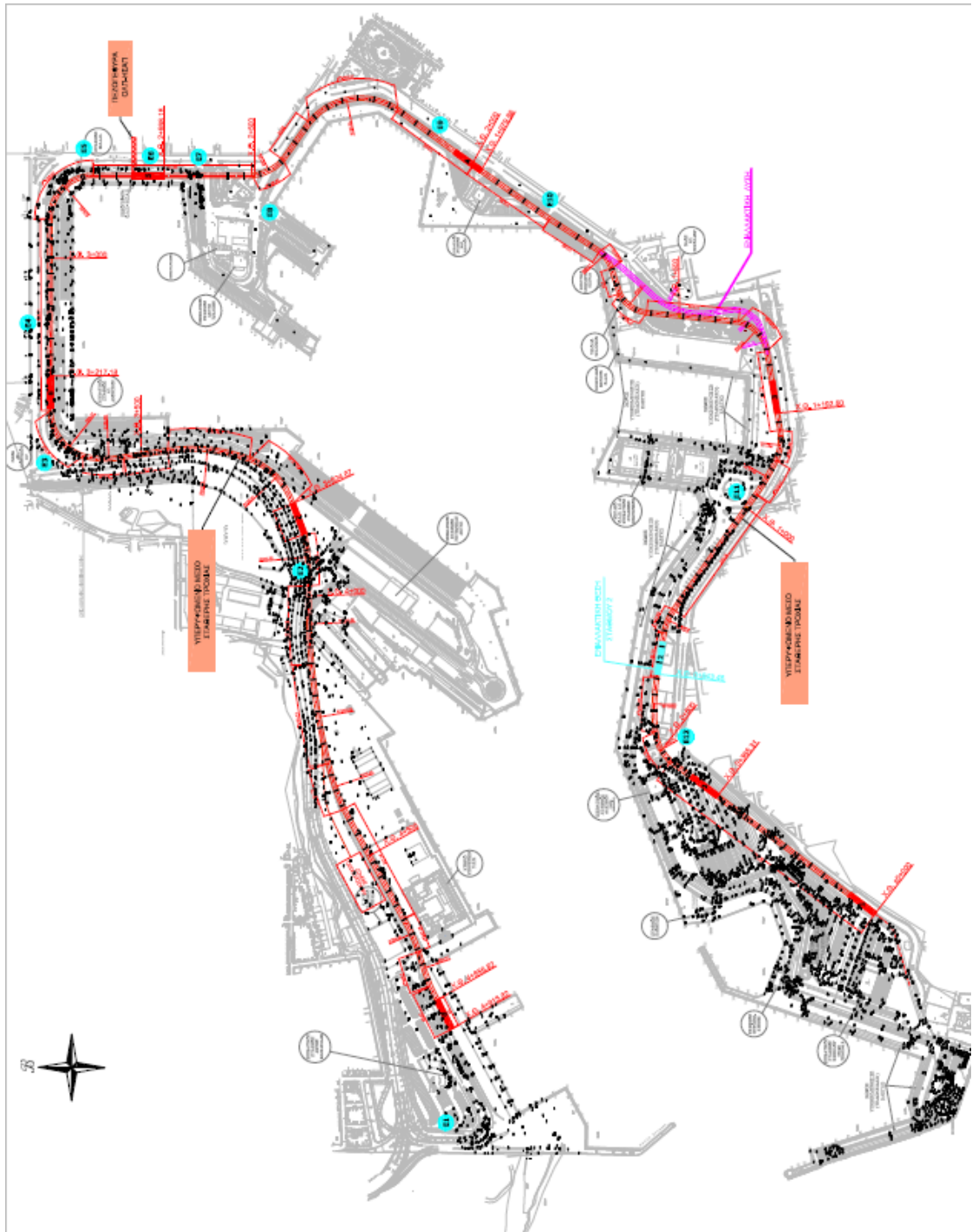
Εικόνα 51: Τυπικό Monorail

Όπως προαναφέρθηκε, το Monorail μπορεί να ενταχθεί στον αστικό ιστό πολύ ομαλά χωρίς να προκαλέσει εμπόδια στην κυκλοφορία και χωρίς να καταλαμβάνει πολύ χώρο. Στην εικόνα 52 φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα χωροθετημένο στην Μόσχα.



Εικόνα 52: Monorail στον αστικό ιστό της Μόσχας

Μια προσπάθεια εφαρμογής Monorail έγινε και στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στο λιμάνι του Πειραιά. Το σύστημα Monorail του λιμανιού του Πειραιά θα βασίζεται σε οχήματα τα οποία κινούνται πάνω σε γραμμή-οδηγό μορφής δοκού, γεγονός το οποίο εξασφαλίζει ευελιξία και μεγάλη μεταφορική ικανότητα. Η γραμμή θα είναι διπλή, με μήκος περί τα 5χλμ και θα κατασκευαστεί σε ύψος 5,80m, ούτως ώστε να μην εμπλέκεται η κίνηση του μέσου σταθερής τροχιάς με την κυκλοφορία των οχημάτων στις εισόδους- εξόδους του λιμένα. Στην πρώτη φάση του έργου προβλέπεται η κατασκευή 8 σταθμών, σε σημεία που θα εξυπηρετούν τόσο τους χρήστες των βασικών εγκαταστάσεων του κεντρικού λιμένα, όσο και τους κατοίκους των παρακείμενων περιοχών. Η συνολική μεταφορική ικανότητα του συστήματος θα ανέρχεται σε 2.000επιβ/ώρα/κατεύθυνση. Σε δεύτερη φάση προβλέπεται επέκταση του συστήματος στο νότιο τμήμα προς το νέο terminal κρουαζιερόπλοιων. Στην εικόνα 53 παρουσιάζεται ο χάρτης της διαδρομής του Monorail στο λιμάνι του Πειραιά.

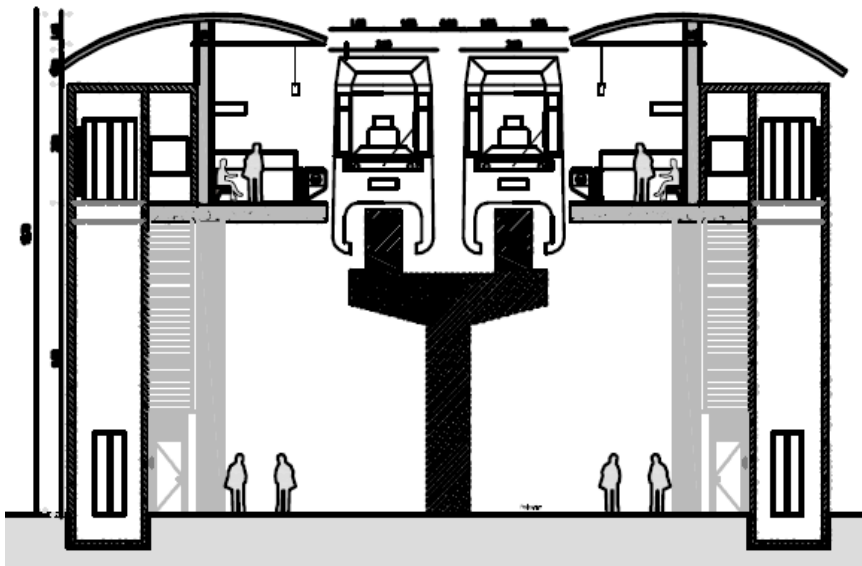


Εικόνα 53: Χάραξη υπερυψωμένου μέσου σταθερής τροχιάς Monorail στο λιμάνι του Πειραιά

Η γραμμή θα αποτελείται από προκατασκευασμένες δοκούς από σκυρόδεμα, χάλυβα ή και συνδυασμό των δύο υλικών μήκους περί τα 30 m, οι οποίες θα εδράζονται επί στύλων κατάλληλης διατομής.

Πάνω στην τροχιά θα εγκατασταθεί το σύστημα μετάδοσης ισχύος, για την κίνηση των οχημάτων. Η γραμμή θα είναι εξοπλισμένη με συστήματα σηματοδότησης-τηλε-διοίκησης που θα διασφαλίζουν την ασφαλή κυκλοφορία των συρμών. Για τη συντήρηση των οχημάτων, θα κατασκευαστεί κατάλληλα εξοπλισμένο μηχανοστάσιο σε χώρο του λιμένα.

Οι σταθμοί του συστήματος θα διαθέτουν υπερυψωμένες πλατφόρμες, για την αναμονή καθώς και την επιβίβαση και αποβίβαση από τα οχήματα. Η πρόσβαση στις πλατφόρμες θα γίνεται με κυλιόμενες κλίμακες και ανελκυστήρες. Στο ισόγειο επίπεδο θα υπάρχουν διατάξεις για την πώληση και τον έλεγχο των εισιτηρίων, καθώς και για την εξυπηρέτηση των επιβατών.



Εικόνα 54: Τυπική διατομή σταθμού Monorail στον Πειραιά

Τα οχήματα θα κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια, και θα είναι εξοπλισμένα με όλα τα συστήματα καθοδήγησης, προσανατολισμού, ελέγχου και υποστήριξης προσαρμοσμένα πάνω στα αντίστοιχα των γραμμών. Επιπλέον, θα διαθέτουν συστήματα τροχών που επιτρέπουν αθόρυβη λειτουργία και είναι εξοπλισμένα με καθίσματα που φιλοξενούν περίπου το 40% των επιβατών καθώς και θέσεις ΑΜΕΑ. Το κόστος του έργου, όπως προσδιορίστηκε από τα στοιχεία της τεχνικής προμελέτης, θα ανέρχεται στα 120.000.000€ και περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες δαπάνες για την κατασκευή της υπερυψωμένης γραμμής, των σταθμών, του Η/Μ εξοπλισμού καθώς και για την προμήθεια των οχημάτων του συστήματος

Κεφάλαιο 8^ο – Συμπεράσματα

Τα ηλεκτροκίνητα τρένα υπερέχουν έναντι των πετρελαιοκίνητων καθώς φτάνουν σε ταχύτητες που φτάνουν και ξεπερνούν τα 200 χλμ ενώ είναι φιλικά στο περιβάλλον καθώς δεν εκλύουν ρύπους στην ατμόσφαιρα. Στην Ελλάδα σε επίπεδο υπεραστικών δρομολογίων παρά το γεγονός πως υπάρχει εγκατεστημένη ηλεκτροκίνηση σε μεγάλο μέρος του δικτύου στο τμήμα Αθήνα-Θεσσαλονίκη δεν πραγματοποιούνται δρομολόγια με ηλεκτροκίνητα τρένα σε όλο το μήκος της.

Αυτό συμβαίνει καθώς η ηλεκτροκίνηση απουσιάζει από το ενδιάμεσο τμήμα της γραμμής Αθήνα-Θεσσαλονίκη (Τιθορέα-Δομοκός) και θα έπρεπε οι επιβάτες να περιμένουν να αλλάξει η ντιζελάμαξα με ηλεκτράμαξα στον σταθμό του Δομοκού. Αυτό συμβαίνει καθώς στο τμήμα Μενίδι (Αχαρνές) -Τιθορέα, έχει υποστεί ζημιές μετά τις εκτεταμένες κλοπές χαλκού και τους βανδαλισμούς στους υποσταθμούς του συγκεκριμένου τμήματος. Έτσι λοιπόν ηλεκτροκίνητα τρένα στην Ελλάδα κινούνται μόνο στον Προαστιακό Σιδηρόδρομο Θεσσαλονίκης στο τμήμα Θεσσαλονίκη-Λάρισα και στον Προαστιακό Σιδηρόδρομο Αθήνας στο τμήμα Κιάτο- Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος.

Στην ΕΕ ένας από τους μελλοντικούς σχεδιασμούς είναι η συγκοινωνιακή διασύνδεση των μεγάλων ευρωπαϊκών πόλεων με σιδηροδρόμους και αμαξοστοιχίες υψηλών ταχυτήτων. Ο στόχος αυτός προβλέπει την δυνατότητα των πολιτών να ταξιδεύουν γρηγορότερα μέσα στα σύνορα της ΕΕ. Ένας άλλος στόχος είναι οι ταξιδιώτες να μεταβαίνουν στους προορισμούς τους χωρίς ανταποκρίσεις και σε σύντομο χρόνο. Η προϋπόθεση γι' αυτό είναι, να κατασκευαστούν γραμμές υψηλών ταχυτήτων σε όλες τις χώρες και με τέτοιο σιδηροδρομικό δίκτυο που να συνδέουν τις μεγαλουπόλεις αφενός, και αφετέρου όλα τα τρένα υψηλών ταχυτήτων να μπορούν να κυκλοφορήσουν σε όλες τις γραμμές υψηλών ταχυτήτων.

Για την πραγματοποίηση όμως αυτού του στόχου θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τα υφιστάμενα προβλήματα όπως είναι η διαφορετική υποδομή των σιδηροδρομικών γραμμών της μεταφοράς ενέργειας για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών δικτύων των σιδηροδρομικών γραμμών και των συστημάτων προστασίας των τραίνων καθώς και των διαφορετικών συστημάτων σηματοδότησης.

Τα ηλεκτροκίνητα τρένα υψηλών ταχυτήτων θα πρέπει να έχουν κάποια χαρακτηριστικά προκειμένου να εξυπηρετήσουν αυτό το σχέδιο της ΕΕ. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- Να έχουν μέγιστο μήκος 400 μέτρα
- Να μπορούν να κινούνται και προς τις 2 κατευθύνσεις
- Το μέγιστο βάρος του συστήματος των τροχών να μην ξεπερνά τους 17 τόνους
- Το ύψος των βαγονιών να κυμαίνεται μεταξύ 550 και 760 mm
- Να μπορούν να κινηθούν με ταχύτητα τουλάχιστον 300 km/h
- Να μπορούν να κινούνται σε όλα τα ευρωπαϊκά συστήματα τροφοδοσίας ηλεκτρικών δικτύων για σιδηροδρόμους: 15 kV/16,7 Hz, 25 kV/50 Hz, 1,5 kV και 3 kV συνεχή τάση.
- Η ασφάλεια του τραίνου και τα συστήματα επικοινωνίας να πληρούν τις απαιτήσεις των ευρωπαϊκών δικτύων.

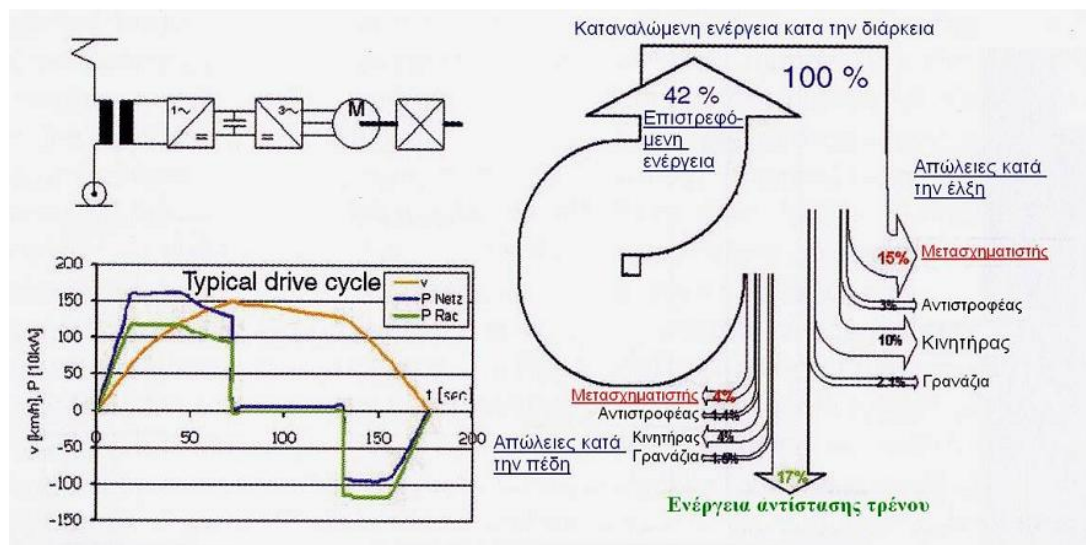
Από τις προαναφερόμενες προδιαγραφές γίνεται εύκολα κατανοητό πως οι ελληνικοί σιδηρόδρομοι θα πρέπει να εκσυγχρονιστούν σε ότι αφορά διάφορα ζητήματα όπως είναι η αντοχή καταπόνησης των σιδηροδρομικών γραμμών στις μεγάλες ταχύτητες, στα συστήματα επικοινωνιών, στην εγκατάσταση των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στα συστήματα σηματοδότησης.

Ήδη το συμβατικό αντικείμενο της ηλεκτροκίνησης από την Τιθορέα έως τον Δομοκό και από το ΣΚΑ έως την Τιθορέα έχει ανατεθεί σε εργολάβο και αναμένεται τα έργα να ολοκληρωθούν στα τέλη του 2016.

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στην έρευνα σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στους ηλεκτρικούς συρμούς. Στα πλαίσια αυτά έχει υπολογιστεί ο ενεργειακός ισολογισμός ενός συστήματος κίνησης μεσαίων αποστάσεων όπως π.χ. ο προαστιακός σιδηρόδρομος.

Σε μια τέτοια περίπτωση η επιστρεφόμενη ενέργεια είναι 42% που σημαίνει ότι το καθαρό ενεργειακό κόστος που καταναλίσκεται είναι 58%. Από το καθαρό ενεργειακό κόστος το 30% καταναλίσκεται στην αντίσταση κίνησης και το υπόλοιπο 70% στις απώλειες του συστήματος κίνησης. Ένα μεγάλο μέρος από αυτές τις απώλειες καταναλώνονται στο Μ/Σ . Οι περισσότερες ενεργειακές απώλειες εμφανίζονται κατά την εκκίνηση και κατά την πέδη όπου ο Μ/Σ υπερφορτίζεται.

Στην πρώτη γραμμή της έρευνας βρίσκεται η μείωση των απωλειών στους Μ/Σ με παράλληλη μείωση του βάρους τους.



Εικόνα 55: Ενεργειακός ισολογισμός συστήματος κίνησης

Σε ότι αφορά τα τρένα μαγνητικής αιώρησης Maglev, Η ανάπτυξη των μαγνητικών τρένων θεωρείται ότι θα συμβάλει στην αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους, καθώς και στη μείωση της εσωτερικής εναέριας κυκλοφορίας. Ανασχετικό παράγοντα, όμως, για την ευρεία διάδοση των μαγνητικών τρένων αποτελεί η μεγάλη δαπάνη που απαιτείται για τη δημιουργία εντελώς νέου σιδηροδρομικού δικτύου.

Για την υπέρβαση του υψηλού κόστους του νέου δικτύου, προωθείται στις ΗΠΑ η πειραματική ανάπτυξη ενός νέου τύπου τρένου, που είναι γνωστό ως Seraphim (SegmentedRailPhasedinductionMotor) και αποτελεί συνδυασμό μαγνητικής προώθησης και τροχών, διαφέρει δηλαδή από το καθεαυτού μαγνητικό τρένο στο ότι δεν ανυψώνεται, είναι όμως δυνατό να κινείται στις ήδη υπάρχουσες συμβατικές σιδηροτροχιές.

Οι τροχοί στην περίπτωση των τρένων τύπου Seraphim δεν χρησιμεύουν για την κίνηση του οχήματος, απλά το κατευθύνουν, έτσι ώστε η διαθέσιμη ισχύς από τα μαγνητικά πεδία να καταναλώνεται στην προώθηση.

Στο μέλλον θα μπορούσε να διερευνηθεί η προοπτική ανάπτυξης τρένων τύπου Maglev και στην Ελλάδα, ενώ μια πρόταση για μελλοντική διερεύνηση είναι η ηλεκτροκίνηση στο σιδηροδρομικό δίκτυο της Πελοποννήσου ή εξέταση της εφαρμογής του συστήματος Monorail στο λιμάνι του Πειραιά.

Στην Ελλάδα, της οικονομικής κρίσης, τα δρομολόγια έχουν ελαττωθεί πάρα πολύ και οι διαδρομές επίσης, καθιστώντας επί της ουσίας τους Ελληνικούς Σιδηρόδρομους να έχουν δρομολόγια στην γραμμή Αθήνας – Θεσσαλονίκης. Σημαντική ώθηση στο μεταφορικό έργο του ΟΣΕ έχει δώσει η λειτουργία της γραμμής Ν.Ικόνιο – Θριάσιο Πεδίο, όπου στο μέλλον θα μπορούσε να εξεταστεί η ηλεκτροκίνηση της γραμμής και τα πιθανά οφέλη από την κίνηση αυτή.

Βιβλιογραφία

- 1) Πρωτόπαππας Ι., Ηλεκτροκίνηση σιδηροδρομικών γραμμών, Παρουσίαση ΕΡΓΟΣΕ, Αθήνα, 2004
- 2) Ε.Μητρονίκας, Π.Ι.Παπαδόπουλος, Α.Ν.Σαφάκας, Π.Δ.Λαδακάκος, Μ.Γ.Ιωαννίδου, "Σύγχρονα Ηλεκτρονικά Στοιχεία και Διατάξεις Ισχύος για Βιομηχανική Χρήση", Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, 341, Ιούνιος 2001,
- 3) Μανιάς Σ., Βιομηχανικά ηλεκτρονικά, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2000
- 4) Τσούρτης Γ., Μελέτη κατασκευαστικής και λειτουργικής συμπεριφοράς του συστήματος ηλεκτροκίνητου σιδηρόδρομου– Ηλεκτροκίνηση των Ελληνικών τρένων – Δομή, Τροφοδοσία, Λειτουργία, εξομοίωση μέσω Η/Υ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2014
- 5) Μίχαλος Μ., Ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα τρένων, ΑΤΕΙ Καβάλας, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Καβάλα, 2010
- 6) Βαγδάτης Π., Αδαμίδης Γ., Συστήματα ηλεκτροκίνησης στην ηλεκτρική έλξη και εφαρμογή τους στην Ελλάδα, *Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές*, ΤΕΕ, Αθήνα, 2006
- 7) Ρετσίνας Χ., Τσακιρόπουλος Γ., Ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος σε σιδηροδρομικές εφαρμογές, Αθήνα, 2006
- 8) Κωστάκης Χ., Εφαρμογή των υψηλών τάσεων στην ηλεκτροκίνηση σιδηροδρομικών γραμμών του ΟΣΕ, ΑΠΘ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη, 2009
- 9) Παπαγεωργίου Χ., Ευθύγραμμοι κινητήρες, Σημειώσεις μαθήματος τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 2010
- 10) Svensson E., Definition and Description of Monorail, London, UK, 2007
- 11) Wong S., Khai V., Tang A., Mishra H., Adeye B., Maglev train for better transportation system, 2013

- 12) Stanescu A., Εγχειρίδιο ΟΣΕ σεμιναρίου εκπαίδευσης ρυθμιστών έλξης, Θεσσαλονίκη, 1999
- 13) Duffy, Michael C. Electric railways, 1880-1990.: The Institution of Engineering and Technology (IET), Stevenage, England ,2003
- 14) Haut, F.J.G. A History of the Electric Locomotive, Vol. 2: Railcars and the Industrial Locomotive. A.S. Barnes & Co., 1987