



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

«ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΞΗΣ»



Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής:

Σταύρος Καμινάρης, Αναπληρωτής Καθηγητής
Κρίτσας Θρασύβουλος – ΑΜ: 46931
Νικόλαος

ΑΙΓΑΛΕΩ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2018

Copyright © Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή της 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.



Με το τρένο δεν μεταφέρεσαι απλώς από ένα σημείο Α σ' ένα σημείο Β. Ζεις και απολαμβάνεις κάθε σημείο της διαδρομής. Βλέπεις τις αποχρώσεις που δημιουργούν η ώρα της ημέρας, η εποχή, ο καιρός, το τυχαίο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Σταύρο Καμινάρη κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής μου εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του, για την επίλυση διαφόρων θεμάτων που προέκυψαν κατά την εκπόνησή της εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τους εργαζόμενους της ΤΡΑΙΝΟΣΕ, ΕΕΣΣΤΥ ,ΕΡΓΟΣΕ ΚΑΙ ΟΣΕ ,οι οποίοι με βοήθησαν σε αρκετά τεχνικά και μη θέματα που αφορούν τον ελληνικό σιδηρόδρομο. Επίσης η βοήθεια τους ήταν πολύτιμη ακόμα και σε θέματα που αφορούσαν τον ευρωπαϊκό και παγκόσμιο σιδηρόδρομο. Επιπλέον, μου προσέφεραν μέσα από την διαδικτυακή τους εικονοθήκη διάφορες σιδηροδρομικές φωτογραφίες καθώς και υλικό για τον εμπλουτισμό της πτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν από την πρώτη στιγμή τις σπουδές μου με οποιονδήποτε τρόπο , φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και συναδέλφους μου για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 «Ελαφρά Επιβατική Αυτοκινητάμαξα (Railbus)».....	11
Εικόνα 2 «Τετραξονική Επιβατική Αυτοκινητάμαξα».....	11
Εικόνα 3 «Ντηζελάμαξα Alco».....	12
Εικόνα 4 «Βρετανική μονάδα Intercity Sparrow_».....	14
Εικόνα 5 «Ηλεκτράμαξα Hellasprinter του ΟΣΕ».....	16
Εικόνα 6 «Φορείο τρένου DUPLEX TGV, κατασκευής ALSTOM».....	25
Εικόνα 7 «Υποσταθμός έλξης».....	27
Εικόνα 8 «Υποσταθμός τροφοδοσίας έλξης 25kV- 50Hz».....	27
Εικόνα 9 «φέρρον καλώδιο».....	27
Εικόνα 10 « - ».....	28
Εικόνα 11 «Παντογράφος»	28
Εικόνα 12 «Αγωγός Επαφής».....	29
Εικόνα 13 «Ταινίες επαφής».....	29
Εικόνα 14 «Διαμόρφωση κυματομορφής πολικής φάσης στον PWR».....	30
Εικόνα 15 « - ».....	30
Εικόνα 16 «Σχηματική απόδοση επαφών τρίτης ράγας».....	31
Εικόνα 17 «παπούτσι άνω επαφής».....	32
Εικόνα 18 «EMU».....	34
Εικόνα 19 «Αντιστροφέας, κινητήρας, και σύστημα ελέγχου και οδήγησης».....	37
Εικόνα 20 «Σύμβολα GTO».....	55
Εικόνα 21 «Μετατροπέας έλξης των Ηλεκτραμαξών SIEMENS».....	56
Εικόνα 22 «Διάταξη του πεντάδουμου συρμού DESIRO SIEMENS».....	60
Εικόνα 23 «Ιαπωνικό τρένο τεχνολογίας Maglev».....	71

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 «Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα.....	14
Σχήμα 2 «κύματα εναλλασσομένου ρεύματος».....	15
Σχήμα 3 «τριφασικό εναλλασσόμενο AC ρεύμα».....	22
Σχήμα 4 «ηλεκτροκίνητο τρένο DESIRO».....	36
Σχήμα 5 «διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος τεσσάρων τεταρτημορίων».....	36
Σχήμα 6 «Αντιστροφείας με IGBT, κύκλωμα πέδης, κινητήρες».....	37
Σχήμα 7 «Κυματομορφές ροπής και διανύσματος ρεύματος».....	38
Σχήμα 8 «Διάταξη της Ηλεκτράμαξας SIEMENS».....	51
Σχήμα 9 «Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης για το ένα φορείο ηλεκτράμαξας SIEMENS».....	52
Σχήμα 10 «Κύριος Μετασχηματιστής Ηλεκτράμαξας SIEMENS».....	52
Σχήμα 11 «Αρχή λειτουργίας του 4QS»	57
Σχήμα 12 «Κυματομορφή τάσης και ρεύματος στο 4QS».....	57
Σχήμα 13 «Αρχή λειτουργίας του PWR μετασχηματιστή Ηλεκτράμαξων_η».....	59
Σχήμα 14 «Διαμόρφωση κυματομορφής πολικής φάσης στον PWR».....	59
Σχήμα 15 «Χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης και της αντίστασης κύλισης Ηλεκτράμαξας».....	60
Σχήμα 16 «Σύμβολο IGBT».....	61
Σχήμα 17 «Διάταξη 2 παράλληλων 4QS του μετατροπέα έλξης».....	62
Σχήμα 18 «Ενδιάμεσο κύκλωμα».....	63
Σχήμα 19 «Κύκλωμα προστασίας ενδιάμεσου κυκλώματος».....	63
Σχήμα 20 «Κύκλωμα PWR κινητηρίου οχήματος DESIRO».....	64
Σχήμα 21 «Χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης, της δύναμης ηλεκτρικής πέδησης και της αντίστασης κύλισης πεντάδymου συρμού DESIRO».....	65
Σχήμα 22 «Αρχή λειτουργίας της έλξης στις Δ/Η Adtranz».....	65
Σχήμα 23 «Μεταλλάκτης έλξης στις Δ/Η Adtranz».....	67
Σχήμα 24 «Χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης για τρεις περιπτώσεις συρμών με Δ/Η Adtranz».....	68

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 «Ιστορική αναδρομή»

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Η γένεση του σιδηροδρόμου.....	1
1.3 20ος Αιώνας.....	2
1.4 Ο σιδηρόδρομος σήμερα.....	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 «Σιδηροδρομική Έλξη»

2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Εισαγωγή στην Ατμοκίνητη Έλξη.....	3
2.3 Εισαγωγή στην Ντηζελοκίνητη Έλξη.....	5
2.4 Ηλεκτροκίνητη Έλξη.....	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 «ΝΤΗΖΕΛΟΚΙΝΗΤΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗ ΕΛΞΗ»

3.1 Η Ανάπτυξη της Ντηζελοκίνησης.....	9
3.1.1 Στοιχεία της Ντηζελάμαξας.....	10
3.1.2 Τύποι Ντηζελοκίνησης.....	11
3.2 Συστήματα Ηλεκτροκίνητης Έλξης.....	14
3.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτροκίνητης Έλξης.....	15
3.2.2 Τρόποι Τροφοδοσίας.....	17
3.2.3 Συστήματα Συνεχούς Ρεύματος.....	17
3.2.3.1 Η δίοδος.....	18
3.2.3.2 Το Thyristor.....	18
3.2.3.3 SEPEX.....	18
3.2.3.4 DC Choppers.....	19
3.2.3.5 Δυναμική πέδηση.....	20
3.2.3.6 Το GTO Thyristor.....	20
3.2.4 Συστήματα Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	20
3.2.4.1 Ηλεκτροκίνηση με Τριφασικούς Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	21

3.2.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτροκινητήρων Τριφασικού Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	21
3.2.4.3 IGBT.....	23
3.2.5 Τεχνολογικές Βελτιώσεις Συστημάτων Ηλεκτροκίνησης με Εναλλασσόμενο Ρεύμα Βιομηχανικής Συχνότητας.....	23
3.2.6 Διάταξη Ηλεκτροκινητήρων.....	25
3.2.7 Πολυρρευματικοί Συρμοί.....	25
3.2.8 Τεχνολογικές Εξελίξεις Εφαρμογής της Ηλεκτρονικής.....	26
3.2.9 Στοιχεία συστήματος ηλεκτροκίνησης (εναέρια γραμμή).....	27
3.2.10 Στοιχεία Συστήματος Ηλεκτροκίνησης (Τρίτη Σιδηροτροχιά).....	30
3.2.11 Σιδηροδρομικά κενά.....	32
3.2.11.1 Επιστροφή ηλεκτρικής ενέργειας.....	33
3.2.12 Ηλεκτροκίνητη αμαξοστοιχία.....	34
3.2.12.1 Ιστορία ηλεκτροκίνητης αμαξοστοιχίας.....	34
3.2.12.2 Είδη EMU.....	34
3.2.12.3 Ηλεκτράμαξες κατάλληλες για την Ελλάδα.....	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 «ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΡΕΝΩΝ»

4.1 Εισαγωγή.....	39
4.2 Ηλεκτροδότηση 25 kV/ 50 Hz.....	39
4.2.1 Ιστορία ηλεκτροδότησης.....	39
4.2.2 Μειονεκτήματα.....	41
4.2.3 Δίκτυα διανομής.....	41
4.2.4 Τυποποίηση.....	42
4.3 Υποσταθμοί τροφοδοσίας.....	42
4.3.1 Τμηματισμός της Γραμμής Επαφής.....	42
4.3.2 Τηλεδιοίκηση.....	43
4.3.3 Γραμμή επαφής.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 «Υβριδικά συστήματα»

5.1 Εισαγωγή.....	45
5.2 Υβριδικά συστήματα Dual – Mode.....	45
5.2.1 Το τραμ Regio Citadis.....	47

5.2.2 Το τραμ Citadis Dualis.....	47
5.3 Υβριδικά συστήματα με αποταμιευτές ενέργειας πέδησης.....	48
5.3.1 Σύστημα e-Brid.....	48
5.3.2 Σύστημα Primove.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ»	
6.1 Εισαγωγή.....	50
6.2 ΗΛΕΚΤΡΑΜΑΞΕΣ SIEMENS.....	51
6.2.1 Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης των ηλεκτραμαξών SIEMENS.....	51
6.2.2 Κύριος Μετασχηματιστής.....	52
6.2.3 Τεχνολογία των GTO (Gate Turn Off Thyristor).....	54
6.2.4 Μετατροπέας έλξης.....	55
6.2.5 Ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS.....	56
6.2.6 Ενδιάμεσο κύκλωμα και σύστημα προστασίας.....	57
6.2.7 Μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR).....	58
6.2.8 Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης.....	59
6.3 Πεντάδυμες Ηλεκτροκίνητες Αυτοκινητάμαξες DESIRO SIEMENS.....	60
6.3.1 Τεχνολογία IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	60
6.3.2 Μετατροπέας έλξης.....	61
6.3.3 Ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS.....	62
6.3.4 Ενδιάμεσο κύκλωμα και σύστημα προστασίας.....	62
6.3.5 Μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR).....	64
6.3.6 Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης.....	64
6.4 ΔΗΖΕΛΑΜΑΞΕΣ (Δ/Η) ADtranz (Αρχή λειτουργίας της έλξης στις Δ/Η ADtranz).....	65
6.4.1 Ανορθωτές.....	66
6.4.2 Μεταλλάκτης έλξης.....	67
6.4.3 Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 «Συμπεράσματα και μελλοντικές τάσεις – προοπτικές – σύγκριση με νέες τεχνολογίες»

7.1 Συμπεράσματα.....	69
7.2 μελλοντικές τάσεις – προοπτικές – σύγκριση με νέες Τεχνολογίες.....	71
Βιβλιογραφία.....	73

Περίληψη

Η εκπόνηση της Πτυχιακής μου Εργασίας πραγματεύεται γενικά τα σιδηροδρομικά συστήματα έλξης με ιδιαίτερη έμφαση σε εκείνα τα οποία τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην τροφοδοσία των ηλεκτρικών τρένων όπου αναλύεται η ιστορία της ηλεκτροδότησης από την αρχή της έως σήμερα καθώς και η διαδικασία μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ ως το τρένο. Για την κίνηση μιας ηλεκτροκίνητης αμαξοστοιχίας ή μιας ηλεκτράμαξας είναι απαραίτητη μια ηλεκτρολογική και μηχανολογική εγκατάσταση η οποία μεταφέρει ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ, την επεξεργάζεται στους υποσταθμούς, την μεταφέρει στο ηλεκτρικό δίκτυο έλξης, εκεί την συλλέγει και την επεξεργάζεται ένας εσωτερικός εξοπλισμός επί του σκάφους και την μετατρέπει σε κινητική ενέργεια μέσω κάποιων μετασχηματιστών, κινητήρων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Η Πτυχιακή Εργασία αναλύει τις μορφές σιδηροδρομικής έλξης ξεκινώντας από την ατμοκίνητη έλξη. Στη συνέχεια αναλύεται η νηζελοκίνητη και ηλεκτροκίνητη έλξη. Γίνεται παρουσίαση της χρήσης των ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος σε σιδηροδρομικές εφαρμογές. Παρουσιάζονται οι μετατροπείς έλξης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτράμαξες SIEMENS, στις πεντάδυμες ηλεκτροκίνητες αυτοκινήταμαξες κανονικής γραμμής DESIRO SIEMENS καθώς και στις Δηζελάμαξες (Δ/Η) ADtranz του Ο.Σ.Ε. Περιγράφεται για τους τρεις τύπους τροχαίου υλικού η αρχή λειτουργίας της έλξης μέσω των ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος και των ασύγχρονων τριφασικών ηλεκτροκινήτων. Όσον αφορά τα ηλεκτροκίνητα οχήματα παρουσιάζονται οι μετασχηματιστές, οι ανορθωτές 4 τεταρτημορίων (4QS), το ενδιάμεσο κύκλωμα του μετατροπέα ισχύος, ο μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR), οι βασικές έννοιες των GTO και IGBT και οι ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινήτες έλξης. Στην περίπτωση των Δ/Η ADtranz παρουσιάζονται οι ανορθωτές, ο μεταλλάκτης έλξης και οι ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινήτες έλξης αυτών. Ακόμη, δίνονται οι καμπύλες ισχύος των συρμών και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων μετατροπών έλξης των σιδηροδρομικών αυτών οχημάτων.

Επίσης, μελετά τα βασικά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά όλων των συστημάτων που χρησιμοποιούνται, και ειδικότερα αναζητά, καταγράφει και αξιολογεί τα νέα συστήματα, που έχουν υλοποιηθεί και εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια.

Συνεχίζουμε με την αναφορά μας στα υβριδικά συστήματα τα οποία διακρίνονται σε συστήματα που εναλλάσσουν την έλξη από ηλεκτροκίνηση σε νηζελοκίνηση και ηλεκτροκινούμενα υβριδικά συστήματα.

Τέλος, διατυπώνονται τα συμπεράσματα από την εκπόνηση της εργασίας και καταγράφονται οι μελλοντικές τάσεις και προοπτικές για την εξέλιξη των σιδηροδρομικών συστημάτων έλξης.

Abstract

This dissertation deals with the railroad traction systems and more specifically, those powered by electricity. Particular reference is made to the power supply of electric trains and is being analyzed the history of electrification from its beginning until today, as well as the process of transmission of the electricity from the PPC network to the train. In order to move an electric train or an electric motor, an electrical and mechanical installation is needed which transfers energy from the network, processes it in the substations, transfers it to the traction power network, where the energy is being collected and processes by an internal set-up and eventually, transforms it into kinetic energy through some transformers, motors and electronic circuits.

The Diploma Thesis analyzes the forms of railway traction starting from steam traction. Afterwards the diesel and electric traction is analyzed. The use of electronic power converters in railway applications is presented. The traction converters used in the SIEMENS electric wagons, the DESIRO SIEMENS five-wheeled electric trains and the ADTranz Diesel Vehicles of the greek railway entity (O.S.E.) are presented. The principle of traction is described ,for the three types of rolling material, by means of electronic power converters and asynchronous three-phase electric motors. With regard to electric vehicles, the converters, the 4QS rectifiers, the power converter intermediate circuit, the PWR, the basic concepts of GTO and IGBT and the asynchronous three-phase pull motors are presented. In the case of ADTranz, the rectifiers, the traction transducer and their asynchronous three-phase electric motors are presented. In addition, the power curves of the trains are provided and the advantages of the modern traction converters of these rail vehicles are presented.

It also studies the basic constructional and functional characteristics of all systems used, and in particular seeks, records and evaluates the new systems that have been materialized and implemented in recent years.

Subsequently the hybrid systems are mentioned which are distinguished in systems that alternate traction from electrification to diesel engines and electrified hybrid systems.

Finally, the conclusions of the work are drawn up and the future trends and prospects for the development of rail traction systems are noted.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Εισαγωγή

Η Δίορκος ήταν κάποτε σιδηρόδρομος με μήκους 6 km η οποία μετέφερε πλοία πέρα από τον Ισθμό της Κορίνθου τον 6ο αιώνα π.Χ. Τα φορτηγά τα ωθούσαν σκλάβοι τα οποία έτρεχαν σε αυλάκια μέσα σε μια διαδρομή ασβεστόλιθων. Η Δίορκος λειτουργούσε περισσότερα από 1300 χρόνια, έως το 900 περίπου. Τα πρώτα βαγόνια τα οποία έλκονταν από άμαξες έκαναν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα, τη Μάλτα, και τα μέρη της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Άρχισαν να λειτουργούν στην Ευρώπη το 1550 περίπου πάνω σε ξύλινες ράγες.

1.2 Η γένεση του σιδηροδρόμου

Η χρονολογία γέννησης του σιδηροδρόμου δεν μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, και αυτό γιατί η ιστορία του αρχίζει από την στιγμή εφαρμογής της σιδηροτροχιάς και συνεχίζει μέχρι την ατμομηχανή, με την οποία ταυτίστηκε απόλυτα. Ο πρώτος σιδηρόδρομος είχε έλξη από ατμάμαξα η οποία έκανε την εμφάνισή της κατά τον 18ο αιώνα και η λειτουργία της βασίζεται στη μετατροπή του έργου της σταθερής ατμομηχανής του Βατ σε μηχανική έλξη. Στη συνέχεια, περίπου στις αρχές του 19ου αιώνα, δύο Άγγλοι μηχανικοί πήραν δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, λόγω του ότι κατασκεύασαν ατμάμαξα, η οποία κινούταν σε σιδηροτροχιάς. Κατά το 1804, ο Τρέβιθικ κατάφερε να κινήσει τον πρώτο σιδηρόδρομο στη σιδηροτροχιά των ορυχείων του Μέρθαϊρ, στη νότια Ουαλία. Ένας συρμός 14 τόνων με 5 βαγόνια, 5 τόνους ορυκτών και 10 άτομα έκανε διαδρομή 16 χλμ., με ταχύτητα 8 χλμ. ανά ώρα. Η ατμάμαξα αυτή είχε ένα λέβητα με εσωτερική εστία, έναν οριζόντιο κύλινδρο και έναν προθερμαντήρα του νερού τροφοδοσίας. Μετά από αυτό υπήρξαν πολλοί που ασχολήθηκαν με το θέμα, για να προχωρήσουν σε μετατροπές στο μηχανισμό έλξης και στην πρόσφυση των τροχών στις σιδηροτροχιάς. Μ' αυτόν τον τρόπο σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις-πρόοδοι στον τομέα μέχρι που, το 1829, με τον Στέφενσον καταρρίφθηκε το ρεκόρ ταχύτητας, με 32 χιλιόμετρα την ώρα και η τεχνική του εφαρμόστηκε στη γραμμή Λίβερπουλ - Μάντσεστερ, με τα εγκαίνια να πραγματοποιούνται το 1830. Η Μ. Βρετανία έγινε παράδειγμα το οποίο ακολούθησαν και άλλα ευρωπαϊκά κράτη και οι ΗΠΑ. Όμως παρατηρήθηκαν μεγάλα τεχνικά και οικονομικά προβλήματα. Μερικά από αυτά ήταν η διάνοιξη διαβάσεων μέσα από ορεινούς όγκους, η δημιουργία θέσεων ανεφοδιασμού, η ζεύξη μεγάλων υδάτινων ρευμάτων κ.ά. Η εξάπλωση του σιδηροδρόμου έγινε κυρίως την περίοδο 1860-1910.

1.3 20ος Αιώνας

Στις αρχές του 20ού αιώνα, με την εμφάνιση των αυτοκινήτων και των αεροπλάνων άλλαξε η κατάσταση στον τομέα των μεταφορών. Η ραγδαία εξέλιξη του αυτοκινήτου περιόρισε τη χρήση του σιδηρόδρομου. Ωστόσο, σε μεγάλες αποστάσεις και για μεγάλες ποσότητες εμπορευμάτων ο σιδηρόδρομος αποδείχθηκε αναντικατάστατος. Οι μεταφορές των εμπολέμων και στους δύο Παγκόσμιους Πολέμους στηρίχθηκαν κατά κύριο λόγο στους σιδηροδρόμους. Στην αρχή η κίνηση των σιδηροδρόμων γινόταν με ατμάμαξες, των οποίων η τεχνολογία βελτιωνόταν με την πάροδο του χρόνου. Μετά τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου έγινε σαφές στις εταιρίες σιδηροδρόμων ότι το κόστος συντήρησης και λειτουργίας ήταν πολύ υψηλό. Γι' αυτό και σταδιακά οι ατμάμαξες άρχισαν να αντικαθίστανται από μηχανές έλξης ντίζελ. Τη δεκαετία του '70, με την πρώτη κρίση του πετρελαίου έγιναν προσπάθειες για την ηλεκτροκίνηση των συρμών, η οποία μέχρι σήμερα έχει εδραιωθεί στις περισσότερες χώρες του κόσμου αν και σε αρκετές χώρες ακόμα, η κίνηση των συρμών γίνεται ακόμη με μηχανές ντίζελ.

1.4 Ο σιδηρόδρομος σήμερα

Στις μέρες μας δεν συζητάμε για την παρακμή των σιδηροδρόμων, καθώς κατέχουν πρωτεύουσα θέση στην οικονομία και ολοκληρώνουν τα άλλα μεταφορικά μέσα. Μετά το 1950 άρχισε η κίνηση των συρμών και με ηλεκτρική ενέργεια, με εξαίρεση τους αστικούς σιδηροδρόμους (μετρό), οι οποίοι ήταν εξ αρχής ηλεκτροκίνητοι. Η σιδηροδρομική μεταφορά είναι μια από τις οικονομικότερες μεθόδους για μεταφορά εμπορευμάτων πέραν της θαλάσσιας. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών ή καυσίμων. Η μεταφορά εμπορευμάτων σιδηροδρομικά είναι πρακτική και είναι ιδιαίτερης σημασίας στη Ρωσία αλλά και στην Αμερική, λόγω των ιδιαίτερα μεγάλων αποστάσεων στις χώρες αυτές.

Σήμερα η ανάπτυξη συστημάτων ηλεκτροκίνησης γίνεται επιτακτική ανάγκη λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτερη εξάντληση φυσικών πόρων, (πετρέλαιο και λοιποί υδρογονάνθρακες), καθώς ο ηλεκτρισμός, πέρα από προϊόν καύσης υδρογονανθράκων, μπορεί να παραχθεί από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, (Αιολική, ηλιακή κλπ). Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι το τρένο θα είναι το μεταφορικό μέσο του μέλλοντος, τόσο στο αστικό όσο και στο ευρύτερο περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σιδηροδρομική Έλξη

2.1 Εισαγωγή

Κινητήρια μονάδα (locomotive) ονομάζεται κάθε είδους αυτοκινούμενο (self-propelled) όχημα, που χρησιμοποιείται για να κινεί σιδηροδρομικά βαγόνια πάνω στις γραμμές.

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:

(α) το πετρέλαιο (με τη μορφή του καυσίμου ντήζελ) και

(β) ο ηλεκτρισμός

Ο ατμός, η παλαιότερη μορφή προώθησης, βρισκόταν σε παγκόσμια χρήση μέχρι περίπου τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Έκτοτε έχει υποκατασταθεί από τις αποδοτικότερες μορφές της ντηζελοκίνητης και ηλεκτροκίνητης έλξης.

- Η ατμάμαξα (steam locomotive) αποτελεί αυτάρκη μονάδα, που φέρει το φορτίο νερού για την παραγωγή του ατμού, καθώς και κάρβουνο, πετρέλαιο ή ξυλεία, για τη θέρμανση του βραστήρα.
- Η ντηζελάμαξα (diesel locomotive) φέρει επίσης το φορτίο καυσίμου, αλλά το προϊόν του ντηζελοκίνητηρα δεν μπορεί να μεταβιβαστεί απευθείας στους τροχούς. Αντιθέτως, πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύστημα μηχανικής, ηλεκτρικής ή υδραυλικής μετάδοσης.
- Η ηλεκτράμαξα (electric locomotive) δεν είναι αυτάρκης. Παίρνει ρεύμα από εναέριο καλώδιο ή τρίτη σιδηροτροχιά, που τρέχει παράλληλα με τις δύο κατευθυντήριες. Η τροφοδοσία με τρίτη σιδηροτροχιά (third-rail supply) χρησιμοποιείται μόνο σε αστικά σιδηροδρομικά συστήματα, που λειτουργούν συνήθως με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης.

2.2 Εισαγωγή στην Ατμοκίνητη Έλξη

Ο πολυσωλήνιος βραστήρας και το σύστημα απαγωγής του ατμού, τα βασικά χαρακτηριστικά που κατέστησαν πετυχημένη την ατμομηχανή Rocket των George και Robert Stephenson το 1829, συνέχισαν να χρησιμοποιούνται στην ατμάμαξα (steam locomotive) μέχρι το τέλος της σταδιοδρομίας της.

Η Rocket είχε μόνο δύο κινητήριους τροχούς. Σύντομα ο αριθμός των κινητηρίων τροχών άρχισε να αυξάνει. Τέσσερις αποτελούσαν συνήθη εφαρμογή, ενώ μερικές ατμάμαξες κατασκευάστηκαν με δεκατέσσερις κινητήριους τροχούς.

Οι κινητήριοι τροχοί των ατμαμαξών είχαν διάφορα μεγέθη, συνήθως μεγαλύτερα στις γρήγορες ατμάμαξες επιβατικών υπηρεσιών.

Κατά μέσο όρο, η διάμετρος των κινητηρίων τροχών των ατμαμαξών επιβατικών υπηρεσιών ήταν της τάξης των 1,8 – 2,0 μέτρων, ενώ των ατμαμαξών εμπορευματικής ή μικτής υπηρεσίας της τάξης των 1,35-1,65 μέτρων. Το καύσιμο (συνήθως κάρβουνο, αλλά μερικές φορές και πετρέλαιο) και το νερό μπορούσαν να μεταφέρονται είτε στο ίδιο το πλαίσιο της ατμομηχανής ή και σε χωριστό όχημα, το εφοδιοφόρο (tender), συζευγμένο με την ατμομηχανή.

Το εφοδιοφόρο μιας τυπικής Ευρωπαϊκής ατμάμαξας είχε χωρητικότητα 10 τόνων (9.000 κιλών) κάρβουνου και 8.000 γαλονιών (30.000 λίτρων) νερού.

Στη Σοβιετική Ένωση, τη Βόρεια Αμερική και μερικά συστήματα στην Αφρική, την Ασία και την Αυστραλία, μεγαλύτερες χωρητικότητες ήσαν συνήθεις.

Σε ορισμένες χώρες, ιδιαίτερα τις ΗΠΑ, για να αντιμετωπιστούν ειδικές ανάγκες μεγάλων φορτίων εμπορευματικών μεταφορών, χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερη ελκτική ισχύς, με τη χρήση δύο ξεχωριστών ατμαμαξών με κοινό καυστήρα.

Η μπροστινή μηχανή ήταν συνδεδεμένη αρθρωτά με το πλαίσιο της οπίσθιας, έτσι ώστε η μεγάλη αυτή κινητήρια μονάδα να μπορεί να εγγράφεται στις καμπύλες της γραμμής.

Η αρθρωτή (articulated) ατμάμαξα απετέλεσε αρχικώς Ελβετική ανακάλυψη. Η πρώτη του είδους κατασκευάστηκε το 1888.

Η μεγαλύτερη αρθρωτή ατμάμαξα που κατασκευάστηκε ποτέ ήταν η Big Boy των σιδηροδρόμων Union Pacific, που χρησιμοποιήθηκε σε ορεινές εμπορευματικές μεταφορές στις δυτικές ΗΠΑ.

Η Big Boy ζύγιζε περισσότερους από 600 τόνους, περιλαμβανομένου και του εφοδιοφόρου. Ανέπτυσσε ισχύ μεγαλύτερη των 6.000 ίππων σε ταχύτητα 110 χλμ/ώρα.

Μια από τις γνωστότερες αρθρωτές ατμάμαξες ήταν η Beyer-Garratt. Είχε δύο πλαίσια, καθένα με τους δικούς του κινητήριους τροχούς και κυλίνδρους, φέροντα τις υδατοδεξαμενές. Μεταξύ των παραπάνω δύο πλαισίων υπήρχε ένα τρίτο, φέρον τον βραστήρα, τον θάλαμο μηχανοδότησης και τα καύσιμα. Αυτός ο τύπος ατμάμαξας ήταν πολύτιμος σε γραμμές με φτωχά χαρακτηριστικά χάραξης, επειδή μπορούσε να εγγράφεται σε μικρές ακτίνες καμπυλότητας. Για τον λόγο αυτόν, χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Αφρική.

Στον ελληνικό χώρο, σιδηροδρομικό σύστημα με ατμοκίνητη έλξη έχει εφαρμοστεί στην πόλη του Βόλου. Ο Ιταλός μηχανικός Evaristo de Chirico σχεδίασε και κατασκεύασε το 1894 – 95 σιδηροδρομική γραμμή πλάτους 60

εκατοστών, από το Βόλο μέχρι τα Λεχώνια μήκους 13 χιλιομέτρων και μαζί με αυτή δυο γέφυρες από τις οποίες η μια στον Χείμαρρο Βρύχωνα είναι η πρώτη στη χώρα μας από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχει χαρακτηριστεί από το Υπουργείο Πολιτισμού ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο. Το 1903 αποπερατώθηκε και το τμήμα Λεχώνια-Μηλιές μήκους 16 περίπου χιλιομέτρων και μέγιστης κλίσης 2,8%. Περί τα τέλη του 19ου αιώνα, δρομολογήθηκε ατμήλατο τραμ σε αστική διαδρομή μήκους 2.800 μέτρων, το οποίο διέσχιζε την οδό Δημητριάδος του Βόλου και σε 20 λεπτά έφθανε στον Άναυρο. Και αυτή η γραμμή, που ήταν προέκταση της γραμμής του τρένου Βόλου-Μηλεών, ανήκε στους Σιδηροδρόμους της Θεσσαλίας. Το καλοκαίρι τα βαγόνια του ατμήλατου τραμ ήταν ανοικτά. Για τον τροχιόδρομο του Βόλου πρώτα χρησιμοποιήθηκε η ατμομηχανή Παγασαί, η οποία κατασκευάστηκε το 1898 στο εργοστάσιο Weldknecht, στη συνέχεια η ατμοκίνητη αυτοκινητάμαξα τύπου Serpollet και από το 1912 οι ατμομηχανές Αργώ και Δημητριάς. Η λειτουργία του τραμ διακόπηκε το 1933 και η γραμμή λειτούργησε ξανά στα χρόνια της γερμανικής κατοχής και λίγο το 1950.

Διάφορες τεχνολογικές εξελίξεις βελτίωναν βαθμιαίως την ατμάμαξα. Στις εξελίξεις αυτές περιλαμβάνονταν:

- Μεγαλύτερες πιέσεις στον βραστήρα,
- Υπερθέρμανση,
- Προθέρμανση ύδατος τροφοδοσίας,
- Χρήση κατακόρυφων βαλβίδων.

Παρ' όλ' αυτά, η θερμική αποδοτικότητα ακόμη και των τελευταίων ατμαμαξών σπανίως ξεπερνούσε το 6 %.

Η ατελής καύση, καθώς και οι απώλειες θερμότητας από τον καυστήρα, τον λέβητα, τους κυλίνδρους και αλλού, σπαταλούσαν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του καυσίμου.

Για τον λόγο αυτόν, η ατμάμαξα εγκαταλείφθηκε, σταδιακά όμως, επειδή παρουσίαζε επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η τεχνική της απλότητα και η ικανότητα να αντιστέκεται στην κακομεταχείριση.

2.3 Εισαγωγή στην Ντηζελοκίνητη Έλξη

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 η ντηζελοκίνηση είχε υποκαταστήσει σχεδόν εντελώς την ατμοκίνηση στις μη ηλεκτροκινούμενες γραμμές, στα περισσότερα δίκτυα παγκοσμίως.

Η αρχή έγινε στις ΗΠΑ, όπου στη διάρκεια της 25ετίας 1935-60 (και ιδιαίτερα της δεκαετίας 1951-60), οι σιδηρόδρομοι αντικατέστησαν το σύνολο των ατμαμαξών τους με ντηζελάμαξες.

Αιτίες της ραγδαίας αντικατάστασης του ατμού από το ντήζελ ήταν:

- η πίεση του ανταγωνισμού από τα άλλα μέσα μεταφορών και

- η συνεχιζόμενη αύξηση των δαπανών μισθοδοσίας προσωπικού.

Οι σιδηρόδρομοι αναγκάστηκαν να βελτιώσουν τις υπηρεσίες τους και να υιοθετήσουν κάθε διαθέσιμο μέτρο για την αύξηση της λειτουργικής τους αποδοτικότητας.

Σε σύγκριση με τις ατμάμαξες, οι ντηζελάμαξες παρουσίαζαν τα παρακάτω μεγάλα πλεονεκτήματα:

- Μπορούσαν να λειτουργούν για μεγάλες περιόδους χωρίς νεκρούς χρόνους για συντήρηση. Έτσι, στη Βόρεια Αμερική μια ντηζελάμαξα μπορούσε να διανύσει διαδρομή 3.000 χιλιομέτρων ή μεγαλύτερη και εν συνεχεία, μετά τη συντήρηση, να ξεκινήσει το ταξίδι της επιστροφής. Αντίθετα, οι ατμάμαξες απαιτούσαν εκτεταμένη συντήρηση ύστερα από λειτουργία μερικών ωρών.
- Χρησιμοποιούσαν λιγότερη ενέργεια καυσίμων από την ατμάμαξα, δεδομένου ότι η θερμική τους αποδοτικότητα ήταν τέσσερις φορές μεγαλύτερη.
- Μπορούσαν να επιταχύνουν ένα συρμό πολύ γρηγορότερα και να λειτουργούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες, προκαλώντας μικρότερες φθορές στη σιδηροδρομική γραμμή.

Η ντηζελο-ηλεκτρική κινητήρια μονάδα (diesel-electric locomotive) είναι στην πραγματικότητα μια ηλεκτράμαξα, που φέρει τη δική της γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνεπώς, η χρήση της παρέχει στους σιδηροδρόμους κάποια από τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης, χωρίς το κόστος για την κατασκευή των υποσταθμών διανομής και του συστήματος εναέριας τροφοδοσίας.

Όμως, σε σύγκριση με την ηλεκτράμαξα, η ντηζελο-ηλεκτρική κινητήρια μονάδα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα: Καθώς η απόδοσή της περιορίζεται εν γένει στην αντίστοιχη του ντηζελοκινητήρα της, μπορεί να αναπτύξει λιγότερη ισχύ ανά κινητήρια μονάδα.

Δεδομένου ότι η μεγάλη ιπποδύναμη είναι απαραίτητη για σιδηροδρόμους υψηλών ταχυτήτων, η ντηζελο-ηλεκτρική μονάδα υστερεί έναντι της ηλεκτράμαξας στις επιβατικές υπηρεσίες υψηλών ταχυτήτων και στις ταχείες εμπορευματικές μεταφορές.

2.4 Ηλεκτροκίνητη Έλξη

Προσπάθειες για την προώθηση σιδηροδρομικών οχημάτων με τη χρήση μπαταριών (συσσωρευτών) ξεκίνησαν από το 1835. Η πρώτη πετυχημένη εφαρμογή της ηλεκτροκίνητης έλξης ήταν το 1879, όταν μια ηλεκτράμαξα κινήθηκε κατά τη διάρκεια μιας έκθεσης στο Βερολίνο. Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές της

ηλεκτροκίνησης έγιναν στους προαστιακούς και αστικούς σιδηροδρόμους. Μια από τις παλαιότερες ήταν αυτή του 1895, όταν οι σιδηρόδρομοι Βαλτιμόρης και Οχάιο ηλεκτροκίνησαν ένα τμήμα γραμμής στη Βαλτιμόρη, για να ξεπεράσουν προβλήματα καπνού και θορύβου σε σήραγγες. Από τις πρώτες χώρες που χρησιμοποίησαν ηλεκτροκίνηση σε βασικές (main-line) σιδηροδρομικές γραμμές ήταν η Ιταλία, όπου ένα τέτοιο σύστημα εγκαινιάστηκε το 1902.

Πριν τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, ένας αριθμός ηλεκτροκίνητων γραμμών λειτουργούσε τόσο στην Ευρώπη, όσο και στις ΗΠΑ. Μεγάλα προγράμματα ηλεκτροκίνησης ξεκίνησαν μετά τον πόλεμο αυτόν σε χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία, η Νορβηγία, η Γερμανία και η Αυστρία.

Περί το τέλος της δεκαετίας του 1920 σχεδόν κάθε Ευρωπαϊκή χώρα είχε τουλάχιστον ένα μικρό ποσοστό ηλεκτροκίνητου σιδηροδρομικού δικτύου.

Η ηλεκτροκίνηση εφαρμόστηκε επίσης στις :

- Αυστραλία (1921)
- Νέα Ζηλανδία (1923)
- Ινδία (1925)
- Ινδονησία (1925)
- Νότια Αφρική (1926)

Στις ΗΠΑ, μεταξύ των ετών 1900 και 1938 ηλεκτροκινήθηκε ένας αριθμός μητροπολιτικών επιβατικών σταθμών και προαστιακών υπηρεσιών, καθώς και μερικές βασικές (main-line) γραμμές.

Στις ΗΠΑ, μετά το 1938, η ανάπτυξη της νηγελοκίνητης έλξης αποθάρρυνε την περαιτέρω ηλεκτροκίνηση βασικών σιδηροδρομικών αξόνων.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η ηλεκτροκίνηση βασικών αξόνων προχώρησε ραγδαία σε άλλες χώρες. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 οι ηλεκτροκινούμενες γραμμές αποτελούσαν σημαντικό ποσοστό του συνολικού μήκους του εθνικού σιδηροδρομικού δικτύου, σε χώρες όπως:

- Ελβετία (99,6 %)
- Ολλανδία (69 %)
- Βέλγιο (62 %)
- Σουηδία (62 %)
- Νορβηγία (60 %)
- Ιταλία (59 %)
- Αυστρία (57 %)
- Ιαπωνία (56 %)
- Γαλλία (37 %)

- Βρετανία (30 %)

Αντίθετα, στις ΗΠΑ την ίδια περίοδο οι ηλεκτροκίνητες γραμμές αποτελούσαν λιγότερο από το 1% του συνολικού εθνικού σιδηροδρομικού δικτύου.

Το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα χαρακτηρίστηκε επίσης διεθνώς από την κατασκευή νέων (ή επέκταση υφισταμένων) ηλεκτροκίνητων αστικών σιδηροδρομικών συστημάτων.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ηλεκτρικών συστημάτων έλξης σε όλο τον κόσμο, τα οποία έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τον τύπο των σιδηροδρόμων, τη θέση του και τη διαθέσιμη τεχνολογία κατά τη στιγμή της εγκατάστασης. Πολλές εγκαταστάσεις που υπάρχουν σήμερα κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά ακόμα και πριν από 100 χρόνια, όταν ορισμένοι τύποι ηλεκτροκίνησης ήταν ακόμα σε «νηπιακό» επίπεδο, και ακόμα και αυτοί έχουν μεγάλη επίδραση στον σιδηρόδρομο που είναι σήμερα. Τα τελευταία 20 χρόνια υπήρξε μια αλματώδης επιτάχυνση της ανάπτυξης στη σιδηροδρομική ηλεκτροκίνηση. Αυτό συντέλεσε στην παράλληλη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και των μικροεπεξεργαστών. Ότι ήταν αποδεκτό για τα πρότυπα της βιομηχανίας για τα τελευταία 80 χρόνια, ξαφνικά αντικαταστάθηκαν από θεμελιώδεις αλλαγές στο σχεδιασμό, την κατασκευή αλλά και τη λειτουργία των σιδηροδρόμων.

Περίπου από το 1960, η μεγάλη πρόοδος στην τεχνολογία της ηλεκτροκίνητης έλξης προήλθε από τις εφαρμογές της Ηλεκτρονικής. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η τελειοποίηση του ημιαγωγού thyristor, ή chopper, για τον έλεγχο της τροφοδοσίας των κινητήρων με ηλεκτρικό ρεύμα.

Ο thyristor, ένας διακόπτης ταχύτατης λειτουργίας και μεγάλης ισχύος, με τον οποίο οι περίοδοι "on" και "off" κάθε κύκλου μπορούν να μεταβάλλονται κλασματικά, εξυπηρέτησε την ομαλά διαβαθμισμένη εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης στους κινητήρες έλξης.

Πέραν της εξαφάνισης των επικινδύνων για φθορές τμημάτων ενός ηλεκτροκινητήρα και της μεγάλης βελτίωσης της συμπαγούς απόδοσης της κινητήριας μονάδας, ο έλεγχος μέσω thyristor μείωσε επίσης και την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΝΤΗΖΕΛΟΚΙΝΗΤΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗ ΕΛΞΗ

3.1 Η Ανάπτυξη της Ντηζελοκίνησης

Τα πειράματα με ντηζελάμαξες (diesel-engine locomotives) και ντηζελοκίνητες αυτοκινητάμαξες (railcars) άρχισαν αμέσως μετά την ανακάλυψη του ντηζελοκινητήρα από τον Γερμανο μηχανικό Rudolf Diesel το 1892.

Οι προσπάθειες για την κατασκευή ντηζελαμαξών και αυτοκινηταμαξών συνεχίστηκαν στη διάρκεια της δεκαετίας του 1920.

Η πρώτη πετυχημένη ντηζελάμαξα χρησιμοποιήθηκε το 1925 στους σιδηροδρόμους Canadian National και το 1928 στους σιδηροδρόμους New York Central.

Τα πρώτα πραγματικά εντυπωσιακά αποτελέσματα της υιοθέτησης της ντηζελοκίνησης φάνηκαν στη Γερμανία. Το 1933 η Fliegende Hamburger, μια δίδυμη (δύο οχημάτων) ντηζελοκίνητη αυτοκινητάμαξα, με δύο ντηζελοκινητήρες, έκαστος ισχύος 400 ίππων, τέθηκε σε κυκλοφορία στη διαδρομή Βερολίνο-Αμβούργο, με μέση εμπορική ταχύτητα 120 χλμ/ώρα.

Μέχρι το 1939, οι περισσότερες από τις μεγάλες Γερμανικές πόλεις διασυνδέθηκαν με τρένα αυτού του τύπου, που κυκλοφορούσαν με μέση ταχύτητα 130 χλμ/ώρα μεταξύ στάσεων.

Το επόμενο βήμα θα ήταν η κατασκευή της ξεχωριστής ντηζελο-ηλεκτρικής κινητήριας μονάδας, που μπορούσε να έλξει οποιονδήποτε συρμό βαγονιών.

Στις ΗΠΑ, μια τέτοια μονάδα χρησιμοποιήθηκε το 1935 από τους σιδηροδρόμους Βαλτιμόρης και Οχάϊο και δύο αντίστοιχες από τους σιδηροδρόμους της Σάντα Φε. Αυτές ήσαν μηχανές για επιβατικά τρένα. Η πρώτη ντηζελοκίνητη μονάδα για εμπορευματικά τρένα ήταν η ισχύος 5.400 ίππων της General Motors, που κατασκευάστηκε το 1939.

Με το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, η ντηζελάμαξα είχε καθιερωθεί ως τύπος κινητήριας μονάδας και άρχισε γρήγορα να υποκαθιστά την ατμάμαξα, ιδιαίτερα στις ΗΠΑ. Εκεί, στόλος 27.000 ντηζελαμαξών αποδείχθηκε ικανός να παράγει μεγαλύτερο μεταφορικό έργο, απ' ό,τι οι 40.000 ατμάμαξες, τις οποίες αντικατέστησε.

Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η χρήση της ντηζελοκίνησης διεθνώς αυξήθηκε πολύ, παρά το γεγονός ότι η ταχύτητα μετάβασης στον νέο αυτόν τύπο σιδηροδρομικής έλξης ήταν εν γένει χαμηλότερη απ' ό,τι στις ΗΠΑ.

3.1.1 Στοιχεία της Ντηζελάμαξας

Παρά το γεγονός ότι η ισχύς και απόδοση του ντηζελοκινητήρα έχουν βελτιωθεί σημαντικά με το πέρασμα του χρόνου, οι βασικές αρχές παραμένουν ίδιες:

- Αέρας οδηγείται στον κύλινδρο, όπου συμπιέζεται ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του.
- Μικρή ποσότητα πετρελαίου εγχύεται στη συνέχεια εντός του κυλίνδρου.
- Το πετρέλαιο αναφλέγεται χωρίς σπινθήρα, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας.

Ο ντηζελοκινητήρας μπορεί να είναι δίχρονος ή τετράχρονος. Η ταχύτητα λειτουργίας κυμαίνεται από 350 έως 2.000 στροφές ανά λεπτό. Η αποδιδόμενη ισχύς κυμαίνεται από 10 έως 4.000 ίππους. Στις ΗΠΑ, οι σιδηροδρομικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν κινητήρες 1.000 στροφών ανά λεπτό. Στην Ευρώπη και αλλού προτιμώνται πολλές φορές κινητήρες 1.500-2.000 στροφών ανά λεπτό. Οι περισσότερες ντηζελάμαξες ελιγμών ή μικρής διαδρομής είναι εφοδιασμένες με ντηζελοκινητήρες ισχύος 600 έως 1.800 ίππων. Οι ντηζελάμαξες πορείας έχουν συνήθως κινητήρες ισχύος 2.000 έως 4.000 ίππων.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν κινητήρες διάταξης V. Άλλοι τύποι κινητήρων χρησιμοποιούνται σε μικρότερες ντηζελάμαξες ή σε υποδαπέδια τοποθέτηση σε αυτοκινητάμαξες.

Η συνηθέστερη μέθοδος μετάδοσης ισχύος είναι η ηλεκτρική, όπου η μηχανική ενέργεια, που παράγεται από τον ντηζελοκινητήρα, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα για τους ηλεκτροκινητήρες έλξης.

Μέχρι το τελευταίο τέταρτο του 20ού αιώνα, η χρησιμοποιούμενη μέθοδος ήταν να συνδέεται ο ντηζελοκινητήρας με γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, από την οποία, μέσω των καταλλήλων ελέγχων, το ηλεκτρικό ρεύμα τροφοδοτούσε τους ηλεκτροκινητήρες.

Η διαθεσιμότητα ανορθωτών (rectifiers) από συμπαγείς ημιαγωγούς επέτρεψε την αντικατάσταση της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος από εναλλακτήρα (alternator), δηλαδή από γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος, η οποία έχει τη δυνατότητα να παράγει περισσότερη ισχύ και έχει μικρότερες δαπάνες συντήρησης από την αντίστοιχη συνεχούς ρεύματος.

Στις ντηζελάμαξες χρησιμοποιούνται και άλλοι τύποι μετάδοσης της ισχύος.

Η υδραυλική μετάδοση αναπτύχθηκε κυρίως στη Γερμανία και χρησιμοποιείται συχνά στις ντηζελοκίνητες αυτοκινητάμαξες. Χρησιμοποιεί φυγοκεντρική αντλία, που καθοδηγεί στρόβιλο σε θάλαμο πλήρη πετρελαίου ή παρόμοιου υγρού. Η αντλία, καθοδηγούμενη από τον ντηζελοκινητήρα, μετατρέπει την ισχύ της μηχανής σε κινητική ενέργεια, μέσω της πρόσκρουσης του πετρελαίου στις λεπίδες του στρόβιλου. Όσο ταχύτερα κινούνται οι λεπίδες, τόσο μικρότερη είναι η σχετική ταχύτητα πρόσκρουσης του πετρελαίου και μεγαλύτερη η ταχύτητα κίνησης της μονάδας.

Η μηχανική μετάδοση είναι ο απλούστερος τύπος μετάδοσης ισχύος. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρής ισχύος ντηζελάμαξες ελιγμών και μικρές αυτοκινητάμαξες. Στην πραγματικότητα πρόκειται για συμπλέκτη και κιβώτιο ταχυτήτων, παρόμοια με τα χρησιμοποιούμενα στα αυτοκίνητα.

3.1.2 Τύποι Ντηζελοκίνησης

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες σιδηροδρομικού τροχαίου υλικού που χρησιμοποιούν ντηζελοκίνηση:

α. Οι ελαφρές επιβατικές αυτοκινητάμαξες (ή rail bus) όπως βλέπετε στην **Εικόνα 1**, με ισχύ κινητήρα μέχρι 200 HP, οι οποίες συνήθως έχουν τέσσερις τροχούς και μηχανική μετάδοση ισχύος.



Εικόνα 1. Ελαφρά Επιβατική Αυτοκινητάμαξα (Railbus)

β. Η τετραξονική επιβατική αυτοκινητάμαξα (ισχύς κινητήρα μέχρι 750 HP) όπως βλέπετε στην **Εικόνα 2**, η οποία μπορεί να λειτουργεί είτε ως ανεξάρτητη, είτε ως έλκουσα όχημα χωρίς κινητήρα, ή να συντεθεί ημιμόνιμα σε πολλαπλή μονάδα (multiple-unit), που αξιοποιεί το σύνολο ή μέρος της συνολικής ισχύος των διαθέσιμων κινητήρων.



Εικόνα 2. Τετραξονική Επιβατική Αυτοκινητάμαξα

Στα σύγχρονα κινητήρια οχήματα, ο ντηζελοκινητήρας καθώς και όλος ο απαιτούμενος εξοπλισμός έλξης, περιλαμβανομένων και των δεξαμενών καυσίμων, τοποθετείται πλέον κάτω από το δάπεδο, απελευθερώνοντας χώρο

για θέσεις επιβατών. Η μετάδοση της ισχύος είναι είτε ηλεκτρική είτε υδραυλική. Οι μονάδες αυτές ορισμένες φορές έλκουν δεύτερο ελαφρό επιβατικό όχημα.

γ. Οι νηζελάμαξες (ισχύς κινητήρα 10 έως 4.000 HP), οι οποίες μπορεί να έχουν είτε μηχανική μετάδοση, σε περιπτώσεις μικρής ισχύος, είτε υδραυλική μετάδοση, για ισχύ μέχρι 2.000 ίππους, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις ηλεκτρική μετάδοση.

Στο τελευταίο τέταρτο του 20ού αιώνα, η σημαντική αύξηση της σχέσης ισχύος προς βάρος στους νηζελοκινητήρες, καθώς και η εφαρμογή της Ηλεκτρονικής στον έλεγχο των τμημάτων της μηχανής και στα συστήματα διάγνωσης, είχαν ως αποτέλεσμα μεγάλες βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των νηζελαμαξών. Στην **Εικόνα 3** βλέπουμε την νηζελάμαξα Alco.



Εικόνα 3. Νηζελάμαξα Alco

Το 1990, μια νηζελάμαξα ισχύος 3.500 ίππων διετίθετο με βάρος το μισό του αντίστοιχου μοντέλου του 1970. Ταυτοχρόνως, βελτιώθηκε πολύ η οικονομική χρήση καυσίμου από τους νηζελοκινητήρες.

Η Ηλεκτρονική έχει συνεισφέρει πολύ στη βελτίωση των δυνατοτήτων των νηζεληλεκτραμαξών, βελτιώνοντας την πρόσφυση κατά την εκκίνηση ή την πορεία σε έντονες κατά μήκος κλίσεις.

Μια νηζελάμαξα, επιταχύνοντας από στάση, μπορεί να αναπτύξει 33-50 % περισσότερη ελκτική δύναμη αν επιτρέπεται στο

υς κινητήριους τροχούς της να “έρπουν” (creep) σε ελαφρά, σταθερή και πλήρως ελεγχόμενη ολίσθηση. Σε ένα τυπικό σύστημα “ελέγχου ερπυσμού” (creep control), ραντάρ προσαρμοσμένο στο κάτω μέρος της νηζελάμαξας μετρά με ακρίβεια την πραγματική ταχύτητα εδάφους, με βάση την οποία μικροεπεξεργαστές υπολογίζουν το ιδανικό όριο ταχύτητας ερπυσμού στις επικρατούσες συνθήκες γραμμής και ρυθμίζουν αυτομάτως την παροχή ρεύματος στους κινητήρες έλξης. Η διαδικασία είναι συνεχής, έτσι ώστε η

παροχή ρεύματος να αναπροσαρμόζεται αμέσως, ώστε να αντιστοιχεί σε μεταβολή των παραμέτρων γραμμής.

Στη δεκαετία του 1960, στις ΗΠΑ θεωρούσαν ότι μια νηζελοηλεκτράμαξα ισχύος 3.000-3.600 ίππων ή περισσότερων, για αποτελεσματική πρόσφυση πρέπει να έχει έξι κινητήριους άξονες. Δύο σιδηροδρομικές επιχειρήσεις στις ΗΠΑ έχουν μικρό στόλο νηζελοηλεκτραμαξών με οκτώ κινητήριους άξονες, καθένας των οποίων παραλαμβάνει ισχύ από δύο νηζελοκινητήρες, με συνολική απόδοση 5.000-6.600 ίππων. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και εξής, κατασκευάζονται νηζελοηλεκτράμαξες ισχύος 4.000 ίππων με τέσσερις κινητήριους άξονες και χρησιμοποιούνται ευρέως σε ταχείες εμπορευματικές υπηρεσίες. Για βαριές εμπορευματικές μεταφορές προτιμώνται ακόμη νηζελοηλεκτράμαξες με έξι κινητήριους άξονες. Σήμερα όμως, ισχύς 4.000 ίππων διατίθεται από 16-κύλινδρο νηζελοκινητήρα, ενώ στη δεκαετία του 1960 απόδοση 3.600 ίππων απαιτούσε 20- κύλινδρο κινητήρα.

Το γεγονός αυτό, μαζί με τη μείωση του αριθμού των νηζελαμαξών που απαιτούνται για την έλξη ενός φορτίου, λόγω βελτιωμένης πρόσφυσης, απετέλεσε βασικό παράγοντα μείωσης των δαπανών συντήρησης των κινητηρίων μονάδων.

Στη δεκαετία του 1990, ισχύς 3.500 έως 4.000 ίππων θεωρείτο διεθνώς ως η μέγιστη απόδοση που πρέπει να επιδιώκεται από μεμονωμένη νηζελάμαξα. Ορισμένοι τύποι που χρησιμοποιούντο στην πρώην Σοβιετική Ένωση είχαν μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ, επειδή κάθε κινητήρια μονάδα αποτελείτο από δύο, ή σε ορισμένες περιπτώσεις τέσσερις, μονάδες ίδιας ισχύος και διάταξης αξόνων, μονίμως συνεζευγμένες. Στην πρώην Σοβιετική Ένωση, η πιο ισχυρή νηζελάμαξα είχε ισχύ 12.000 ίππων και αποτελείτο από τέσσερις μονάδες των 3.000 ίππων, προσαρμοσμένη εκάστη σε έξι κινητήριους άξονες. Στις υπόλοιπες περιοχές του κόσμου, εκτός της Βόρειας Αμερικής, η διάδοση της ηλεκτροκίνησης περιορίσε από τη δεκαετία του 1960 και μετά την παραγωγή νηζελαμαξών για επιβατικά τρένα.

Η τελευταία εξέλιξη στις υψηλές ταχύτητες ήταν στη Βρετανία, όπου οι Βρετανικοί Σιδηρόδρομοι (British Rail), για τις ανάγκες των μηηλεκτροκινούμενων βασικών τους αξόνων, παρήγαγαν μαζικά μια ημιμόνιμη σύνθεση, αποτελούμενη από δύο νηζελάμαξες ισχύος 2.250 ίππων με επτά ή οκτώ ενδιάμεσες επιβατάμαξες. Στην **Εικόνα 4** βλέπουμε Βρετανική πολλαπλή μονάδα Intercity Sparrow η οποία κατέχει και το ρεκόρ ταχύτητας νηζελοκίνητης έλξης 235 χλμ/ώρα.



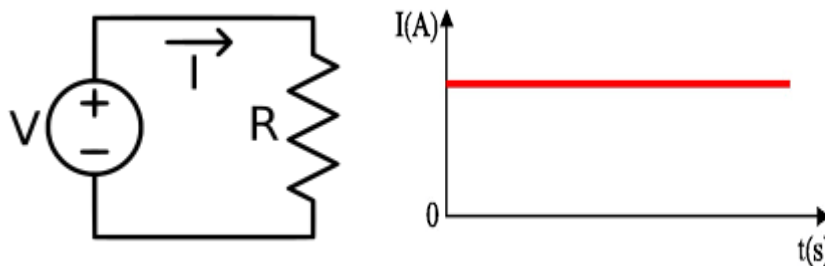
Εικόνα 4. Βρετανική μονάδα Intercity Sparrow

Το 1987 μια τέτοια σύνθεση δημιούργησε νέο παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας με ντηζελοκίνητη έλξη 235 χλμ/ώρα (148 μίλια/ώρα). Μια παραλλαγή αυτής της σύνθεσης λειτουργεί στους σιδηροδρόμους Νέας Νότιας Ουαλλίας στην Αυστραλία.

Στη Βόρεια Αμερική, οι εταιρείες ιντερσίτυ επιβατικών μεταφορών Amtrak στις ΗΠΑ και VIA στον Καναδά, καθώς και μερικά συστήματα αστικών μεταφορών χρησιμοποιούν ακόμη ντηζελάμαξες σε επιβατικά τρένα. Στις άλλες χώρες, οι ντηζελάμαξες πορείας σχεδιάζονται είτε για αποκλειστική εμπορευματική χρήση, είτε για μικτή επιβατική και εμπορευματική υπηρεσία.

3.2 Συστήματα Ηλεκτροκίνητης Έλξης

Όλα τα ηλεκτρικά κυκλώματα, ανεξάρτητα από τη συνθετότητά τους, μπορούν να θεωρηθούν ως μια πηγή ενέργειας και μία αντίσταση. Το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα κύκλωμα εξαρτάται από το δυναμικό (ή τάση) της πηγής και το μέγεθος της αντίστασης, ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς ισούται με την τάση επί το ηλεκτρικό ρεύμα. Στην απλούστερη περίπτωση, η ενέργεια θα αποδίδεται ως θέρμανση της αντίστασης. Η αντίσταση θα μπορούσε επίσης να είναι εξαιρετικά σύνθετο σύστημα. Στην ηλεκτροκίνηση, η ενέργεια χρησιμοποιείται για την κίνηση της μάζας και του φορτίου του τρένου.



Σχήμα 1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα

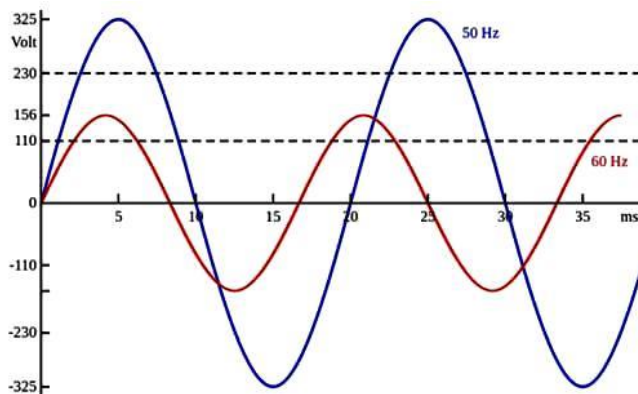
Επιπλέον, η ηλεκτρική πηγή μπορεί να ανήκει σε δύο εν γένει τύπους:

- συνεχούς ρεύματος (direct current-DC) ή
- εναλλασσόμενου ρεύματος (alternating current-AC).

Ηλεκτρική τάση συνεχούς (DC) ρεύματος είναι εκείνη που διατηρεί την πολικότητά της (όπως αυτή μιας μπαταρίας).

Η αντίστοιχη εναλλασσομένου ρεύματος εναλλάσσει πολικότητα (όπως αυτή της οικιακής παροχής των 220 V).

Το παριστώμενο στο **σχήμα 2** κύμα εναλλασσομένου ρεύματος είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο, ημιτονοειδούς μορφής.



Σχήμα 2. Κύματα εναλλασσομένου ρεύματος

Το εναλλασσόμενο ρεύμα εισάγει επίσης μια νέα παράμετρο, αυτή της συχνότητας, που αποτελεί μέτρο του αριθμού των κύκλων ανά δευτερόλεπτο και μετράται σε Hertz (Hz).

Στην Εικόνα δείχνονται δύο τυπικά κύματα εναλλασσομένου ρεύματος, εκ των οποίων το ένα έχει μεγαλύτερη συχνότητα από το άλλο.

Τα συστήματα ηλεκτροκίνησης μπορούν εν γένει να διακριθούν σε εκείνα που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα και εκείνα που χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα.

3.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτροκίνητης Έλξης

Η ηλεκτροκίνηση θεωρείται γενικώς ως ο οικονομικότερος και αποτελεσματικότερος τρόπος λειτουργίας ενός σιδηροδρομικού δικτύου, υπό τον όρο ότι:

- Υπάρχει διαθέσιμη φτηνή ηλεκτρική ενέργεια και

- Η πυκνότητα της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας δικαιολογεί την απαιτούμενη επένδυση.

Σε αντίθεση με τις ατμάμαξες και τις ντηζελάμαξες, οι ηλεκτράμαξες, όντας απλώς μηχανές μετατροπής και όχι παραγωγής ενέργειας, έχουν πλεονεκτήματα:

- Προκειμένου να εκκινήσουν την έλξη ενός βαρέως συρμού ή να θανάβουν 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 ντηζελάμαξες.

Στην **Εικόνα 5** βλέπουμε την ηλεκτράμαξα που κοσμεί τον ελληνικό σιδηρόδρομο.



Εικόνα 5. Ηλεκτράμαξα Hellasprinter του ΟΣΕ

Τα μεγαλύτερα προβλήματα της ηλεκτροκίνητης σιδηροδρομικής λειτουργίας συνδέονται με:

(α) τις μεγάλες δαπάνες κατασκευής και συντήρησης των μόνιμων εγκαταστάσεων της ηλεκτροκίνησης, όπως η εναέρια γραμμή επαφής, οι κατασκευές ανάρτησης της καλωδίωσης και οι υποσταθμοί έλξης

(β) τις δαπανηρές αλλαγές που απαιτούνται συνήθως στα συστήματα σηματοδότησης, ώστε να μονωθούν τα κυκλώματά τους έναντι παρεμβολών από τα καλώδια υψηλής τάσης και να προσαρμοστεί η απόδοσή τους στις μεγαλύτερες επιταχύνσεις και ταχύτητες κυκλοφορίας, που επιτυγχάνονται με την υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης.

3.2.2 Τρόποι Τροφοδοσίας

Όπως αναφέραμε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε DC (συνεχές ρεύμα) ή AC (εναλλασσόμενο ρεύμα). Στην πρώτη περίπτωση η χρήση του DC ρεύματος ήταν η απλούστερη σε ότι αφορά στην έλξη ενώ στην δεύτερη περίπτωση το AC ρεύμα είναι πολύ καλύτερο για μεγάλες αποστάσεις και φτηνότερο στην εγκατάσταση, αλλά, μέχρι πρόσφατα, πιο περίπλοκο για τον έλεγχο σε επίπεδο αμαξοστοιχίας. Η μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται πάντα κατά μήκος της γραμμής μέσω εναέριων καλωδίων είτε στο επίπεδο του εδάφους, με έναν επιπλέον σιδηροδρομικό δοκό που βρίσκεται κοντά στις τρέχουσες ράγες. Στα εναέρια καλώδια χρησιμοποιείται μόνο εναλλασσόμενο ρεύμα, DC ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εναέριο σύρμα ή μέσω της τρίτης σιδηροδρομικής γραμμής. Και στις δυο περιπτώσεις τα εναέρια συστήματα χρειάζονται τουλάχιστον ένα συλλέκτη που συνδέεται με την αμαξοστοιχία ώστε να μπορεί αυτή πάντα να είναι σε επαφή με την ηλεκτρική ενέργεια. Οι συλλέκτες ρεύματος χρησιμοποιούν έναν "παντογράφο" και ονομάζονται έτσι διότι αυτό ήταν το Σχήμα των περισσοτέρων εξ' αυτών μέχρι περίπου πριν 30 χρόνια. Το κύκλωμα επιστροφής γίνεται μέσω της ράγας πίσω στον υποσταθμό.

3.2.3 Συστήματα Συνεχούς Ρεύματος

Στα συστήματα συνεχούς ρεύματος, οι συνηθέστερες ηλεκτρικές τάσεις για συστήματα τροφοδοσίας με εναέριο καλώδιο (overhead wire supply) είναι τα 1.500 και τα 3.000 Volt.

Τα συστήματα τροφοδοσίας με τρίτη σιδηροτροχιά (third-rail) χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα, τάσης της τάξης των 600-750 volt.

Μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης με συνεχές ρεύμα είναι ότι:

- (α) απαιτείται η κατασκευή δαπανηρών υποσταθμών σε συχνά διαστήματα και
- (β) το εναέριο καλώδιο (ή η τρίτη σιδηροτροχιά) πρέπει να είναι σχετικά μεγάλο και βαρύ.

Ο ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης αποδείχτηκε κατάλληλος για τη σιδηροδρομική έλξη, επειδή παρείχε απλότητα κατασκευής και ευκολία ελέγχου. Μέχρι τα τέλη του 20ού αιώνα χρησιμοποιούνταν παγκοσμίως σε ηλεκτροκίνητες ή νηζελο-ηλεκτρικές κινητήριες μονάδες. Τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης εναλλασσόμενου ρεύματος, αντί για συνεχές, παρακίνησαν νωρίς πειράματα και εφαρμογές αυτού του συστήματος.

3.2.3.1 Η δίοδος

Η δίοδος είναι μια συσκευή χωρίς μετακινούμενα μέρη, είναι γνωστή ως ημιαγωγός, η οποία επιτρέπει την ροή του ρεύματος μέσα από αυτή προς μια μόνο κατεύθυνση. Μπλοκάρει το ρεύμα το οποίο προσπαθεί να περάσει προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Τέσσερις δίοδοι τοποθετημένα σε μια γέφυρα, όπως φαίνεται παρακάτω, χρησιμοποιείται για να μετατραπεί το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ή για να το ανορθώσει. Αυτό ονομάζεται ανορθωτής γέφυρας. Οι δίοδοι έγιναν γρήγορα γνωστοί για τις εφαρμογές σιδηροδρόμων επειδή αντιπροσωπεύουν την επιλογή της χαμηλής συντήρησης. Εμφανίστηκαν αρχικά προς τα τέλη του 1960 όταν ανορθωτές με δίοδους εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά σε αμαξοστοιχίες των 25 kV AC.

3.2.3.2 Το Thyristor

Το θυρίστορ είναι μια εξέλιξη των δίοδων. Λειτουργεί σαν μια δίοδος στο ότι επιτρέπει την ροή του ρεύματος προς μία μόνο κατεύθυνση, αλλά διαφέρει από τη δίοδο στο ότι μπορεί να επιτρέψει τη ροή του ρεύματος και προς την αντίθετη κατεύθυνση μόνο όταν η πύλη είναι ανοιχτή. Όταν η πύλη είναι ανοιχτή και το ρεύμα ρέει, ο μόνος τρόπος για να διακόψουμε τη λειτουργία του είναι στέλνοντας ρεύμα στην αντίθετη κατεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο ακυρώνουμε την αρχική εντολή που αφορά στην πύλη. Είναι απλό να επιτευχθεί σε μια μηχανή έλξης εναλλασσόμενου ρεύματος, επειδή το ρεύμα αλλάζει κατεύθυνση κατά τη διάρκεια του κάθε κύκλου. Με την εξέλιξη αυτή, κατέστη δυνατή η παραγωγή ελεγχόμενων ανορθωτών καταργώντας έτσι μηχανισμούς που χρησιμοποιούταν ως τότε.

3.2.3.3 SEPEX

Στα πιο σύγχρονα συστήματα ελέγχου θυρίστορ, οι κινητήρες συνδέονται ξεχωριστά σε σχέση με την παλιά πρότυπη ρύθμιση DC. Ο σπλισμός 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 θυρίστορ, 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 σπλισμός τροφοδοτείται από το ρεύμα των θυρίστορ του μέχρι να φθάσει την πλήρη τάση. Αυτό θα μπορούσε να δώσει περίπου το 25% της πλήρους ταχύτητας της αμαξοστοιχίας. Στο δεύτερο στάδιο, οι θυρίστορ 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.

3.2.3.4 DC Choppers

Ο παραδοσιακός έλεγχος των αντιστάσεων των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σπαταλά ρεύμα επειδή αυτό προέρχεται από τη γραμμή (εναέρια ή τρίτης σιδηροδρομικής γραμμής) και μόνο μέρος αυτού χρησιμοποιείται για να επιταχύνει το τρένο για τα 30-40 km/h όταν, επιτέλους, εφαρμόζεται πλήρως η τάση. Το υπόλοιπο ρεύμα καταναλώνεται στις αντιστάσεις. Επειδή τα θυρίστορ έδειξαν αμέσως να δουλεύουν με την AC έλξη σε αυτό το θέμα, όλοι άρχισαν να ανηζήτουν έναν τρόπο ώστε να εφαρμόσουν την ίδια τεχνική στα συστήματα συνεχούς ρεύματος. Το πρόβλημα ήταν 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. Αυτό επιτεύχθηκε με την προσθήκη ενός «συντονισμένου κυκλωματος» που χρησιμοποιεί ένα πηνίο και έναν πυκνωτή τα οποία αναγκάζουν το ρεύμα να ρέει στην αντίθετη κατεύθυνση από την φυσιολογική του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απενεργοποίηση της θυρίστορ, ή αλλιώς την εναλλαγή του.

Δύο άλλα χαρακτηριστικά του κυκλώματος που χρησιμοποιούν DC θυρίστορ είναι η "δίοδος ελευθέρου τροχού" και το "φίλτρο γραμμής". Η δίοδος ελευθέρου τροχού κρατά το ρεύμα ώστε να κυκλοφορεί μέσα στον κινητήρα ενώ το θυρίστορ είναι κλειστό, χρησιμοποιώντας έτσι ο κινητήρας την επαγωγή του δικού του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Χωρίς αυτό το κύκλωμα διόδου, το ρεύμα που χρησιμοποιείται για τον κινητήρα θα τον έκανε πιο αργό.

Ο έλεγχος του θυρίστορ μπορεί να δημιουργήσει πολλές ηλεκτρικές παρεμβολές – με όλες αυτές τις διακοπές είναι λογικό. Το "φίλτρο γραμμής" περιλαμβάνει ένα πυκνωτή και ένα πηνίο και, όπως υποδηλώνει η ονομασία της, χρησιμοποιείται για την αποφυγή παρεμβολών από το κύκλωμα ισχύος του τρένου στο σύστημα τροφοδοσίας.

Το θυρίστορ λοιπόν 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.

3.2.3.5 Δυναμική πέδηση

Οι αμαξοστοιχίες που είναι εφοδιασμένες με σύστημα θυρίστορ μπορούν εύκολα να προσφεύγουν στην δυναμική πέδηση όπου οι κινητήρες γίνονται γεννήτριες και τροφοδοτούν το προκύπτον ρεύμα σε μια αντίσταση ή στο δίκτυο τροφοδοσίας. Τα κυκλώματα είναι έτσι σχεδιασμένα που χειρίζονται από μια εντολή του οδηγού που επιτρέπει στα θυρίστορ τον έλεγχο της ροής του ρεύματος καθώς οι κινητήρες επιβραδύνουν. Ένα πλεονέκτημα του κυκλώματος ελέγχου θυρίστορ είναι η δυνατότητα να επιλέξουμε ανάμεσα στην δυναμική ή την ρεοστατική πέδηση ανιχνεύοντας απλά αν το δίκτυο είναι σε θέση να δεχτεί τάση. Έτσι, η τάση που δημιουργείται περνάει κατευθείαν στο φίλτρο σύνδεσης με το δίκτυο και όταν αυτό φτάσει κάποια ανώτατη τιμή το θυρίστορ ενεργοποιείται και στέλνει το ρεύμα στην αντίσταση.

3.2.3.6 Το GTO Thyristor

Προς τα τέλη του 1980, το θυρίστορ εξελίχτηκε σε τέτοιο επίπεδο ώστε να μπορεί να απενεργοποιείται από ένα κύκλωμα ελέγχου και να ενεργοποιείται από τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την κατάργηση του κυκλώματος θυρίστορ για τους DC κινητήρες κερδίζοντας έτσι σε ηλεκτρονικές συσκευές για κάθε κύκλωμα. Τα θυρίστορ τώρα μπορούν να ανοίξουν και να κλείσουν εικονικά και κατά βούληση και μόνο ένα θυρίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του DC κινητήρα. Αυτή ήταν και η κορύφωση των DC συστημάτων έλξης, από εκεί και ύστερα οι AC κινητήρες ξεκινούσαν να αποκτούν τον έλεγχο της κατασκευής των τρένων.

3.2.4 Συστήματα Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Με το εναλλασσόμενο ρεύμα, ειδικότερα με σχετικά υψηλές τάσεις εναερίων καλωδίων τροφοδοσίας (10.000 volts ή μεγαλύτερες), απαιτούνται λιγότεροι υποσταθμοί.

Επίσης, η δυνατότητα χρήσης ελαφρότερου εναερίου καλωδίου τροφοδοσίας μειώνει το κόστος των κατασκευών που απαιτούνται για την υποστήριξή του, με αποτέλεσμα περαιτέρω ωφέλειες όσον αφορά το κόστος κεφαλαίου για την εγκατάσταση συστημάτων ηλεκτροκίνησης.

Τις πρώτες δεκαετίες της ηλεκτροκίνησης με εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης, οι διαθέσιμοι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος δεν ήταν κατάλληλοι για λειτουργία με το εναλλασσόμενο ρεύμα της εμπορικής ή βιομηχανικής συχνότητας (50 hertz [κύκλοι ανά δευτερόλεπτο] στην Ευρώπη, 60 hertz στις ΗΠΑ και τμήματα της Ιαπωνίας). Οι κινητήρες αυτοί έπρεπε να χρησιμοποιούν ρεύμα χαμηλότερης συχνότητας (16 2/3 hertz στην Ευρώπη, 25 hertz στις ΗΠΑ). Αυτό με τη σειρά του απαιτούσε είτε 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. Σε κάθε περίπτωση, συστήματα ηλεκτροκίνησης τροφοδοτούμενα με εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 16 2/3 hertz κατέστησαν τα κυρίαρχα σε μερικά Ευρωπαϊκά δίκτυα όπως στην Αυστρία, τη Γερμανία και τη Σουηδία, σε δίκτυα δηλαδή που ηλεκτροκινήθηκαν πριν τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

Στις ανατολικές ΗΠΑ κατασκευάστηκαν μερικά συστήματα ηλεκτροκίνησης τροφοδοτούμενα με εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 25 hertz, κυριότερο από τα οποία είναι αυτό που λειτουργεί ακόμη στον Βορειοανατολικό διάδρομο Νέας Υόρκης – Ουάσιγκτον, τον οποίον εκμεταλλεύεται η κρατική σιδηροδρομική εταιρεία Amtrak.

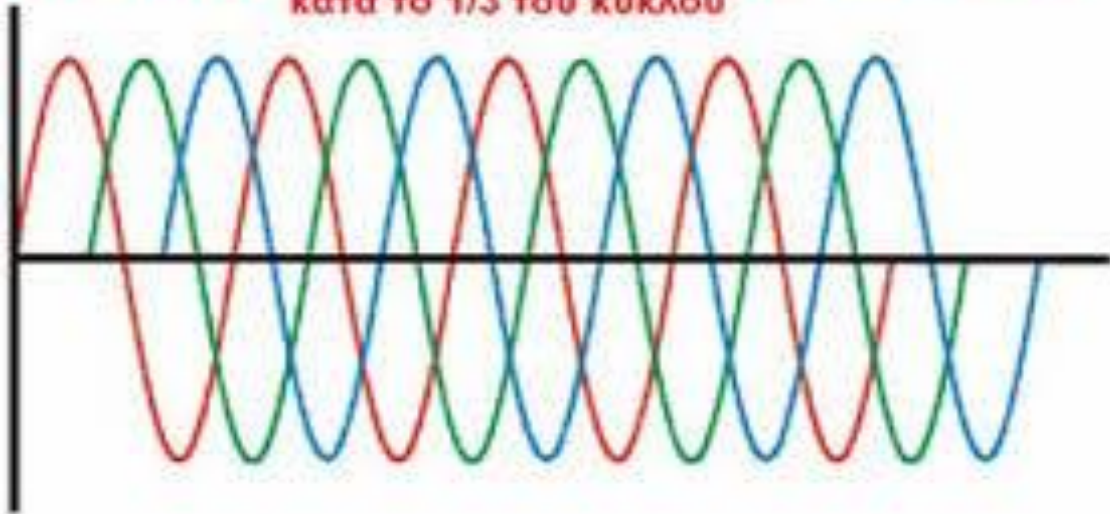
Παρ' όλ' αυτά, το ενδιαφέρον για ηλεκτροκίνηση σιδηροδρόμων μέσω εναέριου καλωδίου, με εναλλασσόμενο ρεύμα βιομηχανικής συχνότητας παρέμενε ζωντανό. Σχετικά πειράματα διεξάγονταν το 1933 στη Γερμανία και την Ουγγαρία. Πριν τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οι Γερμανικοί Κρατικοί Σιδηρόδρομοι ηλεκτροκίνησαν την τοπική γραμμή Höllenthal με εναλλασσόμενο ρεύμα 20.000 volts, 50 hertz. Το 1945 ο Louis Armand, πρώην Πρόεδρος των Γαλλικών Σιδηροδρόμων, συνέχισε την περαιτέρω ανάπτυξη αυτού του συστήματος και έκανε τις απαραίτητες μετατροπές της γραμμής μεταξύ Aix-Les-Bains και La Roche-sur-Foron για τους πρώτους πρακτικούς πειραματισμούς. Οι πειραματισμοί αυτοί απέβησαν τόσο επιτυχείς, ώστε το σύστημα ηλεκτροκίνησης 25.000 Volt και 50 ή 60 Hertz να καταστεί πρότυπο για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης σε βασικούς (main-line) σιδηροδρομικούς άξονες.

3.2.4.1 Ηλεκτροκίνηση με Τριφασικούς Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος

Η ηλεκτροκίνηση με τριφασικούς κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος κατέστη πρακτική τη δεκαετία του 1980.

Με τη βοήθεια της Ηλεκτρονικής κατέστη δυνατό να συμπιεστεί σε διαχειρίσιμο βάρος και μέγεθος ο σύνθετος εξοπλισμός που απαιτείτο για να μετασχηματιστεί το εναέριο καλώδιο τροφοδοσίας ή η τρίτη σιδηροτροχιά σε παροχή μεταβλητής τάσης και συχνότητας, κατάλληλη να τροφοδοτήσει τους τριφασικούς κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος.

**Τριφασικό Εναλλασσόμενο (AC) Ρεύμα:
Τρία πανομοιότυπα κύματα, χρονικά μετατοπισμένα
κατά το 1/3 του κύκλου**



Σχήμα 3. Τριφασικό Εναλλασσόμενο Ρεύμα

3.2.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτροκινητήρων Τριφασικού Εναλλασσομένου Ρεύματος

Για τη σιδηροδρομική έλξη, ο κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος είναι από πολλές απόψεις προτιμότερος από τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

- Ο κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος είναι επαγωγικός κινητήρας, δεν έχει διακόπτες αναστροφής (commutators) ή ψήκτρες, ούτε μηχανικά τμήματα επαφής εκτός από ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν). Η συντήρησή του είναι λοιπόν πολύ απλούστερη και είναι περισσότερο αξιόπιστος.
- Είναι επίσης περισσότερο συμπαγής από τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος, με αποτέλεσμα να διατίθεται περισσότερη ισχύς από ένα συγκεκριμένο βάρος και μέγεθος κινητήρα.
- Η ροπή στρέψεως (torque) ενός κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος μεγαλώνει με την ταχύτητα, ενώ αντιθέτως, ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, είναι αρχικώς υψηλή και πέφτει όσο αυξάνεται η ταχύτητα. Συνεπώς, ο κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος προσφέρει καλύτερη πρόσφυση για την επιτάχυνση βαρέων σιδηροδρομικών φορτίων.
- Τέλος, ο κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος μεταπίπτει ευκολότερα σε λειτουργία γεννήτριας, δρώντας δυναμικά (ρεοστατικά) ή σαν γεννήτρια πέδης.

Στη δυναμική πέδη το ρεύμα που δημιουργείται για να αντισταθεί στην ορμή του συρμού σπαταλάται (διαχέεται) μέσω αντιστάσεων επί του τρένου.

Στην αναγεννητική (regenerative) πέδη, που υιοθετείται σε ορεινές γραμμές ή αστικές γραμμές μεγάλης πυκνότητας κυκλοφορίας, όπου το πλεονάζον ρεύμα μπορεί αμέσως να παραληφθεί από άλλα τρένα, το ρεύμα επανατροφοδοτείται στην εναέρια γραμμή επαφής ή την τρίτη σιδηροτροχιά.

Τα μειονεκτήματα της έλξης με τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα είναι:

- Η περιπλοκότητα του ηλεκτρικού εξοπλισμού επί του τρένου, που απαιτείται για τη μετατροπή της τροφοδοσίας ρεύματος, πριν αυτό φτάσει στους κινητήρες και
- Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, το μεγαλύτερο κόστος κεφαλαίου σε σύγκριση με συστήματα κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

3.2.4.3 IGBT

Έχοντας την έλξη με AC συστήματα παγκοσμίως αποδεκτή (σχεδόν δηλαδή) σαν το πιο μοντέρνο μοντέλο έλξης που υπάρχει, οι μηχανικοί ηλεκτρονικών ισχύος ανέπτυξαν μια νέα συσκευή, τα IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), δηλαδή τα διπολικά τρανζίστορ μονωμένης πύλης. Τα τρανζίστορ ήταν ο πρόδρομος της σύγχρονης ηλεκτρονικής, (θυμηθείτε τα τρανζίστορ ραδιόφωνα) και θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν σαν θυρίστορ αλλά δεν χρειάζονται τα υψηλά ρεύματα του θυρίστορ για να απενεργοποιηθούν. Ωστόσο, ήταν, μέχρι πολύ πρόσφατα, μόνο σε θέση να χειρίζονται πολύ μικρά ρεύματα που μετρώνται σε εκατοντάδες αμπέρ. Τώρα, η σύγχρονη συσκευή, με τη μορφή του IGBT, μπορεί να χειριστεί χιλιάδες αμπέρ και έχει εμφανιστεί σε εφαρμογές έλξης. Μια χαμηλότερου ρεύματος έκδοση χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, αντί των θυρίστορ στα βοηθητικά συστήματα παροχής στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όμως ακόμη υψηλότερη έκδοση έχει πλέον εισέλθει στην υπηρεσία των πλέον πρόσφατων μονάδων έλξης AC. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να αλλάξουν (ή διακοπούν ή μεταβούν) πολύ πιο γρήγορα (τρεις έως τέσσερις φορές πιο γρήγορα) από ότι τα GTO. Αυτό μειώνει το ρεύμα που απαιτείται και ως εκ τούτου παράγεται θερμότητα, δίνοντας μικρότερες και ελαφρύτερες μονάδες. Η ταχύτερη μετάβαση μειώνει επίσης το συγκρότημα αλλαγής ταχυτήτων των GTO κάνοντας έτσι την επιτάχυνση πολύ πιο ομαλή όπως επίσης ομαλός γίνεται και ο ήχος αυτής. Με τα IGBTs, οι μηχανισμοί αλλαγής ταχυτήτων εξαφανίστηκαν.

3.2.5 Τεχνολογικές Βελτιώσεις Συστημάτων Ηλεκτροκίνησης με Εναλλασσόμενο Ρεύμα Βιομηχανικής Συχνότητας

Στα συστήματα εναλλασσομένου ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας υπάρχουν δύο πρακτικώς τρόποι μεταβίβασης της ισχύος στους κινητήριους τροχούς της ηλεκτράμαξας:

- Μέσω περιστροφικού μεταλλάκτη (rotary converter) ή στατικού ανορθωτή (rectifier) επί της ηλεκτράμαξας, ο οποίος μετατρέπει την παροχή εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα χαμηλής τάσης, που τροφοδοτεί ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος.
- Μέσω συστήματος μεταλλακτών που παράγουν ρεύμα μεταβλητής συχνότητας, που τροφοδοτεί ηλεκτροκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος.

Η πρώτη μέθοδος, που χρησιμοποιεί μη-μηχανικούς ανορθωτές, αποτελούσε κοινή πρακτική μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970.

Στην εποχή μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο έχει σημαντικά βελτιωθεί η σχέση ισχύος προς βάρος των ηλεκτραμαξών. Η μείωση του μεγάλου μέρους των ηλεκτρικών συσκευών και κινητήρων επί της μονάδας, μαζί με την ταυτόχρονη αύξηση της απόδοσης σε ισχύ, επέτρεψε το 1944 στην Ελβετία την κατασκευή για τους σιδηροδρόμους Bern-Lötschberg-Simplon ηλεκτράμαξας ισχύος 4.000 ίππων και βάρους μόνο 72 τόνων. Οι τέσσερις άξονες της ηλεκτράμαξας ήσαν όλοι κινητήριοι. Δεν υπήρχε πλέον ανάγκη για μη-κινητήριους άξονες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να διατηρούν το βάρος κάθε ζεύγους τροχών εντός των επιτρεπόμενων από άποψη γραμμής ορίων.

Περί το 1960, η ηλεκτρική βιομηχανία παρήγαγε σύνολα μετασχηματιστών και ανορθωτών τόσο λεπτά σε πάχος, που μπορούσαν να προσαρμοστούν κάτω από το πλαίσιο του κινητηρίου οχήματος ενός συρμού αστικών επιβατικών μεταφορών, αφήνοντας ολόκληρο τον χώρο του αμαξώματος διαθέσιμο για την τοποθέτηση καθισμάτων επιβατών.

Με τον τρόπο αυτόν επιταχύνθηκε και επεκτάθηκε η ηλεκτροκίνηση των μητροπολιτικών σιδηροδρομικών δικτύων των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών, με τη λειτουργία αυτοκινούμενων συρμών, στους οποίους όλα ή μερικά από τα οχήματα είναι κινητήρια.

Με τον τρόπο αυτόν, οι συνθέσεις προσαρμόζονται καλύτερα στις ανάγκες της ώρας αιχμής. Με τη σύζευξη δύο ή περισσότερων συνθέσεων, η απαιτούμενη επιπλέον ισχύς παρέχεται από τις προστιθέμενες συνθέσεις.

Τόσο με την νηζελοκίνητη έλξη όσο και με την ηλεκτροκίνηση, είναι εύκολο να διασυνδεθούν ηλεκτρικά οι έλεγχοι ισχύος και πέδησης όλων των συνθέσεων, έτσι ώστε ο συρμός τον οποίο συγκροτούν να μπορεί να οδηγηθεί από ένα θάλαμο μηχανοδήγησης.

Λόγω της ευκολίας αυτής, τέτοιες συνθέσεις είναι γνωστές ως πολλαπλές μονάδες (multiple-units). Οι σύγχρονες πολλαπλές μονάδες είναι εφοδιασμένες με αυτόματους συζευκτήρες (couplers), που εξασφαλίζουν τη σύνδεση όλων των κυκλωμάτων ελέγχου έλξης, πέδησης κλπ. μεταξύ των δύο συνθέσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με την αυτόματη σύνδεση, όταν οι συζευκτήρες ενώνονται, των ηλεκτρικών επαφών που βρίσκονται στην κεφαλή κάθε συζευκτήρα.

3.2.6 Διάταξη Ηλεκτροκινητήρων

Ένας ξεχωριστός κινητήρας έλξης εξυπηρετεί συνήθως κάθε άξονα, μέσω κατάλληλης διάταξης μετάδοσης. Για απλοποίηση της διάταξης ήταν για πολλά χρόνια συνήθης πρακτική η προσαρμογή των κινητήρων έλξης στους άξονες της ηλεκτράμαξας.

Με την αύξηση των ταχυτήτων των τρένων, η ανάγκη να περιοριστεί η επίδραση στη γραμμή των μη-ανητημένων μαζών κατέστη σημαντική. Τώρα πλέον, οι κινητήρες έλξης είτε αναρτώνται στο εσωτερικό των φορείων της ηλεκτράμαξας, είτε, στην περίπτωση ορισμένων συρμών υψηλών ταχυτήτων, αναρτώνται από το αμάξωμα της ηλεκτράμαξας και συνδέονται με τα κιβώτια των αξόνων μέσω εύκαμπτων αξόνων μετάδοσης. Στην **Εικόνα 6** βλέπουμε φορείο τρένου κατασκευής ALSTOM στο εσωτερικό του οποίου μπορεί να αναρτηθεί κινητήρας έλξης.



Εικόνα 6. Φορείο τρένου DUPLEX TGV, κατασκευής ALSTOM.

Τεχνολογία κινητήρων συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα τρένα υψηλών ταχυτήτων, τόσο στην Ιαπωνία (Shinkansen), όσο και στη Γαλλία (TGV γραμμής Παρίσι-Λυών). Όμως, από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η ηλεκτροκίνηση με τριφασικούς κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος είχε υιοθετηθεί στα νέα Ιαπωνικά και Γαλλικά τρένα υψηλών ταχυτήτων.

3.2.7 Πολυρρευματικοί Συρμοί

Στην Ευρώπη, η κυκλοφορία διεθνών τρένων χωρίς αλλαγή κινητήριας μονάδας στα σύνορα αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, επειδή τα διάφορα εθνικά σιδηροδρομικά δίκτυα έχουν ιστορικά υιοθετήσει διαφορετικά συστήματα ηλεκτροκίνησης, όπως:

- Συνεχές ρεύμα 1.500 V.
- Συνεχές ρεύμα 3.000 V.
- Εναλλασσόμενο ρεύμα 25.000 V, 50 Hz
- Εναλλασσόμενο ρεύμα 15.000 V, 16 2/3 Hz.

Οι Γαλλικής τεχνολογίας συρμοί υψηλών ταχυτήτων Eurostar, που κυκλοφορούν μεταξύ Λονδίνου - Παρισιού και Λονδίνου - Βρυξελλών μέσω της σήραγγας της Μάγχης, έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν:

- στη Γαλλία με ενάερια τροφοδοσία εναλλασσομένου ρεύματος 25.000 Volt,
- στο Βέλγιο με ενάερια τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος 3.000 Volt και
- στη Βρετανία με τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος 750 Volt μέσω τρίτης σιδηροτροχιάς.

Αμέσως μετά τη στρατηγική επιλογή τους να υιοθετήσουν την ηλεκτροκίνηση με εναλλασσόμενο ρεύμα τάσης 25.000 Volt σε νέες γραμμές ή σε γραμμές που δεν είχαν ηλεκτροκινηθεί προηγουμένως με ενάερια τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος 1.500 Volt, οι Γάλλοι τελειοποίησαν την τεχνολογία των πολυρρευματικών ηλεκτρικών κινητηρίων μονάδων.

3.2.8 Τεχνολογικές Εξελίξεις Εφαρμογής της Ηλεκτρονικής

Μετά το 1980, οι επιδόσεις και η οικονομικότητα τόσο των νηζελαμαξών όσο και των ηλεκτραμαξών έχει βελτιωθεί σημαντικά, με την παρεμβολή μικροϋπολογιστών μεταξύ των χειριστηρίων μηχανοδότησης και των ζωτικών τμημάτων των κινητήρων. Οι μικροϋπολογιστές αυτοί εξασφαλίζουν ότι οι επιμέρους συνιστώσες αντιδρούν με τη μέγιστη αποδοτικότητα και ότι δεν επιβαρύνονται απερίσκεπτα.

Ένα άλλο προϊόν της εφαρμογής της Ηλεκτρονικής στα συστήματα ελέγχου είναι ότι, στη σύγχρονη ηλεκτράμαξα, ο μηχανοδηγός μπορεί να προσδιορίσει την ταχύτητα του τρένου, που θέλει να πετύχει ή να διατηρήσει, και ο εξοπλισμός έλξης θα εφαρμόσει ή τροποποιήσει αυτόματα την απαιτούμενη από τους ηλεκτροκινητήρες ισχύ, παίρνοντας υπόψη το βάρος του τρένου και την κατά μήκος κλίση της γραμμής.

Οι μικροεπεξεργαστές παρέχουν επίσης και διαγνωστικές υπηρεσίες, εποπτεύοντας συνεχώς την κατάσταση των υπό έλεγχο συστημάτων για ενδείξεις αρχόμενου ή επισυμβάντος σφάλματος. Οι μικροεπεξεργαστές είναι συνδεδεμένοι με τον κύριο υπολογιστή επί του τρένου, ο οποίος αναφέρει αμέσως τη φύση και τη θέση οποιασδήποτε δυσλειτουργίας σε οπτική ένδειξη στο θάλαμο μηχανοδότησης, εν γένει με συμβουλές προς το πλήρωμα της αμαξοστοιχίας, για τον τρόπο διόρθωσης ή προσωρινής άρσης των επιπτώσεων. Οι ίδιες ενδείξεις αναφέρουν επίσης τα αποτελέσματα των διορθωτικών δράσεων που αναλήφθηκαν. Ο υπολογιστής αποθηκεύει αυτομάτως τις πληροφορίες αυτές, είτε για χρήση από το προσωπικό συντήρησης μετά το τέλος του ταξιδιού, ή, σε σιδηροδρόμους εφοδιασμένους με συστήματα επικοινωνίας με την επισκευαστική βάση, για άμεση μετάδοση στο μηχανοστάσιο, ώστε οι προετοιμασίες για την αποκατάσταση της βλάβης να έχουν ολοκληρωθεί με την άφιξη της μονάδας.

3.2.9 Στοιχεία συστήματος ηλεκτροκίνησης (εναέρια γραμμή)



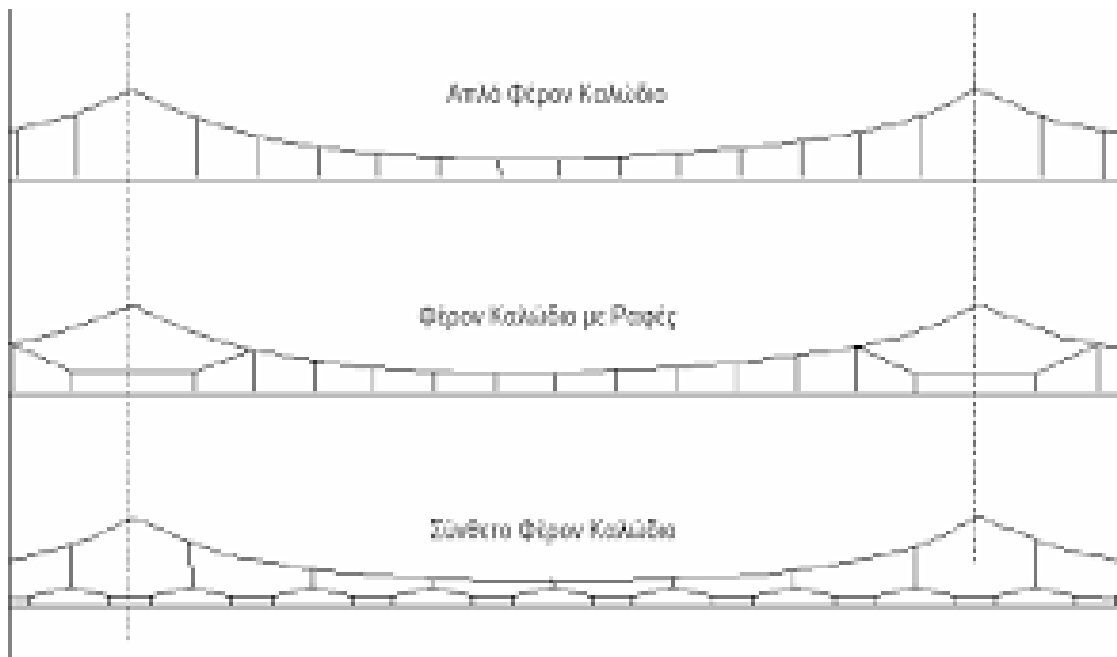
Εικόνα 7

Υποσταθμός έλξης



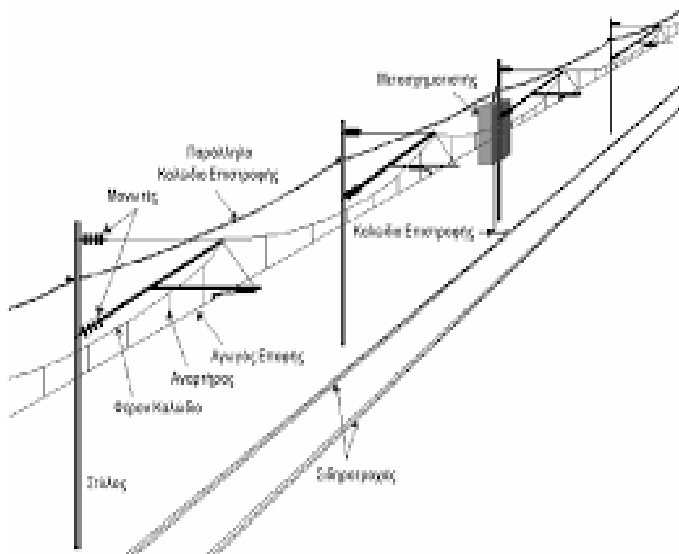
Εικόνα 8

Υποσταθμός τροφοδοσίας έλξης 25kV-50Hz



Εικόνα 9. Φέρον καλώδιο

Στην εποχή μας χρησιμοποιούνται αγωγοί AWAC, οι οποίοι κατασκευάζονται από κεντρικό ανοξείδωτο χαλύβδινο πυρήνα, περιβαλλόμενο από στρώσεις αλουμινίου. Το φέρον καλώδιο είναι λοιπόν τώρα ελαφρύτερο και οικονομικότερο. Το φέρον καλώδιο εγκαθίσταται με ονομαστική τάση 12 KV.



Εικόνα 10



Εικόνα 11 . Παντογράφος

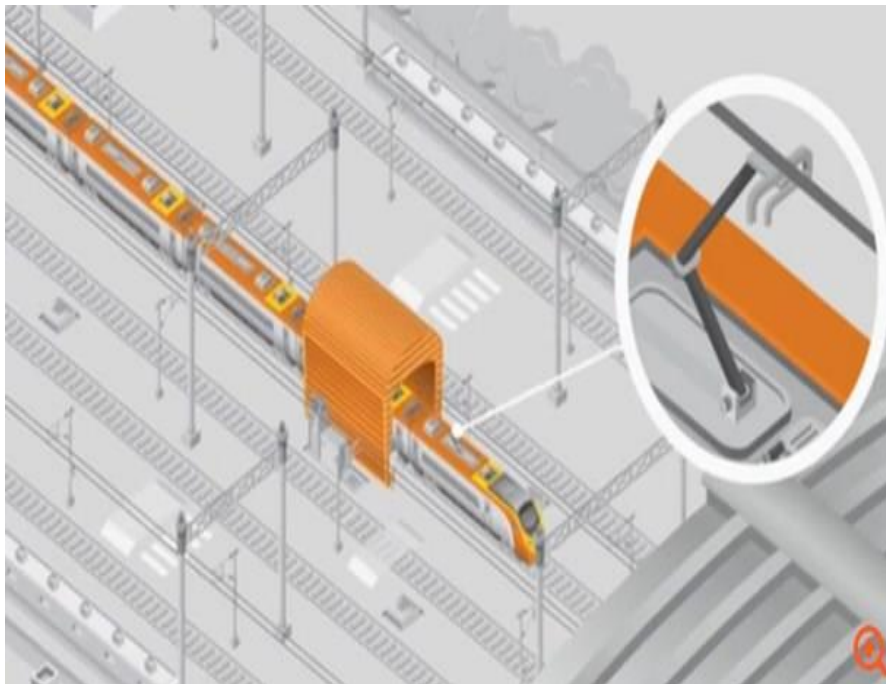
Ο **παντογράφος (Εικόνα 11)** είναι διάταξη που τοποθετείται στην οροφή ενός ηλεκτρικού τραίνου, τραμ ή ηλεκτρικού λεωφορείου για να συλλέγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω της επαφής με εναέρια καλώδια. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα μονό σύρμα, ενώ η επιστροφή του ρεύματος για να κλείσει το κύκλωμα γίνεται μέσω της μεταλλικής σιδηροτροχιάς.

Ο παντογράφος αποτελεί βελτίωση σε σχέση με το απλούστερο σύστημα των τρόλεϊ, κυρίως επειδή επιτρέπει στα σιδηροδρομικά οχήματα να ταξιδέψουν σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες, χωρίς να χάσει την επαφή με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς. Ο πιο κοινός τύπος του παντογράφου σήμερα, είναι ο τύπος "Z" που έχει αναπτυχθεί για να δώσει μια πιο συμπαγή κατασκευή για υψηλές ταχύτητες. Ο Louis Faiveley επινόησε αυτό το είδος του παντογράφου το 1955. Λειτουργεί με την ίδια αποτελεσματικότητα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση της κίνησης. Το ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης για τα σύγχρονα ηλεκτρικά τρέινα αποτελείται από ένα πολύπλοκο σύστημα (γνωστό ως αλυσοειδής γραμμή επαφής). Ονομάζεται έτσι γιατί θυμίζει λίγο αλυσίδα. Αντί για ένα απλό καλώδιο, που λόγω του βάρους του δεν θα ήταν επίπεδο αλλά καμπύλο (βέλος κάμψης), προσθέτουμε ένα δεύτερο καλώδιο, το φέρον. Στην Ελλάδα οι ηλεκτράμαξες ενώ διαθέτουν δυο παντογράφους κυκλοφορούν μόνο με τον έναν σε

λειτουργία, ενώ ο δεύτερος παραμένει ως εφεδρικός. Αντίθετα τα Desiro(τύπος ηλεκτρικού τρένου που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα) σε κανονική λειτουργία κυκλοφορούν και με τους δυο παντογράφους αναρτημένους, ενώ σε περίπτωση βλάβης του ενός κυκλοφορούν με περιορισμό ταχύτητας. Σε περίπτωση διπλής έλξης δυο ηλεκτραμαξών, έχουμε δυο παντογράφους αναρτημένους (έναν σε κάθε ηλεκτράμαξα), ενώ σε διπλή έλξη δυο desiro (δεκάδυμος συρμός) έχουμε αναρτημένους και τους 4 παντογράφους. Η ανάρτηση του παντογράφου συνήθως λειτουργεί με συμπιεσμένο αέρα από το σύστημα πέδησης του οχήματος.



Εικόνα 12. Αγωγός Επαφής



Εικόνα 13. Ταινίες επαφής



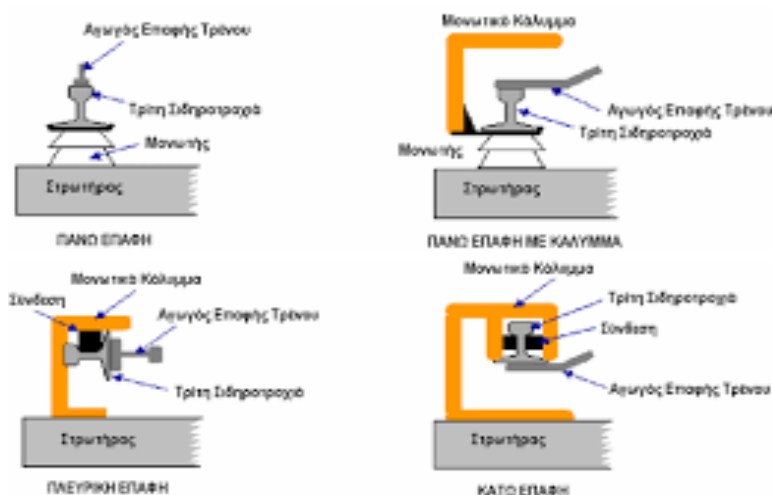
Εικόνα 14. Βραχίονας παντογράφου

3.2.10 Στοιχεία Συστήματος Ηλεκτροκίνησης (Τρίτη Σιδηροτροχιά)



Εικόνα 15

Σ' αυτή τη περίπτωση υπάρχει ένα DC σύστημα τροφοδοσίας από τρίτη ράγα και τη θέση της ηλεκτροφόρου σιδηροδρομικής ράγας σε σχέση με τις υπόλοιπες δυο κανονικές σιδηροτροχιές. Το σιδηροδρομικό σύστημα τρίτης ράγας χρησιμοποιεί μια συσκευή που λέγεται "παπούτσι" για τη συλλογή του ρεύματος για λογαριασμό της αμαξοστοιχίας, ονομάστηκε έτσι ίσως επειδή αρχικά λεγόταν "παντόφλα" από τους πρωτοπόρους του κλάδου (slipper που σημαίνει παντόφλα και slip που σημαίνει γλιστρώ, έτσι γλιστρά και αυτή η συσκευή πάνω στη ράγα).



Εικόνα 16. Σχηματική απόδοση επαφών τρίτης ράγας

Το παραπάνω διάγραμμα (**Εικόνα 16**) δείχνει μια κορυφαία επαφή τρίτης σιδηροδρομικής ράγας, αλλά υπάρχουν και άλλα είδη, όπως φαίνεται άλλωστε στο διάγραμμα. Η συλλογή ρεύματος από την τρίτη σιδηροτροχιά υπάρχει σε διάφορα σχέδια. Το πιο απλό είναι αυτό που ονομάζεται "άνω επαφής", επειδή αυτό είναι το μέρος της σιδηροδρομικής γραμμής κατά την οποία γίνεται η επαφή με το "παπούτσι". Όντως το πιο απλό, έχει και κάποια μειονεκτήματα, με το πιο σημαντικό αυτό του ότι είναι πολύ εύκολο να έρθει σε επαφή από οτιδήποτε και από οποιονδήποτε. Μειονεκτεί επίσης και στο γεγονός ότι είναι εκτεθειμένο στην κακοκαιρία, ακόμα και μια μικρή ποσότητα χιονιού ή βροχής μπορεί να βγάλει εκτός λειτουργίας την σιδηροτροχιά και να προκαλέσει ακριβές ζημιές για την επισκευή της. Το ίδιο ισχύει και για τις πλάγιες πλευρές της ράγας ενώ ή μόνη πλευρά που καλύπτεται σε όλο της το εύρος είναι η αυτή από κάτω.



Εικόνα 17. DC “παπούτσι” άνω επαφής

Αυτό το DC “παπούτσι” άνω επαφής (**Εικόνα 17**) έχει απομακρυσμένες εγκαταστάσεις ανύψωσης. Όλα τα «παπούτσια» χρειάζονται κάποιον 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. Έχουν χρησιμοποιηθεί ελατήρια και σε μερικά συστήματα άνω επαφής, αλλά είναι μηχανικά πιο δύσκολο να ελεγχθούν, λόγω της κίνησης του βαγονιού και του κινδύνου μήπως το παπούτσι παγιδευτεί κάτω από την κεφαλή της ράγας και το γυρίσει ανάποδα καταστρέφοντάς το.

3.2.11 Σιδηροδρομικά κενά

Υπάρχουν τρένα με έναν μόνο παντογράφο αλλά, σε τρένα που χρησιμοποιούν τα παπούτσια, υπάρχουν πάντα πολλά παπούτσια. Η επαφή με τα εναέρια καλώδια συνήθως δεν διακόπτεται, αλλά σε ότι αφορά στην τρίτη σιδηροτροχιά η επαφή χάνεται στις διασταυρώσεις ώστε να καταστεί δυνατή η συνέχεια των σιδηροτροχιών. Αυτά τα κενά, μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας στο τρένο. Οι απώλειες ενέργειας μπορούν να μειωθούν με τον εντοπισμό όλων των παπουτσιών κατά μήκος της αμαξοστοιχίας και τη σύνδεσή μεταξύ τους με ένα καλώδιο γνωστό και ως busline. Παρά το γεγονός αυτό όμως, μπορεί να υπάρξουν προβλήματα. Το πρόβλημα θα γίνει μεγάλο όταν το τρένο σταματήσει με όλα τα παπούτσια εκτός επαφής ή ανάμεσα στα κενά μιας και αυτό συμβαίνει πιο συχνά απ' όσο μπορούμε να φανταστούμε. Σε αυτή τη περίπτωση η λύση είναι η συμμετοχή μιας άλλης αμαξοστοιχίας η οποία θα σπρώξει την ακινητοποιημένη ή με το να απλωθεί ένα καλώδιο το οποίο θα τροφοδοτήσει την ακινητοποιημένη αμαξοστοιχία. Τα τρέχοντα σιδηροδρομικά κενά υπάρχουν εκεί που οι υποσταθμοί τροφοδοτούν τις γραμμές. Κανονικά, κάθε κομμάτι σιδηροδρομικής γραμμής τροφοδοτείται σε κάθε κατεύθυνση

μέχρι τον επόμενο υποσταθμό. Αυτό επιτρέπει κάποια παραπάνω προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας και εξασφαλίζει την συνέχεια, αν ένας υποσταθμός «πέσει». Αυτά τα κενά μεταξύ υποσταθμών συνήθως σηματοδοτούνται από κάποια πινακίδα ή από έναν φωτεινό σηματοδότη που δείχνει αν το σιδηροδρομικό κομμάτι που ακολουθεί τροφοδοτείται από ηλεκτρικό ρεύμα ή όχι. Όταν το τρένο πλησιάζει σε αυτό το σημείο και η ηλεκτρική τροφοδοσία διακόπτεται αυτό πρέπει να σταματήσει. Δεδομένου ότι η τροφοδοσία μπορεί να είναι απενεργοποιημένη για να σταματήσει ένα τόξο ή λόγω βραχυκυκλώματος, είναι σημαντικό η αμαξοστοιχία ότι δεν πρέπει να συνδέσει το νεκρό σημείο με το τροφοδοτούμενο με το καλώδιο busline που συνδέει τα «παπούτσια». Μερικά από τα πιο εξελιγμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα πλέον μπορούν να σταματήσουν το τρένο πριν εισέλθουν στο νεκρό σημείο.

Σε διάφορα σημεία κατά μήκος της γραμμής, υπάρχουν τμήματα όπου τα τρένα μπορούν να απομονωθούν ηλεκτρικά προσωρινά από το σύστημα τροφοδοσίας. Σε τέτοιες περιοχές, όπως τους τερματικούς σταθμούς, παρέχονται "διακόπτες τομέων". Όταν ανοίγουν, εμποδίζουν μέρος της γραμμής να τροφοδοτηθεί από τον υποσταθμό. Χρησιμοποιούνται όταν είναι απαραίτητο να απομονώσουμε ένα τρένο με ένα ηλεκτρικό σφάλμα στο σύστημα συλλογής της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2.11.1 Επιστροφή ηλεκτρικής ενέργειας

Όσον αφορά την επιστροφή, θα πρέπει να υπάρχει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, από την πηγή της ενέργειας μέχρι τον καταναλωτή και πάλι πίσω στην πηγή, έτσι ένας αγωγός επιστροφής είναι απαραίτητος για τον σιδηρόδρομό μας. Η απάντηση είναι απλή, χρησιμοποιούνται οι σιδηροτροχιές πάνω στις οποίες κινούνται οι αμαξοστοιχίες. Εφόσον έχουν παρθεί προφυλάξεις ώστε να αποφευχθεί η υπέρταση στο άνω μέρος του εδάφους, είναι η καλύτερη λύση για την επιστροφή μιας και ήδη λειτουργεί καλά εδώ και έναν αιώνα. Φυσικά αρκετοί σιδηρόδρομοι χρησιμοποιούν τις ράγες για τα κυκλώματα σηματοδότησης, εκεί ειδικά συστήματα προφυλάξεων πρέπει να εγκατασταθούν για τα αποφευχθούν ατυχήματα ή δυσλειτουργίες. Το κύκλωμα του ηλεκτρικού ρεύματος στο τρένο ολοκληρώνεται με τη σύνδεση της επιστροφής στα ελατήρια των τροχών. Οι τροχοί οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από ασάλι μεταφέρουν το ρεύμα στις ράγες. Αυτές είναι συνδεδεμένες στον υποσταθμό, επιστρέφοντας την ενέργεια και κλείνοντας έτσι το κύκλωμα. Η ίδια τεχνική χρησιμοποιείται στα AC και DC συστήματα όπου η τροφοδοσία γίνεται με εναέρια καλώδια.

3.2.12 Ηλεκτροκίνητη αμαξοστοιχία

Ηλεκτροκίνητη αμαξοστοιχία, (Electric multiple unit ή EMU) (**Εικόνα 18**) είναι ένα ένοπλο τρένο πολλαπλών οχημάτων με περισσότερα από ένα βαγόνια που μεταφέρουν μόνο επιβάτες το οποίο χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό ως κινητήρια δύναμη.



Εικόνα 18. EMU

3.2.12.1 Ιστορία ηλεκτροκίνητης αμαξοστοιχίας

Τα πρώτα EMU εμφανίστηκαν το 1893 στον σιδηρόδρομο του Liverpool στην Αγγλία. Ο σιδηρόδρομος εκεί ήταν υπόγειος οπότε έλαβε και την διάκριση του πρώτου υπόγειου σιδηροδρόμου. Κάθε βαγόνι είχε τον δικό του ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος ήταν ειδικά σχεδιασμένος και κατασκευασμένος ώστε να είναι ελαφρύς. Οι πρώτες ηλεκτροκίνητες αμαξοστοιχίες αποτελούνταν από δυο βαγόνια, ενώ ύστερα, προστέθηκαν κι άλλα.

3.2.12.2 Είδη EMU

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

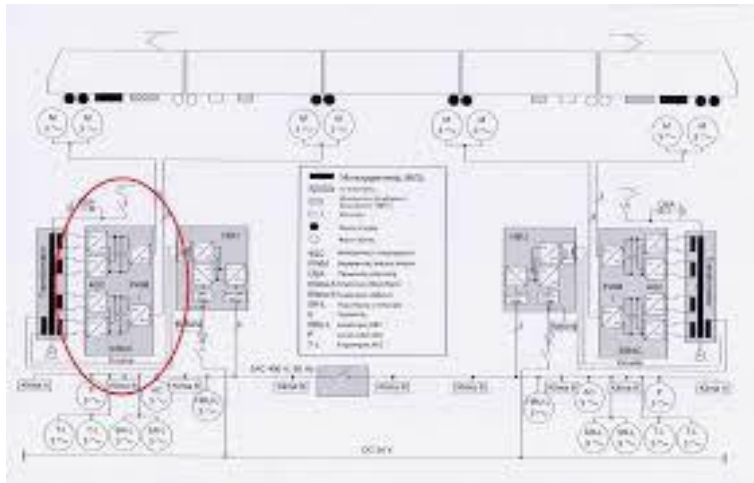
σιδηροτροχιά ή ο παντογράφος για τα εναέρια συστήματα και τους μετασχηματιστές.

- 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 ηλεκτρικίνητες αμαξοστοιχίες υπάρχουν δυο, ένα σε κάθε άκρη.
- Τα απλά βαγόνια δεν φέρουν κάποιον ιδιαίτερο εξοπλισμό και χρησιμοποιούνται μόνο για την μεταφορά επιβατών ή εμπορευμάτων.

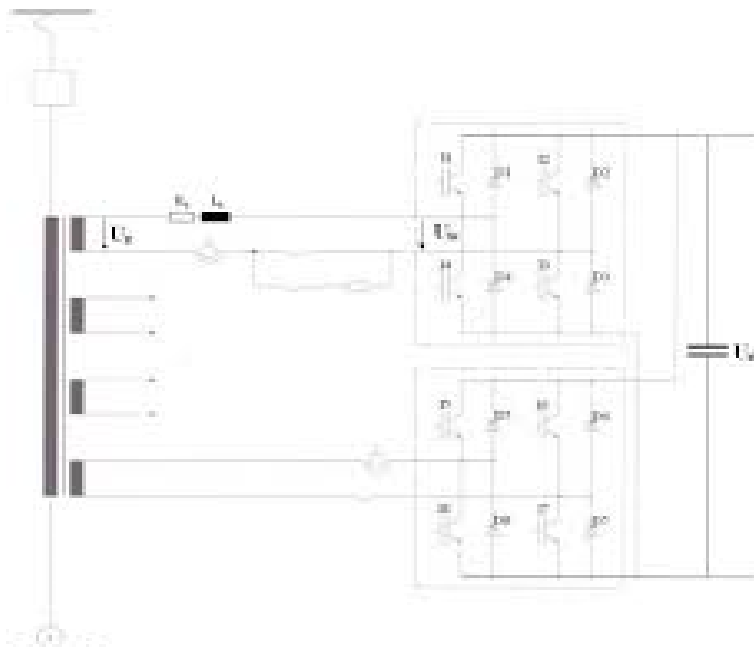
3.2.12.3 Ηλεκτράμαξες κατάλληλες για την Ελλάδα

Από πλευράς Ηλεκτροκίνητων τρένων και Ηλεκτραμαξών, στην Ελλάδα μπορούν σε ορισμένες σιδηροδρομικές γραμμές να λειτουργήσουν τα DESIRO και τα HellasSprinter τα οποία μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες. Στο παρακάτω **Σχήμα 4** φαίνονται τα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης του ηλεκτροκίνητου τραίνου DESIRO, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει ο ΟΣΕ στις γραμμές της Ελλάδας. Το ηλεκτροκίνητο τρένο του σχήματος, έχει δύο 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.

Όπως φαίνεται παρακάτω ο κάθε μετατροπέας αποτελείται από δύο ζεύγη μονοφασικών ανορθωτών τεσσάρων τεταρτημορίων. Το κάθε ζεύγος έχει δύο μονοφασικούς ανορθωτές, οι οποίοι συνδέονται παράλληλα.



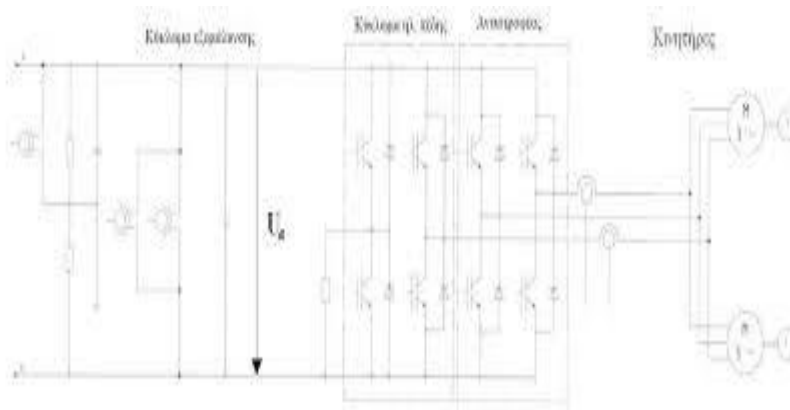
Σχήμα 4. Ηλεκτροκίνητο τρένο DESIRO



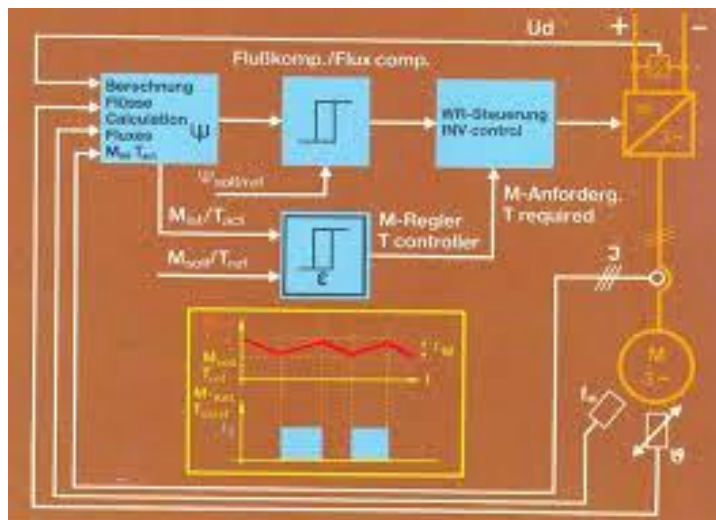
Σχήμα 5. Διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος τεσσάρων τεταρτημορίων

Στο παραπάνω **Σχήμα 5** φαίνονται δύο μονοφασικές ανορθωτικές διατάξεις τεσσάρων τεταρτημορίων, οι οποίες είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Η τάση εξόδου των ανορθωτών, αφού εξομαλυνθεί, τροφοδοτεί τον αντιστροφέα δύο σημείων. Τα ημιαγωγικά στοιχεία που χρησιμοποιούν οι μονοφασικές ανορθωτικές διατάξεις είναι IGBT με αντιπαράλληλες διόδους. Με τη βοήθεια αυτών των ανορθωτών, μπορεί το σύστημα ηλεκτρικής έλξης του ηλεκτροκίνητου τρένου να λειτουργήσει στα τέσσερα τεταρτημόρια (4-qS), γιατί στις διατάξεις αυτές μπορεί να αλλάξει και η φορά του ρεύματος. Μέσα σε μια ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης κλείνουν οι διακόπτες των IGBT ώστε για μικρά χρονικά διαστήματα να δημιουργούνται βραχυκυκλώματα μικρής

διάρκειας. Με τον τρόπο αυτό το ρεύμα του δευτερεύοντος των τυλιγμάτων του Μ/Σ πλησιάζει περισσότερο την ημιτονοειδή μορφή. Μεταβάλλοντας τη διάρκεια και τις χρονικές στιγμές αγωγής των ελεγχόμενων στοιχείων, μπορούμε να μεταβάλλουμε την άεργο ισχύ στην πλευρά εισόδου του ανορθωτή τόσο κατά την έλξη όσο και κατά την πέδη.



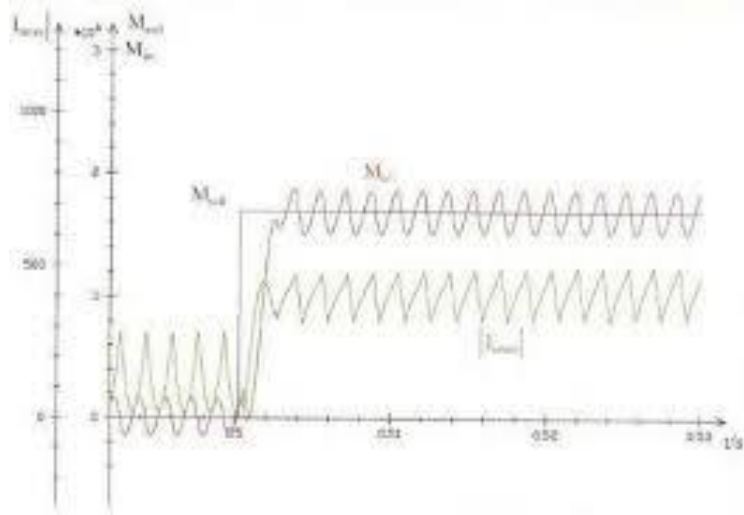
Σχήμα 6. Αντιστροφέας με IGBT, κύκλωμα πέδης, κινητήρες



Εικόνα 19. Αντιστροφέας, κινητήρας, και σύστημα ελέγχου και οδήγησης

Η τάση εξόδου των ανορθωτών, μετά την εξομάλυνσή της, τροφοδοτεί έναν ελεγχόμενο τριφασικό αντιστροφέα δύο σημείων. Τα ημιαγωγικά στοιχεία του αντιστροφέα είναι IGBT. Ο αντιστροφέας αυτός, με βάση την επιλεγόμενη μέθοδο οδήγησης και ελέγχου, τροφοδοτεί στην έξοδό του δύο τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα με μεταβλητή τάση και μεταβλητή συχνότητα. Αυτά τα ηλεκτρικά μεγέθη μεταβάλλονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του φορτίου, δηλαδή της απαιτούμενης δύναμης έλξης και του επιθυμητού αριθμού στροφών των κινητήρων (ταχύτητα αμαξοστοιχίας). Στο

σχήμα (Αντιστροφέας με IGBT, κύκλωμα πέδης, κινητήρες) φαίνεται ο αντιστροφέας με τους κινητήρες και το κύκλωμα πέδης και στο **Σχήμα 6** (Αντιστροφέας, κινητήρας, και σύστημα ελέγχου και οδήγησης) ένα γενικό κύκλωμα οδήγησης και ελέγχου τριφασικού κινητήρα, το οποίο εφαρμόζεται στην ηλεκτρική έλξη. Στο παρακάτω Σχήμα (Σχήμα 7) φαίνονται οι μεταβολές της ροπής και του διανύσματος του ρεύματος συναρτήσει του χρόνου, με βάση την επιθυμητή ροπή.



Σχήμα 7. Κυματομορφές ροπής και διανύσματος ρεύματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΡΕΝΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε το σύστημα ηλεκτροδότησης που είναι εγκατεστημένο στην Ελλάδα, δηλαδή αυτό των 25 kV/ 50Hz. Στη συνέχεια περιγράφεται η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση των υποσταθμών τροφοδοσίας του σιδηροδρομικού δικτύου που υφίσταται στην Ελλάδα και πως αυτό διαμορφώνεται με την απομόνωση κάποιων τμημάτων σε περίπτωση κάποιου σφάλματος. Τέλος, γίνεται αναλυτική περιγραφή των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και πως αυτή συλλέγεται από το τρένο.

4.2 Ηλεκτροδότηση 25 kV/ 50 Hz

Αυτό το σύστημα ηλεκτροδότησης είναι ιδανικό για τους σιδηρόδρομους, που καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις και χρησιμοποιούνται από πολλές αμαξοστοιχίες ταυτόχρονα. Μετά από κάποιους πειραματισμούς πριν από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο στην Ουγγαρία και συγκεκριμένα στην περιοχή του Μαύρου Δάσους (Γερμανία), τέθηκε σε ευρεία χρήση στη δεκαετία του 1950. Ένας από τους λόγους για τους οποίους δεν εισήχθη νωρίτερα ήταν η αυξημένη απόσταση που διένυαν τα τρένα κάτω από γέφυρες και μέσα σε σήραγγες. Ένας άλλος λόγος ήταν η έλλειψη του κατάλληλου εξοπλισμού ελέγχου και διόρθωσης πριν από την ανάπτυξη των ανορθωτών και της ανάλογης τεχνολογίας. Σιδηρόδρομοι με παλαιότερα, χαμηλότερης δυναμικότητας συνεχές ρεύμα συστήματα όπως η Νότια Αφρική, η Ρωσία, η Ισπανία, η Ιταλία, το Βέλγιο, η Σλοβακία και η Ολλανδία χρησιμοποιούν ή ξεκίνησαν τη χρήση των 25 kV εναλλασσόμενου ρεύματος αντί για 3 kV DC/1.5 kV συνεχούς ρεύματος για τις νέες γραμμές μεγάλης ταχύτητας τους.

4.2.1 Ιστορία ηλεκτροδότησης

Η πρώτη επιτυχής επιχειρησιακή και τακτική χρήση του συστήματος των 50 Hz χρονολογείται από το 1931, οι δοκιμές όμως έχουν ξεκινήσει από το 1922. Αναπτύχθηκε από τον Kálmán Kando στην Ουγγαρία. Χρησιμοποίησε 16 kV εναλλασσόμενο ρεύμα σε 50 Hz, ασύγχρονης έλξης, καθώς και ένα ρυθμιζόμενο αριθμό πόλων. Η πρώτη γραμμή ηλεκτρικού σιδηρόδρομου για τη δοκιμή του ήταν Βουδαπέστη-Dunakeszi-Alag. Η πρώτη πλήρως ηλεκτροδοτημένη γραμμή ήταν Βουδαπέστη-Győr-Hegyeshalom (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-LesBains 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 V DC, συνέχισε ορισμένα σημαντικά νέα έργα ηλεκτροδότησης συνεχούς ρεύματος, μέχρι που αναπτύχθηκαν οι αμαξοστοιχίες διπλής τάσης. 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.

Στη δεκαετία του 1990 τα τρένα υψηλών ταχυτήτων άρχισαν να χρησιμοποιούν ελαφρύτερα, με λιγότερη ανάγκη για συντήρηση τριφασικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Το Shinkansen N700 χρησιμοποιεί μετατροπέα τριών επιπέδων για τη μετατροπή 25 kV μονοφασικό AC σε 1520 V AC (μέσω μετασχηματιστή) σε 3000 V DC (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.

4.2.2 Μειονεκτήματα

Ένα σύστημα 25 kV AC χρησιμοποιεί μόνο μία φάση της κανονικής τριφασικής παροχής ρεύματος. Αυτό οδηγεί σε μια ανισορροπία για την τριφασική παροχή που μπορεί να επηρεάσει και τις άλλες αμαξοστοιχίες του δικτύου. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την τοποθέτηση στατικών αντισταθμιστών VAR ή με την ελάττωση του φορτίου έλξης όταν η ανισορροπία φτάνει σε μη επιτρεπτό όριο. Το σύστημα ουσιαστικά δεν είναι μονωμένο από το δίκτυο διανομής, όπως συμβαίνει σε άλλα συστήματα. Οι παλαιότερες μηχανές και τα ηλεκτροδυναμικά φρένα ανάκτησης για τη νεότερη γενιά μηχανών δημιουργούν θόρυβο, ο οποίος δεν μπορεί να περάσει από κάποιο φίλτρο στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου ορισμένες χώρες έχουν αποφασίσει την κυκλοφορία αμαξοστοιχιών που δεν χρησιμοποιούν φρένα ανάκτησης.

Για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων, η υψηλή τάση πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία. Καιρικά φαινόμενα, όπως η χιονόπτωση, έχουν προκαλέσει βλάβες στο παρελθόν. Ένα παράδειγμα, τον Δεκέμβριο του 2009, όταν τέσσερις αμαξοστοιχίες Eurostar(αμαξοστοιχία που συνδέει την Αγγλία με την κεντρική Ευρώπη) παρουσίασαν βλάβη και διέκοψαν την πορεία τους μέσα στην σήραγγα της Μάγχης.

4.2.3 Δίκτυα διανομής

Η ηλεκτρική ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής μεταφέρεται στο σιδηροδρομικό δίκτυο μέσω εναέριων καλωδίων και πυλώνων σε υψηλές τάσεις. Στις περισσότερες χώρες που χρησιμοποιούν 25 kV AC ηλεκτρική ενέργεια για την έλξη, η τάση που διανέμεται στο δίκτυο είναι 400 kV, 275 kV και 132 kV. Η μεταφορά γίνεται μέσω ενός τριαφικού συστήματος μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στους υποσταθμούς βρίσκεται ένας μετασχηματιστής ο οποίος συνδέεται με τις δυο από τις τρεις φάσεις της υψηλής τάσης και ο οποίος ελαττώνει το μέγεθος της τάσης στα 25 kV. Οι υποσταθμοί αυτοί βρίσκονται δίπλα από τις ράγες ή αρκετά κοντά σε αυτές ενώ για τον έλεγχο της τάσης χρησιμοποιούν έναν στατικό αντισταθμιστή VAR. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, κατασκευάστηκαν μονοφασικές AC γραμμές μεταφοράς, οι οποίες φτάνουν σε όλους τους υποσταθμούς του δικτύου. Μια τέτοια εφαρμογή βρίσκεται στο γνωστό σιδηρόδρομο TGV της Γαλλίας.

4.2.4 Τυποποίηση

Η σιδηροδρομική ηλεκτροδότηση στα 25 kV/ 50 Hz AC έχει γίνει ένα διεθνές πρότυπο. Υπάρχουν δύο βασικά πρότυπα που ορίζουν τις τάσεις αυτού του συστήματος :

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

Αυτό το σύστημα είναι πλέον μέρος του διευρωπαϊκού πρότυπου διαλειτουργικότητας των σιδηροδρόμων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1996/48/EC "Διαλειτουργικότητα του διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος μεγάλης ταχύτητας" και 2001/16/EC "Διαλειτουργικότητα του διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος).

4.3 Υποσταθμοί τροφοδοσίας

Οι Υποσταθμοί Έλξης (SST) αναλαμβάνουν τη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο της ΔΕΗ (150 kV/50 Hz), το μετασχηματισμό του ρεύματος στα 25 kV/50 Hz και τη μεταφορά του στη Γραμμή Επαφής. 1Η κατανάλωση του ρεύματος μετράται στην πλευρά της υψηλής τάσης των 150 kV και κάθε υποσταθμός θεωρείται για τη ΔΕΗ ένας "καταναλωτής". Οι υποσταθμοί είναι υπαίθριου τύπου με το σύνολο του εξοπλισμού υψηλής τάσης 150 kV και 25 kV (αποζεύκτες, μετασχηματιστές, διακόπτες) τοποθετημένο σε εξωτερικό περιφραγμένο χώρο. Κάθε υποσταθμός διαθέτει δυο μετασχηματιστές λαδιού, ισχύος 10 MVA, 150/27.5 kV (σημειώνεται ότι σύμφωνα με τον UIC Code 600 και για λόγους κανονικής τροφοδοσίας H/A η μέγιστη τάση στη Γραμμή επαφής για το σύστημα 25 kV/50 Hz δεν μπορεί να υπερβεί τα 27.5 kV). Κάθε υποσταθμός διαθέτει επίσης τυποποιημένο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα που στεγάζει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό των δευτερευόντων κυκλωμάτων χειρισμού, ελέγχου, προστασίας και μέτρησης και περιλαμβάνει ιδιαίτερο χώρο για τους συσσωρευτές μολύβδου και το απόθεμα αποσταγμένου νερού καθώς και στοιχειωδώς εξοπλισμένο εργαστήριο για την αντιμετώπιση μικροεπισκευών. Για την προστασία από κεραυνούς, κάθε υποσταθμός είναι εφοδιασμένος με 3 αλεξικέραυνα ύψους 10 m. Τέλος, σημειώνεται πως, στην περίπτωση που κάποιος υποσταθμός τεθεί εκτός λειτουργίας, υπάρχει η δυνατότητα τροφοδοσίας από τους παρακείμενους.

4.3.1 Τμηματισμός της Γραμμής Επαφής

Στην ηλεκτροκίνηση, κάθε κομμάτι γραμμής που εξυπηρετείται από δυο διαδοχικούς υποσταθμούς, τμηματοποιείται έτσι ώστε να είναι δυνατή η διακοπή τροφοδοσίας τοπικά για λόγους συντήρησης ή ανωμαλίας. Για το σύστημα των 25 kV/50 Hz, προβλέπεται σε γενικές γραμμές μια Θέση

Τμηματισμού (PS, Poste de Sectionement) στο μέσον του τμήματος μεταξύ δυο Υποσταθμών (SST) και από μια Θέση Υποτμηματισμού (PSS, Poste de Sous-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 τηλεεντολή είτε τοπικά από το σταθμάρχη. Στις θέσεις Τμηματισμού και Υποτμηματισμού προβλέπονται φυλάκια δίπλα στη γραμμή, τα οποία περιλαμβάνουν εξοπλισμό απόζευξης και διακοπής τροφοδοσίας – τοποθετημένο υπαίθρια – και τα δευτερεύοντα κυκλώματα χειρισμού, προστασίας και τηλεχειρισμού που στεγάζονται σε κατάλληλη καμπίνα. Ειδικές περιπτώσεις αποτελούν η Θέση Παραλληλισμού (PMP, Poste de Mise en Parallel) και η θέση τροφοδοσίας (PA, Poste d'Alimentation) όπου εγκαθίσταται εξοπλισμός ηλεκτρικής γεφύρωσης δυο ή περισσότερων ανεξάρτητων Γραμμών Επαφής ή/και επιπρόσθετος αγωγός τροφοδοσίας, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της πτώτης τάσεως που παρουσιάζεται σε σταθμούς ή συγκροτήματα που διαθέτουν πολλές ηλεκτροκινούμενες γραμμές ή/και βρίσκονται απομακρυσμένα από τον κύριο ηλεκτροκινούμενο άξονα.

4.3.2 Τηλεδιοίκηση

Κάθε Σιδηροδρομικός Σταθμός, Υποσταθμός Έλξης, Θέση Τμήσεως, Υποτμήσεως, Παραλληλισμού και Τροφοδοσίας τηλεχειρίζεται από κεντρική θέση και θεωρείται “δορυφόρος”___συνδεδεμένος μέσω υπόγειου τηλεπικοινωνιακού καλωδίου με το Κέντρο Τηλεδιοίκησης Ηλεκτροκίνησης (ΚΤΗ) που στεγάζεται στο διώροφο κτίριο που κατασκευάστηκε από τον ΟΣΕ δίπλα στο ΤΧ5. Εκεί βρίσκονται όλα τα αναγκαία όργανα χειρισμού, συστήματα και διατάξεις που επιτρέπουν στον Κεντρικό Ρυθμιστή Έλξης να πραγματοποιεί τηλεχειρισμό και τηλεέλεγχο των “δορυφόρων” που συγκροτούν τις πάγιες εγκαταστάσεις τροφοδοσίας και τμηματισμού της ηλεκτροκίνησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο Κεντρικός Πίνακας Χειρισμού και Οπτικού Ελέγχου, στην όψη του οποίου είναι χαραγμένη σχηματική μονογραμμική παράσταση της Γραμμής Επαφής και των “δορυφόρων” σε γεωγραφική διάταξη, που δείχνει τα σημεία μονώσεως, τις ουδέτερες ζώνες, τους μετασχηματιστές και τους κάθε είδους διακόπτες και αποζεύκτες. Το μιμητικό διάγραμμα της Γραμμής Επαφής φωτίζεται σε χαρακτηριστικά σημεία ώστε να είναι άμεσα αντιληπτό εάν το συγκεκριμένο τμήμα βρίσκεται υπό τάση ή όχι. Ανάλογα, υπάρχει χαρακτηριστική ένδειξη για τυχόν δυσαρμονία μεταξύ οργάνου χειρισμού και πραγματικού οργάνου. Το σύστημα τηλεμετάδοσης εντολών συνθέτει, κωδικοποιεί και αποστέλλει εντολές προς τους “δορυφόρους”, συγχρώνως δε, επιτρέπει την αυτόματη λήψη κυκλικών τηλε-ελέγχων από τους “δορυφόρους” για τη συνεχή ενημέρωση του Κεντρικού Πίνακα. Βασική λειτουργία είναι η ρύθμιση της τάσης σε κάθε υποσταθμό σύμφωνα με τέσσερις προεπιλεγμένες στάθμες, 19 kV (ελάχιστη), 22,5 kV, 25 kV (κανονική) και 27,5 kV (μέγιστη). Με αυτό τον τρόπο, ο Κεντρικός Ρυθμιστής Έλξης έχει κάθε στιγμή πλήρη Εικόνα

και έλεγχο των παγίων εγκαταστάσεων και της Γραμμής Επαφής. Ο μέγιστος αριθμός “δορυφόρων” που μπορεί να διακρίνει το συγκεκριμένο σύστημα είναι 20. Κάθε ένας από τους “δορυφόρους” έχει δυνατότητα τοπικού ηλεκτρικού χειρισμού ύστερα από άδεια του Ρυθμιστή Έλξης. Τέλος, σημειώνεται ότι το κτίριο του Κέντρου Τηλεδιοίκησης Ηλεκτροκίνησης στεγάζει και την Τηλεδιοίκηση Σηματοδότησης.

4.3.3 Γραμμή επαφής

Στη γενική έννοια Γραμμή Επαφής περιλαμβάνονται οι σύλοι με τις κονσόλες και τις θεμελιώσεις, τα πλαίσια – έυκαμπτα ή άκαμπτα – με τις κονσόλες και τις θεμελιώσεις, οι μονωτήρες, οι αλυσοειδής, τα διάφορα συστήματα αντιστάθμισης και αγκύρωσης, οι αγωγοί γης, οι αγωγοί σύνδεσης των σύλων με τη γραμμή, οι αγωγοί σύνδεσης με τους υποσταθμούς, οι αγωγοί για την ηλεκτρική συνέχεια των σιδηροτροχιών κ.λπ. Η Γραμμή Επαφής οφείλει να είναι απλή κατασκευή, εύκολη στη συντήρηση και την επισκευή, ταυτόχρονα δε, πρέπει να εξασφαλίζει:

- καλή ρευματοληψία για όλες τις προβλεπόμενες ταχύτητες κυκλοφορίας υπό όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες
- μηχανική σταθερότητα στις προβλεπόμενες καταπονήσεις με ικανοποιητικό συντελεστή ασφάλειας και
- αντοχή στις διαβρώσεις και τις φθορές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υβριδικά συστήματα

5.1 Εισαγωγή

Τα υβριδικά συστήματα, βασίζονται στην εκμετάλλευση δύο ξεχωριστών πηγών ενέργειας. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διακριθούν σε συστήματα που εναλλάσσουν την έλξη από ηλεκτροκίνηση σε νηζελοκίνηση και σε αμιγώς ηλεκτροκινούμενα υβριδικά συστήματα. Πολλές από τις υβριδικές τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα συμβατικό σύστημα τροchioδρόμου, καθιστώντας το υβριδικό. Συνεπώς, όλα τα ηλεκτρικά τραμ της εποχής μας μπορούν να μετατραπούν σε υβριδικά, εάν αυτό θεωρηθεί συμφέρον από τον διαχειριστή του συστήματος.

5.2 Υβριδικά συστήματα Dual – Mode

Η υβριδική τεχνολογία dual – mode εφαρμόζεται σε μερικά τροchioδρομικά συστήματα μεγάλων διαδρομών. Αυτά τις συστήματα συνήθως αποκαλούνται συστήματα τραμ – τρένων.

Οι τεχνολογίες ελαφρού τροchioδρόμου έχουν λάβει περισσότερη προσοχή τον τελευταίο καιρό, ως πιθανές λύσεις στα προβλήματα των μεταφορών καθώς και στην παροχή εναλλακτικών λύσεων για την «παραδοσιακή» λειτουργία των τροchioδρόμων. Για πολλούς, η έννοια του «τραμ-τρένου» είναι πιο στενά συνδεδεμένη με την πόλη της Καρλσρούης στη νοτιοδυτική Γερμανία, όπου πρωτοεφαρμόστηκε η τεχνολογία αυτή στη δεκαετία του 1990. Ουσιαστικά περιλαμβάνει τη «σύμπραξη» του δικτύου του τραμ με το συμβατικό σιδηρόδρομο, έτσι ώστε οι τοπικές υπηρεσίες που μοιράζονται τις διαδρομές με τα συμβατικά τρένα στην κύρια γραμμή, να μπορούν να ταξιδεύουν και με τα δύο συστήματα. Με αυτό τον τρόπο η ανάγκη αλλαγής μέσου εξαλείφεται, η προσβασιμότητα βελτιώνεται και οι χρόνοι διαδρομής «end-to-end» μειώνονται. Στην περίπτωση της Καρλσρούης, το κέντρο της πόλης, περίπου δύο χιλιόμετρα από τον κεντρικό σταθμό, ήταν ο κύριος πόλος έλξης μετακινήσεων και κατέστη δυνατό ένα ταξίδι μέσα από τα προάστια με διπλής τάσης ηλεκτρικό τραμ.

Η επιτυχία της Καρλσρούης οδήγησε και σε άλλες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας, με πιο πρόσφατη τη μετατροπή της Murgtalbahn, μήκους 30km σε λειτουργία της με τη τεχνολογία τραμ – τρένου. Η μεγαλύτερη δυνατή διαδρομή για το σύστημα χρησιμοποιεί τους τροchioδρόμους της Καρλσρούης και της Heilbronn, καθώς και την κύρια σιδηροδρομική γραμμή, για διαδρομή μεγαλύτερη από των 150km, από την Achern ως την Öhringen. Αλλά είναι ίσως έκπληξη το γεγονός ότι κανένα άλλο σύστημα από αυτό το παράδειγμα δεν έχει αποδώσει καρπούς, ακόμη και στην ηπειρωτική Ευρώπη. Εκείνα που είναι

λειτουργικά περιλαμβάνουν το Saarbrücken της Γερμανίας και το Rijn-Gouwe-Lijn, μέσω της Leiden και της Gouda στην Ολλανδία, με τη γαλλική πόλη Μιλούζ σε αρχικά στάδια. Μια επισκόπηση αυτών των έργων αποκαλύπτει ότι ένας ορισμένος αριθμός παραγόντων, που συνήθως πρέπει να ενωθούν για να λειτουργήσει ένα σύστημα, είναι:

- μια κοινή γραμμή για τραμ και βαρέως σιδηρόδρομου με ένα κατάλληλο σημείο διασύνδεσης μεταξύ των καθαυτού σιδηροδρομικών μεταφορών και του τραμ
- ένας σχετικά μεγάλος αλλά διασκορπισμένος πληθυσμός, ιδανικά με μια ισχυρή αγορά μετακινήσεων (η Καρλσρούη για παράδειγμα), μπορεί να εξυπηρετεί 120 κοινότητες με συνολικό πληθυσμό 1,3 εκατομμυρίων ανθρώπων
- τα χαρακτηριστικά ευνοϊκού αστικού σχεδιασμού και των δημόσιων μεταφορών – και τα δύο θα πρέπει να εξετάζονται από κοινού
- οι υπάρχοντες βαρείς σιδηροδρομικοί σταθμοί επιθυμούν να εξυπηρετήσουν από τα κύρια κέντρα που βρίσκονται σε κάποια απόσταση
- την ικανότητα να ξεπεραστούν οι τεχνολογικές προκλήσεις, όπως η παροχή τραμ με δύο είδη εξοπλισμού έλξης, σηματοδοτώντας τη συμβατότητα, και πληρώνοντας τα σχετικά πρότυπα ασφάλειας
- ίσως το πιο σημαντικό είναι η πολιτική βούληση και η χρηματοδότηση για την υλοποίηση των σχεδίων

Ο αστικός ιστός επεκτείνεται πλέον και πέρα από το κέντρο της πόλης, με τα περιφερειακά, προαστιακά και αστικά δίκτυα να τείνουν να συγχωνευθούν. Οι ανάγκες των χρηστών αλλάζουν καθώς θέλουν να μπορούν να μετακινηθούν με ευκολία από το κέντρο μιας πόλης σε γειτονικές πόλεις χωρίς να χρειάζεται να αλλάξουν μέσο μεταφοράς. Για τον σκοπό αυτό η εταιρεία Alstom ανέπτυξε τα τραμ-τρένα.

Πρωτοεμφανιζόμενη στη Γερμανία με το Regio Citadis, η τεχνική του τραμ-τρένου έκτοτε έχει εμπλουτιστεί με το μοντέλο Citadis Dualis, το οποίο αποτελεί μια παραλλαγή του πρώτου. Αυτός ο τρόπος μεταφοράς εξυπηρετεί μετακινήσεις μεταξύ των κέντρων των πόλεων και των ημιαστικών κέντρων. Τα τραμ-τρένα δρομολογούνται τόσο σε δίκτυα τραμ όσο και σε περιφερειακά σιδηροδρομικά δίκτυα με συμβατά συστήματα έλξης και σηματοδότησης και έχουν ενισχυμένη δομή για προστασία σε περίπτωση σύγκρουσης και πτυσσόμενη σύζευξη που επιτρέπει καλύτερη απορρόφηση των κραδασμών κατά τη διαδικασία στάθμευσης στους σταθμούς. Τα Citadis Dualis και Regio Citadis προσαρμόζονται στις ιδιαίτερες ανάγκες της κάθε περιοχής. Η υβριδική έκδοση του κινητήρα του Regio Citadis επιτρέπει τη λειτουργία του σε μη ηλεκτροδοτούμενη γραμμή. Τα δυο μοντέλα περιγράφονται εκτενώς παρακάτω.

5.2.1 Το τραμ Regio Citadis

Το Regio Citadis σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει το ζήτημα της πολυτροπικότητας. Ως τραμ-τρένο επιτρέπει τη γρήγορη και άμεση σύνδεση από τα προάστια προς το κέντρο της πόλης, χωρίς ασυνέχειες φόρτισης του δικτύου. Τα Regio Citadis κατασκευάστηκαν αρχικά ειδικά για την πόλη Kassel της Γερμανίας και η χρήση τους υιοθετήθηκε στη συνέχεια και από άλλα μεγάλα αστικά κέντρα.

Το Regio Citadis συνδέει δύο υπάρχοντα συστήματα που είναι συνήθως διαχωρισμένα: λειτουργεί ως ένα τραμ με αλυσοειδείς γραμμές στο δίκτυο του τραμ και ως νηζελοκίνητο τρένο στο περιφερειακό σιδηροδρομικό δίκτυο. Τα τρένα τραμ καταναλώνουν λιγότερα καύσιμα από τα συμβατικά τρένα και μάλιστα είναι τέσσερις φορές πιο οικονομικά από τα λεωφορεία και δέκα φορές πιο οικονομικά από τα Ι.Χ. Έτσι, είναι ένας τεχνικού τύπου συμβιβασμός, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή λειτουργία σε δύο εντελώς διαφορετικούς κόσμους (διαφορετικά συστήματα παροχής ρεύματος, διαφορετικά σιδηροδρομικά και αστικά πρότυπα, διαφορετικές υποδομές, όπως σιδηροτροχιές και αποβάθρες, διαφορετικοί περιορισμοί ταχύτητας κ.λπ.). Όταν χρησιμοποιεί τα υφιστάμενα δίκτυα, οι περιφερειακές γραμμές δεν χρειάζεται να ηλεκτροδοτούνται, εξοικονομώντας έτσι το κόστος των υποδομών για την περιοχή. Είναι δυνατές αρκετές παραλλαγές: υβριδικό, διπλής ηλεκτροδότησης, μονής ηλεκτροδότησης. Όλα έχουν το ίδιο σχέδιο, αλλά το μόνο που αλλάζει είναι οι μονάδες ανάκτησης και ελέγχου της ενέργειας ηλεκτρομαγνητικής πέδησης στην οροφή τους. Αυτό μειώνει το κόστος συντήρησης.

5.2.2 Το τραμ Citadis Dualis

Το Citadis Dualis είναι μια παραλλαγή του Regio Citadis και είναι σχεδιασμένο για να αναπτύσσει ταχύτητες έως και 100km/h. Είναι συρμός αρθρωτός, μερικώς χαμηλού δαπέδου, με όλες τις θύρες να βρίσκονται στα τμήματα χαμηλού δαπέδου. Κατασκευάζεται σε δύο πλάτη 2,65m ή 2,40m και τρία μήκη: 32, 42m ή 52m. Είναι κατάλληλο για να σταματά σε στάσεις που οι αποστάσεις τους κυμαίνονται από 500m έως και 5km. Το Citadis Dualis έχει μερικές διαφορές σε σχέση με το Regio Citadis. Τα φορεία έχουν διαφορετική πρωτεύουσα ανάρτηση και τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, που είναι ελαφρύτεροι. Έχει μεγαλύτερο εσωτερικό χώρο και καλύτερη διάταξη που δίνουν ιδιαίτερη άνεση χώρου του επιβάτη.

Το Citadis Dualis προσφέρει βελτιστοποιημένη πρόσβαση σε όλο το επιβατικό κοινό και στα άτομα με ειδικές ανάγκες. Υπάρχει η δυνατότητα τα σκαλιά του να αναδιπλώνονται έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος επιβίβασης-αποβίβασης των επιβατών. Τέλος, το όχημα εκπέμπει 4 φορές λιγότερο θόρυβο κατά την κίνησή του και καταναλώνει 4 φορές λιγότερη ενέργεια από ένα λεωφορείο και 10 φορές λιγότερη από ένα ΙΧ αυτοκίνητο.

5.3 Υβριδικά συστήματα με αποταμιευτές ενέργειας πέδησης

Στη σημερινή εποχή όλα τα ηλεκτροδοτούμενα συστήματα τραμ μπορούν εν δυνάμει να καταστούν υβριδικά, μέσω της εγκατάστασης κάποιου από τα συστήματα αποταμίευσης και εκμετάλλευσης της ενέργειας από την ηλεκτρομαγνητική πέδηση. Γι' αυτόν τον λόγο, δεν κρίνεται χρήσιμο να ανατρέξουμε σε όλα τα συστήματα στα οποία έχει γίνει ή σχεδιάζεται για να γίνει εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. Αντιθέτως όμως, θα παρουσιαστούν δύο συστήματα τα οποία είναι σε φάση πρωτοτύπου ακόμα, αν και διατίθενται στην αγορά προς παραγγελία. Η σημασία αυτών των συστημάτων είναι ότι προτείνουν δύο καινοτόμες αντιλήψεις σχεδιασμού συστήματος τροφοδοσίας τροchioδρόμου. Αυτά τα συστήματα είναι το e – Brid της Kinkisharyo, που προτείνει την διακεκομμένη εγκατάσταση αλυσοειδούς, και το Primove της Bombardier, που αποτελεί τη μόνη εφαρμογή συστήματος τροφοδοσίας χωρίς καμία επαφή.

5.3.1 Σύστημα e-Brid

Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε από την εταιρεία Kinkisharyo και χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων λιθίου και εναέρια τροφοδοσία αλυσοειδών γραμμών. Οι μπαταρίες στο σύστημα e-Brid μεταφέρουν αποθηκευμένη ενέργεια επάνω στο όχημα.

Τα τραμ έχουν αυτονομία μέχρι και πέντε μίλια με ενέργεια από τις μπαταρίες, με αποτέλεσμα το συγκεκριμένο σύστημα να είναι αποτελεσματικό για γραμμές μικρού μήκους και συχνών στάσεων. Ωστόσο, η υβριδική τεχνολογία επιτρέπει στις μπαταρίες να επαναφορτιστούν από τις αλυσοειδείς όταν ο συρμός τροφοδοτείται με την παραδοσιακή εναέρια ηλεκτροδότηση. Έτσι, τα τραμ που είναι εξοπλισμένα με το σύστημα e-Brid μπορούν να λειτουργούν με μπαταρία στην πόλη και να τροφοδοτούνται από εναέρια καλώδια εκτός πόλης επαναφορτίζοντας έτσι τις μπαταρίες. Η φόρτιση των μπαταριών γίνεται όχι μόνο από τις εναέριες γραμμές, αλλά και από την επιστροφή ενέργειας που προσφέρει η τεχνολογία της ηλεκτρομαγνητικής πέδησης όταν φρενάρει το όχημα.

Το μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ο κίνδυνος να αποφορτιστούν πλήρως οι μπαταρίες. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού. Η Kinkisharyo ωστόσο ισχυρίζεται ότι έχει επιλύσει το πρόβλημα της αποφόρτισης των μπαταριών αναθέτοντας την κατασκευή τους σε άλλες εξειδικευμένες εταιρίες και παράλληλα εγκαθιστώντας υψηλής ακρίβειας σύστημα εποπτείας της κατάστασης και της ενεργειακής στάθμης των μπαταριών.

5.3.2 Σύστημα Primove

Η Bombardier έχει αναπτύξει ένα σύστημα ηλεκτροδότησης από το έδαφος, αλλά η λειτουργία του είναι διαφορετική από αυτή του APS και του TramWave. Με βάση την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγικής μεταφοράς ενέργειας, η τεχνολογία Primove επιτρέπει την ενέργεια που μεταδίδεται ασύρματα μεταξύ των υπογείων εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού δέκτη να εγκατασταθεί κάτω από το όχημα. Οι επαγωγικές λειτουργίες έχουν ως εξής: ένας ηλεκτρικός αγωγός όταν άγεται από ρεύμα δημιουργεί ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στον άλλο αγωγό που είναι τοποθετημένος εντός του εν λόγω πεδίου. Για να τροφοδοτηθούν τα οχήματα μέσω επαγωγικής μεταφοράς ισχύος, το απαιτούμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο παράγεται από υπόγειο επαγωγικό πηνίο που διαρρέεται από υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Αυτό το πεδίο επάγει τάση στην πλευρά του οχήματος μέσω επαγωγικού δέκτη ισχύος δηλαδή ηλεκτρομαγνητικής διάταξης. Οι υπόγειες εγκαταστάσεις «επικοινωνούν» με το όχημα ώστε να ενεργοποιούνται μόνο όταν το όχημα βρίσκεται από επάνω τους. Κάθε 8 μέτρα υπάρχει και ένα ξεχωριστό κομμάτι τυλιγμάτων επαγωγικού πηνίου. Ουσιαστικά τα υπόγεια τυλίγματα θεωρούνται πρωτεύον της επαγωγής, ενώ τα αντίστοιχα του επαγωγικού δέκτη επί του οχήματος δευτερεύον. Αντιστροφείς κάθε 8 μέτρα κατά μήκος της γραμμής συνδέονται με ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των 750V DC.

Τα οχήματα τραμ διαθέτουν στην οροφή τον ενεργειακό αποταμιευτή κατηγορίας MITRAC, προϊόν της Bombardier, ο οποίος χρησιμοποιεί διπλό στρώμα πυκνωτών για την αποθήκευση ενέργειας κατά την πέδηση για επαναχρησιμοποίηση της κατά την επιτάχυνση. Ακριβώς όπως το TramWave και το APS, τα τμήματα του αγωγού Primove τροφοδοτούνται μόνον όταν ο συρμός βρίσκεται πάνω τους, κυρίως για λόγους οικονομίας εφόσον δεν τίθεται θέμα ασφάλειας, αν και μπορούμε να πούμε ότι προφυλάσσει με αυτό τον τρόπο και το κοινό από το να δεχθεί επιδράσεις ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Επειδή είναι σύστημα χωρίς επαφή, το Primove είναι σε θέση να λειτουργήσει σε όλα τα κλίματα. Χιόνι, πάγος, άμμος και το αλάτι στις σιδηροτροχιές δεν το επηρεάζουν. Ωστόσο, οι ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα σε ηλεκτρονικές συσκευές, όπως οι βηματοδότες. Γι' αυτό η Bombardier έχει σχεδιάσει το σύστημα για την κάλυψη όλων των πρότυπων για τις ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές. Το Primove εγκαταστάθηκε δοκιμαστικά στο Augsburg της Γερμανίας το 2011 σε ένα τμήμα μήκους 0,8km που εξυπηρετεί εκθεσιακές εγκαταστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ **ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

6.1 Εισαγωγή

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση της χρήσης των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος σε σιδηροδρομικές εφαρμογές. Παρουσιάζονται οι μετατροπείς έλξης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτράμαξες SIEMENS, στις πεντάδυμες ηλεκτροκίνητες αυτοκινητάμαξες κανονικής γραμμής DESIRO SIEMENS καθώς και στις Δηζελάμαξες (Δ/Η) ADtranz του Ο.Σ.Ε. Περιγράφεται για τους τρεις τύπους τροχαίου υλικού η αρχή λειτουργίας της έλξης μέσω των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος και των ασύγχρονων τριφασικών ηλεκτροκινητήρων. Όσον αφορά τα ηλεκτροκίνητα οχήματα παρουσιάζονται οι μετασχηματιστές, οι ανορθωτές 4 τεταρτημορίων (4QS), το ενδιάμεσο κύκλωμα του μετατροπέα ισχύος, ο μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR), οι βασικές έννοιες των GTO και IGBT και οι ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες έλξης. Στην περίπτωση των Δ/Η ADtranz παρουσιάζονται οι ανορθωτές, ο μεταλλάκτης έλξης και οι ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες έλξης αυτών. Τέλος, δίνονται οι καμπύλες ισχύος των συρμών και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων μετατροπέων έλξης των σιδηροδρομικών αυτών οχημάτων.

Η σύγχρονη τεχνολογία των Ηλεκτρονικών ισχύος και τα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα σιδηροδρομικά οχήματα. Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του σύγχρονου τροχαίου σιδηροδρομικού υλικού. Κάθε ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος χρησιμοποιεί ημιαγωγικά στοιχεία τα οποία ανοίγουν και κλείνουν με χρήση ειδικών μονάδων προγραμματισμού (Gate Drive Units). Οι μονάδες αυτές καθορίζουν τη συχνότητα παλμοδότησης των ημιαγωγικών στοιχείων βάσει προγραμματισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούνται σε σιδηροδρομικές εφαρμογές ικανοποιούν τις αυξανόμενες ανάγκες ελέγχου της ηλεκτρικής ισχύος των ηλεκτροκινητήρων. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ευρεία χρήση σήμερα των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος επέφερε αύξηση στη διάρκεια ζωής των ηλεκτροκινητήρων αφού ξεκινούν και σταματούν πιο ήπια χωρίς αιχμές τάσης και ρεύματος. Ο Ο.Σ.Ε. τα τελευταία χρόνια προέβη στην αγορά νέου τροχαίου υλικού όπου χρησιμοποιείται όλη αυτή η νέα τεχνολογία. Πιο συγκεκριμένα αγοράστηκαν:

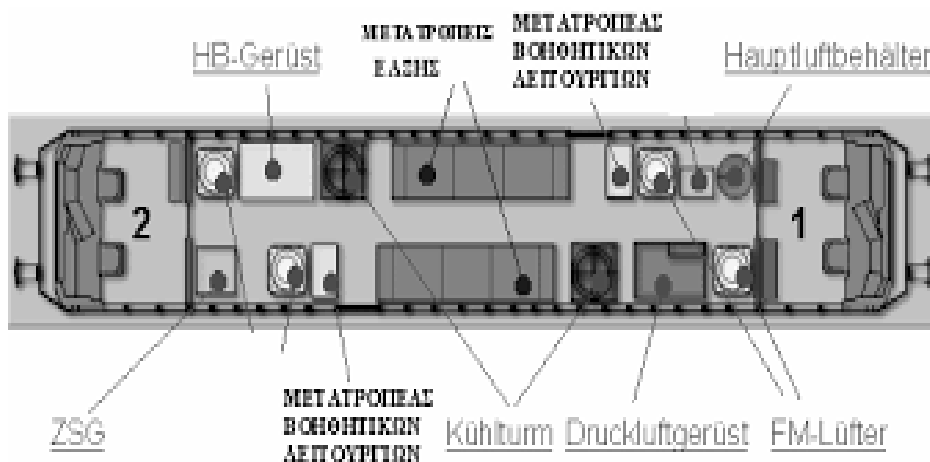
- 30 Ηλεκτράμαξες SIEMENS
- 20 Πεντάδυμες Ηλεκτροκίνητες Αυτοκινητάμαξες Κανονικής Γραμμής DESIRO SIEMENS

- 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. Στο άρθρο αυτό θα παρουσιαστούν οι τρεις τύποι τροχαίου υλικού δίνοντας βάρος στην τεχνολογία των μετατροπέων έλξης που αυτά χρησιμοποιούν.

6.2 Ηλεκτράμαξες SIEMENS

Στην Ηλεκτράμαξα SIEMENS (**Σχήμα 8**) υπάρχει ένας μετασχηματιστής υποδαπέδιος που τροφοδοτεί μέσω έξι τυλιγμάτων έλξης τους μετατροπείς έλξης των δύο φορέων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του οχήματος σε δύο όμοια κεντρικά ικρίωματα. Οι μετατροπείς έλξης τροφοδοτούν ο καθένας από δύο ασύγχρονους τριφασικούς ηλεκτροκινητήρες που βρίσκονται σε κάθε κινητήριο φορείο του οχήματος.



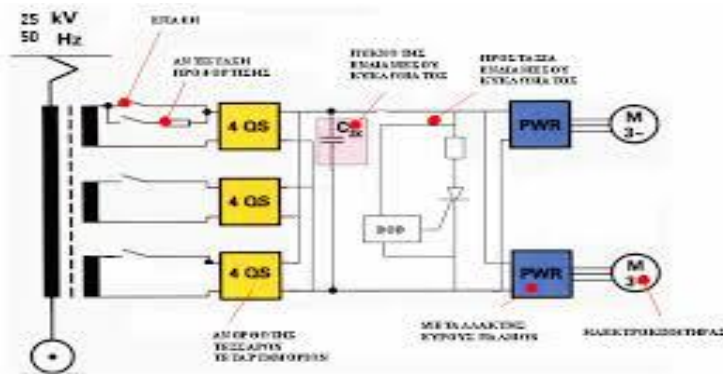
Σχήμα 8. Διάταξη της Ηλεκτράμαξας SIEMENS

6.2.1 Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης των ηλεκτραμαξών SIEMENS

Η αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης των ηλεκτραμαξών SIEMENS φαίνεται στο παρακάτω **Σχήμα 9**.

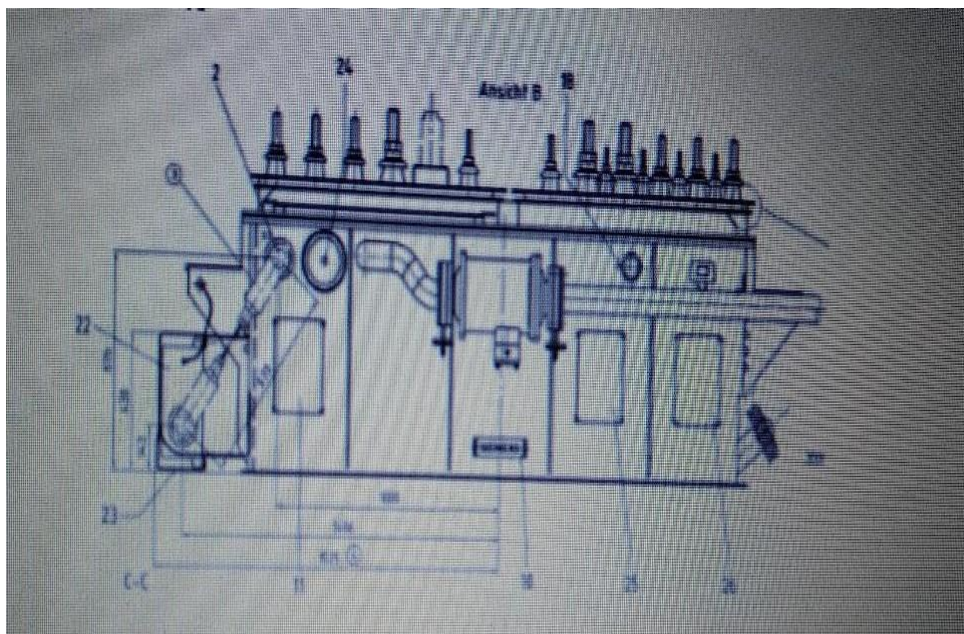
Η τάση του αγωγού επαφής (25KV, 50Hz) οδηγείται στον κύριο μετασχηματιστή μέσω του παντογράφου που είναι τοποθετημένος στην οροφή του οχήματος.

Ο κύριος μετασχηματιστής διαθέτει 6 περιελίξεις έλξης, που μετατρέπουν την τάση του αγωγού επαφής σε μια τάση προσαρμοσμένη στον μετατροπέα. Ο ανορθωτής 4QS μετατρέπει τη εναλλασσόμενη μονοφασική τάση σε συνεχή τάση η οποία μέσω του ενδιάμεσου κυκλώματος οδηγείται στον μεταλλάκτη και μετατρέπεται σε τριφασική τάση με μεταβλητό πλάτος και συχνότητα. Η τάση αυτή τροφοδοτεί τους ασύγχρονους ηλεκτροκινητήρες έλξης που δίνουν κίνηση στο συρμό.



Σχήμα 9 . Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνητης έλξης για το ένα φορείο ηλεκτράμαξας SIEMENS

6.2.2 Κύριος Μετασχηματιστής



Σχήμα 10. Κύριος Μετασχηματιστής Ηλεκτράμαξας SIEMENS

Ο κύριος μετασχηματιστής των Ηλεκτραμαξών SIEMENS όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 10** (είναι ένας μονοφασικός μετασχηματιστής για 25 kV / 50Hz και είναι τοποθετημένος κάτω από το δάπεδο στο μέσον της Ηλεκτράμαξας. Ο τετράγωνος πυρήνας του είναι κατασκευασμένος με δύο στήλες, η κάθε μία εκ των οποίων είναι χωρισμένη ηλεκτρικά σε τρία τμήματα, έτσι ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν συμμετρικά, έξι δευτερεύοντα τυλίγματα και ομοκεντρικά πάνω από αυτά, έξι παράλληλα συνδεδεμένα τυλίγματα υψηλής τάσης. Εντελώς εξωτερικά βρίσκονται τα τυλίγματα τροφοδότησης του αγωγού θέρμανσης του συρμού καθώς και τα τυλίγματα βοηθητικών λειτουργιών. Η τροφοδότηση των 25 kV οδηγείται μέσω καταλλήλων διατάξεων και ενός καλωδίου υψηλής τάσης στον μετασχηματιστή. Η ψύξη του πραγματοποιείται με υγρό SILIKON το οποίο μέσω δύο αντλιών ανακύκλωσης οδηγείται σε δύο ξεχωριστές εγκαταστάσεις ψύξης οι οποίες αποτελούνται από ένα μεταλλάκτη θερμότητας υγρού – αέρα και έναν ανεμιστήρα.

Ο μετασχηματιστής προστατεύεται από διατάξεις προστασίας και επιτήρησης:

- Ηλεκτρονόμο Bucholz
- Μετρητές ροής στον αγωγό του ψυκτικού μέσου
- Αφυγραντήρες και γυάλινα ενδεικτικά της στάθμης του ψυκτικού υγρού
- Αισθητήρια θερμοκρασίας τύπου PT 100

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα ηλεκτρικά μεγέθη του μετασχηματιστή:

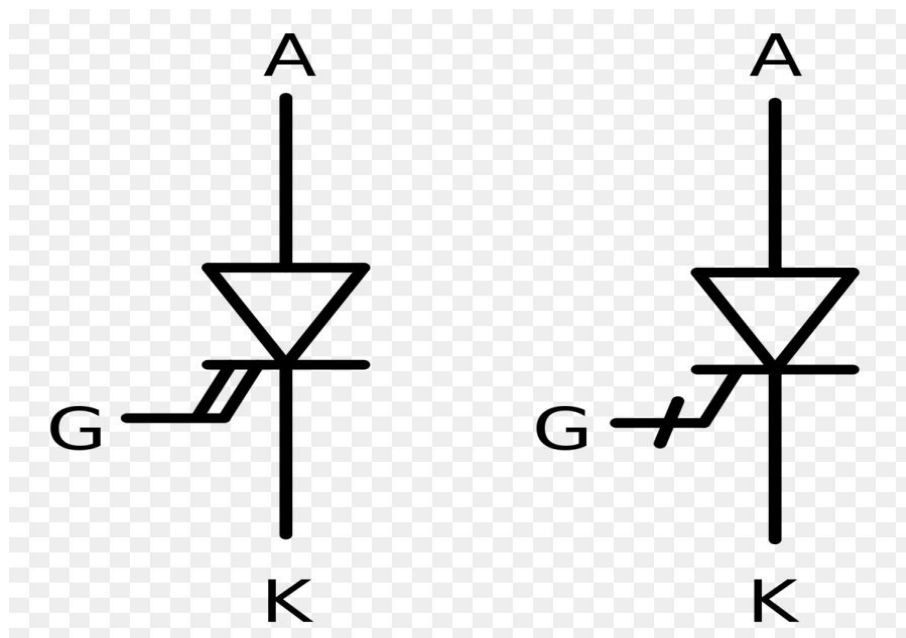
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΡΙΩΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΗΛΕΚΤΡΑΜΑΞΑΣ SIEMENS

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ	
ΠΡΩΤΕΥΟΝ ΤΥΛΙΓΜΑ (OS)	
Ονομαστική Ισχύς	6212 kVA
Ονομαστική Τάση Εισόδου	25 KV
Ονομαστικό Ρεύμα	248 A
Συχνότητα	50 Hz
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ (US)	
6 ΠΕΡΙΕΛΙΞΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ	
Ονομαστική Ισχύς	6 x 867 kVA
Ονομαστική Τάση	6 x 1300 V
Ονομαστικό Ρεύμα	6 x 667 A
1 ΠΕΡΙΕΛΙΞΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	
Ονομαστική Ισχύς	810 kVA σε 12 οC 610 kVA σε 45 οC
Ονομαστική Τάση	1512 V
Ονομαστικό Ρεύμα	535 A
1 ΠΕΡΙΕΛΙΞΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ	
Ονομαστική Ισχύς	200 kVA
Ονομαστική Τάση	886 V
Ονομαστικό Ρεύμα	226 A
Απώλειες βραχυκύκλωσης	198 kW
Απώλειες λειτουργίας εν κενώ	2,7 kW
Ισχύς ψύξης (σε υπερθέρμανση του SILIKON 90K)	425 kW

6.2.3 Τεχνολογία των GTO (Gate Turn Off Thyristor)

Τα ημιαγωγικά στοιχεία GTO (**Εικόνα 20**) (Gate Turn Off) θυρίστορ, είναι ένα είδος θυρίστορ του οποίου η σβέση ή η αποκοπή επιτυγχάνεται μέσω της πύλης του (Gate). Οι ιδιότητες ήτοι τα χαρακτηριστικά ισχύος και ταχύτητας των GTO αποτελούν ενδιαμέση 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. 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 20. Σύμβολα GTO

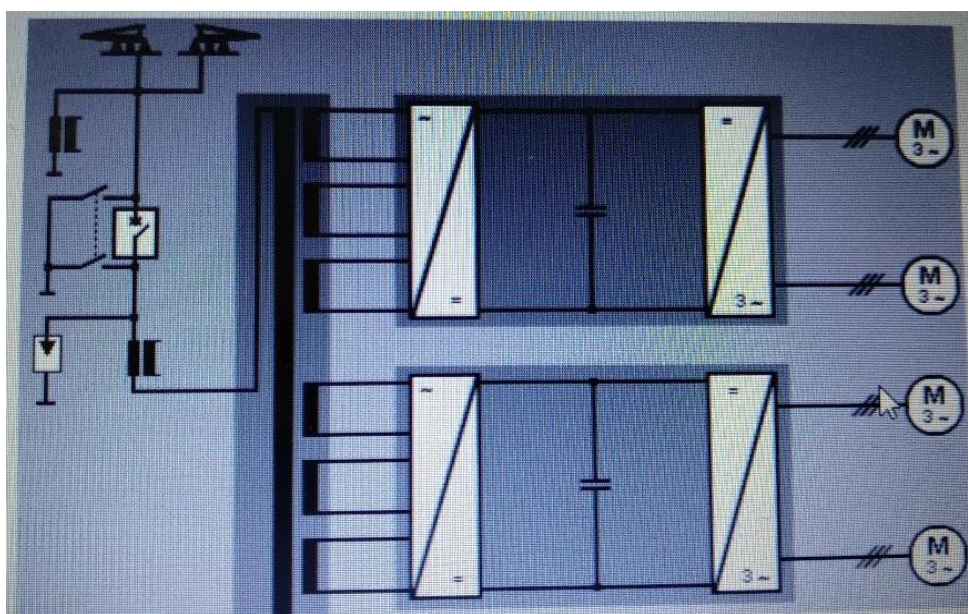
6.2.4 Μετατροπέας έλξης

Ο Μετατροπέας έλξης των Ηλεκτραμαξών SIEMENS (**Εικόνα 21**) είναι η σπουδαιότερη μονάδα λειτουργίας των οχημάτων αυτών. Τα ηλεκτρονικά ισχύος του είναι κατασκευασμένα με τεχνολογία GTO και εξασφαλίζουν, σε συνεργασία με τους 4 τριφασικούς ασύγχρονους ηλεκτροκινητήρες έλξης, την απαιτούμενη ισχύ λειτουργίας του οχήματος. Η ισχύς αυτή εξασφαλίζεται από δύο μετατροπείς (συμπαγή module ισχύος). Στην Ηλεκτράμαξα SIEMENS ο μετατροπέας έλξης αποτελείται από τα εξής:

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

Ανά τρεις οι ανορθωτές τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS τροφοδοτούν κατά τη διάρκεια της πορείας 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. Με την κατάλληλη κατασκευή της αυτεπαγωγής σκέδασης των τυλιγμάτων έλξης του κύριου μετασχηματιστή εξοικονομούνται τα αναγκαία στραγγαλιστικά πηνία για τη λειτουργία του ανορθωτικού συστήματος. Επίσης, με μια

συνδεσμολογία φίλτρου τοποθετημένη στο πρωτεύον μέρος του κύριου μετασχηματιστή, μειώνονται οι αρμονικές υψηλών συχνοτήτων της κρίσιμης περιοχής συχνότητας του ρεύματος του δικτύου κάτω των επιτρεπόμενων οριακών τιμών. Για τη λειτουργία με ένα φορείο, αυξάνεται η παλμοδότηση των 4QS που παρέμειναν σε λειτουργία, ώστε και στην περίπτωση αυτή να τηρηθούν οι οριακές τιμές. Για κάθε ηλεκτροκινητήρα έλξης υπάρχει ένας ανεξάρτητος μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR) ως μετατροπέας εξόδου που παράγει από το κύκλωμα ενδιάμεσης τάσης τριφασική εναλλασσόμενη τάση μεταβαλλόμενου εύρους και συχνότητας. Με αυτόν τον τρόπο η ισχύς εξόδου παρέχεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο άξονας του κάθε φορείου να μπορεί να ελέγχεται μεμονωμένα.



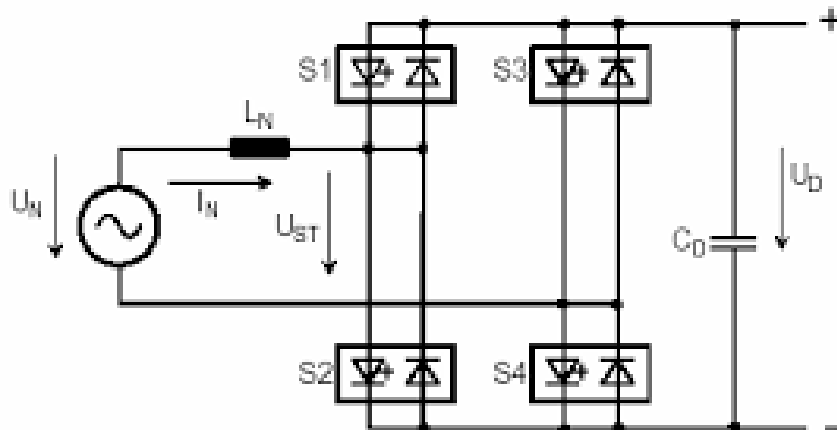
Εικόνα 21. Μετατροπέας έλξης των Ηλεκτραμαξών SIEMENS

6.2.5 Ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS

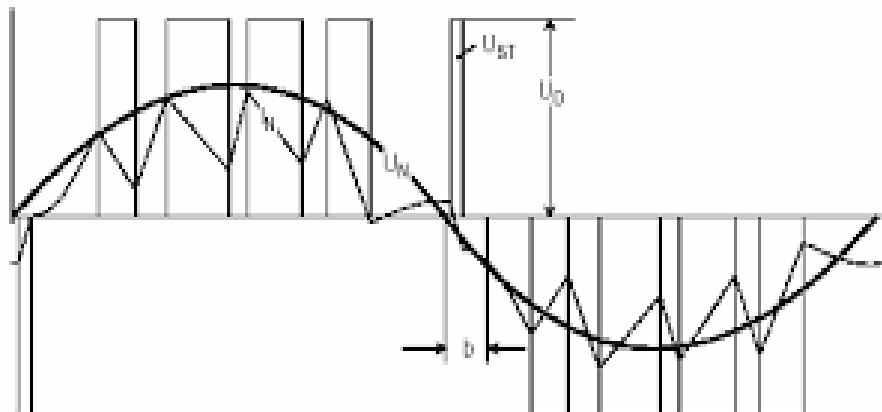
Ο ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS (**Σχήμα 11**) ανορθώνει την εναλλασσόμενη μονοφασική τάση τροφοδοσίας σε συνεχή τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος και χρησιμοποιείται ως μετατροπέας εισόδου, κατάλληλος για τροφοδότηση από το δίκτυο με $\cos\phi=1$ και συντελεστή ισχύος $\lambda \approx 1$ σε υψηλές ισχύεις.

Με την μετατοπισμένη παλμοδότηση των 6 4QS που υπάρχουν συνολικά στην Ηλεκτράμαξα 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 5-πλά , 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.



Σχήμα 11. Αρχή λειτουργίας του 4QS



Σχήμα 12. Κυματομορφή τάσης και ρεύματος στο 4QS

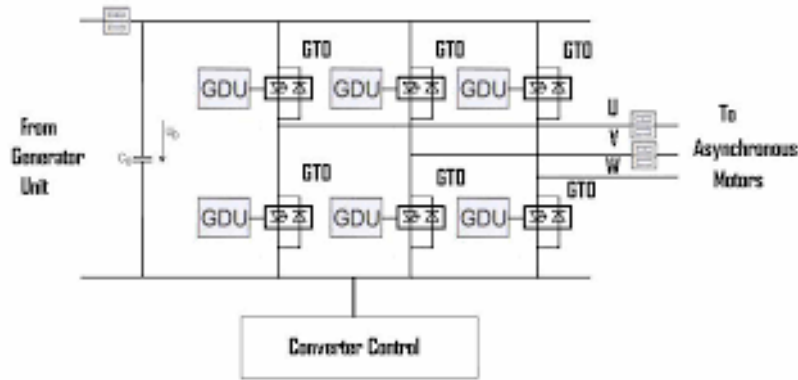
6.2.6 Ενδιάμεσο κύκλωμα και σύστημα προστασίας

Για τη διατήρηση της αναγκαίας συνεχούς τάσης στην είσοδο των Μεταλλακτών εύρους παλμών (PWR), μεριμνά το κύκλωμα ενδιάμεσης τάσης με τους πυκνωτές εξομάλυνσης. Η μέγιστη ενδιάμεση τάση είναι 2600V. Στο ενδιάμεσο κύκλωμα υπάρχει ένα κύκλωμα εξομάλυνσης με κατάλληλο συντονισμό έτσι ώστε να απαλείφεται η κυμάτωση της ισχύος που προέρχεται από το μονοφασικό δίκτυο. Ο πυκνωτής του ενδιάμεσου κυκλώματος ενεργεί ως στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας που αποσβένει την ανισορροπία μεταξύ της ενεργειακής παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας. Η τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος, στην περιοχή των χαμηλών στροφών ελαττώνεται για τον περιορισμό των απωλειών που εξαρτώνται από την τάση στα module του μετατροπέα και τις απώλειες των αρμονικών στους ηλεκτροκινητήρες έλξης.

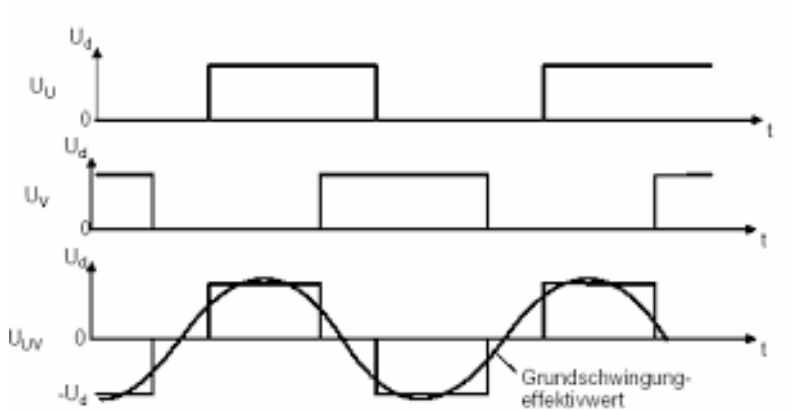
Οι λειτουργικές υπερτάσεις στο ενδιάμεσο κύκλωμα αντιμετωπίζονται χωρίς αρνητικές επιπτώσεις για τη λειτουργία της ηλεκτράμαξας. Με το module προστασίας εξασφαλίζεται η απάλειψη των δυναμικών υπερτάσεων ως κάτωθι: Η προστασία για υπέρταση αποτελείται από ένα θυρίστορ, το οποίο μπορεί να εκφορτίσει το ενδιάμεσο κύκλωμα μέσω ενός στραγγαλιστικού πηνίου. Εάν η τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος υπερβεί μια ορισμένη τιμή, τότε η λειτουργία του μετατροπέα διακόπτεται με εντολή απομόνωσης της παλμοδότησής του. Εάν η τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος αυξηθεί ακόμη περισσότερο, τότε με το άναμμα του θυρίστορ, το ενδιάμεσο κύκλωμα εκφορτίζεται μέσω του στραγγαλιστικού πηνίου. Ταυτόχρονα τίθεται εκτός ο γενικός διακόπτης. Εάν και αυτή η προστατευτική λειτουργία δεν λειτουργήσει, τότε το στοιχείο BOD(BreakOver Diode) ξεκινάει μια διαδικασία προστασίας. Το σύστημα προστασίας προβλέπει επιτήρηση των ρευμάτων του 4QS και των ρευμάτων του ηλεκτροκινητήρα έλξης. Εάν ξεπεραστούν οι οριακές τιμές, τότε τίθεται εκτός κυκλώματος η αντίστοιχη φάση του εναλλάκτη ή το συνολικό τμήμα του κυκλώματος (4QS ή PWR).

6.2.7 Μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR)

Οι Μεταλλάκτες εύρους παλμών των Ηλεκτράμαξών (**Σχήμα 13**) παράγουν, το μεταβαλλόμενη συχνότητα και τάσης τριφασικό σύστημα εναλλασσόμενης τάσης, που είναι αναγκαίο για τη λειτουργία των τριφασικών ασύγχρονων ηλεκτροκινητήρων έλξης. Το ρεύμα εξόδου του PWR παρουσιάζει με εφαρμογή της διαμόρφωσης κατά πλάτος παλμού (PWM) , μια προσεγγιστική ημιτονοειδή μορφή. Η μέγιστη συχνότητα παλμοδότησης του PWR ανέρχεται σε 260 Hz.



Σχήμα 13. Αρχή λειτουργίας του PWR μετασχηματιστή Ηλεκτραμαξών

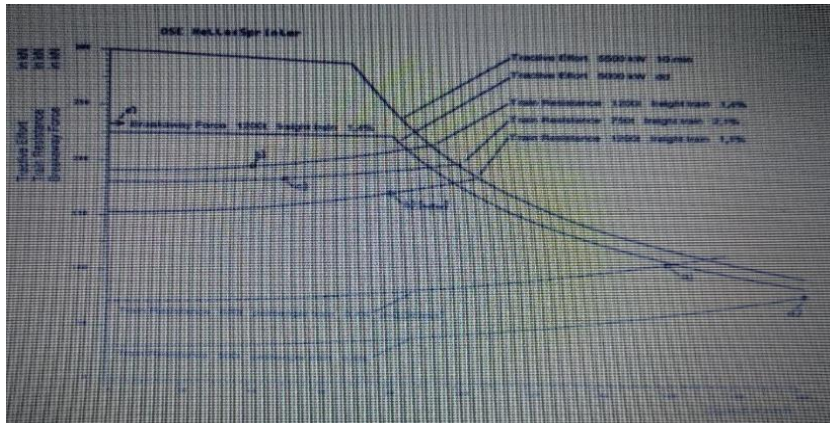


Σχήμα 14. Διαμόρφωση κυματομορφής πολικής φάσης στον PWR

6.2.8 Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης

Η απλότητα κατασκευής και στιβαρότητα, η κατάληψη μικρού χώρου και το μικρό βάρος, η υψηλή αποδοτικότητα, οι πολύ μικρές φθορές, η χαμηλή συντήρηση και το χαμηλό αρχικό του κόστος είναι ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που κάνει τον ασύγχρονο τριφασικό ηλεκτροκινητήρα σχεδόν ιδανικό για τις εφαρμογές έλξης. Ο σχεδιασμός του μετατροπέα έλξης δίνει πρόσθετα τη δυνατότητα στον ασύγχρονο τριφασικό ηλεκτροκινητήρα να χρησιμοποιηθεί σαν κινητήρας έλξεως και πέδησης. Ο ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης που χρησιμοποιείται στις Ηλεκτράμαξες έχει βραχυκυκλωμένο δρομέα, εξαναγκασμένη ψύξη και είναι κατάλληλος για λειτουργία με μετατροπέα.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης και της αντίστασης κύλισης της Ηλεκτράμαξας φαίνονται παρακάτω (**Σχήμα 15**) :



Σχήμα 15. Χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης και της αντίστασης κύλισης Ηλεκτράμαξας

6.3 Πεντάδυμες Ηλεκτροκίνητες Αυτοκινητάμαξες DESIRO SIEMENS

Η αυτοκινητάμαξα DESIRO (**Εικόνα 22**) αποτελείται από πέντε οχήματα, εκ των οποίων τα δύο είναι τα κινητήρια οχήματα του συρμού και τα άλλα τρία είναι τα ρυμουλκούμενα (φερόμενα).

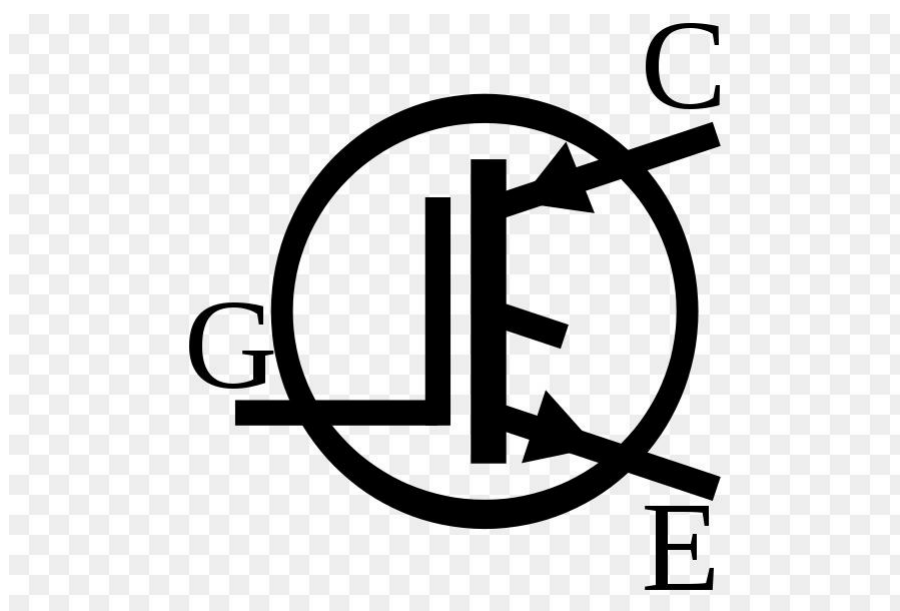


Εικόνα 22. Διάταξη του πεντάδυμου συρμού DESIRO SIEMENS

Σε κάθε κινητήριο όχημα υπάρχει ένας μετασχηματιστής υποδαπέδιος που τροφοδοτεί μέσω τεσσάρων τυλιγμάτων έλξης δύο ανεξάρτητους μετατροπείς έλξης οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κάτω από το κινητήριο όχημα. Οι μετατροπείς έλξης τροφοδοτούν ο καθένας από δύο ασύγχρονους τριφασικούς ηλεκτροκινητήρες που βρίσκονται σε κάθε κινητήριο φορείο του οχήματος.

6.3.1 Τεχνολογία IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Τα IGBT (**Σχήμα 16**) συνδυάζει τα χαρακτηριστικά ενός MOSFET και του τρανζίστορ ισχύος. 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 φέρουν ενσωματωμένα μια αντιπαράλληλη δίοδο η οποία ονομάζεται δίοδος ελεύθερης διέλευσης και δίνει τη δυνατότητα στον ημιαγωγικό διακόπτη να έχει αμφίπλευρη ροή ρεύματος(ρεύμα θετικό μέσω του IGBT και αρνητικό ρεύμα μέσω της διόδου ελεύθερης διέλευσης). Τα IGBT χρησιμοποιούνται στους Ηλεκτρονικούς Μετατροπείς ισχύος σαν διακόπτες. Πιο συγκεκριμένα όταν βρίσκονται σε κατάσταση αποκοπής θεωρούνται σαν ανοικτοί διακόπτες και όταν βρίσκονται σε κατάσταση αγωγής θεωρούνται ως κλειστοί διακόπτες.



Σχήμα 16. Σύμβολο IGBT

6.3.2 Μετατροπέας έλξης

Ο μετατροπέας έλξης μετατρέπει την παρεχόμενη από τον κύριο μετασχηματιστή μονοφασική εναλλασσόμενη τάση σε τριφασικό σύστημα με μεταβαλλόμενο πλάτος και συχνότητα για την τροφοδότηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

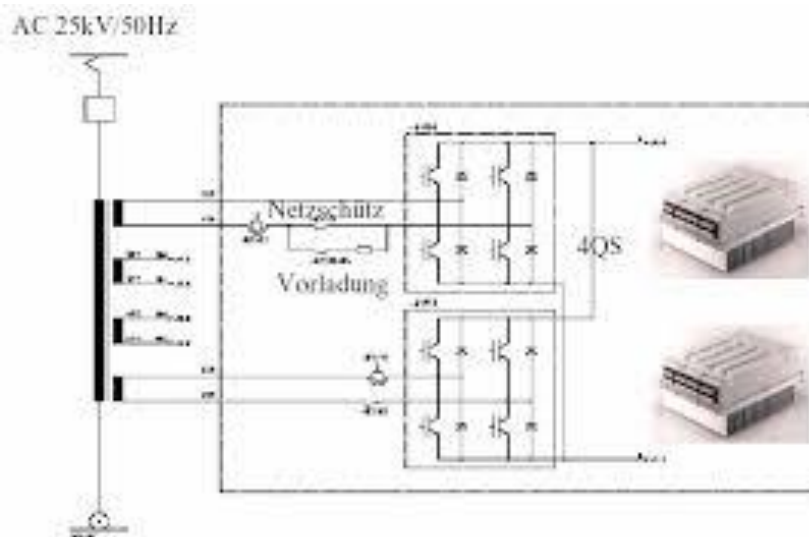
Σε κάθε κινητήριο όχημα ο μετατροπέας έλξης αποτελείται από τα εξής:

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

Ανά δύο οι ανορθωτές τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS τροφοδοτούν ένα ενδιάμεσο κύκλωμα με ενέργεια από το δίκτυο. Κατά την πέδηση οι 4QS επαναφέρουν την ενέργεια πέδησης στο δίκτυο. Κάθε μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR) παράγει από το κύκλωμα ενδιάμεσης τάσης τριφασική εναλλασσόμενη τάση μεταβαλλόμενου εύρους και συχνότητας για την τροφοδότηση δύο ηλεκτροκινητήρων έλξης.

6.3.3 Ανορθωτής τεσσάρων τεταρτημορίων 4QS

Ο 4QS λειτουργεί σαν ανορθωτικό σύστημα. Αποτελείται από δύο παράλληλες διατάξεις IGBT (**Σχήμα 17**) με ενσωματωμένες διόδους ελεύθερης διέλευσης. Σκοπός των 4QS είναι η μετατροπή της μονοφασικής εναλλασσόμενης τάσης σε τάση συνεχή του ενδιάμεσου κυκλώματος. Οι παλμοί έναυσης των IGBT ρυθμίζονται από τις μονάδες οδήγησης έτσι ώστε λόγω της υψηλής συχνότητας παλμοδότησης οι αρμονικές στο ρεύμα δικτύου και η κυμάτωση στο ενδιάμεσο κύκλωμα συνεχούς τάσης να είναι ελάχιστες. Κάθε 4QS φέρει στην είσοδο αυτόματους διακόπτες με τους οποίους σε περίπτωση σφάλματος είναι δυνατή η αποσύνδεση των 4QS από την περιέλιξη έλξης. Για την εκ των προτέρων φόρτιση των πυκνωτών του ενδιάμεσου κυκλώματος προβλέπεται να υπάρχει σε έναν 4QS κάθε κυκλώματος ενδιάμεσης τάσης αντίσταση προφόρτισης, η οποία συνδέεται μετά τη θέση σε λειτουργία του γενικού διακόπτη μέσω μιας επαφής και γεφυρώνεται μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας φόρτισης με μια άλλη επαφή.

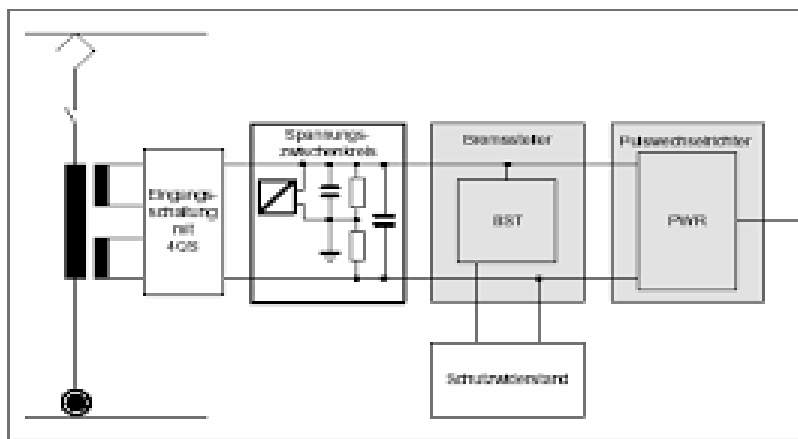


Σχήμα 17. Διάταξη 2 παράλληλων 4QS του μετατροπέα έλξης

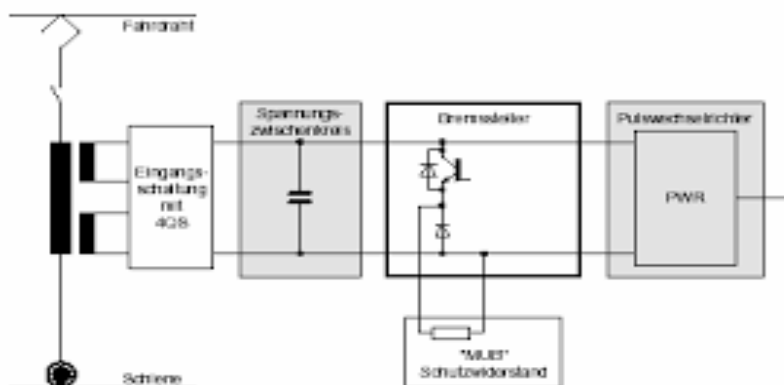
6.3.4 Ενδιάμεσο κύκλωμα και σύστημα προστασίας

Το ενδιάμεσο κύκλωμα (**Σχήμα 18**) αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ των 4QS και PWR. Για κάθε ενδιάμεσο κύκλωμα προβλέπεται ένα κύκλωμα προφόρτισης (**Σχήμα 19**). Κάθε ενδιάμεσο κύκλωμα περιέχει στοιχεία για την

προστασία των IGBT από υπερτάσεις. Οι μεταβατικές υπερτάσεις στο ενδιάμεσο κύκλωμα ελαττώνονται χωρίς αρνητικές επιπτώσεις για τη λειτουργία του συρμού κατά την πορεία. Εάν παρόλα αυτά παρουσιαστούν υπερτάσεις που υπερβαίνουν τις τιμές ενεργεί το module προστασίας με την αντίστοιχη αντίσταση (3 βήματα προστασίας όπως και στις Ηλεκτράμαξες). Εάν η τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος υπερβεί μια οριακή τιμή, ξεκινά η παλμοδότηση του συγκεκριμένου IGBT προκειμένου μέσω της αντίστασης προστασίας να εξαλειφθεί η υπέρταση. Μετά την πτώση της τάσης του ενδιάμεσου κυκλώματος στην ονομαστική της τιμή το εν λόγω IGBT προχωρεί εκ νέου σε απομόνωση. Εάν η τάση του ενδιάμεσου κυκλώματος στο module προστασίας υπερβεί την οριακή τιμή παρόλο που έχει δοθεί εντολή ενεργοποίησης από το IGBT, τότε η λειτουργία του μετατροπέα διακόπτεται με εντολή απομόνωσης της παλμοδότησής του. Εάν η τάση ενδιάμεσου κυκλώματος αυξηθεί περισσότερο τότε το ενδιάμεσο κύκλωμα εκφορτίζεται και τίθεται εκτός ο γενικός διακόπτης.



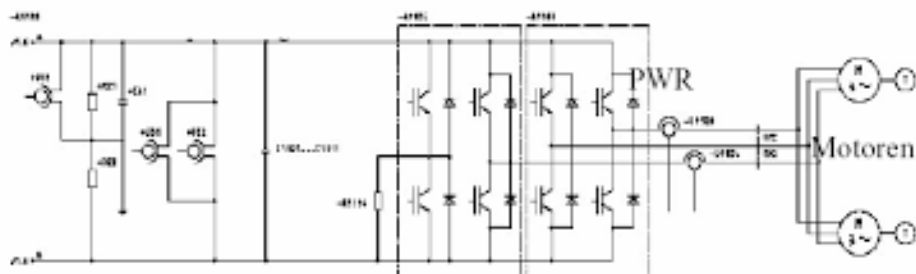
Σχήμα 18. Ενδιάμεσο κύκλωμα



Σχήμα 19. Κύκλωμα προστασίας ενδιάμεσου κυκλώματος

6.3.5 Μεταλλάκτης εύρους παλμών (PWR)

Σκοπός του μεταλλάκτη εύρους παλμών PWR (**Σχήμα 20**) είναι να διαθέτει στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες την τριφασική τάση με ρυθμιζόμενη συχνότητα και εύρος. Η διαμόρφωση εύρους παλμών παράγει προσεγγιστικά ημιτονοειδές ρεύμα στην έξοδο του PWR. Το κύκλωμα του μεταλλάκτη εύρους παλμών έχει υλοποιηθεί με IGBT και αποτελείται από τρεις αντιστροφείς ημιγέφυρας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι παράλληλα και έχουν την ίδια κυματομορφή τάσης εξόδου με μια μετατόπιση μεταξύ τους 120ο.



Σχήμα 20. Κύκλωμα PWR κινητηρίου οχήματος DESIRO

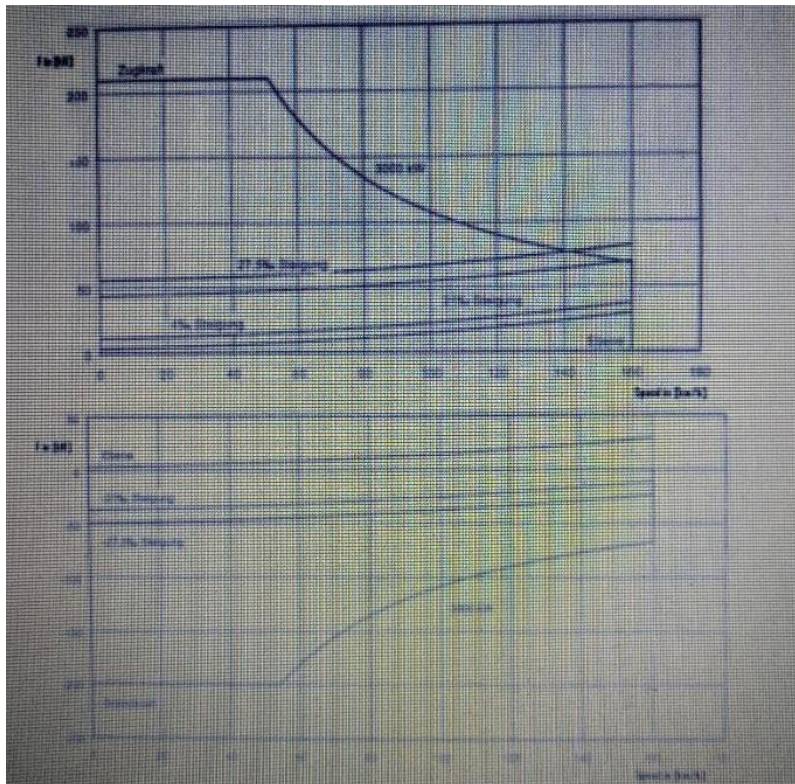
6.3.6 Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης

Ο ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης που χρησιμοποιείται στους πεντάδymους συρμούς DESIRO έχει βραχυκυκλωμένο δρομέα, 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 παρακάτω Πίνακα.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΡΜΟΥ DESIRO

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΤΟΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	
Ισχύς	250 KW
Τάση	1280 V
Ρεύμα	140 A
Συχνότητα	64 Hz
Αριθμός στροφών	1900/min
Συντελεστής ισχύος cosφ	0,863
Συνδεσμολογία	Υ

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης, της δύναμης ηλεκτρικής πέδησης και της αντίστασης κύλισης της πεντάδυμης αυτοκινητάμαξας φαίνονται στο παρακάτω **Σχήμα 21** :



Σχήμα 21. Χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης, της δύναμης ηλεκτρικής πέδησης και της αντίστασης κύλισης πεντάδυμου συρμού DESIRO

6.4 ΔΗΖΕΛΑΜΑΞΕΣ (Δ/Η) ADtranz (Αρχή λειτουργίας της έλξης στις Δ/Η ADtranz)

Εκτός από την ηλεκτροκίνητη έλξη, οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος χρησιμοποιούνται επίσης και στις Δ/Η Adtranz. Οι Δ/Η Adtranz είναι εξοπλισμένες με δύο δηζελοκίνητες (Δ/Κ) συνολικής ισχύος $P_b = 2100 \text{ kW}$.



Σχήμα 22. Αρχή λειτουργίας της έλξης στις Δ/Η ADtranz

Οι στροφές των Δ/Κ είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες και εξαρτώνται από την συνολική απαιτούμενη ισχύ. Σε κάθε Δ/Κ συνδέεται μια σύγχρονη γεννήτρια με ενσωματωμένη διέγερση. Η παραγόμενη έξοδος, που ρυθμίζεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ρυθμιστή, είναι ένα 3 φασικό εναλλασσόμενο ρεύμα ημιτονοειδούς μορφής (AC). Η παραγόμενη τάση ανορθώνεται από τους ανορθωτές και ομαλοποιείται από τον πυκνωτή του ενδιαμέσου κυκλώματος, ο οποίος ενεργεί και ως στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας. Ο μεταλλάκτης έλξης που συνδέεται με το ενδιάμεσο κύκλωμα μετατρέπει την συνεχή τάση (DC) σε εναλλασσόμενη 3-φασική (AC) τάση με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος για την τροφοδότηση 4 ασύγχρονων ηλεκτροκινητήρων έλξης.

Στο **Σχήμα 22** παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας της έλξης στις Δ/Η ADtranz.

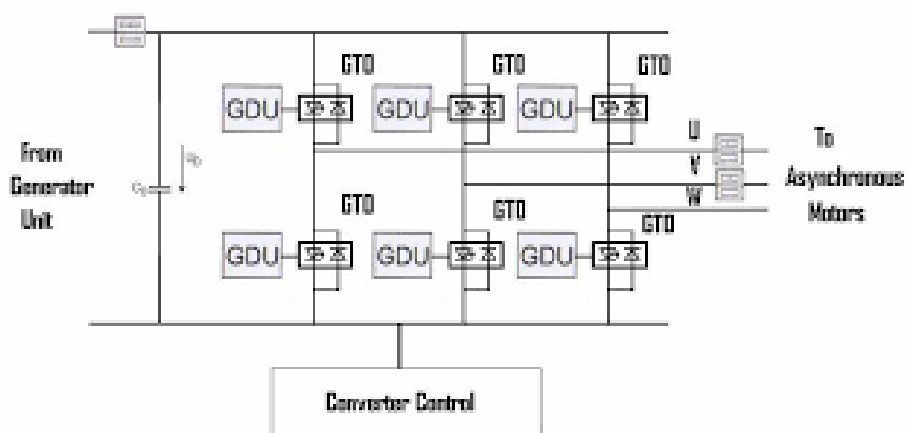
6.4.1 Ανορθωτές

Η τριφασική εναλλασσόμενη τάση των γεννητριών στις Δ/Η ADtranz μετατρέπεται σε συνεχή τάση με μέγιστη τιμή 2800 V με τη βοήθεια δύο ανορθωτών των οποίων τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΡΘΩΤΗ Δ/Η ADTRANZ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΡΘΩΤΗ Δ/Η ADTRANZ	
Τύπος	13 NW 06
Συνδεσμολογία	1Τριφασική γέφυρα Β6
Ονομαστική τάση εισόδου	2180 V
Ρεύμα εξόδου	< 400 A
Προστασία	IP 00
Ψύξη	Λάδι Μ/Σ

6.4.2 Μεταλλάκτης έλξης



Σχήμα 23. Μεταλλάκτης έλξης στις Δ/Η Adtranz

Ο Μεταλλάκτης έλξης των Δ/Η ADtranz (**Σχήμα 23**) είναι κατασκευασμένος με την τεχνολογία των GTO και έχει ψύξη με λάδι μετασχηματιστή. Αποτελείται από:

- Το module των ημιαγωγών συμπεριλαμβανομένων και των Gate Units
- Το τροφοδοτικό των Gate Units
- Τους πυκνωτές εξομάλυνσης του ενδιαμέσου κυκλώματος
- Την προστασία του ενδιαμέσου κυκλώματος

Ο Μεταλλάκτης έλξης μετατρέπει την συνεχή τάση του ενδιαμέσου κυκλώματος σε εναλλασσόμενη 3-φασική τάση με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος για την τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων έλξης.

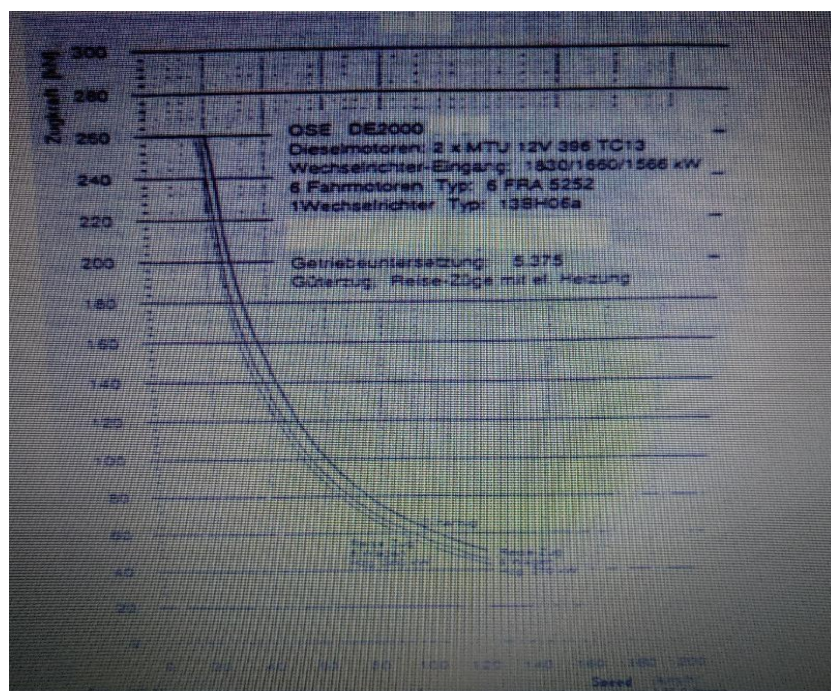
6.4.3 Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας έλξης

Οι Ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες έλξης των Δ/Η Adtranz έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους κινητήρες που παρουσιάστηκαν στους ηλεκτροκίνητους συρμούς. Τα ονομαστικά στοιχεία αυτών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ Δ/Η Adtranz

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ Δ/Η Adtranz	
Ισχύς	246 kW
Τάση	1422 V
Ρεύμα	132 A
Αριθμός στροφών	594 /min
Βαθμός απόδοσης	90,90%
Συντελεστής ισχύος cosφ	0,831
T	3949Nm
Ud	2800 V
Συνδεσμολογία	Υ

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης για τρεις περιπτώσεις συρμών με Δ/Η Adtranz φαίνονται παρακάτω **στο Σχήμα 24** :



Σχήμα 24. Χαρακτηριστικές καμπύλες της δύναμης έλξης για τρεις περιπτώσεις συρμών με Δ/Η Adtranz

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα και μελλοντικές τάσεις – προοπτικές –σύγκριση με νέες τεχνολογίες

7.1 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στην Ελλάδα θα πρέπει να βελτιωθούν οι σιδηρόδρομοι των μεγάλων αποστάσεων, ώστε αυτές να αντέχουν σε μεγάλες καταπονήσεις, δηλαδή στην κίνηση οχημάτων αφ' ενός μεν μεγάλων φορτίων αφ' ετέρου δε υψηλών ταχυτήτων. Η εγκατάσταση μονοφασικών δικτύων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με όλα τα συστήματα προστασίας και τηλεπικοινωνιών και σταθμούς με κέντρα ελέγχου, θα βοηθήσουν να κινηθούν οχήματα τελευταίας τεχνολογίας (τουλάχιστον αυτές που θα συνδέουν μεγάλες Ελληνικές πόλεις ή θα συνδέονται με ευρωπαϊκές μεγάλες πόλεις) τα οποία θα μετακινούν μεγάλο αριθμό ατόμων και προϊόντων με μεγαλύτερη ασφάλεια, σε μικρότερο χρόνο και με μικρότερο κόστος. Η ίδια τεχνολογία με μικρότερη ισχύς και με μικρότερες ταχύτητες μπορεί να εφαρμοστεί σε μετρό όπως και σε προαστιακούς σιδηροδρόμους.

Πιο συγκεκριμένα :

- Τα ντήζελ τρένα έχουν αποδειχθεί μη πρακτικά και στις υψηλές ταχύτητες απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας ενώ τα τρένα ηλεκτροκίνησης απαιτούν λιγότερη ενέργεια και μπορούν να ταξιδέψουν και με μεγάλες ταχύτητες.
- Τα ηλεκτρικά τρένα μπορούν να τροφοδοτηθούν από τους υποσταθμούς με διάφορους τρόπους και αυτό γιατί το δίκτυο ηλεκτροδότησης μπορεί να παράγει ενέργεια από ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικά εργοστάσια ή ότι άλλο προβλέπει η εκάστοτε εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Σε κάποιες περιπτώσεις το δίκτυο τροφοδοσίας του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου μπορεί να τροφοδοτηθεί και από δικές του εγκαταστάσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα ηλεκτρικά τρένα δεν χρειάζεται να μεταφέρουν καύσιμα για την κίνησή τους όπως τα ντήζελ, κερδίζοντας έτσι σημαντικό χώρο στην αμαξοστοιχία ή την ηλεκτράμαξα
- Στην εποχή όπου η προστασία του περιβάλλοντος είναι καθημερινή υπόθεση, το ηλεκτρικό τρένο είναι φιλικό προς το περιβάλλον καταναλώνοντας λίγη ενέργεια, μη εκπέμποντας ρύπους και φυσικά σε σχέση με άλλα μέσα μεταφοράς είναι και αθόρυβο.
- Εφόσον ο ηλεκτρισμός αποτελεί την καθαρότερη (μηδενικοί ρύποι, μικρές εκπομπές θορύβων και θερμότητας) μορφή ενέργειας, για περιβαλλοντικούς λόγους το σύστημα τραμ θα πρέπει να θεωρηθεί

αναπόσπαστο κομμάτι του δικτύου M.M.M. ενός σύγχρονου και περιβαλλοντικά φιλικού αστικού κέντρου.

- Η ηλεκτροδότηση των τρένων έφερε επίσης την ανάπτυξη και στην ηλεκτρονική αφού ήταν απαραίτητη η γρήγορη ρύθμιση των επί του οχήματος κινητήρων. Έτσι λοιπόν αναπτύχθηκε η τεχνολογία των GTO θυρίστορ και στη συνέχεια των IGBT θυρίστορ.
- Η σημερινή τεχνολογία έχει καταστήσει αρκετά οικονομικές τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος και αποθήκευσης ενέργειας, σε αντίθεση με το παρελθόν, επιτρέποντας την ευρεία εφαρμογή των υβριδικών τεχνολογιών.
- Πολλές προτάσεις για τροφοδοσία από το έδαφος δεν είναι πάντοτε λειτουργικές, εφ' όσον επηρεάζεται η συνέχεια της λειτουργίας τους από τις καιρικές συνθήκες, τη ρύπανση, τις επιπτώσεις από μηχανικά φορτία και γενικότερα από την κατάσταση του εδάφους.
- Τα συστήματα τροφοδοσίας, καλό θα ήταν να εμπεριέχουν υποσυστήματα εξοικονόμησης ενέργειας. Βασική είναι η συμμετοχή της ανακτώμενης ενέργειας από δυναμική πέδηση και της καλύτερης μεταφοράς ενέργειας μέσω των αντισταθμιστικών μέσων (χωρητικότητες, επαγωγές) απωλειών ισχύος (ωμικής ή και άεργου) επί των γραμμών τροφοδοσίας, στην συνολική τροφοδοσία.
- Αν και η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία, το παραδοσιακό σύστημα τροφοδοσίας εναέριων αλυσοειδών γραμμών εξακολουθεί να αποτελεί μία οικονομική και πλήρως λειτουργική λύση, με δυνατότητα συνδυασμού της με όλες τις τεχνολογίες βελτιωμένης εκμετάλλευσης και ανάκτησης ενέργειας.
- Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος αποτελούν σήμερα το πιο σημαντικό κομμάτι του συστήματος έλξης των σύγχρονων σιδηροδρομικών οχημάτων του Ο.Σ.Ε (Ηλεκτράμαξες SIEMENS, Δηζελάμαξες ADtranz, DESIRO Electric).

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών μετατροπένων έλξης των τριών τύπων οχημάτων μπορούν να αποτυπωθούν ως εξής:

- Ελάχιστη συντήρηση των ηλεκτροκινητήρων (επισκευή μετά από 1.800.000 km)
- Μέγιστος βαθμός απόδοσης της ελκτικής ισχύος
- Μικρή κατανάλωση ενέργειας στα ηλεκτροκίνητα οχήματα (ανάκτηση ενέργειας) αφενός λόγω τροφοδοσίας των βοηθητικών κυκλωμάτων και αφετέρου λόγω επιστροφής ενέργειας στο δίκτυο κατά την πέδηση. Επίσης, λόγω τροφοδοσίας των βοηθητικών κυκλωμάτων στις Δ/Η ADtranz κατά την πέδηση.
- Μικρό κόστος, βάρος και όγκο
- Μικρότερες ροπές αιώρησης των ηλεκτροκινητήρων έλξης
- Αύξηση του βαθμού άνεσης λόγω λιγότερων θορύβων και καλύτερης ρύθμισης της έλξης
- Μείωση των αρμονικών στο ρεύμα του δικτύου

- Ρύθμιση του συντελεστή απόδοσης ($\cos\phi\approx 1$) με συνέπεια την περιορισμένη ανάγκη σε άεργη ισχύ κατά την πορεία και την πέδηση
- Οικονομία στη συντήρηση λόγω χρήσης ενιαίων module

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι η χρήση των ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος μειώνει το κόστος συντήρησης και λειτουργίας σιδηροδρομικών οχημάτων κάνοντας ταυτόχρονα πιο άνετο το ταξίδι των επιβατών. Αυτό έχει σαν συνέπεια την εξοικονόμηση κόστους για τον Ο.Σ.Ε. και ταυτόχρονα την καλύτερη εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού.

7.2 Μελλοντικές τάσεις – προοπτικές – σύγκριση με νέες τεχνολογίες

Μία σχεδόν νέα τεχνολογία που εμφανίζεται σε λίγες χώρες στον κόσμο είναι η τεχνολογία Maglev. Είναι η τεχνολογία της μαγνητικής αιώρησης. Πρόκειται για ένα σύστημα μεταφοράς που καθοδηγεί και ωθεί τα οχήματα, κυρίως τα τρένα που μας ενδιαφέρει, με τη χρήση μαγνητικής αιώρησης από ένα πολύ μεγάλο αριθμό μαγνητών για την ανύψωση και την πρόωση. Η μέθοδος αυτή έχει τη δυνατότητα να είναι πιο γρήγορη, πιο αθόρυβη όπως επίσης και πιο ομαλή από τα τροχοφόρα συστήματα μαζικής μεταφοράς. Η δύναμη που απαιτείται για την αιώρηση συνήθως δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη σε ποσοστό από αυτό της συνολικής κατανάλωσης ενός σιδηροδρομικού συστήματος. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας χρησιμοποιείται προκειμένου να ξεπεραστεί η έλξη του αέρα, όπως συμβαίνει και με κάθε άλλο τρένο υψηλής ταχύτητας.



Εικόνα 23. Ιαπωνικό τρένο τεχνολογίας Maglev

Το παραπάνω τρένο που βλέπουμε (**Εικόνα 23**) , για πρώτη φορά, ξεπέρασε το φράγμα της ταχύτητας των 600 χλμ/ώρα σε δοκιμαστική διαδρομή.

Υπάρχουν διαφορές σε σχέση με τα συμβατικά τρένα οι οποίες κυρίως εντοπίζονται στην απόδοση , στο βάρος και στον θόρυβο.

- Λόγω της έλλειψης της φυσικής επαφής μεταξύ των γραμμών και του οχήματος, τα τρένα maglev δεν παρουσιάζουν αντίσταση κύλισης, βελτιώνοντας σημαντικά την ενεργειακή απόδοση.
- Το βάρος των μεγάλων ηλεκτρομαγνητών στις εγκαταστάσεις είναι ένα σημαντικό ζήτημα του σχεδιασμού. Ένα πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο καλείται να αιωρήσει ένα τεράστιο τρένο. Για το λόγο αυτό οι έρευνες δείχνουν πως είναι καλύτερη η χρήση υπερ-πυκνωτών για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ηλεκτρομαγνητών, καθώς και του ενεργειακού κόστους της διατήρησης του πεδίου.
- Τα τρένα maglev παράγουν λιγότερο θόρυβο από ένα συμβατικό τρένο σε ισοδύναμες ταχύτητες λόγω του ότι ο θόρυβος στα τρένα προέρχεται κυρίως από εκτοπισμούς του αέρα.
- Ο μαγνήτης παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε:

Με την τεχνολογία Maglev μηδενίζεται το κόστος συντήρησης και αυτό γιατί δεν υπάρχουν φθορές σε τροχούς/καλώδια και σιδηροτροχιές λόγω της αιώρησης. Επίσης η εκκίνηση και η πρόωση είναι ομαλή και αυτό γιατί δεν υπάρχει τριβή όπως συμβαίνει με τα συμβατικά τρένα με τους τροχούς και τις σιδηροτροχιές.

Αναφέραμε πιο πάνω για την ταχύτητα των τρένων αυτού του τύπου η οποία είναι πολύ υψηλή. Το 2015 παραδόθηκε μια γραμμή maglev στην Κίνα όπου η αμαξοστοιχία μπορεί να αναπτύσσει 1.000 km/h.

Επίσης συγκριτικά με τα συμβατικά τρένα, δεν είναι απαραίτητη η όχληση του περιβάλλοντος με καλώδια και πυλώνες.

Σήμερα ,αν και έχουν περάσει κάποια χρόνια από την εμφάνιση της παραπάνω τεχνολογίας οι περισσότερες χώρες δεν εστιάζουν στην τεχνολογία της μαγνητικής αιώρησης και αυτό γιατί απαιτεί την εξ' ολοκλήρου εγκατάσταση μιας νέας υποδομής για την υποστήριξη του συγκεκριμένου τροχαίου υλικού, κάτι το οποίο απαιτεί τεράστιους οικονομικούς πόρους. Σίγουρα, αρκετές χώρες που έχουν ήδη κάνει κάποια βήματα προς αυτό τον τομέα συνεχίζουν στην περαιτέρω εξέλιξη.

Βιβλιογραφία

- Στέφανος Ν. Μανιας, "Ηλεκτρονικά Ισχύος", Εκδόσεις Συμεών, 2000
- Ο.Σ.Ε., " ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ 33 α (ΠΣ 33 α) ΣΥΜΒΑΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 33 α (ΣΔ 33 α) ", ΤΟΜΟΣ Α, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1999
- Ο.Σ.Ε., " ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ 39 (ΠΣ 39) ΣΥΜΒΑΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 39 (ΣΔ 39) "
- Ρετινιάς Χ. & Τσακιρόπουλος Ρ., «Ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος σε σιδηροδρομικές εφαρμογές», ανακοίνωση στο συνέδριο του ΤΕΕ με τίτλο «Ηλεκτρονικά Ισχύος, συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και βιομηχανικές εφαρμογές», Αθήνα, 5-6 Απριλίου 2006
- Μικρόπουλος Παντελής, «HVDC συστήματα μεταφοράς», Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ, τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, Θεσσαλονίκη 2005
- SIEMENS, "Haupttransformator EZAT 6844", Ver. 1.0, August 2004
- SIEMENS, "Berechnungen und Nachweise", Ver. 1.0, Dezember 2004
- SIEMENS, "Stromrichtereinheit mit Siedebadkühlung", Ver. 1.0, Dezember 2004
- SIEMENS, "Fahrmotor 1TB2824-1GA02", Ver. 1.0, Dezember 2004
- SIEMENS, "Haupttransformator für DESIRO OSE", Ver. 1.0, July 2001
- SIEMENS, "Traktionscontainer SIBAC -TRC DESIRO OSE", Ver. 1.0, May 2004
- SIEMENS, "Bahnmotor 1TB2016-0GB02", Ver. 2.0, August 2003
- Ο.Σ.Ε., " ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ 50 (ΠΣ 50) ΣΥΜΒΑΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 50 (ΣΔ 50) ", ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1999
- Πυργίδης Χρίστος, «Συστήματα Σιδηροδρομικών Μεταφορών. Υποδομή, Τροχαίο Υλικό, Εκμετάλλευση», εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2009
- Υπηρεσία Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας – Κανονισμοί Ηλεκτροκίνησης , Τεύχος 1
- Υπηρεσία Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας – Κανονισμοί Ηλεκτροκίνησης , Τεύχος 3
- Εγχειρίδιο ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ και ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ της Αυτόματης Ζεύξης SCHAKU των Desiro Electric της Π.Σ. 33^α
- SIBAS 32 , Περιγραφή συσκευής , Συσκευή ελέγχου κίνησης, Desiro OSE

- Πυργίδης Χρίστος, «Η ηλεκτροκίνηση στο σιδηρόδρομο», Τεχνικά χρονικά, Τεύχος 3, Αθήνα, 1995
- Σύλλογος Φίλων Σιδηροδρόμου, "Σιδηροτροχιά Τεύχος 19", Αθήνα, 1999

- Siemens AG – Transportation systems – Trains, “DESIRO Electric Multiple Unit for Greek Railways”, Germany
- Ψωμιάδης Δημήτρης, “Ηλεκτρικές Μηχανές I & II”, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2004
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Pantograph_\(rail\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pantograph_(rail))
- http://en.wikipedia.org/wiki/Overhead_lines
- http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_locomotive
- http://en.wikipedia.org/wiki/Third_rail
- <http://www.railway-technical.com/tract-01.shtml>
- <http://www.railway-technical.com/tract-02.shtml>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev_\(transport\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev_(transport))