



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

TRANSRAPID
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΙ
ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΠΑΠΑΜΑΚΑΡΙΟΣ

Επιβλέπων : Χ.ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αθήνα, Νοέμβριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

TRANSRAPID
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΙ
ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΠΑΠΑΜΑΚΑΡΙΟΣ

Επιβλέπων : Χ.ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

.....
Νικόλαος Γ. Παπαμακάριος

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

Copyright © Νικόλαος Παπαμακάριος 2011

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 για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας,είχε ως σκοπό την ανάδειξη μιας καινοτόμου τεχνολογίας στον τομέα των μεταφορών ανθρώπινου δυναμικού και εμπορευμάτων, ανεφάρμοστη ακόμα στη χώρα μας.Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη ευθύγραμμων ηλεκτροκινητήρων.

Ως οδηγός, για την παρούσα παρουσίαση, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του γερμανικού οργανισμού τρενών Transrapid.Αρχικά, παρουσιάζεται μια σύντομη αναφορά στους ηλεκτροκινητήρες, την ηλεκτρική κίνηση και τους ευθύγραμμους κινητήρες. Εν συνεχεία, παρατίθεται μια εκτενής παρουσίαση της δομής και λειτουργίας του Transrapid(ιστορική διαδρομή της τεχνολογίας των ηλεκτρομαγνητικά-κινούμενων-αναρτώμενων τρενών από τη σύλληψη της ιδέας έως σήμερα, τα οχήματα και οι διάδρομοι κίνησης,η δομή του κέντρου λειτουργίας και έλεγχου ολόκληρου του συστήματος, η τεχνολογία ευθύγραμμης κίνησης και ανάρτησης,το σύστημα επαγωγικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος IPS, τα γενικά χαρακτηριστικά οφέλη της λειτουργίας των Transrapid maglev τρενών και τέλος η συνοπτική παρουσίαση του TGV και υπόλοιπων ανταγωνιστικών τεχνολογιών).

Ακολουθεί ένα μεγάλο μέρος της εργασίας,στο οποίο παρουσιάζεται εκτενώς η λειτουργία των σύγχρονων ευθύγραμμων κινητήρων(LSM), καθώς και των συστημάτων ανάρτησης EDS (ηλεκτροδυναμικό-απωστικό) και EMS(ηλεκτρομαγνητικό-ελκτικό).Στο τέλος του συγγράμματος, παρατίθενται τα,ανά τον κόσμο, maglev projects , καθώς και μια επισκόπηση διάφορων σχετικών καινοτόμων σχεδίων προς βελτίωση.

Λέξεις κλειδιά: Ευθύγραμμοι ηλεκτροκινητήρες, Maglev, Transrapid, LSM, EDS, EMS, σύγχρονοι ευθύγραμμοι κινητήρες, συστήματα ανάρτησης.

ABSTRACT

The development of the present paper had as aim, the appointment of an innovator technology in the sector of transports of human potential and merchandises, inapplicable still in our country. This technology is based on the beginnings of electromagnetism, that were used for the growth of linear motors.

As driver, on the present presentation, was used the model of German organism of trains Transrapid. First of all, is presented a short report in electro-motors, the electric movement and the linear engines. In continuity, is mentioned a extensive presentation of structure and operation of Transrapid (historical way of technology of electromagnetic-propulsed-levitated trains from the arrest of idea until today, the vehicles and the corridors of movement, the structure of centre of operation and control of entire system, the technology of linear movement and suspension, the system of inductive benefit of electric current IPS, as generally speaking characteristic profits of operation of Transrapid of maglev trains and finally the concise presentation of TGV and remainder competitive technologies).

A big part of this paper follows, in which are presented extensively, the operation of modern linear engines (LSM), as well as systems of suspension EDS (electrodynamic-repulsive) and EMS (electromagnetic-attractive). In the end of the paper, they are mentioned, per the world, maglev projects, as well as a review of various relative innovators of drawings to improvement.

Keywords: Linear electromotors, Maglev, Transrapid, LSM, EDS, EMS, linear synchronous motors, levitation systems.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης,αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα και πλέον θεμελιώδη πεδία γνώσης και εφαρμογής στην επιστήμη του ηλεκτρολόγου μηχανικού. Η απόλυτη σύνδεση της ηλεκτρικής κίνησης με την ανθρώπινη δραστηριότητα,καταμαρτυρά την μεγάλη αναγκαιότητα ανάπτυξης αυτής,με σκοπό την πολυεπίπεδη αποκόμιση οφελών στην καθημερινή ζωή.

Απόλυτα συνδεδεμένα με τον άνθρωπο,η μηχανική και ο ηλεκτρισμός,απαντώνται σ ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών της καθημερινότητας σε κατασκευές-μηχανές όπως,ηλεκτρικά τρένα,λεωφορεία,πλοία,εσχάτως δε και αυτοκίνητα,συστήματα ανύψωσης(γερανοί,ανεγκυστήρες κ.α.) μεταφοράς και περιστροφής.Οι απαιτήσεις ισχύος των συστημάτων αυτών είναι από κάποια κλάσματα του Watt μέχρι χιλιάδες η και εκατομμύρια Watts.Επομένως,όπως γίνεται άμεσα αντιληπτό από τα παραπάνω,το αντικείμενο της μελέτης των συστημάτων ηλεκτρικής κίνησης έχει αναρίθμητες πρακτικές εφαρμογές ,οι οποίες συνεπάγονται ουσιαστικότητα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.Ένα από αυτά είναι η ποιοτική βελτίωση των μέσων μεταφοράς (άνεση, ταχύτητα,ασφάλεια),με ταυτόχρονη μείωση του ενεργειακού,οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους.

Οι επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών,έχουν δώσει νέα ώθηση και νέες δυνατότητες στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης, καθιστώντας τα ακόμα πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά στην λειτουργία τους. Ήδη σήμερα, θεωρούνται αναντικατάστατα και ως εκ τούτου,το ενδιαφέρον γι αυτά βαίνει αυξανόμενο.Έτσι λοιπόν,η μελέτη,παρουσίαση και γνώση αυτών, καθίσταται αναπόφευκτη.

Νικόλαος Γ. Παπαμακάριος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Ευθύγραμμοι κινητήρες.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΣΥΣΤΗΜΑ TRANSRAPID – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MAGLEV

2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	20
2.3 Οχήματα(Vehicles).....	25
2.4 Διάδρομος οδήγησης(Guideway).....	28
2.5 Σύστημα ελέγχου λειτουργίας OCS(Operation Control System).....	31
2.6 Σύστημα ώθησης-Propulsion System.....	33
2.7 Σύστημα ανάρτησης-Levitation System.....	38
2.8 Παροχή ενέργειας-Power Supply.....	42
2.8.1 Απαιτήσεις ενέργειας.....	42
2.8.2 Σύστημα επαγωγικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος IPS.....	43
2.9 Γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος.....	47
2.10 TGV και άλλοι ανταγωνιστές.....	58
2.10.1 Εισαγωγή.....	58
2.10.2 TGV.....	58
2.10.3 HSR.....	63
2.10.4 Ιαπωνικό Shinkansen.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ-LSM

3.1 Μορφές σύγχρονων ευθύγραμμων κινητήρων.....	66
3.2 Ισοδύναμα κυκλώματα LSM.....	67
3.3 Υπολογισμός δυνάμεων-ισχύος στον LSM σιδήρου.....	70
3.4 Υπολογισμός δυνάμεων-ισχύος στον LSM αέρος.....	75
3.5 Λειτουργία LSM αέρος υπό σταθερή τάση.....	77
3.6 Εφαρμογή(LSM σιδήρου).....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ EMS-EDS

4.1 Ηλεκτρομαγνητικό ελκτικό σύστημα ανάρτησης(EMS).....	82
4.2 Ηλεκτροδυναμικό απώστικο σύστημα ανάρτησης(EDS).....	83
4.2.1 EDS με υπεραγωγούς.....	83

4.2.2 EDS με ηλεκτρομαγνήτες.....	86
4.2.3 Πλευρική ανάρτηση.....	90
4.3 Εφαρμογή.....	91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

MAGLEV PROJECTS-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΙΧΜΗΣ

5.1 MaGlev Projects ανά τον κόσμο.....	92
5.1.1 Προτάσεις.....	93
5.2 Καινοτόμα σχέδια συστημάτων-Προτάσεις βελτίωσης.....	94
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	92

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εικόνα 1.1.1 Απλοποιημένο διάγραμμα τυπικού συστήματος ηλεκτρικής κίνησης

Εικόνα 1.2.1 Σχέδιο ευθύγραμμου επαγωγικού κινητήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Εικόνα 2.1.1 EMS και EDS συστήματα ανάρτησης

Εικόνα 2.3.1 Βαρόνια δύο και τριών τμημάτων

Εικόνα 2.3.2 Τμήματα μεταφοράς εμπορευμάτων

Πίνακας 2.3.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη οχήματος

Εικόνα 2.4.1 At-grade και ανυψωμένος διάδρομος

Εικόνα 2.4.2 Σύστημα αλλαγής πορείας

Εικόνα 2.5.1 Απλοποιημένο διάγραμμα δομής του Transrapid OCS

Εικόνα 2.6.1 Από τον περιστροφικό, στον ευθύγραμμο κινητήρα επί του οχήματος

Εικόνα 2.6.2 Ένα ηλεκτρικό φορτίο, παράγει ένα οδύον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στα τυλίγματα, το οποίο ωθεί το όχημα κατά μήκος των μαγνητών ανάρτησης

Εικόνα 2.6.3 Διάφορα μέρη του συστήματος ώθησης

Εικόνα 2.7.1 Σύστημα ανάρτησης και ελέγχου του διακένου

Εικόνα 2.7.2 Τα είδη της Maglev ανάρτησης

Εικόνα 2.7.3 Οι μαγνήτες οδήγησης και EMS ανάρτησης του TR Maglev Track

Εικόνα 2.7.4 Η διάταξη των σπειρωμάτων των μαγνητών ανάρτησης, οδήγησης και ώθησης κατά μήκος του διαδρόμου

Εικόνα 2.8.2.1 Τα τυλίγματα πρωτεύοντος-δευτερεύοντος του IPS και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους

Εικόνα 2.8.2.2 Τυπικό σχεδιάγραμμα του IPS συμπεριλαμβανομένων όλων των επιμέρους στοιχείων του

Εικόνα 2.8.2.3 (α) Τομή του ομοαξονικού καλωδίου παροχής

(β) Καλώδιο πρωτεύοντος

(γ) Διάταξη της γραμμής πρωτεύοντος στο διάδρομο

Εικόνα 2.8.2.4 Η δομή του δευτερεύοντος

Εικόνα 2.9.1 Διάγραμμα κόστους επένδυσης διαφόρων διαδρομών

Εικόνα 2.9.2 Διάγραμμα σύγκρισης δαπανών συντήρησης και λειτουργίας ανάμεσα στον ICE και τον Transrapid

Εικόνα 2.9.3 (α) Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών θορύβου ανάμεσα σε Transrapid, ICE και TGV για διάφορες ταχύτητες

(β) Ενδεικτικές τιμές εκπομπών θορύβου κατά την λειτουργία διάφορων μηχανών

Εικόνα 2.9.4 Συγκριτικό διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας ανά επιβάτη-ανά χιλιόμετρο, ανάμεσα στον ICE και τον Transrapid

Εικόνα 2.9.5 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO₂ ανά επιβάτη-ανά χιλιόμετρο, ανάμεσα στον ICE και τον Transrapid

Εικόνα 2.9.6 Συγκριτικό διάγραμμα εδαφικής εκμετάλλευσης ανάμεσα στον ICE και τα δύο είδη διαδρόμων του Transrapid

Εικόνα 2.9.7 Συγκριτικό διάγραμμα έντασης του μαγνητικού πεδίου που προκαλεί η λειτουργία του TR σε σχέση με άλλα στοιχεία της καθημερινότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Σχήμα 3.2.1. Ισοδύναμο κύκλωμα LSM σιδήρου

Σχήμα 3.2.2. Ισοδύναμο κύκλωμα LSM αέρος

Σχήμα 3.3.1. Διάγραμμα ώθησης ταχύτητας του κινητήρα

Σχήμα 3.5.1. Ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα LSM αέρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Σχήμα 4.2.1.1 Τρισδιάστατο μοντέλο EDS υπεραγωγών

Σχήμα 4.2.1.2. Το ισοδύναμο κύκλωμα της ηλεκτρομαγνητικής διάταξης, καθώς και οι νόμοι-σχέσεις που το διέπουν

Σχήμα 4.2.2.1 Η πυκνότητα ρεύματος $J(x)$ σε σχέση με το πολικό βήμα

Σχήμα 4.2.2.2 Το ισοδύναμο κύκλωμα της ηλεκτρομαγνητικής διάταξης, το ισοδύναμο $Thevenin$ καθώς και οι νόμοι-σχέσεις που το διέπουν

Σχήμα 4.2.2.3. Το ενοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

1.1 Εισαγωγή

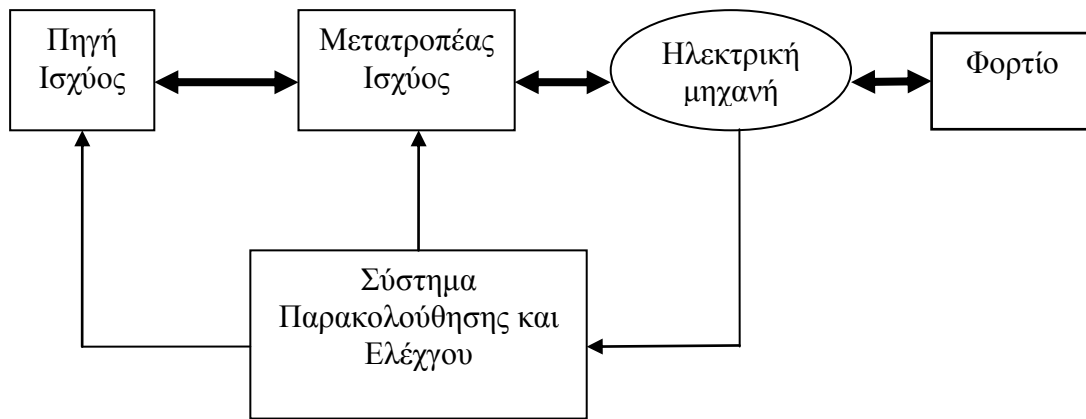
Η θεμελίωση των αρχών του ηλεκτρομαγνητισμού το 1831 από τους Michael Faraday και Joseph Henry, καθώς και η ανάπτυξη και εξέλιξη των πρώιμων ηλεκτρικών κινητήρων, σήμαναν την γέννηση της ηλεκτρικής κίνησης και των συστημάτων που προκύπτουν από αυτήν. Το 1888 παράλληλα με τον AC κινητήρα του Tesla αναπτύχθηκε και ο DC κινητήρας του Thomas Edison, με ανάλογη επιστημονική διαμάχη, ως προς το βέλτιστο της απόδοσης και της λειτουργίας. Η διαμάχη αυτή, αποτέλεσε το έναυσμα της εξέλιξης και βελτίωσης των δύο αυτών ειδών κινητήρων, και εφαρμογής αυτών σε ολόένα και περισσότερους τομείς, κυρίως μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο. Λόγω των πλεονεκτημάτων της ευρείας παροχής AC ρεύματος, επικράτησε τελικά ο AC κινητήρας του Nicola Tesla.

Η πραγματική επανάσταση, όμως, στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης, ήρθε όταν αποκτήθηκε η δυνατότητα για ακριβή έλεγχο των ηλεκτρικών κινητήρων, ώστε να επιτυγχάνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα και μάλιστα αυτόματα. Τα πρώιμα συστήματα ελέγχου (μηχανικά ή ηλεκτρικά) δεν παρείχαν αρκούντως ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ είχαν εξαιρετικά χαμηλή απόδοση. Το τρανζίστορ, αρχικά, και η εξέλιξη της τεχνολογίας αυτού στα διάφορα προηγμένα ηλεκτρονικά ισχύος, έλυσαν το πρόβλημα και δημιούργησαν εύφορο έδαφος για την περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου.

Στην γενική τους μορφή, τα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης συνιστούν ολοκληρωμένα ηλεκτρομηχανικά συστήματα, τα οποία αποτελούνται από πέντε θεμελιώδεις βαθμίδες:

- Πηγή ισχύος
- Μετατροπέα ισχύος
- Ηλεκτρική μηχανή
- Φορτίο
- Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου

Η διασύνδεση παρακολούθησης και ελέγχου απεικονίζεται διαγραμματικά στην παρακάτω εικόνα. (Εικόνα 1.1.1)



Εικόνα 1.1.1: Απλοποιημένο διάγραμμα τυπικού συστήματος ηλεκτρικής κίνησης

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, η ροή ενέργειας είναι αμφίδρομη. Είναι δυνατόν, δηλαδή είτε ηλεκτρική ενέργεια να μετατρέπεται και να μεταφέρεται προς την ηλεκτρική μηχανή (η οποία τώρα λειτουργεί ως ηλεκτρικός κινητήρας) και να αποδίδεται ως μηχανική στο φορτίο, είτε περίσσεια μηχανικής ενέργειας που διαθέτει το φορτίο, να μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω της ηλεκτρικής μηχανής (η οποία λειτουργεί τώρα ως ηλεκτρική γεννήτρια) και να επιστρέφει μέσω του μετατροπέα προς την πηγή ηλεκτρικής ισχύος.

Η κάθε μια από τις παραπάνω βαθμίδες, απαιτείται να λειτουργεί, με τη μέγιστη δυνατή απόδοση και την καλύτερη δυνατή συνεργασία με τις υπόλοιπες βαθμίδες, ούτως ώστε, το συνολικό σύστημα να λειτουργεί βέλτιστα. Η σύγχρονη τάση, μάλιστα, για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης υψηλών απαιτήσεων, προστάζει το συνολικό σχεδιασμό και βελτιστοποίηση του συστήματος μετατροπέα –μηχανής- συστήματος ελέγχου, έτσι ώστε, η αλληλεπίδραση τους κατά τη λειτουργία να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Όσον αφορά το γενικευμένο αυτό σύστημα ηλεκτρικής κίνησης, η παροχή ισχύος είναι δυνατόν να προέρχεται από το εκάστοτε δίκτυο (τριφασική συμμετρική παροχή εναλλασσόμενης τάσης), είτε, να πρόκειται για συνεχή (ή ανορθωμένη) τάση από ανορθωτικές διατάξεις, συσσωρευτές, φωτοβολταϊκές συστοιχίες και κυψέλες καυσίμου. Ο μετατροπέας ισχύος, ο οποίος παρεμβάλλεται ανάμεσα στην πηγή ισχύος και στην ηλεκτρική μηχανή, έχει ως σκοπό, είτε απλά να αποκαταστήσει δυνατή την λειτουργία της, ή επιπλέον, να ελέγξει την λειτουργία αυτής. Το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου, άμεσα συνδεδεμένο, προϋποθέτει την λειτουργία των δύο παραπάνω βαθμίδων. Είναι εκείνο το σύστημα, το οποίο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου, τις προδιαγραφές και την λειτουργία της δράσης ελέγχου (μέσω αισθητήρων και μετρητικών διατάξεων), θα δώσει στην έξοδο την επιθυμητή απόκριση. Η ηλεκτρική μηχανή, η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε

μηχανική (και αντιστρόφως), είναι το βασικό στέλεχος του συστήματος. Το είδος του ηλεκτροκινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα, εξαρτάται άμεσα από το φορτίο το οποίο θα κληθεί να εξυπηρετήσει. Οι δύο βασικές κατηγορίες διαχωρισμού των ηλεκτροκινητήρων είναι οι εξής: Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος και Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ο καθένας με τις υποκατηγορίες του).

Το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής, το κατέχουν οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, διαχωρισμένοι με την σειρά τους σε σύγχρονους και ασύγχρονους ηλεκτροκινητήρες. Συνήθως αυτοί, απαντώνται σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης, ως περιστροφικοί ή κυλινδρικοί κινητήρες. Ενδιαφέρουσα εξέλιξη αυτών, οι ευθύγραμμοι κινητήρες, οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω και αποτελούν κύριο πεδίο αναφοράς στη παρούσα εργασία.

Το φορτίο, τέλος, είναι το πρωταρχικό στοιχείο ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης, πάνω στο οποίο δομείται όλος ο σχεδιασμός αυτού. Είναι άμεσα συνδεδεμένο στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα και ανταλλάσσει με αυτόν μηχανική ενέργεια. Η ποικιλία στην μορφή των φορτίων (σταθερής ισχύος, σταθερής ροπής, γραμμικής ροπής, παραβολικής ροπής) έχει συμβάλει σημαντικά στην εξέλιξη της θεωρίας και εφαρμογής των ηλεκτρικών συστημάτων γενικά, και των επιμέρους βαθμίδων τους ξεχωριστά.

1.2 Ευθύγραμμοι κινητήρες

Στην εποχή μας, οι εφαρμογές της ευθύγραμμης κίνησης είναι περισσότερο απαιτητικές από ποτέ. Γρηγορότερη απόκριση, μεγαλύτερος χρόνος ζωής, λιγότερη συντήρηση, λιγότερα κινούμενα μέρη (ο κατάλογος είναι ατέρμονος), είναι στοιχεία που το καταμαρτυρούν. Οι επιχειρήσεις έλεγχου κίνησης, προσπαθούν να καλύψουν και να υπερβούν αυτές τις απαιτήσεις, βάσει της συνεχούς τεχνολογικής προόδου.

Λιγότερο από μια δεκαετία πριν, ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να υπάρξει εμπορικά διαθέσιμο ευθύγραμμο σύστημα, το οποίο θα μπορούσε να ταξιδεύσει με ταχύτητα 5 m/s, με ευθύτητα, χωρητικότητα φορτίων και ακαμψία. Σήμερα, υπάρχουν αρκετά τέτοια ευθύγραμμα συστήματα με αυτές τις ιδιότητες και με οικονομική αποδοτικότητα.

Οι εξελίξεις στη τεχνολογία των ευθύγραμμων κωδικοποιητών, επιτρέπει πλέον και μεγαλύτερη ταχύτητα στον έλεγχο. Οι σημερινοί ευθύγραμμοι κωδικοποιητές και άλλες συσκευές, ανταποκρίνονται σε αυτήν την πρόκληση, είναι λιγότερο ευαίσθητοι στον θόρυβο και κοστίζουν λιγότερο.

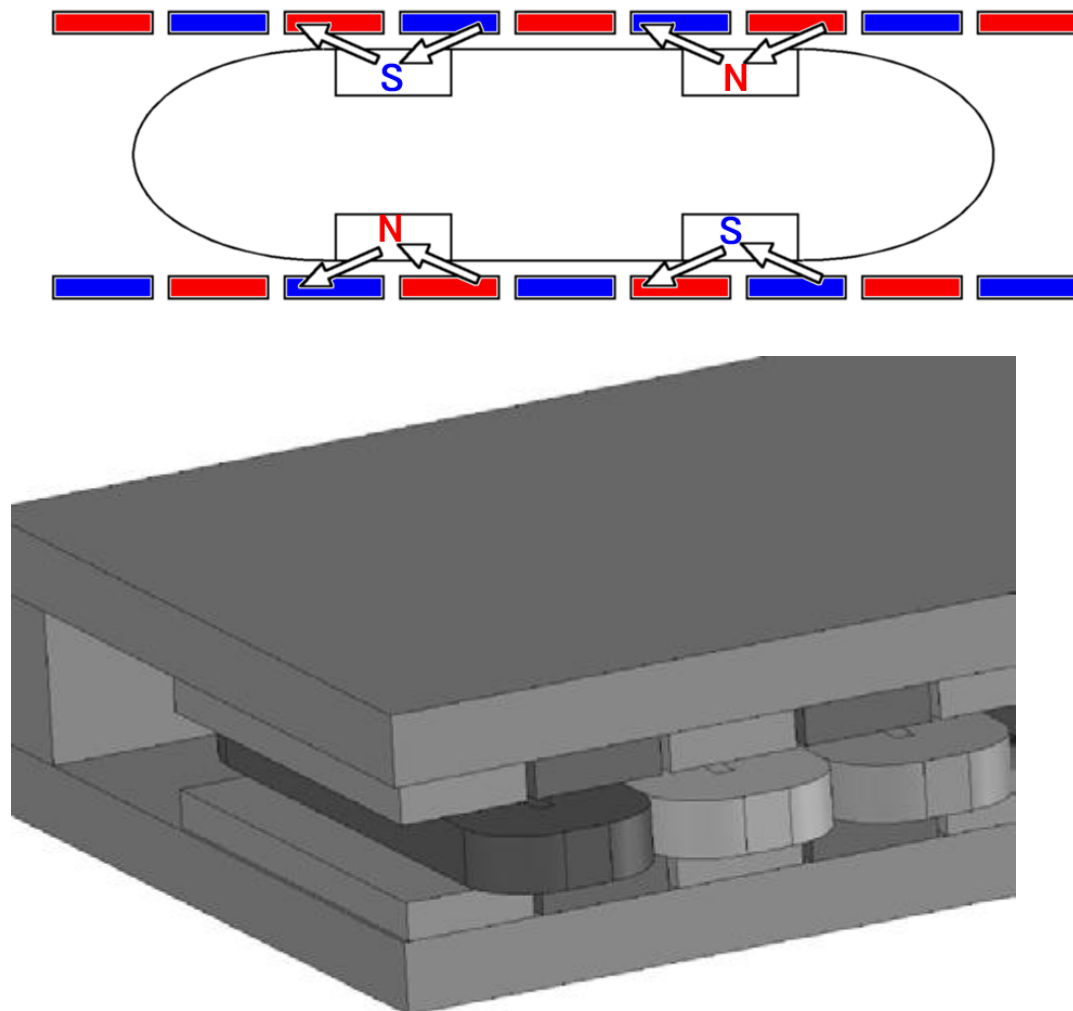
Έτσι λοιπόν, με δυο από τα τρία πρωταρχικά στοιχεία της ευθύγραμμης κίνησης να ανταποκρίνονται στην πρόκληση της υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας, το μέσον της κίνησης αποτελεί τον κρίσιμο παράγοντα.

Προς ικανοποίηση των απαιτήσεων σε υψηλή ακρίβεια και εφαρμογή υψηλών ταχυτήτων στη μεταφορά, το μέσον της κίνησης (στη συγκεκριμένη περίπτωση το τρένο), πρέπει να είναι ικανό να ανταποκρίνεται ταχύτερα, να είναι ελαφρύτερο και να έχει εξαιρετικά υψηλές δυνατότητες ευελιξίας. Τη βάση για την ύπαρξη, τη

δημιουργία και εξέλιξη ενός τέτοιου συστήματος κίνησης ,αποτελεί ο ευθύγραμμος κινητήρας επαγωγής .

Ευθύγραμμος κινητήρας επαγωγής, καλείται ο πολυφασικός ηλεκτρικός κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), ο οποίος έχει ευθύ στάτη,ούτως ώστε,αντί να παράγει περιστροφική , παράγει ευθύγραμμη κίνηση κατά μήκος του . Η πιο κοινά απαντώμενη μορφή λειτουργίας του βασίζεται στο μοντέλο του Lorentz , κατά το οποίο,η εφαρμοζόμενη δύναμη είναι γραμμικά ανάλογη του φορτίου και του μαγνητικού πεδίου ($F = qV \times B$) .

Στην ουσία , ο ευθύγραμμος περιστροφικός κινητήρας , είναι ο συνήθης περιστροφικός κινητήρας επαγωγής “ξετυλιγμένος”. Έτσι , ο δρομέας μετατρέπεται σε μια ράγα μαγνητών η σπειρωμάτων . Με αυτόν τον τρόπο , το φορτίο μπορεί να συνδεθεί απευθείας στον κινητήρα, και επιτυγχάνεται ευθύγραμμη κίνηση ,χωρίς περιστροφή , στις ευθύγραμμες συσκευές μετάδοσης .



Εικόνα 1.2.1. Σχέδιο ευθύγραμμου επαγωγικού κινητήρα

Οι ευθύγραμμοι κινητήρες,μπορούν να διακριθούν σε όσα είδη διακρίνονται και οι αντίστοιχοι περιστροφικοί κινητήρες ,από τους οποίους, μπορούν να προέλθουν με γεωμετρική ανάπτυξη. Έτσι,έχουμε DC ευθύγραμμους κινητήρες με

ηλεκτρομαγνητικούς πόλους (μαγνήτες) , σύγχρονους ευθύγραμμους κινητήρες (LSM) , επαγωγικούς , μαγνητικής αντίστασης , υστερήσεως , κ.λ.π. Άλλες διαφοροποιήσεις μπορούν να προέλθουν με βάση αν ο στάτης ή ο δρομέας θα είναι βραχύς . Στις περισσότερες εφαρμογές ,συναντώνται ευθύγραμμοι κινητήρες βραχύ δρομέα .Ο αριθμός των όψεων του πρωτεύοντος (που είναι συνήθως το βραχύ τμήμα του κινητήρα) δίνει μια άλλη διαφοροποίηση .Έτσι, δύναται να υπάρχουν κινητήρες , των οποίων το δευτερεύον υποστηρίζεται συνήθως από σίδηρο,ή διπλής όψης (τύπου σάντουιτς).Ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσεται η μαγνητική ροή στον κινητήρα μπορεί,επίσης,να προσφέρει άλλες διαφοροποιήσεις. Η ροή,μπορεί να είναι οριζόντια ή εγκάρσια , με το πολικό βήμα να απαιτείται να μεταλλάσσεται.

Ολοκληρώνοντας, είναι δόκιμο να παρατεθούν τα κυριότερα πλεονεκτήματα, τα οποία αποκομίζονται με τη δημιουργία του ευθύγραμμου κινητήρα , έναντι του περιστροφικού. Τα βασικά πλεονεκτήματα συνοπτικά είναι τα εξής :

- Υψηλές ταχύτητες : Η μέγιστη ταχύτητα ενός ευθύγραμμου κινητήρα , περιορίζεται μόνο από την τάση δικτύου και την ταχύτητα των ηλεκτρονικών έλεγχου . Οι χαρακτηριστικότερες ταχύτητες για τους ευθύγραμμους κινητήρες είναι 3 m/s και ορισμένες φορές πάνω από 5 m/s.
- Υψηλή ακρίβεια : Η ακρίβεια , η ανάλυση και η περιοδικότητα ενός συστήματος ευθύγραμμου κινητήρα, ελέγχεται από σύστημα ανατροφοδότησης (feed-back).Με μεγάλο εύρος διαθέσιμων feed-back συστημάτων, η ανάλυση και η ακρίβεια ,καθορίζονται,πια,από το εύρος του προϋπολογισμού και τις απαιτήσεις σε συστήματα έλεγχου.
- Γρήγορη απόκριση : Το ποσοστό απόκρισης ενός συστήματος οδήγησης ευθύγραμμου κινητήρα, μπορεί να είναι 100 φορές μεγαλύτερο από αυτό μιας μηχανικής μετάδοσης. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερες επιταχύνσεις και μικρότερους χρόνους αποκατάστασης, και κατά συνέπεια μεγαλύτερη απόδοση.
- Ακαμψία : Επειδή δεν υπάρχει κανένας μηχανικός σύνδεσμος, η αύξηση της ακαμψίας είναι απλά θέμα κέρδους και φορτίου. Το εύρος κίνησης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός φορτίου οδηγούμενου από σύστημα τροχών. Ωστόσο , εξαρτάται από τις δυνατότητες της ιπποδύναμης του συστήματος, το διαθέσιμο φορτίο και τις συσκευές ανατροφοδότησης.
- Μηδενικοί κραδασμοί : Χωρίς μηχανικούς συνδέσμους δεν υπάρχουν κραδασμοί. Ωστόσο , υπάρχουν αναπόφευκτες αναταράξεις στο όχημα ,σε περιπτώσεις διόρθωσης της πορείας του.
- Ελεύθερη συντήρηση : Επειδή ,οι σύγχρονοι ευθύγραμμοι κινητήρες δεν έχουν συνδεδεμένα εξαρτημένα μέρη, η συντήρηση και επισκευή ,μπορεί να είναι ανεξάρτητη.

Εξίσου, βασικά μειονεκτήματα υπάρχουν και είναι επιγραμματικά τα εξής :

- α) μεγάλο κόστος,
- β) υψηλών απαιτήσεων και πολυπλοκότητας συστήματα οδήγησης και έλεγχου
- γ) μεγαλύτερη δύναμη / μονάδα φορτίου

- δ) μεγάλες θερμικές απώλειες , άρα αναγκαιότητα συστημάτων ψύξης και διαχείρισης θερμοκρασίας
- ε) Ελάχιστη (έως καθόλου) τριβή , ούτως ώστε να δυσκολεύει η πέδηση και ο έλεγχος της ταχύτητας.

Αν και η παρουσίαση τους στο παρόν σύγγραμμα είναι συνοπτική, η καινοτόμα τεχνολογία και οι μεγάλες δυνατότητες εξέλιξης και εφαρμογής στην καθημερινή ζωή (πέρα από τον τομέα των μεταφορών) των ευθύγραμμων κινητήρων, είναι φανερή. Για το λόγο αυτό, σχεδόν όλες οι προηγμένες τεχνολογικά χώρες στον κόσμο, επενδύουν σημαντικό κομμάτι της μελλοντικής τους ανάπτυξης, βασιζόμενες στην τεχνολογία του ευθύγραμμου κινητήρα.

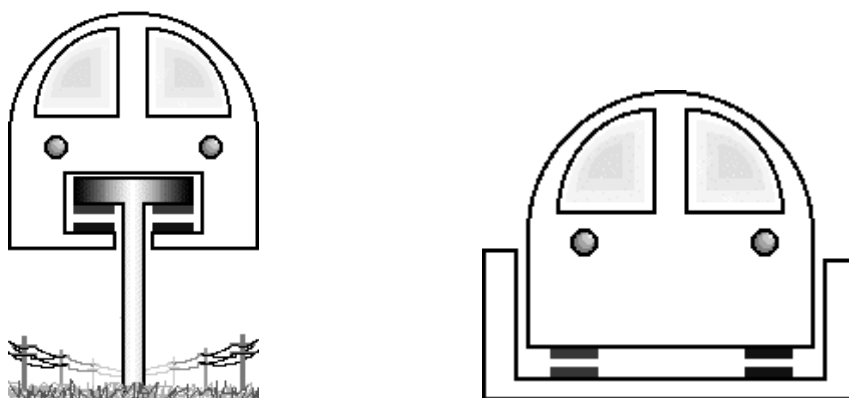
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΣΥΣΤΗΜΑ TRANSRAPID – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MAGLEV

2.1 Εισαγωγή

Από την κατασκευή του πρώτου σιδηροδρόμου, λίγα έχουν αλλάξει όσον αφορά το βασικό τεχνολογικό σχεδιασμό, παρά τον πλούτο της μηχανικής προόδου. Τα τρένα υποστηρίζονται, οδηγούνται, επιταχύνονται και φρενάρουν από τους τροχούς. Προς επίτευξη καλύτερης οικονομικής αποδοτικότητας, περιβαλλοντικής συμβατότητας, υψηλής ταχύτητας και συγχρόνως μέγιστης ασφάλειας αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογική προσέγγιση: Τα συστήματα ηλεκτρομαγνητικής, χωρίς επαφή, ανάρτησης και προώθησης. Με άλλα λόγια – Maglev (magnetic levitation). Αντί της εφαρμογής και φθοράς μηχανικών εξαρτημάτων όπως, τροχοί, άξονες, κιβώτια ταχυτήτων, το Maglev, χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά συστήματα για να επιτύχει αυτές τις λειτουργίες.

Ενός απλός προσδιορισμός για το Maglev, ως μέσο μεταφοράς, είναι η ανάρτηση ενός οχήματος επάνω από ένα μαγνητικό διάδρομο και η ώθηση κατά μήκος του με την χρήση μαγνητικής ενέργειας. Προφανώς, είναι περισσότερο πολύπλοκο, εντούτοις, το αποτέλεσμα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι, ένα όχημα μπορεί να κινηθεί αβίαστα, σε μεγαλύτερες ταχύτητες, αποτελεσματικότερα, με ασφάλεια, ομαλά και με μεγαλύτερη σταθερότητα.



Εικόνα 2.1.1 EMS και EDS συστήματα ανάρτησης

Οφείλει να τονιστεί ότι, ο όρος Maglev αναφέρεται, όχι μόνο σε οχήματα, αλλά και σε ολόκληρο σιδηροδρομικό σύστημα. Όλες οι λειτουργικές εφαρμογές της τεχνολογίας Maglev, έχουν την ελάχιστη δυνατή χρησιμοποίηση στα οχήματα, οπότε, δεν είναι συμβατή με τα υπάρχουσα σιδηροδρομικά συστήματα, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει την υπάρχουσα υποδομή, κι έτσι τα συστήματα που την αφορούν πρέπει να σχεδιαστούν εξ αρχής ως πλήρη συστήματα μεταφορών. Το SPM Maglev σύστημα εφαρμοσμένης ανάρτησης, είναι «διαλειτουργικό» και επιτρέπει τη λειτουργία των συμβατικών και των Maglev οχημάτων στον ίδιο χρόνο, στην ίδια τροχιά. Υπάρχουν διάφοροι σχεδιασμοί διαδρομών, πάνω στους οποίους αναρτώνται τα Maglev οχήματα. Οι βασικότεροι είναι σχήματος -T-, -U-, -Y- κατασκευασμένοι από ατσάλι, σκυρόδεμα ή άργιλο.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι τεχνολογιών Maglev:

Ηλεκτρομαγνητική ανάρτηση (EMS): Χρησιμοποιεί τη μαγνητική ελκτική δύναμη μαγνητών, κάτω από τη ράγα, για να ανυψώσει το τρένο.

Ηλεκτρομαγνητική ανάρτηση (EDS): Χρησιμοποιεί την απωστική δύναμη, μεταξύ δύο μαγνητικών πεδίων, για να αναρτήσει το τρένο κατά μήκος της ράγας.

Σταθεροποιημένη ανάρτηση μόνιμων μαγνητών (SPM): Χρησιμοποιεί αντιτιθέμενες σειρές μόνιμων μαγνητών για να ανυψώσει το τρένο επάνω από τη ράγα.

Μια άλλη πειραματική τεχνολογία, η οποία σχεδιάστηκε, αποδείχθηκε πειραματικά, κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρυσιτεχνίας και είναι έτοιμη να εφαρμοστεί και πρακτικά, είναι η μαγνητοδυναμική ανάρτηση (MDS), η οποία χρησιμοποιεί την ελκτική μαγνητική δύναμη μιας σειράς από μόνιμους μαγνήτες κοντά σε μια χαλύβδινη διαδρομή, για να ανυψώσει και να διατηρήσει σε τροχιά το τρένο.

Οι ιδιότητες της τεχνολογίας Maglev και η ταύτιση αυτών με τις σημερινές ανάγκες μεταφοράς, έχουν οδηγήσει στην υψηλή εκτίμηση και από τους αρμόδιους σχεδιασμού των μεταφορών. Δεν υπάρχει κανένα γρηγορότερο εφαρμόσιμο σύστημα επίγειων μεταφορών από το Maglev, με ταυτόχρονη υψηλού βαθμού ασφάλεια και άνεση προς τον επιβάτη. Η φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία του Transrapid, την καθιστά, επίσης, πολύ οικονομική, λόγω του ότι, απαλλαγμένη από τις φθορές, καταναλώνει μια σχετικά μικρή ποσότητα ενέργειας. Προσφέρει επίσης, ανεξαρτησία πετρελαίου λόγω της ηλεκτρικής τροφοδοσίας των οχημάτων (στο σύστημα το πετρέλαιο δεν χρειάζεται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας). Αναφορικά, το 1990, λιγότερο από το 5% της εθνικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από το πετρέλαιο, τη στιγμή που αεροπλοΐα και αυτοκίνητα το χρησιμοποιούσαν ως βασικό τους καύσιμο. Τα συστήματα Maglev, παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τα αεροπορικά, με τουλάχιστον 12.000 επιβάτες ανά ώρα στον ίδιο προορισμό κι έτσι προσφέρουν μια ικανοποιητική λύση στην αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση και μια εναλλακτική, έναντι του αεροπλάνου και του αυτοκινήτου, σε περιόδους κρίσης διαθεσιμότητας του πετρελαίου.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα αξιοποίησης των ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών, προς επίτευξη ταξιδιών(και μεταφορών) με υψηλή ταχύτητα, με οχήματα μαγνητικά αναρτώμενα, έχει διατυπωθεί σχεδόν ένα αιώνα πριν. Στις αρχές του 1900, ο Bachelet στη Γαλλία και ο Goddard στις Η.Π.Α, ήταν οι πρώτοι που πραγματεύονταν τη δυνατότητα αυτή. Ωστόσο, δεν κατάφεραν να προτείνουν ένα πρακτικά εφαρμόσιμο σχέδιο για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Τον Αύγουστο του 1934, ο Γερμανός Herman Kemper κατοχυρώνει μια πατέντα για τη μαγνητική ανάρτηση των τρένων. Η έρευνα συνεχίστηκε και μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

Το 1966, στις Η.Π.Α, οι James Powell και Gordon Damby, πρότειναν το πρώτο πρακτικά εφαρμόσιμο σύστημα μεταφοράς(μαγνητικά αναρτώμενο) ,χρησιμοποιώντας υπεραγωγίσιμους μαγνήτες στα κινούμενα οχήματα, προκαλώντας

ρεύματα σε συνήθεις βρόγχους αλουμινίου της σιδηροτροχιάς. Τα κινούμενα οχήματα, ήταν αυτόματα αναρτώμενα και σταθεροποιημένα κάθετα και πλευρικά, καθώς κινούνταν κατά μήκος της σιδηροτροχιάς. Επίσης, ωθούνταν μαγνητικά κατά μήκος της τροχιάς, λόγω ενός μικρής έντασης AC ρεύματος. Το μοντέλο των Powell-Damby υπήρξε αρωγός για την ανάπτυξη της θεωρίας μαγνητικής ανάρτησης(MAGLEV) και των συστημάτων που προήλθαν από αυτή, για τις υπόλοιπες χώρες. Συγκεκριμένα, σε χώρες όπως, η Γερμανία και η Ιαπωνία, η ιδέα μεταφοράς ,χρησιμοποιώντας το μοντέλο της μαγνητικής ανάρτησης, φαινόταν να είναι ακόμα καλύτερα εφαρμόσιμη.

Όσον αφορά τη Γερμανία, η έρευνα και ανάπτυξη του συστήματος, ξεκίνησε από το 1969. Έπειτα από πολλές εργαστηριακές δοκιμές, ακολούθησε και η Ιαπωνία, στην οποία πρωτοκατασκευάστηκε πιστά δοκίμων στα μέσα του 1970(μέσα του 1980 και στη Γερμανία).

Η πρόοδος του συστήματος έως το 1978, παρατίθεται επιγραμματικά παρακάτω:

- **1934** Στις 14 Αυγούστου, ο Hermann Kemper λαμβάνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τα μαγνητικά αναρτώμενα τρένα (DRP 643316).
- **1969** Η ομάδα μελετών HSR, ξεκινά την έρευνα ανάπτυξης εφαρμογών και συστημάτων υψηλής απόδοσης και ταχύτητας, σε συνεργασία με το υπουργείο μεταφορών. Η μελέτη (HSR study) ολοκληρώνεται το 1972.
- **1971** Παρουσίαση του πρώτου βασικού οχήματος μεταφοράς ανθρώπινου δυναμικού, από την Messerschmitt-Bolkow-Blohm(MBB), σε πίστα δοκίμων 660m στο Ottobrunn (Μόναχο).
- **1972** Ξεκινά η ανάπτυξη ενός ηλεκτροδυναμικού συστήματος ανάρτησης (EDS-repulsive principle) χρησιμοποιώντας υπεραγώγιμα σπειρώματα, από μια ομάδα συνεργασίας των AEG,Telefunken,BBC και Siemens. Κατασκευή πίστας δοκίμων 900m στο Enlangen και του Enlangen Test Vehicle(EET 01) από την MAN.Την ίδια χρονιά, τα τρένα με συστήματα ώθησης LSM και LIM(LSM 200,ML 100) επιτυγχάνουν στις δοκιμές.
- **1974** Η Thyssen Henschel και το τεχνολογικό πανεπιστήμιο του Braunschweig, ξεκινούν έργο ανάπτυξης MAGLEV συστημάτων με ευθύγραμμο κινητήρα ώθησης βραχέως δρομέα, το οποίο αποτελούσε μέχρι εκείνη τη στιγμή εναλλακτική πρόταση. Η τηλεκατευθυνόμενη μονάδα δοκίμων (KOMET) από την MBB στο Manchning, αποδεικνύει τη λειτουργική της ταχύτητα στα 400 km/h.
- **1975** Το LSM-πειραματικό όχημα (ML 100A) με υπεραγώγιμους μαγνήτες, επιτυγχάνει σε τέλεια non-contact οδήγηση.

- **1976** Παγκόσμια πρώτη, μεταφοράς ανθρώπινου δυναμικού με το πειραματικό όχημα βραχύ δρομέα HMB 2 στην Thyssen Henschel.
- **1977** Διακοπή της ανάπτυξης του συστήματος ηλεκτροδυναμικής ανάρτησης με πρωτοβουλία του υπουργείου έρευνας και τεχνολογίας (BMFT) της Γερμανίας.

Δυο χρονιά αργότερα όμως, το 1979, στη διεθνή έκθεση μεταφορών (IVA 79) άνοιξε στο Αμβούργο γραμμή 908m για το πρώτο maglev τρένο με longstator propulsion, εγκεκριμένο για μεταφορά επιβατών (Transrapid). Το ενδιαφέρον ήταν τόσο μεγάλο που, η λειτουργία του έπρεπε να παραταθεί για τρεις μήνες μετά το τέλος της έκθεσης, μεταφέροντας συνολικά πάνω από 50.000 επιβάτες, μέχρι να αποσυρθεί στο Kassel το 1980.

Αντιθέτως, στην Ιαπωνία, το Miyazaki Maglev Test Center ανοίγει τις πύλες του. Πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική δόκιμη του ML-500 στον αναστρεφόμενο-Τ τροχόδρομο στο Miyazaki Test Track. Οι δόκιμες συνεχίστηκαν μέχρι τον 12/1979, όπου επετεύχθη για πρώτη φορά ταχύτητα 517 km/h(Έπειτα από ατύχημα, το συγκεκριμένο τρένο καταστράφηκε και αποφασίστηκε εκ νέου σχεδιασμός του).

Οι δόκιμες συνεχίστηκαν το 1981 και 1986 ,με συστοιχίες δυο και τριών βαγονιών αντίστοιχα. Το 1987, το επανδρωμένο όχημα δυο βαγονιών MLU 001, έπιασε την ταχύτητα των 400,8 km/h. Το 1990, το υπουργείο μεταφορών της Ιαπωνίας, ενέκρινε την Κατασκευή της Yamanashi Maglev Test Drive. Ήταν το τελικό τεστ προς επιβεβαίωση της πρακτικής εφαρμογής του συστήματος MagLev.

Παράλληλα, στις Η.Π.Α, πραγματοποιούνταν σχετικά μικρή έρευνα στα συστήματα maglev και το 1986 η κυβέρνηση σταμάτησε όλη την χρηματοδότηση που αφορούσε την τεχνολογία αυτή. Τέσσερα χρονιά αργότερα όμως, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση των Η.Π.Α και ο Ομοσπονδιακός Οργανισμός Σιδηρόδρομων, ξεκίνησαν επίσημα να υποστηρίζουν την τεχνολογία maglev. Ξεκίνησαν το NMI(National Maglev Initiative) το 1990, μια συντονισμένη προσπάθεια του υπουργείου μεταφορών ,του ACE Army Corps of Engineers και του υπουργείου ενέργειας των Η.Π.Α. Ο σκοπός της πρωτοβουλίας αυτής, ήταν να αξιολογηθούν οι πιθανές βελτιώσεις μεταφοράς με μαγνητική ανάρτηση και περιελάμβανε τον προγραμματισμό, την ανάλυση και την τεχνολογία αξιολόγησης maglev, ούτως ώστε να γίνει μια βιώσιμη επιλογή για τις μελλοντικές μεταφορές.

Ανάπτυξη της τεχνολογίας maglev παρουσιάστηκε και στη Μεγάλη Βρετανία εκείνη την εποχή. Το πρώτο, παγκοσμίως εμπορικό, αυτοματοποιημένο σύστημα, ήταν ένα maglev όχημα χαμηλής ταχύτητας, το οποίο συνέδεε τον τερματικό σταθμό του διεθνούς αεροδρομίου του Μπερμινγχαμ με τον κοντινότερο σιδηροδρομικό σταθμό της πόλης. Η γραμμή είχε μήκος 600m και το τρένο τη διέσχισε αναρτώμενο κατά 15 mm. Λειτουργησε μόνο 11 χρονιά(1984-1995), καθώς, τα προβλήματα με τα πεπαλαιωμένα ηλεκτρονικά συστήματα(έλλειψη ανταλλακτικών) , το κατέστησαν αναξιόπιστο. Ένα από τα αρχικά οχήματα διατηρείται ακόμα ως αξιοθέατο σε χώρο του αεροδρομίου.

Η πρόοδος του συστήματος έως το 1992, κυρίως σε Γερμανία και Ιαπωνία, παρουσιάζεται επιγραμματικά παρακάτω:

- **1978** Η κοινοπραξία «Magnetbahn Transrapid» συγκροτείται και οι εργασίες συντονισμού ξεκινούν στις εγκαταστάσεις δοκίμων της Transrapid στο Emsland(TVE).
- **1979** Λειτουργία του Transrapid 05 στο Αμβούργο. Δοκιμή λειτουργίας με ψύξη ήλιου στο όχημα ML-500R. Επίτευξη ταχύτητας 517 km/h (321 MPH)
- **1980** Δοκιμή του MLU001 σε U-τύπου γραμμή στο Miyazaki Maglev Test Track. Μεταφορά της λειτουργίας του συστήματος από το IVA στο Kassel. Οι εργασίες κατασκευής ξεκινούν στη γραμμή των εγκαταστάσεων δοκίμων της TR στο Emsland(TVE) βασισμένες στο πειραματικό Transrapid 06.
- **1981-82** Δοκιμαστική επανδρωμένη λειτουργία συστοιχίας 2 βαγονιών.
- **1983** Άδεια λειτουργίας του δοκιμαστικού (2-βαγονιών) τρένου Transrapid 06 ,ανώτατης ταχύτητας 400 km/h.
- **1984** Ολοκλήρωση του πρώτου μέρους των δοκιμαστικών εγκαταστάσεων της TR στο Emsland TVE.
- **1985** Κατασκευή του δεύτερου μέρους της γραμμής TVE μήκους 10km.
- **1986** Κατοχύρωση ταχύτητας 352,4 km/h (219 MPH) σε συστοιχία 3 βαγονιών.
- **1987** Το TR 06 επανεξοπλίζεται με ένα πιο εξελιγμένο και ασφαλές σύστημα οδήγησης και ανάρτησης . Ολοκλήρωση των εγκαταστάσεων δοκίμων της TR με γραμμή συνολικού μήκους 31,5 km (η μεγαλύτερη παγκοσμίως). Το TR 06 αγγίζει την ταχύτητα των 392 km/h στις δοκιμαστικές εγκαταστάσεις. Έναρξη δοκίμων για το MLU002. Αναδιοργάνωση του RTRI και ανάληψη από την JNR του έργου R&D.
- **1988** Πραγματοποιείται δόκιμη διασταύρωσης υποσταθμών. Παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας επιβατικού maglev οχήματος (412,6 km/h , Transrapid 06). Παρουσίαση του Transrapid 07 στο κοινό στη διεθνή έκθεση μεταφορών (IVA 88) στο Αμβούργο.
- **1989** Το Transrapid 07 επιτυγχάνει ταχύτητα 436 km/h. Δοκιμή αεροδυναμικών συστημάτων πέδησης στο MLU001.
- **1990** Εγκαίνια των εργασιών της πρώτης φάσης κατασκευής του Yamanashi Maglev Test Line.

- **1991** Έπειτα από εκτεταμένες δοκιμές και αναλύσεις, η Deutsche Bundesbahn σε συνεργασία με αναγνωρισμένα πανεπιστήμια, εγκρίνει την τεχνική ετοιμότητα και αρτιότητα για την εφαρμογή του Superspeed Maglev System Transrapid.

Η Γερμανία ,είναι η πιο αποτελεσματική στις προσπάθειες ανάπτυξης και πιο κοντά από κάθε άλλη χώρα, στην κατασκευή μια εμπορικής διαδρομής με τη χρήση maglev τεχνολογίας. Η άδεια προγραμματισμού για το αρχικό τμήμα της γραμμής Βερολίνο-Αμβούργο, δόθηκε στο τέλος του 1998. Η κατασκευή ξεκίνησε αμέσως και το τελευταίο τμήμα της εγκρίθηκε στο τέλος του 1999. Μετά από 5 χρόνια κατασκευής, η διαδρομή ολοκληρώθηκε το 2004. Η Transrapid ξεκίνησε τη λειτουργία της γραμμής των 292 km το 2005. Ο μέγιστος χρόνος προσπέλασης αυτής ήταν τα 60'.

Οι εξελίξεις σε Γερμανία και Ιαπωνία, μέχρι το 2005, παρατίθενται επιγραμματικά παρακάτω:

- **1992** Η κυβέρνηση της Γερμανίας αποφασίζει να συμπεριλάβει υπερταχεία maglev γραμμή Βερολίνο-Αμβούργο στο ομοσπονδιακό Masterplan μεταφορών του 1992.
- **1993** Νέο ρεκόρ ταχύτητας για το Transrapid 07 στην TVE(450 km/h)
- **1994** Το MLU002N επιτυγχάνει ταχύτητα 431 km/h(268 MPH)
- **1995** Το MLU002N επανδρωμένο επιτυγχάνει ταχύτητα 411 km/h(255MPH)
- **1996** Έναρξη λειτουργίας του Yamanashi Test Center. Έναρξη δοκιμών του MLX01 στην Yamanashi Maglev Test Line.
- **1998** Έναρξη εργασιών κατασκευής του πρώτου μέρους της γραμμής Βερολίνο-Αμβούργο. Δοκιμή ταυτόχρονης προσπέλασης side by side δυο τρένων ,με σχετική ταχύτητα 966 km/h(600MPH)
- **1999** Έναρξη εργασιών κατασκευής του τελευταίου τμήματος της γραμμής Βερολίνο-Αμβούργο. Άφιξη του πρωτοτύπου Transrapid 08 (συστοιχίας 3 βαγονιών) στην πιστά δοκιμών Transrapid στο Emsland(TVE). Το MLX01(συστοιχίας 5 βαγονιών) επιτυγχάνει ταχύτητα 548 km/h(341MPH) τηλεκατευθυνόμενο, και 552 km/h(343MPH) επανδρωμένο. Δοκιμή ταυτόχρονης προσπέλασης side by side δυο τρένων με σχετική ταχύτητα 1003 km/h(623MPH). Έγκριση κονδυλίων για την κατασκευή maglev διαδρομής από τις Η.Π.Α. Εισήγηση του υπουργείου επιστημών και τεχνολογίας της Κίνας στην Transrapid, προς επιλογή κατασκευής κατάλληλης maglev διαδρομής στην Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας, καθώς και την αξιολόγηση των τεχνικών και οικονομικών χαρακτηριστικών αυτής.

Από το 2000 μέχρι σήμερα, η maglev τεχνολογία στη μεταφορά, έχει εξελιχθεί και εξαπλωθεί σε παγκόσμια κλίμακα, με δυνατότητες εδραίωσης της ακόμα και σε συμβατικές διαδρομές και ως βασικού πια τομέα μεταφοράς στις ανεπτυγμένες, τεχνολογικά και οικονομικά ,χώρες. Τα maglev έργα παγκοσμίως

στις μέρες μας, παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο τέλος του κεφαλαίου, όπου και καταδεικνύεται η παραπάνω σύνδεση της maglev τεχνολογίας με την καθημερινότητα της μεταφοράς.

2.3 Οχήματα (Vehicles)

Τα οχήματα Transrapid, περιλαμβάνουν έναν ελάχιστο αριθμό 2 τμημάτων, καθένα από τα οποία αποτελείται ,κατά μέσο όρο, από 90 καθίσματα. Ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδίου και τον όγκο κυκλοφορίας που καλούνται να εξυπηρετήσουν, τα τρένα μπορούν να αποτελούνται από μέχρι 10 τμήματα (οκτώ μέσων και δυο τμήματα τέλους).

Two sections



Three sections



Εικόνα 2.3.1. Βαγόνια δύο και τριών τμημάτων

Εντούτοις, το Transrapid, είναι κατάλληλο και για μεταφορά εμπορευμάτων. Για την υπερταχεία μεταφορά φορτίου, ειδικά τμήματα φορτίου μπορούν να συνδυαστούν με τμήματα επιβατών, ή να σχεδιαστούν ως αποκλειστικά τρένα μεταφοράς φορτίου(15 τόνοι φορτίου ανά τμήμα). Δεδομένου ότι, το σύστημα προώθησης είναι εφαρμοσμένο στο διάδρομο-ράγα, ούτε το μήκος του οχήματος ούτε το φορτίο, επηρεάζουν τη δυνατότητα επιτάχυνσης.



Εικόνα 2.3.2 Τμήματα μεταφοράς εμπορευμάτων

Τα Transrapid τρένα, είναι μοντέρνα σχεδιαστικά, ελκυστικά, ευρύχωρα, οχήματα τα οποία ακολουθούν τα πιο πρόσφατα πρότυπα της εναέριας,

σιδηροδρομικής και μαζικής μεταφοράς. Υπάρχουν 2 διαθέσιμα στυλ οχημάτων, τα οποία απαρτίζουν ένα τρένο Transrapid: τα ενδιάμεσα και τα οχήματα τέλους. Αν και ο σχεδιασμός της ατράκτου ποικίλει ανάλογα με τη χρήση(επιβατικό, εμπορικό), το πάτωμα και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, παραμένουν ίδια.

Κάθε τμήμα τέλους,εξοπλίζεται με μια καμπίνα οδηγού, ένα on-board σύστημα έλεγχου λειτουργίας και την περιοχή αποσκευών των επιβατών και των άλλων ωφέλιμων φορτίων. Αν και ο οδηγός των Transrapid είναι στην ουσία παθητικός, είναι απαραίτητος για την παρακολούθηση όλων των λειτουργιών του οχήματος,μέσω της κονσόλας λειτουργίας, και για τον χειρισμό έκτακτων περιπτώσεων. Τα μεσαία τμήματα είναι καθόλα όμοια με τα τμήματα τέλους, μόνο που δεν διαθέτουν την καμπίνα του οδηγού και τον on-board OCS(Operation Control System) εξοπλισμό.

	Ακραίο τμήμα	Μέσο τμήμα
Μήκος	26.99 m	24.77 m
Πλάτος	3.70 m	3.70 m
Ύψος	4.16 m	4.16 m
Βάρος	48.0 t	47.0 t
Χωρητικότητα φορτίου	14.0 t	17.5 t
Χωρητικότητα επιβατών (όρθιοι και καθιστοί)	108	128
Συνολικό βάρος	62.0 t	64.5 t

Πίνακας 2.3.1. Χαρακτηριστικά μεγέθη οχήματος

Δομή του οχήματος

Κάθε βαγόνι του οχήματος αποτελείται από δυο βασικά στοιχεία: το πάτωμα και την άτρακτο. Αυτά, κατασκευάζονται και εξοπλίζονται ανεξάρτητα και έπειτα συναρμολογούνται για να διαμορφώσουν ένα πλήρες βαγόνι.

Στο πάτωμα του οχήματος, περιλαμβάνονται όλα τα maglev στοιχεία, οι μαγνήτες ανάρτησης και οδήγησης(πλάγιοι), τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία ανάρτησης, on-board συστήματα ισχύος(π.χ. μπαταρίες), τα ηλεκτρονικά του οχήματος και τα συστήματα θέρμανσης/εξαερισμού/κλιματισμού.

Στα οχήματα περιλαμβάνονται δυο ξεχωριστά συστήματα ανάρτησης. Μια πρωτεύουσα ανάρτηση, ανάμεσα στους μαγνήτες στήριξης και οδήγησης και στα στηρίγματα τους, και μια δευτερεύουσα ανάρτηση, ανάμεσα στα πλαίσια ανάρτησης και του σώματος των οχημάτων με το χώρο των επιβατών. Οι μαγνήτες υποστήριξης και οδήγησης τοποθετούνται, μέσω της πρωτεύουσας ανάρτησης, σε ανεξάρτητο πλαίσιο της ανάρτησης σε κάθε βαγόνι. Τα πλαίσια ανάρτησης, συνδέονται ξεχωριστά στο σώμα του οχήματος, μέσω της δευτερεύουσας ανάρτησης. Η δευτερεύουσα ανάρτηση, είναι απαραίτητη για να επιτρέπει στους μαγνήτες να

προσαρμόζουν τις ελάχιστες διαφοροποιήσεις στον διάδρομο-ράγα και να εξομαλύνουν το ταξίδι των επιβατών.

Επιβατικά οχήματα

Τα Transrapid Επιβατικά οχήματα είναι σχεδιασμένα, για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του σύγχρονου ταξιδιώτη, με φωτεινό ευρύχωρο εσωτερικό, με αρκετή ελευθερία κινήσεων, εύκολη είσοδο/έξοδο, ελεύθερη πρόσβαση και θελκτικότητες κατάλληλες για το τρένο του 21^{ου} αιώνα. Ο εσωτερικός σχεδιασμός στοχεύει σε ένα σύνολο σημαντικών στόχων, τόσο για τον χειρισμό, όσο και για τον επιβάτη:

- Κοινή δομή και κοινά συστατικά για τις περισσότερες εσωτερικές παραλλαγές
- Ευελιξία, προς ικανοποίηση των ιδιαίτερων απαιτήσεων του επιβάτη
- Ρυθμίσεις διάταξης των θέσεων χωρίς ταμπέλες
- Πληροφορίες και συστήματα ψυχαγωγίας των επιβατών
- Ευέλικτη σχεδίαση για προσαρμογή επιπρόσθετων λειτουργικών μονάδων(όπως τουαλέτες, τηλέφωνο, on-board catering), χωρίς ιδιαίτερες μορφοποιήσεις στη δομή.

Η ευελιξία στη διάταξη των θέσεων, επιτρέπει τη δημιουργία πρώτης, business και οικονομικής κλάσης, καθώς και θέσεις αναπηρίας προσαρμοσμένες στο χρηστή.

Intercity τρένα

Τα intercity Transrapid τρένα, είναι σχεδιασμένα με βάση το μέγιστο χρόνο ταξιδιού, λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του επιβάτη(τουριστικός/bussiness). Το πρότυπο του εσωτερικού του intercity τρένου, περιλαμβάνει υπερυψωμένα ράφια αποσκευών, περιοχές αποθήκευσης για τις ογκώδεις αποσκευές, on-board εγκαταστάσεις τουαλετών, πρώτη(2+2 κάθισμα ανά σειρά) και οικονομική(2+3 καθίσματα ανά σειρά) κλάση θέσεων.

Οι εγκαταστάσεις τουαλετών είναι σχεδιασμένες για την πρόσβαση επιβατών με κινητικές δυσκολίες και είναι εξοπλισμένες με τα πιο σύγχρονα συστήματα υγιεινής και συντήρησης.

Προαστιακά τρένα

Τα Transrapid Προαστιακά τρένα, είναι σχεδιασμένα με βάση τον ελάχιστο χρόνο ταξιδιού, λαμβάνοντας υπόψη και αυτά τη φύση του επιβάτη. Δυο ζεύγη ευρείων θυρών, είναι τοποθετημένα και χωρίζουν το κάθε βαγόνι σε ίσα τμήματα, ούτως ώστε να διευκολύνεται σε μέγιστο βαθμό η επιβίβαση και αποβίβαση. Το πρότυπο σχεδιασμού του εσωτερικού περιλαμβάνει, ίδιου τύπου χώρους αποσκευών και θέσεις με το intercity τρένο, με τη διαφορά των μεγάλων διαδρόμων που προσδίδουν μεγαλύτερη χωρητική δυναμική.

Εμπορικά τρένα

Υπάρχουν δυο τρέχουσες εκδόσεις των εμπορικών-φορτηγών τρένων. Τα τμήματα φορτίου είναι σχεδιασμένα, ώστε να διαχειριστούν τα standard-τύπου containers και παλέτες. Έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς μέχρι 17,5 μετρικών τόνων αγαθών υψηλής προτεραιότητας, με την ίδια ταχύτητα με αυτή των επιβατικών τρένων. Τα τμήματα φορτίου, μπορούν να διαταχθούν με την κλασική μορφή των superspeed τρένων, ή να προστεθούν σε επιβατικά, προς μεταφορά αποσκευών ή επιπρόσθετων αγαθών, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χειρίστη.

2.4 Διάδρομος οδήγησης-Guideway

Σε αντιδιαστολή με τα συμβατικά σιδηροδρομικά συστήματα, ο διάδρομος-ράγα του Transrapid, έχει ένα ενσωματωμένο σύστημα προώθησης, και από κοινού με το όχημα, διαμορφώνει ένα πλήρες σύστημα.

Προς την επίτευξη της καλύτερης δυνατής άνεσης, οι προδιαγραφές του διαδρόμου από άποψη κατασκευής, εξοπλισμού, διαθεσιμότητας και υπηρεσιών, είναι ιδιαίτερα αυστηρές. Ακόμα και σε επίπεδες ή υπερυψωμένες, χαλύβδινες ή από σκυρόδεμα κατασκευές, ο διάδρομος του Transrapid καλύπτει όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις.

Η ακρίβεια της επιφάνειας λειτουργίας, εξασφαλίζεται με την ενσωμάτωση ολόκληρης διαδικασίας, από το αρχικό σχεδιάγραμμα της διαδρομής, στην κατασκευή των τμημάτων του διαδρόμου και στην τελική εγκατάσταση και ανάθεση, με τη χρήση των πιο σύγχρονων τεχνικών και αυτοματοποιημένου εξοπλισμού.

Ο μονός ή διπλός διάδρομος του Transrapid Maglev συστήματος αποτελείται από μεμονωμένες λωρίδες, φτιαγμένες από χάλυβα ή σκυρόδεμα στα τυποποιημένα μήκη των 15 ως 145 m. Ο διάδρομος μπορεί να είναι at-grade ή ανυψωμένος, ανάλογα με τις ανάγκες της διαδρομής.

Ανυψωμένος διάδρομος

Ένας ανυψωμένος διάδρομος είναι εξαιρετικά κατάλληλος σε περιοχές όπου δεν μπορούν να τροποποιηθούν λόγω οικολογικών ή αγροτικών κτημάτων και/ή όπου υπάρχουσες γραμμές κυκλοφορίας δεν μπορούν να εμποδιστούν από μια νέα γραμμή. Διάφορα ύψη στύλων έως 45m και τυποποιημένες λωρίδες διαδρομής έως 145m, επιτρέπουν ευέλικτη τοπογραφική του διαδρόμου. Οι ανυψωμένοι διάδρομοι είναι τοποθετημένοι σε ξεχωριστά θεμέλια, με τους στύλους να είναι προσαρμοσμένοι στην περιβάλλουσα μορφολογία εδάφους. Σε περιοχές με άσχημη εδαφική μορφολογία, οι ανυψωμένοι διάδρομοι, μπορούν επίσης να βρουν εφαρμογή, σε ύψος κοντινό του εδάφους, το οποίο μπορεί συχνά να είναι οικονομικότερη κατασκευή από την at-grade με συνεχή θεμέλια.

Η χρήση των ανυψωμένων διαδρόμων, προκαλεί λίγη έως καθόλου, διαταραχή στο αρχικό τοπίο. Συνεπώς, δεν υπάρχει σχεδόν κανένα αντίκτυπο στο έδαφος ή στις επιφάνειες υδάτων.

At-Grade διάδρομος

Ο at-grade διάδρομος κατασκευάζεται κυρίως εκεί όπου μπορεί να συνυπάρχει με υπάρχουσες κυκλοφοριακές διαδρομές (δρόμοι, σιδηρόδρομοι), όπως επίσης, σε σύραγγες και κύριες αστικές κατασκευές όπως γέφυρες και σταθμοί.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά είναι το τυποποιημένο μήκος λωρίδων των 15m και ύψος 3 έως 8m. Οι at-grade διάδρομοι, τοποθετούνται σε συνεχή θεμέλια και τυπικά περιφραγμένοι για μεγαλύτερη ασφάλεια.

Σύστημα αλλαγής πορείας

Τα τρένα Transrapid, αλλάζουν πορεία με τη χρήση εύκαμπτων ασάλινων «διακοπών». Αυτοί, αποτελούνται από συνεχείς σειρές ασάλινων τμημάτων μήκους 180-340m, τα οποία κάμπτονται ελαστικά με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών ρυθμιστών οδήγησης. Η λειτουργία τους είναι ηλεκτρονικά διαφυλαγμένη και ελεγχόμενη. Οι εύκαμπτοι «διακόπτες» είναι, είτε at-grade ή ανυψωμένοι. Στην ευθεία, ένα όχημα μπορεί να διασχίσει τον «διακόπτη», χωρίς περιορισμό της ταχύτητας. Σε θέσεις διαστάυρωσης συρμών, η ταχύτητα περιορίζεται στα 128mph ή στα 62mph.

Στις εγκαταστάσεις στάθμευσης και συντήρησης, τα οχήματα μπορούν να εναλλάσσονται με τη χρήση «παλέτας» μεταφοράς. Αυτές οι «παλέτες», λειτουργούν με πλευρική κίνηση ενός ευθέως κομματιού του διαδρόμου (με το όχημα να στέκεται εν στάση) για την παράλληλη πρόσβαση πολλαπλών οχημάτων.

Υποδομές

Το μέγεθος της επίγειας εργασίας που απαιτείται για τα θεμέλια ενός διαδρόμου εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες. Τυπικά, τα επίπεδα θεμέλια είναι ικανοποιητικά. Οι σειρές στυλών, είναι απαραίτητες, μόνο όπου οι εδαφικές συνθήκες είναι δύσκολες. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα θεμέλια κείτονται περίπου 12 ίντσες κάτω από την επιφάνεια, για να ελαχιστοποιήσουν τις επιρροές, στην απορροή των υδάτων και σε μικρά ζώα. Εξαιτίας του «ανοιχτού» σχεδιασμού τους, υπάρχουν επίσης, περάσματα για τα μικρά ζώα κάτω από τους at-grade διαδρόμους.

Σήραγγες

Λόγω των εύκαμπτων παραμέτρων ευθυγράμμισης της διαδρομής τους, οι Transrapid διάδρομοι μπορούν να προσαρμοστούν ευκολότερα στα περιγράμματα του τοπίου. Επομένως, οι σήραγγες είναι σπανίως απαραίτητες, ακόμη και σε λοφώδη ή ορεινή έκταση. Σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται σήραγγες, οι απαραίτητες διαδρομές, για το Transrapid, είναι μικρότερες από αυτές των κοινών σιδηροδρόμων, λόγω του ομαλού, αεροδυναμικού σχήματος των οχημάτων.

Παράμετροι ευθυγράμμισης διαδρόμων

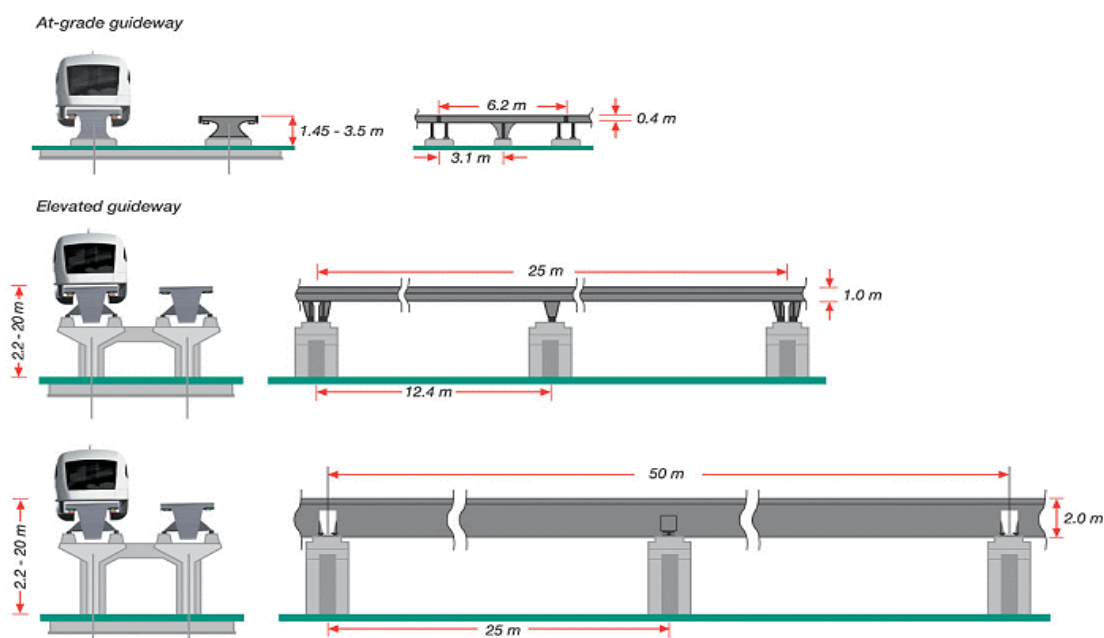
Δύο είναι τα στοιχεία, τα οποία επιτρέπουν στο Transrapid σύστημα να έχει εξαιρετικά ευνοϊκές παραμέτρους ευθυγράμμισης. Αυτά είναι, η ενεργή καθοδήγηση

των οχημάτων και η ενσωμάτωση του συστήματος προώθησης κατά μήκος του διαδρόμου. Αυτά τα καινοτόμα στοιχεία του συστήματος, επιτρέπουν κλίσεις ανάβασης 10% (σε αντιδιαστολή του 4% των συμβατικών σιδηροδρομικών συστημάτων) και διάβαση καμπυλών μέχρι 12° χωρίς καμία δυσκολία. Αυτά τα στοιχεία, επιτρέπουν επίσης, την ευέλικτη εφαρμογή του διαδρόμου στο εκάστοτε τοπίο, χωρίς ιδιαίτερες εργασίες εδάφους, επιτρέποντας συνάμα και την συνύπαρξη του με υπάρχουσες διαδρομές, εξοικονομώντας γη και χρήματα.

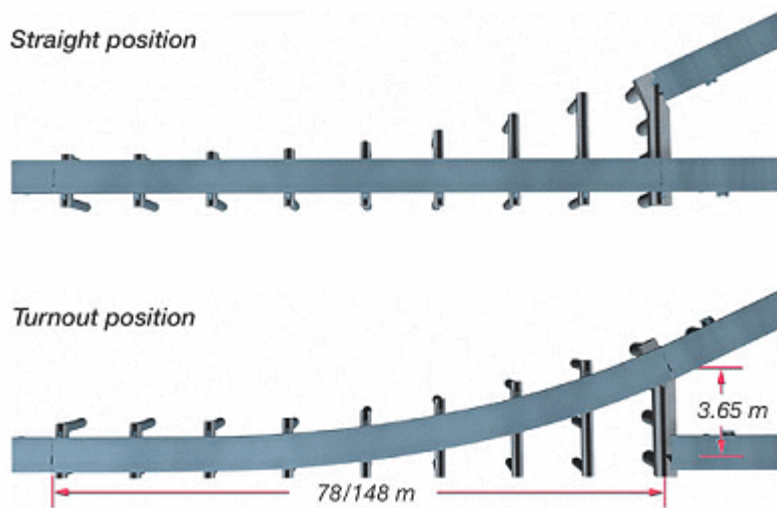
Διασύνδεση με άλλα μέσα μεταφοράς και διαδρομές

Για μέγιστη άνεση και ικανοποίηση του επιβάτη, οι σταθμοί Transrapid είναι πάντοτε διασυνδεδεμένοι με αλλά διαθέσιμα μέσα μεταφοράς (σιδηρόδρομοι, αυτοκινητόδρομοι, αεροδρόμια). Η ενσωμάτωση των υπηρεσιών Transrapid σε ολόκληρο το δίκτυο μεταφορών, παρέχει υψηλά οφέλη και απόδοση μεταφορών στο επιβατικό κοινό.

Η δημόσια αποδοχή και η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος Transrapid, εξαρτάται από την δυνατότητα πρόσβασης στους σταθμούς του. Επομένως, κατά τον σχεδιασμό της διαδρομής, λαμβάνεται προσοχή στην διασφάλιση εγγύτητας σε όλα τα διαθέσιμα συστήματα και όχι μόνο στους αυτοκινητοδρόμους. Ουσιαστική ανακούφιση από την κυκλοφοριακή συμφόρηση, μπορεί να πραγματοποιηθεί, εάν οι οδηγοί μπορούν να μεταφέρονται άνετα στο σύστημα Transrapid. Αυτό απαιτεί ταχεία, αξιόπιστη και οικονομική πρόσβαση σε κύριους αυτοκινητοδρόμους και την διαθεσιμότητα ικανοποιητικών εγκαταστάσεων στάθμευσης και αναχώρησης /αποχώρησης από τους σταθμούς.



Εικόνα 2.4.1 At-grade και ανυψωμένος διάδρομος



Εικόνα 2.4.2 Σύστημα αλλαγής πορείας

2.5 Σύστημα Ελέγχου Λειτουργίας OCS (Operation Control System)

Το Transparid Maglev System χρησιμοποιεί ένα-αυτόματης επικοινωνίας, εντολής και ελέγχου-σύστημα. Το Transparid Operation Control System (OCS) είναι ένα ράδιο-βασισμένο, αποκεντρωμένο σύστημα, το οποίο σχεδιάστηκε να είναι τεχνικά ασφαλές κάθε στιγμή και κάτω από όλες τις απρόβλεπτες συνθήκες.

Ο λειτουργικός στόχος

Προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα πλήρους χρήσης της λειτουργικής και τεχνικής ικανότητας του Transparid Maglev System στις υψηλές ταχύτητες, χρησιμοποιείται ένα ευφρές σύστημα ελέγχου λειτουργίας. Πάνω απ' όλα, αυτό το σύστημα, διασφαλίζει ότι όλες οι σημαντικές διαδικασίες (σε φυσιολογική λειτουργία), πραγματοποιούνται αυτόματα, χωρίς την χρήση οδηγού και μέσα στην ευθύνη ασφαλείας για την οδηγική λειτουργία κατά τη διάρκεια της προγραμματισμένης μεταφοράς των επιβατών.

Ως βασική αρχή, τα τρένα λειτουργούν ξεχωριστά (δεν υπάρχει σχεδιασμός σύζευξης δύο τρένων). Οι λειτουργικές διαδικασίες εκκινούν αυτόματα σύμφωνα με ένα πρόγραμμα που αποθηκεύεται στο σύστημα ελέγχου λειτουργίας. Ακόμα και αν υπάρχουν αποκλίσεις από το καθορισμένο πρόγραμμα, το σύστημα μπορεί αυτόματα να ενεργοποιήσει τα μέτρα ώστε, τα επηρεασθέντα τρένα, να επανέλθουν στην προγραμματισμένη τους λειτουργία. Αυτά τα μέτρα, περιλαμβάνουν την παραλλαγή της λειτουργικής ταχύτητας ή τον περιορισμό ή την επέκταση των περιόδων στάσης στους σταθμούς. Μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις και σε παρατυπίες (σε ορισμένες λειτουργίες επισκευής, σημαντικών αποκλίσεων από το πρόγραμμα, δυσλειτουργίες εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων) υπάρχουν διαδικασίες, που πραγματοποιούνται από δράσεις του επικεφαλούς του σταθμού στο κέντρο ελέγχου (cc control center). Γι' αυτό το λόγο, προγραμματίζεται η μόνιμη επάνδρωση cc. Εντούτοις, μόνο τα προγραμματισμένα δρομολόγια θα παρακολουθούνται. Το λειτουργικό προσωπικό, απασχολείται στους σταθμούς και τα οχήματα για την εξυπηρέτηση των επιβατών,

και συγκεντρώνεται σε εργασίες λειτουργίας,σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας και έκτακτης ανάγκης.

Διαφύλαξη της προγραμματισμένης λειτουργίας

Η ασφάλεια της προγραμματισμένης λειτουργίας εγγυάται από ένα τεχνικό σύστημα ασφάλειας OCS. Όλες οι υπεύθυνες λειτουργίες ελέγχου ασφαλείας, πραγματοποιούνται με τη χρήση safe και fail-safe μικροεπεξεργαστών τύπου SIMIS. Οι υπολογιστές αυτής της σχεδίασης,αποτελούνται από τρία ανεξάρτητα κανάλια υπολογιστών, ιδίων πυρήνων, τα οποία λειτουργούν με τους σύγχρονους κύκλους και εντολές. Τα σήματα της διαδικασίας απελευθέρωσης πραγματοποιούνται μόνο εφόσον τα αποτελέσματα είναι πανομοιότυπα. Με τον τρόπο αυτό, οι λειτουργικές αποκλίσεις μπορούν να ανιχνευθούν συγκρίνοντας τα ενεργά προγράμματα online. Κρυφές αστοχίες στο SIMIS εντοπίζονται από προγράμματα δοκιμών τα οποία «τρέχουν» από πίσω. Η λειτουργία ασφαλείας πραγματώνεται εάν δύο ή τρία κανάλια παράγουν τα ίδια αποτελέσματα.

Οι διακόπτες και οι εγκαταστάσεις του Transrapid Maglev System εγκαθίστανται κατά μήκος του διαδρόμου-ράγα (σταθμοί, χώροι στάθμευσης, εγκαταστάσεις συντήρησης),με τέτοιο τρόπο ώστε,όπου είναι απαραίτητο να ελέγχουν και να προστατεύουν προσωπικό και επιβάτες. Οι θέσεις όλων των οχημάτων παρακολουθούνται και διαχειρίζονται από το OCS.

Ένας on-board ελεγκτής,ελέγχει και επιτηρεί όλα τα σχετικά με την ασφάλεια on-board συστήματα, και παρουσιάζει τις κινήσεις όδευσης. Για να πραγματοποιηθεί αυτό,διαδικαστικά δεδομένα όπως, η θέση και η ταχύτητα του οχήματος, συνεχώς καθορίζονται και συγκρίνονται στις αποδεκτές οριακές τιμές. Οι οριακές τιμές της ταχύτητας εξαρτώνται από το εκάστοτε όχημα, την κατεύθυνση της κίνησης και τη μορφολογία της διαδρομής. Για παράδειγμα, εάν παραβιαστούν τα τοπικά επιτρεπόμενα όρια ταχύτητας, εξαιτίας δυσλειτουργίας ορισμένων στοιχείων του Transrapid Maglev System, αρχίζει η ελεγχόμενα αυτόματα εφαρμογή των βοηθητικών φρένων των οχημάτων. Αυτό, είτε επαναφέρει το τρένο στην προκαθορισμένη ταχύτητα ή σε περίπτωση μόνιμης δυσλειτουργίας, σταματά το τρένο στην επόμενη καθορισμένη περιοχή στάσης.

Βασική δομή του συστήματος

Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει τον τεχνικό εξοπλισμό για τη λειτουργική διαχείριση του Transrapid Maglev System, δηλ. τις λειτουργικές μονάδες σχεδιασμού, σχεδιασμού εργασιών, ελέγχου και διαφύλαξης της προγραμματισμένης λειτουργίας καθώς επίσης και τις λειτουργίες εποπτίας και ελέγχου των υποδομών. Τα στοιχεία του συστήματος είναι καταχωρήμενα βάσει της ακόλουθης ιεραρχίας 3 επιπέδων.

1. Κεντρικός εξοπλισμός και λειτουργίες, συνδυασμένες σε ένα κέντρο ελέγχου.
2. Αποκεντρωμένες λειτουργίες και εξοπλισμός, τοποθετημένα κυρίως στους υποσταθμούς.

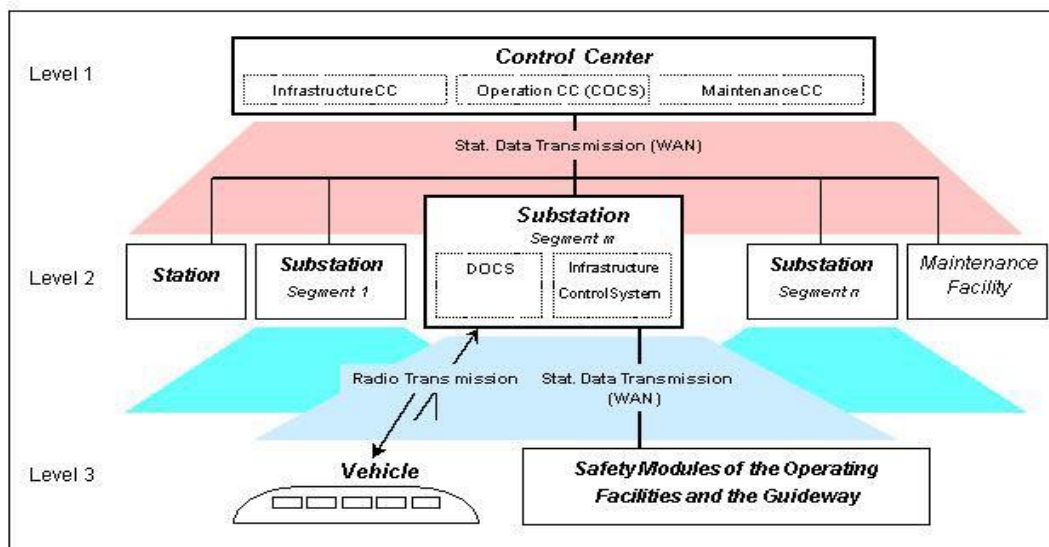
3. Κινητός εξοπλισμός και λειτουργίες, τοποθετημένα στα οχήματα και, πρότυπα και λειτουργίες ασφαλείας, τοποθετημένα σε κτίρια λειτουργίας και σταθμούς διακοπών κατά μήκος της διαδρομής.

Σύνδεση και μετάδοση δεδομένων ανάμεσα στα επίπεδα του συστήματος ελέγχου πραγματοποιούνται από ευρύας-γραμμής δίκτυα οπτικών ινών (WAN = wide area network).

Σύνδεση με τα οχήματα παρέχεται από το Transrapid Maglev System – συγκεκριμένα 38GHz σύστημα ράδιο-μετάδοσης.

Συνήθως, δεν κατασκευάζονται ξεχωριστά κτίρια για τον εξοπλισμό του συστήματος ελέγχου. Οι χώροι και τα δωμάτια που απαιτούνται, είναι ενσωματωμένα σε αυτά των υποσταθμών, του διαδρόμου (πχ κτίρια ηλεκτρικών διακοπών του διαδρόμου), του κέντρου ελέγχου, των εγκαταστάσεων συντήρησης και των σταθμών.

Transrapid Operation Control System structure



Εικόνα 2.5.1 Απλοποιημένο διάγραμμα δομής του Transrapid OCS

2.6 Σύστημα Ώθησης-Propulsion System

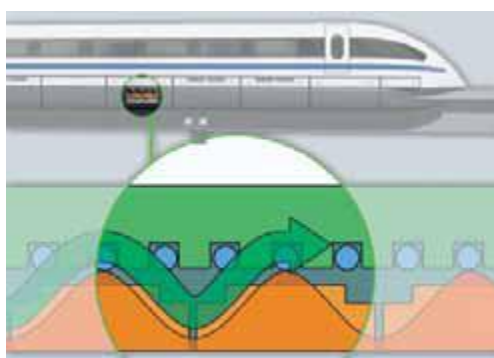
Σε αντίθεση με τα αυτοκίνητα και τα συμβατικά τρένα, το σύστημα ώθησης για το Transrapid maglev σύστημα, δεν είναι τοποθετημένο επάνω στο όχημα, αλλά στο διάδρομο-ράγα. Η λειτουργία της non-contact ώθησης και του συστήματος πέδησης(ευθύγραμμος κινητήρας μακρύ στάτη),είναι ανάλογη ενός περιστροφικού κινητήρα, του οποίου ο στάτης έχει ξετυλιχθεί και εφαρμοσθεί κάτω από το

διάδρομο-ράγα. Αντί του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, το φορτίο στα τριφασικά τυλίγματα, παράγει ένα κινούμενο μαγνητικό πεδίο. Κατά συνέπεια, το όχημα "σύρεται" σύγχρονα και χωρίς επαφή από τους μαγνήτες ανάρτησης, οι οποίοι τώρα λειτουργούν ως στοιχείο διέγερσης του κινητήρα.



Εικόνα 2.6.1 Από τον περιστροφικό, στον ευθύγραμμο κινητήρα επί του οχήματος

Συγκεκριμένα, ο σύγχρονος ευθύγραμμος κινητήρας (LSM-Linear Synchronous Motor), παράγει δύναμη ώθησης λόγω ρεύματος στον στάτη, και κατά συνέπεια ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αυτό το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, αλληλεπιδρά με ένα σετ μόνιμων μαγνητών-οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο όχημα-για τη δημιουργία ώθησης. Οι μόνιμοι μαγνήτες, συμπεριφέρονται ως το δευτερεύον του κινητήρα, ισοδύναμοι με ένα δρομέα στις συμβατικές μηχανές, επιτρέποντας την ευθύγραμμη κίνηση. Το όχημα ωθείται από ένα κινούμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, όσο εφαρμόζεται ρεύμα στο στάτη κάτω από αυτό. Η κίνηση του οχήματος ρυθμίζεται από ένα περίπλοκο σύστημα έλεγχου, το οποίο ενσωματώνει την τεχνολογία αντίληψης θέσης.



Εικόνα 2.6.2 Ένα ηλεκτρικό φορτίο, παράγει ένα οδόν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στα τυλίγματα, το οποίο ωθεί το όχημα κατά μήκος των μαγνητών ανάρτησης

Με τη βοήθεια μετατροπέων, η ταχύτητα μπορεί απείρως να ποικίλει, αλλάζοντας τη συχνότητα του τριφασικού ρεύματος. Εάν η κατεύθυνση του κινούμενου πεδίου αντιστραφεί, τότε ο κινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια και

κατά συνέπεια φρενάρει το όχημα χωρίς καμία επαφή με το διάδρομο-ράγα. Η ενέργεια πέδησης, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και να ανατροφοδοτηθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Ο ευθύγραμμος κινητήρας μακρύ στάτη(Longstator), διαιρείται σε τμήματα του διαδρόμου-ράγα, τα οποία ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται ανεξάρτητα, με την παροχή να εφαρμόζεται στο τμήμα εκείνο από το οποίο περνά το τρένο εκείνη τη στιγμή. Αυτό οδηγεί στη υψηλή απόδοση των LSM συστημάτων ώθησης(πάνω από 80%).Το μήκος του "ενεργοποιημένου" τμήματος είναι τυπικά 2km. Όταν το όχημα αφήνει το ενεργοποιημένο τμήμα, η παροχή του LSM ενεργοποιείται στο επόμενο, ενώ αποκόπτεται το προηγούμενο.

Συνολικά, η ενέργεια του συστήματος παρέχεται από το εθνικό δίκτυο εκ μετατροπής, καθώς επίσης και από τις εγκαταστάσεις έλεγχου της ώθησης, οι οποίες βρίσκονται σε υποσταθμούς κατά μήκος της διαδρομής. Το σύστημα ανάρτησης και ο υπόλοιπος εξοπλισμός του τρένου, τροφοδοτούνται εξολοκλήρου χωρίς επαφή, μέσω γραμμικών γεννητριών ενσωματωμένων στους μαγνήτες ανάρτησης. Επομένως, στο Transrapid δεν απαιτούνται εναέριες γραμμές. Τα συμβατικά οχήματα φέρουν τις μηχανές τους επί της ατράκτου. Αφού όμως, πλήρης ενέργεια απαιτείται μόνο σε μερικά τμήματα της διαδρομής, το σύστημα οδήγησης είναι στην ουσία ένα περιττό και ανεπαρκές φορτίο. Με τον κινητήρα του Transrapid να είναι τοποθετημένος στο διάδρομο-ράγα, η απόδοση του μπορεί να είναι προσαρμοσμένη στις τοπικές συνθήκες(υψηλότερη παροχή για λόφους και σημεία επιτάχυνσης, χαμηλότερη παροχή για επίπεδα τμήματα ή σημεία επιβράδυνσης).

Σχεδιάγραμμα συστήματος ώθησης

Οι υποσταθμοί λαμβάνουν τάση 23 kV από το σύστημα παροχής και τη μετατρέπουν σε κατάλληλη μορφή για την ώθηση του τρένου. Το σύστημα έλεγχου, ελέγχει και επιβλέπει ταυτόχρονα και συνεχώς τη θέση του τρένου, συγκρίνοντας αυτές τις τιμές πραγματικού χρόνου με τις προκαθορισμένες που δίνονται από το OCS, οι οποίες προκύπτουν από το-προγραμματισμένο εκ των προτέρων για τη συγκεκριμένη διαδρομή- σχεδιάγραμμα ταχύτητας/χρόνου/θέσης.

Ο αριθμός και η θέση των υποσταθμών, εξαρτώνται από διάφορους συντελεστές, οι οποίοι εφαρμόζονται, και σε ολόκληρη τη διαδρομή και τοπικά:

- Μήκος διαδρόμων
- Μέγιστο φορτίο
- Μέγιστη ταχύτητα
- Μέγιστη κλίση
- Θέσεις των σταθμών και χρόνοι διέλευσης

Μέσω του διαστήματος των υποσταθμών κατά μήκος της διαδρομής, η διαδρομή διαιρείται σε τμήματα προώθησης. Κάθε τμήμα προώθησης διαιρείται σε μικρότερα τμήματα μηχανών, συνήθως 0,5-2 km μήκους. Τα τυλίγματα του στάτη δεξιά και αριστερά κατά μήκος του διαδρόμου, τροφοδοτούνται ανεξάρτητα και αντισταθμίζονται φυσικά μεταξύ τους. Αυτό βοηθά στην εξομάλυνση της μετάδοσης μεταξύ των τμημάτων του κινητήρα και, εάν η μια πλευρά "καταρρεύσει", η άλλη έχει

ικανοποιητικά αποθέματα για να ωθήσει το τρένο κατά μήκος του τμήματος. Κάθε τμήμα προώθησης, μπορεί να τροφοδοτηθεί ενίοτε από δυο υποσταθμούς.

Η τάση παρέχεται ανεξάρτητα από μετατροπείς του υποσταθμού. Εάν ένας ανεξάρτητος μετατροπέας καταρρεύσει, το τρένο συνεχίζει την πορεία του σε χαμηλότερη ταχύτητα. Ακόμα και αν καταρρεύσει ολόκληρος ο υποσταθμός, ο επόμενος μπορεί να προμηθεύσει τάση αντ' αυτού, επιτρέποντας ,με τον τρόπο αυτό, το όχημα να φθάσει στον προορισμό του.

Υποσταθμοί

Ο πρωταρχικός σκοπός των υποσταθμών, είναι η μετατροπή και ο έλεγχος της τάσης τω 23 kV σε διάφορες συχνοτητες,εύρος και φάσεις, για την προώθηση του οχήματος κατά μήκος του διαδρόμου-ράγα. Οι υποσταθμοί παρέχουν ισχύ στα τμήματα προώθησης,τα οποία αντιπροσωπεύουν τη συνολική διαδρομή μεταξύ των υποσταθμών. Ένας υποσταθμός, ανάλογα με το σχεδιασμό της διαδρομής, θα εγκατασταθεί με μέχρι τέσσερα blocks(ένα ανά διαδρομή ανά κατεύθυνση).

Τα blocks προώθησης, τα οποία τροφοδοτούν κάθε τμήμα της διαδρομής, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα γενικά εξαρτήματα:

- Αναστροφείς εισόδου και εξόδου
- Σύστημα διαχείρισης / έλεγχου μηχανών
- Μηχανισμός διανομής(διακόπτης)
- Decentral διαγνωστικό σύστημα
- Σύστημα μετάδοσης δεδομένων(μέσω οπτικών ινών)

Δυο μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των τμημάτων καθώς περνά το τρένο:

- Εναλλασσόμενη βηματική μετατροπή
- Μετατροπή τριών βημάτων

Η πρώτη, χρησιμοποιείται συνήθως για χαμηλή επιτάχυνση/πέδηση και/ή σταθερής ταχύτητας τμήματα της διαδρομής και απαιτεί μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ ώθησης, οπότε και λιγότερα εξαρτήματα.

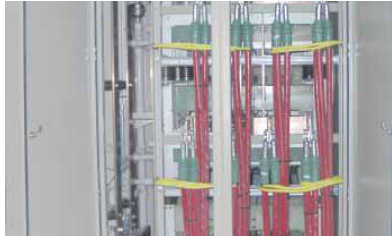
Η δεύτερη, αποτελεί καλύτερη επιλογή για αυξημένη απόδοση προώθησης. Χρησιμοποιείται συνήθως, για υψηλή επιτάχυνση/πέδηση και/ή υψηλού φορτίου(άνοδος λόφων) σημεία της διαδρομής. Παρέχει υψηλή άνεση σε όλες τις συνθήκες και απαιτεί περισσότερα εξαρτήματα(και περισσότερο χώρο) και στους υποσταθμούς κατά μήκος της διαδρομής.



Διακόπτης Υ.Τ. με Μ/Σ Υ.Τ



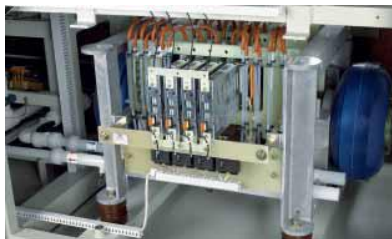
Πίνακας διακοπών εισόδου



Inverter της γραμμής παροχής



Σύστημα ψύξης του μετατροπέα



Inverter του κινητήρα



Μετασχηματιστής εξόδου



Πίνακας ελέγχου του συστήματος ώθησης



Διακόπτης της γραμμής τροφοδοσίας



Σταθμός διακοπών

Εικόνα 2.6.3 Διάφορα μέρη του συστήματος ώθησης

Συστήματα προώθησης βραχύ στάτη

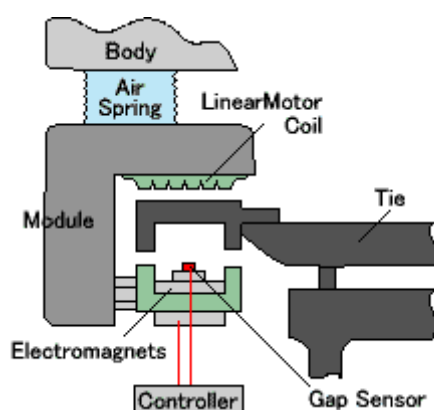
Η “short-stator” προωθητική μέθοδος, έχει ως βάση ένα ευθύγραμμο κινητήρα επαγωγής(LIM-Linear Induction Motor) με τα τυλίγματα του επάνω στο όχημα και με δευτερεύον τον διάδρομο-ράγα. Καθώς η short-stator προώθηση έχει χαμηλότερο

κόστος διαδρόμου-ράγας, ο LIM είναι βαρύς και μειώνει τη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου, με συνέπεια υψηλότερες λειτουργικές δαπάνες και χαμηλότερη εισροή εισοδήματος έναντι της longstator προώθησης. Τέλος, μια τρίτη εναλλακτική είναι μια μη-μαγνητική πηγή ενέργειας (αεριοστρόβιλος), όμως οδηγεί και αυτή σε ένα βαρύ όχημα και κατά συνέπεια σε μειωμένη αποδοτικότητα λειτουργίας.

2.7 Σύστημα Ανάρτησης-Levitation System

Οι ηλεκτρικά ελεγχόμενοι μαγνήτες υποστήριξης, οι οποίοι βρίσκονται και στις δυο πλευρές κατά μήκος ολόκληρου του οχήματος, έλκουν το όχημα στα σιδηρομαγνητικά πακέτα του στάτη, τα οποία είναι ενσωματωμένα στην κάτω πλευρά του διαδρόμου-ράγα.

Οι μαγνήτες οδήγησης, προσαρτημένοι και αυτοί και στις 2 πλευρές κατά μήκος ολόκληρου του οχήματος, διατηρούν το όχημα στην πορεία του. Ηλεκτρικά συστήματα εγγυώνται ότι η απόσταση διατηρείται σταθερή(ονομαστικά 10mm). Όπως είναι φανερό στο παρακάτω σχήμα, αισθητήρες προσαρμοσμένοι στους μαγνήτες οδήγησης(πλάγιους) και ανάρτησης, ελέγχουν το ύψος του διακένου. Το σήμα έλεγχου(ως σήμα εισόδου) που προέρχεται από αυτούς, διοχετεύεται μέσω ενισχυτή(amplifier), ο οποίος παρεμβάλλεται ανάμεσα στο κύκλωμα που συνδέει τις on-board μπαταρίες με τα τυλίγματα των ηλεκτρομαγνητών. Καθώς το ύψος του διακένου παραμένει σταθερό, το σήμα από τους αισθητήρες προς τον ενισχυτή είναι μηδενικό(στην ουσία ο ενισχυτής λειτουργεί ως ανοιχτός διακόπτης). Σε περίπτωση απόκλισης από τις οριακές τιμές διακένου, το σήμα ενεργοποιεί τον ενισχυτή, ο οποίος προσαρμόζει κατάλληλα(ενεργοποιώντας την κατάλληλη συστοιχία αντιστάσεων, άρα και κέρδους του ενισχυτή) την τροφοδοσία των τυλιγμάτων από την on-board μπαταρία, ούτως ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλο πεδίο και το διάκενο να επανέλθει στις επιτρεπτές του τιμές(όποτε και επανέρχεται στη λειτουργία του ανοικτού διακόπτη).



Εικόνα 2.7.1 Σύστημα ανάρτησης και ελέγχου του διακένου

Για να αιωρηθεί, το Transrapid απαιτεί λιγότερη ενέργεια ακόμα και από τον εξοπλισμό κλιματισμού. Το σύστημα ανάρτησης είναι εφοδιασμένο με on-board μπαταρίες κι έτσι, ανεξάρτητο από το σύστημα προώθησης. Το όχημα είναι ικανό να αιωρείται περισσότερο από μια ώρα , χωρίς εξωτερική παροχή ενέργειας. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, οι on-board μπαταρίες, επαναφορτίζονται από ευθύγραμμες γεννήτριες οι οποίες είναι ενσωματωμένες στους μαγνήτες υποστήριξης. Δυο

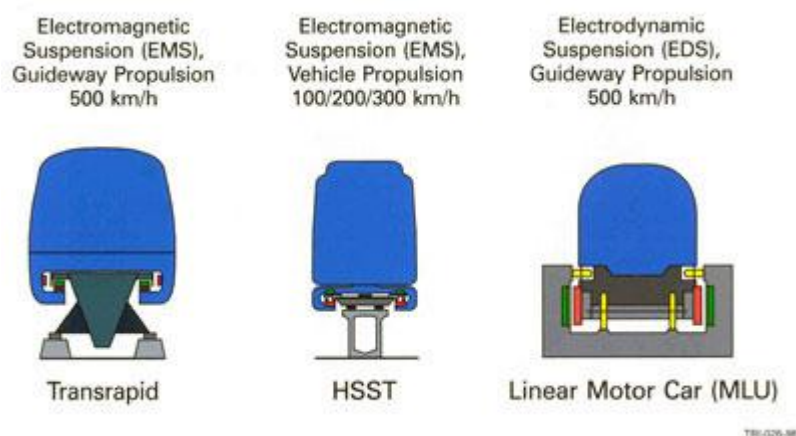
διαφορετικοί τύποι Maglev τρένων έχουν παρουσιαστεί και κατασκευαστεί, στο σύνολο τους με ταχύτητες μέχρι 500 km/h.:

- Μαγνητικής έλξης-EMS(Electro-Magnetiv-Suspension) συστήματα , χρησιμοποιώντας σέρβο-ελεγχόμενους ηλεκτρομαγνήτες ενσωματωμένους στο όχημα, ελκόμενοι προς τα πάνω σε ένα διάδρομο σιδήρου.

Παράδειγμα EMS συστήματος: Το Γερμανικό Transrapid TR 08 όχημα επίδειξης και 30km πίστα δοκίμων, με ταχύτητα έως 450 km/h.

- Μαγνητικής άπωσης-EDS(Electro-Dynamic-Suspension) συστήματα, χρησιμοποιώντας κρυστατικά ψυχόμενους υπεραγωγίμους μαγνήτες ενσωματωμένους στο όχημα, οι οποίοι απωθούνται από πεδίο ρευμάτων, που προκαλούνται σε τυλίγματα ενσωματωμένα στις πλαϊνές πλευρές του τρένου.

Παράδειγμα EDS συστήματος: Το Ιαπωνικό Yamanashi τρένο επίδειξης, με ταχύτητες των 500 km/h σε πιστά δοκίμων 18km.



Εικόνα 2.7.2 Τα είδη της Maglev ανάρτησης

Συστήματα ανάρτησης

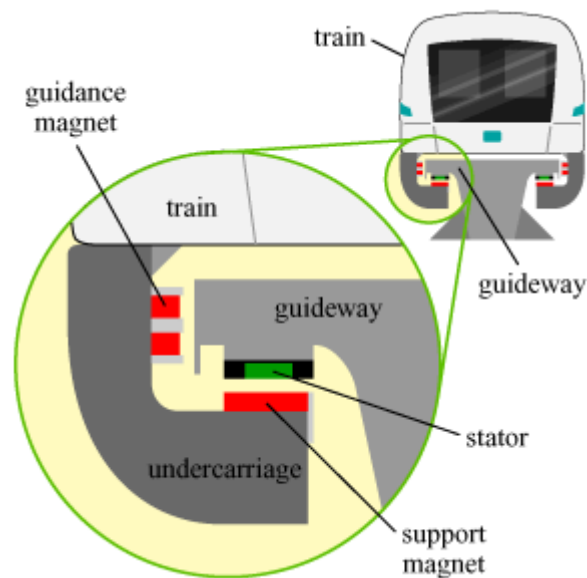
Το EMS δημιουργήθηκε πρακτικά από την πρόοδο στα ηλεκτρονικά συστήματα έλεγχου, τα οποία διατηρούν το διάκενο αέρος ανάμεσα στο όχημα και το διάδρομο-ράγα, με σκοπό να αποτρέψουν την επαφή μεταξύ τους.

Διαφοροποιήσεις στο βάρος του ωφέλιμου φορτίου, στο δυναμικό φορτίο και παρατυπίες στους διαδρόμους-ράγες, αντισταθμίζονται με την αλλαγή του μαγνητικού πεδίου, με βάση μετρήσεις του διακένου αέρος οχήματος/διαδρόμου.

Όσον αφορά το EDS, πρέπει να τονιστεί ότι, το όχημα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με τροχούς ή οποιουδήποτε άλλου είδους μηχανικής ανάρτησης, για την εκκίνηση και το σταμάτημα, διότι το EDS δεν έχει τη δυνατότητα αιώρησης σε ταχύτητες κάτω των 25mph. Το EDS, έχει εξελιχθεί με πρόοδο στη κρυογενική και υπεραγωγίμη μαγνητική τεχνολογία.

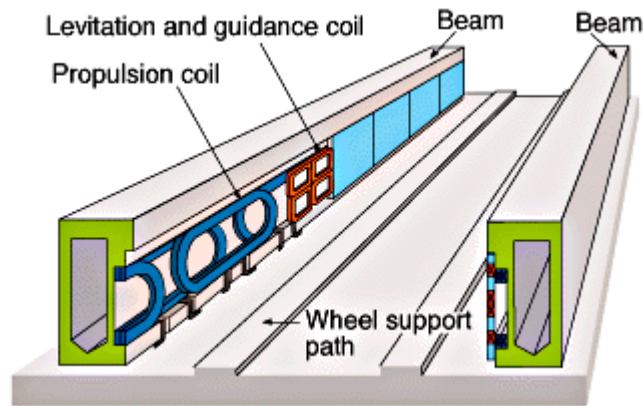
To Maglev Track

Στη Γερμανία, οι μηχανικοί ανέπτυξαν πρώτοι το EMS σύστημα, αποκαλούμενο και ως Transrapid. Σε αυτό το σύστημα, (όπως έχει αναφερθεί παραπάνω) το κάτω μέρος του οχήματος εφαρμόζει σε έναν ατσάλινο διάδρομο-ράγα. Οι ηλεκτρομαγνήτες που συνδέονται στο πάτωμα του τρένου, κατευθύνονται επάνω και προς τον διάδρομο και άρουν το τρένο περίπου 1cm επάνω από το διάδρομο, ακόμα και όταν αυτό βρίσκεται εν στάση. Άλλοι μαγνήτες οδήγησης, ενσωματωμένοι στην άτρακτο του τρένου, διατηρούν σταθερή την πορεία του κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Η Γερμανία έχει επιδείξει ότι, το Transrapid maglev τρένο, μπορεί να φθάσει επανδρωμένο τα 300mph.



Εικόνα 2.7.3 Οι μαγνήτες οδήγησης και EMS ανάρτησης του TR Maglev Track

Το μαγνητισμένο σπείρωμα κατά μήκος του διαδρόμου, τροφοδοτούμενο με ηλεκτρική ισχύ, δημιουργεί μοναδικό σύστημα μαγνητικών πεδίων, τα οποία έλκουν και ωθούν το τρένο κατά μήκος του διαδρόμου. Το ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο τροφοδοτεί τα σπείρώματα που βρίσκονται κατά μήκος του διαδρόμου, εναλλάσσεται συνεχώς, ούτως ώστε να αλλάζει και την πολικότητα των μαγνητισμένων σπείρωμάτων. Αυτή η αλλαγή πολικότητας, προκαλεί μαγνητικό πεδίο εμπρός του τρένου, με σκοπό να το ωθήσει μπροστά, ενώ μαγνητικό πεδίο στο οπίσθιο μέρος του τρένου, προσδίδει περισσότερη ώθηση στην ίδια κατεύθυνση.



Εικόνα 2.7.4 Η διάταξη των σπειρωμάτων των μαγνητών ανάρτησης, οδήγησης και ώθησης κατά μήκος του διαδρόμου

Τα maglev τρένα «επιπλέουν» σε ένα στρώμα αέρα, απαλλαγμένα από την τριβή. Αυτή η έλλειψη τριβής και η αεροδυναμική σχεδίαση των τρένων, επιτρέπουν να επιτευχθούν, οι πρωτοφανείς για την επίγεια μεταφορά, ταχύτητες άνω των 500 km/h (ένα Boeing-777 επιβατικό αεροπλάνο έχει μέγιστη ταχύτητα 905 km/h). Ο σχεδιασμός του συστήματος ανάρτησης και οδήγησης Transrapid, είναι εξοπλισμένος με αυτόματα διαγνωστικά συστήματα, διασφαλίζοντας πως, κάθε αστοχία οποιουδήποτε στοιχείου του συστήματος, να μην οδηγήσει σε διαταραχή της λειτουργίας του.

Indutrack(EDS)

Οι Ιάπωνες μηχανικοί αναπτύσσουν μια ανταγωνιστική μορφή maglev τρένων, η οποία χρησιμοποιεί ηλεκτροδυναμική αναστολή(EDS). Η κύρια διαφορά ανάμεσα στα ιαπωνικά και γερμανικά maglev τρένα είναι ότι, τα ιαπωνικά χρησιμοποιούν υπερ-ψυχώμενους υπεραγωγίμους ηλεκτρομαγνήτες. Αυτού του είδους ηλεκτρομαγνήτες μπορούν να επάγουν ηλεκτρική ενέργεια, ακόμα και όταν η παροχή έχει διακοπεί. Στα EMS συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν τυποποιημένους ηλεκτρομαγνήτες, τα τυλίγματα παράγουν ενέργεια μόνο όταν υπάρχει παροχή. Ψύχοντας τα τυλίγματα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, το ιαπωνικό σύστημα εξοικονομεί ενέργεια. Εντούτοις, αυτό το κρυογενικό σύστημα μπορεί να είναι ακριβό στην κατασκευή του. Επιπρόσθετη διαφορά, ανάμεσα στα δυο συστήματα, αποτελεί το ότι, τα ιαπωνικά τρένα αιωρούνται περίπου 10cm επάνω από το διάδρομο. Ένα πιθανό πλεονέκτημα της χρήσης EDS συστήματος είναι ότι, τα maglev τρένα πρέπει να κινούνται πάνω σε τροχούς έως ότου φθάσουν την ταχύτητα των 100 km/h. Οι Ιάπωνες μηχανικοί ισχυρίζονται ότι, οι τροχοί αποτελούν πλεονέκτημα σε περίπτωση κατάρρευσης τάσης του συστήματος(τα γερμανικά Transrapid τρένα αντ' αυτού, είναι εφοδιασμένα με on-board έκτακτης ανάγκης παροχής ενέργειας μπαταρίες). Ένα άλλο μειονέκτημα, αφορά συγκεκριμένη κατηγορία επιβατών, οι οποίοι επηρεάζονται από τα μαγνητικά πεδία των υπεραγωγίμων ηλεκτρομαγνητών(π.χ επιβάτες με βηματοδότη), οι οποίοι χρήζουν πρόσθετης προστασίας.

Το Indutrack είναι ο πιο πρόσφατος τύπος EDS συστήματος και χρησιμοποιεί πηγή ισχύος για την επιτάχυνση του τρένου, μόνο εφόσον ξεκινά να αιωρείται. Εάν

καταρρεύσει η τάση, το τρένο έχει τη δυνατότητα να επιβραδύνεται σταδιακά και να σταματήσει στις πρόσθετες ρόδες του.

Ο διάδρομος είναι στην ουσία, μια σειρά από ηλεκτρικά κυκλώματα μονωμένων καλωδίων. Γενικά, αυτά τα κυκλώματα, ευθυγραμμίζονται όπως τα σκαλιά σε μια σκάλα. Καθώς το τρένο κινείται, ένα μαγνητικό πεδίο απωθεί τους μαγνήτες, οδηγώντας το τρένο σε αιώρηση.

Υπάρχουν δυο Indutrack μοντέλα: το Indutrack I, σχεδιασμένο για τις υψηλές ταχύτητες, και το Indutrack II, κατάλληλο για τις χαμηλές ταχύτητες. Τα Indutrack τρένα μπορούν να αιωρούνται με μεγαλύτερη σταθερότητα. Καθώς κινούνται με μερικά km/h, μπορούν να αιωρηθούν περίπου 2,5cm επάνω από το διάδρομο. Ένα μεγαλύτερο διάκενο μεταξύ οχήματος-διαδρόμου σημαίνει ότι, τα τρένα θα απαιτούσαν πολυπλοκότερα συστήματα αισθητήρων για να διατηρήσουν τη σταθερότητα τους.

Οι μόνιμοι μαγνήτες, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν λόγω ότι, οι επιστήμονες πίστευαν ότι δεν μπορούν παράγουν αρκετή δύναμη ανάρτησης. Ο σχεδιασμός του Indutrack παρακάμπτει το πρόβλημα αυτό με την τακτοποίηση των μαγνητών σε σειρά Halbach. Οι μαγνήτες διαμορφώνονται έτσι ώστε, η ένταση του μαγνητικού πεδίου, να συγκεντρώνεται επάνω στη σειρά, αντί κάτω από αυτή. Είναι κατασκευασμένοι από ένα πιο πρόσφατο υλικό, περιλαμβάνοντας ένα κράμα νεοδύμιου-σιδήρου-βορίου, το οποίο παράγει ένα μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο. Ο σχεδιασμός του Indutrack II ενσωματώνει δυο σειρές Halbach για να παράγει ένα ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο στις χαμηλές ταχύτητες.

2.8 Παροχή ενέργειας-Power supply

2.8.1 Απαιτήσεις ενέργειας

Η συνήθης ενεργειακή κατανάλωση του Transrapid τρένου, είναι κατά προσέγγιση 50-100kw (ανά τμήμα) για την ανάρτηση, την πορεία και τον έλεγχο του οχήματος. Ο συντελεστής έλξης του Transrapid είναι περίπου 0,26. Η αντίσταση αέρα του οχήματος, το οποίο έχει μετωπική διατομή 16τ.μ., απαιτεί κατανάλωση ισχύος (στα 400 km/h), η οποία δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\begin{aligned} P &= c_w \cdot A_{\text{Front}} \cdot v^3 \cdot (\text{density of surrounding air})/2 \\ P &= 0.26 \cdot 16 \text{ m}^2 \cdot (111 \text{ m/s})^3 \cdot 1.24 \text{ kg/m}^3/2 \\ P &= 3.53 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3 = 3.53 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/s} = 3.53 \text{ MW} \end{aligned}$$

Η σύγκριση με αλλά υψηλής-ταχύτητας συστήματα, είναι θετική για το Transrapid, όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος. Με απόδοση της τάξης του 0,85, η απαιτούμενη ισχύς είναι περίπου 1,7kw/t. Καθώς το σύστημα προώθησης έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί και αντίστροφα, κατά το φρενάρισμα μεταφέρεται ενέργεια πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρακάτω παρουσιάζεται το σύστημα επαγωγικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος IPS για το Transrapid, με αναλυτική περιγραφή της διαχείρισης της ενέργειας στο σύστημα.

2.8.2 Σύστημα επαγωγικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος IPS

Το θέμα της μεταφοράς ισχύος μεταξύ ακίνητων και κινητών μονάδων, είναι ένα από αυτά που προκύπτουν σε πολλούς τομείς της τεχνολογίας. Κλασσικές λύσεις όπως συλλέκτες φορτίου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως τα συστήματα μεταφοράς, παρουσιάζουν βασικά μειονεκτήματα σχετικά με την ευρωστία, ευελιξία και τις απαιτήσεις συντήρησης, λόγω του μηχανικού τρόπου λειτουργίας τους. Το IPS (Inductive Power Supply) αναπτύχθηκε για το τελευταίας γενιάς Transrapid maglev σύστημα, για να παρέχει μετάδοση επαρκούς ηλεκτρικής ισχύος χωρίς επαφή, προς κάλυψη των απαιτήσεων ισχύος του οχήματος ακόμα και στο πιο χαμηλό εύρος ταχυτήτων. Η επιτυχημένη εφαρμογή του συστήματος, με την καινοτόμα τεχνολογία για υψηλή απόδοση, αποδεικνύει ότι η μετάδοση ισχύος χωρίς επαφή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλα οφέλη και σε άλλες εφαρμογές, οι οποίες απαιτούν απλό χειρισμό ακόμα και κάτω από δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Εισαγωγή

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ ακίνητων και κινητών μονάδων, είναι επαναλαμβανόμενο θέμα μελέτης, στα συστήματα μεταφοράς και στις μονάδες παραγωγής. Η κλασσική λύση χρήσης καλωδίων ή συλλεκτών ενέργειας, παρουσιάζει περιορισμούς όσον αφορά στην ευρωστία και ευελιξία, ιδιαίτερα σε μεγάλες περιοχές ανεφοδιασμού, σε καιρικά φαινόμενα και περιβαλλοντικές επιρροές. Η τεχνική της non-contact μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ήδη εφαρμοσμένη για χαμηλό εύρος ισχύος σε οικιακές εφαρμογές και τεχνολογία παραγωγής, επιτρέπει την μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας δυο (στην ουσία «σφραγισμένα») μέλη, τα οποία δεν έχουν καμία μηχανική επαφή. Ένα τέτοιο σύστημα, με ονομαστική τιμή έως 450 kw έχει πραγματοποιηθεί για ένα όχημα τριών τμημάτων (το νέο Transrapid 09), προβλεπόμενο για χρήση στο Μόναχο.

Το σύστημα IPS για τον on-board ενεργειακό ανεφοδιασμό

Η θεμελιώδης αρχή του IPS συστήματος, είναι η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση. Το σύστημα λειτουργεί, σε γενικές γραμμές, όπως ένας συμβατικός μετασχηματιστής με τη διαφορά ότι, το μαγνητικό κύκλωμα δεν κλείνει μέσω ενός πυρήνα σιδηρού (εικόνα 2.8.2.1). Πρέπει να σημειωθεί ότι, το σύστημα δεν λειτουργεί στα 50Hz, αλλά στα 20kHz, με σκοπό να επιτευχθεί αποτελεσματικά μετάδοση ισχύος χωρίς σίδηρο πυρήνα.

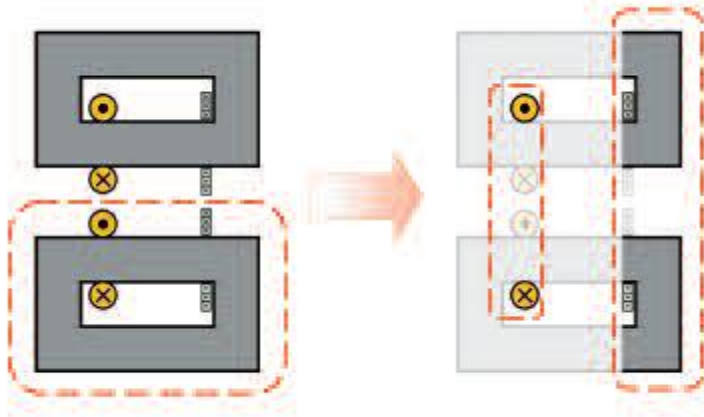
Η γεωμετρική διάταξη, έχει επιλεγεί για να ανεξαρτητοποιήσει όλες τις κύριες επιδράσεις κάθε σχετικής κίνησης, κατά τη κατεύθυνση του ταξιδιού. Αυτό σημαίνει ότι, η μετάδοση ισχύος είναι επίσης ανεξάρτητη της ταχύτητας και μπορεί να λάβει χώρα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και κατά τη στάση του οχήματος.

Το σύστημα IPS αποτελείται από τα ακόλουθα κύρια συστατικά (εικόνα 2):

1. Σταθερά στον διάδρομο-ράγα:
 - Γραμμή παροχής με αντιστροφή, κατάλληλα για το δίκτυο.
 - Τυλίγματα πρωτεύοντος (ως βρόγχος επαγωγής) στον διάδρομο-ράγα.

2. Στο όχημα:

- Τυλίγματα δευτερεύοντος.
- Μετατροπέας ανύψωσης, για την αποκατάσταση της τάσης και την προσαρμογή της σε αυτή του δικτύου του οχήματος.



Εικόνα 2.8.2.1 Τα τυλίγματα πρωτεύοντος-δευτερεύοντος του IPS και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους

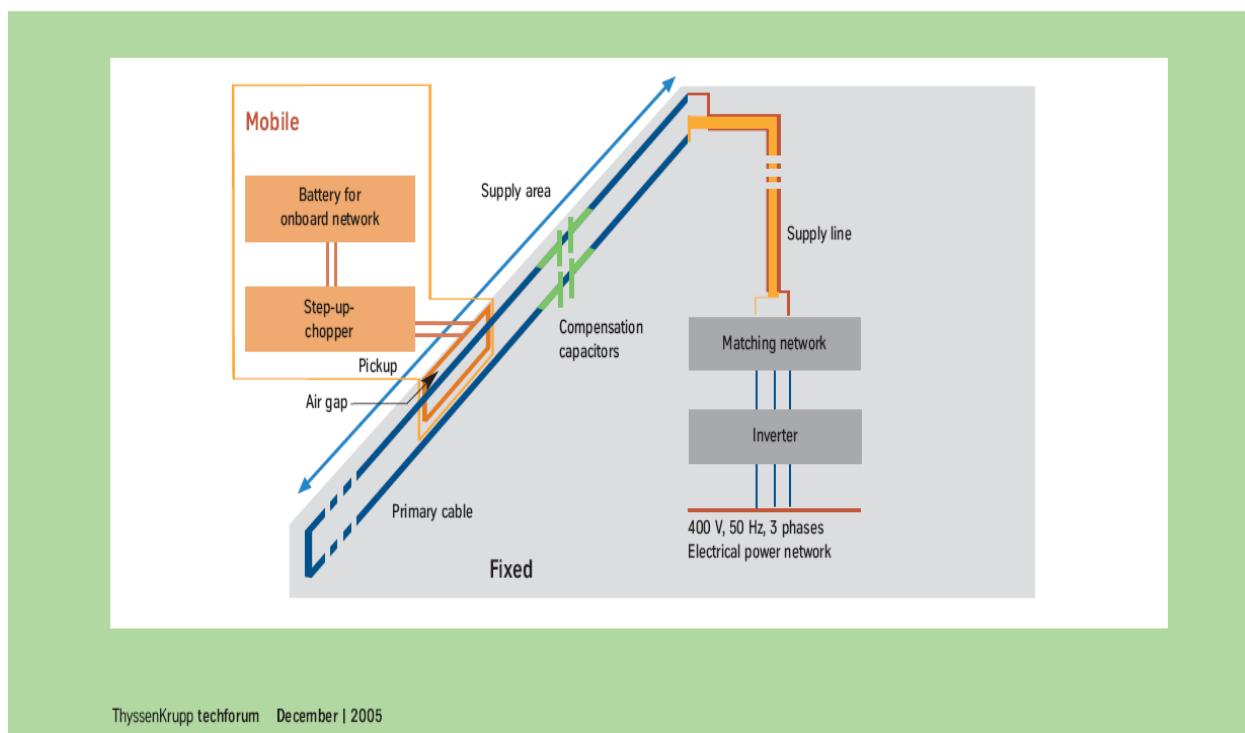
Σταθερά στο διάδρομο-ράγα

Το σύστημα λειτουργεί με μια συντονισμένη συχνότητα, προκειμένου να επιτρέψει αποδοτική μετάδοση ισχύος, παρά την έλλειψη ενός κλειστού κυκλώματος σιδηρού. Η μονάδα παροχής, αποτελείται από έναν αντιστροφέα και έναν προσαρμογέα δικτύου (σχεδιασμένη έξοδος τετραπλού), αποτελούμενο από chokes και πυκνωτές. Αυτό παρέχει το ηλεκτρικό ρεύμα στο πρωτεύον τυλίγμα. Ο αντιστροφέας τροφοδοτείται με 400V τριφασική ισχύ από το δίκτυο και μετατρέπει την τριφασική AC τάση των 50Hz σε μονοφασική τετραγωνική με συχνότητα 20kHz. Η τετραπολική έξοδος, μετατρέπει αυτή την πηγή τάσης σε μια πηγή συνεχούς ρεύματος ημιτονοειδούς κυματομορφής και πλάτους 200 A. Ένα ομοαξονικό καλώδιο τροφοδοτεί το πρωτεύον στο διάδρομο-ράγα με το ρεύμα αυτό. Αυτό, αποτελείται από το πρωτεύον καλώδιο, το οποίο είναι συνημμένο κατά μήκος των δυο πλευρών του διαδρόμου ως εκτεταμένος επαγωγικός βρόγχος. Καθώς το σύστημα λειτουργεί στα 20 kHz, καλώδια φτιαγμένα από σκέλη μονωμένα με βερνίκι, δηλ. με αρκετές χιλιάδες μεμονωμένα λεπτά καλώδια ηλεκτρικά μονωμένα το ένα από το άλλο, χρησιμοποιούνται και στην παροχή και στο πρωτεύον. Αυτό αποτρέπει, τη μετατόπιση του ηλεκτρικού ρεύματος από το εσωτερικό των αγωγών στην επιφάνειά τους, και τις υψηλές ωμικές απώλειες που συνεπάγονται.

Για να αντισταθμιστεί η επαγωγική συμπεριφορά των επαγωγικών βρόγχων, συνδέονται πυκνωτές εν σειρά, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό το κύκλωμα σειράς είναι συντονισμένο σε συχνότητα 20 kHz και κατά συνέπεια αντιπροσωπεύει ένα καθαρό ωμικό φορτίο για την παροχή. Επιπλέον, το επίπεδο τάσης δεν αυξάνεται άσκοπα κατά μήκος της διαδρομής.

Η ακριβής θέση της γραμμής πρωτεύοντος στο διάδρομο, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας κατασκευή υποστήριξης. Τα στοιχεία αυτής της κατασκευής είναι κατασκευασμένα από GRP(Glass-fiber Reinforced Plastic). Αυτό αποκλείει πιθανή ηλεκτρομαγνητική επίδραση από την κατασκευή.

Fig. 3 | Schematic representation of the fixed and mobile IPS® components



Εικόνα 2.8.2.2 Τυπικό σχεδιάγραμμα του IPS συμπεριλαμβανομένων όλων των επιμέρους στοιχείων του

Στο όχημα

Το δευτερεύον τύλιγμα, με τον αντίστοιχο συνδεδεμένο μετατροπέα ανύψωσης, αποτελούν το on-board στοιχείο του IPS. Το δευτερεύον, αποτελούμενο από δευτερεύον τύλιγμα και πυκνωτές, διαμορφώνει ένα κύκλωμα σειράς και είναι ενσωματωμένο στην εσωτερική επένδυση των μαγνητών ανάρτησης. Αυτή η ελαφριά κατασκευή, μειώνει και το βάρος και τον αριθμό των στοιχείων και προσφέρει, επίσης, τη βέλτιστη γεωμετρική διάταξη, με σκοπό να επιτύχει ελάχιστο διάκενο αέρος ανάμεσα στο πρωτεύον και το δευτερεύον. Στην τρέχουσα κατασκευή, το ονομαστικό διάκενο αέρος είναι 40mm.

Αντίστοιχο ομοαξονικό καλώδιο υπάρχει και στο όχημα. Στοιχεία αυτεπαγωγής, έχουν προσαρμοστεί πίσω από τις δέσμες καλωδίων, για να συγκεντρώνουν το μαγνητικό πεδίο, και συνεπικουρούν στην επίτευξη της ονομαστικής μεταδιδόμενης ισχύος των 5kW. Χρησιμοποιούν, επίσης, και στην προστασία του IPS από άλλα ηλεκτρικά και μεταλλικά στοιχεία του οχήματος, όπως συγκρατητές της εσωτερικής επένδυσης στους μαγνήτες ανάρτησης, οι οποίοι σε αντίθετη περίπτωση θα υπερθερμαίνονταν λόγω των ρευμάτων.

Η εσωτερική επένδυση των μαγνητών ανάρτησης κατασκευάζεται σε μια μορφή «sandwich». Το εξωτερικό κέλυφος παρέχει την απαραίτητη ακαμψία και αντίσταση και ο πυρήνας του «sandwich», κατασκευασμένος από πλαστικό αφρό, παρέχει βέλτιστη προστασία έναντι των μηχανικών πιέσεων. Όλα τα υλικά επιλέγονται με βάση τη λειτουργική τους σταθερότητα, είναι φιλικά προς το περιβάλλον κατά τη λειτουργία τους και ανταποκρίνονται στους κανονισμούς πυρασφάλειας του συστήματος Transrapid. Η εικόνα 2.8.2.4 παρουσιάζει το δευτερεύον και τη δομή του εσωτερικού του μαγνήτη ανάρτησης με ενσωματωμένο το δευτερεύον τύλιγμα.



(α)

(β)

(γ)

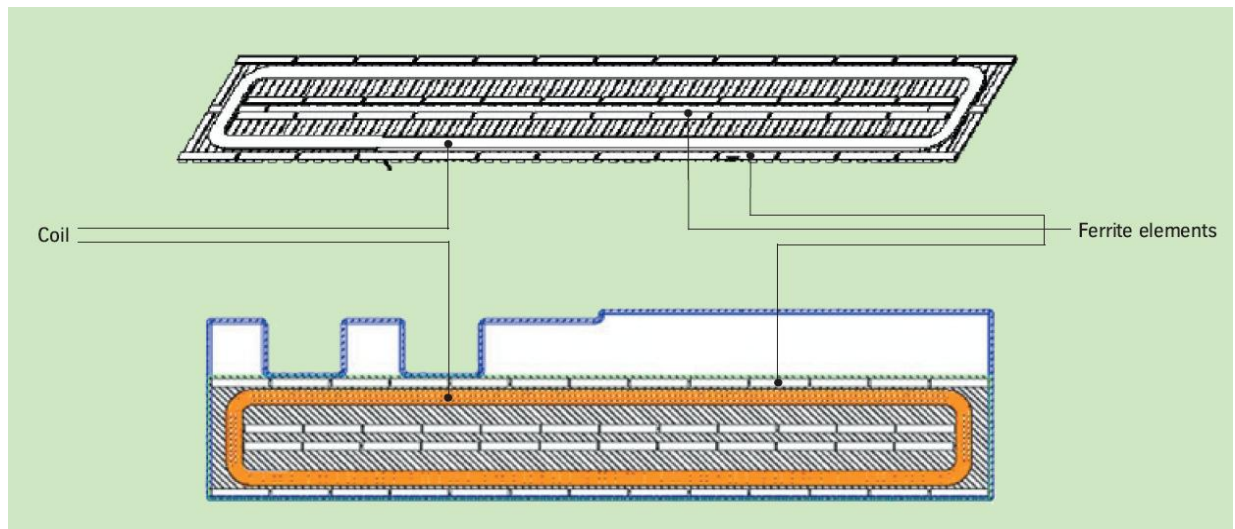
Εικόνα 2.8.2.3 (α) Τομή του ομοαξονικού καλωδίου παροχής

(β) Καλώδιο πρωτεύοντος

(γ) Διάταξη της γραμμής πρωτεύοντος στο διάδρομο

Συμπέρασμα

Τώρα που έχει αποδειχθεί αυτή η καινοτόμος τεχνολογία στο Transrapid, είναι διαθέσιμη προς εφαρμογή. Για το σύστημα Transrapid, αυτό σημαίνει μειωμένες μηχανικές και αεροδυναμικές εκπομπές θορύβου και χαμηλότερες δαπάνες συντήρησης. Ειδικότερα, εξασφαλίζει απλή λειτουργία ακόμη και σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. χιόνι ή αμμοθύελλα). Αυτό το τεχνικό πλεονέκτημα μπορεί, επίσης, να υιοθετηθεί ωφέλιμα για περαιτέρω εφαρμογές στην εφαρμοσμένη μηχανική εγκαταστάσεων, την τεχνολογία παραγωγής και την τεχνολογία οδήγησης και ενέργειας.



Εικόνα 2.8.2.4. Η δομή του δευτερεύοντος

2.9 Γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος-Οφέλη

Υπάρχουν πολλοί λόγοι, για τους οποίους τα μαγνητικά τρένα θα μπορούσαν να προτιμηθούν έναντι των συμβατικών συστημάτων μεταφοράς:

Intercity μεταφορά: Πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτές των τροχοφόρων τρένων, λιγότερος θόρυβος, μεγαλύτερη άνεση επιβατών, αυξημένη ασφάλεια έναντι μηχανικών βλαβών, περιορισμένη συντήρηση.

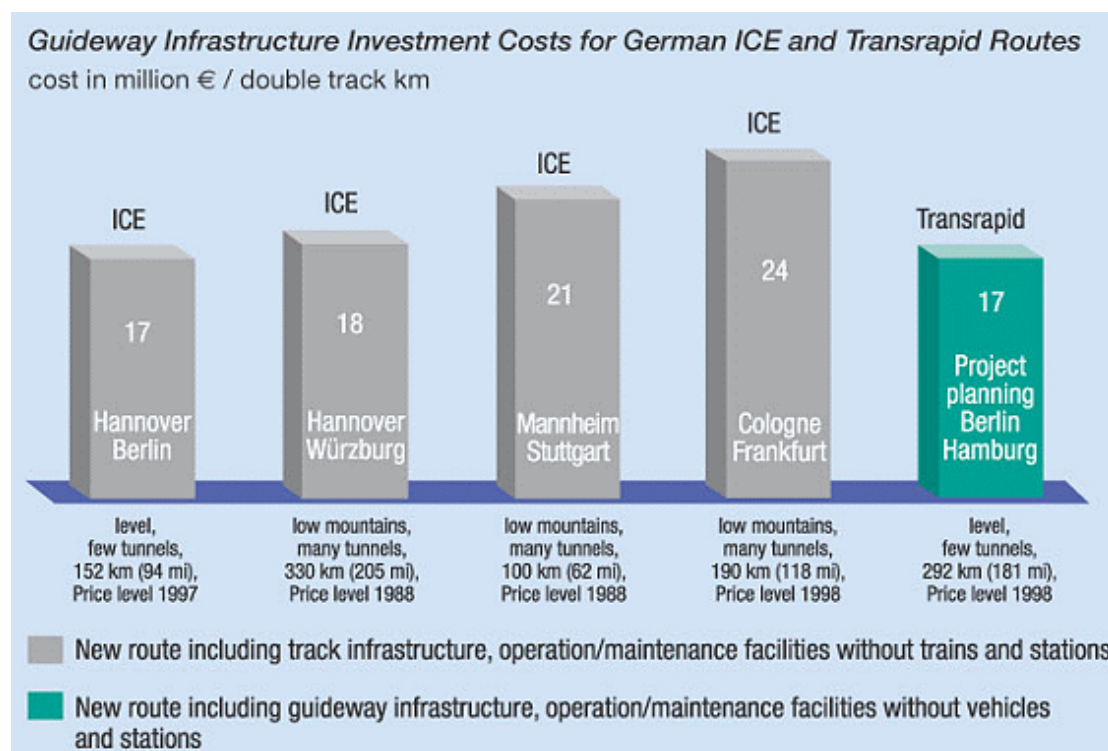
Συσγέτιση με τα αεροσκάφη: Υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα, ασφαλέστερα, μικρότερη εξάρτηση από καιρικά φαινόμενα, δυνατότητα επιβίβασης/αποβίβασης στο εσωτερικό των πόλεων.

Προαστιακά συστήματα μεταφοράς: Χαμηλότερος θόρυβος, σαφώς μικρότερη συντήρηση, μεγαλύτερη άνεση, δυνατότητα διέλευσης σε μεγαλύτερες ανοδικές κλίσεις, μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα από τα συμβατικά συστήματα προαστιακής μεταφοράς.

Οικονομική αποδοτικότητα: Η διαμόρφωση και κατασκευή των υποδομών διαδρομής-ράγα, αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο μέρος του συνολικού κόστους επένδυσης για το Transrapid. Εντούτοις, παρά την παρουσία ιδιαίτερα υψηλού επιπέδου τεχνολογίας, τα πρωτεύοντα κόστη για το σύστημα Transrapid είναι συγκρίσιμα με αυτά των high-speed σιδηροδρόμων.

Μια σύγκριση του κόστους επένδυσης των υποδομών είναι ευνοϊκή για το Transrapid σύστημα, όταν η διαδρομή διασχίζει δύσβατες περιοχές. Οι παράμετροι ευελιξίας στη διαδρομή του Transrapid (μικρές ακτίνες καμπυλών, ικανότητα ανόδου υψηλών κλίσεων) χρησιμεύουν στην προσαρμογή του διαδρόμου στα περιχώρα, όσο το δυνατόν περισσότερο. Η ανάγκη για ακριβές αστικές κατασκευές, όπως γέφυρες και σύραγγες, μπορούν να μειωθούν σημαντικά.

Η υψηλή μέση ταχύτητα των τρένων Transrapid μεταφράζεται σε μικρούς χρόνους ταξιδιού. Λιγότερα οχήματα μικρότερου μεγέθους από αυτά των high-speed σιδηρικών συστημάτων την ικανοποίηση του ίδιου όγκου κυκλοφορίας. Λιγότερα οχήματα συνεπάγονται χαμηλότερα κόστη επένδυσης, τόσο για τα ίδια τα οχήματα όσο και για την συντήρηση και τους χώρους στάθμευσης που απαιτούνται για κάθε διαδρομή.



Εικόνα 2.9.1 Διάγραμμα κόστους επένδυσης διαφόρων διαδρομών

Δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας

Οι δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος Transrapid είναι χαμηλότερες από εκείνες των συγκρίσιμων συστημάτων μεταφορών εδάφους. Γενικά, η λειτουργία και οι δαπάνες συντήρησης εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι: Προσωπικό, συντήρηση και κατανάλωση ενέργειας. Ισχύουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για το Transrapid:

- Το μικρότερο όχημα απαιτεί λιγότερο προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και λιγότερα ανταλλακτικά και υλικά για τις συνήθεις λειτουργίες του.
- *Λόγω της πλήρους αυτόματης λειτουργίας του, οι ανάγκες προσωπικού είναι λιγότερες σε γενική σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα.
- Η non-contact τεχνολογία, μειώνει τη μηχανική φθορά, αφού η λειτουργία του οχήματος δεν προκαλεί, ούτε εκτροχιασμό ούτε φθορά της δομής, και εξοπλισμού του διαδρόμου.

- Τα περισσότερα μηχανικά στοιχεία, τα οποία μπορεί να υφίσταντο φθορά, έχουν αντικατασταθεί από άφθαρτα ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτρονικά στοιχεία.
- Το φορτίο των οχημάτων πάνω στο διάδρομο, είναι διανεμημένο αρμονικά, οδηγώντας σε χαμηλότερο στατικό και δυναμικό φορτίο καθ'όλο το εύρος ταχυτήτων, και συνεπώς σε λιγότερη πίεση στο διάδρομο.
- Η κατανάλωση ενέργειας (ενέργεια που καταναλώνεται ανά επιβάτη) είναι μικρότερη σε σύγκριση με άλλα συστήματα στις ανάλογες ταχύτητες.

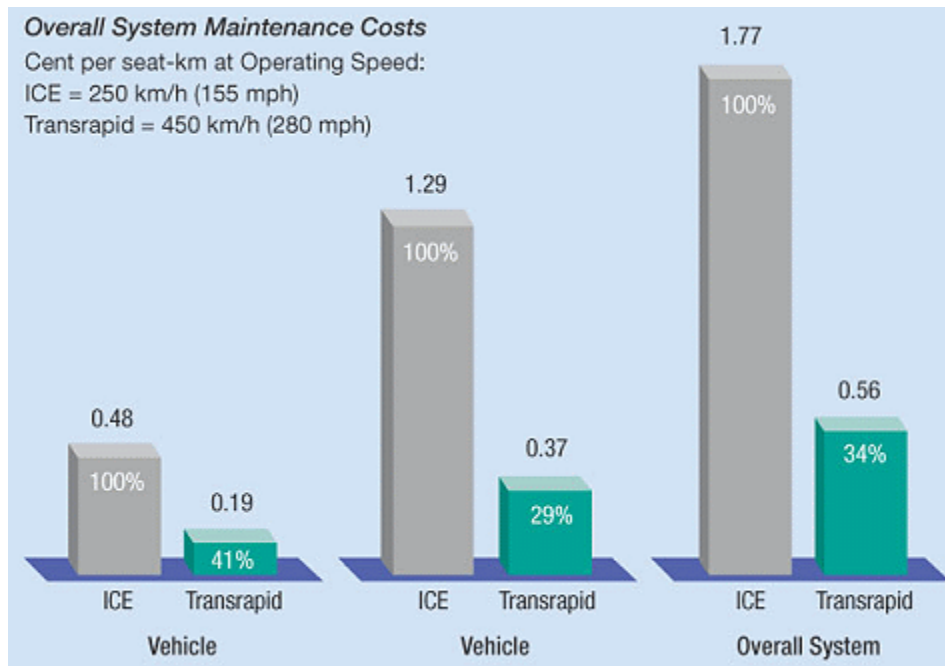
Οι κεντρικές και αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις συντήρησης βρίσκονται κατά μήκος της διαδρομής, ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις. Οι εγκαταστάσεις σχεδιάζονται και εξοπλίζονται, για να επιτρέψουν την γρήγορη αντικατάσταση των ελαττωματικών στοιχείων και μονάδων, τα οποία μπορούν αργότερα να επισκευασθούν μέσα και έξω από τις εγκαταστάσεις.

Λόγω της non-contact (άρα και μη-φθοράς) τεχνολογίας, η συντήρηση των διαδρόμων περιορίζεται πρώτιστα σε εκείνες τις δραστηριότητες που συνδέονται γενικά με τις συμβατικές αστικές δομές, εκτός εάν η ζημιά εμφανίζεται μέσω απρόβλεπτων εξωτερικών επιρροών.

Ο διάδρομος επιθεωρείται και ελέγχεται από τον ίδιο τον διάδρομο, με τη βοήθεια ενός ειδικού οχήματος συντήρησης, το οποίο είναι εξοπλισμένο με μονάδες για διάφορες δραστηριότητες, όπως:

- Διαστατικά συστήματα μέτρησης για την ανίχνευση των αλλαγών στον εξοπλισμό του διαδρόμου, και ιδιαίτερα στα πακέτα στατών, στις ράγες οδήγησης και τα ρουλεμάν.
- Ένα οπτικό σύστημα επιθεώρησης, με την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, για να ελέγχει και να εμφανίζει την κατάσταση των στοιχείων και των επιφανειών του διαδρόμου.

Δεν απαιτείται, έτσι, δρόμος πρόσβασης κατά μήκος του διαδρόμου για να εξυπηρετήσει τους λόγους συντήρησης.



Εικόνα 2.9.2 Διάγραμμα σύγκρισης δαπανών συντήρησης και λειτουργίας ανάμεσα στον ICE και τον Transrapid

Ασφάλεια

Παρά τις υψηλές ταχύτητες (μέχρι 500km/h), το Transrapid παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια από οποιοδήποτε άλλο μέσο μεταφοράς. Τα οχήματα δεν υπόκεινται σε εκτροχιασμό επειδή «τυλίγονται» γύρω από τον διάδρομο.

Δεδομένου ότι, οι διασταυρώσεις απουσιάζουν, κανένας άλλος τύπος οχημάτων δεν μπορεί να σταθεί εμπόδιο στο διάδρομο. Οι συγκρούσεις μεταξύ των οχημάτων Transrapid αποκλείονται, επίσης, λόγω του τεχνικού σχεδιαγράμματος του συστήματος και του προοδευτικού τμήμα-ανά-τμήμα switching του διαδρόμου. Τα οχήματα και το οδεύον πεδίο στον long-stator κινητήρα του διαδρόμου, κινούνται σύγχρονα, δηλ. με την ίδια ταχύτητα, στην ίδια κατεύθυνση. Επιπλέον ενεργοποιείται μόνο το τμήμα του διαδρόμου πάνω στο οποίο κινείται το όχημα κάθε φορά.

Όσον αφορά την πυροπροστασία, το Transrapid καλύπτει τις υψηλότερες απαιτήσεις των σχετικών προτύπων. Δεν υπάρχει κανένα καύσιμο και εύφλεκτο υλικό εν πλω. Μόνο άφλεκτα υλικά όπως, κακοί αγωγοί θερμότητας, αδιαπέραστα από τη φωτιά και τη θερμότητα, χρησιμοποιούνται στα οχήματα. Ως επιπρόσθετη προφύλαξη ασφάλειας είναι:

- Αυτόματη προστασία τρένου
- Εξοπλισμός παθητικής προστασίας για να αποτρέψει τη ζημιά στη δομή του διαδρόμου
- Αυτόματη επιθεώρηση του διαδρόμου
- Προστασία των επιβατών κατά τη διάρκεια της επιβίβασης και εξόδου στους σταθμούς, με τη βοήθεια θυρών πλατφορμών και γέφυρες χασμάτων, μεταξύ των θυρών και της πλατφόρμας των σταθμών.

Ακόμα και αν η παροχή του δικτύου διακοπεί ενώ το όχημα βρίσκεται σε κίνηση, μόνο το σύστημα προώθησης χάνεται. Τα συστήματα ανάρτησης και οδήγησης και όλος ο on-board εξοπλισμός, τροφοδοτούνται από μπαταρίες που βρίσκονται μέσα στο όχημα. Έτσι το όχημα συνεχίζει να αιωρείται και κινείται λόγω της ορμής και αδράνειάς του. Εάν απέχει αρκετά από τον επόμενο σταθμό θα φρενάρει αυτόματα έως ότου σταματήσει στην επόμενη διαθέσιμη βοηθητική περιοχή στάσης. Αυτές οι περιοχές ασφαλούς στάσης, έχουν σχεδιαστεί κατά μήκος της διαδρομής, ούτως ώστε να παρέχεται εύκολη πρόσβαση στις υπηρεσίες εκκένωσης που απαιτούνται. Υπο αυτές τις συνθήκες, το όχημα φρενάρεται χρησιμοποιώντας τα φρένα ασφαλείας, που βρίσκονται σε κάθε τμήμα του οχήματος και τροφοδοτούνται επίσης από τις on-board μπαταρίες. Στη σπάνια περίπτωση σημαντικής τεχνικής βλάβης στο σύστημα Transrapid, το όχημα πάντα θα σταματά αυτόματα στην προκαθορισμένη βοηθητική περιοχή στάσης. Εάν αναφερθεί φωτιά, το όχημα επίσης σταματά προληπτικά στην περιοχή αυτή. Εάν είναι αναγκαίο, οι επιβάτες μπορούν γρήγορα και βολικά να εκκενώσουν εκεί το όχημα.

Άνεση

Ακόμα και στις υψηλές ταχύτητες, οι επιβάτες δεν χρειάζεται να φορέσουν ζώνες ασφαλείας και μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στο εσωτερικό των βαγονιών, καθώς απολαμβάνουν την άνεση του ταξιδιού. Δεν υπάρχουν αναταράξεις, υπάρχει ομαλός μετεωρισμός, ενώ η ταχύτητα δύσκολα γίνεται αντιληπτή.

Επειδή δεν υπάρχει επαφή με το διάδρομο κατά τη λειτουργία, η καμπύνα των επιβατών είναι ιδιαίτερα ήσυχη και η διαδρομή ομαλή. Τα οχήματα δεν επηρεάζονται από τη ταυτόχρονη διέλευση άλλων οχημάτων maglev ή από τη διέλευση μέσα από σύραγγες, λόγω της στεγανοποίησής τους. (pressure – sealed).

Για να εξασφαλιστεί η άνεση ταξιδιού, όλα τα συστήματα ανάρτησης και οδήγησης εξοπλίζονται με συστήματα αυτόματης επαναφοράς του διάκενου αέρα ανάμεσα στο όχημα και στο διάδρομο. Όλα τα μηχανικά μέρη μεταξύ του οχήματος και των μαγνητών, τοποθετούνται σε διατάξεις απορρόφησης κραδασμών, διότι ολόκληρη η διαδρομή ελέγχεται από υπολογιστή για να είναι ομαλή κατά την επιτάχυνση, όδευση και πέδηση, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών.

Χρόνος ταξιδιού

Σε μεσαίου μήκους αποστάσεις μέχρι 800km, το συνολικό ταξίδι δεν διαρκεί περισσότερο από αυτό ενός αεροπλάνου (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου check-in και διέλευσης από και προς το αεροδρόμιο). Ταχύτητες που αγγίζουν τα 500km/h το καθιστούν ως το ταχύτερο επίγειο μέσο μεταφοράς.

Το ουσιαστικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι η καλή επιτάχυνση. Αφού, δεν υπάρχει καμία απώλεια μηχανικών τριβών, η απαιτούμενη απόσταση επιτάχυνσης στα 300km/h από στάση, είναι μόνο πέντε χιλιόμετρα.

Οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των σταθμών αυξάνουν ελάχιστα το χρόνο ταξιδιού, επιτρέπονται επιπρόσθετες στάσεις μεταξύ πόλεων. Αυτό, καθιστά το σύστημα πιο ευέλικτο από οποιοδήποτε άλλο σιδηροδρομικό σύστημα, και κατάλληλο ακόμα και στις μικρές διαδρομές.

Οικολογικός αντίκτυπος

Η εισαγωγή ενός νέου συστήματος μεταφοράς όπως αυτό του Transrapid, προσφέρει οικολογικά πλεονεκτήματα και συνεισφέρει στην άμβλυνση της μόλυνσης που προκαλείται από άλλες μορφές μεταφοράς.

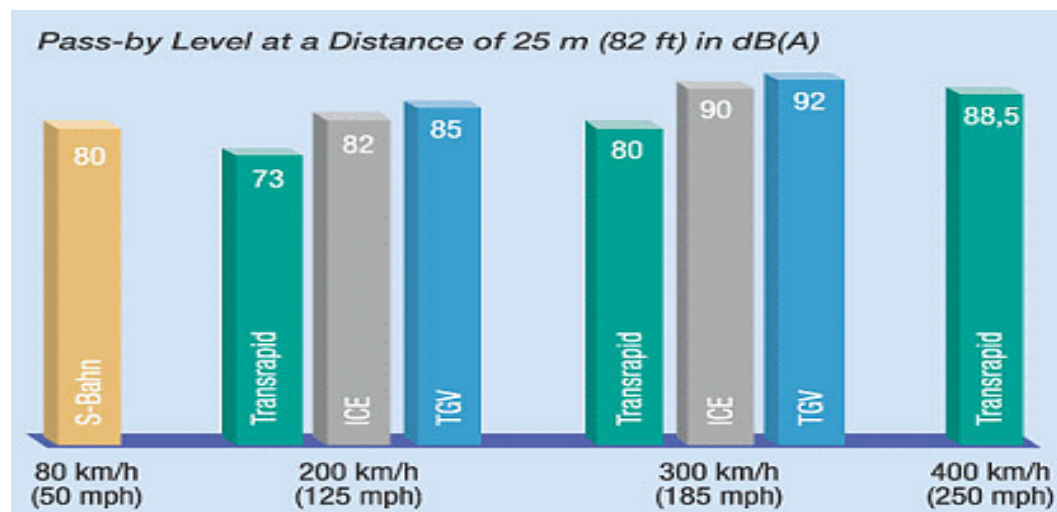
ΘΕΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ TRANSRAPID

- Απουσία θορύβου κύλησης ή προώθησης λόγω της non-contact τεχνολογίας.
- Απουσία καυσαερίων ή άλλων επιβλαβών αερίων κατά μήκος της διαδρομής.
- Ανεξάρτητο από πρωτογενείς πηγές ενέργειας.
- Χαμηλή κατάληψη εκτάσεων από τους ανυψωμένους και at-grade διαδρόμους.
- Ο ανυψωμένος διάδρομος δεν διαιρεί το τοπίο, τις αναπτυσσόμενες δομές ή τους βιολογικούς βιοτόπους, ενώ ο at-grade διάδρομος επιτρέπει τη μετάβαση για τα αμφίβια και τα μικρά ζώα.
- Ελάχιστα αναχώματα και πρόσθετες κατασκευές οδηγούν στην ελάχιστη διαφοροποίηση του τοπίου.
- Η ευελιξία του σχεδιασμού του διαδρόμου επιτρέπει την τοπογραφική προσαρμογή του συστήματος με την ελάχιστη διάσπαση.

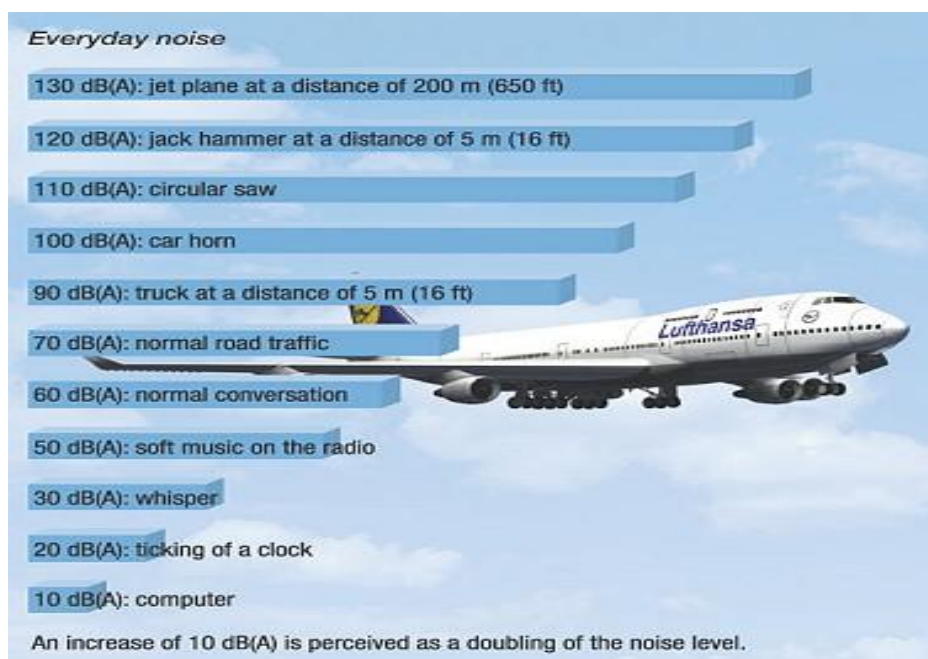
Εκπομπές θορύβου

Συγκριτικά με άλλα συστήματα μεταφοράς, το Transrapid είναι εξαιρετικά «ήσυχο». Σε ταχύτητες 155mph, ταξιδεύει σχεδόν αθόρυβα διαμέσου των πόλεων και των μητροπολιτικών περιοχών. Εξαιτίας της non-contact τεχνολογίας προώθησης και ανάρτησης, οι εκπομπές θορύβου του συστήματος, σε ταχύτητες άνω των 155mph, προέρχονται μόνο από τον αεροδυναμικό θόρυβο.

Τα επίπεδα του pass-by θορύβου σε ανυψωμένο διάδρομο είναι ιδιαίτερα ευνοϊκά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα, ενώ σε at-grade διάδρομο ακόμα χαμηλότερα.



(α)



(β)

Εικόνα 2.9.3 (α) Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών θορύβου ανάμεσα σε Transrapid, ICE και TGV για διάφορες ταχύτητες
(β) Ενδεικτικές τιμές εκπομπών θορύβου κατά την λειτουργία διάφορων μηχανών

Κατανάλωση ενέργειας

Τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος Transrapid είναι αποτέλεσμα αρκετών σχεδιαστικών χαρακτηριστικών.

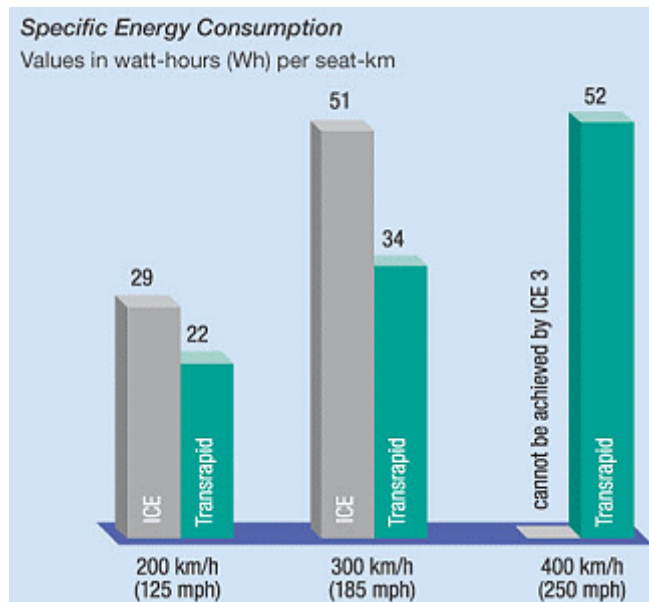
- Σύγχρονα ηλεκτρονικά ισχύος
- Αποφυγή της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας για την προώθηση, με στοιχεία βασισμένα στην ενέργεια τριβής.
- Υψηλής αποδοτικότητας σύγχρονος long-stator κινητήρας.
- Τροφοδότηση του διαδρόμου ανά τμήματα
- Μικρής μάζας οχήματα (περίπου 0,5 μετρικοί τόνοι ανά θέση)
- Χαμηλά αντίσταση όδευσης (περίπου 0,2 ανά θέση) στα 400km/h

Συγκρινόμενη σε ισοδύναμες αποστάσεις, η ενεργειακή κατανάλωση αυτοκινήτων και αεροπλάνων, είναι τρεις και πέντε φορές μεγαλύτερη αντίστοιχα, από αυτή του συστήματος Transrapid,

Υπάρχουν ευπροσδιόριστα βήματα προς τη κατεύθυνση αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας των συστημάτων maglev.

- Εξάλειψη ή ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων του on-board συστήματος ανάρτησης.

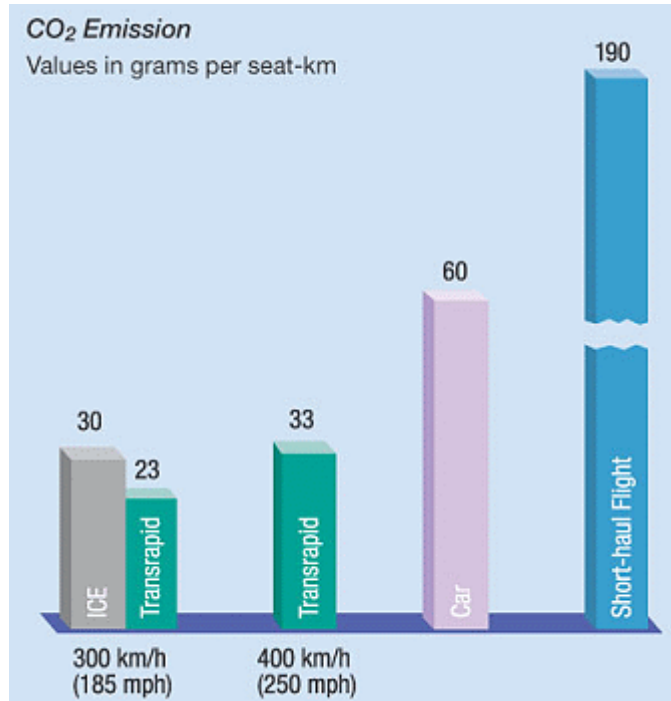
- Για τα EDS συστήματα, μεγιστοποίηση της απόδοσης διαδρόμων, μέσω του σχεδιασμού και βελτιστοποίησης του on-board συστήματος ανάρτησης.
- Μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος προώθησης, όσο το δυνατόν περισσότερο αναφορικά με τις απαιτήσεις κόστους.
- Ελαχιστοποίηση της αεροδυναμικής έλξης.



Εικόνα 2.9.4 Συγκριτικό διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας ανά επιβάτη-ανά χιλιόμετρο, ανάμεσα στον ICE και τον Transrapid

Εκπομπή CO₂

Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, ισοδυναμεί με χαμηλότερη εκπομπή CO₂. Η εκπομπή CO₂ εξαρτάται από την κατανάλωση πρωτογενών μορφών ενέργειας και πώς αυτή διανέμεται.



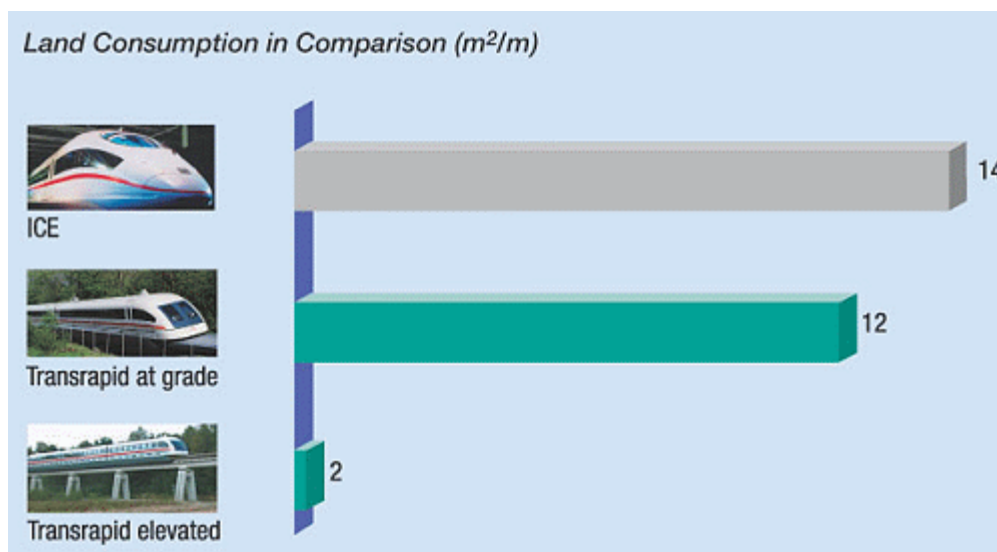
Εικόνα 2.9.5 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO₂ ανά επιβάτη-ανά χιλιόμετρο, ανάμεσα στον ICE και τον Transrapid

Κατανάλωση εδάφους

Το Transrapid σύστημα, απαιτεί το χαμηλότερο δυνατό χώρο και έκταση για τις υποδομές των διαδρόμων και των σχετικών υποδομών, σε σύγκριση με άλλα επίγεια συστήματα μεταφοράς.

Ο απαιτούμενος χώρος για ένα τυπικό, ανυψωμένο, διπλό διάδρομο, συμπεριλαμβανομένων υποσταθμών και εξοπλισμού κράσπεδων, είναι περίπου 2,1 m² ανά μέτρο μήκους, ενώ για έναν αντίστοιχο at-grade 12 m² ανά μέτρο μήκους.

Επίσης, δεν απαιτείται δρόμος πρόσβασης κατά μήκος του διαδρόμου, για να εξυπηρετήσει τις εργασίες ασφαλείας και συντήρησης. Το έδαφος, επομένως, δύναται να διατηρείται στην υπάρχουσα αρχική κατάστασή του.

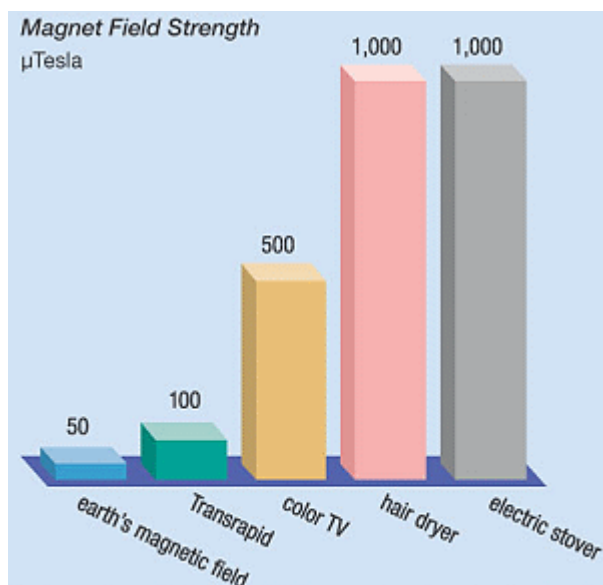


Εικόνα 2.9.6 Συγκριτικό διάγραμμα εδαφικής εκμετάλλευσης ανάμεσα στον ICE και τα δύο είδη διαδρόμων του Transrapid

Μαγνητικά πεδία

Ο αντίκτυπος των μαγνητικών πεδίων που παράγονται από το σύστημα Transrapid -σε επιβάτες και περιβάλλον- είναι εξαιρετικά μικρός. Είναι στην ουσία, συγκρίσιμο με το σύνηθες μαγνητικό πεδίο της γης και αρκετά χαμηλότερο από αυτό των κοινών οικιακών συσκευών. Τα μαγνητικά πεδία κατά μήκος του διαδρόμου, είναι ακόμα ασθενέστερα. Επιπλέον, τα μαγνητικά πεδία, γύρω από το Transrapid σύστημα, είναι πολύ χαμηλότερα από αυτά πολλών άλλων συμβατικών ηλεκτρικών συστημάτων μεταφοράς, όπως υπόγειοι σιδηρόδρομοι και μετρό.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα οποία παράγονται από τον long-stator κινητήρα τους μαγνήτες ανάρτησης και οδήγησης και το σύστημα ράδιο-μετάδοσης έχουν μετρηθεί από διάφορους ειδικούς επιστήμονες κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Καθ'όλο το φάσμα συχνοτήτων, οι εντάσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι από 20 έως 1000 φορές χαμηλότερες από τα αποδεκτά όρια. Κατά συνέπεια, τα δυσμενή αποτελέσματα στους βηματοδότες ή μαγνητικές λωρίδες ανάγνωσης καρτών, πρέπει να αποκλειστούν.



Εικόνα 2.9.7 Συγκριτικό διάγραμμα έντασης του μαγνητικού πεδίου που προκαλεί η λειτουργία του TR σε σχέση με άλλα στοιχεία της καθημερινότητας

Αεροδυναμικά αποτελέσματα

Η ροή αέρα η οποία περιβάλλει το Transrapid, έχει μελετηθεί εκτενώς στο TVE (Transrapid Test Facility) με τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Δεν υπάρχει μια αντιληπτή αεροδυναμική επίπτωση κάτω από τον ανυψωμένο διάδρομο, σε ολόκληρο το εύρος ταχυτήτων.
- Τα αεροδυναμικά αποτελέσματα συγκρίσιμα με τον κοινό αέρα, μπορούν να ανιχνευθούν όταν το όχημα περνά από έναν at-grade διάδρομο. Παρόλα ταύτα, στα μικρά χαλίκια, ακριβώς κάτω από το όχημα και το διάδρομο, δεν διαταράσσονται.
- Η ταχύτητα ροής του αέρα κατά μήκος του οχήματος σε απόσταση 5m και σε ταχύτητα 400km/h είναι μικρότερη των 8km/h.

Δόνηση

Κατά τη διέλευση του Transrapid, μεταδίδονται δονήσεις από το διάδρομο στο έδαφος, μέσω των θεμελίων. Στη Γερμανία αυτές οι δονήσεις αποτελούν αντικείμενο για τον ομοσπονδιακό νόμο ελέγχου εκπομπής. Σύμφωνα με τον DIN 4150, η δριμύτητα της δόνησης μετριέται σε μονάδες KB, λαμβάνοντας υπ' όψη τη διάρκεια και ένταση της επιρροής. Μετρήσεις στο TVE έχουν δείξει ότι, σε μια απόσταση 100m από το διάδρομο σε ταχύτητα 200km/h, οι δονήσεις είναι κάτω από το ελάχιστο όριο αίσθησης για τους ανθρώπους. Σε απόσταση 120m από το διάδρομο δεν υπάρχει καμία αντιληπτή δόνηση πια σε οποιαδήποτε ταχύτητα.

Καιρικές συνθήκες

Ένα τεράστιο πλεονέκτημα όλων των συστημάτων μεταφορών υψηλής ταχύτητας είναι το ότι, είναι σχετικά ανεπηρέαστα από τον καιρό. Αυτό αποτελεί

ιδιαίτερη πραγματικότητα για το Transrapid. Η non-contact τεχνολογία του, λειτουργεί ακόμα και κάτω από ακραίες καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα:

- Τα στοιχεία προώθησης προστατεύονται, κάτω από το διάδρομο, από το χιόνι και τη δημιουργία πάγου.
- Εάν συγκεντρωθεί, περισσότερο από τις προδιαγεγραμμένες τιμές, χιόνι ή πάγος, ένα ειδικό όχημα μπορεί να καθαρίσει το διάδρομο. Το καθάρισμα γίνεται ευκολότερο, λόγω της ομαλής και λείας επιφάνειας του άνω μέρους του διαδρόμου.
- Οι ανεμοστρόβιλοι και τα μπουρίνια, έχουν μικρή επίδραση στο Transrapid, εξαιτίας του ενεργού ελέγχου και των συστημάτων πλευρικής οδήγησης. Άνεμοι ταχύτητας μέχρι 90km/h δεν προκαλούν καμία επίδραση. Στο TVE, έχει αποδειχθεί ότι το όχημα λειτουργεί χωρίς δυσκολίες, σε ταχύτητες μέχρι 300km/h με μπουρίνια ταχύτητας μέχρι 130km/h.

2.10 TGV και άλλοι ανταγωνιστές

2.10.1 Εισαγωγή

Η επίγεια μεταφορά σε υψηλές ταχύτητες(HSGT), η οποία δεν είναι ακόμα ευρέως διαδεδομένη, παρέχει κυρίως εξυπηρέτηση σε ταχύτητες, οι οποίες βρίσκονται στο μέσο του εύρους ταχυτήτων των αυτοκίνητων και των αεροσκαφών(από 500-200 m/s). Η τεχνολογία Maglev είναι μια εναλλακτική της HSGT τεχνολογίας. Μια άλλη εναλλακτική είναι το κορεατικό HSR. Διαφορά πρόσφατα ανεπτυγμένα συστήματα HSR, παρουσιάζουν εντυπωσιακά χαρακτηριστικά απόδοσης και έχουν τη δυνατότητα ικανοποίησης πολλών απαιτήσεων της εγχώριας μεταφοράς. Από την άλλη, το γαλλικής κατασκευής TGV(train a grande vitesse), προσφέρει μια αποδεδειγμένη, εμπορικά επιτυχημένη εξυπηρέτηση 83 m/s και έχει αναπτυχθεί και σε άλλες χώρες, χωρίς αναπτυξιακό ρίσκο. Η περαιτέρω ανάπτυξη θα αυξήσει αναμφισβήτητα τα όρια απόδοσης του, παρά τις δαπάνες και τους κινδύνους που το συνοδεύουν. Σε σύγκριση με τα maglev συστήματα, σε γενικές γραμμές, το TGV ανταποκρίνεται ικανοποιητικά. Άλλωστε, σε επίπεδο ολοκλήρωσης και εμπορικής ιστορίας, τα maglev συστήματα, παρουσιάζουν μεγαλύτερο ρίσκο από το TGV, ακόμα και αν προσφέρουν σημαντικά μεγαλύτερα επίπεδα απόδοσης. Το TGV και το HSR δεν είναι οι μόνοι «ανταγωνιστές» των συστημάτων maglev.Ευρέως διαδεδομένα συστήματα είναι το γερμανικό ICE(InterCity Express) καθώς και το ιαπωνικό Shinkansen. Τα τέσσερα αυτά συστήματα, παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, καταδεικνύοντας το εύρος της αγοράς των μεταφορών και τον ανταγωνισμό που οφείλει να υπερκεράσει η τεχνολογία maglev, ούτως ώστε να εγκατασταθεί ως κορυφαίο, παγκόσμιο και κύριο μέσο επίγειας μαζικής μεταφοράς.

2.10.2 TGV

Το TGV(train a grande vitesse), είναι ένα σύστημα των γαλλικών high-speed σιδηρόδρομων, το οποίο αναπτύχθηκε από την GEC-Alsthom και την SNCF και λειτούργησε πρωτίστως από την SNCF. Μετά την εναρκτήρια υπηρεσία του TGV μεταξύ Παρισιού και Λυών το 1981, το δίκτυο TGV, το οποίο κεντροθετείται στο Παρίσι, έχει επεκταθεί για τη σύνδεση πόλεων σε ολόκληρη τη Γαλλία και τις

γειτονικές χώρες. Καθιέρωσε το ρεκόρ για το ταχύτερο τροχοφόρο τρένο, στα 574,8 km/h στις 3 Απριλίου 2007, και κρατά ,επίσης, και την υψηλότερη μέση ταχύτητα κανονικής εξυπηρέτησης επιβατών, παγκοσμίως. Το TGV είναι ένα αναγνωρισμένο εμπορικό σήμα της SNCF.

Η επιτυχία της πρώτης γραμμής, οδήγησε σε μια επέκταση του δικτύου, με τις νέες γραμμές να κατασκευάζονται στο νότο, τη δύση, το βορρά και τα ανατολικά της χώρας. Πρόθυμες να μιμηθούν την επιτυχία αυτού του γαλλικού δικτύου, γειτονικές χώρες όπως το Βέλγιο, η Ιταλία και η Γερμανία, κατασκεύασαν τις δικές τους γραμμές υψηλής ταχύτητας(high-speed rails). Τα TGV, ενώνονται με την Ελβετία μέσω του γαλλικού δικτύου, με το Βέλγιο, τη Γερμανία και την Ολλανδία μέσω του δικτύου Thalys, ενώ το δίκτυο Eurostar ενώνει Γαλλία και Βέλγιο με το Ηνωμένο Βασίλειο. Διάφορες γραμμές έχουν σχεδιαστεί, περιλαμβάνοντας επεκτάσεις στο εσωτερικό της Γαλλίας και των γειτονικών περιοχών.

Τα οχήματα του δικτύου TGV, ταξιδεύουν με ταχύτητες έως 320 km/h σε εμπορική χρήση. Ένα ειδικά τροποποιημένο όχημα δυο μηχανών, έφθασε την ταχύτητα των 547,8 km/h σε δοκιμαστική λειτουργία, ενώ το TGV διπλού καταστρώματος, μάλιστα, απέτυχε να καταρρίψει το παγκόσμιο ρεκόρ των 581 km/h του 2003 του ιαπωνικού maglev τρένου. Η μέθοδος, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την κατάρριψη αυτού του ρεκόρ, εντούτοις, δεν είναι εφαρμόσιμη για εμπορικές εφαρμογές, εξαιτίας υπερφόρτωσης του κινητήρα, φθοράς της γραμμής και του κινητήρα, υπερβολικών δονήσεων, θορύβου και έλλειψη μεθόδου στάσης έκτακτης ανάγκης.

Η υψηλή ταχύτητα του TGV πραγματοποιείται μέσω της χρήσης- ειδικά σχεδιασμένων- LGVs(lignes a grande vitesse, high-speed lines), χωρίς απότομες καμπύλες και με υψηλής ισχύος ηλεκτρικούς κινητήρες, διευρυμένους τροχούς, χαμηλό βάρος αξόνων, αρθρωμένα βαγόνια, και in-cab σηματοδότησης(εξαλείφοντας την ανάγκη οδηγών προς παρατήρηση των πλευρικών σημάτων στις υψηλές ταχύτητες). Τα οχήματα TGV κατασκευάζονται από την Alstom και ,συνήα, σε συνεργασία συμπαραγωγών όπως η Bombardier. Εκτός από μικρούς συρμούς, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μεταφορά ταχυδρομικού υλικού μεταξύ Παρισιού, Λυών και Προβενς, το TGV είναι πρώτα από όλα μια επιβατική υπηρεσία.

Το ταξίδι με το TGV, έχει αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό το αεροπορικό ταξίδι μεταξύ των πόλεων, εξαιτίας του συνολικά μικρότερου χρόνου ταξιδιού(ειδικότερα για διαδρομές μικρότερες των τριών ωρών). Το TGV, παρότι είναι γενικά μια ασφαλής μορφή μεταφοράς, έχει καταγράψει ατυχήματα.

Ιστορία

Η ιδέα του TGV, προτάθηκε αρχικά στη δεκαετία του '60, αφότου είχε αρχίσει η ιαπωνική κατασκευή Shinkansen το 1959. Εκείνη την περίοδο, η γαλλική κυβέρνηση, ευνοούσε τέτοιες τεχνολογικές καινοτομίες, εξετάζοντας την παραγωγή hovercraft και maglev τρένων όπως το Aerotrain. Ταυτόχρονα, το SNCF, ξεκίνησε τη δημιουργία τρένων υψηλής ταχύτητας, τα οποία θα λειτουργούσαν στη συμβατική υπάρχουσα γραμμή.

Ανάπτυξη

Αρχικά, προγραμματίστηκε ότι το TGV, θα ωθούνταν από ηλεκτρικές μηχανές αεροστροβίλου. Οι αεροστροβίλοι επιλέχθηκαν λόγω του μικρού τους μεγέθους, την καλή αναλογία τους δύναμη/βάρους και της δυνατότητας παροχής υψηλής ισχύος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το πρώτο πρωτότυπο TGV001, ήταν το μοναδικό TGV, το οποίο κατασκευάστηκε με αυτή τη μηχανή(μετά την αύξηση της τιμής του πετρελαίου κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης του 1973, οι αεροστροβίλοι κρίθηκαν μη πρακτικοί και το πρόγραμμα στράφηκε στη λύση της ηλεκτρικής ενέργειας από εναέριες γραμμές).

Η ηλεκτρική ενέργεια επρόκειτο να παραχθεί από νέους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας της Γαλλίας. Το TGV001 δεν ήταν ένα «σπαταλημένο» πρωτότυπο. Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με αεροστροβίλους, ήταν μόνο μια από τις πολλές τεχνολογίες για το ταξίδι υψηλής ταχύτητας με τρένο. Εξέτασε, επίσης, τα φρένα υψηλής ταχύτητας, τα οποία απαιτήθηκαν για να αποσβέσουν το μεγάλο πόσο της κινητικής ενέργειας ενός τρένου υψηλής ταχύτητας, την αεροδυναμική της υψηλής ταχύτητας και τη σηματοδότηση. Η άρθρωση του απέδειξε ότι, δυο συνδεδεμένα βαγόνια, μπορούσαν να συνεργήσουν σε ένα όχημα, επιτρέποντας την ελεύθερη και ελεγχόμενη κίνηση όσον αφορά το ένα το άλλο. Ο εσωτερικός και εξωτερικός του σχεδιασμός, αποτέλεσε τη βάση των πρώτων σχεδίων του TGV, συμπεριλαμβανομένης και της διακριτικής μορφής «μύτης» του εμπρόσθιου μέρους των πρώτων TGV αυτοκίνητων.

Η θεσμοθέτηση του ηλεκτρισμού ως βασική πηγή κίνησης, απαιτήσε μια σημαντική εξέταση του σχεδίου. Το πρώτο ηλεκτρικό πρωτότυπο ολοκληρώθηκε το 1974 και ονομάστηκε Zebulon, εξετάζοντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως, το καινοτόμο μοντάρισμα των μελών της μηχανής, παντογράφους, ανάρτηση και πέδηση.

Το 1976, η γαλλική κυβέρνηση, χρηματοδότησε το σχέδιο TGV και η κατασκευή του LGV Sud-Est, της πρώτης γραμμής υψηλής ταχύτητας, ξεκίνησε τη λειτουργία της αμέσως μετά. Έπειτα από την παραγωγή δυο οχημάτων (Patrick και Sophie), τα οποία είχαν δοκιμαστεί και τροποποιηθεί ουσιαστικά, η πρώτη παραγωγική έκδοση παραδόθηκε στις 25 Απριλίου 1980.

Γραμμές

Οι νεώτερες γραμμές υψηλής ταχύτητας, επιτρέπουν ταχύτητες έως 320 km/h σε κανονική λειτουργία. Αρχικά, τα LGVs είχαν οριστεί ως γραμμές, οι οποίες επιτρέπουν ταχύτητες μεγαλύτερες των 200 και, αργότερα, των 250 km/h. Τα TGVs λειτουργούν, επίσης, σε συμβατικές γραμμές, στην κανονική μέγιστη ταχύτητα ασφάλειας αυτών των γραμμών, μέχρι ένα μέγιστο των 220 km/h. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα που έχει το TGV έναντι των maglev τρένων, λόγω του ότι, μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους προορισμούς και χρησιμοποιήσει αστικούς κεντρικούς σταθμούς(σήμερα εξυπηρετεί περίπου 200 προορισμούς σε Γαλλία και εξωτερικό.

Παροχή ισχύος

Τα LGVs ηλεκτροδοτούνται στα 25 kV, 50 Hz AC. Η μηχανική τάση των αλυσωτά συνδεδεμένων καλωδίων, είναι σχεδιασμένη μεγαλύτερη των κανονικών γραμμών, εξαιτίας των ταλαντώσεων που υφίστανται και της ανάγκης γρηγορότερης όδευσης των κυμάτων (από τα τρένα), για την αποφυγή των μόνιμων κυμάτων, τα οποία θα οδηγούσαν στη θραύση τους. Το εμπρόσθιο μέρος του οχήματος, τροφοδοτείται από ένα καλώδιο, το οποίο διασχίζει την οροφή του τρένου. Τα τρένα Eurostar είναι αρκετά μακριά σε μήκος, ούτως ώστε οι ταλαντώσεις μεταξύ των εμπρόσθιων και οπίσθιων μελών, να είναι μετριασμένες. Στις κλασικές γραμμές, οι χαμηλότερες μέγιστες ταχύτητες, αποτρέπουν τα προβλήματα ταλάντωσης.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του TGV έναντι των υπόλοιπων τεχνολογιών, είναι ότι μπορεί να εκμεταλλευτεί την υπάρχουσα υποδομή. Αυτό, καθιστά μια πιο απλή και ανέξοδη πρόταση από την σύνδεση των κέντρων των πόλεων με χρήση του Transrapid. Διαδρομές και σταθμοί μεταξύ πόλεων, κατασκευάζονται για τρένα χαμηλότερης ταχύτητας.

Ωστόσο, οι σχεδιαστές διαδρομών LGV, τείνουν να χτίσουν νέους ενδιάμεσους σταθμούς στις προαστιακές περιοχές ή την επαρχία. Αυτό επιτρέπει στο TGV να σταματήσει, χωρίς μεγάλη καθυστέρηση, δεδομένου ότι, ο περισσότερος χρόνος ξοδεύεται στη διαδρομή. Επιπλέον, πολλοί σταθμοί των πόλεων είναι τερματικοί, ενώ οι γραμμές LGV μπορούν να παρακάμπτουν συχνά τις πόλεις αυτές. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι σταθμοί κατασκευάζονται στο μέσο της διαδρομής μεταξύ δυο κοινοτήτων.

Νέοι σταθμοί έχουν κατασκευαστεί για την εξυπηρέτηση λειτουργίας TGV, και μερικοί αποτελούν μάλιστα, από μόνοι τους, μεγάλα αρχιτεκτονικά επιτεύγματα. Ο TGV σταθμός Avignon, τιμήθηκε ως ένας από τους πιο αξιόλογους του δικτύου, με μια εντυπωσιακή 340m ύψους στέγη, η οποία συγκρινόταν με αυτή ενός καθεδρικού ναού!

Εξοπλισμός κίνησης

Τα TGVs συνδέονται με πολλαπλές, ημι-μόνιμες αρθρωμένες μονάδες, με βαγονέτα Jacobs μεταξύ των βαγονιών να υποστηρίζουν αυτά τα δυο. Τα βαγόνια ισχύος στο εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος των τρένων, έχουν τα δικά τους βαγονέτα. Τα τρένα μπορούν να επεκταθούν συνδέοντας δυο TGVs, με τη χρήση συζευκτών, οι οποίοι βρίσκονται στις άκρες των βαγονιών ισχύος.

Το σχέδιο άρθρωσης είναι κατάλληλο για συνθήκες εκτροχιασμού, δεδομένου ότι τα βαγόνια των επιβατών τείνουν να είναι όρθια (σύμφωνα με τις ράγες). Τα συνήθη τρένα, εν αντιθέσει, μπορούν να χωριστούν με συζευκτικές τύπου «σουγιά».

Μειονέκτημα αυτής της σχεδίασης ατράκτου, αποτελεί ο δύσκολος διαχωρισμός των βαγονιών. Καθώς τα βαγόνια ισχύος μπορούν να αποσυνδεθούν από το τρένο, μέσω τυπικών διαδικασιών απόζευξης, απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός για την απόζευξη των υπόλοιπων βαγονιών, με ταυτόχρονη ανάρτηση ολόκληρου του σώματος του τρένου. Όταν αποσυνδεθούν, η άκρη ενός βαγονιού

μένει χωρίς βαγονέτο, όποτε ένα επιπλέον πλαίσιο βαγονέτων απαιτείται για να το υποστηρίξει.

Το SNCF, ενεργοποιεί ένα στόλο περίπου 400 TGVs. Επτά τύποι TGV ή παραγωγών του TGV λειτουργούν αυτή την περίοδο στο γαλλικό δίκτυο και είναι οι εξής:

- TGV Sud-Est(επιβατικό), TGV La Poste(εμπορικό)
- TGV Atlantique(8 έως 10 βαγονιών)
- TGV Réseau(έως 8 βαγονιών)
- Eurostar
- TGV Duplex(δυο καταστρωμάτων για μεγαλύτερη χωρητικότητα επιβατών)
- Thalys PBA και PBKA
- TGV Pos

Όλα τα TGVs μπορούν να λειτουργήσουν και στα 25 kV, 50 Hz AC, και σε νεώτερες γραμμές (συμπεριλαμβανομένων LGV) και στα 15 kV DC σε παλαιότερες γραμμές. Τα τρένα, τα οποία διασχίζουν και άλλες χώρες, οφείλουν να προσαρμόζονται σε άλλες τάσεις. Κατά τη διάβαση περιοχών παροχής διαφορετικής τάσης, πίνακες δεικτών υπενθυμίζουν στον οδηγό να κλείσει την ισχύ στις μηχανές έλξης και να θέσει το διακόπτη επιλογής στο κατάλληλο σύστημα. Μόλις ανιχνεύσει το τρένο τη σωστή παροχή, ένας δείκτης φωτίζει στο ταμπλό και ο οδηγός μπορεί να εκκινήσει τις μηχανές έλξης.

TGV τεχνολογία Εκτός Γαλλίας

- AVE στην Ισπανία
- Korean Train Express(KTX) στη Βόρεια Κορέα
- Acela Express στις Η.Π.Α (κατασκευασμένο από την TGV σε συνεργασία με την Bombardier)
- TGV γραμμή μεταξύ Ταγγερης και Καζαμπλανκα με έναρξη λειτουργίας το 2013
- Μπουένος Αιρες- Ροζάριο- Κορντομπα TGV γραμμή υψηλής ταχύτητας 320 km/h στην Αργεντινή
- Εντολή κατασκευής στην Alsthom 25 AGV τρένων 11 βαγονιών, με ημερομηνία παράδοσης το 2009, στον ιταλικό οργανισμό Nuovo Trasporto Viaggiatori.

Μελλοντικά TGVs

Οι SNCF και Alsthom, διεξάγουν έρευνες για νέες τεχνολογίες, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην υψηλής ταχύτητας μεταφορά.

Η ανάπτυξη των TGV τρένων, βασίζεται στον τύπο AGV(Automotrice a grande vitesse). Το σχέδιο AGV διαθέτει κινητήρες σε κάθε βαγόκι. AGVs ίδιου μήκους με τα TGVs, διαθέτουν έως 450 θέσεις, με επιθυμητή ταχύτητα τα 360 km/h. Το AGV πρωτότυπο, αποκαλύφθηκε στις 5 Φεβρουαρίου του 2008 από την Alsthom.

Βραχυπρόθεσμα, τα σχέδια προσανατολίζονται στην αύξηση της ικανότητας του TGV κατά 10%, με την αντικατάσταση των κεντρικών βαγονιών ισχύος, ενός

διπλού TGV , με βαγόνια επιβατών. Αυτά τα βαγόνια(από το πρώτο μέχρι το τελευταίο του τρένου), θα έχουν στο κάτω μέρος τους τροφοδοτικά βαγονέτα, ούτως ώστε να καλύπτουν τις απώλειες ισχύος.

Διαμαρτυρίες έναντι του TGV

Οι πρώτες περιβαλλοντικές διαμαρτυρίες έναντι της κατασκευής υψηλής ταχύτητας γραμμών στη Γαλλία, έλαβε χώρα τον Μάιο του 1990 κατά τη διάρκεια του σταδίου σχεδιασμού του LGV Mediterranee. Οι διαδηλωτές υποστήριζαν ότι, καινούριες γραμμές ήταν περιττές και πως τα τρένα θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τις υπάρχουσες γραμμές για να φθάσουν από τη Μασσαλία στη Λυών.

Το Lyon Turin Ferroviaire, το οποίο θα συνέδεε το TGV με το ιταλικό δίκτυο, υπήρξε κι αυτό αντικείμενο διαμαρτυρίας στην Ιταλία. Ενώ τα περισσότερα πολιτικά κόμματα συμφωνούσαν στην κατασκευή της γραμμής, κάτοικοι των πόλεων, στις οποίες θα πραγματοποιούνταν οι εργασίες κατασκευής της, ήταν κατηγορηματικά αντίθετοι. Κύριο στοιχείο της διαμαρτυρίας τους αφορούσε, στην αποθήκευση και έκθεση στον αέρα των περιοχών αυτών, επικίνδυνων ορυκτών υλικών, όπως αμιάντος και ουράνιο. Αυτός ο σοβαρός κίνδυνος για τη δημόσια υγεία, θα μπορούσε να αποφευχθεί με τη χρήση περισσότερο κατάλληλων και συνάμα δαπανηρών τεχνικών διαχείρισης των ραδιενεργών υλικών(κάτι το οποίο οδήγησε σε μια εξαμηνιαία καθυστέρηση της έναρξης των εργασιών).

Οι γενικές καταγγελίες για το θόρυβο που προκαλείται από τη διέλευση των TGVs κοντά στις πόλεις και τα χωρία, έχουν οδηγήσει το SNCF στην κατασκευή ακουστικής περίφραξης κατά μήκος των μεγάλων τμημάτων LGVs, για να μειώσουν τη διαταραχή στους κατοίκους. Παρόλα αυτά, οι διαμαρτυρίες συνεχίζονται ακόμα, αφού το SNCF δεν έχει αντιμετωπίσει πλήρως το ζήτημα.

2.10.3 HSR

Το HSR, είναι ένα πειραματικό τρένο υψηλής ταχύτητας, το οποίο αναπτύχθηκε ανεξάρτητα, από την Βόρεια Κορέα. Το κύριο κίνητρο ήταν, ο περιορισμός των κυκλοφοριακών προβλημάτων και η άνοδος της εθνικής επιστήμης και τεχνολογίας, στο επίπεδο των παγκόσμιων πρωτοπόρων, με τη δημιουργία του Korean G-7 ή HSR-350X τρένου(με συνεισφορά της Ρωσίας το 1997 μετονομάστηκε σε G-8).

Επισκόπηση

Οι Βορειοκορεάτες μηχανικοί, άρχισαν την εργασία τους στο υψηλής ταχύτητας σιδηροδρομικό σχεδιασμό το 1995. εντούτοις, η Κορέα είχε πάντα τις φιλοδοξίες να αναπτύξει ανεξάρτητη HSR τεχνολογία. Η έρευνα και ανάπτυξη υψηλής-ταχύτητας κινούμενου οχήματος, διήρκεσε 10 χρόνια, υπό την ονομασία HSR-350X, δυο χρόνια πριν τον ερχομό της TGV τεχνολογίας. Το HSR-350X προορίστηκε να τρέχει με ταχύτητα 350 km/h σε κανονική λειτουργία, η οποία είναι 50 km/h ταχύτερη από αυτή του βασικού ανταγωνιστή του TGV. Αν και συνολικά κυρίαρχο μαζί με την ιαπωνική τεχνολογία Shinkansen, το σύστημα TGV της Alsthom, δεν ενσωματώνει τις πρόσφατες τεχνολογικές καινοτομίες, όπως το όχημα

αργιλίου, ο ψηφιακός έλεγχος της κυκλοφορίας και το σύστημα απόσβεσης πιέσεων του HSR. Λόγω των παραπόνων για την ευθεία διάταξη των θέσεων, οι θέσεις στο HSR-350X είναι περιστρεφόμενες. Το HSR-350X, πλησιάζει στο τέλος της ανάπτυξης του και αναμένεται να είναι διαθέσιμο μέχρι το τέλος του 2008.

Ταχύτητα

Κατά τη διάρκεια των πρώτων δοκιμών, το τρένο δεν κατάφερε να φθάσει την ταχύτητα των 100 km/h. Έπειτα από χρονιά εργασιών και δοκιμών, εντούτοις, το Δεκέμβριο του 2004, πέτυχε την ταχύτητα των 350 km/h. Το πρωτότυπο, το οποίο κατασκευάστηκε από το ΚΚΡΙ, ξεπέρασε το όριο των 350 km/h, φθάνοντας τα 352,4 km/h.

Εθνικές και διεθνείς συνδέσεις

Σύμφωνα με το UIC, το τρένο υψηλής ταχύτητας, είναι ένα τρένο, το οποίο κινείται πάνω από τα 250 km/h, σε ειδικά διαμορφωμένες διαδρομές, και πάνω από τα 200 km/h σε αναβαθμισμένες συμβατικές διαδρομές. Από την άλλη, η Κορέα ισχυρίζεται ότι, ο ορισμός αυτός ισχύει για ταχύτητες άνω των 300 km/h. Υπό κορεατική διαβεβαίωση, η Κορέα θα ήταν η έβδομη χώρα η οποία θα ανέπτυξε ένα τέτοιο σχέδιο, αν και το ΚΚΡΙ και τα κορεατικά ΜΜΕ, ισχυρίζονταν ότι η Κορέα είναι το τέταρτο εθνος, το οποίο ανέπτυξε υψηλής ταχύτητας ανεξάρτητη τεχνολογία. Ολοκληρώνοντας επιτυχημένα την πρόκληση, έξι από τα 10-βαγωνα G-7 τρένα, θα παρουσιαστούν και παραδοθούν στο εργοστάσιο EUROTEM στην Τουρκία και ο μελλοντικός στόχος της Κορέας είναι, να καθιερωθεί ως μια από τις τέσσερις κορυφαίες παραγωγούς χώρες HSR στον κόσμο, προσφέροντας HSR προϊόντα σε Κινά, Ταϊβάν και Η.Π.Α.

2.10.4 Ιαπωνικό Shinkansen

Το Shinkansen είναι ένα δίκτυο γραμμών υψηλής ταχύτητας, το οποίο λειτουργεί στην Ιαπωνία από 4 εταιρίες του Japan Railways Group. Αρχίζοντας από τα 210 km/h με το Tokaido Shinkansen το 1964, το δίκτυο (2459km) έχει επεκταθεί για να συνδέσει τις περισσότερες μεγάλες πόλεις, με τα νησιά Honsku και Kyushu, με ταχύτητες έως 300 km/h. Σε δοκιμαστική λειτουργία, έχει επιτύχει ταχύτητα έως 443 km/h σε συμβατική σιδηροδρομική γραμμή το 1996.

Shinkansen σημαίνει κυριολεκτικά, «νέα γραμμή κορμών», αναφερόμενο στις διαδρομές, αλλά το όνομα χρησιμοποιείται ευρέως, στο εξωτερικό και στο εσωτερικό της Ιαπωνίας, για να αναφερθεί στα τρένα, καθώς επίσης και στο σύστημα ως σύνολο. Το όνομα «Superexpress», αρχικά χρησιμοποιούμενο για τα τρένα Hikari, αποσύρθηκε το 1972, αλλά χρησιμοποιείται ακόμα στις αγγλικής- γλώσσας ανακοινώσεις και σήμανση.

Σε αντίθεση με τις παλαιότερες γραμμές, το Shinkansen, χρησιμοποιεί σήραγγες και οδογέφυρες για να περάσει ανάμεσα και πάνω από εμπόδια, παρά να κάνει το γύρο αυτών. Με ελάχιστη ακτίνα στρέψης των 4 km, το σύστημα κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου σε ανυψωμένους, επί του εδάφους, διαδρόμους χωρίς διασταυρώσεις, ανεξάρτητα από το υπόλοιπο συμβατικό σιδηροδρομικό σύστημα.

Υιοθετεί ATC(automatic train control) σύστημα, το οποίο εξαλείφει την ανάγκη σημάτων.

Το Tokaido Shinkansen, είναι η πιο «απασχολημένη» παγκοσμίως γραμμή υψηλής ταχύτητας. Μεταφέροντας 375.000 επιβάτες ημερησίως, έχει μεταφέρει 7 δισεκατομμύρια συνολικά από την έναρξη λειτουργίας της(περισσότεροι από όλα τα αλλά υψηλής-ταχύτητας συστήματα μαζί!).

Ρεκόρ ασφάλειας

Κατά τη διάρκεια των 44 χρόνων λειτουργίας του Shinkansen και ιστορικό, σχεδόν, 7 δισεκατομμυρίων επιβατών, δεν υπήρξαν ποτέ μοιραία περιστατικά επιβατών λόγω εκτροχιασμών και συγκρούσεων, παρά τους συχνούς σεισμούς και τυφώνες. Τραυματισμοί και ένα μόνο μοιραίο περιστατικό, έχουν προκληθεί από το κλείσιμο επιβατών ,ή των αποσκευών τους, από τις θύρες των τρένων. Υπάρχουν υπάλληλοι που απασχολούνται στις πλατφόρμες, για την αποφυγή τέτοιων ατυχιών.

Ο μοναδικός εκτροχιασμός ενός Shinkansen τρένου, κατά την εξυπηρέτηση επιβατών, συνέβη κατά τη διάρκεια του σεισμού Chuetsu τον Οκτώβριο του 2004. Οχτώ από τα δέκα βαγόνια του Toki No.325 τρένου στην Joetsu Shinkansen γραμμή, εκτροχιάστηκαν δίπλα από το σταθμό Nagaoka, χωρίς να υπάρξει κανένα θύμα μεταξύ των 154 επιβατών. Σε περίπτωση σεισμού, ένα σύστημα ανίχνευσης σεισμού, μπορεί να φέρει το τρένο σε στάση πολύ γρήγορα. Τα πειραματικά τρένα Fastech 360, έχουν φρένα τύπου-αυτιού, τα οποία χρησιμοποιούν την αντίσταση του αέρα, ούτως ώστε αυτή να συμβάλει σε επείγουσα στάση στις υψηλές ταχύτητες. Μια νέα συσκευή αποφυγής εκτροχιασμών, έχει εγκατασταθεί έπειτα από λεπτομερή ανάλυση των συνθηκών εκτροχιασμού.

Shinkansen τεχνολογία Εκτός Ιαπωνίας

- Κατασκευή του 700T Series για τον Taiwan High-Speed Rail από την Kawasaki Heavy Industries.
- Το China Railways CRH2 EMU, κατασκευασμένο από κοινοπραξία των Kawasaki Heavy Industries, Mitsubishi Electric Corporation και Hitachi, βασισμένο στο σχεδιασμό του E2-1000 Series.
- Τα Class395 EMUs της Hitachi για λογαριασμό της Βρετανίας στη γραμμή High Speed 1.
- Προώθηση του σχεδίου για υψηλής-ταχύτητας γραμμή σύνδεσης, στο δίκτυο μεταφορών της Βραζιλίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ-LSM

3.1 Μορφές σύγχρονων ευθύγραμμων κινητήρων

Δυο είναι τα αναπτυχθέντα συστήματα πρόωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες maglev εφαρμογές: ο σύγχρονος ευθύγραμμος κινητήρας βραχέως δρομέα(LSM) και ο ευθύγραμμος κινητήρας επαγωγής βραχέως στάτη(LIM με το πρωτεύον του κινητήρα ενσωματωμένο στο όχημα). Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί η λειτουργία, τα γενικότερα χαρακτηριστικά, τα είδη και οι εξισώσεις κίνησης που συνθέτουν τη λειτουργία του σύγχρονου ευθύγραμμου κινητήρα(LSM). Στο τέλος του, θα εφαρμοστούν οι εξισώσεις λειτουργίας του σε ένα υποτιθέμενο σύστημα maglev, ούτως ώστε να καταδειχθεί η αρχή κατασκευής του και να γίνει περισσότερο κατανοητή η λειτουργία του στα συστήματα αυτά γενικά.

Υπάρχουν δυο κύριοι τύποι ευθύγραμμων σύγχρονων κινητήρων: LSM με υποστήριξη σιδηρού(συμβατικός) και LSM χωρίς σίδηρο(αέρα) με χρήση υπεραγώγιμων μαγνητών. Στο παρόν, θα ασχοληθούμε και με τους δυο LSM βραχέως δευτερεύοντος.

Βασική αρχή κατασκευής των LSMs αέρος, είναι αυτή βραχέως δευτερεύοντος, δηλαδή λίγων μόνο υπεραγώγιμων μαγνητών, λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης τους(στην αντίθετη περίπτωση ,οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες θα έπρεπε να τοποθετηθούν κατά μήκος ολόκληρου του διαδρόμου, κάτι που θα εκτόξευε το κόστος στα ύψη και θα καθιστούσε την κατασκευή και λειτουργία του, σχεδόν ανέφικτη), παρά την πιο αυξημένη άεργο ισχύ την οποία παράγει, έναντι αυτού βραχέως πρωτεύοντος.

Θεωρούμε ότι στο πρωτεύον διαθέτουμε ένα μακρύ τριφασικό τύλιγμα. Το τύλιγμα του πρωτεύοντος, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τροφοδοτείται κατά τμήματα(κάθε φορά εκείνο πάνω στο οποίο κινείται εκείνη τη στιγμή το όχημα), για την ελάττωση των θερμικών και άεργων απωλειών του συστήματος.

Η πυκνότητα ρεύματος ,του ισοδυνάμου φύλλου ρεύματος του πρωτεύοντος, δίνεται από την $I_{y,1}(x,t) = \text{Real}(\sqrt{2} \cdot I_{y,1}^0(x) \cdot e^{j\omega t})$, όπου $I_{y,1}^0(x) = \sqrt{2} \cdot I \cdot e^{-j\kappa \cdot x}$ και $I = 3 \cdot N \cdot K_w \cdot I_\phi / (\pi \cdot \tau)$ (111)

K_w = συντελεστής τυλίγματος, N = αριθμός αγωγών μιας φάσεως και $\kappa = \pi/\tau$ (τ το πολικό βήμα).

Παρατηρούμε ότι αυτή η γραμμική πυκνότητα ρεύματος, είναι ουσιαστικά ένα αρμονικό κύμα, με κυματαριθμό κ . οι υπόλοιπες χωρικές αρμονικές, από τις οποίες η 5^η και 7^η είναι οι ισχυρότερες, εξουδετερώνονται λόγω του διπλού τυλίγματος, τα οποία απέχουν $\tau/5$ ή $\tau/6$. Έτσι, συνήθως $K_w = \cos(\pi/10)$ ή $\cos(\pi/12)$.

Η ισοδύναμη τάση του πρωτεύοντος στο πεδίο Fourier θα είναι:

$V_1(\alpha) = \sqrt{2} \cdot I \cdot (-\kappa) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa)$, με συχνότητα ω . Αποτελεί δηλαδή, ένα αρμονικό κύμα, το οποίο οδεύει στο $+\infty$ κατά τη διεύθυνση χ , με σύγχρονη ταχύτητα (ταχύτητα φάσεως) $v_s = \omega/\kappa$.

Σε δισδιάστατη ανάλυση, το τύλιγμα του βραχέως δευτερεύοντος, αποτελείται από $2n$ εν σειρά αγωγούς, από τους οποίους, οι μισοί διαρρέονται από ρεύμα I_0 σταθερής φοράς και οι υπόλοιποι από $-I_0$ ρεύμα αντίθετης φοράς. Το πλάτος των αγωγών δευτερεύοντος είναι το ίδιο με αυτό των αγωγών πρωτεύοντος, ίσο με L και η μέση απόσταση των αντίστοιχων αγωγών της μιας φοράς με αυτών της άλλης, είναι ίση με το πολικό βήμα τ του πρωτεύοντος. Η πυκνότητα ρεύματος, η οποία προκύπτει, είναι και αυτή ένα στατικό κύμα, η οποία μετασχηματισμένη στο χώρο Fourier δίνεται από τη σχέση:

$$I_{y,2}(\alpha) = I_0 \cdot \sum_{m=1}^n e^{-j \cdot x_m \cdot \alpha} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha \cdot \delta}{2}\right)}{\frac{\alpha \cdot \delta}{2}} \cdot 2 \cdot j \cdot \sin\left(\frac{\alpha \cdot \tau}{2}\right)$$

όπου δ το πάχος του ισοδύναμου φύλλου ρεύματος του εκατοστού αγωγού δευτερεύοντος και x_m η απόσταση του μέσου m -οστού πλαισίου, συνήθως από το μέσον του δευτερεύοντος.

Η ισοδύναμη τάση τυλίγματος στο χώρο Fourier είναι $\overset{0}{V}_2(\alpha) = \alpha \cdot \overset{0}{I}_{y,2}(\alpha)$.

Το στατικό κύμα κινείται στην κατεύθυνση χ με ταχύτητα v και συχνότητα $\omega' = -\alpha v$. Σε σχέση με το πρωτεύον, υπάρχουν δυο αλληλεπιδρώντας κύματα, με συχνότητες ω και $-\alpha v$ αντίστοιχα. Για να υπάρξει αλληλεπίδραση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, πρέπει αυτές να συμπέσουν, δηλαδή $\omega = -\alpha v$. Αφού το πρωτεύον έχει μόνο ένα κυματαριθμό $\alpha = -\kappa$, για την αλληλεπίδραση, πρέπει $\omega = \kappa v$, άρα $v = \frac{\omega}{\kappa} = v_s$.

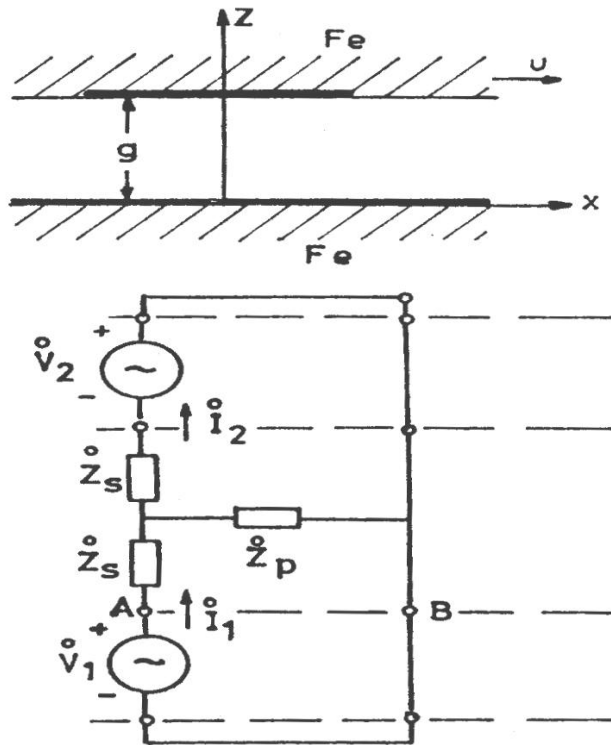
δηλαδή, το δευτερεύον πρέπει να κινείται με την ταχύτητα φάσεως του πρωτεύοντος, δηλαδή με τη σύγχρονη ταχύτητα v_s του κινητήρα.

Αν και τα παραπάνω αρμονικά κύματα έχουν την ίδια συχνότητα, στο χώρο έχουν και κάποια φασική διαφορά φ .

Άρα, εάν $\overset{0}{V}_1(-\kappa) = \sqrt{2} \cdot I \cdot (-\kappa) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa)$, τότε η διέγερση δευτερεύοντος θα είναι $\overset{0}{V}_2(-\kappa) = \left| \overset{0}{V}_2(-\kappa) \right| \cdot e^{j\varphi} = V_2 \cdot \cos\varphi + j \cdot V_2 \cdot \sin\varphi$. Με αλλά λόγια, η $\overset{0}{V}_2(-\kappa)$ προηγείται της $\overset{0}{V}_1(-\kappa)$ στο χώρο, κατά γωνία φ , με κοινή συχνότητα ω και σύγχρονη ταχύτητα v_s .

3.2 Ισοδύναμα κυκλώματα LSM

Το ισοδύναμο κύκλωμα για τον σύγχρονο ευθύγραμμο κινητήρα σιδήρου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.2.1. Ισοδύναμο κύκλωμα LSM σιδήρου

Τα Z_s , Z_p είναι οι αντιστάσεις στο χώρο Fourier του ισοδύναμου τετραπόλου του διακένου αέρος πάχους g , για $\alpha = -\kappa$. Δηλαδή:

$$Z_s = \frac{\kappa}{j \cdot \mu_0} \cdot \tanh\left(\frac{\kappa \cdot g}{2}\right) \quad (117)$$

$$Z_p = \frac{\kappa}{j \cdot \mu_0} \cdot \frac{1}{\sinh(\kappa \cdot g)} \quad (118)$$

Το επίπεδο ακριβώς πάνω από το πρωτεύον αντιπροσωπεύεται από τα σημεία A και B. Τα $\overset{\circ}{V}_1$, $\overset{\circ}{V}_2$ αντιπροσωπεύουν τις τάσεις πρωτεύοντος δευτερεύοντος που είναι αντίστοιχα :

$$\overset{\circ}{V}_1 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \kappa \cdot 2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa) \quad (119)$$

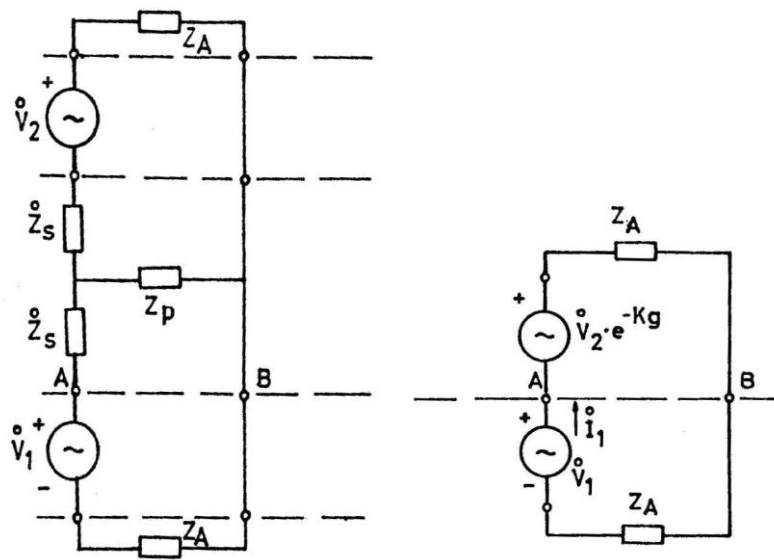
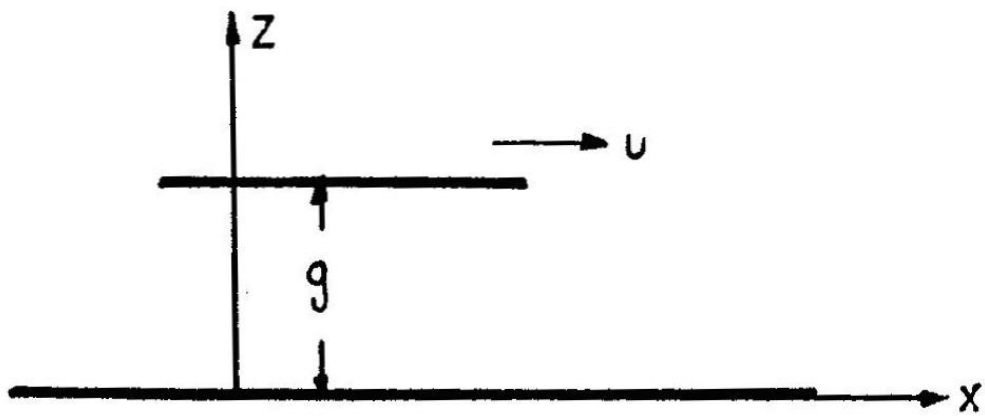
$$\overset{\circ}{V}_2 = \left| \overset{\circ}{V}_2(-\kappa) \right| \cdot e^{j\varphi} \quad (120)$$

Επιλύοντας το ισοδύναμο κύκλωμα μπορώ να αποδείξω ότι :

$$\overset{\circ}{I}_{AB} = \overset{\circ}{I}_1 = \frac{1}{\overset{\circ}{Z}_A} \left[\frac{\overset{\circ}{V}_1}{\tanh(\kappa \cdot g)} + \frac{\overset{\circ}{V}_2}{\tanh(\kappa \cdot g)} \right] \quad (121)$$

Όπου: $\overset{\circ}{Z}_A = \frac{\kappa}{j \cdot \mu_0}$ και βέβαια $\overset{\circ}{V}_1 = \overset{\circ}{V}_{AB}$.

Το μοντέλο για τον LSM αέρος με διάκενο g , με το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα του, φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 3.2.2. Ισοδύναμο κύκλωμα LSM αέρος

Αποδεικνύεται, κατά Thevenin, ότι πάνω από τα A,B(που αντιπροσωπεύουν το επίπεδο ακριβώς πάνω από το πρωτεύον), τα κυκλώματα του παραπάνω σχήματος είναι ισοδύναμα. Άρα ισχύει ότι:

$$\overset{\circ}{I}_1 = \frac{\overset{\circ}{V}_1 + V_2 e^{-|\alpha|g}}{2 \cdot Z_A}, \text{ με } Z_A = \frac{|\alpha|}{j \cdot \mu_0}$$

Με τον υπολογισμό του ισοδύναμου ρεύματος(Fourier) στο αντίστοιχο επίπεδο, ακριβώς πάνω από το πρωτεύον, υπολογίζονται και οι δυνάμεις και η ισχύς από τους παρακάτω τύπους συναρτήσεων των $\overset{\circ}{V}_{AB}(\alpha), \overset{\circ}{I}_{AB}(\alpha)$ ανά m πλάτους του κινητήρα.:

$$\text{-Δύναμη ωθήσεως ανά m πλάτος } T = -\frac{1}{2} \cdot \text{Real} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\overset{\circ}{V}_{AB}(\alpha) \cdot \overset{\circ}{I}_{AB}(\alpha)}{\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \quad (122)$$

$$\text{-Ισχύς ανά m πλάτους } P + jQ = \frac{1}{2} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\overset{\circ}{V}_{AB}(\alpha) \cdot \overset{\circ}{I}_{AB}(\alpha)}{\alpha^2} \cdot \omega \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \quad (123)$$

$$\text{-Δύναμη αναρτήσεως ανά m πλάτους } L = \frac{\mu_0}{4} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{|\overset{\circ}{V}_{AB}(\alpha)|^2}{\alpha^2} - \frac{|\overset{\circ}{I}_{AB}(\alpha)|^2}{\mu_0^2} \right] \cdot \frac{d\alpha}{2\pi}$$

Στον υπολογισμό των Q,L λαμβάνεται υπ' όψιν και η τροφοδοσία του πρωτεύοντος κατά τμήματα.

3.3 Υπολογισμός δυνάμεων-ισχύος στον LSM σιδήρου

Τα μεγέθη T, P, Q, L υπολογίζονται ανά m πλάτους του κινητήρα για λειτουργία υπό σταθερό ρεύμα.

α. Υπολογισμός ώθησης T και πραγματικής ισχύος P

Λαμβανομένου υπ'όψιν των τιμών για $\overset{\circ}{V}_{AB}(\alpha), \overset{\circ}{I}_{AB}(\alpha)$ και ότι η συνάρτηση $\delta(\alpha+\kappa)$ εξισώνει το ολοκλήρωμα με την τιμή της συνάρτησης για $\alpha=-\kappa$ θα είναι :

$$T = -\frac{1}{2} \text{Real} \left[\frac{j \cdot \mu_0}{\kappa^2} \cdot \frac{\overset{\circ}{V}_2 \cdot V_1}{\sinh(\kappa \cdot g)} \right] \quad (125)$$

Όπου

$$V_1 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \kappa \quad \text{με } I = \frac{3 \cdot N \cdot K_w \cdot I_\phi}{\pi \cdot \tau}$$

$$\overset{\circ}{V}_2 = V_2 \cdot e^{j\phi} \quad \text{με } V_2 = \left| \overset{\circ}{V}_2(-\kappa) \right|$$

Άρα:

$$T = \frac{\mu_o \cdot V_1 \cdot V_2}{2 \cdot \kappa^2 \cdot \sinh(\kappa \cdot g)} \cdot \sin \phi \quad (126)$$

Ομοίως,

$$P = \frac{1}{2} \text{Real} \left[\frac{j \cdot \mu_o}{\kappa^3} \cdot \frac{\overset{\circ}{V}_2 \cdot V_1 \cdot \omega}{\sinh(\kappa \cdot g)} \right] = \frac{\mu_o \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot v_s}{2 \cdot \kappa^2 \cdot \sinh(\kappa \cdot g)} \cdot \sin \phi \quad (127)$$

Δηλαδή $P = T \cdot v_s$, πράγμα αναμενόμενο αφού $\frac{\omega}{\kappa} = v_s$.

Αυτό προκύπτει διότι λόγω του συγχρονισμού δεν επάγονται ρεύματα στο δευτερεύον λόγω του πρωτεύοντος, άρα η πραγματική ισχύς μετατρέπεται σε μηχανική. Βεβαίως, αυτό δε σημαίνει ότι η απόδοση του κινητήρα είναι 100%.

Οι απώλειες πρωτεύοντος και δευτερεύοντος (P_L), που υπολογίζονται από τις αντιστάσεις των αντίστοιχων τυλιγμάτων και των ρευμάτων που τα διαρρέουν και οι απώλειες σιδήρου, μειώνουν την απόδοση στον αριθμό :

$$\eta = \frac{v_s \cdot T}{(v_s \cdot T) + P_L}$$

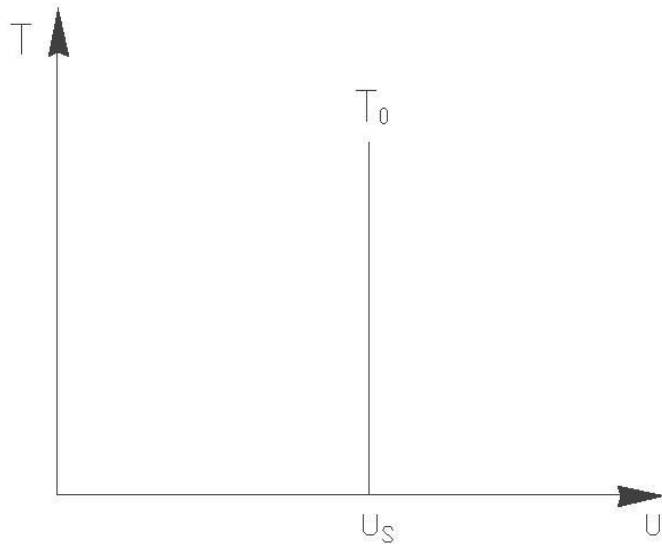
Ας σημειωθεί, επίσης, ότι το μέγεθος $\frac{V_1}{V_2}$ δεν είναι αδιάστατο αλλά

εκφράζεται σε m.

Η παράσταση:

$$T_0 = \frac{\mu_o \cdot V_1 \cdot V_2}{2 \cdot \kappa^2 \cdot \sinh(\kappa \cdot g)} \quad (128)$$

είναι η μέγιστη θετική ώθηση που μπορεί να δημιουργήσει ο LSM άρα το διάγραμμα ώθησης ταχύτητας του κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 3.1.3. που ακολουθεί:



Σχήμα 3.3.1. Διάγραμμα ώθησης ταχύτητας του κινητήρα

Ο LSM αποδίδει μηχανική ισχύ μόνον για $u = u_s$ και μάλιστα έως την τιμή T_0 . Αυτό σημαίνει ότι εάν πρέπει να υπερνικήσει κάποια εξωτερική αντίδραση, πρέπει αυτή για $u = u_s$ να υπολείπεται της T_0 , αλλιώς ο LSM αποσυγχρονίζεται και σταματά.

Ένας σωστά υπολογισμένος LSM για $u = u_s$ πρέπει να λειτουργεί υπό τάση που του επιτρέπει, για κάθε περίπτωση, να υπερβαίνει την εξωτερική δύναμη ανάσχεσης που μπορεί να προέρχεται από διάφορα αίτια, όπως αεραντίσταση, ηλεκτρομαγνητική ανάσχεση από το σύστημα ανάρτησης ή ανάσχεση από το ίδιο βάρος λόγω κλίσεως κ.τ.λ. Το πόσο η T_0 υπερβαίνει την εξωτερική ανάσχεση καθορίζει το $\sin\phi$ δηλαδή τη διαφορά φάσεως μεταξύ των δύο αρμονικών κυμάτων (πρωτεύοντος-δευτερεύοντος).

Η μέγιστη διαφορά φάσεως είναι $\frac{\pi}{2}$ και για διαφορά φάσεως ίση προς το μηδέν η ώθηση μηδενίζεται.

β. Υπολογισμός αέργου ισχύος Q

Κατά τον υπολογισμό της αέργου ισχύος εμφανίζονται δύο όροι Q_1 και Q_2 .

Το Q_1 δίδεται από τη σχέση :

$$Q_1 = \frac{1}{2} \cdot \text{Jmag} \left[\frac{j \cdot \mu_0}{\kappa^3} \cdot \frac{\overset{\circ}{V}_2 \cdot V_1 \omega}{\sinh(\kappa \cdot g)} \right] = \frac{\mu_0 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot u_s}{2 \cdot \kappa^2 \cdot \sinh(\kappa \cdot g)} \cdot \cos\phi \quad (129)$$

και εκφράζει την άεργο ισχύ από την αλληλεπίδραση πρωτεύοντος δευτερεύοντος.

Το Q_2 δίδεται από τη σχέση :

$$Q_2 = \frac{1}{2} \text{Jmag} \left\{ \frac{j \cdot \mu_0}{\kappa^3} \cdot \frac{\omega \cdot V_1^2}{\sinh(\kappa \cdot g)} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} [2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa)]^2 \cdot \frac{d\alpha}{2 \cdot \pi} \right\}$$

και εκφράζει την άεργο ισχύ από την ίδια δράση του πρωτεύοντος.

Εύκολα φαίνεται ότι η Q_2 είναι άπειρη επειδή το ολοκλήρωμα

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa)]^2 \cdot \frac{d\alpha}{2 \cdot \pi} \text{ είναι άπειρο.}$$

Αυτό γίνεται διότι δεν ελήφθη υπ' όψιν η τροφοδοσία του πρωτεύοντος κατά τμήματα. Εάν υποθέσουμε ότι τροφοδοτούμε μόνον ένα τμήμα μήκους X_M τότε η Q_2 δίνεται κατά προσέγγιση από τη σχέση :

$$Q_2 = \frac{\mu_0 \cdot v_s \cdot V_1^2 \cdot X_M}{2 \cdot \kappa^2 \cdot \tanh(\kappa \cdot g)} \quad (130)$$

Αυτός ο τύπος είναι σωστός μόνον εφόσον άνωθεν του τμήματος X_M του πρωτεύοντος υπάρχει σίδηρος.

Επειδή ο σίδηρος υπάρχει μόνον κατά το μήκος περίπου $2 \cdot P \cdot \tau$ (που αντιστοιχεί στους P πόλους του δευτερεύοντος) η Q_2 αποτελείται από τους δυο όρους, τον Q_{21} που δίδεται από την σχέση:

$$Q_{21} = \frac{\mu_0 \cdot v_s \cdot V_1^2 \cdot [2 \cdot p \cdot \tau]}{2 \cdot \kappa^2 \cdot \tanh(\kappa \cdot g)} \quad (131)$$

και εκφράζει την άεργο ισχύ του τμήματος του δευτερεύοντος που βρίσκεται στο διάκενο σιδήρου μεταξύ πρωτεύοντος δευτερεύοντος, και τον Q_{22} που θα ισούται με την άεργο ισχύ του τμήματος του πρωτεύοντος που «βλέπει» άνωθεν αέρα και έχει μήκος

$(X_M - 2 \cdot P \cdot \tau)$ και δίδεται κατά προσέγγιση από την σχέση:

$$Q_{22} = \frac{\mu_0 \cdot v_s \cdot V_1^2}{2 \cdot \kappa^2} (X_M - 2 \cdot p \cdot \tau) \quad (132)$$

Άρα:

$$Q_2 = \frac{\mu_0 \cdot v_s \cdot V_1^2}{2 \cdot \kappa^2} \left(X_M + \left[\frac{1}{\tanh(\kappa g)} - 1 \right] \cdot 2 \cdot p \cdot \tau \right) \quad (133)$$

Τέλος, ας παρατηρήσουμε ότι η Q_1 για $\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi$ (όπου $\sin \varphi > 0$) το $\cos \varphi$ είναι αρνητικό δηλαδή η άεργος ισχύς εξ' αλληλεπιδράσεως πρωτεύοντος δευτερεύοντος μπορεί να γίνει αρνητική (χωρητική).

γ. Υπολογισμός δυνάμεως αναρτήσεως L

Η δύναμη ανάρτησης L μπορεί να υπολογιστεί από το αντίστοιχο ολοκλήρωμά της, ξεχωρίζοντας με προσοχή τους όρους που γίνονται άπειροι και επανεκτιμώντας τις τιμές τους όπως θα προκύψουν από την πεπερασμένου μήκους τροφοδοσία του πρωτεύοντος και του σιδήρου του δευτερεύοντος.

Ένας διαφορετικός τρόπος που οδηγεί ευκολότερα στον υπολογισμό της L προκύπτει χρησιμοποιώντας τους ήδη υπολογισθέντες τύπους για την Q από τη σχέση :

$$L = \frac{\partial W}{\partial g} \text{ όπου } W \text{ είναι η αποθηκευμένη μαγνητική ενέργεια και σχετίζεται με}$$

$$\text{την άεργο ισχύ με την σχέση: } W = \frac{Q}{2 \cdot \omega}$$

άρα:

$$L = \frac{1}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{\partial Q}{\partial g} \text{ (για } I_\phi \text{ και } I_2 \text{ σταθερά)}$$

Άρα θα είναι :

$$L = \frac{1}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{\mu_0 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot v_s \cdot \cos\phi}{2 \cdot \kappa^2} \frac{\partial}{\partial g} \left[\frac{1}{\sinh(\kappa \cdot g)} \right] + \frac{1}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{\mu_0 \cdot V_1^2 \cdot v_s \cdot 2 \cdot p \cdot \tau}{2 \cdot \kappa^2} \frac{\partial}{\partial g} \left[\frac{1}{\sinh(\kappa \cdot g)} \right]$$

Δηλαδή:

$$L = - \frac{\mu_0}{4 \cdot \kappa^2 \cdot \sinh^2(\kappa \cdot g)} \left[V_1 \cdot V_2 \cdot \cos\phi \cdot \cosh(\kappa \cdot g) + V_1^2 \cdot 2 \cdot p \cdot \tau \right]$$

για $\kappa g \ll 1$ θα είναι $\sinh(\kappa \cdot g) \approx \kappa \cdot g$ και $\cosh(\kappa \cdot g) \approx 1$ άρα:

$$L \approx - \frac{\mu_0 \cdot V_1}{2 \cdot \kappa^4 \cdot g^2} \cdot (V_2 \cdot \cos\phi + V_1 \cdot 2 \cdot p \cdot \tau) \quad (134)$$

Το πρόσημο (-) σημαίνει αρνητική ελκτική δύναμη.

3.4 Υπολογισμός δυνάμεων-ισχύος στον LSM αέρος

α. Υπολογισμός ωθήσεως Ts πραγματικής ισχύος P

Λαμβανομένου υπ' όψιν ότι το ολοκλήρωμα T για $\overset{\circ}{V}_1, \overset{\circ}{V}_2$ γίνεται διαδοχικά:

$$T = -\frac{1}{2} \operatorname{Real} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{V_1^* \cdot I_{AB}}{\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \Rightarrow T = -\frac{1}{4} \operatorname{Real} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{j \cdot \mu_o}{\alpha \cdot |\alpha|} \cdot \left(\left| \overset{\circ}{V}_{1(\alpha)} \right|^2 + \overset{\circ}{V}_{1(\alpha)}^* \cdot \overset{\circ}{V}_{2(\alpha)} e^{-|\alpha|g} \right) \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \right] \Rightarrow$$

$$T = \frac{1}{4} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\mu_o}{\alpha \cdot |\alpha|} \operatorname{Imag} \left(\overset{\circ}{V}_{1(\alpha)} \overset{\circ}{V}_{2(\alpha)}^* e^{-|\alpha|g} \right) \cdot \frac{d\alpha}{2\pi}$$

Επειδή $\overset{\circ}{V}_{1(\alpha)} = 2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa) \cdot V_1$, με $V_1 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \kappa$:

$$T = \frac{\mu_o \cdot e^{-\kappa g}}{4 \cdot \kappa^2} \cdot V_1 \cdot \left| \overset{\circ}{V}_2(-\kappa) \right| \cdot \sin\varphi$$

Άρα:

$$T = \frac{\mu_o \cdot e^{-\kappa g}}{4 \cdot \kappa^2} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \sin\varphi \quad (135)$$

$$\text{Όπου } V_2 = \left| \overset{\circ}{V}_2(-\kappa) \right|.$$

Ακολουθώντας μια παρόμοια πορεία μπορεί να αποδειχτεί ότι:

$$P = \frac{\mu_o \cdot v_s \cdot e^{-\kappa g}}{4 \cdot \kappa^2} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \sin\varphi \quad (136)$$

$$\text{Δηλαδή : } P = v_s \cdot T$$

Ο βαθμός απόδοσης του LSM δίδεται από τη σχέση :

$$\eta = \frac{P}{P + P_L}$$

Όπου P_L = ωμικές απώλειες πρωτεύοντος, αφού στο υπεραγωγίμο δευτερεύον οι απώλειες είναι μηδενικές.

β. Υπολογισμός της αέργου ισχύος Q

Η συνολική αέργου ισχύς Q του πρωτεύοντος τυλίγματος θα δίδεται από το ολοκλήρωμα :

$$Q = \text{Jmag} \left[\frac{1}{2} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\overset{\circ}{V}_{1(\alpha)} \cdot \overset{\circ}{I}_{AB(\alpha)} \cdot \omega}{\alpha^2} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \right]$$

Γίνεται ίση προς:

$$Q = \frac{\mu_0 \cdot \omega}{4} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|V_{1(\alpha)}|^2}{\alpha^2 \cdot |\alpha|} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} + \text{Real} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\overset{\circ}{V}_{1(\alpha)} \cdot \overset{\circ}{V}_{2(\alpha)} e^{-|\alpha|g}}{\alpha^2 \cdot |\alpha|} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \right]$$

Το πρώτο ολοκλήρωμα για πρωτεύον απείρου μήκους όπου $V_{1(\alpha)} = 2 \cdot \pi \cdot \delta(\alpha + \kappa) \cdot V_1$ κατά τα γνωστά απειρίζεται.

Για πεπερασμένο μήκος πρωτεύοντος (τροφοδοσία κατά τμήματα μήκους X_M) το πρώτο ολοκλήρωμα γίνεται:

$$Q_1 = \frac{\mu_0 \cdot \omega}{4 \cdot \kappa^3} \cdot V_1^2 \cdot X_M = \frac{\mu_0 \cdot v_s}{4 \cdot \kappa^2} \cdot V_1^2 \cdot X_M \quad (137)$$

Το δεύτερο ολοκλήρωμα ισούται προς:

$$Q_2 = \frac{\mu_0 \cdot \omega \cdot e^{-\kappa g}}{4 \cdot \kappa^3} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \cos\varphi = \frac{\mu_0 \cdot v_s \cdot e^{-\kappa g}}{4 \cdot \kappa^2} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \cos\varphi \quad (138)$$

$$\text{Όπου } V_1 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \kappa, \quad V_2 = \left| \overset{\circ}{V}_2(-\kappa) \right|$$

Παρατηρούμε ότι το Q_2 για $\frac{\pi}{2} < \varphi \leq \pi$ γίνεται αρνητικό. Άρα κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις είναι δυνατόν η συνολική $Q = Q_1 + Q_2$ να γίνει αρνητική δηλαδή ο LSM αέρος να συμπεριφέρεται ως πυκνωτής.

γ. Υπολογισμός της δύναμης ανάρτησης L

Η δύναμη ανάρτησης L μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση :

$$L = \frac{\partial W}{\partial g} \quad \text{όπου } W = \frac{Q}{2\omega} = \text{αποθηκευμένη μαγνητική ενέργεια}$$

Άρα:

$$L = \frac{1}{2\omega} \frac{\partial Q}{\partial g}$$

Κατά συνέπεια θα είναι :

$$L = - \frac{\mu_0 \cdot e^{-\kappa g}}{8 \cdot \kappa^2} V_1 \cdot V_2 \cdot \cos\varphi \quad (139)$$

Η δύναμη αυτή για $0 \leq \varphi < \frac{\pi}{2}$ είναι αρνητική (ελκτική μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος) για $\frac{\pi}{2} < \varphi \leq \pi$ γίνεται θετική (απωστική μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος).

Ας υποθέσουμε ότι ζητείται η ελκτική δύναμη ανάρτησης και η ώθηση να είναι ίσες. Τότε θα πρέπει $\frac{\cos\varphi}{2} = \sin\varphi \Rightarrow \tan\varphi=0.5 \Rightarrow \varphi=83.45^\circ \Rightarrow \sin\varphi=0.4472$.

Άρα για τη γωνία αυτή θα είναι:

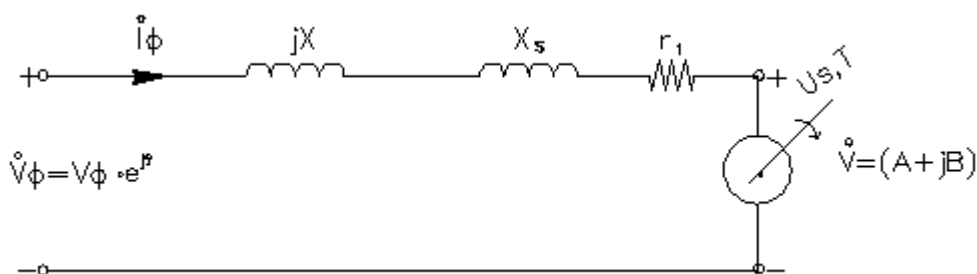
$$L=T = \frac{\mu_0 \cdot e^{-k \cdot g} \cdot V_1 \cdot V_2}{\kappa^2} \cdot 0.112$$

3.5 Λειτουργία LSM αέρος υπό σταθερή τάση

Κατά τη λειτουργία του LSM αέρος υπό σταθερή τάση, η πραγματική ενεργός ισχύς P που μετατρέπεται σε μηχανική, είναι ανάλογη του I_ϕ και δίνεται από την $P=3 \cdot A \cdot I_\phi$. Η άεργος ισχύς Q , αποτελείται από δυο συνιστώσες, τις Q_1 και Q_2 , όπου $Q_1=3 \cdot B \cdot I_\phi$ (άεργος ισχύς εξ αλληλεπαγωγής πρωτεύοντος, ανάλογη του I_ϕ) και $Q_2=3 \cdot X \cdot I_\phi^2$ (άεργος ισχύς εξ αυτεπαγωγής πρωτεύοντος, ανάλογη του I_ϕ^2). Υπό σταθερή τάση, παράγεται και άεργος ισχύς σκεδάσεως Q_s (στους αύλακες ή στις πλάγιες συνδέσεις), όπου $Q_s \approx (3 \div 5\%) Q_2$.

Οι ωμικές απώλειες του πρωτεύοντος, είναι ίσες προς $P_L=3 \cdot I_\phi^2 \cdot r_1$, όπου r_1 η φασική αντίσταση του πρωτεύοντος.

Επειδή τα P και Q είναι ανάλογα της I_ϕ κατά μέτρο, στο παρακάτω ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα για τον LSM αέρος, το I_ϕ λαμβάνεται ως μέγεθος αναφοράς ($I_\phi = I_\phi \angle 0^\circ$).



Σχήμα 3.5.1. Ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα LSM αέρος

Η ισοδύναμη τάση του κυκλώματος είναι $\overset{\circ}{V}=(A+jB)$, με μηχανική ισχύ ανά φάση $A I_{\phi}$ και άεργο $j \cdot B \cdot I_{\phi}$.

Για δεδομένα τα $A, B, X, X_s, r_1, V_{\phi}$ προσδιορίζονται τα θ, I_{ϕ} από τη μιγαδική σχέση:

$$V_{\phi} \cdot e^{j\theta} = I_{\phi} \cdot (j \cdot (X+X_s) + r_1) + A + B \cdot j$$

Άρα:

$$(1) \quad V_{\phi}^2 = (A + I_{\phi} \cdot r_1)^2 + (B + I_{\phi} \cdot (X + X_s))^2$$

$$(2) \quad \theta = \arctan\left(\frac{B + I_{\phi} \cdot (X + X_s)}{A + I_{\phi} \cdot r_1}\right)$$

Από την (1) προσδιορίζεται το I_{ϕ} ως η θετική ρίζα της δευτεροβάθμιας εξίσωσης :

$$\left[(X + X_s)^2 + r_1^2 \right] \cdot I_{\phi}^2 + 2 \left[A \cdot r_1 + B \cdot (X + X_s) \right] \cdot I_{\phi} + \left[A^2 + B^2 - V_{\phi}^2 \right] = 0$$

Για να μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας υπό τάση V_{ϕ} η διακρίνουσα της δευτεροβάθμιας εξίσωσης πρέπει να είναι μη αρνητική.

$$\Delta \text{ηλαδή} : \left[A \cdot r_1 + B \cdot (X + X_s) \right]^2 - \left[(X + X_s)^2 + r_1^2 \right] \cdot \left[A^2 + B^2 - V_{\phi}^2 \right] \geq 0$$

Με δεδομένη την I_{ϕ} η διαφορά φάσεως μεταξύ της φασικής τάσης και έντασης προσδιορίζεται από την (2) δηλαδή προσδιορίζεται το συνημίτονο λειτουργίας του κινητήρα $\cos\theta$.

Η μηχανική ισχύς του σύγχρονου κινητήρα δίδεται από τη σχέση $P = 3 \cdot A \cdot I_{\phi}$ και η απόδοση θα είναι ίση προς :

$$\eta = \frac{L \cdot P}{L \cdot P + P_L}$$

$$P_L = 3 \cdot I_{\phi}^2 \cdot r_1 + I_o^2 \cdot r_2$$

Όπου : r_2 = αντίσταση τυλίγματος του δευτερεύοντος (για υπεραγωγίμο δευτερεύον $r_2 = 0$).

Υπό σταθερή τάση και φορτίο, με δεδομένη την παρακάτω σχέση $I_{\varphi} \cdot \sin\varphi = \frac{T \cdot v_s}{3 \cdot V_o} = c$, είναι γνωστό, έπειτα από μια σειρά υπολογισμών, εξάγεται η I_{φ}

$$\text{ίση με: } I_{\varphi} = \frac{\sqrt{2A_1B_1+1-\sqrt{1+4A_1B_1-4c^2}}}{\sqrt{2A_1}}.$$

Για δεδομένη I_{φ} , προσδιορίζονται τα $\sin\varphi$ και $\cos\varphi$, από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\theta = \arctan\left(\frac{V_o \cos\varphi + I_{\varphi} (X + X_s)}{V_o \sin\varphi + I_{\varphi} r_1}\right)$$

$$\eta = \frac{P}{P + jI_{\varphi}^2 r_1 + I_o^2 r_2} \quad (\text{η ισχυς } P \text{ δίδεται})$$

3.6 Εφαρμογή(LSM σιδήρου)

Οι εξισώσεις, οι οποίες χαρακτηρίζουν τη λειτουργία ενός LSM σιδηρού, οδηγούν στην κατάρτιση ενός maglev σχεδίου, συμβάλλοντας στον υπολογισμό των βασικών στοιχείων που το απαρτίζουν. Τα δεδομένα εκκίνησης της ανάπτυξης ενός τέτοιου σχεδίου, ποικίλουν ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις της κατασκευάστριας αρχής.

Στην παρούσα εφαρμογή θεωρούμε ότι, το maglev σύστημα ωθείται από LSM με δευτερεύον σιδηρού συχνότητας 50Hz. Στο πρωτεύον έχουμε μακρύ διπλό τριφασικό τύλιγμα με $K_w=0,951$ και $N_1=100$ αγωγούς ανά πόλο και πλάτος 1,5m. Στο δευτερεύον έχουμε $N_1=N_2=100$ ανά πόλο τετραπολικό διανεμημένο τύλιγμα συνεχούς $I_0=I_{\varphi}$ και πλάτος επίσης 1,5m. Το διάκενο θεωρείται $g=1\text{cm}$ με συντελεστή διόρθωσης 1,05. Το βάρος του οχήματος θεωρείται ως $B=30\text{tn}=300000\text{Nt}$ με μετωπική επιφάνεια(επιφάνεια προσβολής) $A=8\text{m}^2$. Όσον αφορά το πολικό βήμα τα, αυτό εξάγεται από την $2ft=U_s$. Αφού η επιθυμητή μέγιστη ταχύτητα του οχήματος είναι $U_s=150\text{m/s}$ έχουμε ότι $\tau=1,5\text{m}$. Θεωρούμε,επίσης, κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας($T=285^{\circ}\text{K}$, $P=101300\text{Pa}$ και πυκνότητα αέρα $P=1,25 \text{ kg/m}^3$).

Η δύναμη ώθησης T του LSM σιδηρού του οχήματος, για να εξασφαλίζει την ευθύγραμμη κίνηση του οχήματος, οφείλει να είναι ίση με τη δύναμη της αντίστασης από τον αέρα, την οποία δέχεται η μετωπική επιφάνεια του κατά τη κίνηση. Η

αντίσταση του αέρα δίνεται από τον τύπο $F = \frac{c}{2} \rho A v^2 + B \sin \phi \left(\frac{v}{v_0}\right)^2$, όπου $c=0,3f$ (αεροδυναμικός συντελεστής), $f=1$ (αριθμός βαγονιών που δέχονται την αντίσταση του αέρα), $A=8m^2$ (επιφάνεια προσβολής), $v=150m/s=v_s(540km/h)$, $B=30tn=30000 \cdot 9,81Nt$, $\frac{v}{v_0} = 1$ και $\sin\phi=0,173$ για κλίση $\phi=10^0$. Άρα $F=84663,9Nt$.

Επιθυμούμε $T_{F_{max}} \geq F$, όποτε θέτουμε ως προδιαγραφή $T_{F_{max}} = 85000Nt$.

Γνωρίζουμε ότι $T_F = \frac{\mu_0 \left| V_1^0(-k) \right| \left| V_2^0(-k) \right|}{2k^2 \sinh(kg)} \sin \phi \cdot 1,5$ (όπου 1,5 το πλάτος), όποτε

$T_{F_{max}} = \frac{\mu_0 \left| V_1^0(-k) \right| \left| V_2^0(-k) \right|}{2k^2 \sinh(kg)} \cdot 1,5$. Επειδή έχουμε τετραπολικό κινητήρα, ισχύει ότι

$\left| V_2^0(-\kappa) \right| = \left| 4p \frac{N_2 I_0}{\tau} \right| = \left| 4 \cdot 2 \frac{N_2 I_0}{\tau} \right| = \left| 8 \frac{N_2 I_0}{\tau} \right|$ και επειδή $N_2=N_1=N$, $I_\phi=I_0$, τότε

$\left| V_2^0(-\kappa) \right| = \left| 8 \frac{N_2 I_\phi}{\tau} \right|$. Επίσης, ισχύει ότι $\left| V_1^0(-k) \right| = \left| \sqrt{2} I \cdot k \right| = \left| \frac{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot N_1 k_w I_\phi}{\pi \cdot \tau} \right|$, $\kappa=\pi/\tau$.

Εξισώνοντας, λαμβάνουμε το φασικό ρεύμα του πρωτεύοντος(και κατά συνέπεια του δευτερεύοντος) το οποίο είναι $I_\phi=425,925 A$.

Ο υπολογισμός του φασικού ρεύματος είναι μόνο ένα από τα κατασκευαστικά στοιχεία ενός LSM, τα οποία μπορούν να προσδιοριστούν. Υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί κατασκευής LSM για ένα συγκεκριμένο όχημα, από τους οποίους μπορούμε να οδηγηθούμε στον βέλτιστο τεχνικό και τεχνοοικονομικό, ανάλογα με τις εκάστοτε παροχές και απαιτήσεις.

Η πραγματική ισχύς P_{max} δίνεται από τον τύπο $P_{max}=T_{F_{max}}v_s$ και είναι ίση με $P_{max}=12,75 MW$.

Στην παρούσα εφαρμογή, αφού $T_{F_{\max}}=F_{\max}$, τότε $\sin\theta=1$ (δηλαδή η διαφορά φάσης πρωτεύοντος-δευτερεύοντος είναι $\pi/2$). Για αυτή τη διαφορά φάσης, δεν υφίστανται άεργες απώλειες αλληλεπίδρασης πρωτεύοντος-δευτερεύοντος. Οι άεργες απώλειες είναι αυτές που προέρχονται μόνο από την ίδια δράση του πρωτεύοντος. Επειδή έχουμε επιλέξει τροφοδότηση ανά τμήματα μήκους $X_M=2\text{km}$, τότε οι άεργες απώλειες του συστήματος δίνονται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = \frac{\mu_0 \nu_s V_1^2}{2k^2 \tanh(kg)} \left[X_M + \left(\frac{1}{\tanh(kg)} - 1 \right) 2p\tau \right] \cdot 1,5 = \dots\dots\dots$$

Η δύναμη ανάρτησης L του συστήματος είναι ελκτική και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο ($\cos\varphi=0$):

$$L \cong 2 \frac{\mu_0 |V_1(-k)|^2 p\tau \cdot 1,5}{2k^4 g^2} = \dots\dots\dots$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ EMS-EDS

4.1 Ηλεκτρομαγνητικό ελκτικό σύστημα ανάρτησης (EMS)

Κατά την παρουσίαση του συστήματος Transrapid, αναφερθήκαμε σε δυο συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση και οδήγηση των οχημάτων στο διάδρομο: το ηλεκτροδυναμικό σύστημα ανάρτησης(EDS) και το ηλεκτρομαγνητικό σύστημα ανάρτησης(EMS).

Όσον αφορά το ηλεκτρομαγνητικό σύστημα ανάρτησης EMS, αυτό είναι ένα ελκτικό σύστημα ανάρτησης, το οποίο βασίζεται στην ελκτική δύναμη που ασκείται από ένα σύνολο ηλεκτρομαγνητών, τα οποία βρίσκονται στη βάση του οχήματος, σε μια σταθερή δοκό που εκτείνεται κατά μήκος της διαδρομής του(Σχήμα). Η ελκτική δύναμη των ηλεκτρομαγνητών, είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας του οχήματος και δίνεται από τη σχέση $F = \frac{B_n^2}{2\mu_0} \cdot S$, όπου B_n η κάθετη μαγνητική επαγωγή στην επιφάνεια S του ηλεκτρομαγνήτη. Εφόσον, $B_n < 1$ Tesla, είναι ανάλογη, κατά προσέγγιση, του ρεύματος I του ηλεκτρομαγνήτη, δηλαδή $\frac{B_n}{\mu_0} \cdot d = N \cdot I$, όπου N τα ελίγματα του ηλεκτρομαγνήτη και d το μήκος του διακένου. Άρα, $F = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \left(\frac{N \cdot I}{d}\right)^2 \cdot S$.

Από την παραπάνω σχέση, είναι φανερό ότι, η ελκτική δύναμη F , εξαρτάται από το μήκος του διακένου και μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου αυτού. Επειδή, επιθυμείται η διατήρηση της δύναμης και του διακένου σταθερή, επιβάλλεται η σταθεροποίηση του λόγου I/d (αφού η F σταθερή και ίση με το βάρος του οχήματος). Σε μεταβολές του μήκους του διακένου(λόγω αναταράξεων, εξαιτίας καιρικών και άλλων εξωτερικών απρόβλεπτων παραγόντων), υπάρχει ηλεκτρονικό σύστημα, το οποίο μεταβάλλει το ρεύμα I του ηλεκτρομαγνήτη και επαναφέρει το διάκενο στην αρχική του διάσταση(όπως έχει δείχθει άλλωστε και στο κεφάλαιο της παρουσίασης του Transrapid). Η μοναδική, δηλαδή, πολυπλοκότητα την οποία παρουσιάζει το σύστημα αυτό, είναι η ανάγκη χρήσης και λειτουργίας ενός συστήματος αυτομάτου έλεγχου.

Ενδιαφέρουσα παραλλαγή του EMS συστήματος, είναι αυτή, κατά την οποία, οι ηλεκτρομαγνήτες αντικαθίστανται από μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι καλύπτουν ένα μεγάλο ποσοστό του βάρους του οχήματος(π.χ το 80%). Οι ηλεκτρομαγνήτες θα υπάρχουν πάντα στο όχημα, για την κάλυψη του υπολοίπου φορτίου και την διατήρηση του διακένου σταθερή.

Μια άλλη Ενδιαφέρουσα παραλλαγή του EMS, πραγματοποιείται με ηλεκτρικά ρουλεμάν. Αποτελεί αρκετά σύγχρονη τεχνολογία, η οποία εφαρμόζεται κυρίως σε συστήματα αντίθετης ανάρτησης από αυτής των Transrapid τρένων(τύπου «κρεμάστρας»).

4.2 Ηλεκτροδυναμικό απωστικό σύστημα ανάρτησης (EDS)

4.2.1 EDS με υπεραγωγούς

Στα EDS συστήματα, η δύναμη ανάρτησης είναι απωστική και ασκείται μεταξύ ενός αγωγίμου φύλλου ή ενός δευτερεύοντος διαδοχικών βραχυκυκλωμένων αγωγίμων σπειρών, και ενός ταχέως κινούμενου κλειστού αγωγού πρωτεύοντος, διαρρεόμενου από συνεχές ρεύμα.

Στο EDS υπεραγωγών, το πρωτεύον αποτελείται από ένα σύνολο υπεραγωγίμων ορθογώνιων πλαισίων, διαρρεόμενων από ισχυρά ρεύματα (χωρίς ωμικές απώλειες), πλάτους L , με την κίνηση να γίνεται καθετα ως προς το επίπεδο L .

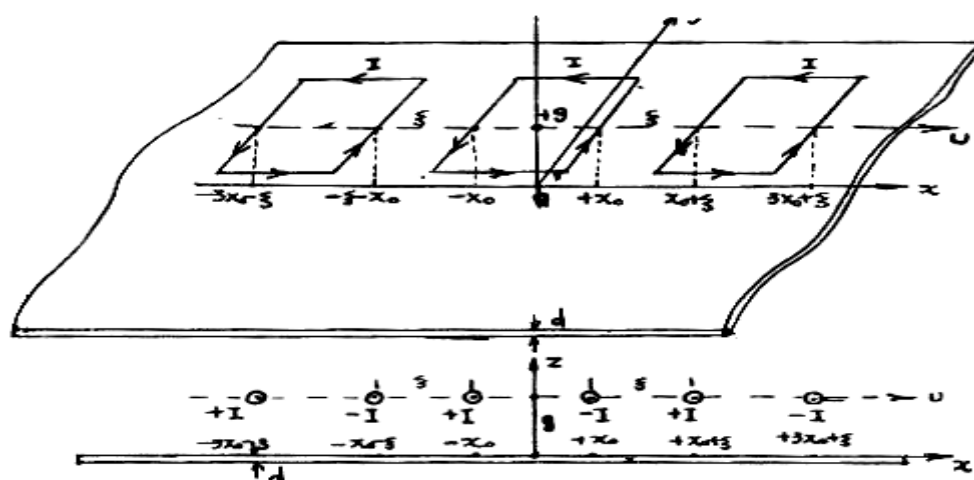
Το δευτερεύον, είναι συνήθως φύλλο αλουμινίου, πάχους d (συνήθως 1cm). Το διάκενο μεταξύ πρωτεύοντος-δευτερεύοντος είναι g (της τάξης των 5-20cm), αέρος, όποτε μ (μαγνητική διαπερατότητα) ίση με μ_0 παντού.

Αυτό σημαίνει ότι έχουμε το τρισδιάστατο μοντέλο εργασίας του Σχήματος 4.2.1.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο του σχήματος έχουμε 3 ορθογωνικά πλαίσια διαρρεόμενα από ομόρροπα ρεύματα I .

Το αντίστοιχο διδιάστατο μοντέλο είναι βεβαίως προσέγγιση που όμως μπορεί να μας δώσει καλά υπολογιστικά αποτελέσματα, ανά m πλάτους L .

Τα υπεραγωγίμα πλαίσια έχουν διαστάσεις $(2 \cdot x_0 \cdot L)$ και απέχουν απόσταση δ μεταξύ τους. Τα πλαίσια βρίσκονται πάντοτε επί του κινητηρίου οχήματος και απέχουν απόσταση g από το δευτερεύον αγωγίμο φύλλο, το οποίο έχει πάχος d και αγωγιμότητα σ . Η ταχύτητα του κινητηρίου οχήματος (δηλαδή η σχετική ταχύτητα πρωτεύοντος-δευτερεύοντος) συμβολίζεται με v .



Σχήμα 4.2.1.1 Τρισδιάστατο μοντέλο EDS υπεραγωγών

Η ισοδύναμη διδιάστατη διέγερση θα είναι ένα σύνολο από πολύ λεπτούς αγωγούς στην κατεύθυνση y που διαρρέονται από συνεχές ρεύμα I . Κάθε λεπτός αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα I και απέχει απόσταση x_k από το μέσον της διάταξης έχει ισοδύναμη τάση αντίστοιχα την :

$$\overset{0}{V}(a) = -\alpha \cdot I_0 e^{j\alpha x_k}$$

Αν λχ έχουμε ένα πλαίσιο με διαστάσεις $2 \cdot x_0 \cdot L$ η συνολική διέγερση του θα είναι ίση προς :

$$\overset{0}{V}_1(a) = \alpha \cdot I_0 \cdot e^{j\alpha x_0} - \alpha \cdot I_0 \cdot e^{-j\alpha x_0} = 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0)$$

Εάν έχουμε δυο όμοια πλαίσια που τα κέντρα τους απέχουν απόσταση 2δ , ($\delta > x_0$) και διαρρέονται από ίσα και ομόρροπα ρεύματα ή ισοδύναμη τάση τους θα είναι :

$$\overset{0}{V}_2(a) = 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot e^{j\alpha \delta} + 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot e^{j\alpha \delta}$$

$$\text{Δηλαδή } \overset{0}{V}_2(a) = 4 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot \cos(\alpha \cdot \delta)$$

Εάν τα πλαίσια διαρρέονται από ίσα αλλά αντίρροπα ρεύματα η ισοδύναμη τάση τους θα είναι:

$$\overset{0}{V}'_2(a) = 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot e^{j\alpha \delta} - 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot e^{j\alpha \delta}$$

$$\overset{0}{V}'_2(a) = 4 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot \sin(\alpha \cdot \delta)$$

Για κ πλαίσια με ίσα και όμορροπα ρεύματα I_0 ισαπέχοντα, σε απόσταση 2δ μεταξύ τους, μπορώ να αποδείξω ότι:

$$\overset{0}{V}_\kappa(a) = 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot [1 + e^{-j2\alpha\delta} + e^{-j2(2\alpha\delta)} + e^{-j3(2\alpha\delta)} + \dots + e^{-j(\kappa-1)(2\alpha\delta)}]$$

Άρα

$$\overset{0}{V}_\kappa(a) = 2 \cdot j \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \sin(\alpha \cdot x_0) \cdot \left[\frac{1 - e^{-j\kappa(2\alpha\delta)}}{1 - e^{-j2\alpha\delta}} \right] \quad (151)$$

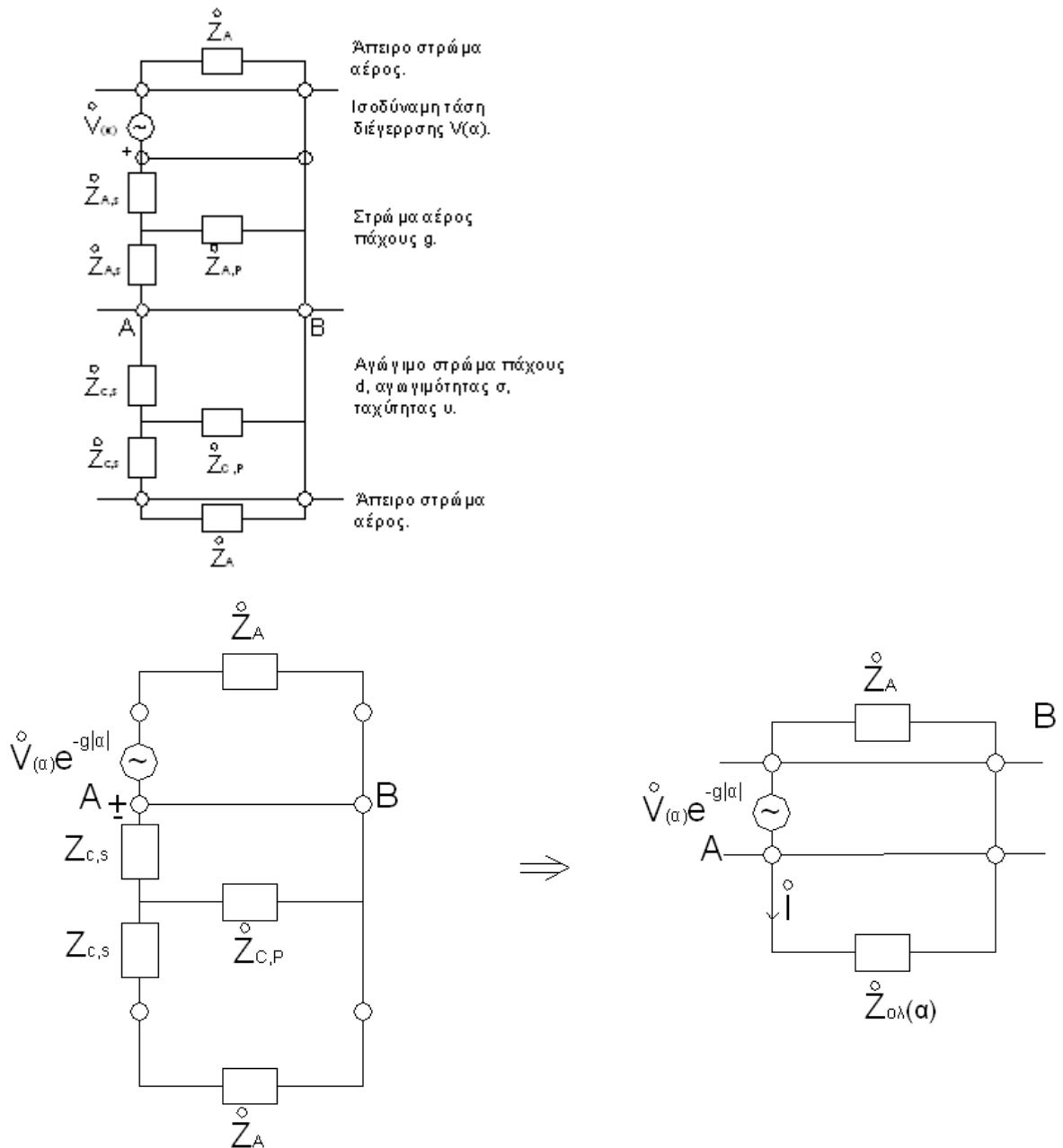
Αν τα κ πλαίσια εναλλάσσουν φορά ρεύματος διαδοχικά μπορεί ν' αποδειχτεί ότι:

$$\overset{0}{V}'_\kappa(a) = 2j\alpha I_0 \sin(\alpha x_0) \cdot \left[\frac{1 - (-e^{-j2\alpha\delta})^\kappa}{1 - e^{-j2\alpha\delta}} \right] \quad (152)$$

Στις δυο τελευταίες περιπτώσεις για τον υπολογισμό της ισοδύναμης τάσης $\overset{0}{V}(a)$, ως αρχή των συντεταγμένων ελήφθη το μέσο του πρώτου πλαισίου. Επειδή

στους τελικούς τύπους υπολογισμού των δυνάμεων L,D εισέρχεται η $\left| \overset{0}{V}(\alpha) \right|^2$. Η επιλογή της αρχής δεν επηρεάζει τις τιμές των δυνάμεων, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο.

Το ισοδύναμο κύκλωμα της ηλεκτρομαγνητικής διάταξης, καθώς και οι νόμοι-σχέσεις που το διέπουν, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



$$\overset{0}{I}(\alpha) = \frac{\overset{0}{V}(\alpha) \cdot e^{-|\alpha|g}}{\overset{0}{Z}_A + \overset{0}{Z}_{ολ}(\alpha)} \quad (153)$$

$$\text{Όπου: } Z_A = \frac{|\alpha|}{j \cdot \mu_0}, \quad Z_{\text{ολ}}(\alpha) = \frac{Z_A + \tanh(\gamma \cdot d) \cdot Z_C}{1 + \frac{Z_A}{Z_C} \cdot \tanh(\gamma \cdot d)} \quad (154)$$

$$\text{Όπου: } \gamma^2 = \alpha^2 + j \cdot \mu_0 \cdot \sigma \cdot \alpha \cdot \nu, \quad Z_C = \frac{\gamma}{j \mu_0}$$

$$V_{AB} = I(\alpha) \cdot Z_{\text{ολ}}(\alpha)$$

Σχήμα 4.2.1.2. Το ισοδύναμο κύκλωμα της ηλεκτρομαγνητικής διάταξης, καθώς και οι νόμοι-σχέσεις που το διέπουν

Για συνεχές ρεύμα, οι δυνάμεις, οι οποίες αναπτύσσονται μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, προκύπτουν από τους παρακάτω τύπους:

$$D = \text{Real} \int_{-\infty}^{+\infty} |I(\alpha)|^2 \cdot \frac{Z_{\text{ολ}}^*(\alpha)}{\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \quad (155)$$

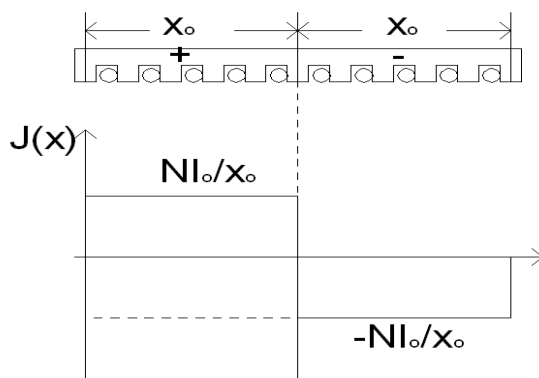
$$L = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} |I(\alpha)|^2 \cdot \left(\left| \frac{Z_{\text{ολ}}(\alpha)}{\alpha} \right|^2 - \frac{1}{\mu_0^2} \right) \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} \quad (156)$$

Οι δυνάμεις αυτές είναι βεβαίως ανά m του πλάτους της διέγερσης .

4.2.2 EDS με ηλεκτρομαγνήτες

Αντί υπεραγωγού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρομαγνήτης διότι, η κινούμενη σπείρα, σχετικά με το αγωγίμο φύλλο του δευτερεύοντος, είναι ισοδύναμη με ένα μαγνήτη. Για ευθύγραμμες διατάξεις, η διασπορά του τυλίγματος πραγματοποιείται σε όλο το μήκος του ηλεκτρομαγνήτη.

Η διέγερση του πρωτεύοντος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

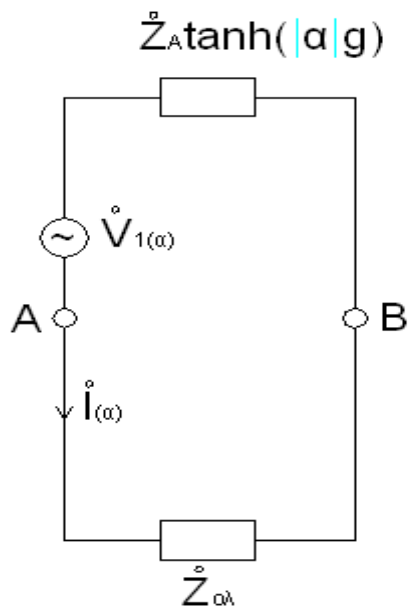
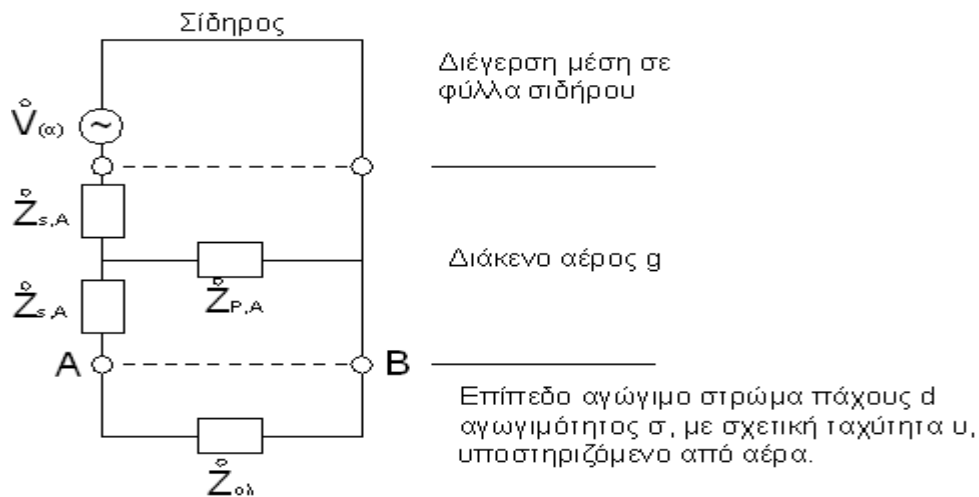


Σχήμα 4.2.2.1 Η πυκνότητα ρεύματος $J(x)$ σε σχέση με το πολικό βήμα

Η ισοδύναμη γραμμική πυκνότητα ρεύματος της παραπάνω διέγερσης, για N σύνολο αγωγών τυλίγματος και I_0 ρεύματος αυτών, δίνεται από τη σχέση $J = \frac{N \cdot I_0}{2 \cdot x_0}$

και είναι αρνητική μετά το μέσο της διάταξης. Η ισοδύναμη τάση διέγερσης είναι ίση προς $\overset{0}{V}(\alpha) = \alpha \cdot J \cdot \frac{4 \cdot j}{\alpha} \cdot \sin^2\left(\alpha \cdot \frac{x_0}{2}\right) = \frac{4 \cdot N \cdot I_0 \cdot j}{\chi_0} \cdot \sin^2\left(\alpha \cdot \frac{x_0}{2}\right)$

Το ισοδύναμο κύκλωμα της διάταξης, καθώς και το ισοδύναμο Thevenin αυτού, φαίνονται παρακάτω:



Όπου :

$$\overset{0}{Z}_{o\lambda} = \frac{\overset{0}{Z}_A + \overset{0}{Z}_C \cdot \tanh(\gamma \cdot d)}{1 + \frac{\overset{0}{Z}_A}{\overset{0}{Z}_C} \cdot \tanh(\gamma \cdot d)}$$

$$V_1(\alpha) = \frac{V(\alpha)}{\cosh^2\left(\frac{g \cdot |\alpha|}{2}\right)} \quad \text{Άρα } I(\alpha) = \frac{V_1(\alpha)}{Z_{o\lambda} + Z_A \cdot \tanh(g \cdot |\alpha|)}$$

$$V_{AB} = I(\alpha) \cdot Z_{o\lambda}$$

Σχήμα 4.2.2.2 Το ισοδύναμο κύκλωμα της ηλεκτρομαγνητικής διάταξης, το ισοδύναμο Thevenin καθώς και οι νόμοι-σχέσεις που το διέπουν

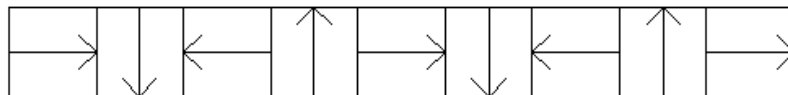
Οι δυνάμεις L, D ανά m πλάτους πρωτεύοντος, υπολογίζονται από τα παρακάτω ολοκληρώματα:

$$D = \text{Real} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{I(\alpha) \cdot V_{AB}^*(\alpha)}{\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} = \int_{-\infty}^{+\infty} D_1(\alpha) \cdot \frac{d\alpha}{2\pi}$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{|V_{AB}|^2}{\alpha^2} - \frac{|I(\alpha)|^2}{\mu_0^2} \right] \cdot \frac{d\alpha}{2\pi} = \int_{-\infty}^{+\infty} L_1(\alpha) \cdot \frac{d\alpha}{2\pi}$$

Το EDS σύστημα, μπορεί να λειτουργήσει και, εάν στη θέση των σιδηρομαγνητών τοποθετηθούν μόνιμοι μαγνήτες, σύμφωνα με την διάταξη του παρακάτω σχήματος:

ΑΣΘΕΝΕΣ ΠΕΔΙΟ

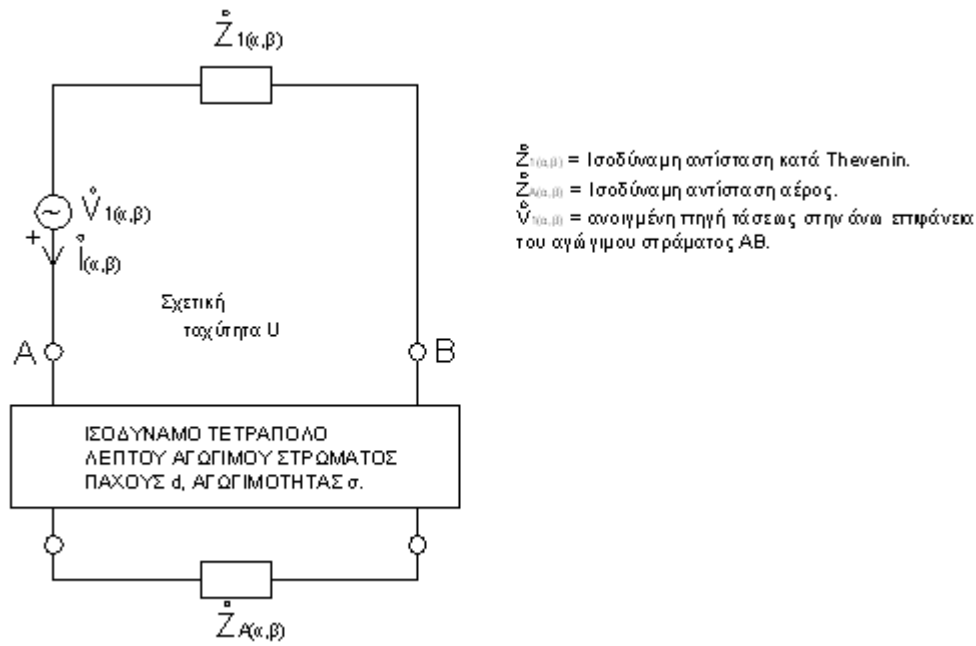


ΙΣΧΥΡΟ ΠΕΔΙΟ

Η διάταξη αυτή, ονομάζεται διάταξη Halbach, έχει την ιδιότητα να δημιουργεί ισχυρό μαγνητικό πεδίο στο κάτω μέρος της και αμελητέο στο πάνω και αποτελείται από 4 κατακόρυφους και 5 οριζόντιους κατ'εναλλαγήν διαδοχικούς μόνιμους μαγνήτες.

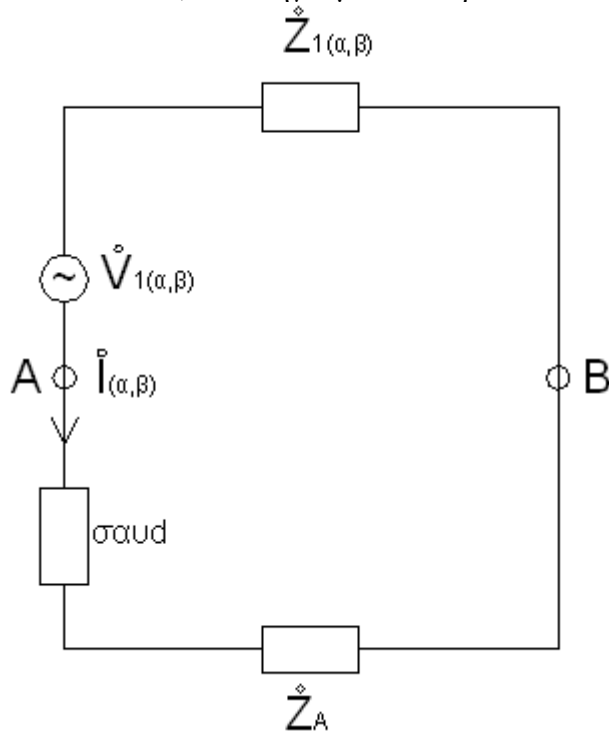
Ο λόγος της δύναμης ανάρτησης προς τη δύναμη ανάσχεσης L/D, είναι, κατά κάποιο τρόπο, μέτρο της ενεργειακής ποιότητας του συστήματος ανάρτησης (L το βάρος του οχήματος και $v \cdot D$ η ισχύς απωλειών του συστήματος). Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος L/D, τόσο μικρότερη ισχύς καταναλώνεται για τη λειτουργία του συστήματος ανάρτησης.

Αφού όλα τα ηλεκτροδυναμικά συστήματα έχουν κοινά χαρακτηριστικά, καταλήγουμε στην μοντελοποίηση τους στο χώρο Fourier, με το παρακάτω ενοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα:



Σχήμα 4.2.2.3. Το ενοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα

Για μεγάλες ταχύτητες, το ισοδύναμο τετράπολο λεπτού αγωγίου στρώματος, πάχους d και αγωγιμότητας σ, μπορεί να αντικατασταθεί με αντίσταση $\sigma \omega d$. Οποτε, καταλήγουμε στο παρακάτω ισοδύναμο κύκλωμα:



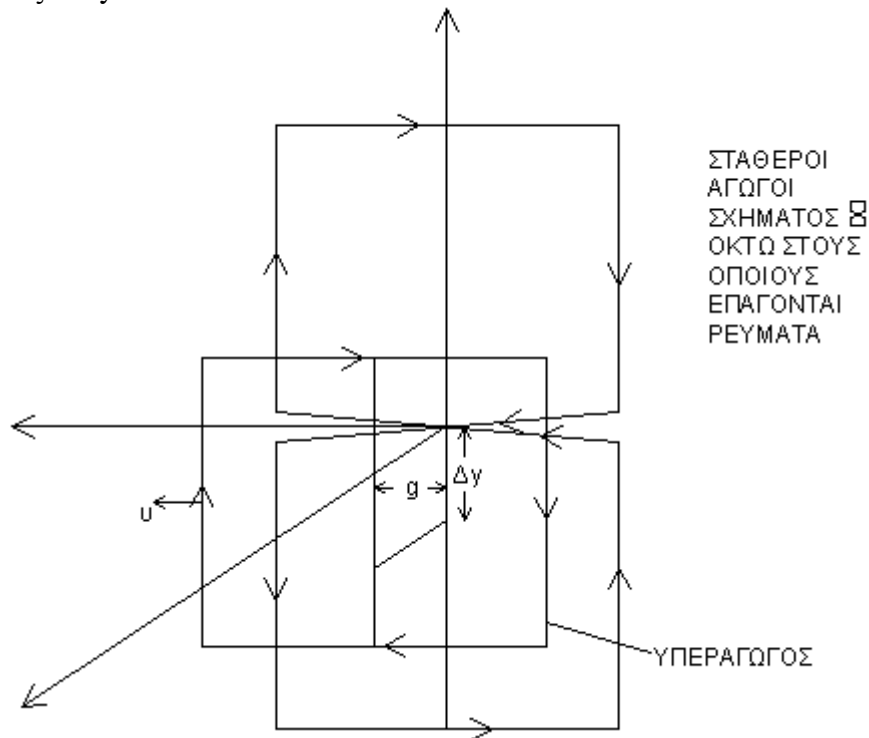
Σχήμα 4.2.2.4

Σύμφωνα με το παραπάνω κύκλωμα και τις σχέσεις που το χαρακτηρίζουν, εξάγεται ο λόγος L/D ίσος προς $\frac{L}{D} = \frac{\mu_0 \cdot \sigma \cdot v \cdot d}{2}$, όπου αποδεικνύεται ότι είναι και ανεξάρτητος της διέγερσης πρωτεύοντος.

4.2.3 Πλευρική Ανάρτηση

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό, οφείλουμε να αναφερθούμε σε ένα, μεμονωμένης χρήσης, σύστημα ανάρτησης, το πλευρικό. Σύμφωνα με αυτό, υπάρχει μια επίπεδη ορθογωνική σπείρα στο πρωτεύον και ένα σύνολο από διπλές ορθογωνικές σπείρες στο δευτερεύον, με απόσταση πρωτεύοντος-δευτερεύοντος ίση με g (διάκενο αέρος).

Το πρωτεύον καθώς κινείται στην κατεύθυνση x με ταχύτητα v , δεν επάγει ρεύμα στο δευτερεύον (λόγω της ειδικής αντισυμμετρίας του συστήματος του δευτερεύοντος), εφόσον οι άξονες συμμετρίας των δύο σπειρών δεν έχουν απόσταση κατά τον άξονα y .



Σχήμα 4.2.3.1

Εάν υπάρξει μικρή σχετικά πλάγια μετακίνηση (Δy στην κατεύθυνση y) τότε δημιουργούνται επαγωγικά ρεύματα στο δευτερεύον τα οποία τείνουν να επαναφέρουν στην αρχική θέση.

Η πλάγια αυτή δύναμη F_y επαναφοράς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δύναμη ανάρτησης (Σχήμα..), και μπορεί να υπολογιστεί με αριθμητικές μεθόδους ανάλογες με αυτές των συστημάτων EDS και EMS.

4.3 Εφαρμογή

Η εφαρμογή των εξισώσεων που χαρακτηρίζουν τα διαφορά συστήματα ανάρτησης, συμβάλουν στο σχεδιασμό και κατασκευή των επιμέρους στοιχείων των συστημάτων αυτών.

Αρχικά, όσον αφορά ένα maglev όχημα το οποίο χρησιμοποιεί EMS ανάρτηση, οι απλές εξισώσεις βοηθούν στον καθορισμό του αριθμού των ηλεκτρομαγνητών οι οποίοι απαιτούνται για τη ανάρτηση του οχήματος, η ακόμα και στα δομικά χαρακτηριστικά τους. Ως παράδειγμα θεωρούμε ότι, κάτω από ένα αγώγιμο φύλλο σιδηρού, σε διάκενο $g=1\text{cm}$ και στα πλαϊνά του οχήματος είναι τοποθετημένοι n ηλεκτρομαγνήτες $N=100$ σπειρών, με επιφάνεια προσβολής(ως προς το αγώγιμο φύλλο) $2(b_1 \times b_2)=2(0,2 \times 0,2)=0,08\text{cm}^2$, όπου $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$, $B_{\text{oper}}=0,87\text{T}$ και $\beta=300000\text{Nt}$ (βάρος του οχήματος). Η δύναμη ανάρτησης L , ως γνωστόν, δίνεται από τον τύπο $L = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S$ (όπου S η συνολική επιφάνεια

προσβολής) και το μαγνητικό πεδίο από τον τύπο $B = \mu_0 \frac{NI}{2g}$ ($2g$ το συνολικό μήκος διακένου ανάμεσα στον ηλεκτρομαγνήτη και το αγώγιμο φύλλο), όπου I το ρεύμα του ηλεκτρομαγνήτη.

Αντικαθιστώντας το B με B_{oper} και εξισώνοντας την L με β ($L=\beta$), έχουμε ότι $S=1\text{m}^2$ και $NI=14000$ αμπερελιγματα. Το πλήθος των ηλεκτρομαγνητών του οχήματος λαμβάνεται από την $2n(b_1 \times b_2)=S$ και είναι $n=12$ (6 ανά πλευρά).

Είναι φανερό ότι, αλλάζοντας τη γεωμετρία ή την ισχύ των ηλεκτρομαγνητών, καταφέρνουμε τη βέλτιστη προσέγγιση σε διάφορες τεχνοοικονομικές απαιτήσεις.

Όσον αφορά τα συστήματα με EDS(απωστική) ανάρτηση, το βασικό και θεμέλιο μέγεθος για τον υπολογισμό των επιμέρους μεταβλητών, είναι η δύναμη L . Τα συστήματα σχεδιάζονται ώστε η L να είναι πάντα ίση με το βάρος του οχήματος. Οι εξισώσεις που διέπουν ένα EDS, είτε αυτό αποτελείται από υπεραγωγούς ή από ηλεκτρομαγνήτες, είναι πολύπλοκες. Αναλυτική παρουσίαση ενδεικτικού παραδείγματος είναι αδόκιμη χωρίς τη χρήση υπολογιστικού συστήματος. Ανατρέχοντας παρόλα ταύτα, στα αντίστοιχα εδάφια και τις εξισώσεις, είναι φανερό ότι, από την εξίσωση της δύναμης ανάρτησης L , εξάγεται το ρεύμα των υπεραγωγίων ορθογώνιων πλαισίων ή των ηλεκτρομαγνητών και κατά συνέπεια όλων των υπόλοιπων μεγεθών του συστήματος. Με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, μπορούμε να δομήσουμε ένα EDS-κατά προτίμηση- με τη βέλτιστη οικονομοτεχνική κατασκευή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

MAGLEV PROJECTS-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΙΧΜΗΣ

5.1 MagLev Projects ανά τον κόσμο

Linimo(Γραμμή Tobu Kyuryo)

Το πρώτο παγκόσμιο εμπορικό αυτοματοποιημένο “Urban Maglev” σύστημα, άρχισε να λειτουργεί τον Μάρτιο του 2005 στο Aichi της Ιαπωνίας. Αυτό είναι, η εννέα-σταθμών 8,9km Tobu-Kyuryo γραμμή, γνωστή και ως Linimo. Η γραμμή διαθέτει μια ελάχιστη ακτίνα λειτουργίας 75m και μέγιστη κλίση 6%, με μέγιστη ταχύτητα 100 km/h. Η γραμμή εξυπηρετεί την τοπική κοινότητα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Expo 2005. Τα τρένα σχεδιάστηκαν στον Chubu HSST Development Corporation, ο οποίος λειτουργεί πιστά δοκίμων στη Nagoya. Η κορεατική maglev εμπορική εκδοχή Rotem(βασισμένη στο HSST) στην Daejeon έχει μόλις ξεκινήσει τη λειτουργία της(Απρίλιος 2007).

Shanghai Maglev(Κίνα)

Το πρώτο λειτουργικό υπερταχές συμβατικό Maglev σύστημα, κατασκευάστηκε από την Transrapid, και είναι το Shanghai Maglev τρένο, από το κέντρο της Σαγκάης έως το νέο αεροδρόμιο στο Pudong. Εγκαινιάστηκε το 2002. η υψηλότερη ταχύτητα που επιτυγχάνεται στη διαδρομή της Σαγκάης είναι 501 km/h, κατά μήκος διαδρομής 30km. Το τρένο είναι βασισμένο στην τεχνολογία EMS της Transrapid. Η διαδρομή αναμένεται να επεκταθεί στα 160km πριν από το 2010. η τεχνολογία, την οποία απέκτησε η Κίνα λόγω της χρήσης του Transrapid, οδήγησε στη δημιουργία δικών της ερευνητικών προγραμμάτων, φιλοδοξώντας να κατασκευάσει καλύτερα και φθηνότερα τρένα από τη Γερμανία ή την Ιαπωνία.

Πρόγραμμα UMTD FTA

Στις Η.Π.Α, το FTA Urban Maglev Demonstration πρόγραμμα, έχει χρηματοδοτήσει το σχεδιασμό αρκετών αστικών –χαμηλής ταχύτητας- maglev προγραμμάτων επίδειξης. Έχει αξιολογήσει το HSST για το Maryland Department of Transportation και το Maglev σύστημα για το Colorado Department of Transportation. Το FTA, έχει χρηματοδοτήσει επίσης, τις εργασίες του General Atomics του California University of Pennsylvania για την ανάδειξη νέων maglev σχεδίων, το MagneMotion M³ και το EDS maglev σύστημα του Maglev 2000 της Φλόριδας. Άλλα αστικά Maglev συστήματα, τα οποία έχουν παρουσιαστεί στις Η.Π.Α, είναι το LEVX στην Ουάσινγκτον και το Magplane στην Μασαχουσέτη.

Old Dominion University(υπό κατασκευή)

Μια διαδρομή, μικρότερη του ενός μιλίου, έχει κατασκευαστεί στο Old Dominion University του Norfolk της Βιρτζίνια. Το σύστημα δεν λειτουργεί, διεξάγεται όμως έρευνα για την επίλυση προβλημάτων σταθερότητας του συστήματος. Αυτό το σύστημα, χρησιμοποιεί ένα «έξυπνο» τρένο, «αθόρυβης» διαδρομής, το οποίο περιλαμβάνει τους περισσότερους αισθητήρες, μαγνήτες και υπολογιστικά συστήματα επί του οχήματος και όχι στο διάδρομο. Το κόστος αυτού είναι το ελάχιστο από αυτό των υπαρχόντων συστημάτων.

5.1.1 Προτάσεις

Μόναχο

Μια Transrapid σύνδεση του Μονάχου με το διεθνές αεροδρόμιό του(37km) σχεδιάζεται. Αυτό θα μειώσει το χρόνο σύνδεσης των 40 λεπτών(του υπάρχοντος s-Bahn) σε 10 λεπτά.

Λονδίνο-Εδιμβούργο και/ή Γλασκόβη

Προσφάτως, έχει προταθεί στο Ηνωμένο Βασίλειο και τυγχάνει ιδιαίτερης προσοχής από την κυβέρνηση, η maglev γραμμή Λονδίνο-Εδιμβούργο και/ή Γλασκόβη, με διάφορες επιλογές διαδρομών μέσω των βορειοδυτικών, βορειοανατολικών και κεντρικών περιοχών. Εξετάζεται μια επιπλέον σύνδεση μεταξύ Γλασκόβης και Εδιμβούργου, παρόλο που δεν υπάρχει εφαρμοσμένη τεχνολογία για το σχέδιο αυτό ακόμα.

Τόκιο-Οσάκα

Εάν υπήρχε πρόταση κατασκευής συστήματος Shinkansen, για τη σύνδεση του Τόκιο με την Οσάκα, η υπάρχουσα γραμμή δοκίμων στο Yamanashi, θα αποτελούσε μέρος της διαδρομής.

Νότια Καλιφόρνια, Λος Άντζελες-Λας Βέγκας

Maglev γραμμές μεταξύ κύριων πόλεων της νότιας Καλιφόρνια και του Λας Βέγκας, μελετούνται από το California-Nevada Interstate Maglev Project. Η πρόταση περιλαμβάνει δημιουργία γραμμής, από το Λας Βεγκας στο Λος Άντζελες, με στάσεις στο Πριμ της Νεβάδα, το Μπικερ της Καλιφόρνια και σε σημεία κατά μήκος του νομού Ριβερσαιντ στο Λος Άντζελες. Δυστυχώς όμως, οι πολιτικοί της νότιας Καλιφόρνια, δεν παρουσιάζονται δεκτικοί σε αυτήν την πρόταση, συλλογίζόμενοι το ότι, μια γραμμή υψηλής ταχύτητας θα οδηγούσε σε απώλεια κερδών, τα οποία θα ξοδεύονταν από τους επιβάτες σε μια συμβατική διαδρομή στην πολιτεία της Νεβάδα.

Βαλτιμόρη-Ουάσινγκτον

Ένα σχέδιο γραμμής 64km, σύνδεσης του Campden Yards και της Βαλτιμόρης με το διεθνές αεροδρόμιο της Ουάσινγκτον, έχει προταθεί. Είναι όντως, ένα αναγκαίο έργο για την κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση της περιοχής.

Χονολουλού

Στην πόλη Χονολουλού της Χαβάης, σχεδιάζεται ένα αστικό maglev σύστημα, για την κύρια μαζική μεταφορά, στα πρότυπα του Linimo.

Πιτσμπουργκ

Ένα σχέδιο γραμμής 75km, σύνδεσης του διεθνούς αεροδρομίου του Πιτσμπουργκ και το κέντρο του(το Monroeville) με τερματικό σταθμό το Γκριμπουργκ, έχει προταθεί. Ευνοϊκό στοιχείο του σχεδίου αποτελεί το ότι, μέσω αυτού, θα δοκιμαστεί η διάρκεια και αντοχή της τεχνολογίας maglev πέρα από τις περισσότερες λοφώδεις εκτάσεις και τις πιο μεταβλητές χειμερινές καιρικές συνθήκες. Το πρόγραμμα εναπόκειται στην αρμοδιότητα του ομοσπονδιακού οργάνου, το οποίο εξετάζει και το σχέδιο Βαλτιμόρη-Ουάσινγκτον.

5.2 Καινοτόμα σχέδια συστημάτων-Προτάσεις βελτίωσης

Bechtel SCD

Το σχέδιο Bechtel είναι ένα καινοτόμο, αναστολής ροής ηλεκτροδυναμικής ανάρτησης(EDS), σύστημα. Το όχημα, περιλαμβάνει έξι σετ των οχτώ υπεραγωγίων μαγνητών σε κάθε πλευρά, τα οποία ενσωματώνονται σε ένα συγκεκριμένο box-beam διάδρομο. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των μαγνητών του οχήματος και μιας, τοποθετημένης ανά-στρώματα, σκάλας αργιλίου, σε κάθε πλευρά του διαδρόμου, παράγει ανύψωση. Παρόμοια αλληλεπίδραση, με τα τυλίγματα μηδενικής ροής, προσαρτημένα στο διάδρομο, παρέχει δυνατότητα οδήγησης. Τα τυλίγματα της LSM προώθησης, ενσωματώνονται επίσης στις πλευρές του διαδρόμου, αλληλεπιδρώντας με τους, ιδίου τύπου, μαγνήτες του οχήματος για την παραγωγή ώθησης. Κεντρικά ελεγχόμενοι σταθμοί στο πλάι του διαδρόμου, παρέχουν το απαραίτητο εύρος συχνοτήτων και τάσης, για την παραγωγή ισχύος στον LSM. Το όχημα, αποτελείται από ένα ενιαίο βαγόνι με ένα εσωτερικό στρεφόμενο μέλος. Χρησιμοποιεί αεροδυναμικό έλεγχο των επιφανειών για να αυξήσει τις μαγνητικές δυνάμεις οδήγησης. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, καταλήγει επάνω σε αερόσακους. Ο διάδρομος, αποτελείται από μια δοκό κιβωτίων(από σκυρόδεμα). Εξαιτίας των υψηλών μαγνητικών πεδίων, είναι απαραίτητη η χρήση μη-μαγνητικών, ενισχυμένων με ίνες πλαστικού(FRP), ράβδων στο εξωτερικό μέρος της δοκού κιβωτίων. Το σύστημα αλλαγής πορείας, αποτελείται από ευλύγιστα κιβώτια, κατασκευασμένα εξ'ολοκλήρου από FRP.

Foster-Miller SCD

Το Foster-Miller σχέδιο, είναι ένα EDS σύστημα, σε γενικές γραμμές παρόμοιο με το ιαπωνικό MLU002. Υπεραγώγιμοι μαγνήτες στο όχημα, παράγουν άνοση από την αλληλεπίδραση τυλίγμάτων ανάρτησης μηδενικής ροής(null-flux), τοποθετημένα στα τοιχώματα ενός U-σχήματος διαδρόμου. Παρόμοια αλληλεπίδραση, με σειρές ζευγών μαγνητών, χρησιμοποιείται για την οδήγηση του οχήματος. Διαθέτει καινοτόμο σύστημα ώθησης, το Local commutated LSM. Ξεχωριστοί αναστροφείς Hall-γέφυρας, ενεργοποιούν διαδοχικά τα σπειρώματα πρόωσης, καθώς ευθυγραμμίζονται με τους μαγνήτες του οχήματος. Οι αναστροφείς συνθέτουν ένα κύμα, το οποίο κινείται κατά μήκος του διαδρόμου, σύγχρονα με το όχημα. Το όχημα, αποτελείται από ενότητες επιβατών, συνδεδεμένες με εξαρτήματα διασύνδεσης, ώστε να δημιουργήσουν μια ενιαία μονάδα. Αυτές οι ενότητες, διαθέτουν βαγονέτα μαγνητών, στις άκρες που μοιράζονται με τις παρακείμενες ενότητες. Κάθε βαγονέτο διαθέτει τέσσερις μαγνήτες ανά πλευρά. Ο U-σχήματος διάδρομος, αποτελείται από δυο παράλληλες διακριτές λωρίδες, οι οποίες ενώνονται εγκάρσια από προκατασκευασμένα διακριτά διαφράγματα. Λόγω των υψηλών μαγνητικών πεδίων, οι εξωτερικές ράβδοι είναι κατασκευασμένες από FRP. Ο διακόπτης, χρησιμοποιεί τυλίγματα μηδενικής ροής και δεν απαιτεί κινούμενα δομικά μέλη.

Grumman SCD

Το σχέδιο Grumman είναι ένα EMS σύστημα, το οποίο παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το Transrapid 07. Τα οχήματα του Grumman, όμως, εφαρμόζονται γύρω από ένα T-σχήματος διάδρομο και χρησιμοποιούν μόνο ένα σετ μαγνητών οχήματος και διαδρόμου για την ανάρτηση, οδήγηση και πρόωση. Οι μαγνήτες του οχήματος είναι υπεραγώγιμα τυλίγματα γύρω από ένα σίδηρο πεταλοειδή πυρήνα. Τα «πόδια» του οχήματος έλκονται από σιδερένιες ράγες, οι οποίες βρίσκονται στο κάτω μέρος του διαδρόμου. Συνήθη τυλίγματα σε κάθε σκέλος σιδηρού-πυρήνα, παράγουν δυνάμεις ανάρτησης και οδήγησης, ούτως ώστε να διατηρήσουν ένα μεγάλο διάκενο αέρα(40mm). Δεν απαιτείται δευτερεύουσα ανάρτηση. Η πρόωση παρέχεται από συνήθη LSM, τοποθετημένο στο διάδρομο-ράγα. Τα οχήματα διαθέτουν ικανότητα κλίσης και μπορούν να είναι μόνο-βάγωνα ή πολύ-βάγωνα, με μαγνήτες τοποθετημένους σε όλο το μήκος του οχήματος. Η καινοτόμα δομή του διαδρόμου, αποτελείται από λεπτά Y-σχήματος τμήματα διαδρόμου(ένα για κάθε κατεύθυνση), αναρτημένα σε ζυγοστάτες κάθε 4,5m, σε μια ενιαία σπονδυλωτή δοκό 27m. Η αλλαγή πορείας επιτυγχάνεται με μια TR07-τύπου ευλύγιστη ακτίνα στο διάδρομο, η οποία περιορίζεται(κατά μήκος) με τη χρήση ενός τμήματος ολίσθησης ή περιστροφής.

Magneplane SCD

Το Magneplane σχέδιο, είναι ένα ενιαίο όχημα EDS, χρησιμοποιώντας έναν, τύπου αύλακα, διάδρομο, αποτελούμενο από φύλλα αλουμινίου για την ανάρτηση και την οδήγηση. Φυγοκεντρικές δυνάμεις διατηρούν το Magneplane στην τροχιά του στις στροφές. Υπεραγώγιμοι μαγνήτες ανάρτησης και οδήγησης, είναι τοποθετημένοι στο εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος του οχήματος. Οι κεντρικοί μαγνήτες, αλληλεπιδρούν με τα τυλίγματα ενός συμβατικού LSM για την παραγωγή πρόωσης και ορισμένων δυνάμεων οδήγησης. Οι μαγνήτες στις πλευρές του οχήματος,

αποθούνται με τα φύλλα αλουμινίου του διαδρόμου, για να παρέχουν την αναγκαία άνοση. Το όχημα, χρησιμοποιεί αεροδυναμικές επιφάνειες έλεγχου και έλεγχο φάσης του LSM, ούτως ώστε να παράγεται ενεργός απόσβεση των κινήσεων του. Τα, υπεύθυνα για την ανάρτηση, φύλλα αλουμινίου του διαδρόμου, διαμορφώνουν τις κορυφές ενός αύλακα αλουμινίου. Αυτές οι κορυφές στηρίζονται άμεσα στις αποβάθρες. Ο διακόπτης υψηλών ταχυτήτων, χρησιμοποιεί τυλίγματα μηδενικής ροής, για την οδήγηση του οχήματος, μέσω ενός «δίκρανου» σημείου του διαδρόμου, και δεν απαιτεί κανένα κινούμενο δομικό μέλος.

Short-stator LIM

Το LIM σύστημα, διαθέτει το (ενεργό) πρωτεύον του κινητήρα στο όχημα(μικρού μήκους στάτης τυλιγμάτων) και το (παθητικό) δευτερεύον του στο διάδρομο-ράγα(τυπικά κατασκευασμένο από σίδηρο). Το όχημα, πρέπει να αντλήσει ισχύ πρόωσης από το διάδρομο και να την ρυθμίσει on-board. Κινητήρες τέτοιου τύπου, κρίνονται ικανοποιητικοί στις χαμηλές ταχύτητες.

Πλεονεκτήματα

- α) Μικρότερο κόστος επένδυσης διαδρόμων
- β) Απλούστερη, φθηνότερη παροχή ισχύος στα τοιχώματα του συστήματος, διότι η όλη μετατροπή πραγματοποιείται στο όχημα.
- γ) Ικανότητα αύξησης της χωρητικότητας, προσθέτοντας επιπλέον βαγόνια στο συρμό, χωρίς την αλλαγή των προδιαγραφών του διαδρόμου(σε δοκιμαστικό ακόμα στάδιο)

Μειονεκτήματα

- α) Ακριβότερα και βαρύτερα οχήματα, εξαιτίας του on-board στάτη και του εξοπλισμού μετατροπής της ισχύος
- β) Απαιτείται εκτεταμένη έρευνα και ανάπτυξη για τη δημιουργία, οικονομικά αποδοτικού πολύ-συστήματος παροχής MW ισχύος στα 134m/s. Είναι σχεδόν απίθανο, η αλυσωτή-παντογραφική μεταφορά ισχύος, να αποδώσει ικανοποιητικά σε αυτές τις υψηλές ταχύτητες.

Άλλοι LSM

Υπάρχουν διάφοροι πειραματικοί ευθύγραμμοι κινητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούν παθητικό δευτερεύον. Τα δευτερεύοντα είναι τυπικά, κατασκευασμένα από σίδηρο και ενσωματώνονται στο όχημα, ούτως ώστε να εξαλείψουν τους περιορισμούς της τεχνολογίας μεταφοράς μεγάλης ισχύος. Τέτοιοι κινητήρες είναι οι ομοπολικόι LSMs και οι LSMs εγκάρσιας ροής(«μαγνητικό ποτάμι» κατά την ευρωπαϊκή βιβλιογραφία). Καθένα από αυτά τα σχέδια, έχει παρουσιάσει μετά από πειραματικές μελέτες, ιδιαίτερες δυνατότητες παραγωγής ώθησης, ανάρτησης και πλευρικής οδήγησης. Ελκυστικοί, εξαιτίας της απλότητας τους έναντι του συμβατικού air-core LSM, αυτοί οι κινητήρες προστάζουν την ανάγκη έρευνας και ανάπτυξης, για τον καθορισμό του κόστους και της απόδοσης τους, εν συγκρίσει με τους συμβατικούς LSMs

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα σιδηροδρομικά συστήματα, τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία της μαγνητικής πρόωσης και ανάρτησης(MagLev), βρίσκονται πια στον ορίζοντα. Έχουν αποδείξει ότι είναι γρηγορότερα από τα παραδοσιακά σιδηροδρομικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν μεταλλικούς τροχούς και ράγες. Η χαμηλή συντήρηση των maglev συστημάτων, είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα, το οποίο δεν πρέπει να παρθεί απήφιστα. Εφόσον δεν έχει να αντιμετωπιστεί το θέμα της τριβής και φθοράς λόγω επαφής, αποκομίζεται μεγαλύτερη μακροζωία για το όχημα. Εξοικονομούμενη ενέργεια, λόγω της μη χρήσης μηχανών εσωτερικής καύσης, επιτρέπει μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα και φιλικότερη περιβαλλοντική συμπεριφορά. Η χρήση υπεραγωγίων μαγνητών αντί υγρών καυσίμων, δεν επιτρέπει την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Τα οχήματα maglev, είναι μικρά, σε σχέση με αυτά των συμβατικών συστημάτων, και δεν συμβάλλουν στην αλλοίωση της τοπογραφίας.

Σε γενικές γραμμές, η δυνατότητα εφαρμογής και η γενική αποδοχή, των συστημάτων maglev, κρίνεται πολύ θετική. Ακόμα και αν, τα σχετικά κόστη κατασκευής maglev τρένων παραμένουν υψηλά, υπάρχουν τόσοι άλλοι θετικοί παράγοντες που υποσκελίζουν αυτό το μειονέκτημα. Τα maglev συστήματα, θα συνεισφέρουν περισσότερο σε κοινωνικό επίπεδο και θα βοηθήσουν τον πλανήτη μας, ο οποίος αργοπεθαίνει. Συλλογιζόμενοι όλα τα θετικά, τα οποία έχει τη δυνατότητα να προσφέρει αυτή η τεχνολογία, η μεταφορά του μέλλοντος και των παιδιών μας, βρίσκεται σε πολύ ικανή και ασφαλή «τροχιά».