

2-Х РЕЖИМНИЙ ТЯГОВО-ЛЕВІТАЦІЙНИЙ МОДУЛЬ ПЕРСПЕКТИВНОЇ МАГНІТНО-ЛЕВІТАЦІЙНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Сергій Плаксін

завідувач відділу «Системи керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», 49005, вул. Писаржевського, 5, м. Дніпро, Україна, svp@westa-inter.com
ORCID: 0000-0001-8302-0186

Андрій Муха

завідувач кафедри «Електротехніка та електромеханіка», Український державний університет науки і технологій, 49010, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, mukha.andrii@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5629-4058

Дмитро Устименко

доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка», Український державний університет науки і технологій, 49010, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, ustimenko.1979@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2984-4381

Юрій Шкіль

молодший науковий співробітник відділу «Системи керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», 49000, вул. Писаржевського, 5, м. Дніпро, Україна, siv@westa-inter.com
ORCID: 0000-0002-8684-5906

Олександр Голота

інженер відділу «Системи керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», 49000, вул. Писаржевського, 5, м. Дніпро, Україна, sashagolota3012@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0282-2767

Єгор Чуприна

інженер відділу «Системи керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», 49000, вул. Писаржевського, 5, м. Дніпро, Україна, nesty.lords@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0986-1283

Сучасний електрорухомий склад має можливість розвивати швидкості руху понад 500 км/год, що створює умови для конкурентної боротьби з іншими видами транспорту на малих та середніх відстанях. Такі високошвидкісні системи на базі ефекту магнітної левітації можуть використовувати електромагнітну або електродинамічну підвіску. Перша вимагає високої точності побудови шляхової структури та складної системи управління, а друга менш критична до точності побудови шляхової структури та рівня складності системи управління, але ефектний підвіс магнітоплану створюється лише на відносно високій швидкості руху. На початкових, розгінних ділянках поїзди з електродинамічним підвісом підтримуються в робочому положенні за допомогою спеціальних колісних систем, що є суттєвим недоліком. Метою досліджень є визначення можливих схемних рішень шляхового модуля, який може забезпечувати комбінований режим роботи – режим тяги та режим левітації, не тільки у сталому режимі руху, але й на ділянках розгону чи гальмування без використання опорних колісних систем. В статті представлені деякі результати розробки тягово-левітаційного модуля на базі дворежимної шляхової структури, яка може працювати зі зміною полярності (напрямку) магнітного потоку, який взаємодіє з магнітним потоком надпровідних магнітів встановлених на магнітоплані. За результатами досліджень представлені схемні та конструктивні рішення науково-обґрунтованого тягово-левітаційного модуля для магнітолевітаційної транспортної системи типу Маглев, з можливістю отримувати левітацію магнітоплану на розгінній ділянці.

Ключові слова: магнітолевітаційний транспорт, шляхова структура, тягово-левітаційний модуль, розгінна ділянка, шляхова структура, Маглев.

Стабільна робота транспортної системи це запорука стрімкого та якісного зростання економіки будь якої країни. Транспортно-логістичні компанії в першу чергу повинні забезпечити швидку та своєчасну доставку вантажів і пасажирів. Кожен з видів транспорту має свої недоліки та переваги, залізничний транспорт характеризується незначними витратами на утримання транспортної системи, дозволяє розвивати високі швидкості при цьому забезпечуються високі показники комфортного перевезення пасажирів [1]. Зважаючи на першочергову значимість транспортних систем для людства та враховуючи останні досягнення науки і техніки інтерес до магнітолевітаційного транспорту буде тільки зростати [2-4].

До сучасних високошвидкісних залізничних систем відносяться в першу чергу рейкові опорні системи типу TGV виробництва фірми Alstom (Франція); монорельсовий поїзд з використанням магнітної левітації Transrapid який виготовлюється та продається спільним підприємством Siemens та Thyssenkrupp Transrapid GmbH (Німеччина); JR-Maglev японська система швидкісних поїздів на магнітній підвісці, що розробляється Японським дослідницьким інститутом залізничної техніки (Japan Railway Technical Research Institute) спільно з оператором Japan Railways.

Магнітолевітаційні системи дозволяють розвивати швидкості руху, які наближаються до швидкості повітряних перевезень, при цьому пасажирів прибувають на вокзали безпосередньо у межах міст, що є суттєвою перевагою, у порівнянні з авіацією на малих та середніх відстанях.

Принципово маглеви від різних виробників відрізняються типом підвіски. Сучасні магнітолевітаційні поїзди використовують два типи підвіски [5].



Рис. 1. Зовнішній вигляд магнітолевітаційного поїзда «Transrapid SMT» [6]

Перша – це електромагнітна підвіска (EMS), яка створена у Німеччині і реалізована в поїздах Transrapid (рис. 1). Ця система є безконтактною, рухомий склад завжди знаходиться у стані левітації, повітряний зазор між магнітопланом та Т-подібною трасою складає 7-10 мм. Тяговим двигуном у такій системі є лінійний двигун з довгим статором. Бічні поверхні рухомого складу умовно «охоплюють» шляхову структуру, яка представляє собою напрямну рейку з вкладеними в її пази секціями обмотки статора, завдяки взаємодії магнітного поля статора з магнітним полем бортових магнітів з'являється сила, яка притягує транспортний засіб до нижньої частини шляхової структури з обох боків напрямної, завдяки цьому з'являється рівномірне балансування рухомого складу. Особливістю даної підвіски є те, що магнітоплан завжди знаходиться у стані левітації і це створює додаткові обмеження, як з точки зору технічної реалізації, так і в умовах експлуатації. Потрібно завжди забезпечувати мінімальний але достатній за величиною повітряний зазор для безперешкодного та надійного руху поїзда. Величина зазору складає не більш 10 мм. У подібних системах для створення сили тяги використовується лінійний електричний двигун.

Лінійний двигун подібний до класичного обертового електродвигуна змінного струму за принципом роботи, але за конструкцією має певні відмінності. Статор лінійного двигуна (нерухома частина) розгортається вздовж шляхової структури та представляє собою напрямну рейку. Ротором лінійного двигуна є рухомий склад, на якому встановлено електромагніт. За будовою статор представляє собою довгі секції, які мають горизонтальну орієнтацію. Магнітний потік, що створений струмом в обмотках статора взаємодіє з ротором лінійного двигуна в результаті чого утворюється сила тяги. Додатково в нижній частині магнітоплану встановлені електромагніти для стабілізації маглева в поперечній площині відносно траси. Потужність в режимі тяги та гальмівна сила лінійного двигуна регулюється через статор аби штовхати та тягнути магніти ротора вперед чи створювати опір для реалізації режиму гальмування.

Основні переваги транспортних систем з використанням електромагнітної підвіски:

- безконтактна робота, що надає можливість уникнути втрат енергії на тертя рухомих елементів;
- висока швидкість магнітної взаємодії;

- висока ефективність роботи системи обумовлюється застосуванням феромагнітних матеріалів;

- завдяки феромагнітним матеріалам у системі з'являється низький реактивний виток та низький магнітний опір;

- плавність руху;

- постійна левітація рухомого складу.

Недоліки системи електромагнітної підвіски:

- необхідність постійного відслідковування величини зазору левітації;

- складність реалізації системи керування підвіскою;

- необхідність регулярної перевірки стану підвіски;

- ймовірність виникнення перешкод для руху через погодні умови (сніг, покриття льодом путьової структури).

Другий вид підвіски – це електродинамічна підвіска (EDS). Особливість реалізації такого виду підвіски полягає у тому, що постійний магнітний потік від магніту магнітоплану перетинає витки обмотки яка знаходиться в шляховій структурі наводячи там електрорушійну силу та створюючи відповідний магнітний потік, в результаті взаємодії цих двох магнітних потоків і виникає левітація [7]. Таким чином левітація як явище можлива тільки за умови руху магнітоплану, з досвіду експлуатації наявних систем ця швидкість складає не менше 120-150 км/год. Тому система JR-Maglev має на борту додаткові механізми (колісні візки), що забезпечують підтримання поїзда в робочому положенні на ділянках розгону чи гальмування до виходу на стаціонарний режим роботи системи електродинамічної підвіски. Основна функція такої підсистеми зводиться до підтримання робочого положення магнітоплану відносно траси в процесі набору необхідної швидкості для переходу у стан левітації та подальшого руху. Для створення значних сил, що забезпечують ефект левітації, в електродинамічній підвісці використовуються надпровідні магніти. Можливість технічної реалізації такої системи виникла завдяки розвитку кріогенної науки та надпровідних матеріалів, мікропроцесорів, перетворювачів енергії. Надпровідні магніти, що розташовані на борту магнітоплану, у такій системі виступають у якості джерела постійного магнітного поля. Маглеви з системою електродинамічної підвіски розробляються Японським дослідницьким інститутом залізничної техніки (Japan Railway Technical Research Institute) (рис. 2). Цим інститутом в префектурі Яманасі

була створена експериментально-дослідницька ділянка, на якій встановили рекорд з найбільшої у світі швидкості серед маглевів – 603 км/год [8].



Рис. 2. Зовнішній вигляд маглева MLX01 [9]

Використання надпровідних магнітів дозволяє досягати високих швидкостей руху. Основними перевагами надпровідних магнітів є компактна конструкція, велика магніторушійна сила та висока щільність струму [10]. Перші варіанти розробок маглевів з надпровідними магнітами передбачали їх встановлення вздовж вагонів. Однак з часом розробники прийшли до висновку, що таке рішення є помилковим, адже має місце протікання у системі надто великого струму безпосередньо під тими місцями, де розташовуються пасажери, а це має негативний вплив на організм людей. Пізніше від такого розташування надпровідних магнітів відмовилися і почали розташовувати їх на початку та наприкінці вагону. Надпровідні магніти розташовуються в візках які вбудовані в магнітоплан з'єднуючи між собою його окремі вагони. Така реалізація дозволяє зменшити аеродинамічний опір, а також зменшити кількість надпровідних магнітів в поїзді. До того ж така будова сприяє збільшенню корисного навантаження, зменшується інтенсивність електромагнітного випромінювання в салоні. Використання надпровідних магнітів створює певні технічні складності, виникають магнітні поля, які потребують екранування від проникання до салону. Подальше вдосконалення цієї системи можливо за рахунок створення ще більш компактних та легких надпровідних магнітів з високим коефіцієнтом підйому. Для дослідження експериментальних прототипів маглевів за цією системою підвіски було побудовано тестову ділянку у префектурі Міязакі.

Система управління силовим блоком маглева (рис. 3) являє собою лінійний двигун з довгим

статором (котушки живлення), секції якого прокладені вздовж маглев-траси та надпровідних магнітів, що розміщені на борту. Взаємодія магнітних полів статора і ротора (надпровідний магніт) створює силу тяги, а взаємодія левітаційних котушок вбудованих в шляхову структуру з надпровідними магнітами магнітоплану забезпечує його левітацію. Реалізація системи живлення включає в себе циклоконвертор, що використовується для живлення окремої секції двигуна. У режимі роботи маглева живиться лише одна секція, та що взаємодіє з магнітопланом, в межах її довжини, яка може складати від декількох десятків метрів до кількох кілометрів.

Система керування силовим блоком (рис. 3) працює наступним чином: центральний контрольний механізм (контролер) передає команду руху на керуючу підстанцію, щоб порівняти відповідну інформацію про розташування та позицію магнітоплану, ця інформація передається через кабель. Зазвичай, застосовували коаксіальні кабелі. Потім, відповідаючи на цей надісланий сигнал, циклоконвертори живили змінним струмом секції статора лінійного двигуна, які синхронізовані з фазою магнітного поля магніто-

плану. Це можливо завдяки використанню явища перехресної індукції котушок, які розташовані вздовж напрямної шляхової структури. Керування перемиканням секцій реалізовано за принципом почергової подачі струму на секції, повз які проїжджає рухомий склад.

Загальні принципи системи керування класифікують за наступними показниками:

- контроль значення струму в секціях шляхової структури;
- контроль значення струму на рухомому складі;
- відслідковування позиції рухомого складу;
- управління синхронізацією;
- регулювання швидкості.

В звичайному режимі роботи маглеви з електродинамічною підвіскою використовують рекуперативну систему гальмування. Однак для того щоб запобігти виникненню надзвичайних ситуацій було розроблено додаткові системи гальмування.

В маглевах типу MLU002 додаткові системи гальмування мають три види реалізації. Перший – динамічне гальмування, яке можливо застосовувати при швидкостях вище 350 км/год.

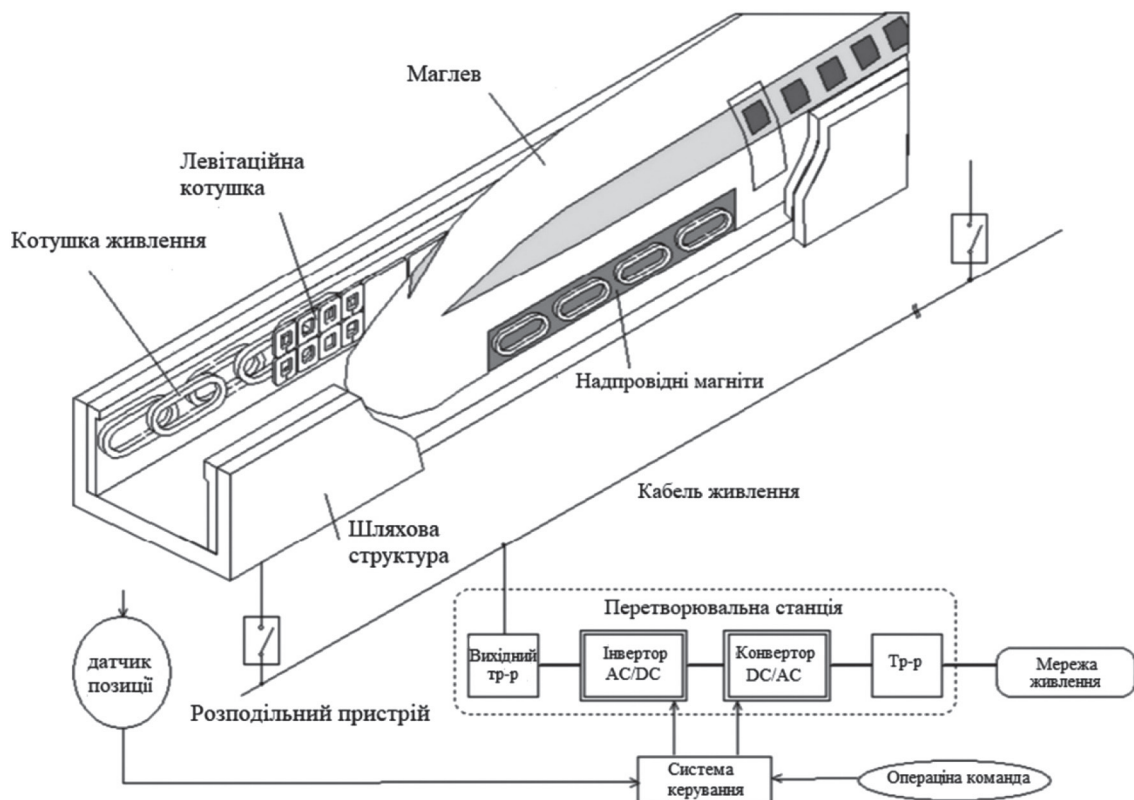


Рис. 3. Система управління силовим блоком маглева

Другий вид – фрикційне гальмування, застосовується для дещо менших швидкостей. У деяких інших моделей маглевів у якості додаткового виду гальмування застосовують аеродинамічне гальмування, коли спеціальні платформи з обох сторін рухомого складу виїжджають та за рахунок сили опору повітря здійснюється аварійне гальмування.

Переваги маглева з електродинамічною системою підвіски:

- енергоефективна система, яка має високу динамічну стабільність у стані магнітної левітації;
- висота підйому рухомого складу складає приблизно 10 см;
- висота підйому рухомого складу дозволяє маглеву безпечно рухатись на високих швидкостях;
- зазор між рухомим складом та шляховою структурою дає можливість для маглевів з таким підвісом будувати шлях з менш суворішими вимогами, ніж у системах з електромагнітним підвісом;
- великий зазор також дає можливість рухатись при несприятливих погодних умовах;
- завдяки застосуванню надпровідних магнітів коефіцієнт потужності та ефективність системи покращується;
- використання надпровідних магнітів та криокамер дає можливість працювати з великими значеннями струмів в системі;
- низький рівень шуму.

Недоліки системи з електродинамічним підвісом:

- для зменшення впливу магнітного поля на пасажирів може знадобитись екранування, що призведе до збільшення маси поїзда;
- необхідно постійно відслідковувати швидкість, розташування маглева під час руху;

Розглядаючи маглеви з різними типами підвісок, можна зробити висновок, що система з електромагнітною підвіскою є перспективною для руху на малих та середніх швидкостях. Для руху на високих швидкостях більш кращою є система з електродинамічною підвіскою. Враховуючи потребу в високошвидкісному наземному транспорті магнітоплани з електродинамічною підвіскою є більш привабливими. Але найбільший інтерес представляла би система, що змогла б в собі поєднати сильні сторони обох систем.

Фахівцями ІТСТ НАН України «Трансмаг» проводиться значна робота з розробки наукових основ в області побудови розподілених фото-

електричних систем живлення в тому числі і для потреб перспективних транспортних систем до яких відносяться і маглев-траси. Використання цих наробок в контексті удосконалення маглев технології здатне призвести до зміни усієї архітектури магнітолевітаційної транспортної системи та системи управління приводом [11]. Одне з питань, яке потребує вирішення, це створення відповідної системи управління магнітопланом та вдосконалення процесу його розгону та гальмування. У маглевів з електродинамічною підвіскою є суттєвий недолік у вигляді обмеження режимів левітації в процесі рушання з місця. Початкові магнітні сили направлені на підйом поїзда недостатні для того аби зрушити з місця рухомий склад у режимі левітації і розробники маглева були вимушені на початковому етапі руху застосувати опорні колеса. Після досягання маглевом швидкості, при якій буде можливо перемкнутися у стан левітації, колеса заїжджають у відповідний відсік візка, а рух продовжується виключно у стані магнітної левітації. Для вдосконалення системи початкового руху пропонується реалізувати систему, яка б принципово не потребувала опорних коліс. Таку систему можна створити на основі взаємоузгодженої комбінації двох способів магнітної левітації – електромагнітної та електродинамічної завдяки використанню принципово іншої архітектури побудови МАГЛЕВ-траси.

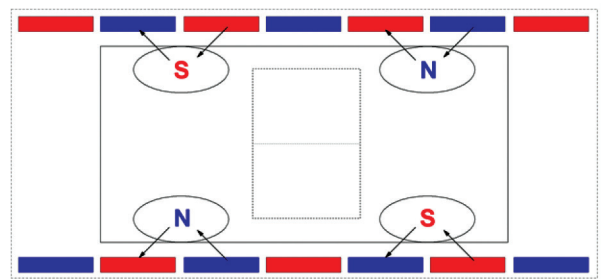


Рис. 4. Загальна схема руху маглева

Рух магнітолевітаційного транспорту створюється завдяки перемиканню полюсів на обмотках, що закладені вздовж шляхової структури, по якій рухається потяг (рис. 4).

Згідно рис. 4 видно, що полюси магнітів, які знаходяться на візку потяга в процесі руху не змінюють свою полярність. Натомість у котушок, що закладені у шляхопроводі, відбувається перемикання полюсів. Таким чином здійснюється рух магнітоплану. Система управління створена таким чином, щоб кожна секція мала

можливість змінювати полярність в котушках живлення (рис. 3) шляхової структури.

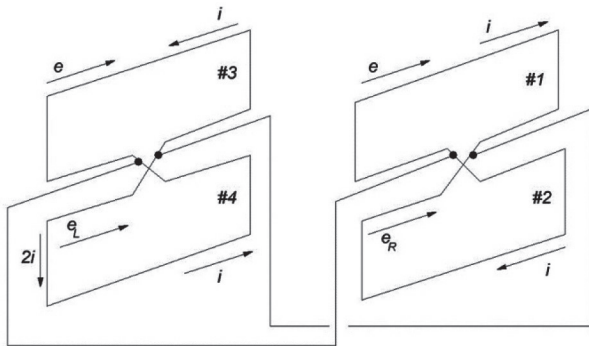


Рис. 5. Схематичне зображення з'єднання левітаційних котушок

Для забезпечення режиму левітації на маглев використовуються левітаційні котушки (рис. 3) які поєднані у схему «вісімки» (рис. 5), які у взаємодії з надпровідними магнітами екіпажу створюють необхідні умови левітації та стабілізації поїзда під час руху (рис. 6).

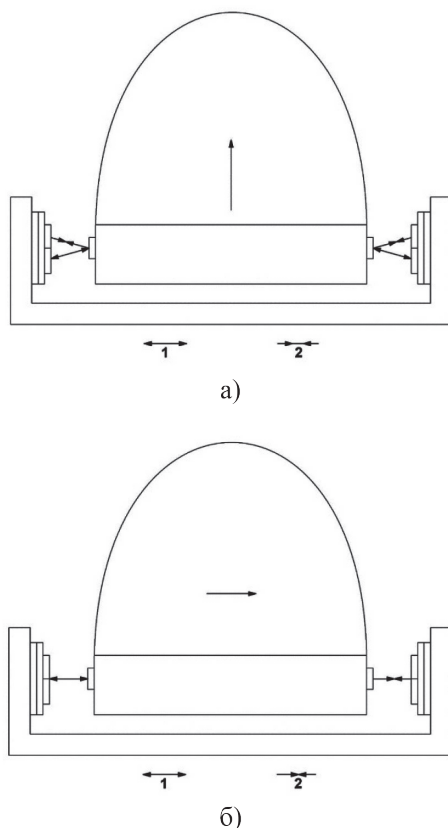


Рис. 6. Взаємодія магнітних сил для різних режимів руху: а – перехід у стан левітації, б – стабілізація при наявності зсуву (1 – відштовхування, 2 – притягування)

Найважчий зв'язок котушок у вигляді «вісімки» є необхідним для надійного та стабільного руху маглева. Адже швидкість поїзда є надвисокою і може досягати 500 км/год. У такому разі реалізація котушок у вигляді «вісімки» є технічно обґрунтованою. Таким чином в існуючій структурі маглев-траси розташовані дві системи котушок: тягові (живлення), та левітаційні.

Авторами пропонується провести вдосконалення існуючої системи маглева, шляхом встановлення уніфікованої котушки, яка може спеціальним комутаційним елементом перемикається з режиму тяги («нуль») у режим левітації («вісімка») (рис. 7). Така концепція дворежимного тягово-левітаційного модуля шляхової структури дозволяє створювати режим тяги і левітації однією котушкою, яка перемикається в схему «нуль» для тяги, або схему «вісімка» для левітації.

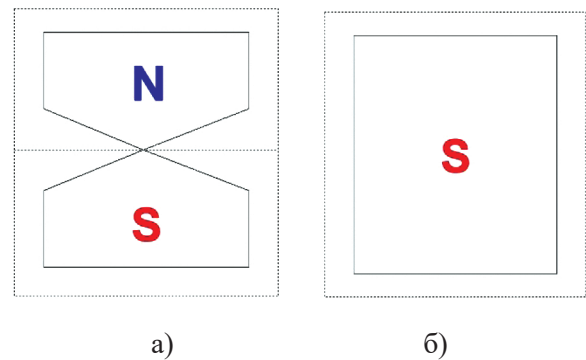


Рис. 7. Концепція перемикачності: а – режим «вісімка», б – режим «нуль»

Відповідно концепції здійснення переходу котушок з «0» в «8» і навпаки дещо ускладнює систему керування в тому, що відповідні варіанти перемикачності будуть мати різні напрямки контурів струму, тобто необхідно використовувати реверсивні системи, наприклад двопозиційними контактними елементами (рис. 8).

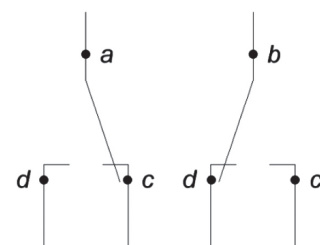


Рис. 8. Концепція комутатора.

Використання комутатора (рис. 8) дозволяє реалізувати режим «вісімки» та «нуля» наступним чином (рис. 9).

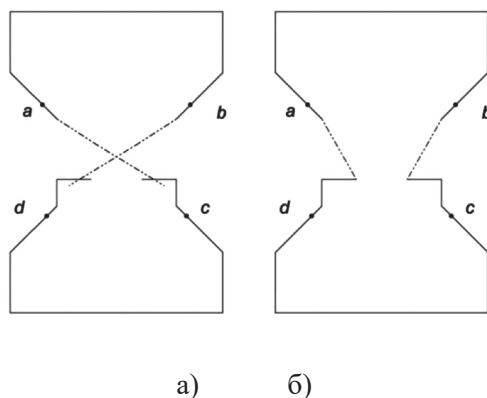


Рис. 9. Схематичне зображення реалізації котушки з комутатором:
а – режим «вісімка», б – режим «нуль»

Завдяки перемикачню із режиму «вісімка» у режим «нуль» потрібно реалізувати систему, завдяки якій контактні групи «ас» та «bd» перейдуть в інший режим і створиться нова контактна група «ad» та «bc». Таким чином буде виконане вмикання режиму «нуль».

Реалізувати систему ключів можливо використовуючи біполярні транзистори (IGBT). Такий варіант ускладнює систему управління, але є технічно обґрунтованим через те, що таким чином можна досягти необхідного алгоритму управління напрямком струму у котушках.

Для спрощення топології загальний напрям магнітних контурів схем «вісімка» та «нуль» показані без врахування IGBT транзисторів (рис. 10 та рис. 11).

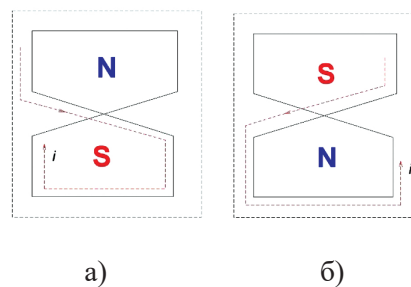


Рис. 10. Схема «вісімка»:

а – прямий режим, б – інверсний режим

У загальній схемі використовується 20 IGBT транзисторів. Через те, що існує необхідність перемикачню схеми «вісімка» у схему «нуль» на кожний контур «вісімки» введено по 4 транзистори. На лінії компенсації також введені транзистори для можливості реверсування струму в обох напрямках.

Один з режимів роботи запропонованого дво-режимного тягово-левитаційного модуля представлено на рис. 12.

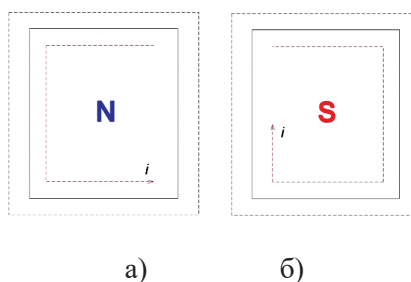


Рис. 11. Схема «нуль»:

а – прямий режим, б – інверсний режим

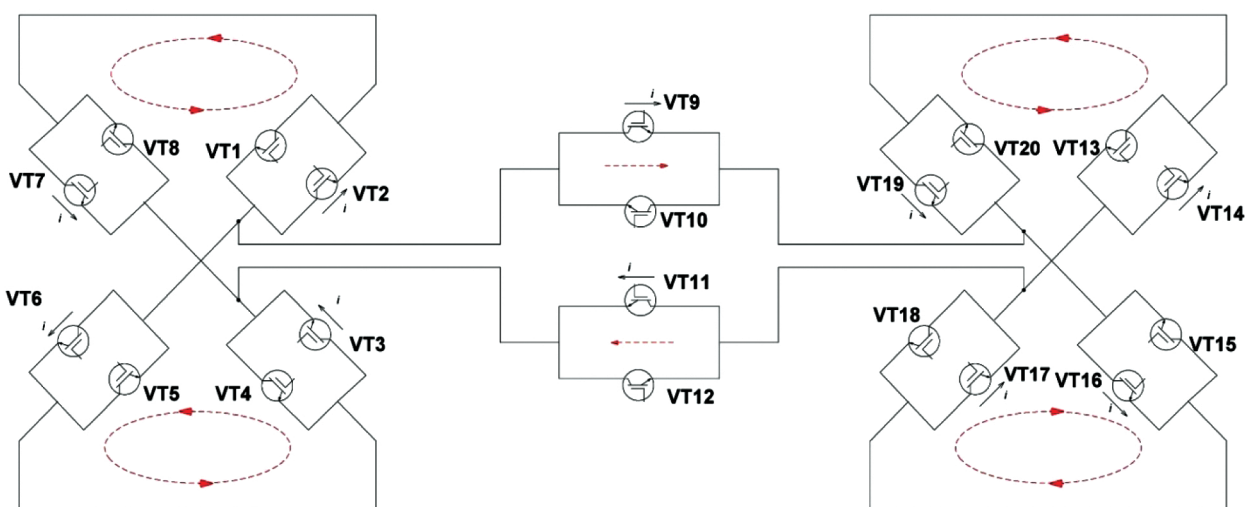
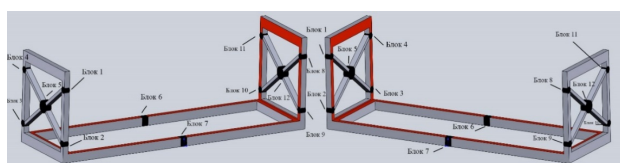


Рис. 12. Один з варіантів схем «вісімка»

Транзистори VT9... VT 12 для ліній компенсації та стабілізації, також мають забезпечити різний напрямок струму у запропонованій схемі тягово-левітаційного модуля. Кожну пару транзисторів модуля позначають як «блок», це дозволяє, в залежності від напрямку струму отримати необхідні схеми його роботи.

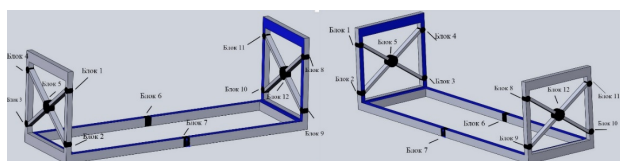
На рис. 13 - рис. 16, представлені деякі з режимів роботи системи.

Зображення гібридних шляхових котушок представлено з двох кутів огляду, різних схем вмикання: «нуль» або «вісімка», та різних полярностей. Полярність 1 – буде мати червоний колір, а полярність 2 – синій.



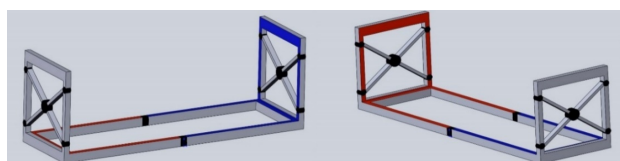
а) б)

Рис. 13. Модульний елемент у режимі «нуль», полярність 1: а – вид справа, б – вид зліва



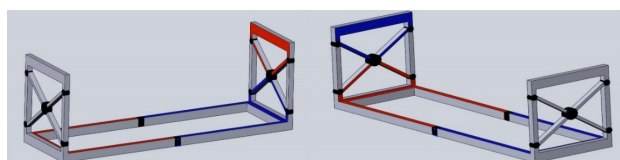
а) б)

Рис. 14. Модульний елемент у режимі «нуль», полярність 2: а – вид справа, б – вид зліва



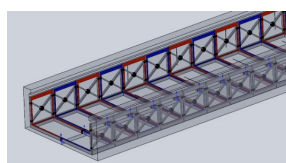
а) б)

Рис. 15. Модульний елемент у режимі «нуль», полярність 1 та 2 у межах однієї секції: а – вид справа, б – вид зліва

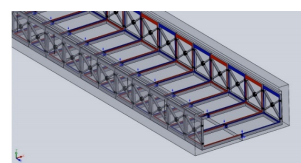


а) б)

Рис. 16. Модульний елемент у режимі «вісімка», комбіноване вмикання полярності 1 та 2 в межах однієї секції: а – вид справа, б – вид зліва

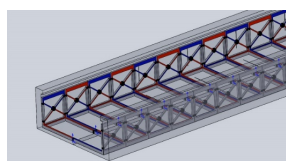


а)

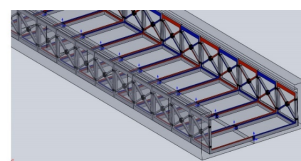


б)

Рис. 17. Розташування котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль»: а – вид справа, б – вид зліва



а)



б)

Рис. 18. Розташування котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», комбіноване вмикання полярності: а – вид справа, б – вид зліва

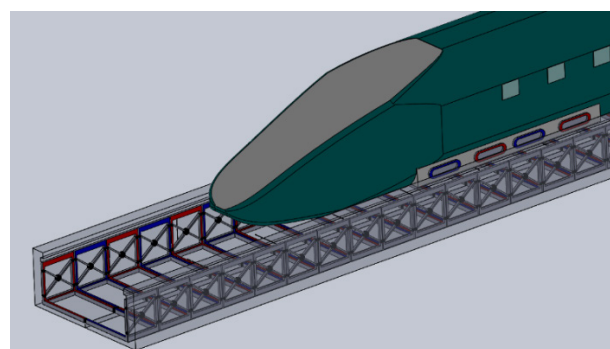


Рис. 19. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль», вид справа

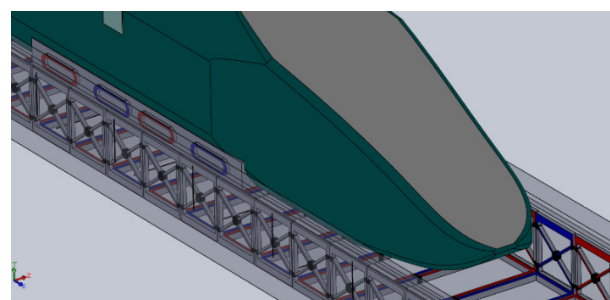


Рис. 20. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», вид зліва

Приклади розташування котушок модульних елементів на базі шляхової структури, використовуючи різні варіації вмикання (рис. 17 та рис. 18).

Остаточна ілюстрація представляє собою візуалізацію руху магнітоплану з фіксацією стану універсального дворежимного тягово-левітаційного модуля, які розташовані вздовж шляхової структури (рис. 19 та рис. 20).

В цілому за рахунок комутації транзисторів у вузлах (блоках) модуля можна реалізувати чотирнадцять основних схем роботи системи.

Висновки.

1. Запропоновано концепцію універсального дворежимного тягово-левітаційного модуля для високошвидкісного магнітолевітаційного транспорту, який здатен працювати як у режимі тяги так і в режимі левітації;

2. Використання IGBT транзисторів дозволяє реалізувати повністю керовані прямі та реверсивні схеми роботи вузлів (блоків) комутації кіл запропонованого універсального дворежимного тягово-левітаційного модуля;

3. Маглев-траса побудована з використанням універсального дворежимного тягово-левітаційного модуля дає можливість реалізувати режим левітації магнітоплану на початку та вкінці руху, без використання опорного колісного модуля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пассажирский транспорт. URL: <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1226743>.
2. Fritz E., Klühspies J., Kircher R., Witt M., Blow L. Energy Consumption of Track-Based High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel Rail. *Transportation Systems and Technology*. Vol. 4(3). P. 134-155. <https://doi.org/10.17816/transsyst201843s1134-155>.
3. Kircher R., Palka R., Fritz E., Eiler K., Witt M., Blow L., Klühspies J. Electromagnetic Fields of High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. *The International Maglev Board, Research Series*. 2018. Vol. 2. P. 1–19. URL: <https://www.researchgate.net/publication/327972538> (date of access: 25.01.2022).
4. Wenk, M., Klühspies, J., Blow, L., Kircher, R., Fritz, E., Witt, M., Hekler, M. *Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail*. Germany: The International Maglev Board, 2018. 44 p.
5. Himanshu Harilal Jaisal Super Maglev Trains. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*. 2020. Vol. 10(10). P. 614–620. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.10.2020.p10678>.
6. TRANSRAPID DESIGN HISTORY URL: <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>.
7. He, J L, Rote, D M, & Coffey, H T. Survey of foreign maglev systems. United States. Center for Transportation Research, Energy Systems Division. 1992. – 88 p. <https://doi.org/10.2172/10134413>.
8. JR-Maglev URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev>.
9. SCMaglev URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/SCMaglev>.
10. Superconductors URL: <https://www.physicscentral.com/explore/action/super.cfm>.
11. Дзензерский В. А., Гниленко А. Б., Плаксин С. В., Погорелая Л. М., Шкиль Ю. В. Перспективная транспортно-энергетическая система на основе интеграции магнитолевитационной технологии и распределенной фотоэлектрической электростанции. *Вісник ДНУЗТ Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 1(73). С. 77–86. <https://doi.org/10.15802/stp2018/123116>.

2-MODE TRACTION-LEVITATION MODULE OF A PROMISING MAGNETIC-LEVITATION TRANSPORT SYSTEM

Serhii Plaksin

Head of Department «Vehicle Control Systems», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine «Transmag», 49005, str. Pysarzhevsky, 5, Dnipro, Ukraine, svp@westa-inter.com
ORCID: 0000-0001-8302-0186

Andrii Mukha

Head of Department «Electric Engineering and Electromechanics», Ukrainian State University of Science and Technology, 49005, str. Pysarzhevsky, 5, Dnipro, Ukraine, mukha.andrii@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5629-4058

Dmytro Ustymenko

Associate Professor at the Department «Electric Engineering and Electromechanics», Ukrainian State University of Science and Technology, 49005, str. Pysarzhevsky, 5, Dnipro, Ukraine, ustymenko.1979@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2984-4381

Yuriy Shkil

Junior Researcher at the Department «Vehicle Control Systems», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine «Transmag», 49005, str. Pysarzhevsky, 5, Dnipro, Ukraine, siv@westa-inter.com

ORCID: 0000-0002-8684-5906

Oleksandr Holota

Engineer at the Department «Vehicle Control Systems», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine «Transmag», 49005, str. Pysarzhevsky, 5, Dnipro, Ukraine, sashagolota3012@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0282-2767

Yehor Chupryna

Engineer at the Department «Vehicle Control Systems», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine «Transmag», 49005, str. Pysarzhevsky, 5, Dnipro, Ukraine, nesty.lords@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0986-1283

Modern electric rolling stock has the ability to reach speeds of more than 500 km/h, which creates conditions for competition with other modes of transport over short and medium distances. Such high-speed systems based on the effect of magnetic levitation can use electromagnetic or electrodynamic suspension. The first requires high accuracy of the track structure and a complex control system, and the second is less critical to the accuracy of the track structure and the level of complexity of the control system, but the effective suspension of the magnetoplane is created only at a relatively high speed. At the initial accelerating sections, trains with electrodynamic suspension are supported in the working position with the help of special wheel systems, which is a significant drawback. The purpose of the research is to determine the possible circuit solutions of the track module, which can provide a combined mode of operation - the traction mode and the levitation mode, not only in the steady state of motion, but also in the areas of acceleration or deceleration without the use of support wheel systems. The article presents some results of the development of a traction-levitation module based on a dual-mode track structure that can operate with a change in the polarity (direction) of the magnetic flux interacting with the magnetic flux of superconducting magnets installed on the magnetic plane. Based on the results of the research, schematic and design solutions for a scientifically based traction-levitation module for a maglev transport system of the Maglev type are presented, with the ability to obtain levitation of a magnetic plane in the accelerating section.

Key words: maglev transport, road structure, traction-levitation module, accelerating section, road structure, maglev.

REFERENCES

1. Passenger transport. (18.05.2020). *In the first quarter of 2020, passenger traffic decreased in Ukraine*. <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1226743>.
2. Fritz, E., Kluhspsies, J., Kircher, R., Witt, M. & Blow, L. (2019) Energy Consumption of Track-Based High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. *Transportation Systems and Technology*. 4(3), 134-155. DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst201843s1134-155> (in English).
3. Kircher, R., Palka, R., Fritz, E., Eiler, K., Witt, M., Blow, L. & Klühspies, J. (2018). Electromagnetic Fields of High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. *The International Maglev Board*. Research Series 2. 1–19. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/327972538> [in English].
4. Wenk, M., Klühspies, J., Blow, L., Kircher, R., Fritz, E., Witt, M., Hekler, M. (2018) *Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail*. ISBN: 978-3-947957-00-2. Germany, DC: The International Maglev Board. [in English].
5. Himanshu H. J. (2020) Super Maglev Trains. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*. Vol. 10(10), P. 614–620. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP> [in English].
6. Maglev.net. (06.05.2020). *Transrapid design history*. <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>.
7. He, J L, Rote, D M, & Coffey, H T. Survey of foreign maglev systems. United States. <https://doi.org/10.2172/10134413> [in English].
8. Wikipedia. (11.11.2020). *JR-Maglev*. <https://ru.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev>.
9. Wikipedia. (19.05.2022). *SCMaglev*. <https://en.wikipedia.org/wiki/SCMaglev>.
10. Physicscentral. *Superconductors*. <https://www.physicscentral.com/explore/action/super.cfm>.
11. Dzenzerskiy, V. A., Gnilenko, A. B., Plaksin, S. V., Pogorelaya, L. M. & Shkil, Yu. V. (2018). Perspective transport-power system based on the integration of maglev-technology and distributed photo-electric station. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 1(73), 77–86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123116> [in Russian].