

## ЗАЯВА

Я, Цуприна Егор Михайлович

(ПІБ повністю)

Студент групи ЕП2021

(шифр групи)

Спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітньої програми Електромеханічні системи автоматизації та

(назва освітньої програми)

електропривод

освітнього ступеня підготовки магістр

(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

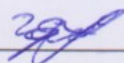
Розробка та дослідження моделі тягового зчеплення  
для високоскорісного наземного транспорту  
(комплексна випускна робота)

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

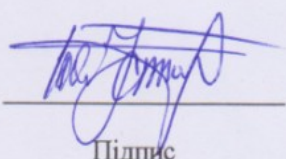
«13» грудня 2021 р.

  
Підпис

Керівник роботи

Устименко Д.В.

ПІБ

  
Підпис

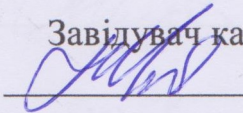
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 /Андрій МУХА/

« 20 » 12 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

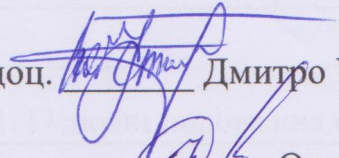
Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

Тема **Розробка та дослідження моделі тягового двигуна для високошвидкісного наземного транспорту**

Theme **Development and research of a traction engine model for high-speed land transport**

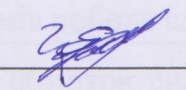
Керівник дипломної роботи

доц.  Дмитро УСТИМЕНКО

Нормоконтролер

доц.  Оксана КАРЗОВА

Студент групи ЕП2021

 Єгор ЧУПРИНА

Student

Chupryna Yehor

Дніпро – 2021

Український державний університет науки і технологій

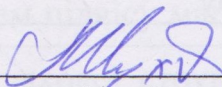
Факультет Управління енергетичними процесами

кафедра Електротехніка та електромеханіка

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

завідувач кафедри

  
(підпис)

Муха А. М.

(ПІБ)

«20» бересня 2021 р.

### ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи ЕП2021 Чуприни Єгора Михайловича

(номер групи)

(ПІБ)

1. Тема дипломної роботи Розробка та дослідження моделі тягового двигуна для високошвидкісного наземного транспорту (комплексна випускна робота)

затверджена наказом по університету № 799ст від «31» грудня 2020 р.

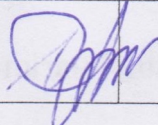
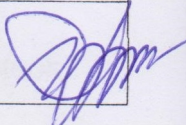
2. Термін подання студентом закінченої роботи 1 грудня 2021р.

3. Вихідні дані до дипломної роботи 1. Існуючі схеми та конструкції магнітолевітаційних систем «TransRapid» та «SCmaglev». 2. Конструкція шляхової структури та компоненти системи maglev. 3. Існуючі системи електромагнітів природного та штучного охолодження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки 1. Основні положення сучасного стану задачі. 2. Концепція керування інноваційним модульним шляховим елементом високошвидкісного магнітолевітаційного транспорту. 3. Розрахунок параметрів системи тяги екіпажу. 4. Дослідження режимів роботи системи тяги за допомогою імітаційної моделі. 5. Розробка топології обмоток системи тяги за допомогою 3D-моделювання. 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

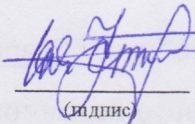
5. Перелік графічних робіт (з переліком обов'язкових креслень) 1. Загальна схема руху маглева. 2. Схематичне зображення з'єднання котушок. 3. Графічне зображення концепції перемикання «нуль» та «вісімка». 4. Схеми вмикань «нуль» та «вісімка». 5. Структурна схема імітаційної моделі. 6. Отримані графіки з осцилографа. 7. 3D-модельовання режимів вмикання, шляхової структури, рухомого складу.

6.

| Розділ                                            | Консультант  | Підпис, дата                                                                        |                                                                                     |
|---------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   |              | Завдання видав                                                                      | Завдання прийняв                                                                    |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Саблін О. І. |  |  |

Дата видачі завдання: «20» Вересня 2021 р.

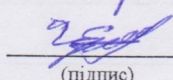
Керівник дипломної роботи



Д.В. Юрченко

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання



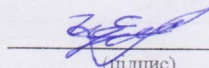
С.М. Чуприна

(ПІБ)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

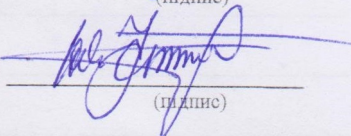
| № з/п | Назва розділу дипломної роботи                                          | Термін виконання | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|
| 1     | Основні положення сучасного стану задачі                                | 20.09.2021       | 10%      |
| 2     | Концепція керування інноваційним модульним шляховим елементом           | 11.10.2021       | 15%      |
| 3     | Розрахунок параметрів системи тяги екіпажу                              | 15.10.2021       | 25%      |
| 4     | Дослідження режимів роботи системи тяги за допомогою імітаційної моделі | 18.10.2021       | 10%      |
| 5     | Розробка топології обмоток системи тяги за допомогою 3D-модельовання    | 08.11.2021       | 15%      |
| 6     | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях                       | 15.11.2021       | 10%      |
| 7     | Висновки                                                                | 19.11.2021       | 5%       |
| 8     | Список використаної літератури                                          | 23.11.2021       | 5%       |
| 9     | Додаток                                                                 | 23.11.2021       | 5%       |

Студент-дипломник



(підпис)

Керівник роботи



(підпис)

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Розробка та дослідження моделі тягового двигуна для високошвидкісного наземного транспорту (комплексна випускна робота)» складається з 6 розділів та містить: 65 сторінок основного тексту, 6 таблиць, 52 рисунка, 18 літературних джерел, додаток.

Мета роботи – аналіз сучасного стану систем підвісу магнітолевітаційного транспорту, дослідження котушок живлення шляхової структури та розробка інноваційної системи початкового руху магнітолевітаційного транспорту на основі системи SCMaglev.

В розділі 1 розглядаються загальні питання магнітолевітаційного транспорту, описані основні варіанти реалізації систем підвісу, надані недоліки та переваги цих систем, описана будова та принцип роботи маглевів.

В розділі 2 представлена концепція інноваційної системи керування шляховим елементом на базі системи живлення шляхової структури, розглянуті можливі варіанти реалізації цієї системи та надані функціональні схеми та топологія представленої структури.

Розділ 3 містить опис надпровідної системи маглеву та розрахунок параметрів електродинамічної системи підвісу.

Розділ 4 представляє собою дослідження функціональної схеми та характеристик маглеву за допомогою імітаційної моделі.

У розділі 5 виконано моделювання та візуальне представлення топології системи котушок живлення шляхового елемента на базі шляхової структури.

У розділі 6 надана інформація з питань безпеки охорони праці при роботі з високошвидкісним наземним транспортом та вимоги безпеки у разі виникнення аварійних (надзвичайних) ситуацій.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МАГНІТОЛЕВІТАЦІЙНИЙ ТРАНСПОРТ, МАГЛЕВ, ЛЕВІТАЦІЯ, СИСТЕМА ПІДВІСУ, ОБМОТКИ ЖИВЛЕННЯ, ШЛЯХОВА СТРУКТУРА, МОДЕЛЮВАННЯ, СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 4    |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                                                                         | 7  |
| РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАДАЧІ                                                                             | 8  |
| 1.1 Поняття «Маглев». Розвиток, їх види                                                                                       | 8  |
| 1.2 Основні типи магнітного підвісу                                                                                           | 10 |
| 1.3 Приведення потягу до руху                                                                                                 | 13 |
| 1.4 Склад ходової частини                                                                                                     | 14 |
| 1.5 Принцип левітації                                                                                                         | 15 |
| 1.6 Системи управління транспортом                                                                                            | 16 |
| РОЗДІЛ 2 КОНЦЕПЦІЯ КЕРУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИМ<br>МОДУЛЬНИМ ШЛЯХОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ ВИСОКОШВИДКІСНИМ<br>МАГНІТОЛЕВІТАЦІЙНИМ ТРАНСПОРТОМ | 18 |
| 2.1 Принцип роботи руху потягу                                                                                                | 18 |
| 2.2 Система швидкості «Маглев»                                                                                                | 21 |
| 2.3 Система з впровадженням комутатора                                                                                        | 22 |
| 2.4 Реалізація системи за рахунок використання транзисторів «IGBT»                                                            | 24 |
| 2.5 Топологія системи керування на основі IGBT транзисторів                                                                   | 25 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТЯГИ ЕКІПАЖУ                                                                           | 32 |
| 3.1 Роль котушок у приведенні до руху потягу «Маглев»                                                                         | 32 |
| 3.2 Розрахунок сили створюваною котушкою                                                                                      | 32 |
| 3.3 Обчислення площі а також довжини витка котушки                                                                            | 33 |
| 3.4 Розрахунок та визначення магнітного потоку                                                                                | 34 |

|           |      |                |                 |       |                                                                                                                         |                                                                    |      |            |
|-----------|------|----------------|-----------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|------------|
|           |      |                |                 |       | Пояснювальна записка                                                                                                    |                                                                    |      |            |
|           |      |                |                 |       | Розробка та дослідження моделі тягового двигуна для високошвидкісного наземного транспорту (комплексна випускна робота) | Літ.                                                               | Маса | Масштаб    |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис          | Дата  |                                                                                                                         |                                                                    |      |            |
| Розроб.   |      | Чуприна С.М.   | <i>[Підпис]</i> | 20.12 |                                                                                                                         |                                                                    | 1    | 1 : 1      |
| Перевір.  |      | Устименко Д.В. | <i>[Підпис]</i> | 20.12 |                                                                                                                         |                                                                    |      |            |
| Т. Контр. |      |                | <i>[Підпис]</i> |       |                                                                                                                         | Арк.                                                               | 5    | Аркушів 65 |
| Реценз.   |      |                |                 |       | 0024.ДМР21.06.ПЗ                                                                                                        | Український державний університет науки і технологій, група ЕП2021 |      |            |
| Н. Контр. |      | Карзова О.О.   | <i>[Підпис]</i> | 20.12 |                                                                                                                         |                                                                    |      |            |
| Затверд.  |      | Муха А.М.      | <i>[Підпис]</i> | 20.12 |                                                                                                                         |                                                                    |      |            |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ<br>ТЯГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ                 | 36 |
| 4.1 Функціонування структурної схеми тяги системи «Маглев»                                          | 37 |
| 4.2 Побудова та аналіз графіків, отриманих з допомогою системи<br>моделювання тяги системи «Маглев» | 38 |
| РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ТОПОЛОГІЇ ОБМОТОК СИСТЕМИ<br>ТЯГИ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ                     | 39 |
| 5.1 Топологія блоків керування                                                                      | 39 |
| 5.2 Моделювання вмикання модульних елементі у режимі «нуль»                                         | 40 |
| 5.3 Моделювання вмикання модульних елементі у режимі «вісімка»                                      | 41 |
| 5.4 Моделювання комбінованого вмикання модульних елементі у<br>режимі «вісімка»                     | 43 |
| 5.5 Моделювання комбінованих модульних елементі на базі<br>шляхової структури                       | 44 |
| 5.6 Моделювання рухомого складу та комбінованих<br>модульних елементів на базі шляхової структури   | 45 |
| РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ<br>СИТУАЦІЯХ                                       | 52 |
| 6.1 Вимоги безпеки праці під час знаходження поблизу<br>ділянок магнітолевітаційного транспорту     | 52 |
| 6.2 Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях                                | 57 |
| ВИСНОВОК                                                                                            | 63 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ                                                                      | 64 |
| СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ                                                                              | 66 |
| ДОДАТОК А                                                                                           | 67 |

## ВСТУП

У сучасному світі існує декілька видів транспорту, призначених для перевезень пасажирів та вантажів. Кожен з них в свою чергу має свої переваги та недоліки. Стає питання найбільш перспективного виду транспорту з усіх. Авіатранспорт має свою перевагу у часі, затраченому на перевезення, але й має недолік – це відносно невеликий об'єм перевезень вантажу та пасажирів. Залізничний транспорт в свою чергу може перевозити значно більшу кількість вантажу та пасажирів, але натомість часу для перевезень витрачає більше. А також не можливо не зазначити такий вид як автомобільний транспорт. Він виділяється найменшими показниками об'єму серед інших видів транспортних засобів, але й автомобіль переважає залізницю у часі.

Отже одними з найважливіших та перспективних засобів, призначених для перевезення пасажирів з однієї точки в іншу, є переміщення за допомогою потягів. Одним із таких потягів є потяг на магнітній подушці. Вони володіють великою надійністю, спроможні долати великі відстані за короткий час на пристойній швидкості в комфортних умовах, саме тому й користуються популярністю.

У наш час сфера перевезень стрімко набирає оберти технологічного розвитку у всьому світі. Первинною метою є економічний розвиток та екологічний стан, тому розвиток кожної з ланок сфер обслуговування, перевезень і тощо дозволить витратити мінімум ресурсів, робочої сили та окремих виконавців.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 7    |

## РОЗДІЛ 1

### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАДАЧІ

#### 1.1 Поняття «Маглев». Розвиток, їх види

Поїзди маглев (транспорт з магнітною левітацією) – це транспортні системи, які досягають високих швидкостей з низьким тертям якщо порівнювати їх зі звичайними колісно-рейковими поїздами. Одним з чинників, завдяки якому стала цікавою технологія системи поїздів маглев, це те, що вона може поліпшити екологічне становище у світі а також зменшити кількість заторів.

Великою відмінністю поїздів на основі магнітної левітації від звичайних полягає у тому, що поїзди маглев не використовують двигун – принаймні не такого, що використовується задля того, щоб тягнути звичайні вагони потягу по сталевим рейкам. Двигун у поїздах маглев досить непомітний. Замість використання викопного палива, магнітне поле, яке створюється завдяки електрифікованих котушок в стінах рейок і на шляху, призводить поїзд до руху.

Маглев – це система транспортування поїздів, яка використовує два набори магнітів: один – для відштовхування поїзда від колії, інший – для переміщення піднятого поїзду вперед за рахунок переваги відсутності тертя.

У 21 столітті декілька країн використовують потужні електромагніти для створення високошвидкісних поїздів, які називаються маглев-поїздами. Ці поїзди левітують над рейками, використовуючи основні принципи магнітів, щоб замінити старі потяги зі сталевими колесами і рейками. Тертя в рейках відсутнє, що означає, що ці поїзди можуть розвивати швидкість в сотні миль на годину [1].

В Німеччині та Японії продемонстрували, що цей вид транспорту дозволяє досить вигідно конкурувати з повітряним транспортом на ближніх та середньомагістральних напрямках (зазвичай від 320 до 640 км (200 до 400 миль)).

У суспільній уяві слово «маглев» часто викликає уявлення про надземний монорельсовий шлях з лінійним двигуном. Системи маглеву можуть бути монорейковими або двохрейковими – наприклад, SCMaglev MLX01

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 8    |

використовує доріжку, схожу на траншею – і не всі монорейкові поїзда є маглевами. Деякі залізничні транспортні системи включають лінійні двигуни, але використовують електромагнетизм тільки для приведення в рух, що не приводить до левітації транспортний засіб. Шляхи маглеву, монорейкові чи ні, можуть бути прокладені на рівні землі або під землею в тунелях. І навпаки, немаглевські шляхи, монорейкові чи ні, можуть бути надземними або підземними. Деякі маглев-поїзди мають колеса і функціонують як лінійні колісні транспортні засоби з двигуном на низьких швидкостях, але левітуючі на більш високих швидкостях. Як правило, це відноситься до потягів маглев з електродинамічною підвіскою. Аеродинамічні фактори також можуть грати роль в левітації таких поїздів [2].



Рис. 1. Зовнішній вид маглева SCMaglev MLX01

Потяги на основі TransRapid, використовують доріжку у вигляді Т-подібного полотна, яке виконано з провідника, наприклад TransRapid 08.



Рис. 2. Зовнішній вид маглева TransRapid 08

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 9    |

## 1.2 Основні типи магнітного підвісу

Принцип розробки та побудови потягів маглев базується на виборі типу підвіски. В наш час використовують два типи підвіски, це німецька система «TransRapid» та японська підвіска, яка розроблялась Японським дослідницьким інститутом залізничної техніки (Japan Railway Technical Research Institute). Однак підвіс та боковий напрямок вагона відносно шляху кардинально відрізняється: у «TransRapid» – це використання електромагнітної системи, а у японському випадку – електродинамічна.

Структура поїздів маглев має кілька незвичайних характеристик:

- 1) максимально легка;
- 2) достатня кількість ступенів свободи;
- 3) спеціальний механічно-гальмівний режим;
- 4) транспортні засоби падають на рейки, щоб ковзати в надзвичайних ситуаціях [5].

Системи електродинамічної підвіски (EDS) схожі на EMS за кількома параметрами, але магніти використовуються для відштовхування поїзда від рейки, а не для його тяжіння. Ці магніти є переохолодженими і надпровідними і мають здатність проводити електричний струм протягом короткого часу після відключення живлення (в системах EMS втрата живлення відключає електромагніти). Крім того, на відміну від EMS, заряд намагнічених котушок рейки в системах EDS відштовхує заряд магнітів на ходовій частині потяга, так що він левітує вище (зазвичай в діапазоні 1-10 см (0,4-3,9 дюйма)) над рейкою.

Магніти, які використовуються, є надпровідними. Це означає, що при охолодженні до температури менше 450 градусів за Фаренгейтом можуть генерувати магнітні поля, які в 10 разів сильніше, ніж звичайні електромагніти. Цього достатньо, щоб підвісити і привести в рух поїзд.

Для переміщення вагона поїзда по рейках використовується як магнітне тяжіння, так і відштовхування. Уявимо коробку з чотирма магнітами – по одному на кожному боці. Передні кути мають магніти з північними полюсами,

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                  | 10   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

спрямованими назовні, а задні кути – з південними полюсами, спрямованими назовні. Електрифікація силових контурів створює магнітні поля, які як тягнуть поїзд вперед зпереду, так і штовхають його позаду. Така конструкція плаваючих магнітів забезпечує плавний рух. Незважаючи на те, що поїзд може розвивати швидкість до 375 миль на годину, велосипедист відчуває меншу турбулентність, ніж в традиційних потягах зі сталевими колесами, оскільки єдиним джерелом тертя є повітря [3].

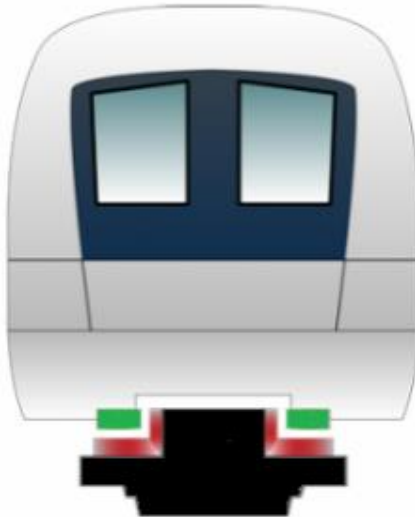


Рис. 3. Електродинамічний тип підвісу

Електромагнітна підвіска (EMS) використовує силу тяжіння між магнітами, які називаються опорні та напрямні, розташовані паралельно до феромагнітних статорів, розташованих на краях Т-подібного шляху для левітації поїзда. Різновид електромагнітної системи, так звана «TransRapid», використовує електромагніт для підйому поїзда з рейок. Тяжіння магнітів, розташованих на нижньому боці транспортного засобу, охоплює залізні рейки направляючої, а також утримує поїзд на висоті близько 8-10 мм над направляючою.

Головним недоліком технології EMS є те, що відстань між опорним магнітом і статором, який розташований на Т-подібному полотні, має контролюватися, а також коригуватися спеціальними автоматизованими

системами в залежності від безлічі факторів, включаючи непостійну природу електромагнітної взаємодії.

Технологія системи «TransRapid» заснована на технології інтегральних схем, які контролюють електромагнітні поля між транспортним засобом і рейками. Проміжок, який створюється електромагнітними полями, усуває необхідність контакту між транспортним засобом і рейкою, і дозволяє транспортному засобу левітувати на подушці з електромагнітних хвиль і повітря. Вплив «TransRapid» на навколишнє середовище менше, ніж у його конкурентів. Як і інші залізничні транспортні системи, він використовує набагато менше землі, ніж потрібно для автомобільних доріг. Він також споживає менше енергії і створює менше шуму, ніж автомобілі, поїзди і літаки під час руху на еквівалентних швидкостях. Однак залишаються питання про вплив електромагнітних полів на пасажирів і про рівень шуму при швидкості понад 250 миль/год (400 км/ч) [4].



Рис. 4. Електромагнітний тип підвісу

Для обох транспортних систем спільним є те, що рух вагонів в них забезпечується за рахунок використання лінійного синхронного двигуна.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 12   |

### 1.3 Приведення потягу до руху

Транспортні системи на основі магнітного підвісу «TransRapid» для приведення до руху використовують лінійний синхронний двигун з металевим осердям а також довгим статором в сукупності з магнітною левітацією. Принцип роботи такого типу двигуна показаний на рис. 5.

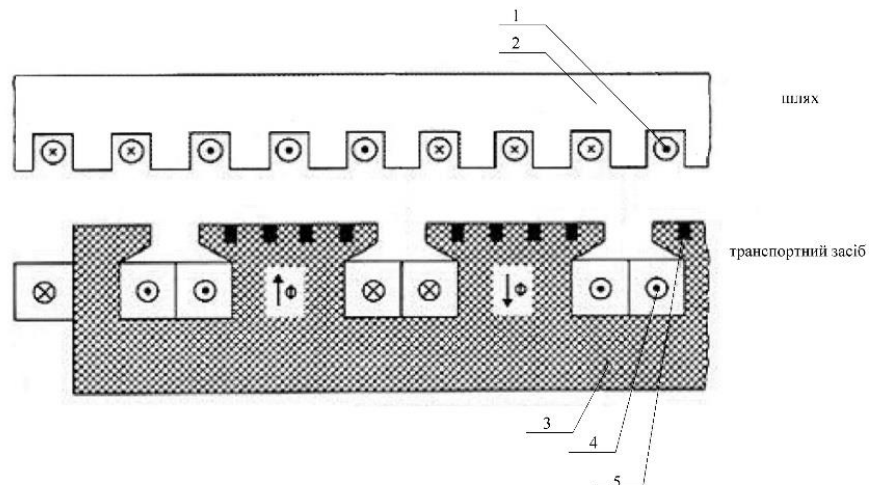


Рис. 5. Поперечний переріз лінійного синхронного тягового двигуна з довгим статором:

1 – статорна ламінована серцевина, 2 – обмотка статора, 3 – магніт підвіски/збудження, 4 – обмотка збудження, 5 – лінійний генератор

Хвиля може генеруватись вздовж направляючої за рахунок розташування трифазних якірних обмоток, в той час, коли подається живлення на вісь обмоток від багатофазового джерела живлення. Магнітні поля збудження, які створюються силовою установкою потягу, також діють як підвісні магніти.

Лінійний синхронний двигун – це тип лінійного двигуна, який утворює тягу завдяки якій з'являється рух за рахунок взаємодії статичного поля (збудженням) та створюваним обмоткою якоря рухомого магнітного поля, яке рухається з синхронною швидкістю статичного поля. Таке поле може бути створене різними видами магнітів, а саме: електромагнітами, надпровідними або постійними магнітами.

Якщо брати у порівняння синхронні та асинхронні типи лінійних двигунів, то можна зробити висновок, що синхронні двигуни мають більшу ефективність, а також виграють за рахунок більш високого коефіцієнту потужності. Лінійний синхронний двигун краще за все працює з активною направляючою та задля того, щоб керувати швидкістю транспортного засобу використовує струм збудження або частоту і кут крутного моменту. В період збудження синхронного двигуна генеруються нормальні сили, які є або притягуючими для недостатнього збудження, або відштовхуючими для надмірного збудження.

У поїзді системи «TransRapid» також використовується лінійний генератор, котрий вбудований в левітаційні магніти, як показано на рис. 5. Лінійний генератор в свою чергу отримує енергію від рухомого електромагнітного поля, під час руху потягу. Синхронна частота обмоток генератора у шість разів більше, ніж у синхронної частоти двигуна. При використанні цього генератора у такій системі як «TransRapid» є позитивна сторона. Вона полягає у тому, що безпосередньо сам генератор є механічно безконтактним, а це в свою чергу позитивно впливає на роботу при високих швидкостях.

Коливання індукованої напруги через нерівномірність повітряного зазору і невелика величина цієї напруги через мініатюрні індукційні котушки може стати проблемою.

#### 1.4 Склад ходової частини

Колісно-рейкові транспортні засоби мають лише два візка; за рахунок колісних пар вони контактують з рельсом. Проте візки поїздів з магнітною левітацією розподілені по всій довжині транспортного засобу, тому вони значно відрізняються за структурою.

Ходова частина поїздів на магнітній підвісці складається з декількох візків. Потяги на магнітній підвісці і колісно-рейкові поїзда також розрізняються по з'єднанню візків і між візками і вагонами. Як показано на рис. 6, візки з'єднуються перекриваються електромагнітом 2 і пружинними шарнірами,

утворюючи ходову частину маглева, і з'єднуються з кузовом потягу системою похилої підвіски [5].

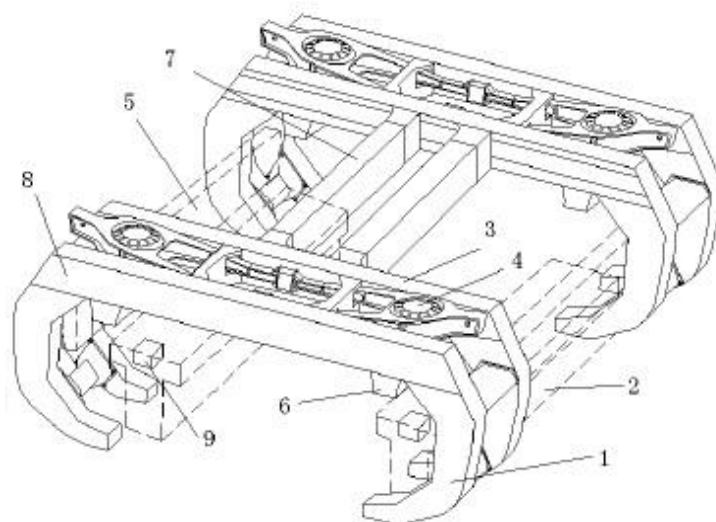


Рис. 6. Візок швидкісного потягу на магнітній підвісці:

1 – опорний важіль, 2 – левітаційний магніт, 3 – поперечна балка, 4 – пневматична пружина і маятник, 5 - направляючий магніт, 6 – підставка, 7 – торсійний лонжерон, 8 – блок левітаційної рами, 9 – датчик зазору

### 1.5 Принцип левітації

Левітація у системі «TransRapid» досягається за рахунок притягіння між феромагнітними блоками статора, які встановлюються на направляючу (пасивна частина), а також магнітами, які індивідуально керуються і розташовані у ходовій частині потягу (активна частина). Бокове наведення може бути досягнуто за рахунок взаємодії направляючих магнітів, які встановлені з обох боків на ходовій частині потягу, та прикріплених до направляючої сталі рельсів. По всій довжині з обох сторін потягу встановлені й згруповані індивідуальні левітаційні і направляючі магніти. Так само й компоненти системи, які встановлені на направляючій, безперервно фіксуються з обох боків. Ковзаючі рейки встановлені у верхній частині направляючої, та слугують для того, щоб підтримувати потяг у місці зупинки. Під час роботи резервна і високонадійна електрична система

управління дає гарантію, що транспорт левітує на постійній відстані трьох восьмих дюйма (10 мм) від направляючої на усіх швидкостях.

### **1.6 Системи управління транспортом**

Існує декілька систем управління, які є основними, а саме: центральна, станційна та транспортна. Центральна система – це трирівнева система, яка використовує кабельний і радіозв'язок з високошвидкісними комп'ютерами для передачі, аналізу а також прийняття рішень на основі отриманої інформації. Центральний центр управління відповідає за: контроль швидкості, слідкує за місцезнаходженням потягу, регулює його швидкість та стежить за станом направляючих. Децентралізований середній рівень в свою чергу займається регулюванням роботи рухової системи, відштовхуючись від показників швидкості потягу, максимізують продуктивність. Найнижчим рівнем цієї системи є децентралізована система безпеки, яка займається контролюванням рейок, станцій, та транспортних засобів.

Бортові ж системи управління також розділені на декілька окремих, але взаємопов'язаних систем. Перша включає в себе бортову електричну систему і колектор/перетворювач. Колектор/перетворювач живиться від лінійного електродвигуна статора, який розташований в напрямних, та задля отримання енергії з правильною фазою і частотою, щоб перетворити її в бортову систему 440 В, також може постійно регулювати швидкість потягу. Друга система, в свою чергу, займається контролем місцезнаходження транспортного засобу стосовно направляючої і для магнітного визначення відстані між потягом і направляючою присутній датчик зазору. Остання, третя система, використовує інформацію, отриману з цього датчика для того, щоб регулювати вертикальне і горизонтальне положення потягу стосовно направляючої шляхом зміни сили магнітних полів, які створюються направляючими і рушійними магнітами транспортного засобу.

Кожна з систем, котрі були розглянуті, дубльовані, високо інтегровані і постійно регулюють рух потягу по направляючій і його положення відносно неї. Також можливий варіант повного бортового управління, тобто він може

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 16   |

займатись регулюванням швидкості незалежно від центру управління. З центром транспортний засіб знаходиться у постійному мовному та інформаційному контакті через ретрансляційну радіопередачу.

Після огляду на транспортні засоби «Maglev» і їх типи підвісу можливо зробити висновок, що саме система на основі електромагнітного підвісу є більш вигідною та перспективною для малих і середніх швидкостей. Для високих швидкостей в свою чергу кращою системою є електродинамічна, бо вона є більш розвиненою і привабливою за рахунок забезпечення високої швидкості руху. Для більш ефективного керування системою «Maglev» необхідне вдосконалення шляхової структури. Треба звернути увагу на систему керування, а також на вдосконалення механізмів для розгону і гальмування.

У електродинамічній системи підвісу є значний недолік. Він полягає у використанні двигуна внутрішнього згорання для зрушення з місця. Реалізувати такий принцип руху були вимушені по тій причині, що початкові магнітні сили дещо недостатні для того, щоб потяг зміг зрушити з місця. Після того, як транспортний засіб досягне необхідної швидкості, щоб він був спроможний перейти у левітаційний стан, колеса, які допомагали у русі, прибираються у відповідний для них відсік візка і рух відбувається тільки у режимі магнітної левітації. Методу розгону, завдяки двигуну внутрішнього згорання, можна уникнути впровадивши систему, метою якої є принцип, завдяки якому буде можливий початковий рух без використання коліс. Працездатність цієї системи можливо досягти в тому разі, якщо розробити систему керування котушками, які прокладені впродовж усієї шляхової структури, задля збільшення початкової магнітної сили для спроможності до левітації.

Також слід зазначити ще один з перспективних напрямків цієї системи, а саме впровадження і проектування системи альтернативної енергії для маглев. Одна з цих ідей полягає у тому, щоб живлення котушок, які прокладені протягом усієї пільової структури, було досягнуто за рахунок встановлення сонячних панелей.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 17   |

## РОЗДІЛ 2

### КОНЦЕПЦІЯ КЕРУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИМ МОДУЛЬНИМ ШЛЯХОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ ВИСОКОШВИДКІСНИМ МАГНІТОЛЕВІТАЦІЙНИМ ТРАНСПОРТОМ

#### 2.1 Принцип роботи руху потягу

В цьому розділі буде освітлено дослідження, аналіз концепції, а також можливі варіанти реалізації керування розгоном потягу «Маглев» завдяки перемиканню полюсів обмоток, але, по-перше, опишемо принцип, за яким рухається транспортний засіб.

Рух такого виду транспорту, як магнітолевітаційний, виникає за рахунок перемикання полюсів на обмотках, які закладені вздовж транспортного шляху, безпосередньо по якому рухається потяг. У потягів, побудованих на основі японської системи, початкове зрушення з місця перебування відбувається за рахунок двигуна внутрішнього згорання.

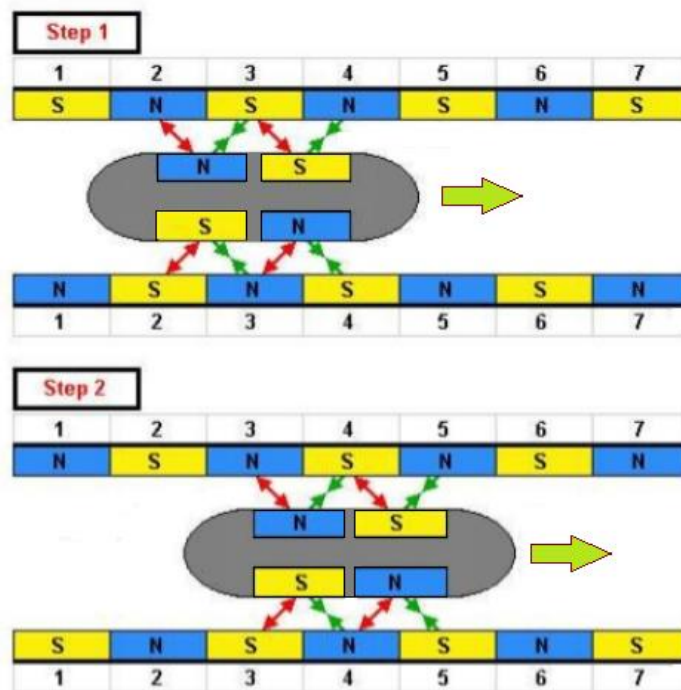


Рис.7. Загальна схема руху «Маглев»

На рис. 7 зображено, що магнітні полюси, які розташовані на візку потяга, незмінні. Приведення потягу до руху здійснюється за рахунок перемикання полюсів котушок, які закладені у борти шляху. Однак на цей час в джерелах інформації, в яких розглядаються принципи руху «Maglev», немає точної інформації про інший метод розгону поїзда, а саме про метод використання магнітної системи замість двигуна внутрішнього згорання.

В кожній секції, які являють собою контур, протікає струм. Керування системою створено так, щоб кожна секція має можливість на змінення полярності.

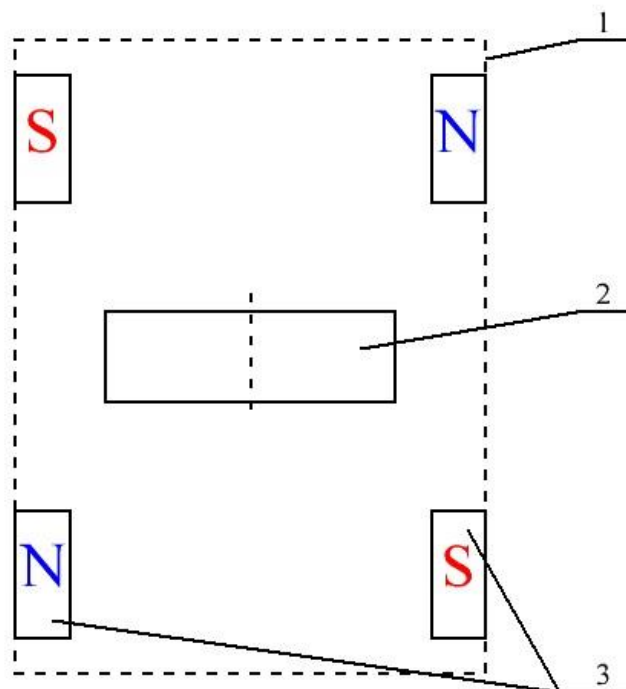


Рис. 8. Умовне зображення секції:

1 – секція, 2 – охолоджувальний пристрій, 3 – полюси

На рис. 8 показане зображення контурів та яким чином в цих контурах протікають лінії магнітного поля. Частини котушок зв'язані між собою і виконані у вигляді «вісімки». Це потрібно для того, щоб створити різну полярність, яка необхідна для руху, левітації, а також стабілізації «Maglev» під час його роботи.

З обох сторін по всій довжині транспортного шляху закладені ці «вісімки», які електрично зв'язані між собою під направляючою. Зв'язок між цими секціями дає можливість стабілізувати, а також компенсувати енергію між обмотками. Завдяки цьому енергія, яка протікає в обмотках, розподіляється рівномірно, а також перешкоджає перенавантаженню системи.

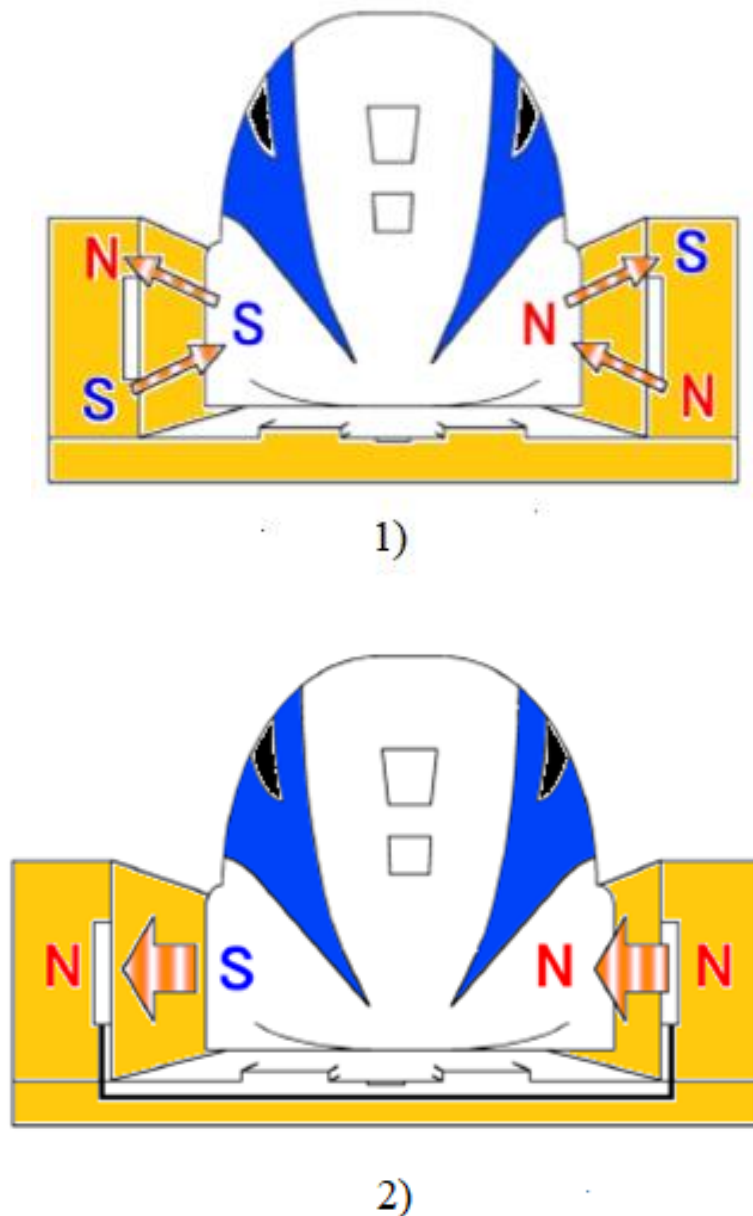
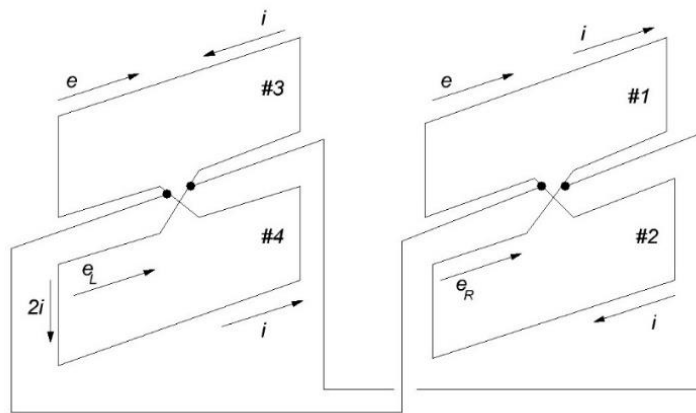


Рис. 9. Взаємодія магнітних сил:

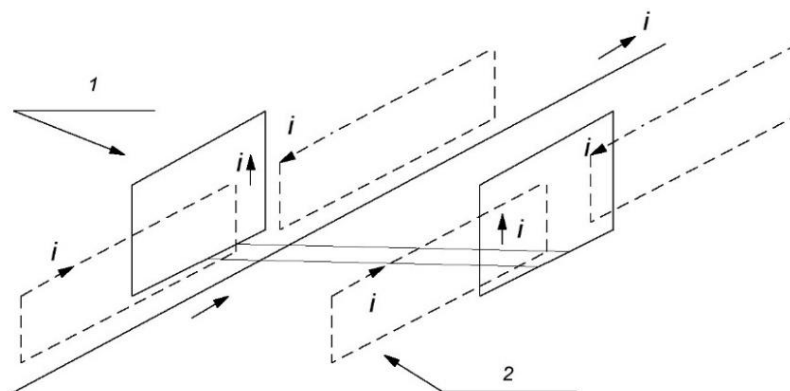
1 – левітаційна система, 2 – стабілізаційна система

## 2.2 Система швидкості «Маглев»

Швидкість, якої досягає «Maglev», може бути дуже високою, саме тому й присутній зв'язок між котушками.



1)



2)

Рис. 10. Зв'язок котушок у вигляді вісімки:

1 – рухомо-навідні котушки, 2 – надпровідні котушки

В цій системі можливо розглянути інший варіант котушок, так як швидкість збільшується поступово з кожною секцією і на етапі розгону вона невелика. Запропонована система являє собою розімкнену «вісімку» та створення одного контуру, який буде працювати на етапі розгону транспорту. В той час, коли потяг досягне усталеної швидкості, відбудеться перемикання одного контуру назад на «вісімку».

## 2.3 Система з впровадженням комутатора

Реалізація цієї системи можлива декількома варіантами. Перший з котрих – це перемикання за рахунок використання комутатора.

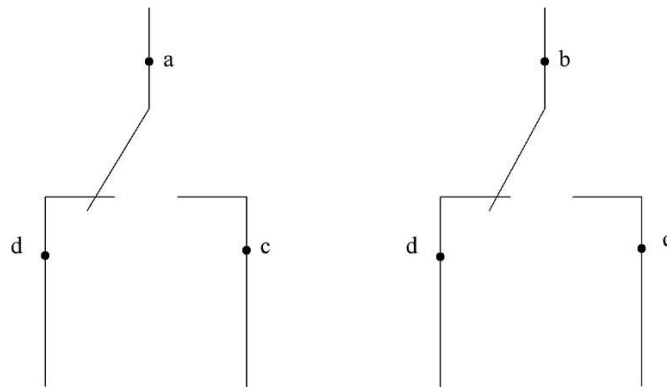


Рис. 11. Умовне зображення комутатора

Варіант з використанням комутатора є простим в реалізації, немає складних механізмів, але є також свої недоліки:

- 1) наявність рухомого контакту, який ускладнює обслуговування комутатора та його стану в теперішній час;
- 2) зношування контактів.

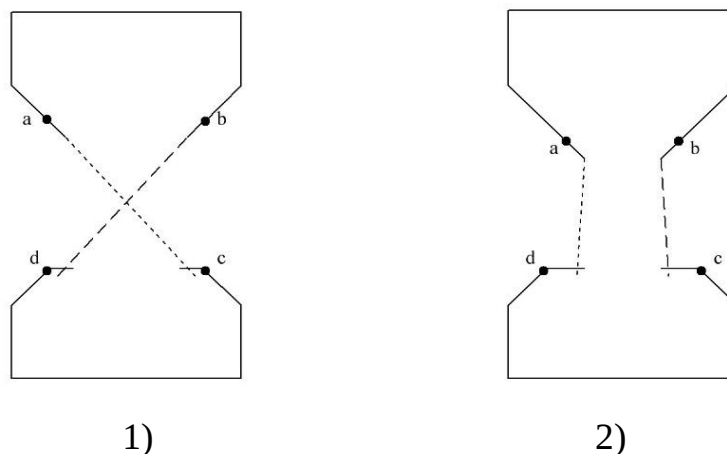


Рис. 12. Варіант реалізації котушки з комутатором :

1 – режим «вісімка», 2 – режим «нуль»

Розглянемо декілька прикладів умовних схем.

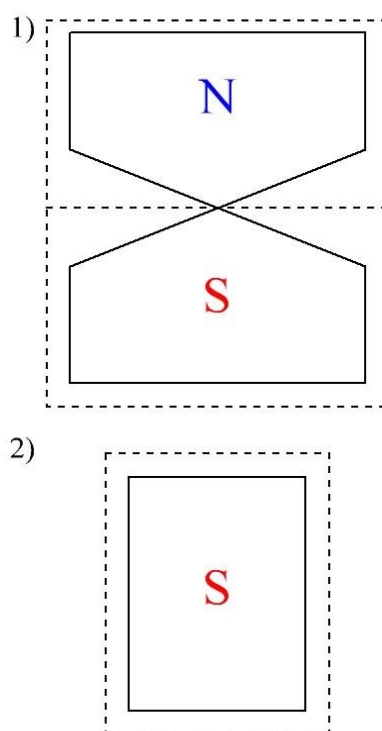


Рис. 13. Вид контуру для режиму:

1 – «вісімка», 2 – «нуль»

Задля того, щоб отримати можливість перемикання схеми обмоток на етапі розгону, необхідно розробити певну систему, яка буде задовольняти потрібним умовам. Концепція перемикання приведена на рис. 14.

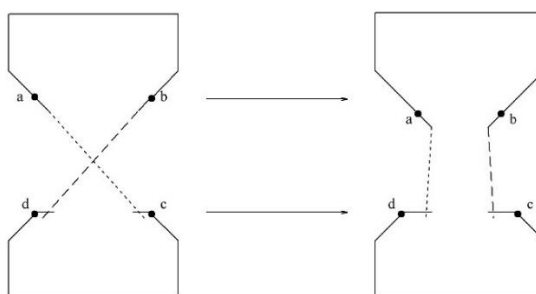


Рис 14. Концепція перемикання:

1 – режим «вісімка», 2 – режим «нуль»

В момент перемикавання з режиму «вісімка» до режиму «нуль», необхідно реалізувати систему, в якій контактні групи  $ac$  та  $bd$  перейдуть в інший режим і створиться контактна група  $ad$  та  $bc$ . Завдяки цьому буде виконана активація режиму «нуль».

## 2.4 Реалізація системи за рахунок використання транзисторів «IGBT»

Враховуючи те, що було описано вище, перемикавання комутатором не є досить вигідним. Також можна розглянути ще один спосіб, який можливо застосувати з цією системою, а саме – реалізація системи керування через використання біполярних транзисторів (IGBT).

Цей варіант ускладнює систему керування, проте є обґрунтованим тому, що таким чином можливо керувати напрямком струму в котушках.

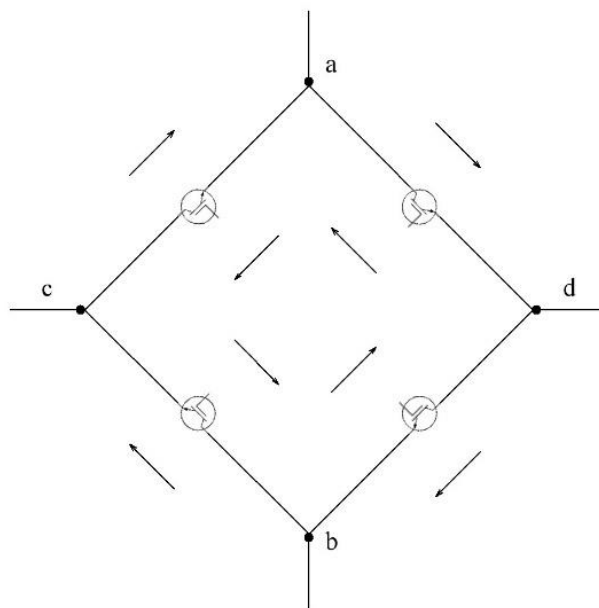


Рис. 15. Функціональна схема переминання через IGBT

Для цієї системи керування пропонується використання подвійної мостової схеми. Заради коректної роботи системи кожен з елементів повинен пропускати струм в обидві сторони. В такому разі мостова схема не працюватиме. Вирішенням проблеми є застосування подвійної мостової схеми.

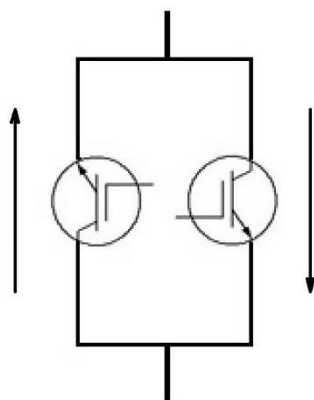


Рис. 16. Реалізація окремого елемента

Окрім роботи системи з використанням IGBT транзисторів можливе також використання повністю керованого ключа, а саме – тиристора.

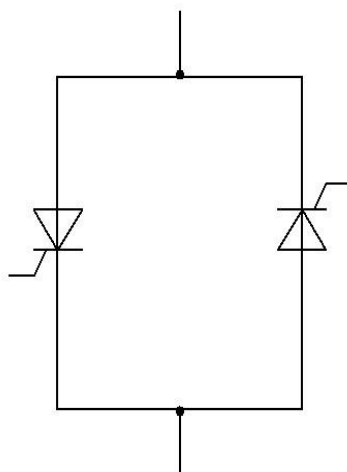


Рис. 17. Елемент системи керування на основі тиристора

## 2.5 Топологія системи керування на основі IGBT транзисторів

Данна система керування має два основних робочих режими. Такими режимами є «коло» та вісімка». У зв'язку з цим, топологія керування цих режимів буде зображена у вигляді схем і таблиць. Також на розгляд пропонуються умовні режими – прямий та інверсний.

Але насамперед зобразимо напрям магнітних контурів схем «коло» та «вісімка» без врахування IGBT транзисторів.

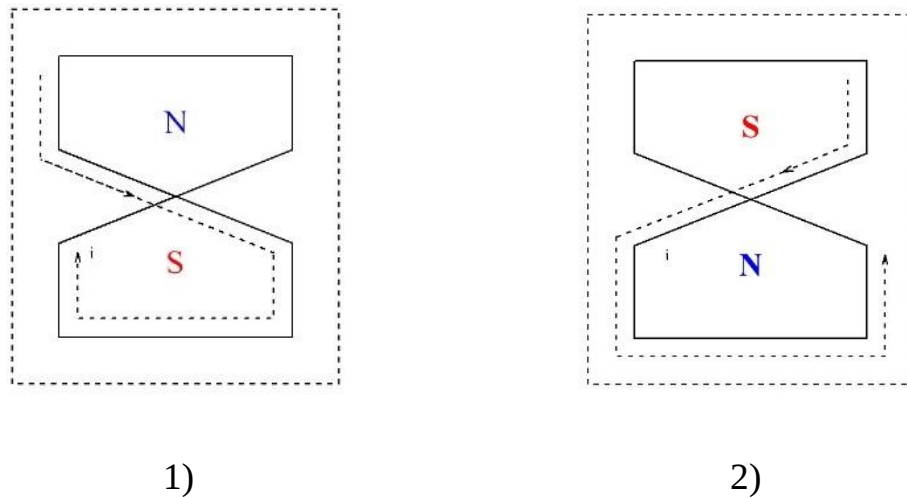


Рис. 18. Схема «вісімка»:

1 – прямий режим, 2 – інверсний режим

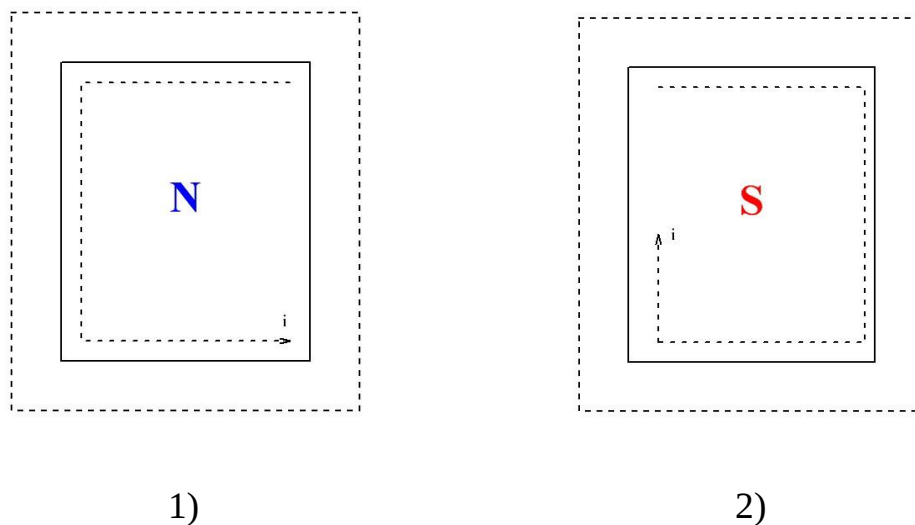


Рис. 19. Схема «нуль»:

1 – прямий режим, 2 – інверсний режим

У загальній схемі використовується 20 IGBT транзисторів. Для перемикавання схеми з «вісімки» на «коло» до кожного з контурів першої вводяться по чотири транзистори. На лінії компенсації також вводяться транзистори для можливості реверсування в обох напрямках.

Нижче розглянуто перші чотири варіації ввімкнення «вісімки» та представлено матрицю ввімкнень у вигляді табл. 1, де 1 – транзистор ввімкнений, 0 – транзистор вимкнтий.

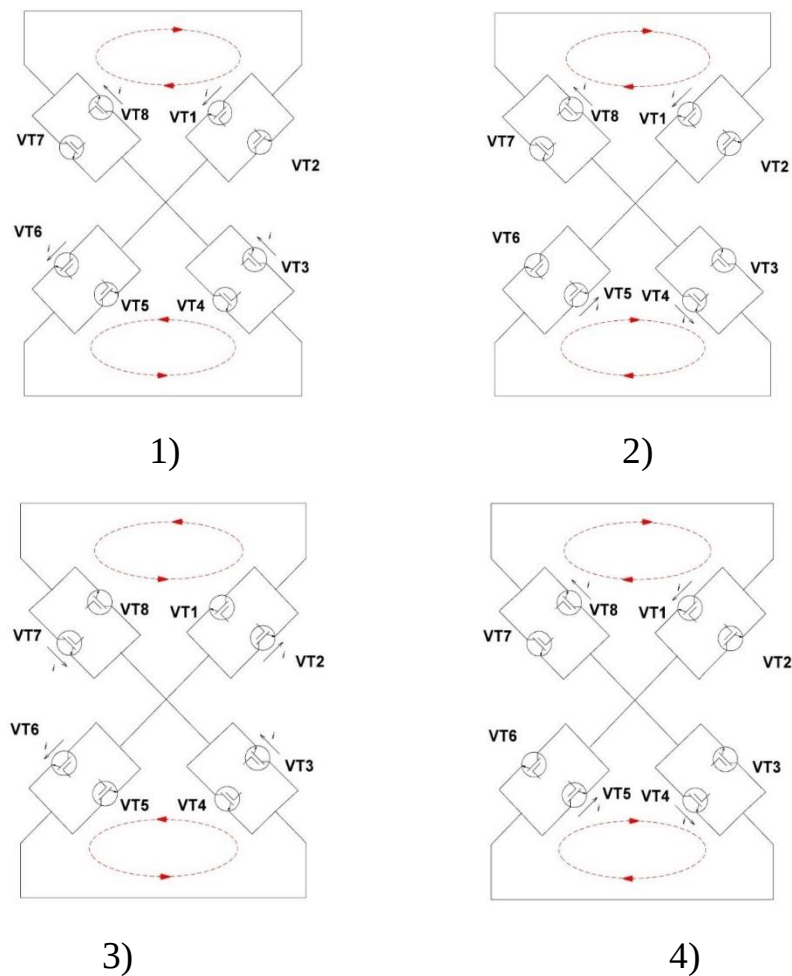


Рис. 20 Варіанти ввімкнення «вісімки»:

1 – варіант 1, 2 – варіант 2, 3 – варіант 3, 4 – варіант 4

Таблиця 1 – Топологія стану транзисторів

|           | VD1 | VD2 | VD3 | VD4 | VD5 | VD6 | VD7 | VD8 | VD9 | VD10 | VD11 | VD12 | VD13 | VD14 | VD15 | VD16 | VD17 | VD18 | VD19 | VD20 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант 1 | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 2 | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 3 | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 4 | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

Розглянуто напрям контурів лінії компенсації. На лінії компенсації будуть задіяні транзистори VT9-VT12.

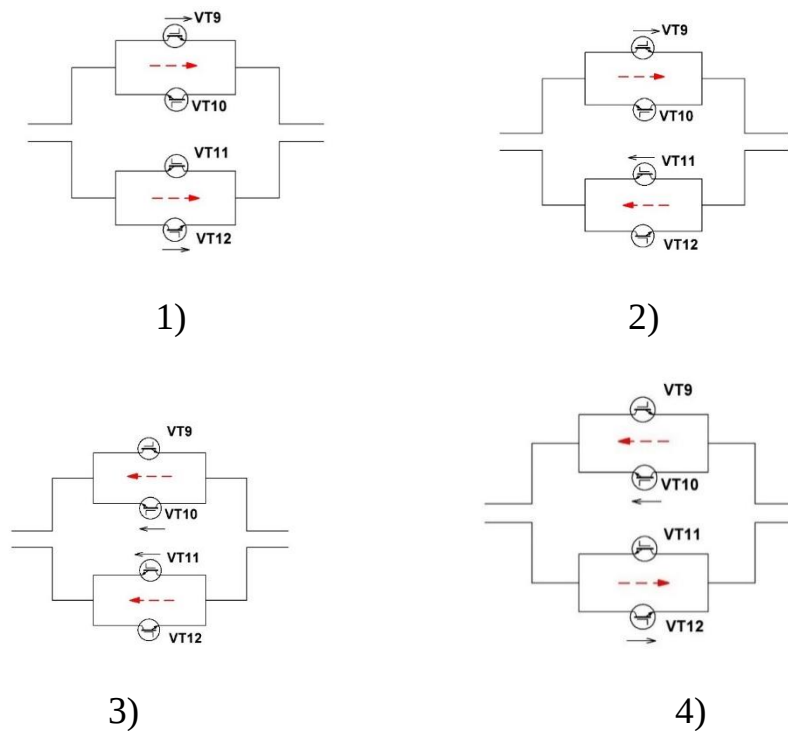


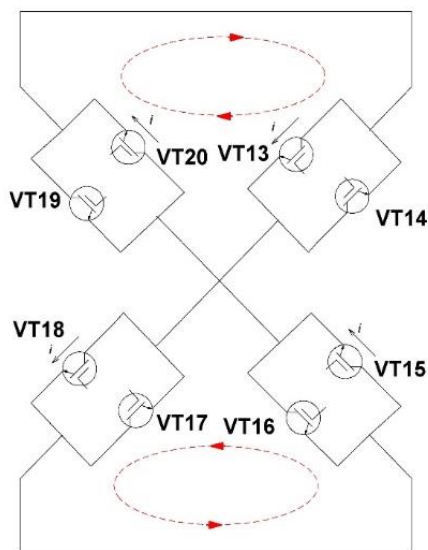
Рис. 21. Напрямок контурів лінії компенсації:

1 – варіант 5, 2 – варіант 6, 3 – варіант 7, 4 – варіант 8

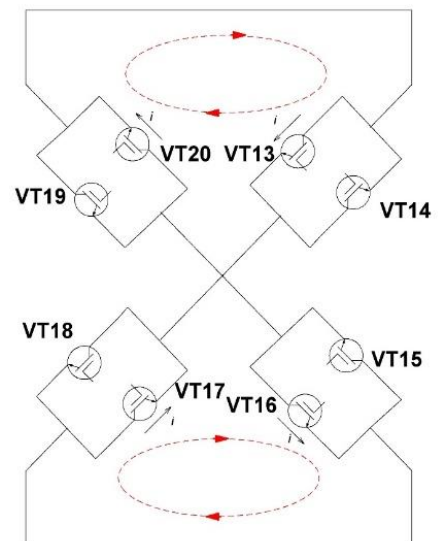
У табл. 2 представлені варіації ввімкнень у загальній матриці ввімкнень.  
Таблиця 2 – Топологія стану транзисторів

|           | VD1 | VD2 | VD3 | VD4 | VD5 | VD6 | VD7 | VD8 | VD9 | VD10 | VD11 | VD12 | VD13 | VD14 | VD15 | VD16 | VD17 | VD18 | VD19 | VD20 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант 1 | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 2 | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 3 | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 4 | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 5 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 0    | 0    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 6 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 0    | 1    | 0    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 7 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 0   | 1    | 1    | 0    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 8 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 0   | 1    | 0    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

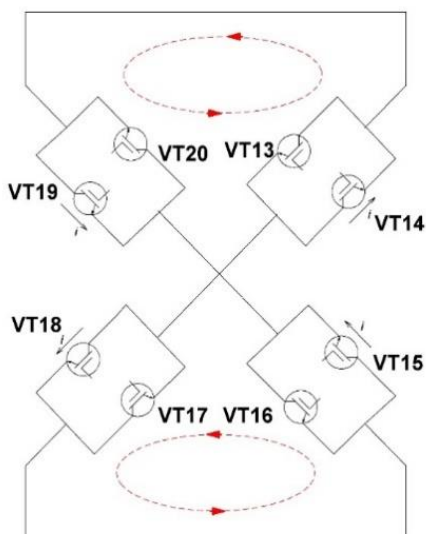
На протилежній стороні шляхової мережі розташована аналогічна «вісімка», на якій встановлені транзистори VT14-VT20. Зобразимо схеми ввімкнень протилежної «вісімки».



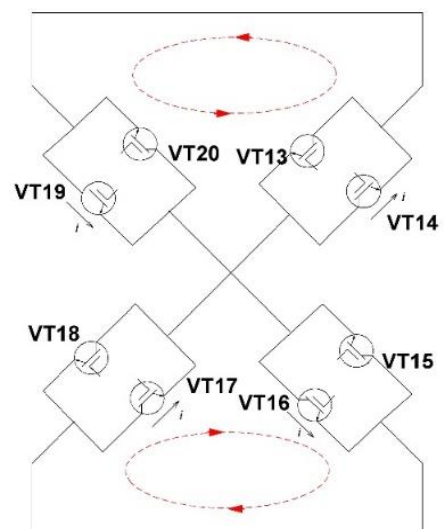
1)



2)



3)



4)

Рис. 22. Схеми ввімкнень протилежної «вісімки»:

1 – варіант 9, 2 – варіант 10, 3 – варіант 11, 4 – варіант 12

Зведемо порядок ввімкнень протилежної «вісімки» у загальну табл. 3.

Таблиця 3 – Топологія стану транзисторів

|            | VD1 | VD2 | VD3 | VD4 | VD5 | VD6 | VD7 | VD8 | VD9 | VD10 | VD11 | VD12 | VD13 | VD14 | VD15 | VD16 | VD17 | VD18 | VD19 | VD20 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант 1  | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 2  | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 3  | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 4  | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 5  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 0    | 0    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 6  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 0    | 1    | 0    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 7  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 0   | 1    | 1    | 0    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 8  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 0   | 1    | 0    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 9  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    |
| Варіант 10 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    |
| Варіант 11 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    |
| Варіант 12 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    |

Підсумовуючи всі попередні варіанти можна скласти загальну схему ввімкнень режимів «вісімка» та «нуль».

Режим «вісімка»: магнітні контури так званої «вісімки» направлені у протилежні сторони.

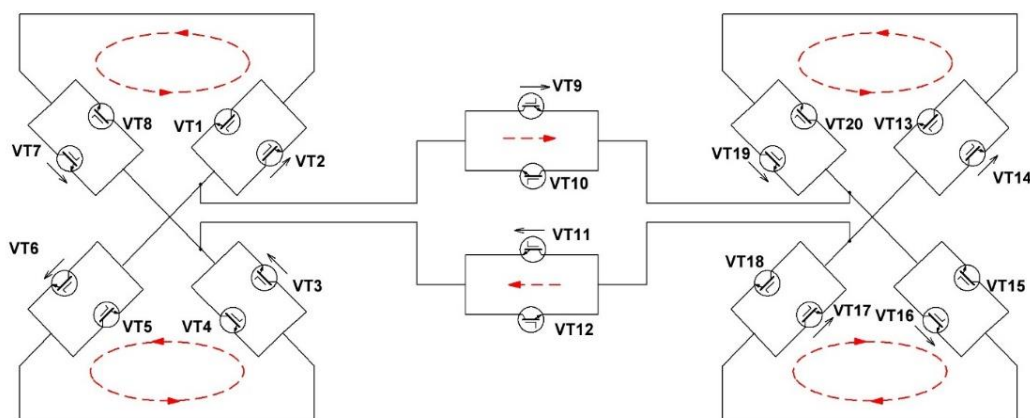


Рис. 23. Загальна схема режиму «вісімка»

Режим «нуль»: магнітні контури схеми направлені у однаковий бік.

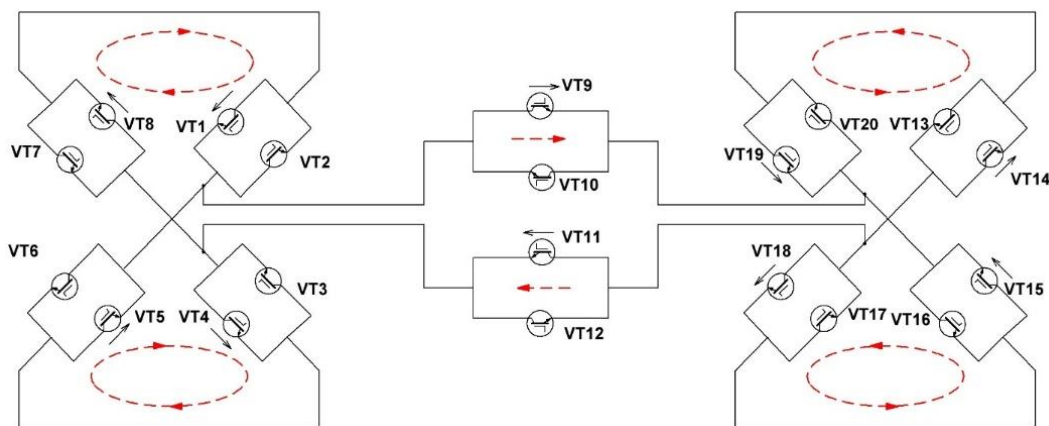


Рис. 24. Загальна схема режиму «нуль»

Загальну топологію ввімкнень можливо представити у вигляді табл. 4, враховуючи попередній розбір окремих складових повної схеми.

Таблиця 4 – Топологія стану транзисторів

|                          | VD1 | VD2 | VD3 | VD4 | VD5 | VD6 | VD7 | VD8 | VD9 | VD10 | VD11 | VD12 | VD13 | VD14 | VD15 | VD16 | VD17 | VD18 | VD19 | VD20 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант 1                | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 2                | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 3                | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 4                | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 5                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 0    | 0    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 6                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 0    | 1    | 0    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 7                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 0   | 1    | 1    | 0    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 8                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 0   | 1    | 0    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Варіант 9                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    |
| Варіант 10               | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    |
| Варіант 11               | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    |
| Варіант 12               | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    |
| Загальна схема «вісімка» | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    |
| Загальна схема «нуль»    | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    |

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТЯГИ ЕКІПАЖУ

#### 3.1 Роль котушок у приведенні до руху потягу «Маглев»

Котушки, які знаходяться з обох боків на направляючій, представлені у вигляді «вісімки». Струм, який вони отримують задля своєї роботи, потрапляє від підстанцій, створюючи магнітне поле, що зміщується по напрямній. Надпровідникові магніти на борту потягу притягуються та штовхаються змінним полем, приводячи тим самим до руху потяг.

На рис. 25 більш детально показано розташування цієї котушки.

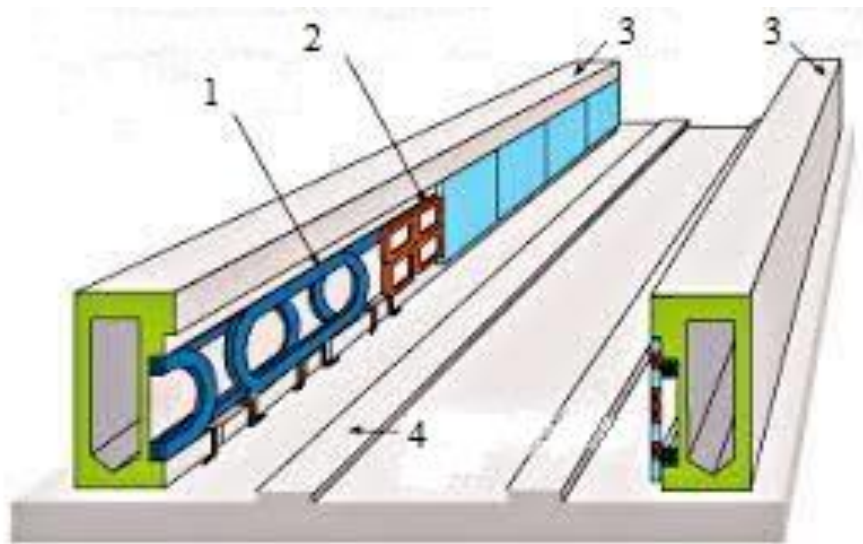


Рис. 25. Направляюча «Маглев»:

1 - рухова котушка, 2 – котушка левітаційна та наведення, 3 – балка,  
4 – опорний шлях коліс

#### 3.2 Розрахунок сили створюваною котушкою

В процесі своєї роботи, котушки, які укладені з обох боків направляючої, створюють силу, яка безпосередньо змушує потяг рухатися.

Перед тим як провести розрахунок сили, завдяки якій відбувається рух, слід поррахувати силу, яка створюється однією секцією цієї котушки.

Дані для подальших розрахунків приведені у табл. 5.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 32   |

Таблиця 5 – Вихідні значення котушки

| №  | Параметри             |                               |
|----|-----------------------|-------------------------------|
| 1  | Кількість витків      | 40                            |
| 2  | Струм в котушці       | 500                           |
| 3  | Довжина секції, м     | 1,07                          |
| 4  | Діаметр секції, м     | 0,5                           |
| 5  | Магнітна проникність  | 1                             |
| 6  | Магнітна постійна     | $4,7 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ |
| 7  | Маса потягу, кг       | 40000                         |
| 8  | Швидкість потягу, м/с | 55,5                          |
| 9  | Опір, Ом              | 2000                          |
| 10 | Довжина секції, м     | 1,07                          |
| 11 | Ширина секції, м      | 0,5                           |

Сила, що генерується однією секцією, розраховується за формулою:

$$F_c = I \cdot \omega, \quad (1.1)$$

$$F_c = 500 \cdot 40 = 30000 \text{ Н.}$$

Проведемо розрахунок сили котушки [9] :

$$F = \frac{m \cdot V^2}{R}, \quad (1.2)$$

$$F = \frac{40000 \cdot 55,5^2}{2000} = 61605 \text{ Н.}$$

Таким чином бачимо, наскільки великих зусиль потрібно докласти, щоб зрушити потяг з місця, а також для його руху по напрямній.

### 3.3 Обчислення площі а також довжини витка котушки

Щоб порахувати довжину усіх витків, можна спростити задачу та порахувати повну довжину одного витка та помножити її на кількість всіх витків.

$$L = (2 \cdot l + 2 \cdot D) \cdot \omega, \quad (1.3)$$

$$L = (2 \cdot 1,07 + 2 \cdot 0,5) \cdot 40 = 125,6 \text{ м.}$$

Після того, як було пораховано довжину усіх витків, слід визначити площу нашої секції.

Площа секції вираховуємо за формулою:

$$S = l \cdot D, \quad (1.4)$$

$$S = 0,5 \cdot 1,07 = 0,535 \text{ м}^2.$$

### 3.4 Розрахунок та визначення магнітного потоку

В момент руху котушки і бортові магніти в період своєї роботи створюють магнітні поля, які в момент зіткнення рухають склад далі. Проте, між самим поїздом та бортами, де встановлені котушки, є відстань. Цю відстань так само можна уявити як повітряний проміжок, який ускладнює проходження магнітних полів крізь нього. Тому, чим більше повітряний проміжок, тим більшу силу слід докласти для його подолання. Для того, щоб знайти силу, яка необхідна для прориву цього зазору, слід обчислити магнітний потік.

Магнітний потік, який пронизує усі витки, дорівнює [10]

$$\Phi = \mu_0 \cdot n^2 \cdot S \cdot I, \quad (1.5)$$

де  $n = \omega / l$  – число витків на одиницю довжини котушки.

$$\Phi = 4,7 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 37,383^2 \cdot 0,535 \cdot 500 = 0,591 \text{ Вб}.$$

Після розрахунку магнітного потоку необхідно знайти значення магнітної індукції. Для цього потрібно знати величину коерцитивної сили.

$$H_c = \frac{\Phi}{\mu_m \cdot S}, \quad (1.6)$$

$$H_c = \frac{0,591}{1 \cdot 53,5} = 0,011 \text{ А/м}.$$

Завдяки тому, що була визначена величина коерцитивної сили, стає можливим знаходження магнітної індукції.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 34   |

Магнітна індукція розраховується за формулою:

$$B=\mu_m \cdot H , \quad (1.7)$$

$$B=1 \cdot 0,011=0,011 \text{ Тл.}$$

Сила магнітного потоку обчислюється за формулою:

$$F_M=I \cdot l \cdot \Phi , \quad (1.8)$$

$$F_M=500 \cdot 1,07 \cdot 0,591=36937,5 \text{ Н.}$$

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                  | 35   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

## РОЗДІЛ 4

# ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЯГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

### 4.1 Функціонування структурної схеми тяги системи «Маглев»

Для того, щоб стало можливим дослідити симуляцію тяги потягу, необхідно скласти структурну схему цієї системи. З її допомогою буде виведено декілька графіків, на яких буде показано, за який час транспорт досягне повного розгону, а також, за який час струм досягне свого максимуму. Схема представлена на рис. 26.

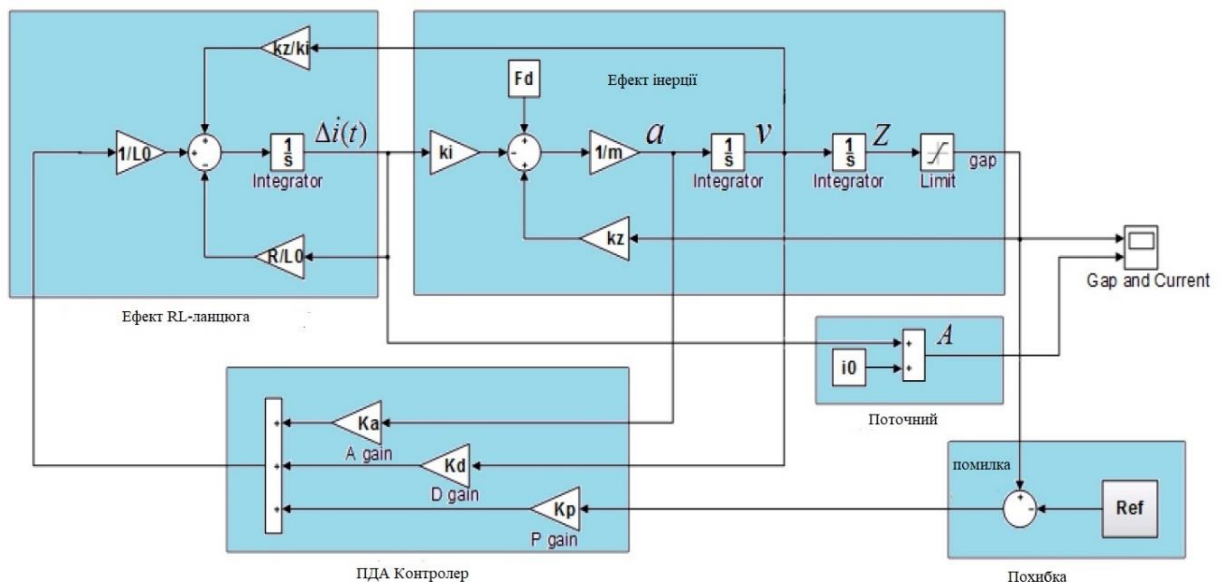


Рис. 26. Структурна схема системи «Маглев»

В цій схемі є багато складових, кожна з яких грає свою роль. Слід більш детально пояснити, що використовувалось у цій схемі.

В ній використовувались:

- 1) Блок підсилювача «Gain» – він виконує функцію множення вхідного сигналу який поступає на константу;
- 2) Джерело постійного сигналу «Constant» – воно задає постійний сигнал за рівнем. Значення цієї константи може бути представлене у вигляді комплексного

або дійсного числа, яке обчислюється математичного виразом, матрицею або ж вектором;

3) Інтегруючий блок «Integrator» – блок включає в себе початкові умови інтегрування а також безпосередньо виконує його для початкового сигналу;

4) Обмежуючий блок «Limit» – обмежує сигнальні величини. Має можливість задавати верхні й нижні межі для величини сигналу;

5) Осцилограф «Scope» – будує графіки на основі сигналів які досліджуються як функцію часу.

#### 4.2 Побудова та аналіз графіків, отриманих з допомогою системи моделювання тяги системи «Маглев»

Після того, як на осцилограф потрапили необхідні для нього сигнали, з'являється два графіки, показані на рис. 27.

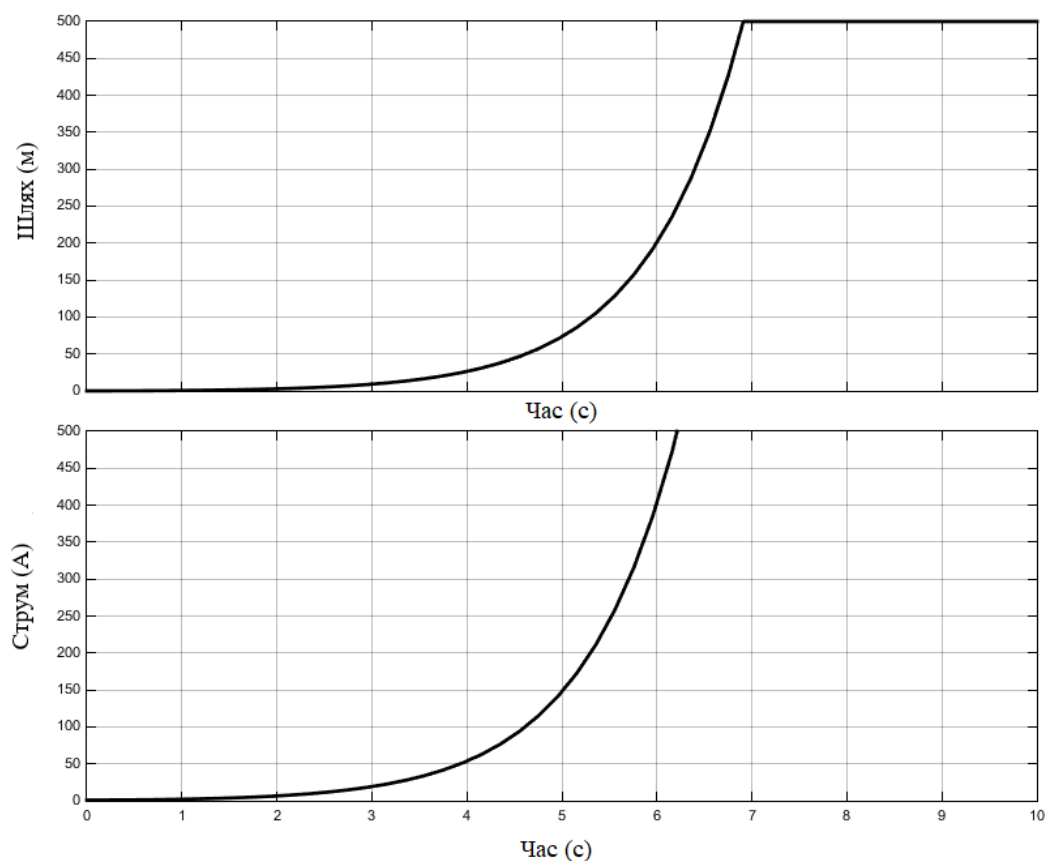


Рис. 27. Отримані графіки з осцилографа

Один з графіків це – залежність шляху від часу, за який транспортний засіб системи «Маглев» досягне повного розгону та буде рухатись з усталеною швидкістю. На ньому бачимо, що для повного розгону потягу необхідно близько семи секунд. В перші секунди свого шляху він починає набирати свою швидкість, а починаючи з другої секунди набирання швидкості починає плавно зростати. Після досягання відмітки в часі приблизно сім секунд, потяг рухається стабільно з однією й тією ж швидкістю.

Інший ж графік показує те, за який час струм досягне бажаного значення. На відміну від першого графіку бачимо, що струм зростає дещо раніше. Після першої секунди він починає зростати та більш стрімко доходить до призначеної відмітки. Усталений струм досягається трішки більш ніж за шість секунд.

Завдяки цій системі стає можливим зімітувати роботу системи тяги «Маглев», а також побачити, за який час ця система зможе досягнути повного свого розгону.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРОБКА ТОПОЛОГІЇ ОБМОТОК СИСТЕМИ ТЯГИ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ

#### 5.1 Топологія блоків керування

Використовуючи систему 3D-моделювання, виконаємо візуалізацію керування інноваційним шляховим елементом. При моделюванні застосовуємо попередні варіації ввімкнень схем, які були наведені у розділі 2.

При моделюванні виконується спрощення схеми, представивши окремі групи транзисторів у вигляді блоків керування. Топологію блоків керування наведено у табл. 6.

Таблиця 6 – Топологія блоків керування

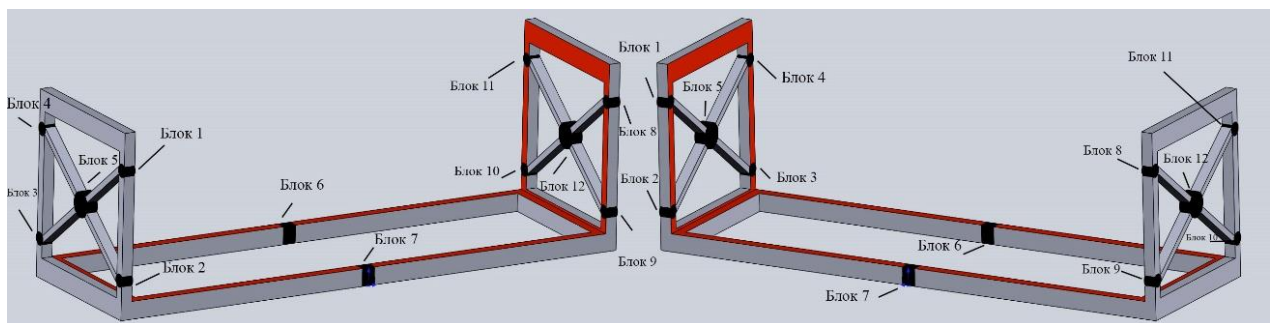
| №  | Порядковий номер блоку | Транзистори блоку |
|----|------------------------|-------------------|
| 1  | Блок 1                 | VT1, VT2          |
| 2  | Блок 2                 | VT3, VT4          |
| 3  | Блок 3                 | VT5, VT6          |
| 4  | Блок 4                 | VT7, VT8          |
| 5  | Блок 5                 | -                 |
| 6  | Блок 6                 | VT9, VT10         |
| 7  | Блок 7                 | VT11, VT12        |
| 8  | Блок 8                 | VT13, VT14        |
| 9  | Блок 9                 | VT15, VT16        |
| 10 | Блок 10                | VT17, VT18        |
| 11 | Блок 11                | VT19, VT20        |
| 12 | Блок 12                | -                 |

Блоки 5 та 12 представляють собою центральні керуючі блоки, що виконують основну функцію – перемикання режиму «вісімка» у режим «нуль».

## 5.2 Моделювання вмикання модульних елементів у режимі «нуль»

Зобразимо змодельовані обмотки шляхових котушок. При цьому позначимо червоним та синім кольором різні напрями полярностей, а чорним кольором позначимо блоки транзисторів.

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

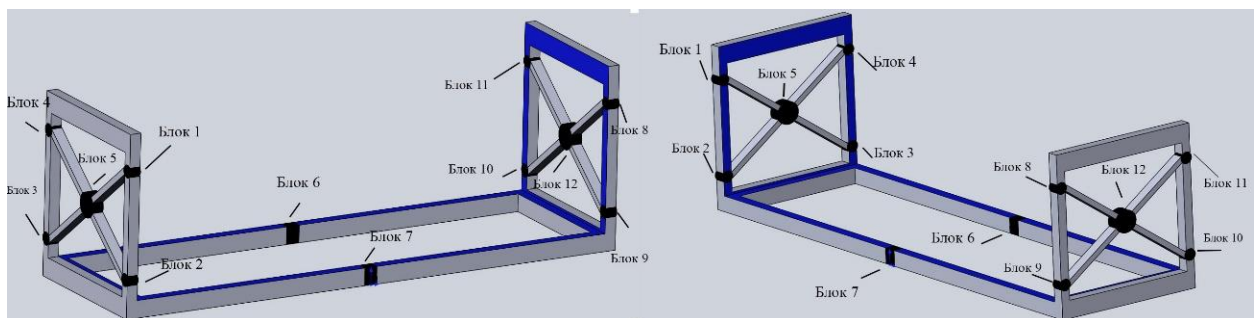


1)

2)

Рис. 28. Режим «нуль», полярність 1:

1 – вид справа, 2 – вид зліва

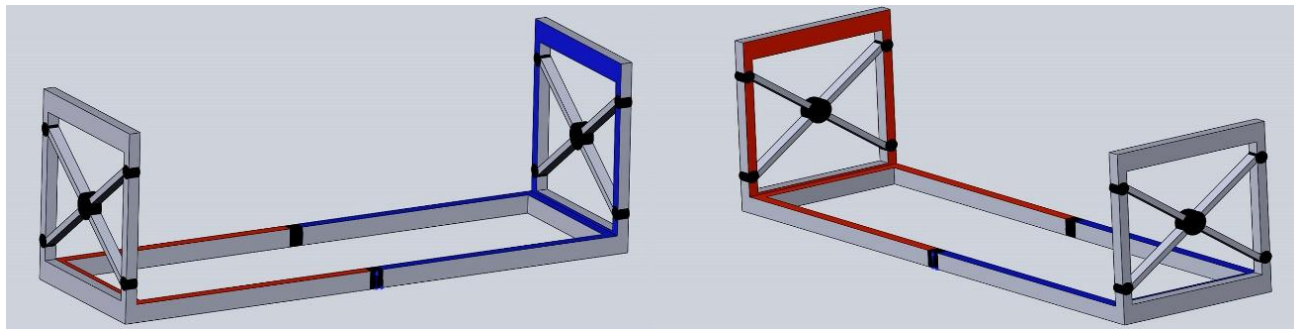


1)

2)

Рис. 29. Режим «нуль», полярність 2:

1 – вид справа, 2 – вид зліва



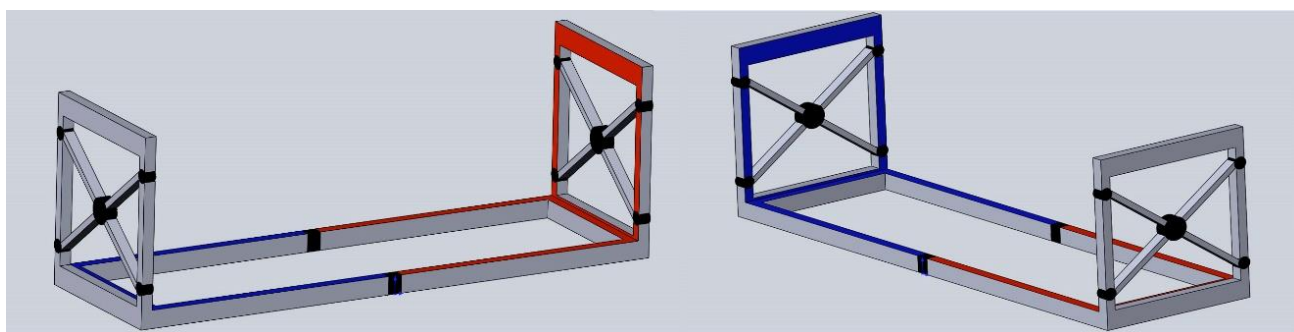
1)

2)

Рис. 30. Режим «нуль», полярність 1 та 2 у межах однієї секції:

1 – вид справа, 2 – вид зліва

Згідно рис. 30 представимо зворотню схему вмикання «нуль» з полярностями 1 та 2 у межах однієї секції.



1)

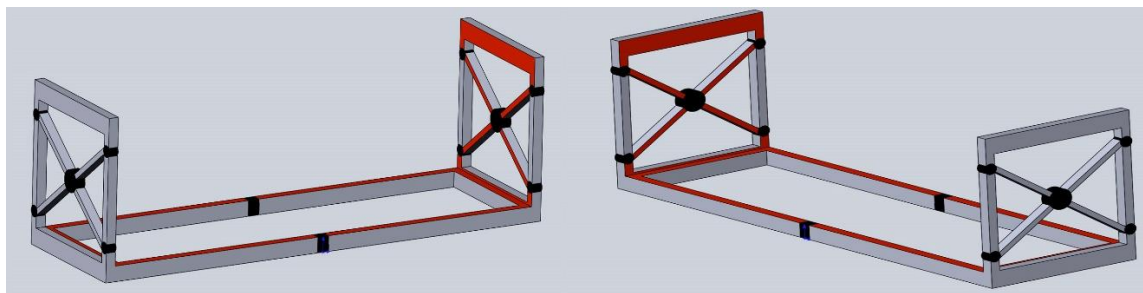
2)

Рис. 31. Режим «нуль», полярність 1 та 2 у межах однієї секції:

1 – вид справа, 2 – вид зліва

### 5.3 Моделювання вмикання модульних елементів у режимі «вісімка»

Представимо візуалізацію вмикання модульних елементів котушок у режимі «вісімка». Як і у попередньому підрозділі, виконаємо представлення модульних елементів з різних кутів огляду та з різними варіаціями полярностей.

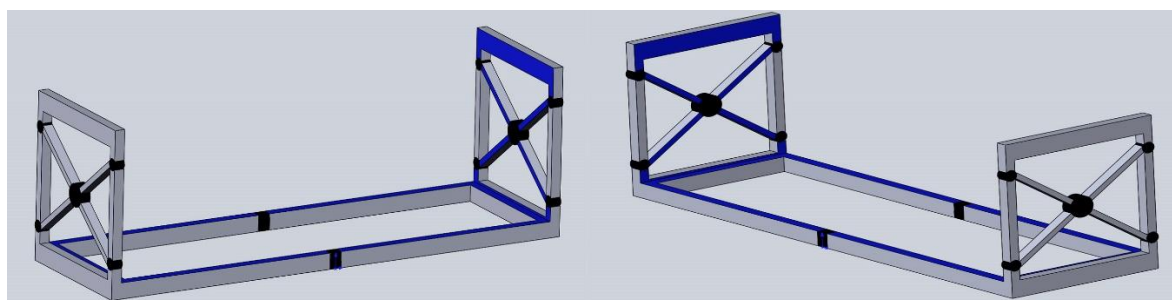


1)

2)

Рис. 32. Режим «вісімка», полярність 1:

1 – вид справа, 2 – вид зліва



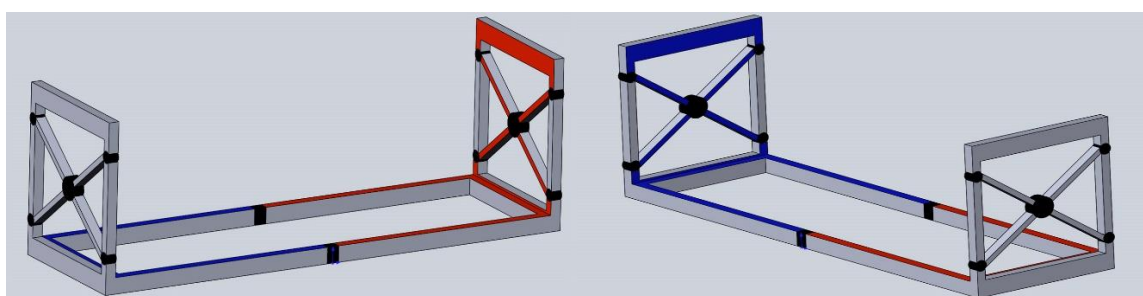
1)

2)

Рис. 33. Режим «вісімка», полярність 2:

1 – вид справа, 2 – вид зліва

Згідно рис. 33 представимо зворотню схему вмикання «вісімка» з полярностями 1 та 2 у межах однієї секції.



1)

2)

Рис. 34. Режим «вісімка», полярність 1 та 2 у межах однієї секції

1 – вид справа, 2 – вид зліва

Згідно рис. 29 представимо зворотню схему вмикання «вісімка» з полярностями 1 та 2 у межах однієї секції.

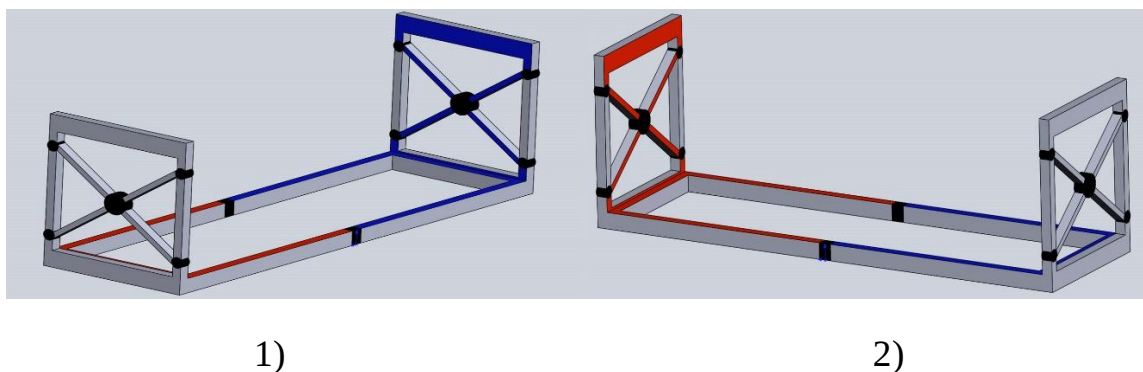


Рис. 35. Режим «вісімка», полярність 1 та 2 у межах однієї секції:  
1 – вид справа, 2 – вид зліва

#### 5.4 Моделювання комбінованого вмикання модульних елементів у режимі «вісімка»

Після того, як маглев набере необхідну швидкість розгону у шляхових обмотках вмикається загальна схема керування у режимі «вісімка». При подальшому пересування рухомого складу відбувається чергування полярностей.

Зобразимо схему керування модульних елементів у режимі «вісімка» з комбінованим вмиканням полярностей.

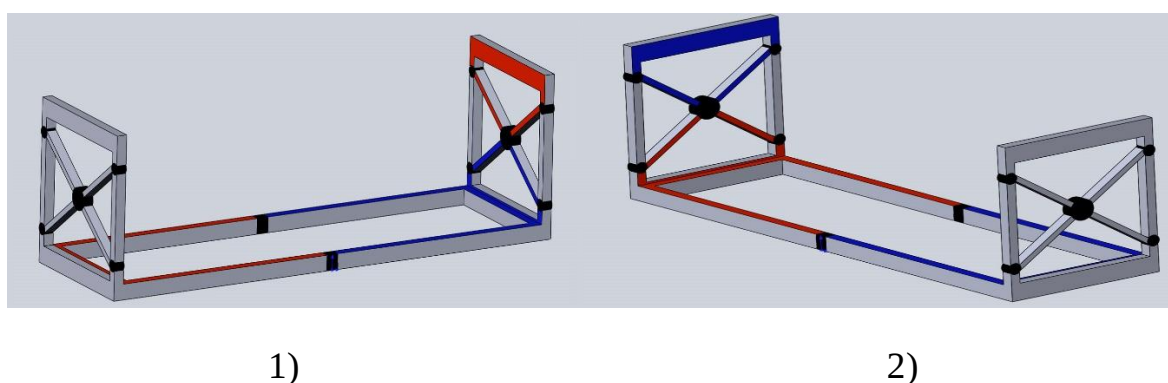
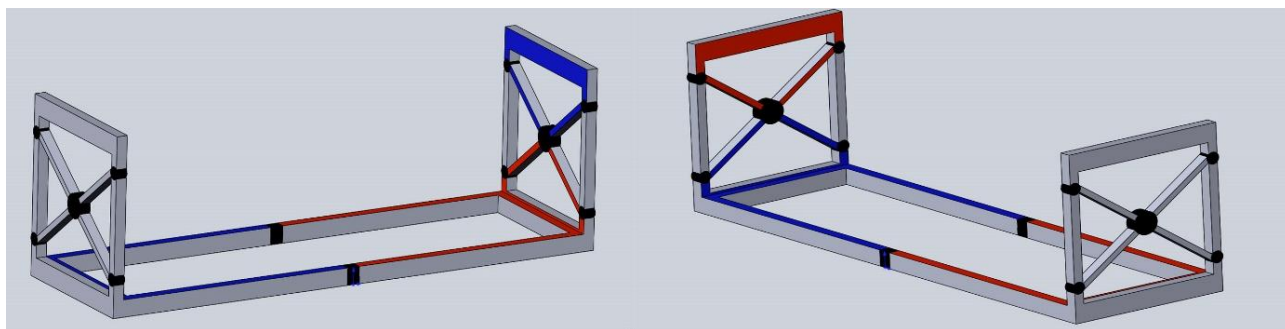


Рис. 36. Режим «вісімка», комбіноване вмикання полярностей 1 та 2 у межах однієї секції:  
1 – вид справа, 2 – вид зліва

Згідно рис. 31 представимо зворотню схему вмикання «вісімка» з комбінованими полярностями 1 та 2 у межах однієї секції.



1)

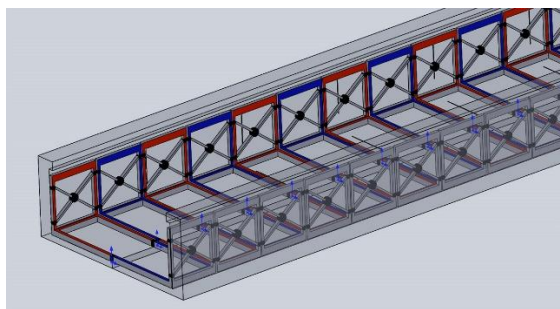
2)

Рис. 37. Режим «вісімка», комбіноване вмикання полярностей 1 та 2 у межах однієї секції:

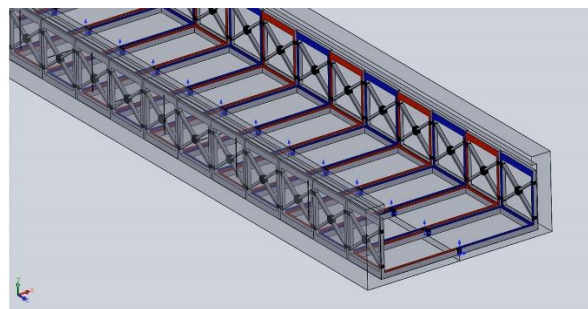
1 – вид справа, 2 – вид зліва

## 5.5 Моделювання комбінованих модульних елементів на базі шляхової структури

Представимо розташування котушок модульних елементів на базі шляхової структури, використовуючи різні варіації вмикання.



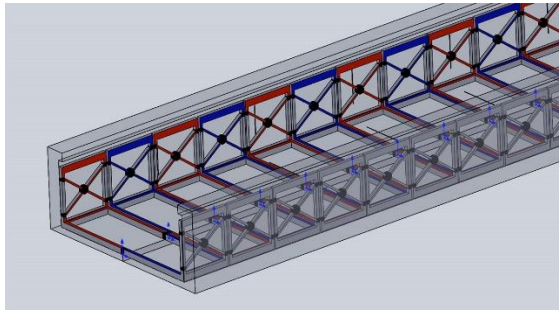
1)



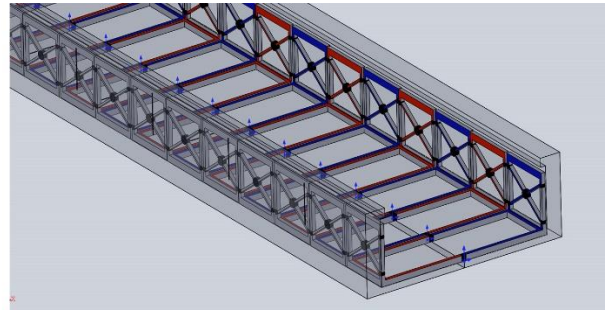
2)

Рис. 38. Розташування котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль»:

1 – вид справа, 2 – вид зліва



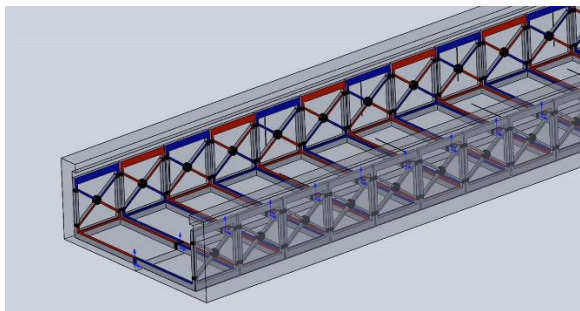
1)



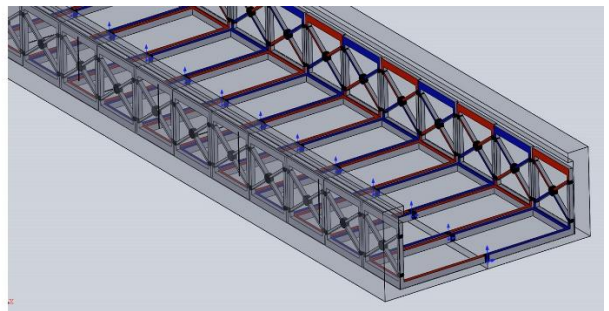
2)

Рис. 39. Розташування катушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка»:

1 – вид справа, 2 – вид зліва



1)



2)

Рис. 40. Розташування катушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», комбіноване вмикання полярностей:

1 – вид справа, 2 – вид зліва

## 5.6 Моделювання рухомого складу та комбінованих модульних елементів на базі шляхової структури

Остаточна візуалізація представляє собою моделювання рухомого складу, комбінованих модульних елементів, які розташовані вздовж шляхової структури.

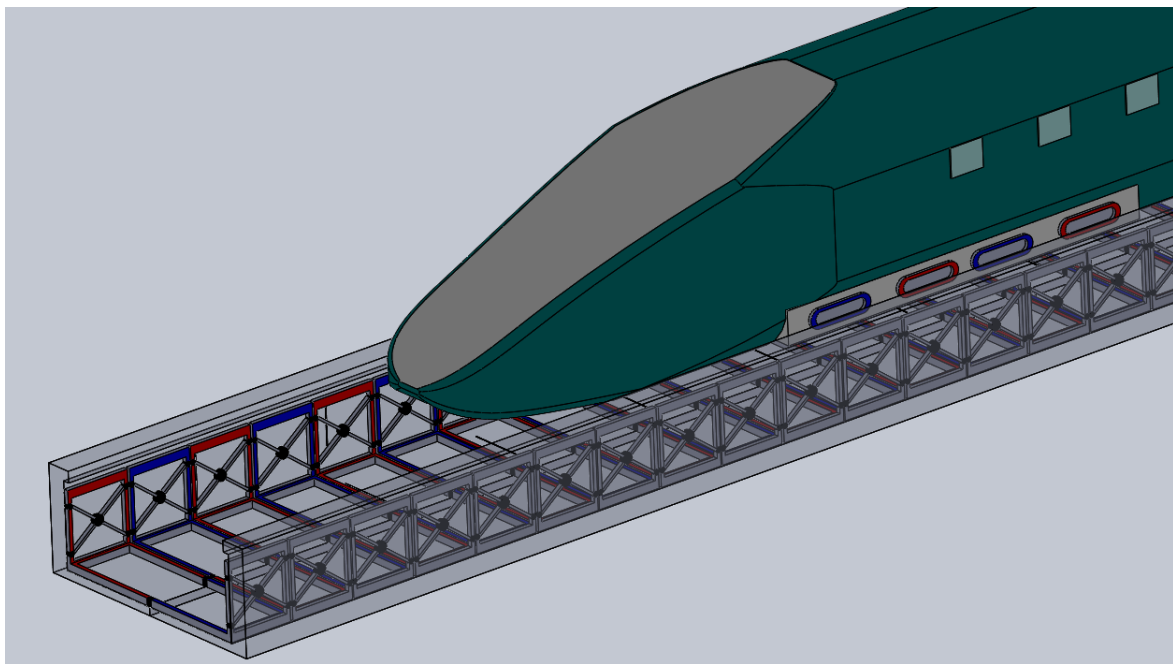


Рис. 41. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль», вид справа

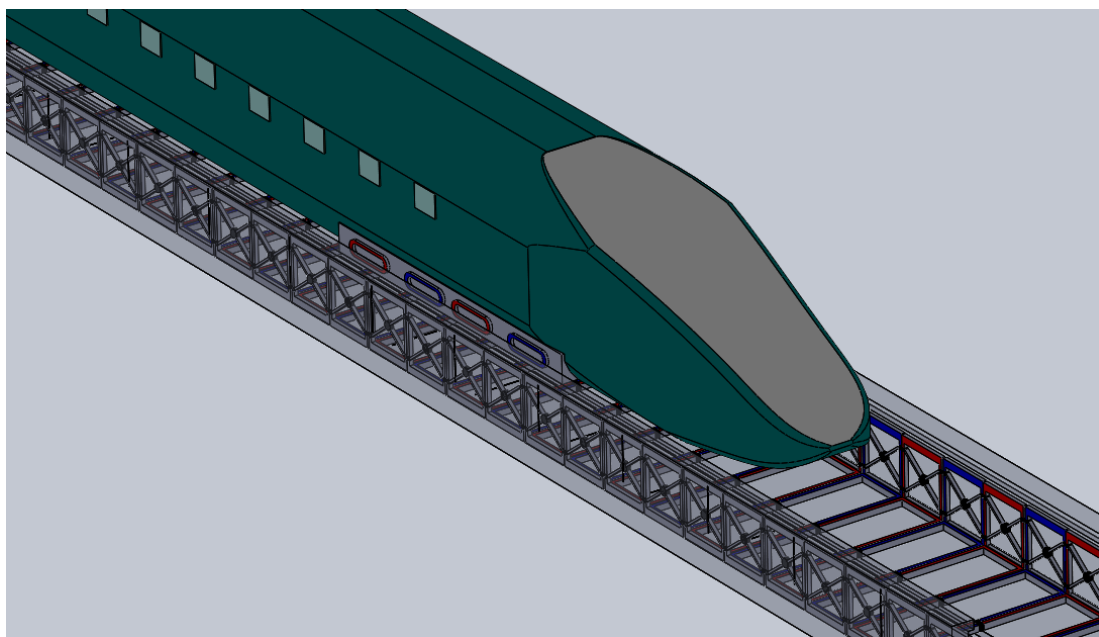


Рис. 42. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль», вид зліва

Після перемикання полюсів модель візуалізації буде мати наступний вигляд:

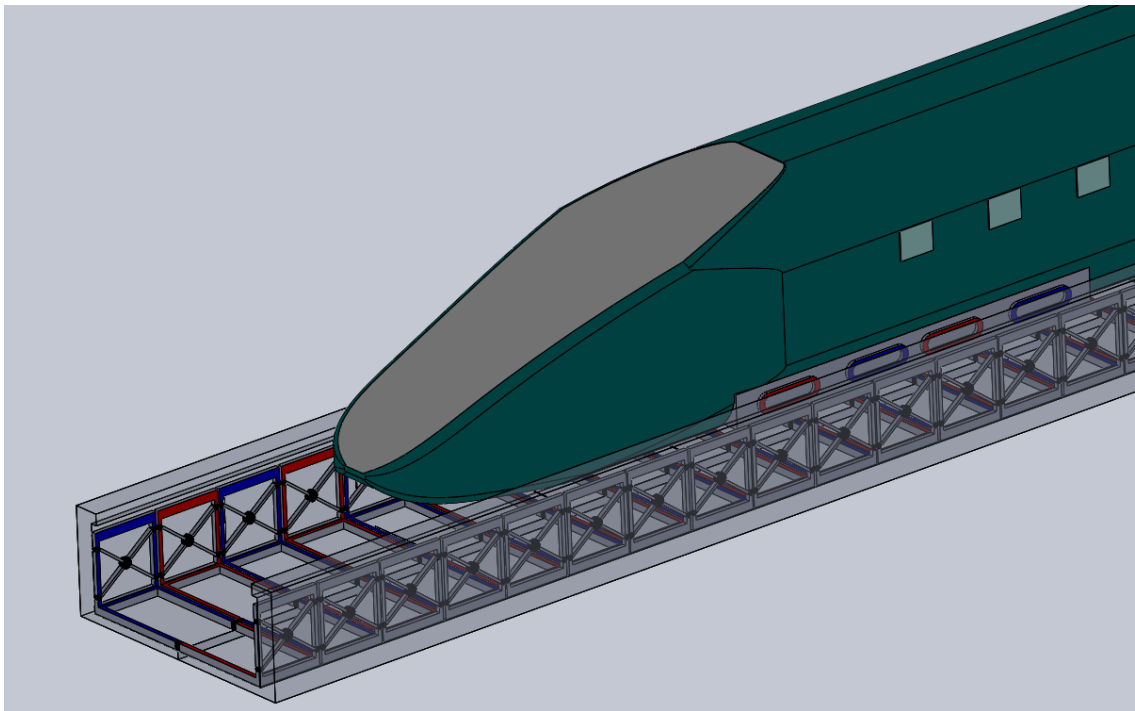


Рис. 43. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль-2», вид справа

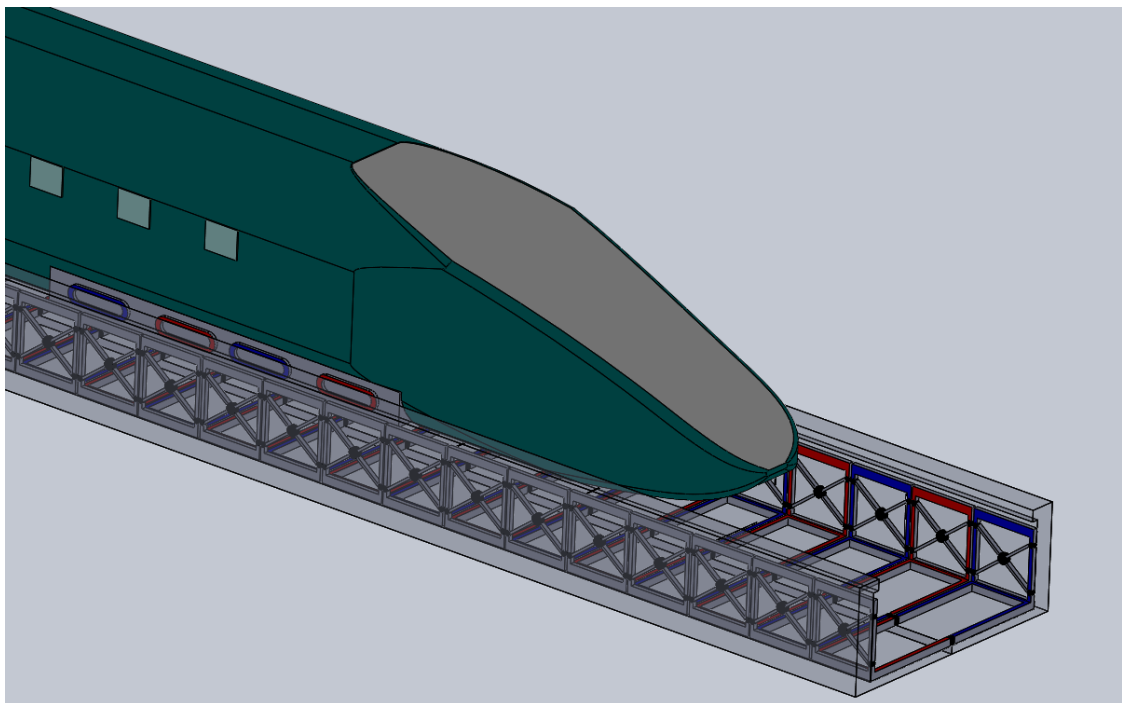


Рис. 44. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «нуль-2», вид зліва

Зобразимо вмикання модульних елементів у режимі вмикання «вісімка».  
Вмикання системи вигляду загальної вісімки буде мати вигляд:

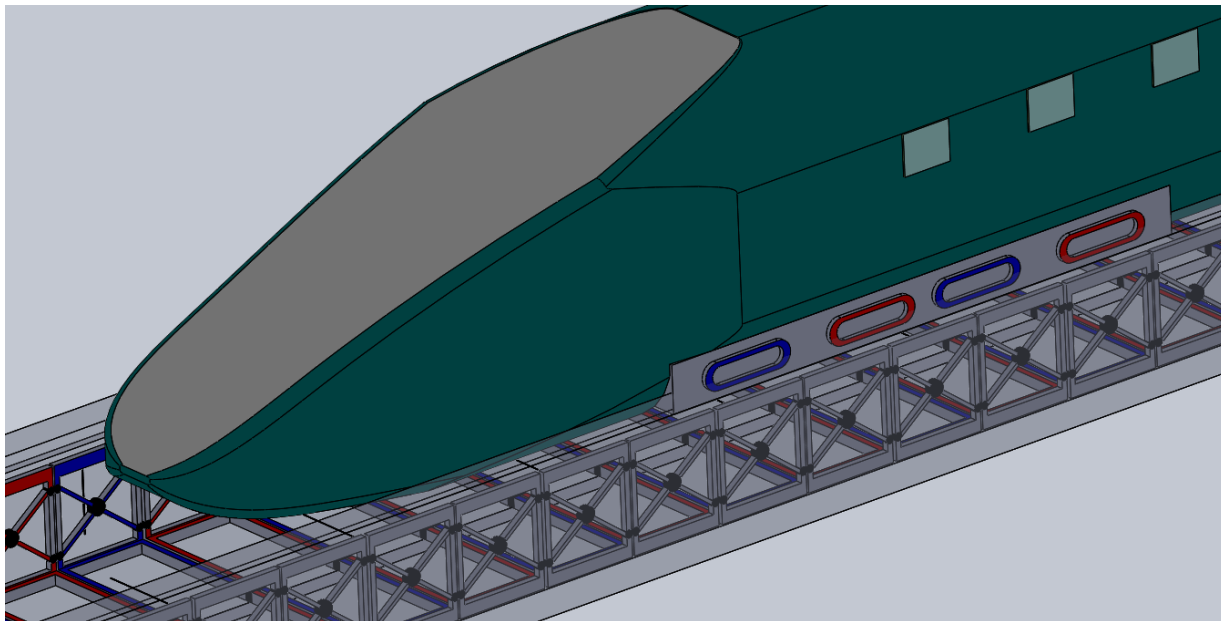


Рис. 45. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», вид справа

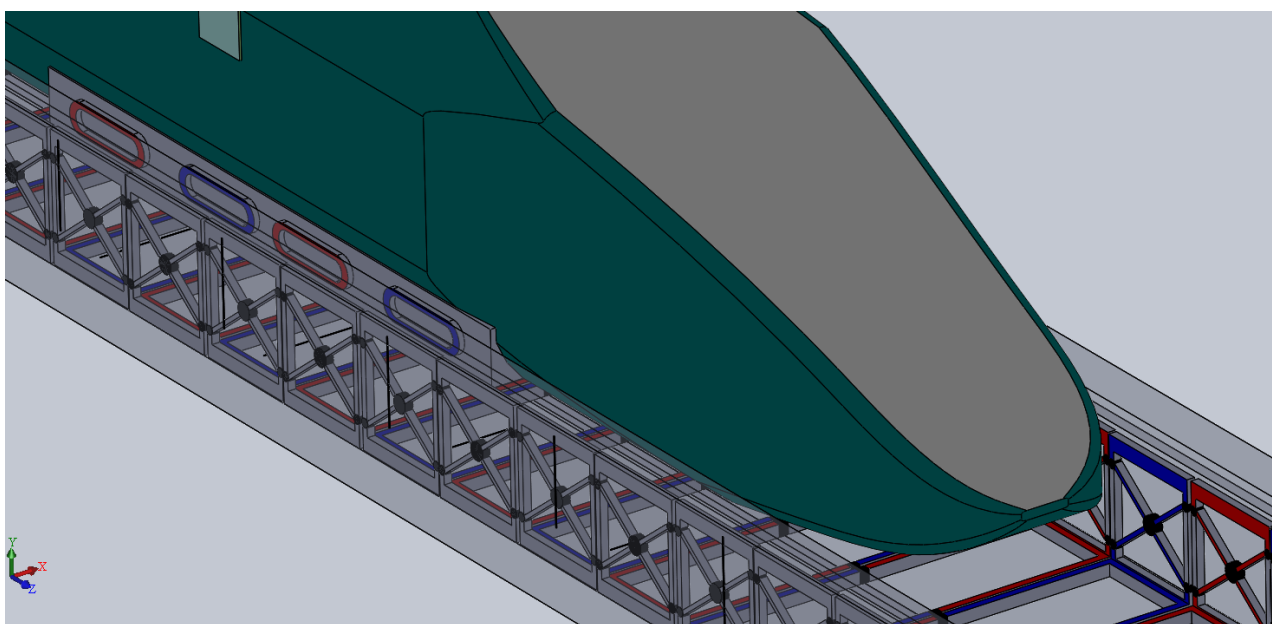


Рис. 46. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», вид зліва

Після перемикання полярностей системи візуалізація буде мати наступний вигляд:

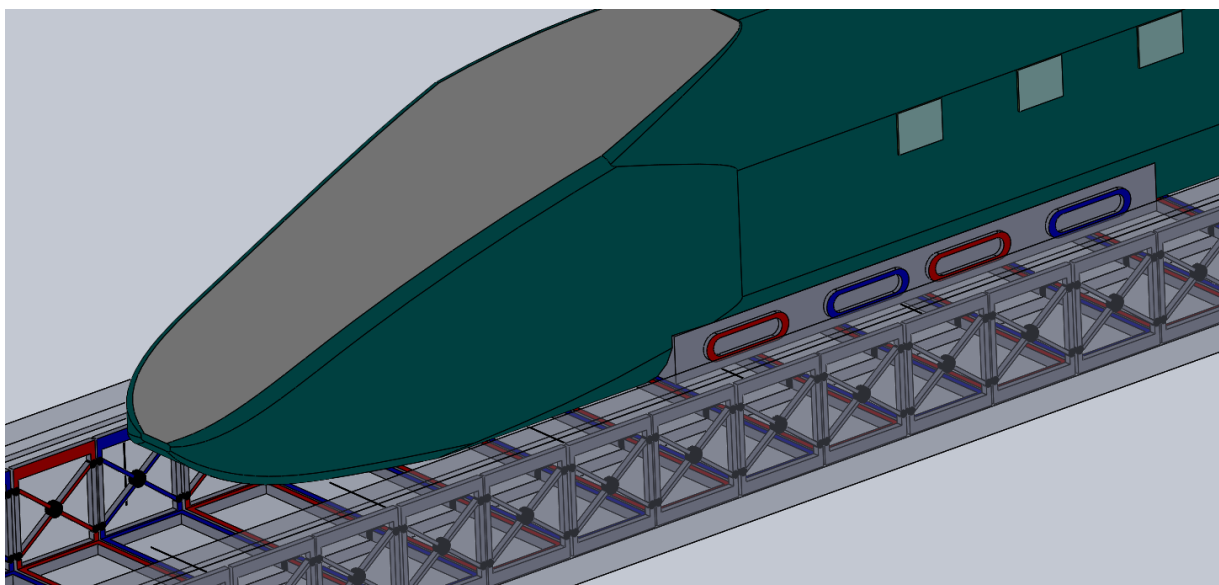


Рис. 47. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», вид справа

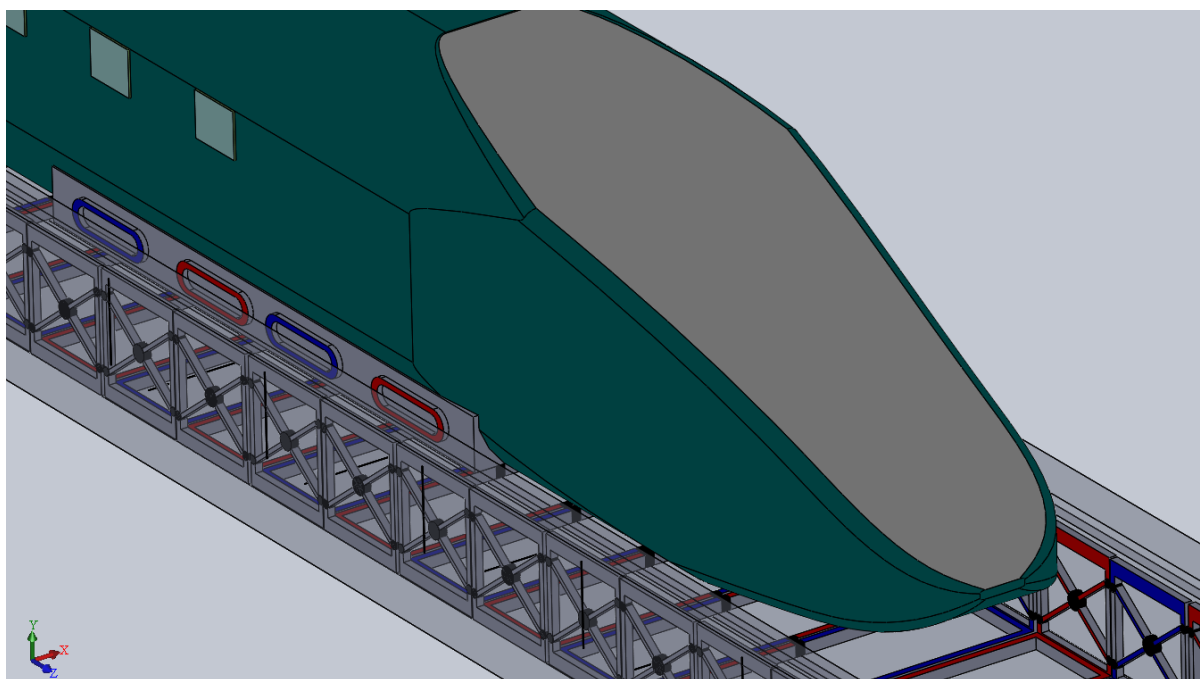


Рис. 48. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», вид зліва

Останнім етапом є побудова моделі у стані комбінованого вмикання режиму «вісімка».

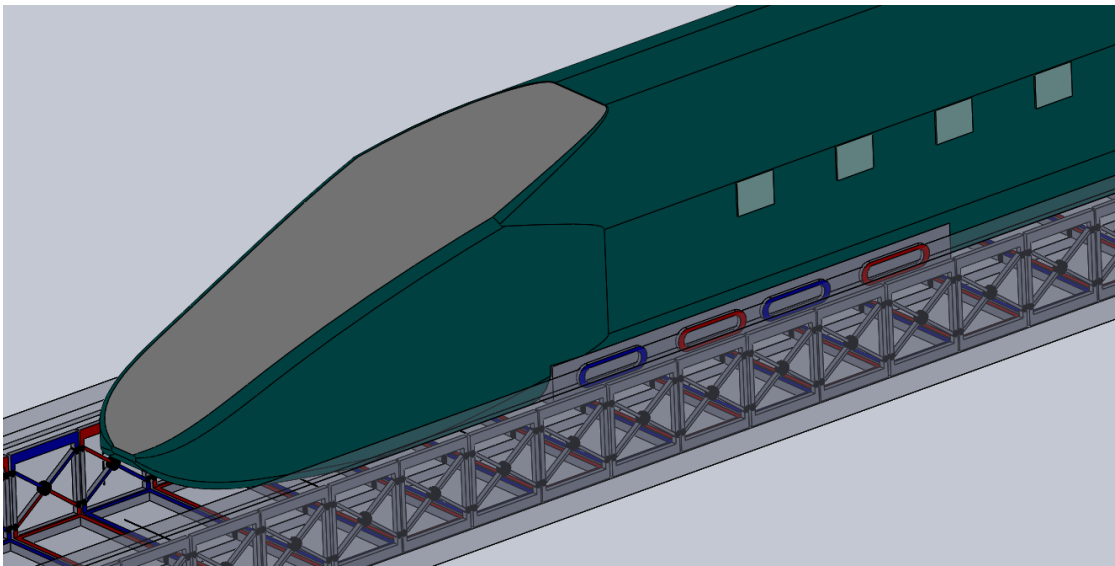


Рис. 49. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», комбіноване вмикання полярностей, вид справа

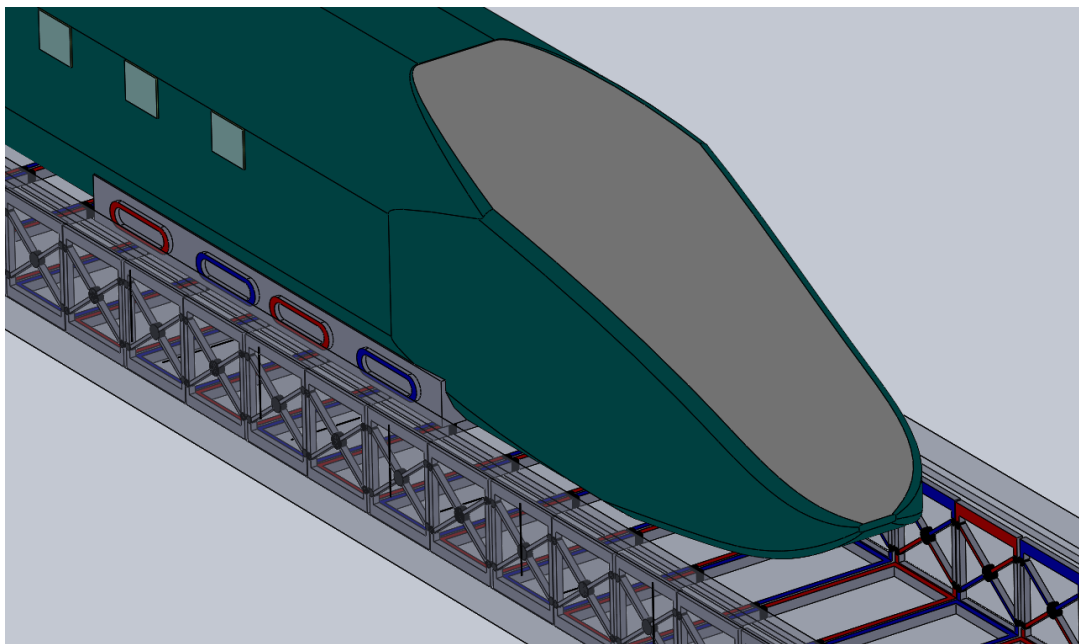


Рис. 50. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», комбіноване вмикання полярностей, вид зліва

Після перемикання полярностей система буде мати наступний вигляд:

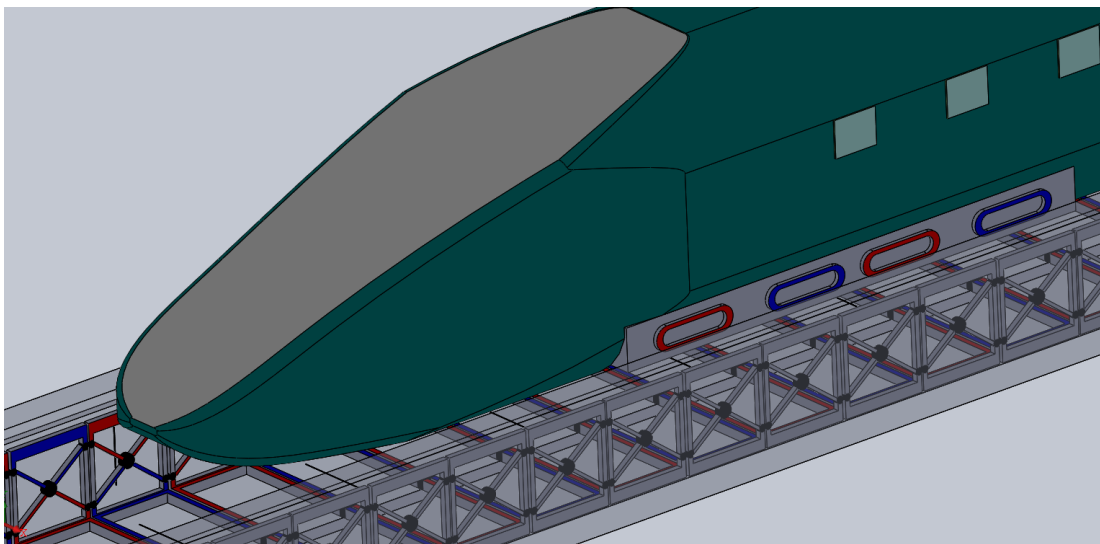


Рис. 51. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», комбіноване вмикання полярностей, вид справа

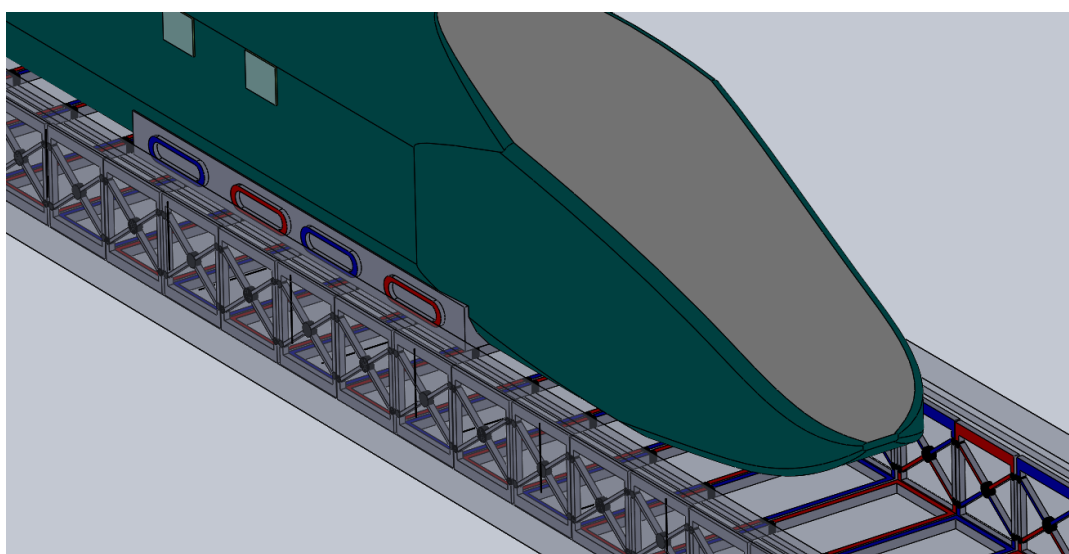


Рис. 52. Розташування рухомого складу, котушок модульних елементів на базі шляхової структури, режим вмикання «вісімка», комбіноване вмикання полярностей, вид зліва

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 6.1 Вимоги безпеки праці під час знаходження поблизу ділянок магнітолевітаційного транспорту

Питання охорони праці та безпеки є важливою частиною будь-якої сфери діяльності. Через підвищену небезпеку під час знаходження безпосередньо біля ділянок магнітолевітаційного транспорту потрібно дотримуватись вимог охорони праці. Це обумовлено тим, що цей вид транспорту має високу швидкість. Основними причинами небезпеки на ділянках магнітолевітаційного транспорту може бути пошкодження елементів колії або рухомого складу, негативний вплив на організм людини від електромагнітного поля, контакт з небезпечними матеріалами.

Електромагнітне поле негативно впливає на організм людини, яка знаходиться в середовищі, де наявне високе значення струму. При підвищених частотах найбільш негативних наслідків може завдати саме електрична складова електромагнітного поля. Визначено, що найбільш чутливими до дії електромагнітних полів є нейродинамічні процеси, що протікають у організмі людини. Дія електромагнітного поля на організм людини полягає у тому, що можуть виникати різноманітні гострі або хронічні прояви порушення фізіологічних процесів організму людини. Найбільшої шкоди під час знаходження у зоні дії електромагнітних сил можуть зазнавати: нервова система, структура кори головного та спинного мозку, а також серцево-судинна система.

Під час тривалого знаходження у зоні електромагнітного випромінювання пошкодження нервової та серцево-судинної системи можуть накопичуватись з часом, але при зменшенні впливу електромагнітного випромінювання та зменшенні часу, проведеного під впливом у зоні випромінювань, пошкодження можуть зменшуватись та взагалі зникати.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 52   |

Магнітолевітаційний транспорт має значну перевагу проти впливу на навколишнє середовище та випадкових людей, адже шляхова мережа будується на окремій трасі, яка має значну висоту. Та найбільшу небезпеку електромагнітне випромінювання може завдавати саме пасажиром або екіпажу рухомого складу. У перших прототипах маглевів, які використовують електродинамічну підвіску та мають надпровідні котушки на борту, візки встановлювались вздовж всього вагону. Це призвело до того, що люди були під значним впливом електромагнітного поля. З часом цю технологію вирішили модифікувати та встановити екранування. Така система не показала свою життєздатність, адже вага рухомого складу значно збільшилась. Наступним кроком було вирішення встановлення візків з надпровідними котушками на початку і кінці вагонів. Таке їх розташування зменшило вплив електромагнітного випромінювання на організм людини. Ця система використовується і у наш час.

Вимоги до роботодавців відносно захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів що до безпеки зменшення впливу працівників від електромагнітного впливу затверджені наказом № 99 Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 05.02.2014 [12] та у державних санітарних нормах і правилах захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСанПіН 3.3.6.096-2002) [13].

Згідно державним санітарним нормам і правилам при роботі з джерелами електромагнітних випромінювань [14], роботодавцю потрібно організовувати вимірювання поточного значення напруженості електричної та магнітної складової електромагнітних кіл, забезпечувати належне облаштування виробничих та технічних приміщень, забезпечувати робітників засобами індивідуального захисту, спеціальним одягом та необхідним оснащенням, яке потрібно для виконуваних робіт або інших операцій на ділянках магнітолевітаційного транспорту.

Для виходу на ділянки магнітолевітаційного транспорту повинні допускатися працівники, які мають необхідну кваліфікацію та пройшли відповідні інструктажі з техніки безпеки та охорони праці.

Вимоги щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці шляхом належного облаштування робочих місць і виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень повинні відповідати загальним вимогам стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників.

Роботодавець перед початком робіт у разі застосування джерел електромагнітних полів повинен:

1) організувати вимірювання напруженості електричної і магнітної складових електромагнітних полів відповідно до ДСанПіН 3.3.6.096-2002;

2) з урахуванням результатів гігієнічного оцінювання забезпечити облаштування виробничих приміщень і розташування обладнання відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.6.096-2002;

3) забезпечити працівників засобами індивідуального захисту від дії електромагнітних полів та забезпечити спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Перед початком роботи та під час проведення робіт роботодавець повинен особливо звернути увагу на:

1) рівень, частотний спектр, тривалість та характер впливу електромагнітних полів;

2) гранично-допустимий рівень (ГДР) показників електромагнітних полів;

3) можливість прямого впливу електромагнітних полів на безпеку і здоров'я працівників;

4) можливість будь-якого непрямого впливу, зокрема вірогідність створення перешкод у роботі медичного електронного обладнання та електронних приладів, включаючи кардіостимулятори та інші імплантовані пристрої; небезпеки, спричиненої частками, що падають від феромагнітних предметів у магнітних полях з магнітною індукцією вище 3 мТл; ініціалізації

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 54   |

електровибухових пристроїв (детонаторів); займання легкозаймистих матеріалів та вибухів, спричинених іскрами, що можуть виникнути завдяки індукованим струмам;

5) доцільність заміни обладнання з метою зменшення рівня електромагнітних полів;

6) інформацію, отриману під час проходження медичного огляду, щодо стану здоров'я працівників;

7) наявність кількох одночасно працюючих джерел електромагнітних полів;

8) одночасний вплив електромагнітних полів різної частоти.

Тривалість перебування працівників у робочих зонах не повинна перевищувати значень, наведених у ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

У випадках, коли рівень електромагнітних полів перевищує ГДР, роботодавець повинен вжити заходів, спрямованих на зниження рівня електромагнітного поля, а якщо це неможливо, – зменшення тривалості перебування працівників під його впливом, а також змінити засоби захисту від шкідливого впливу та застосувати відповідні попереджувальні пристрої.

Роботодавець повинен інформувати працівників і провести відповідний інструктаж для них та їх уповноважених представників з питань охорони праці.

При виявленні перевищення ГДР електромагнітних полів працівникам, які піддалися дії цих полів, повинно бути проведено позачергове медичне обстеження відповідно до вимог Порядку проведення медичних оглядів. Якщо за результатами цього обстеження виявлено, що здоров'ю працівника було завдано шкоди, мають бути переглянуті ГДР електромагнітного поля у відповідній робочій зоні або тривалість перебування працівника у цій зоні.

Захист від вібрації повинен забезпечуватись згідно Державним санітарним нормам виробничої загальної та локальної вібрації (ДСН 3.3.6.039-99) [17].

За способом передачі на тіло людини розрізняють загальну та локальну вібрацію. Загальна вібрація передається на тіло людини, яка сидить або стоїть, переважно через опорні поверхні.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 55   |

Локальна вібрація передається через руки працюючих при контакті з ручним механізованим інструментом, органами керування машинами і обладнанням. До обладнання, що вібрує, відноситься обладнання, під час роботи з яким виникає вібрація, що становить не менше 20 % від значення допустимих величин віброшвидкості та віброприскорення. До експлуатації повинно допускатися тільки справне обладнання, що відповідає вимогам даних норм. У технічному паспорті на обладнання, що вібрує, повинна бути вказана максимальна сила натискання, яка потрібна для роботи машин у паспортному режимі, та вага машини, що припадає на руки працюючого. Ручні машини, що проектуються та експлуатуються, повинні відповідати вимогам даних Санітарних норм та правил та нормативно-технічних документів, погоджених з органами Держсанепіднагляду. Раціональний режим праці робітників вібронебезпечних професій встановлюється для конкретного робочого місця або виконання конкретних технологічних операцій, якщо вібрація перевищує гранично допустимі рівні не більше ніж на 12 дБ. Основними документами, які регулюють обмеження рівня шуму та контроль за дотриманням тиші в населених пунктах, є Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» та Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови [18].

Проведення на захищених об'єктах ремонтних робіт, що супроводжуються шумом, забороняється у робочі дні з двадцять першої до восьмої години, а у святкові та неробочі дні — цілодобово. Власник або орендар приміщень, у яких передбачається проведення ремонтних робіт, зобов'язаний повідомити мешканців прилеглих квартир про початок зазначених робіт. За згодою мешканців усіх прилеглих квартир ремонтні та будівельні роботи можуть проводитися також у святкові та неробочі дні. Шум, що утворюється під час проведення будівельних робіт, не повинен перевищувати санітарних норм цілодобово.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 56   |

## 6.2 Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях

При організації аварійно-рятувальних робіт з ліквідації наслідків транспортних аварій та катастроф необхідно враховувати такі особливості:

1) аварії та катастрофи відбуваються в дорозі, як правило, раптово, в більшості випадків за високої швидкості руху транспорту, що призводить до тілесних ушкоджень у постраждалих, часто до виникнення у них шокового стану, нерідко до загибелі;

2) несвоєчасне отримання достовірної інформації про те, що сталося, веде до запізнення допомоги, зростання кількості жертв, у тому числі через відсутність навичок виживання у постраждалих; відсутність, як правило, на початковому етапі робіт спеціальної техніки, необхідних засобів гасіння пожеж та труднощі в організації ефективних способів евакуації з аварійних транспортних засобів;

3) ускладнення обстановки у разі аварії транспортних засобів, що перевозять небезпечні речовини;

4) необхідність організації пошуку останків загиблих та речових доказів катастрофи часто на великих площах;

5) необхідність організації прийому, розміщення та обслуговування (харчування, послуги зв'язку, транспортування та ін.) родичів, що прибувають, постраждалих та організація відправки загиблих до місць їх поховання;

6) необхідність якнайшвидшого відновлення руху з транспортних комунікацій.

Особливості ліквідації наслідків аварій на залізничному транспорті.

Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи при ліквідації аварій на залізничному транспорті включають:

1) збирання інформації, розвідку та оцінку обстановки;

2) визначення меж небезпечної зони, її огороження та оточення;

3) проведення аварійно-рятувальних робіт з метою допомоги постраждалим;

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 57   |

4) ліквідацію наслідків аварії (локалізація джерела надзвичайної ситуації, гасіння пожежі та ін.);

5) аварійно-відновлювальні роботи на електричних мережах та комунікаціях.

При зіткненнях, різкій зупинці поїзда та перевертанні вагонів пасажирського поїзда типовими травмами пасажирів є забиті місця, переломи, струси головного мозку, здавлювання.

У разі великих аварій і катастроф на залізничному транспорті доцільно призначати оперативну групу з такими завданнями:

1) організація та безпосереднє здійснення у районі катастрофи безперервного моніторингу обстановки, оцінки масштабів та прогнозування подальшого її розвитку;

2) вироблення пропозицій та прийняття рішень щодо локалізації та ліквідації наслідків катастрофи, захисту населення та навколишнього середовища у зоні надзвичайної ситуації;

3) залучення до робіт усіх наявних сил та засобів, підготовка пропозицій щодо використання всіх видів ресурсів;

4) організація та контроль оповіщення населення, планування та організація евакуації населення із зони надзвичайної ситуації.

Організація робіт з порятунку постраждалих при аваріях на залізничних переїздах здійснюється з урахуванням характеру пошкодження залізничного складу (автомобільного транспорту), характеру поразки людей, наявності вторинних факторів, що вражають, наявних технічних засобів, а також пожежної, хімічної та іншої небезпеки вантажів.

Основними видами аварійно-рятувальних робіт при аваріях на залізничних переїздах є локалізація та ліквідація впливу вторинних факторів ураження, пошук і деблокування людей, надання ураженим першої медичної допомоги та їх евакуація.

При великих обсягах аварійно-рятувальних робіт або пожежах, що виникли, за наказом начальника відділення або начальника залізниці до місця події, направляються відновлювальні та пожежні поїзди, що діють за відповідним планом. Начальник відновного поїзда після прибуття на місце події відповідає за виконання оперативного плану відновлення руху в частині підйому вагонів, відновлення енергомереж та лінії зв'язку. Ці роботи виконуються негайно з однієї або двох сторін полотна, а також поза полотном – тягачами, тракторами та іншими тяговими засобами.

Аварії із залізничним пасажирським транспортом, що призвели до пожежі, вимагають застосування для ліквідації їх наслідків спеціальних пожежних поїздів, пожежних частин та пошуково-рятувальних підрозділів.

При таких пожежах вражаючими факторами є: висока температура, відкритий вогонь, що швидко поширюється, і отруйні речовини, що виникають у процесі горіння.

Аварії залізничного транспорту, що здійснює перевезення небезпечних вантажів, можуть призводити до пожеж, вибухів, хімічного та біологічного зараження, радіоактивного забруднення. Характерною особливістю цих надзвичайних ситуацій є значні розміри та висока швидкість формування вогнища ураження.

Водою, піною і абсорбційними матеріалами гасять гарячу рідину, що розтеклася. Можливе відведення рідини, що розтеклася, по канавах або обвалування землі для направлення рідини в безпечне місце.

Керівник підприємства зобов'язаний забезпечити утримання, експлуатацію і обслуговування електроустановок відповідно до вимог чинних нормативних документів, забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників, затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції і інструкції з охорони праці, забезпечити перевірку знань працівників у встановлені строки згідно з вимогами цих правил і «Правил технічної експлуатації електроустановок» [15].

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 59   |

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

- 1) зі зняттям напруги;
- 2) без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них;
- 3) без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, що проводяться в електроустановці (або її частині), в якій зі струмовідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що перебувають під напругою, унеможливлено.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах.

В електроустановках напругою понад 1000 В, а також з напругою до 1000 В до цих самих робіт належать роботи, які виконуються на відстанях від струмовідних частин.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмовідних частин на відстань, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмовідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно зі спеціальними інструкціями або технологічними картами, в яких передбачено необхідні заходи безпеки.

Організаційними заходами, якими досягається безпека робіт в електроустановках, є:

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 60   |

- 1) затвердження переліку робіт, що виконуються за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації;
- 2) призначення осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- 3) оформлення робіт нарядом, розпорядженням або затвердженням переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- 4) підготовка робочих місць;
- 5) допуск до роботи;
- 6) нагляд під час виконання робіт;
- 7) переведення на інше робоче місце;
- 8) оформлення перерв в роботі та її закінчення.

На кожному об'єкті відповідним документом (наказом, інструкцією тощо) повинен бути встановлений протипожежний режим, який включає:

- 1) порядок утримання шляхів евакуації;
- 2) визначення спеціальних місць для куріння;
- 3) порядок застосування відкритого вогню;
- 4) порядок використання побутових нагрівальних приладів;
- 5) порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт;
- 6) правила проїзду та стоянки транспортних засобів.

Працівники об'єкта мають бути ознайомлені з цими вимогами на інструктажах. Для кожного приміщення об'єкта мають бути розроблені та затверджені керівником об'єкта або уповноваженою ним посадовою особою інструкції про заходи пожежної безпеки [16].

У цих інструкціях повинні вказуватися:

- 1) категорія приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки (для виробничих, складських приміщень та лабораторій);
- 2) вимоги щодо утримання евакуаційних шляхів та виходів;
- 3) спеціальні місця для куріння та вимоги до них;
- 4) порядок утримання приміщень, робочих місць;

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 61   |

5) порядок зберігання та застосування легкозаймистих рідин, горючих рідин, пожежовибухонебезпечних речовин і матеріалів;

6) порядок утримання та зберігання спецодягу;

7) порядок проведення зварювальних та інших вогневих робіт;

8) порядок огляду, вимкнення електроустановок, приведення в пожежобезпечний стан приміщень та робочих місць, закриття приміщень після закінчення роботи;

9) заходи пожежної безпеки при роботі на технологічних установках та апаратах, які мають підвищену пожежну небезпеку;

10) граничні показання контрольно-вимірювальних приладів, відхилення від яких можуть викликати пожежу або вибух;

11) обов'язки та дії працівників у разі виникнення пожежі.

Ці інструкції мають вивчатися під час проведення протипожежних інструктажів, проходження навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму, а також в системі виробничого навчання і вивішуватися на видимих місцях.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 62   |

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було виконано дослідження котушок живлення шляхової структури та представлено загальну інформацію про магнітолевітаційний транспорт та виконаний аналіз цього виду транспорту, а також основні варіанти реалізації системи підвісу маглевів, визначено їх переваги та недоліки.

Була представлена концепція інноваційної системи керування шляховим елементом на базі системи живлення шляхової структури та розглянуті можливі варіанти реалізації цієї системи, надані функціональні схеми та топологія представленої структури.

Також було проведено розрахунок параметрів системи тяги маглева з електродинамічним підвісом.

Було доліджено функціональну схему та характеристики маглева за допомогою імітаційної моделі.

Було розроблено топологію ввімкнень у вигляді схем та таблиць, а також було виконана візуалізація цієї системи за допомогою 3D-моделювання котушок шляхової структури.

На основі виконаної роботи можна зробити висновок, що була запропонована та розроблена початкова ідея концепції для магнітолевітаційного транспорту з електродинамічним підвісом у вигляді інноваційних модульних шляхових елементів, які представляють собою котушки для шляхової структури. Розроблена система потребує більш детального дослідження та вдосконалення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Як працюють потяги системи «Маглев» [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/maglev-train.htm>.
2. Основні положення про «Маглев» [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Maglev>.
3. Structural and Kinematic Analysis of EMS Maglev Trains [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [https://cdn.intechopen.com/pdfs/34786/InTech-Structural\\_and\\_kinematic\\_analysis\\_of\\_ems\\_maglev\\_trains.pdf](https://cdn.intechopen.com/pdfs/34786/InTech-Structural_and_kinematic_analysis_of_ems_maglev_trains.pdf).
4. Робота такого виду транспорту як «Маглев» [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.energy.gov/articles/how-maglev-works>.
5. The TransRapid Magnetic Levitation System: A Technical and Commercial Assessment [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [https://escholarship.org/content/qt6ds64496/qt6ds64496\\_noSplash\\_a2591d6170c7c0846707ea03eee226fd.pdf?t=mc2stq](https://escholarship.org/content/qt6ds64496/qt6ds64496_noSplash_a2591d6170c7c0846707ea03eee226fd.pdf?t=mc2stq).
6. Review of Maglev train technologies [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/3111983\\_Review\\_of\\_Maglev\\_train\\_technologies](https://www.researchgate.net/publication/3111983_Review_of_Maglev_train_technologies).
7. Survey of Foreign Maglev Systems [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/10134413-INEBOE>.
8. Design and Control of Levitation and Guidance Systems for a Semi-High-Speed Maglev Train [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2017.12.1.117>.
9. Design and Control of Levitation and Guidance Systems for a Semi-High-Speed Maglev Train [Текст] / Kim Min, Jae-Hoon Jeong, Jaewon Lim, Chang-Hyun Kim, Mooncheol Won – (Journal of Electrical Engineering and Technology) // Korean Institute of Electrical Engineers. – 2017. – № 12. – С. 117-125. / Режим доступа: <http://koreascience.or.kr/article/JAKO201709641401416.pdf>.

10. Самоиндукция. Энергия магнитного поля [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter1/section/paragraph21/theory.html#.YYf3jFRByFv>.

11. Новиков В. Ф. Определение рациональных параметров тягового линейного двигателя для высокоскоростного электротранспорта [Текст]: дисертація / Новиков В. Ф.. – Д.: ИТСТ НАНУ «Трансмаг», 2016. – 114 с.

12. Наказ про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0335-14#Text>.

13. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>.

14. Наказ про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>.

15. Про затвердження правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98) [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>.

16. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>.

17. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99 [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>.

18. Дотримання тиші в населених пунктах та захист від шуму (2020) [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://dreamdim.ua/uk/dotrymannya-tyshi-v-naselenyh-punktah-2020>.

## СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

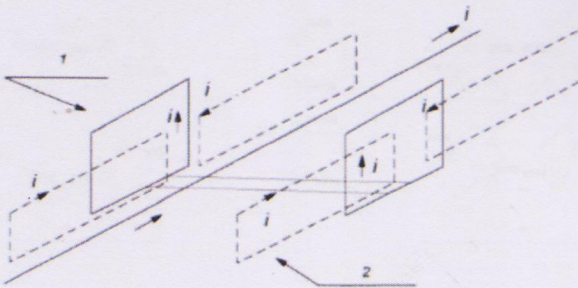
1. Схематичне зображення з'єднання котушок, концепція перемикавання котушок;
2. Графічне зображення концепції перемикавання «нуль» та «вісімка», схеми вмикань «нуль» та «вісімка»;
3. 3D-моделювання режимів вмикання модульних елементів та шляхової структури;
4. 3D-моделювання рухомого складу.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  | 66   |

ДОДАТОК А

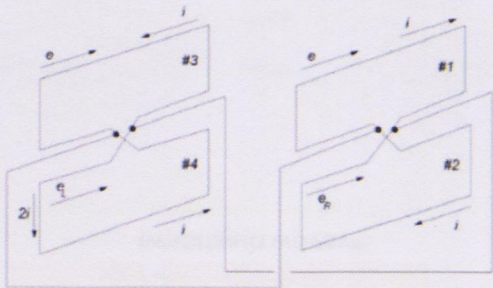
|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | 0024.ДМР21.06.ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                  | 67   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Схематичне зображення котушок у межах п'ятьової структури

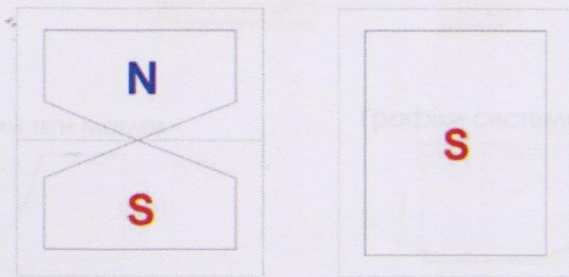


1 – рухомо-навідні котушки, 2 – надпровідні котушки;

Схематичне зображення з'єднання котушок



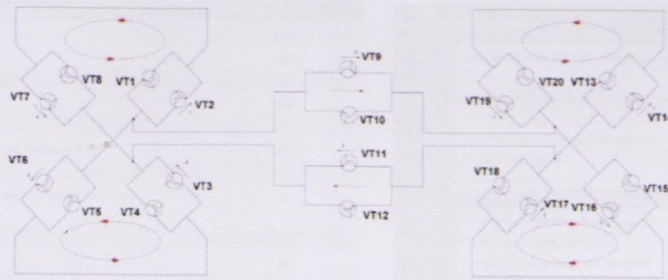
Концепція перемикавання



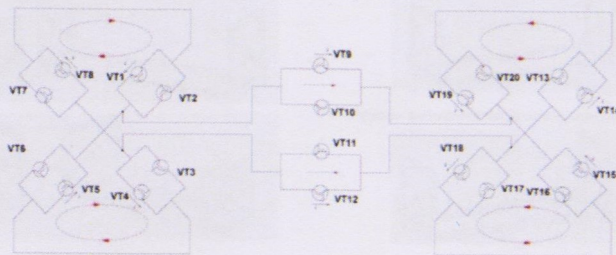
а – режим «вісімка», б – режим «нуль»;

|             |     |                |                                                                                     |       |                                                                          |  |  |  |                                                                    |       |         |
|-------------|-----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------------------------------------|-------|---------|
|             |     |                |                                                                                     |       | Схематичне зображення з'єднання котушок, концепція перемикавання котушок |  |  |  |                                                                    |       |         |
|             |     |                |                                                                                     |       |                                                                          |  |  |  |                                                                    |       |         |
| Змн.        | Арк | № Документу    | Підпис                                                                              | Дата  |                                                                          |  |  |  |                                                                    |       |         |
|             |     |                |                                                                                     |       | Додаток А<br><br>0024.ДМР21.06.ПЗ                                        |  |  |  |                                                                    |       |         |
|             |     |                |                                                                                     |       |                                                                          |  |  |  | Стад.                                                              | Аркуш | Аркушів |
| Зав. кафед. |     | Муха А.М.      |  | 20.12 |                                                                          |  |  |  |                                                                    | 68    | 71      |
| Н. контр.   |     | Карзова О.О.   |  | 20.12 |                                                                          |  |  |  | Український державний університет науки і технологій, група ЕП2021 |       |         |
| Осн. керів. |     | Устименко Д.В. |  | 20.12 |                                                                          |  |  |  |                                                                    |       |         |
| Розробив    |     | Чуприна Є.М.   |  | 20.12 |                                                                          |  |  |  |                                                                    |       |         |

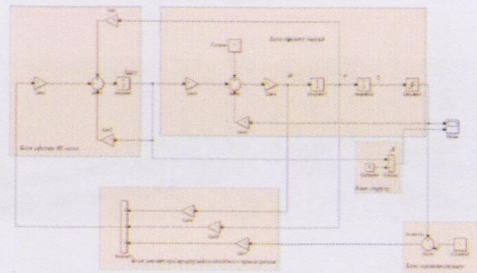
### Загальна схема режиму «вісімка»



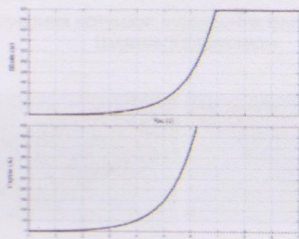
### Загальна схема режиму «нуль»



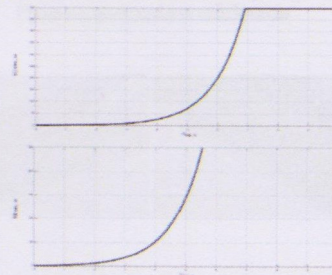
### Імітаційна модель



### Графіки системи тяги маглев



### Графіки системи левітації маглев



|             |     |                |                    |       |
|-------------|-----|----------------|--------------------|-------|
| Змн.        | Арк | № Документу    | Підпис             | Дата  |
| Зав. кафед. |     | Муха А.М.      | <i>[Signature]</i> | 20.12 |
| Н. контр.   |     | Карзова О.О.   | <i>[Signature]</i> | 20.12 |
| Осн. керів. |     | Устименко Д.В. | <i>[Signature]</i> | 20.12 |
| Розробив    |     | Чупрниа Є.М.   | <i>[Signature]</i> | 20.12 |

Схеми вмикань «нуль» та «вісімка», імітаційна модель, графіки імітаційної моделі

Додаток А

0024.ДМР21.06.ПЗ

|       |       |         |
|-------|-------|---------|
| Стад. | Аркуш | Аркушів |
|       | 69    | 71      |

Український державний університет науки і технологій, група ЕП2021

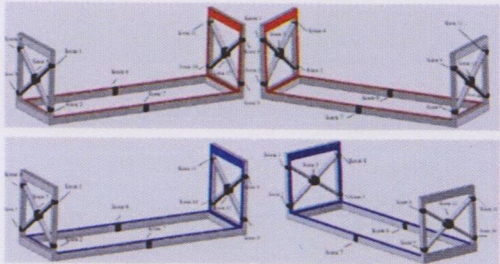
Вихідні дані

| №  | Позначка                                       | Величина |
|----|------------------------------------------------|----------|
| 1  | Довжина секції, м                              | 1,07     |
| 2  | Ширина секції, м                               | 0,5      |
| 3  | Струм у стані левітації, кА                    | 700      |
| 4  | Робочий струм, А                               | 250      |
| 5  | Число блоків магніту                           | 4        |
| 6  | Зазор між блоками магнітів збудження, м        | 0,045    |
| 7  | Магнітна проникність                           | 1        |
| 8  | Кількість витків котушки надпровідного магніту | 8        |
| 9  | Магнітний потік, Тл                            | 5,2      |
| 10 | Вага рухомого складу, т                        | 40       |
| 11 | Струм в котушці, А                             | 500      |
| 12 | Кількість витків котушок живлення              | 40       |

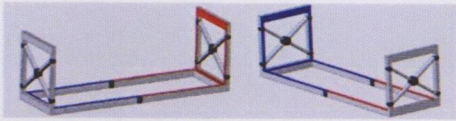
Розраховані дані

| №                                          | Позначка                                                       | Величина           |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|
| Розраховані значення надпровідного магніту |                                                                |                    |
| 1                                          | Сила, яка створюється одним візком маглева, Н                  | $5,6 \cdot 10^6$   |
| 2                                          | Сила, яку необхідно подлати для дискретного стану левітації, Н | $3,92 \cdot 10^6$  |
| 3                                          | Магнітний потік надпровідного візка, Вб                        | 15,457             |
| 4                                          | Магнітна індукція, Тл                                          | 28,852             |
| 5                                          | Сила магнітного потоку, Н                                      | $1,156 \cdot 10^7$ |
| Розраховані значення котушок живлення      |                                                                |                    |
| 6                                          | Сила, однієї секції котушок живлення, Н                        | 30000              |
| 7                                          | Сила створена котушкою, Н                                      | 61605              |
| 8                                          | Магнітний потік котушки живлення, Вб                           | 0,591              |
| 9                                          | Магнітна індукція котушок живлення, Тл                         | 0,011              |
| 10                                         | Сила магнітного потоку котушок живлення, Н                     | 36937,5            |

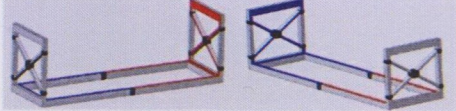
Режим вмикання «нуль» для різних полярностей



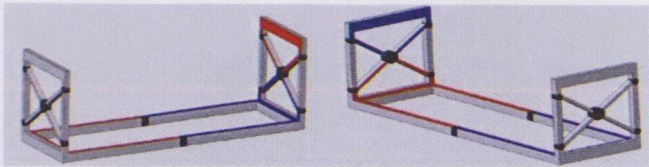
Режим вмикання «нуль» в межах одного модуля шляхового елемента



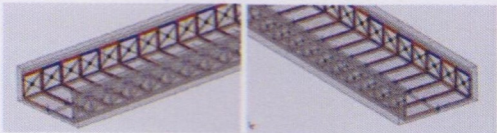
Режим вмикання «вісімка» в межах одного модуля шляхового елемента



Режим вмикання «вісімка» з різними полярностями в межах одного модуля шляхового елемента

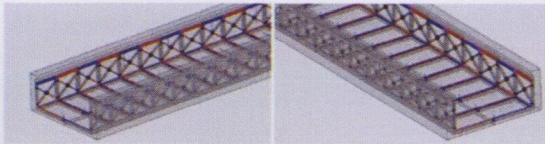


Розташування котушок модульних елементів на базі шляхової структури



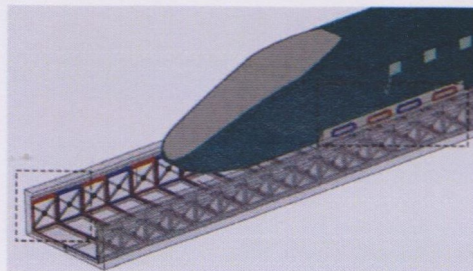
розміри до складу конструкції

Режим вмикання «вісімка»



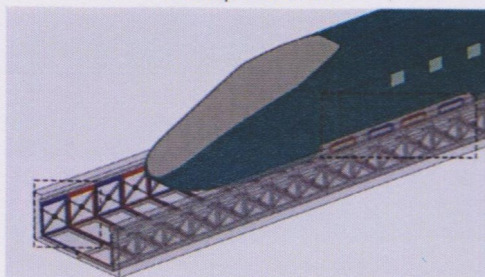
|             |     |                |        |       |                                                                            |                                                                    |       |         |    |
|-------------|-----|----------------|--------|-------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|---------|----|
|             |     |                |        |       | 3D-модельовання режимів вмикання модульних елементів та шляхової структури |                                                                    |       |         |    |
| Змн.        | Арк | № Документу    | Підпис | Дата  |                                                                            |                                                                    |       |         |    |
|             |     |                |        |       | Додаток А<br><br>0024.ДМР21.06.ПЗ                                          | Стад.                                                              | Аркуш | Аркушів |    |
| Зав. кафед. |     | Муха А.М.      |        | 20.12 |                                                                            |                                                                    |       | 70      | 71 |
| Н. контр.   |     | Карзова О.О.   |        | 20.12 |                                                                            | Український державний університет науки і технологій, група ЕП2021 |       |         |    |
| Осн. керів. |     | Устименко Д.В. |        | 20.12 |                                                                            |                                                                    |       |         |    |
| Розробив    |     | Чуприна Є.М.   |        | 20.12 |                                                                            |                                                                    |       |         |    |

Розташування рухомого складу, котушок  
модульних елементів на базі шляхової структури

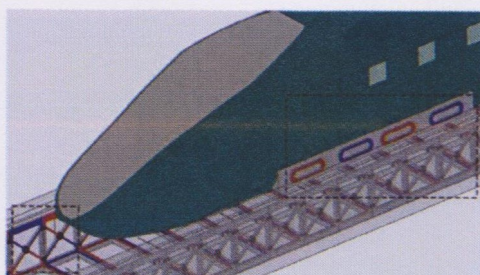


режим вмикання «нуль»

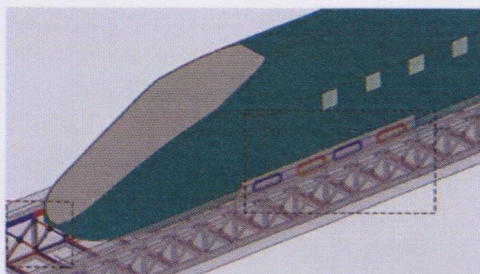
Режим вмикання «нуль», після перемикавання  
полярностей



Режим вмикання «вісімка»



Режим вмикання «вісімка», після перемикавання  
полярностей



|              |     |                |        |       |                                 |                                                                          |       |         |
|--------------|-----|----------------|--------|-------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
|              |     |                |        |       | 3D-модельовання рухомого складу |                                                                          |       |         |
| Змн.         | Арк | № Документу    | Підпис | Дата  |                                 |                                                                          |       |         |
| Зав. кафедр. |     | Муха А.М.      |        | 20.12 | Додаток А<br>0024.ДМР21.06.ПЗ   | Стад.                                                                    | Аркуш | Аркушів |
| Н. контр.    |     | Карзова О.О.   |        | 20.12 |                                 |                                                                          | 71    | 71      |
| Осн. керів.  |     | Устименко Д.В. |        | 20.12 |                                 | Український державний<br>університет науки і<br>технологій, група ЕП2021 |       |         |
| Розробив     |     | Чуприна Є.М.   |        | 20.12 |                                 |                                                                          |       |         |