

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка

В.Лазаряна

Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання»

Галузь 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Спеціалізація Електротехнічні системи електроспоживання

«Затверджую»

_____ Сиченко В.Г.

«20» січня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС магістр

студент групи ЕС 1921 Тирсовий Ростислав Павлович

1. Тема дипломної роботи: «Імітаційне моделювання електромагнітних процесів в міжпідстанційній зоні при двоколіїному русі поїздів» затверджена наказом по університету від «17» 01 2020 р. № 52
2. Термін подання студентом закінченої роботи «07» грудня 2020 р.
3. Вихідні дані до дипломної роботи: детерміновані дані параметрів показання СТЕ змінного струму.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки): Класичні існуючі і можливі моделі системи «ТП-ТМ-ЕРС», Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів лише на одній колії ділянки, Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на двоколіїній ділянці.
5. Перелік креслень (демонстраційного матеріалу) : ілюстрований опис результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва розділу дипломного проекту | Термін виконання | Обсяг розділу, % |
|----------|--|------------------|---------------------|
| 1 | Вступ | 09.09.2020 | 5 |
| 2 | Класичні існуючі і можливі моделі системи «ТП-ТМ-ЕРС» | 21.10.2020 | 25 |
| 3 | Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів лише на одній колії ділянки. | 11.11.2020 | 30 |
| 4 | Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на двоколійній ділянці. | 25.11.2020 | 30 |
| 5 | Висновки та список використаної літератури | 07.12.2020 | 10 |

Дата видачі завдання: « 20 » січня 2020 р.

Керівник дипломного проекту: доцент _____

Т.М. Міщенко

Завдання прийняв до виконання: студент _____

Р.П. Тирсовий

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи на тему «Імітаційне моделювання електромагнітних процесів в міжпідстанційній зоні при русі поїздів на двоколіійній ділянці» складається з трьох розділів, представлена на 58 сторінках основного тексту та містить 8 використаних джерел, 60 рисунків, 10 таблиць.

В вступі представлена основна мета та передумови проектно-дослідницької роботи.

В першому розділі теоретичні передумови класичних, існуючих, та можливих моделей системи тягової підстанції, тягової мережі та електро рухомого складу.

В другому розділі є теоретичні передумови та результати створення імітаційної моделі у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на одній колії ділянки, з використанням детермінованих значень напруги, близьких до реального часу.

Третій розділ є теоретичні передумови та результати створення імітаційної моделі у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на двох коліях ділянки, з використанням детермінованих значень напруги, близьких до реального часу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОРУХОМИЙ СКЛАД, ФІДЕРНА ЗОНА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, СТРУМ, НАПРУГА, МОДЕЛЮВАННЯ, КОНТАКТНА МЕРЕЖА, ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ, КОНТАКТНИЙ СТРУМ, ДВОСТОРОННЯ СХЕМА ЖИВЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Класичні існуючі і можливі моделі системи «ТП-ТМ-ЕРС».....
 - 1.1. Моделі Тягових Підстанцій.....
 - 1.2. Моделі і параметри Тягової Мережі з зосередженими параметрами.....
 - 1.3. Моделі навантаження електровозів.....
2. Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі трьох поїздів лише на одній колії ділянки.....
 - 2.1. Структура схеми і моделі фідерної ділянки.....
 - 2.2. Розрахунок рівня напруги на струмоприймачах електровозів.....
 - 2.3. Оцінка струморозподілення на ділянці.....
 - 2.4. Дослідження спаду напруги на елементах ділянки.....
3. Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі трьох поїздів на двоколійній ділянці.....
 - 3.1. Структура схеми і моделі фідерної ділянки.....
 - 3.2. Розрахунок рівня напруги на струмоприймачах електровозів.....
 - 3.3. Оцінка струморозподілення на ділянці.....
 - 3.4. Дослідження спаду напруги на елементах ділянки.....

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

В даний час імітаційне моделювання електромагнітних процесів в міжпідстанційній зоні при русі поїздів на двоколінійній ділянці в системі MatLab Simuling є досить швидким та малозатратним. Імітаційним методом розглянуто електромагнітні процеси у фідерній зоні при одноколійному та двоколійному русі поїздів. При цьому враховувалась: відстань від електровозу до тягової підстанції (ТП); електричні параметри тягової мережі (ТМ) і ТП; коливання фідерної напруги.

Актуальність роботи. Не зважаючи на винайдені за останні роки методи розрахунку перехідних процесів в системах тягового електропостачання. Імітаційний моделювання являється достатньо новим, але точним методом має велику перевагу над іншими методами (аналітичним, фізичним та іншими) тому, що при моделюванні можна враховувати всі нюанси котрі потрібно враховувати при поставленій задачі. Наприклад можна одночасно запускати декілька змодельованих підстанцій і знімати з них показання (в реальних умовах це майже не можливо), можна моделювати коротке замикання або холостий ход та багато іншого без завдання шкоди для обладнання.

Мета і завдання роботи. Метою цієї роботи є розробка (в середовищі Matlab (Simulink)) моделей тягової підстанції змінного струму 27,5кВ з детермінованими значеннями при одно та двоколійних ділянках шляхом досліду зняття та розрахунку напруги та струмів електровозів, контактної мережі та тягової підстанції.

Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист.

Вперше до моделювання електромагнітних процесів в фідерній зоні при русі поїздів на двоколінійній ділянці адаптивно існуючі ідентифікаційні моделі електрорухомого складу(електровозів).

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблена на основі імітаційних моделей методика розрахунку яка дає можливість оцінки параметрів електровозів , контактної мережі та тягових підстанцій.

Особистий внесок здобувача.Розробка імітаційних моделей, визначення параметрів для імітаційної моделі, виконання розрахунків навантаження та струмів на фідерній ділянці.

Публікації. Автор – Тирсовий Р.П., Таптунов Д.О. , Чіпак О.М., Науковий керувник – д.т.н., Міщенко Т.М. Моделювання випадкових електромагнітних процесів перетворення електроенергії на тяговій підстанції змінного струму / X Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми безпеки на транспорті» (Гомель , 26-27 листопада 2020 р.) : Ч.5 / «МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»; «БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»; УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ: «БЕЛАРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА» під заг. ред. Ю. І. Кулаженко – Гомель : БелГУТ. 2020. – 229 с. ISBN 978-985-554-946-9 (ч. 5)

1 КЛАСИЧНІ ІСНЮЮЧІ І МОЖЛИВІ МОДЕЛІ СИСТЕМИ «ТП – ТМ – ЕРС»

1.1 Моделі Тягових підстанцій

Тягова підстанція (ТП) слугує для перерозподілення, перетворення електроенергії, живлення тягових та нетягових мереж електрорухомого складу. Тягові підстанції живляться через систему зовнішнього електропостачання, після чого відбувається перерозподіл енергії між тяговими і нетяговими споживачами.

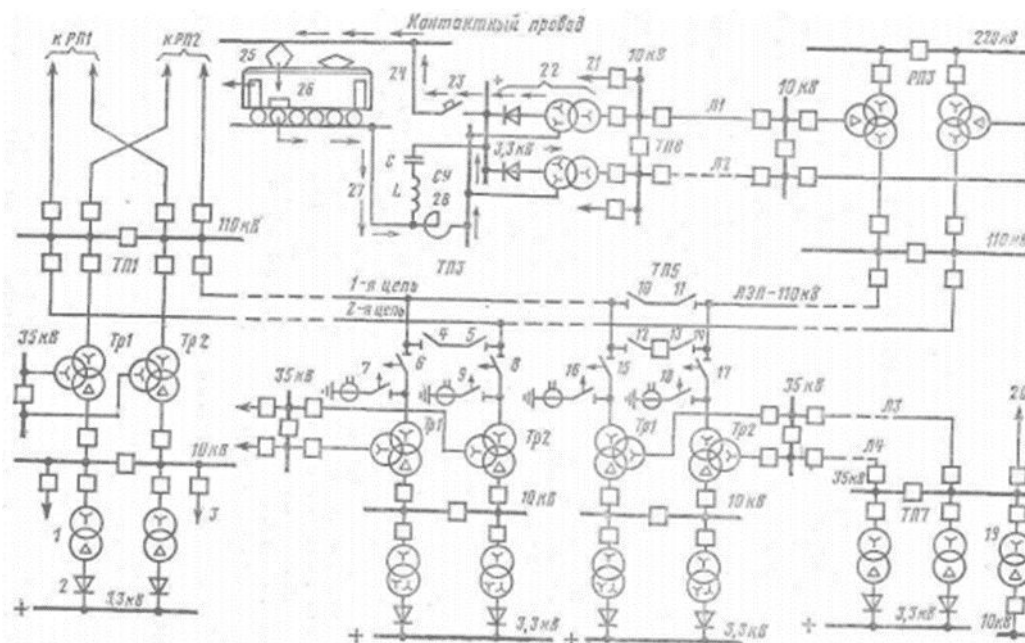


Рисунок 1.1 - Приклад схеми живлення тягової підстанції постійного струму[2]

Головними вимогами до тягової підстанції є надійність роботи обладнання та безперебійність електропостачання електрорухомого складу. Надійність та безвідмовність роботи ТП, електропостачання тягових споживачів забезпечуються правильним вибором типів та потужностей перетворювальних агрегатів, схем живлення, схем та апаратури розподільних пристроїв. Нормам технологічного проектування електрифікації залізниць тягові підстанції повинні забезпечуватися двостороннім живленням, радіальне живлення від одного джерела допускається по дволанцюговій лінії тільки однієї тягової підстанції.

Джерелами живлення тягових підстанцій служать районні підстанції. Тягові підстанції поділяють на підстанції постійного та змінного струму. Тягові підстанції постійного струму розрізняють по первичній напрузі (6...10кВ), (35кВ 110...220кВ) за роллю і призначенням у електричній схемі живильної енергосистеми - тупикові, проміжні, які поділяються на транзитні відпаєчні і опорні. Опорні тягові підстанції служать для розподілу електроенергії, що надходить від електричної системи; від шин відходять лінії електропередачі в різних напрямках живлення інших тягових підстанцій. Опорної вважається підстанція, до шин (110 або 250 кВ) якої долучаються не менше трьох живлять ліній електропередачі.[1]

Тягові підстанції забезпечують електроенергією електричну тягу, залізничні не тягові споживачі (вагонні депо, майстерні, локомотиви, навантажувальні майданчики, зв'язок, автоблокування та інше). Одночасно більшість тягових підстанцій живить прилягаючі до них промислові, комунальні і сільськогосподарські навантаження, здійснюючи тим самим функції районних підстанцій. Не тягові споживачі отримують живлення від шин первинної напруги тягових підстанцій або від шин зниженої напруги. Вибір напруги і числа ліній для живлення не тягових споживачів залежить від місцевих умов і категорії споживачів.

Електрифікація залізниць на змінному струмі промислової частоти є в даний час основною внаслідок її простоти і значною економічності в порівнянні з електричною тягою на постійному струмі. Електрифікація на постійному струмі застосовується для завершення електрифікованих раніше напрямків і прилеглих до них ділянок. Одним з переваги системи однофазового змінного струму промислової частоти вважається спрощення тягових підстанцій, які на цих ділянках мало чим відрізняються від місцевих або ж промислових трансформаторних підстанцій. Призначення тягових підстанцій змінного струму з частотою 50 Гц полягає в зниженні підводиного до них від енергопостачальної системи напруги 110...220 кВ до 27,5кВ і розподілі енергії за зонами живлення

1.2 Моделі и параметри ТМ з зосередженими параметрами

Тягова мережа (ТМ) - це система тягового електропостачання яка складається з контактної мережі, рейкової мережі, відсмоктувальних ліній та фідерів.

Тягова мережа (ТМ) - відрізняється від інших ліній електропередач великим числом різнорідних асиметрично розташованих проводів. Навіть у випадку на одноколінійній ділянці тягова мережа складається з контактного проводу, несучого тросу та двох рейок, з'єднаних з землею. До контактної підвіски можуть паралельно приєднатися підсилюючий провід, а на двоколійному ділянці, тягова мережа буде складатися з шести проводів і чотирьох рейок, як правило внаслідок відгалуження частини струму з рейок в землю сумарний струм в них по модулю та фазі відрізняється від струму в проводах контактної мережі.

Тягова мережа змінного струму є електричним колом з розподіленими і зосередженими параметрами. Хвильові процеси які виникають в можуть викликати в місцях підключень електрорухомого складу (ЕРС) перенапруження, виникненням резонанса напруг, яке є причиною виникнення аварійних ситуацій в системі тягового електропостачання. З резонансом напруг в тяговій мережі виникають резонанси струмів на частоті однією з гармонік напруги мережі, які можуть призводити до виходу з ладу конденсаторів фільтрокомпенсуючих пристроїв. Крім того, резонансні явища в тяговій мережі впливають на рівень перешкод в рейкових ланцюгах на частоті більше ніж 1 кГц. Реальна тягова мережа є лінією з втратами і має кінцеве значення вхідного опору $Z_{вх}$ яке залежить від її довжини l . Залежність $Z_{вх}l$ має максимуми і мінімуми, мінімум відповідає резонансу напруг, а максимум резонансу струмів. Кожен з резонансів виникає при певній лінії. В цьому випадку в кінці лінії значення напруги або струму може перевищувати їх значення на початку лінії.

Резонансна довжина для кожної гармоніки різна, для дослідження резонансних явищ в ТМ, використовують еквівалентну розрахункову схему, в якій ЕРС замінюється джерелом гармоніки струму. До цього джерела з одного

боку підключається опір тягової підстанції і до системи зовнішнього електропостачання, а з іншого боку - опір фільтрокомпенсуючого пристрою (ФКП). При аналізі електромагнітних процесів з використанням схеми заміщення, еквівалентна вхідному опору представляється у вигляді паралельного з'єднання вхідного опору з двох сторін від ЕРС, це необхідно для роботи ТМ на низьких частотах до 500 Гц, при яких система розглядається як ланцюг з зосередженими параметрами. Однак в області високочастотних гармонік необхідно враховувати розподіл параметрів уздовж довжини тягової мережі. [3]

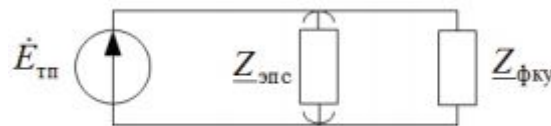


Рисунок 1.3 - Приклад схеми заміщення ділянки ТМ [3]

Приклад схеми заміщення тягової мережі, на рис. 1.3, в якій в якості навантаження використовується опір ЕРС та фільтрокомпенсуючі пристрої, а джерелом гармонік ЕРС є тягова підстанція.

Системи тягового електропостачання складається з декількох складових. Тягові підстанції є статичними, а тягова мережа має довжину у десятки км. Ця обставина спонукає до розгляду електромагнітних процесів у тяговій мережі з двох позицій, розглянемо її як ланцюг із зосередженими параметрами або ланцюг з розподіленими параметрами. В теорії електропостачання електрифікованих залізниць ТМ (тягова мережа) є лінією із зосередженими параметрами на постійному ($\omega = 0$) та змінному ($\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Гц) струмі. [4]

Розрахунок енергообмінних процесів відбувається за рахунок схемами заміщення, параметри якої визначаються множенням погонних параметрів (Ом/км, Гн/км) на зазначену довжину. В реальних умовах перетворення та споживання електричної енергії у системі тягового електропостачання в ТМ (тягова мережа) відбувається циркуляція вищих гармонічних складових, які необхідно враховувати при моделюванні та розрахунку системи тягового

електропостачання. Поява електрорушійного складу з асинхронними двигунами ще більше ускладнює характер енергообмінного процесу в ТМ, оскільки частота роботи автономних інверторів має значення кГц, і частотний діапазон при цьому значно розширюється. Відомо, те що будь-яку лінію необхідно розглядати як довгу (з розподіленими параметрами), коли її довжина співпадає або більша за неї, довжини хвилі струму або напруги.

Контактна (КМ) та рейкова (РМ) мережа мають свої особливості побудови схеми заміщення. Особливістю розрахунку електромагнітних процесів у КМ являються реактивні елементи (І та С) зосереджені на тяговій підстанції. Оскільки двигуни електровозу приєднуються до КМ (навідміну від електровозів змінного струму) це підсилює взаємозв'язок режимів роботи електровоза та КМ, що в умовах фактично безперервних перехідних процесів (зміна режиму роботи електровоза, зміна елементів профілю, відриви струмоприймача, проходження стиків рейок, зміна режимів роботи системи зовніше нього електропостачання, аварійні процеси та інше) може привести до виникнення локальних комутаційних перенапруг чи коливальних процесів у взаємодіючі в парі з (електровоз - тягова мережа(ТМ)).[4]

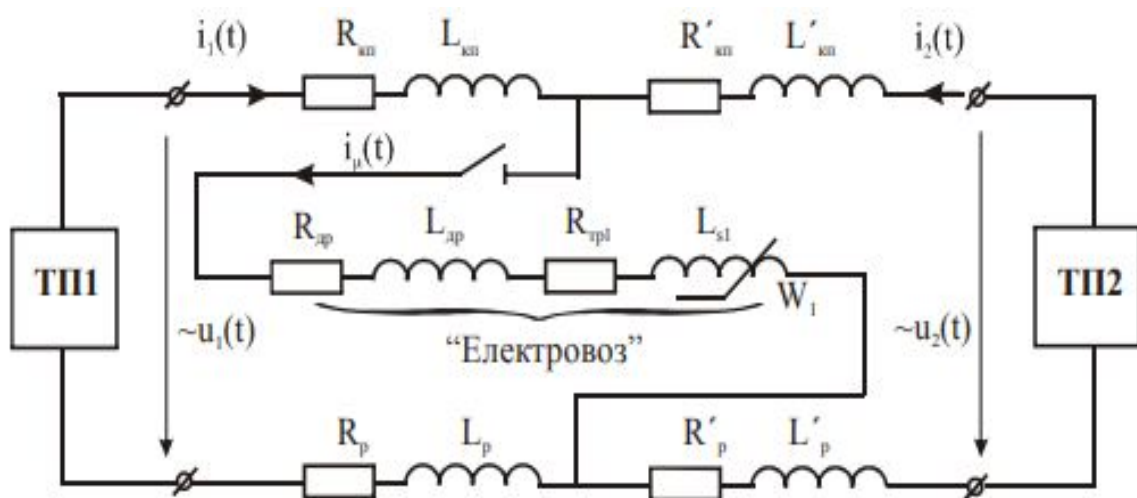
1.3 Моделі навантаження електровозів

Одним з принципів показників якості залізничного транспорту є витрата електричної енергії на тягу поїздів. Однак аналіз динаміки витрат і вироблення дії, спрямованої на його зниження. Це не дозволяє реалізувати весь потенціал економії дорогого ресурсу. Істотно поліпшити ситуацію дозволяє використання адаптивного управління рухом потоку поїздів, введення величини витрати енергії в число критеріїв вироблення регульовальних мір. При цьому виникає завдання оперативного - в темпі, та динаміці руху, - і детального контролю енергоспоживання. Оперативний контроль витрати енергії на тягу в процесі прямування поїздів здійснюється двома способами. Перший полягає в вимірі енергії за допомогою електролічильника на борту кожного локомотива, передачі даних по каналу радіозв'язку в центр контролю та автоматичному аналізі

інформації. Результати розрахунків надходять в АРМ поїзних диспетчерів. Описана технологія збору інформації використовується на ряді залізниць Європи. Однак завдання забезпечення високої енергоефективності шляхом оптимального пропуску потоку поїздів не ставиться. Причиною служить пріоритетність характеристик пунктуальності над економічністю процесу в умовах інтенсивного руху пасажирських поїздів. Другий спосіб ґрунтується на вимірюванні обсягів енергії, переданих тяговими підстанціями в кожному з межподстанційних зон (МПЗ) в межах контрольної ділянки.[5]

Інформація про витрату знімається з електролічильників, якими оснащені фідери контактної мережі, і передається по каналах зв'язку до місця розташування сервера автоматизованої системи обліку енергії (АСКОЕ). В результаті обробки інформації визначається обсяг енергії, витрачений кожним з електровозів в межах МПЗ і в цілому за поїздки.

Крім того, обчислюється показник споживання в межах кожного перегону, проводиться його порівняння з нормативною величиною



[6]

Рисунок 1.4 - Приклад схеми заміщення «тягова підстанція(ТП) , тягова меже(ТМ) , електрорухомий склад(ЕРС)

Система нелінійних рівнянь для математичної моделі електромагнітних процесів : [7]

$$\begin{aligned}
 R_{\text{ТП}} \cdot i_1(t) + L_{\text{ТП}} \cdot \frac{di_{\text{ППК}}}{dt} + R_{\text{ППК}} \cdot i_{\text{ППК}}(t) + L_{\text{ППК}} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_{\text{ППК}}} \int_0^t i_{\text{ППК}}(t) dt = 1,1 \cdot e_1(t), \\
 -R_{\text{ППК}} \cdot i_{\text{ППК}}(t) - L_{\text{ППК}} \cdot \frac{di_{\text{ППК}}}{dt} - U_C(0) - \frac{1}{C_{\text{ППК}}} \int_0^t i_{\text{ППК}}(t) dt + \\
 +(R_{\text{КП}} + R_p) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{КП}} + L_p) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + (R_{\text{ДР}} + R_{\text{ТР}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{ДР}} + L_S) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0, \quad (1.1) \\
 i_{\text{ППК}}(t) - i(t) - i_{\mu}(t) = 0
 \end{aligned}$$

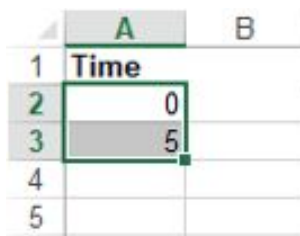
Індекс «ппк» означає параметри та електричні величини пристрою поперечної компенсації.

2 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ФІДЕРНІЙ ЗОНІ ПРИ РУСІ 3-Х ПОЇЗДІВ ЛИШЕ НА ОДНІЙ КОЛІЇ ДІЛЯНКИ

2.1 Структура схеми та моделі фідерної ділянки

Занесення вхідних даних до середовища Matlab.

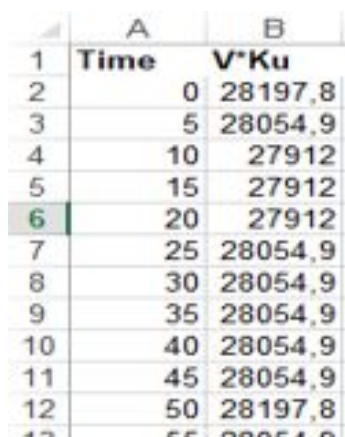
Перед тим, як занести данні до середовища Matlab їх потрібно створити у програмному середовищі Microsoft Excel. Для цього потрібно поділити їх на дві колонки як показано на рис 2.1. Колонка «А» позначається як інтервал часу, а колонка «В» як напруга. Далі треба визначити який інтервал часу нам потрібен. В нашому випадку інтервал дорівнює 1 добі, крок часу дорівнює 5 секунд. Щоб задати дані у середовище Excel необхідно в стовбчик «А2» внести значення 0, а в «А3» відповідно 5, виділивши «А2», «А3» тягнути вниз до певного осередка, рис 2.1



| | A | B |
|---|------|---|
| 1 | Time | |
| 2 | 0 | |
| 3 | 5 | |
| 4 | | |
| 5 | | |

Рисунок 2.1 - розрахунок вхідних даних часу в середовищі Excel

Вхідні данні для напруги були вже визначені, тому вставляємо їх у колонку «В»,
рис 2.2



| | A | B |
|----|------|---------|
| 1 | Time | V*Ku |
| 2 | 0 | 28197,8 |
| 3 | 5 | 28054,9 |
| 4 | 10 | 27912 |
| 5 | 15 | 27912 |
| 6 | 20 | 27912 |
| 7 | 25 | 28054,9 |
| 8 | 30 | 28054,9 |
| 9 | 35 | 28054,9 |
| 10 | 40 | 28054,9 |
| 11 | 45 | 28054,9 |
| 12 | 50 | 28197,8 |
| 13 | 55 | 28054,9 |

Рисунок 2.2 - Вхідні данні напруги

Тепер отриманні данні нам потрібно помножити на $\sqrt{2(1,41)}$ для цього в стовбчику«C2»ставимо знак «=» та обираємо масив напруги«B» і пишемо «*1,41» та натискаємо Enter, після цього використовуємо дію як показано на рис 2.1

| | A | B | C |
|----|-------------|-------------|---------|
| 1 | Time | V*Ku | |
| 2 | 0 | 28197,8 | 39758,9 |
| 3 | 5 | 28054,9 | 39557,4 |
| 4 | 10 | 27912 | 39355,9 |
| 5 | 15 | 27912 | 39355,9 |
| 6 | 20 | 27912 | 39355,9 |
| 7 | 25 | 28054,9 | 39557,4 |
| 8 | 30 | 28054,9 | 39557,4 |
| 9 | 35 | 28054,9 | 39557,4 |
| 10 | 40 | 28054,9 | 39557,4 |
| 11 | 45 | 28054,9 | 39557,4 |
| 12 | 50 | 28197,8 | 39758,9 |
| 13 | 55 | 28054,9 | 39557,4 |
| 14 | 60 | 28197,8 | 39758,9 |
| 15 | 65 | 28054,9 | 39557,4 |

Рисунок 2.3 - Значення напруги помножені на $\sqrt{2(1,41)}$

Далі нам потрібно зберегти наші розрахунки в середовищі Excel , тиснемо на вкладку «Файл» потім тиснемо вкладку «Зберегти як», та обираємо папку в яку ми хочемо зберегти файл , як показано на рис. 2.4

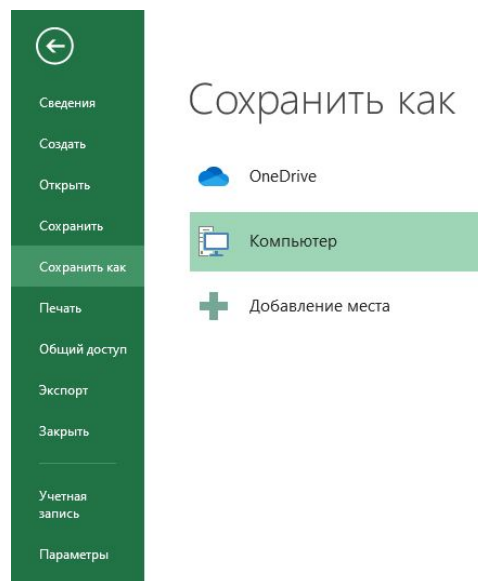


Рисунок 2.4 - Збереження файлу Excel

Після створення генератора випадкових чисел, запускаємо програму MatLab. Для внесення даних до MatLab ,використовуємо вкладку Import Data у

вікні MatLab (рис 2.5). Обравши файл Random тиснемо Enter, після чого з'явиться вікно з нашими даними

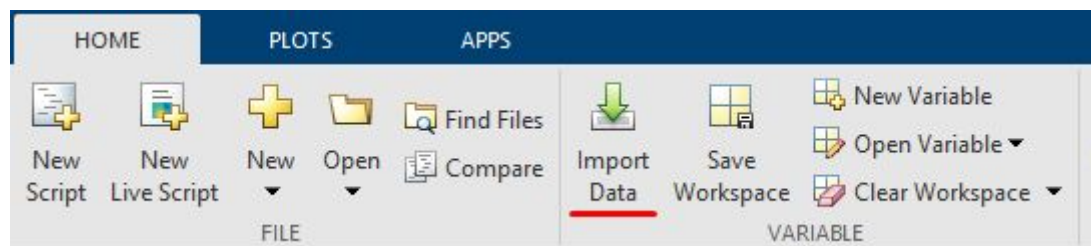


Рисунок 2.5 – Внесення даних до середовища MatLab

Щоб MatLab відображав наші дані, нам необхідно вибрати в Output Type: Numeric Matrix і натиснути Import Selection

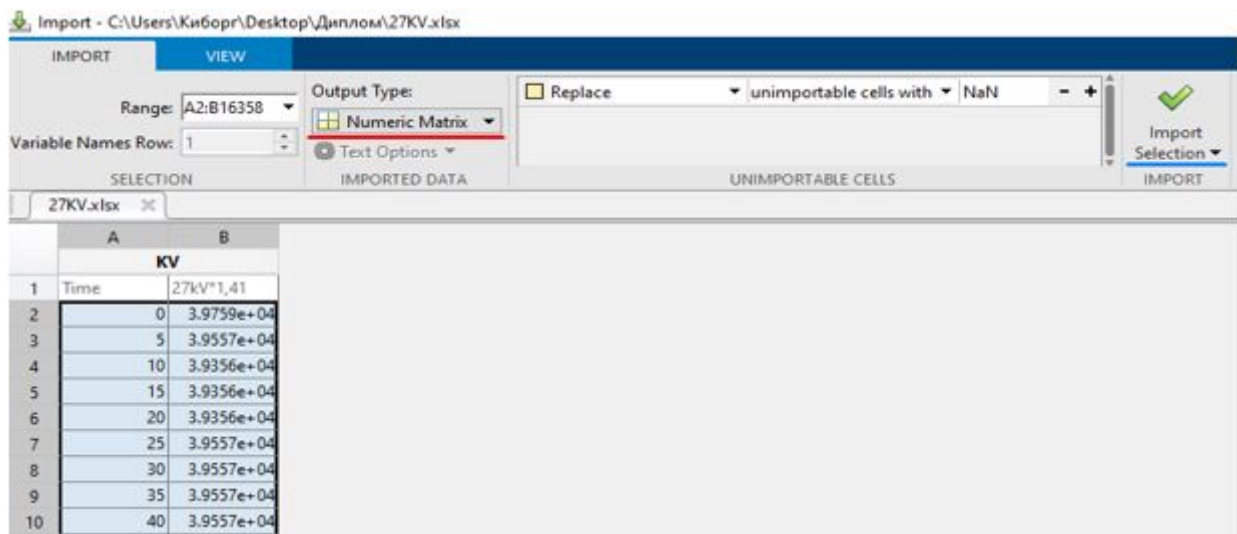


Рисунок 2.6 - Вікно з даними

Після всіх операцій у робочій області (Workspace) повинна з'явитись матриця (рис. 2.7). Якщо вона є, то можливо переходити до наступного етапу, а саме внесення даних в схему

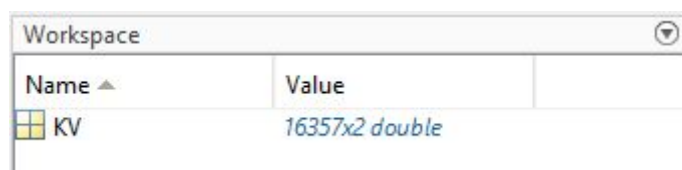


Рисунок 2.7 - Данні робої області(Workspace)

Умови до моделювання : тягова підстанція змінного струму 27,5кВ, 50 Гц довжиною 60км. Контактна підвіска ПБСМ1-95+МФ-100, схема живлення двухстороння розподільна

Далі потрібно відкрити нашу схему в яку потрібно занести ці дані. Тиснемо на вкладнику Open та обираємо відповідний файл зі схемою. Після цього відкриється середовище Simulink, та наша схема

Представлена схема має одну колію ділянки довжиною 60 км, яка розділена на чотири різних частини довжиною в : 16км, 14км, 10км та 20км кожна із яких має свої налаштування. Двух стороннє живлення кожне по 25000 В., із частотою в 50 Гц(Для України), чотири діляни напруги контактної мережі , та три електровоза кожен з яких має свої параметри налаштування .

Continuous

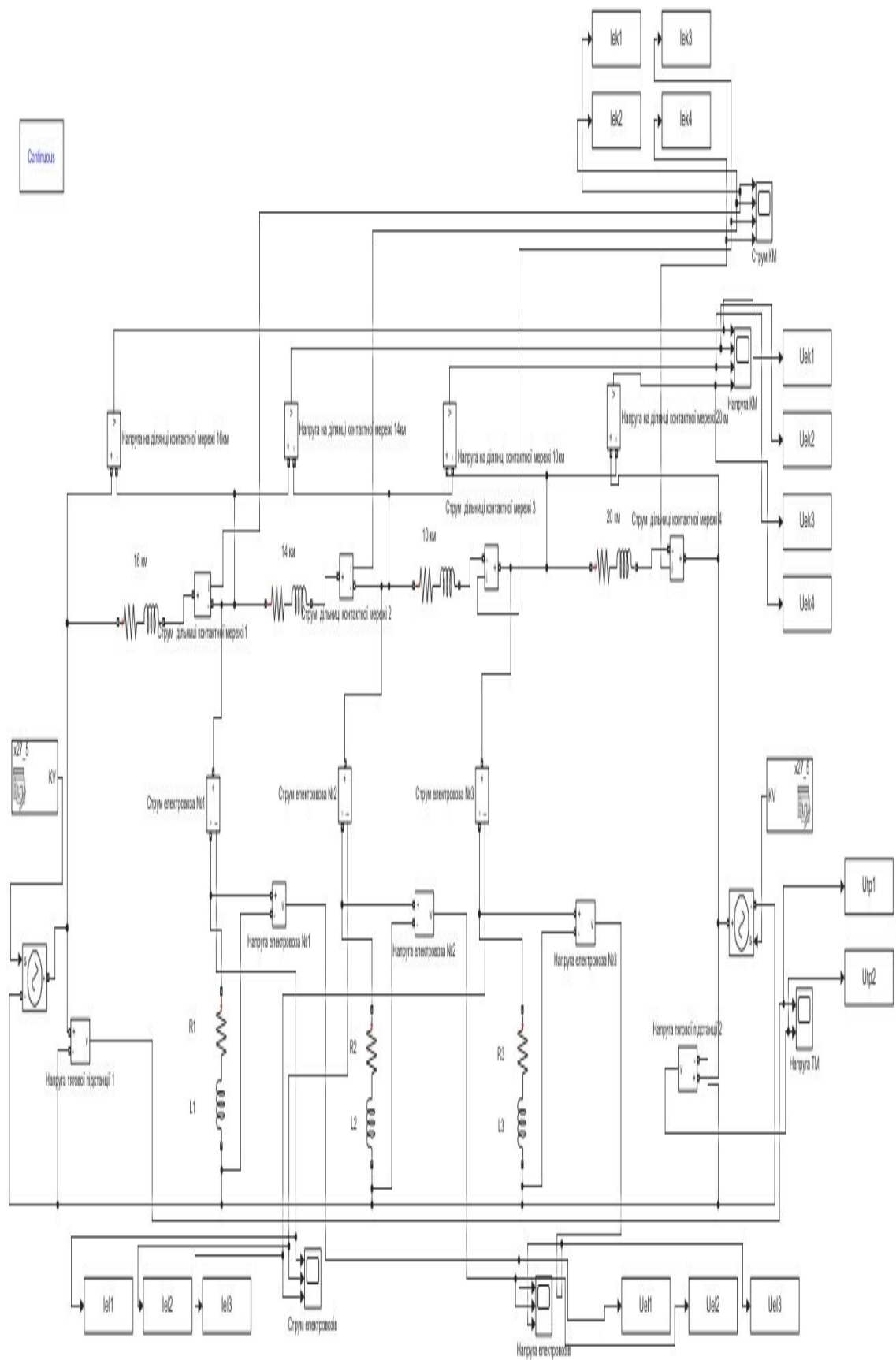
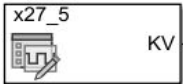


Рисунок 2.8 - Схема електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на одній колії ділянки в системі MatLab Simuling

Завдяки елементу Signal Editor  ми вносимо дані з робочої області (Workspace), але спочатку проаналізуємо параметри цього елементу

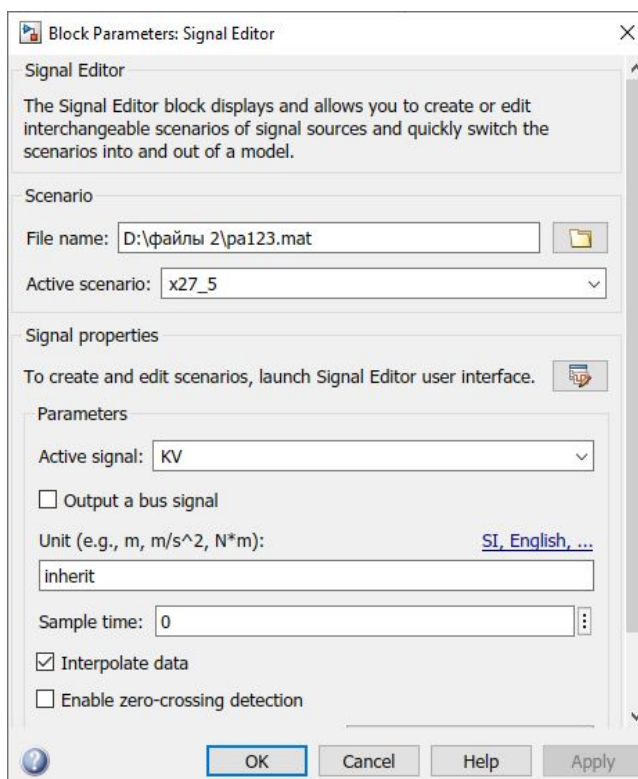



Рисунок 2.9 - Параметри блока Signal Editor

Детально вивчивши властивості та налаштування параметра блоку Signal Editor тиснемо на кнопку . Перед нами повинно з'явитись вікно створення та редагування сигналів. В цьому вікні знаходимо вкладнику Scenario та тиснемо на неї, далі обираємо From Workspace

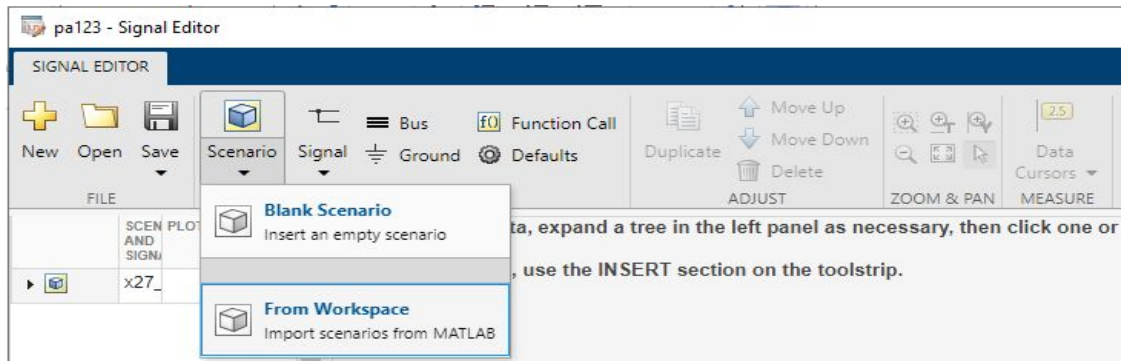


Рисунок 2.10 - Данні блоку Signal Editor

Натискаємо галочку на проти наших даних «KV» і натискаємо ОК

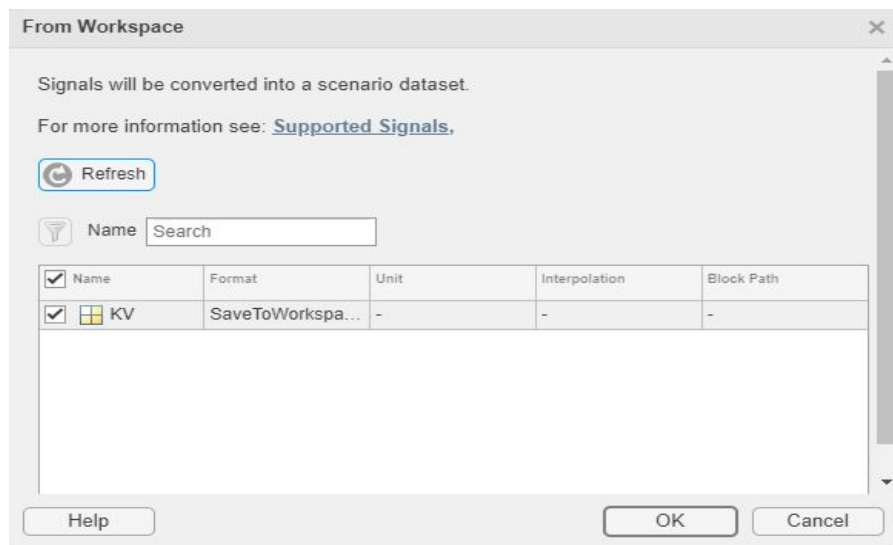



Рисунок 2.11 - Вікно даних робочої області(From Workspase)

Далі автоматично створиться сигнал який відповідає нашим вхідним даним. Для того щоб його подивитись потрібно обрати вкладнику цього сценарію, і поставити галочку навпроти назви наших вихідних даних, натиснути ОК, а далі потрібно закрити вікно From Workspase та натиснути на  як показано на наступному рисунку.

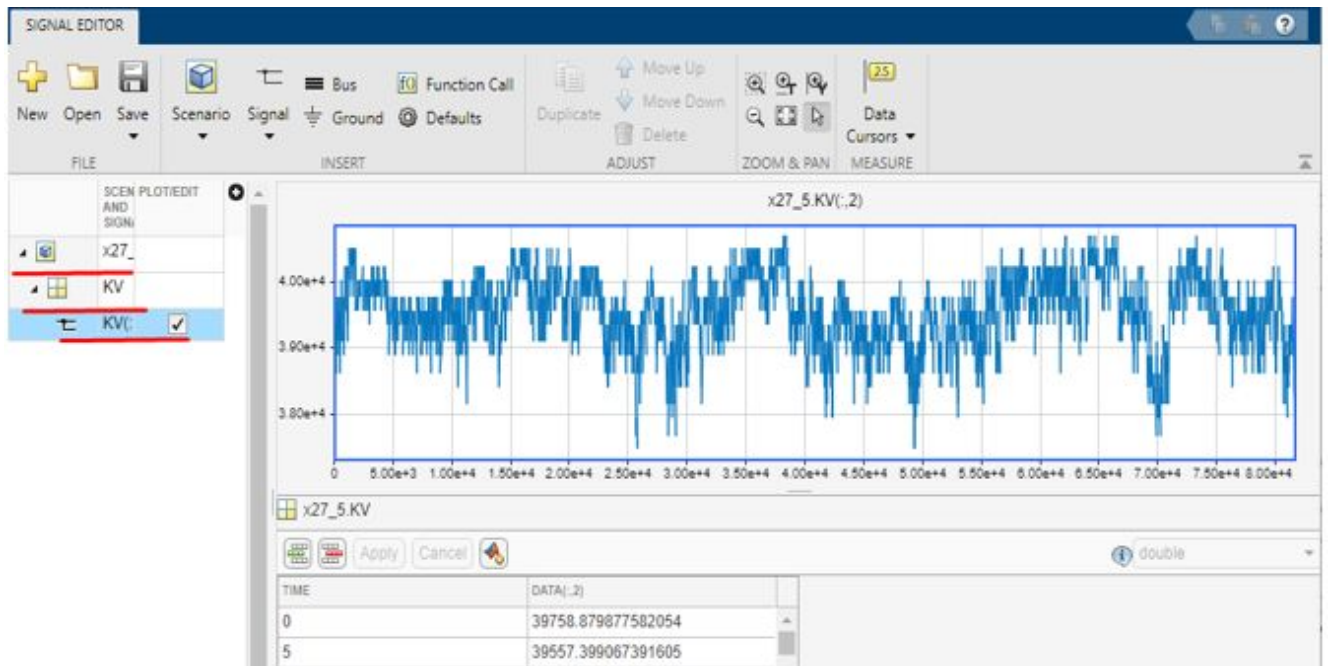


Рисунок 2.12 - Перевірка даних Signal Editor

Для подальшої роботи з нашою схемою та системою MatLab Simulink нам потрібно його зберегти, для цього тиснемо на вкладнику «Save» потім «Save As» та обираємо папку в яку хочемо зберігти наш файл. Також у властивостях елемента Signal Editor встановлюємо галочку навпроти Інтерполяція даних. Час вибірки обираємо 0, та формуємо результат після кінцевого значення даних шляхом Екстраполяції (дивіться рис 2.10)

Для виведення числових даних з осцилографів, для цього нам потрібно скористуватися таким елементом



Рисунок 2.13 – Елемент виведення числових даних

Детально перевірити та проаналізувати його особливості та параметри для подальшого налаштування цього блок параметру елемента

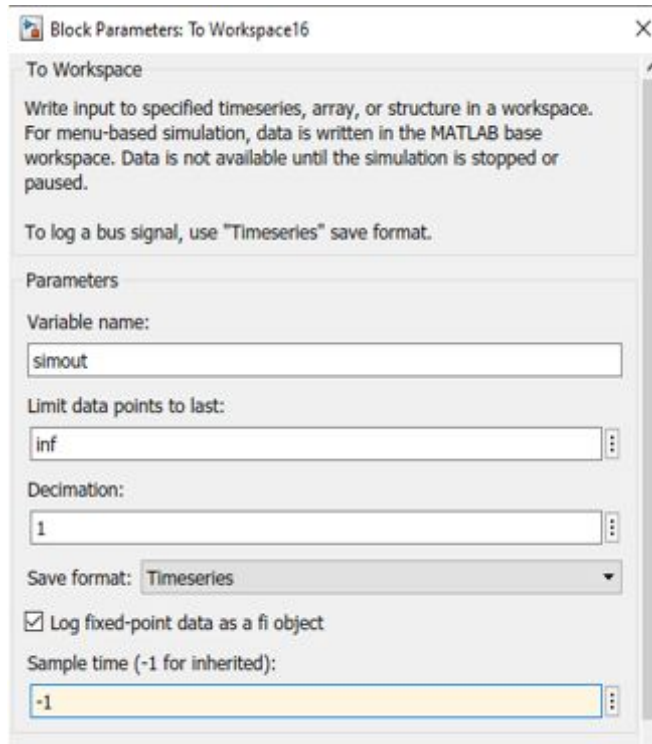


Рисунок 2.14 - Параметри блоку to Workspace

В елементі потрібно задати назву з якою дані будуть виведені до робочої області, задати час вибірки замість -1 на 5 секунд. Зробивши усі налаштування, simout для першої напруги електровозу має такий вигляд

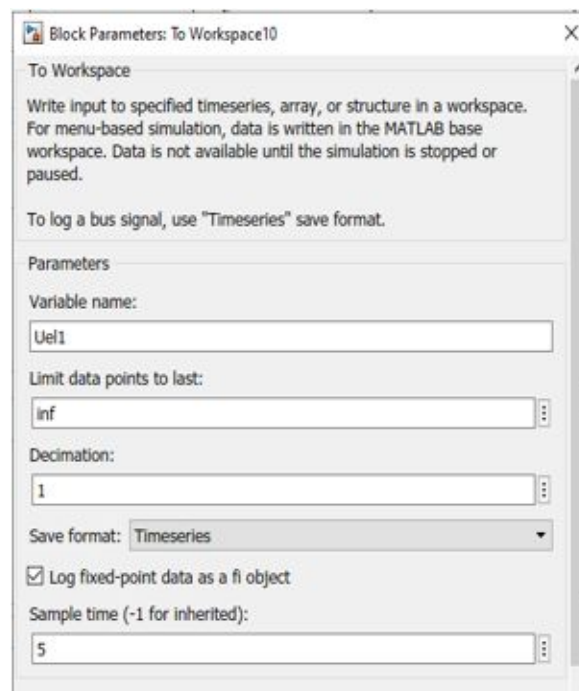


Рисунок 2.15 - Кінцеві налаштування блоку to Workspace

На схемі to Workspace підключається до Осцилографа наступним чином

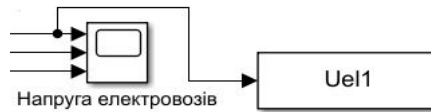


Рисунок 2.16 - Підключення to Workspace до Осцилографа

Після підключення to Workspace до Осцилографа, треба задати параметри часу (які задані в колонці «Time» Signal Editor рис 2.10)

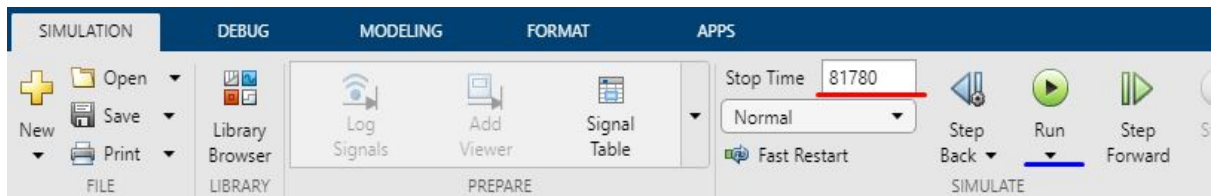


Рисунок 2.17 - Задавання значень часу та запуск схеми

Після запуску схеми в робочій області(Workspace) з'являться значення кожного елементу to Workspace

| Name | Value |
|-------------|------------------------------|
| Uek1 | 1x1 double timeseries |
| Uek2 | 1x1 double timeseries |
| Uek3 | 1x1 double timeseries |
| Uek4 | 1x1 double timeseries |
| <u>Uel1</u> | <u>1x1 double timeseries</u> |
| Uel2 | 1x1 double timeseries |

Рисунок 2.18 - Цислові данні робочої області елементу to Workspace

Після переходу до робочої області нам потрібно відкрити потрібні нам данні в данному випадку Uel1(напряга електровоза №1)

| Time | Data:1 |
|------|------------|
| 0 | 2.4991e+04 |
| 5 | 3.8075e+04 |
| 10 | 3.7882e+04 |
| 15 | 3.7882e+04 |
| 20 | 3.7882e+04 |
| 25 | 3.8075e+04 |
| 30 | 3.8075e+04 |

Рисунок 2.19 - Вихідні данні електровозу №1 to Workspace(Uel1)

Після зняття даних з елемента to Workspace нам потрібно виділити данні комбінацією Ctrl+A та копіюванням комбінації Ctrl+C для занесення їх до середовища Excel

| | A | B | C |
|----|----|------------------|---|
| 1 | 0 | 24991.4558808677 | |
| 2 | 5 | 38075.4586033658 | |
| 3 | 10 | 37881.5259291149 | |
| 4 | 15 | 37881.5157036929 | |
| 5 | 20 | 37881.5157036929 | |
| 6 | 25 | 38075.4381525219 | |
| 7 | 30 | 38075.4483779439 | |
| 8 | 35 | 38075.4483779439 | |
| 9 | 40 | 38075.4483779439 | |
| 10 | 45 | 38075.4483779439 | |

Рисунок 2.20 - Перенесення даних до середовища Excel

Після перенесення даних в середовище Excel нам потрібно змінити в данній таблиці символ «крапка» на символ «кома» для розрахунку даних, так як середовище Excel не дозволяє робити розрахунки за допомогою символу «крапка». Для цього переходимо в вкладку «Главная» далі «Найти и выделить» потім оберемо «заменить...»

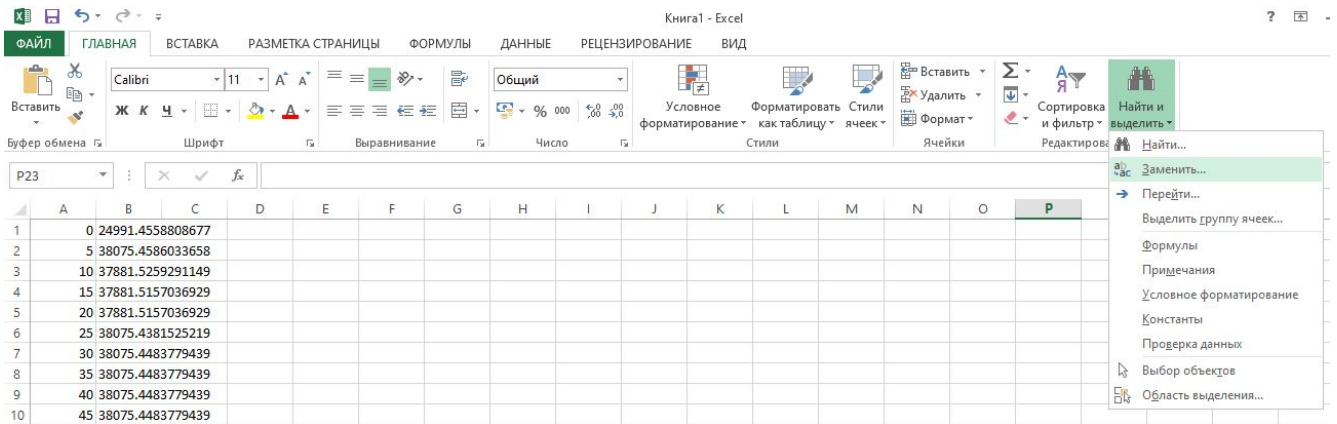


Рисунок 2.21 - Заміна знаків

Після чого відкриється вікно в якому в вкладці «Найти» обираємо «крапку», а в вкладці «Заменить на» обираємо « кому »

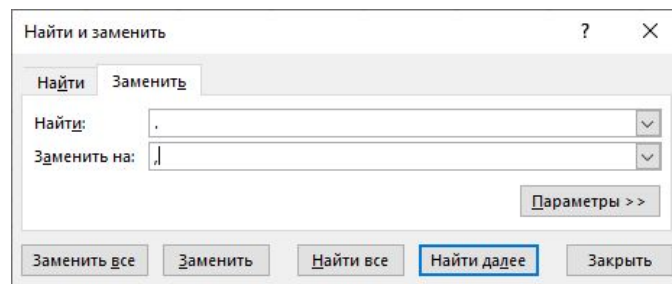


Рисунок 2.21 - Редагування параметрів

На данній вкладці тиснемо «Заменить все» та отримуємо значення

| | A | B |
|---|----|----------|
| 1 | 0 | 24991,46 |
| 2 | 5 | 38075,46 |
| 3 | 10 | 37881,53 |
| 4 | 15 | 37881,52 |
| 5 | 20 | 37881,52 |
| 6 | 25 | 38075,44 |
| 7 | 30 | 38075,45 |

Рисунок 2.22 - Виправленні та готові данні для наступних розрахунків

2.2 Розрахунок рівня напруги на струмоприймачах електровозів

Ми маємо статистичну вибірку ($U_{el1}, U_{el2}, \dots, U_n$) випадкових величини U . Виконуємо статистичний аналіз, тобто встановлюємо закономірність зміни

випадкової величини. А як відомо, ці закономірності характеризуються законом розподілення та числовими характеристиками випадкових величин. Отже, потрібно визначити математичне очікування, дисперсію та середньоквадратичне відхилення. За напругу електровозів відповідає Вольтметр (Voltage Measurement)



Рисунок 2.22 - Вольтметр (Voltage Measurement)

Розглянемо опис блоку параметру Вольтметра

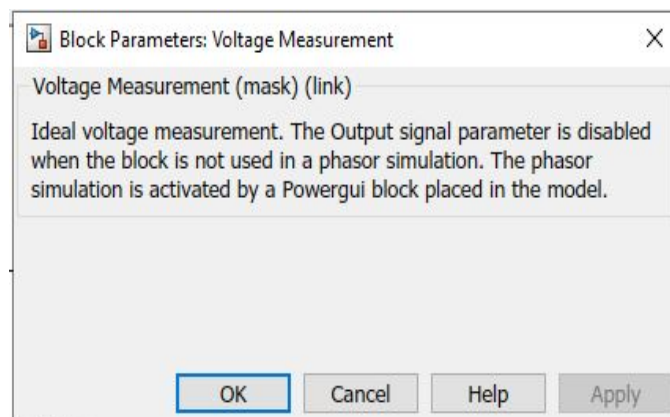


Рисунок 2.23 - Блок параметри Вольтметра (Voltage Measurement)

Загальний вигляд часових значень падіння напруги на електровозах

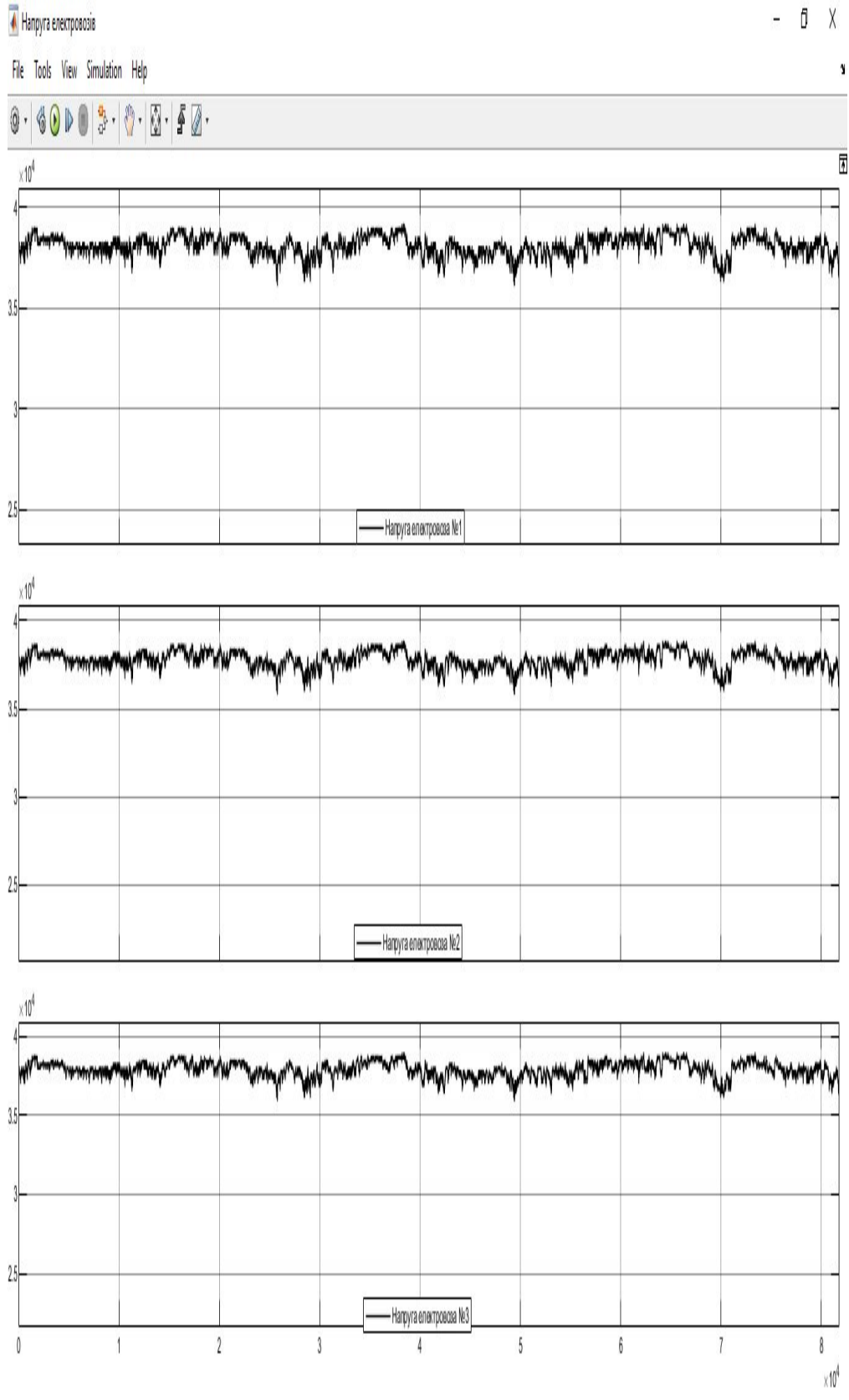


Рисунок 2.24 – Часова залежність значення падіння напруги на електровозах в фідерній зоні одноколіїної ділянки

Значення стовців і функції які використовували для розрахунку значень в середовищі Microsoft Excel

A) Time – приблизне значення (24 години) з інтервалом в 5 секунд

B) 27,5кВ – детерміновані значення 27,5кВ взяті з технічної документації

C) Діючі значення напруги 27,5кВ . 1,41 поділене на стовбчик «В» - детерміновані значення напруги

D) Математичне очікування (m_U^*) – розраховуємо через середовище Excel функцією (=СРЗНАЧ) та обрав стовбчик «С» - діючі значення напруги

E) Дисперсія (D_U) – розраховується середовищем Excel функцією (=ДИСП.В) та обрав стовбчик «С» - діючі значення напруги

F) Середньоквадратичне відхилення (σ_U) – розраховується середовищем Excel функцією (=КОРЕНЬ) та обрав стовбчик «D» Дисперсія (D_U)

G) Коефіцієнт асиметрії (A_S) розраховується середовищем Excel функцією (=СКОС) та обрав стовбчик «С» - діючі значення напруги

H) ЭКСЦЕС (E_x) – розраховується середовищем Excel функцією (=Эксцесс) та обрав стовбчик «С» - діючі значення напруги

Визначаємо задані числові характеристики математичного очікування електровоза за формулою

$$m_U^* = \frac{\sum_{i=1}^{16358} U_i}{16358},$$

$$m_U^* = 28060,3$$

| | A | B | C | D | E |
|---|------|---------|----------|---------|---|
| 1 | Time | 27,5кВ | ДіючЗнач | МатОч | |
| 2 | 0 | 39758,9 | 28197,8 | 28060,3 | |
| 3 | 5 | 39557,4 | 28054,9 | | |
| 4 | 10 | 39355,9 | 27912 | | |

Рисунок 2.25 Розрахунок ститистичних даних математичного очікування

m_U^* - математичне очікування.

Визначаємо числові характеристики дисперсії електровоза за формулою

$$D_U = \frac{\sum_{i=1}^{n=16358} (U_i - m_U)^2}{16358 - 1}$$

$$D_U = 129406$$

| | A | B | C | D | E |
|---|------|---------|----------|---------|--------|
| 1 | Time | 27,5кВ | ДіючЗнач | МатОч | Дисс |
| 2 | 0 | 39758,9 | 28197,8 | 28060,3 | 129406 |
| 3 | 5 | 39557,4 | 28054,9 | | |
| 4 | 10 | 39355,9 | 27912 | | |

Рисунок 2.26 - Розрахунок ститистичних даних дисперсії

D_U - дисперсія випадкової величини.

Визначаємо числові характеристики середньоквадратичного відхилення електровозів за формулою

$$\sigma_U = \sqrt{D_U}$$

$$\sigma_U = 359,731$$

| | A | B | C | D | E | F |
|---|------|---------|----------|---------|--------|---------|
| 1 | Time | 27,5кВ | ДіючЗнач | МатОч | Дисс | СерКвід |
| 2 | 0 | 39758,9 | 28197,8 | 28060,3 | 129406 | 359,731 |
| 3 | 5 | 39557,4 | 28054,9 | | | |
| 4 | 10 | 39355,9 | 27912 | | | |
| 5 | 15 | 39355,9 | 27912 | | | |
| 6 | 20 | 39355,9 | 27912 | | | |
| 7 | 25 | 39557,4 | 28054,9 | | | |

Рисунок 2.27 Розрахунок статистичних даних середньоквадратичного відхилення

σ_U - середньоквадратичне відхилення.

Визначаємо числові характеристики ексцеси електровозів за формулою

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i - m_U)^3}{n \cdot \sigma_U^3} - 3$$

$$A_s = -0,4845$$

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|
| 1 | Time | 27,5кВ | ДіючЗнач | МатОч | Дисс | СерКвід | КоефАс |
| 2 | 0 | 39758,9 | 28197,8 | 28060,3 | 129406 | 359,731 | -0,4845 |
| 3 | 5 | 39557,4 | 28054,9 | | | | |
| 4 | 10 | 39355,9 | 27912 | | | | |
| 5 | 15 | 39355,9 | 27912 | | | | |

Рисунок 2.28 Розрахунок статистичних даних коефіцієнта асиметрії

A_s - коефіцієнт асиметрії.

Визначаємо числові характеристики ексцес електровозів за формулою

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i - m_U)^4}{n \cdot \sigma_U^4} - 3$$

$$E_x = 0,1387$$

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|
| 1 | Time | 27,5кВ | ДіючЗнач | МатОч | Дисс | СерКвід | КоефАс | Ексцес |
| 2 | 0 | 39758,9 | 28197,8 | 28060,3 | 129406 | 359,731 | -0,4845 | 0,1387 |
| 3 | 5 | 39557,4 | 28054,9 | | | | | |
| 4 | 10 | 39355,9 | 27912 | | | | | |
| 5 | 15 | 39355,9 | 27912 | | | | | |
| 6 | 20 | 39355,9 | 27912 | | | | | |
| 7 | 25 | 39557,4 | 28054,9 | | | | | |

Рисунок 2.29 - Розрахунок статистичних даних ексцес

Таким же методом (математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта асиметрії та ексцес) робимо розрахунки всіх трьох електровозів у фідерній зоні

Таблиця 2.1 - Статистичні данні залежності значення падіння напруги на електровозах в фідерній зоні одноколійної ділянки

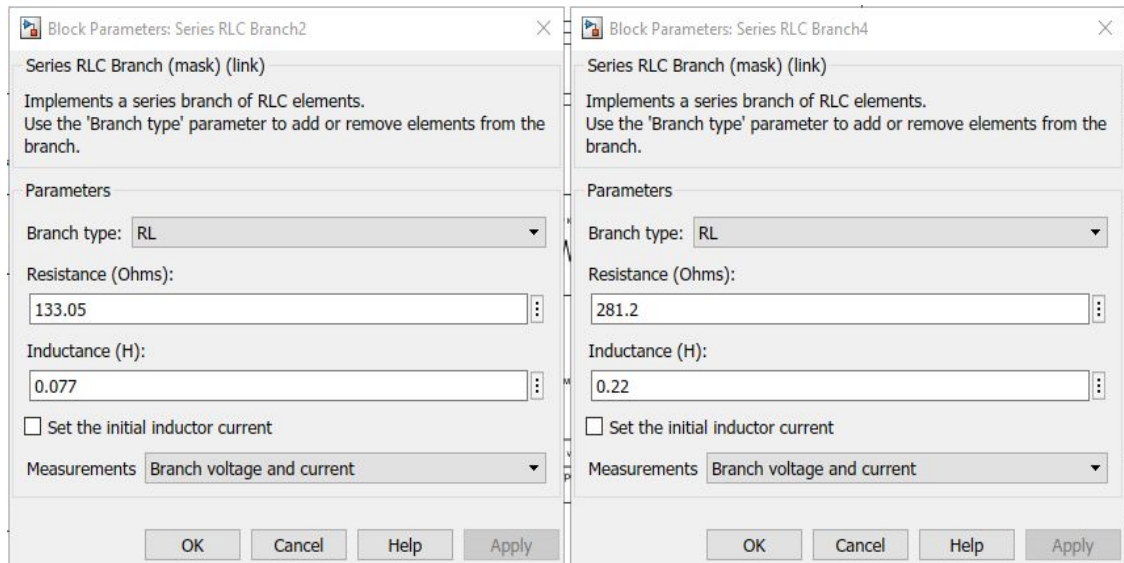
| Статистичні данні | Uel1, В | Uel2, В | Uel3, В |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| Математичне Очікування | 27008,46 | 26796,2 | 26881,96 |
| Дисперсія | 125159,7 | 125053,2 | 125123 |
| Середньоквадратичне відхилення | 353,7791 | 353,6286 | 353,7273 |
| Коефіцієнт | -1,55461 | -2,14719 | -1,90638 |
| Ексцес | 28,88364 | 51,6418 | 42,00702 |

Uel1 – електровоз №1, Uel2 – електровоз №2, Uel3 – електровоз №3

Електровози мають вхідні параметри

Опір: №1 $R_1 = 133.05 \text{ Ом}$; №2 $R_2 = 281.2 \text{ Ом}$

Індуктивність: №1 $L_1 = 0.077 \text{ Гн}$; №2 $L_2 = 0.22 \text{ Гн}$



а) Перший електровоз

б) Другий електровоз

Branch type – тип відділення RL

Resistance (Ohms) – Опір електровоза (Ом)

Inductance (H) – Індуктивність електровоза (Гн)

Measurements Branch voltage and current – Виміри напруги та струму

Рисунок 2.30 - а) електровоз №1 та №3; б) електровоз №2 в середовищі MatlabSimulink
Швидкість руху поїздів прийнята рівною 200км/год

2.3 Оцінка струморозподілення на ділянці

Для оцінки струморозподілення на ділянці на потрібно використати статистичний аналіз: Ми маємо статистичну вибірку ($I_{el1}, I_{el2}, \dots, I_n$) випадкових величини I . Виконуємо статистичний аналіз, тобто встановлюємо закономірність зміни випадкової величини. А як відомо, ці закономірності характеризуються законом розподілення та числовими характеристиками випадкових величин. Отже, потрібно визначити математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії та ексцес. За струм на електровозі відповідає Амперметр



Рисунок 2.31 - Аметр

Розглянемо опис параметрів блоку Амперметра(Current Measurement)

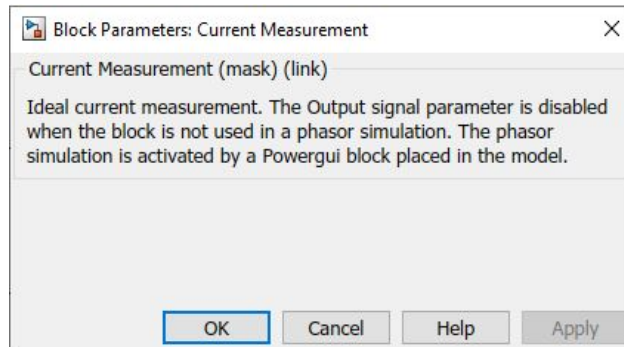


Рисунок 2.32 - Блок параметри Амперметра(Current Measurement)

Загальний вигляд часової залежності значень струму електровозів

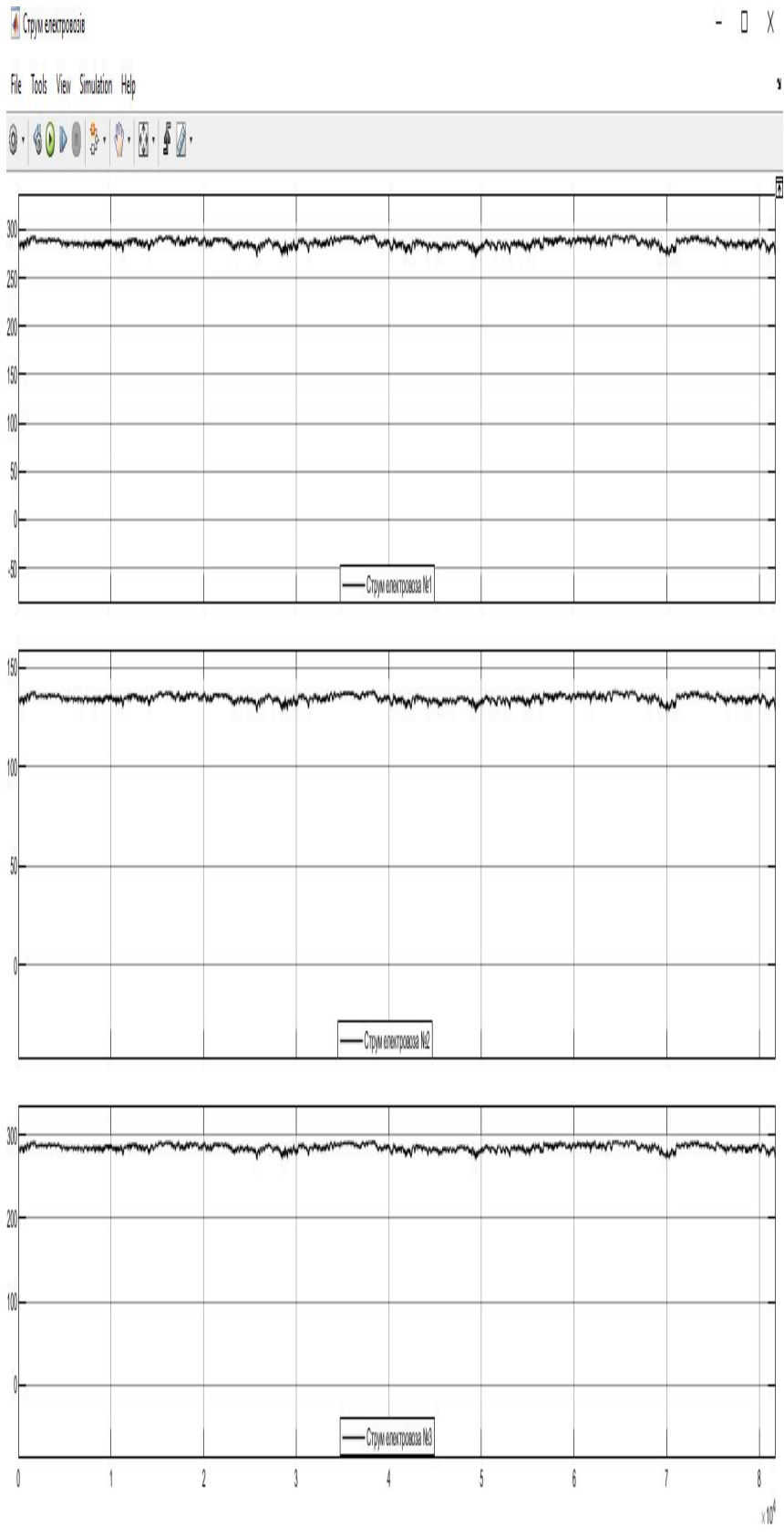


Рисунок 2.33 - Часова залежність значення падіння струмів на електровозах в фідерній зоні одноколійної ділянки


Для розрахунку струмів електровозів виконуємо розрахунки статистичних даних в системі Excel(пункт 2.2)

Таблиця 2.2 – Статистичні данні значення падіння струмів на електровозах в фідерній зоні одноколійної ділянки

| Статистичні данні | Iel1, A | Iel2, A | Iel3, A |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| Математичне Очікування | 202,9846 | 95,28774 | 202,0342 |
| Дисперсія | 10,13755 | 2,288376 | 10,07337 |
| Середньоквадратичне відхилення | 3,183951 | 1,512738 | 3,173857 |
| Коефіцієнт асиметрії | -24,7143 | -26,4822 | -24,9387 |
| Єксцес | 1800,984 | 1977,643 | 1823,173 |

Значення функції які використовували для розрахунку значень в середовищі Microsoft Excel описані в пункті 2.2

2.4 Дослідження спаду напруги на елементах ділянки

В данній схемі представлена регульована тягова підстанція змінного струму 27,5кВ  відкриємо її для введення даних та аналізування параметрів

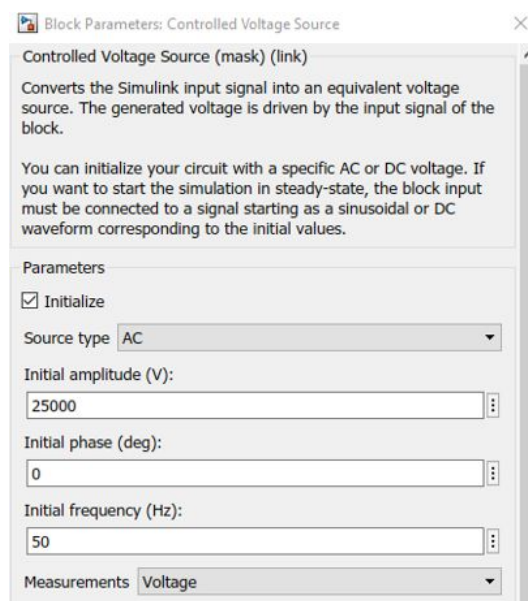


Рисунок 2.34 - Блок параметри регульованої тягової підстанції

Parameters Initialize – Параметри інсталяції

Source type AC – Джерело змінного струму

Initial amplitude (V) – Начальна напруга = 25000(V)

Initial phase (deg) – Начальна фаза = 0(град)

Initial frequency (Hz) – Начальна частота (Гн)

Measurements Voltage – Вимірювання напруги

Загальний вид схеми падіння напруги регульованої тягової підстанції з підключеним блоком Signal Editor та введеними детермінованими даними на осцилографі в системі MatLab Simuling мають однаковий вигляд, що перша що друга підстанції

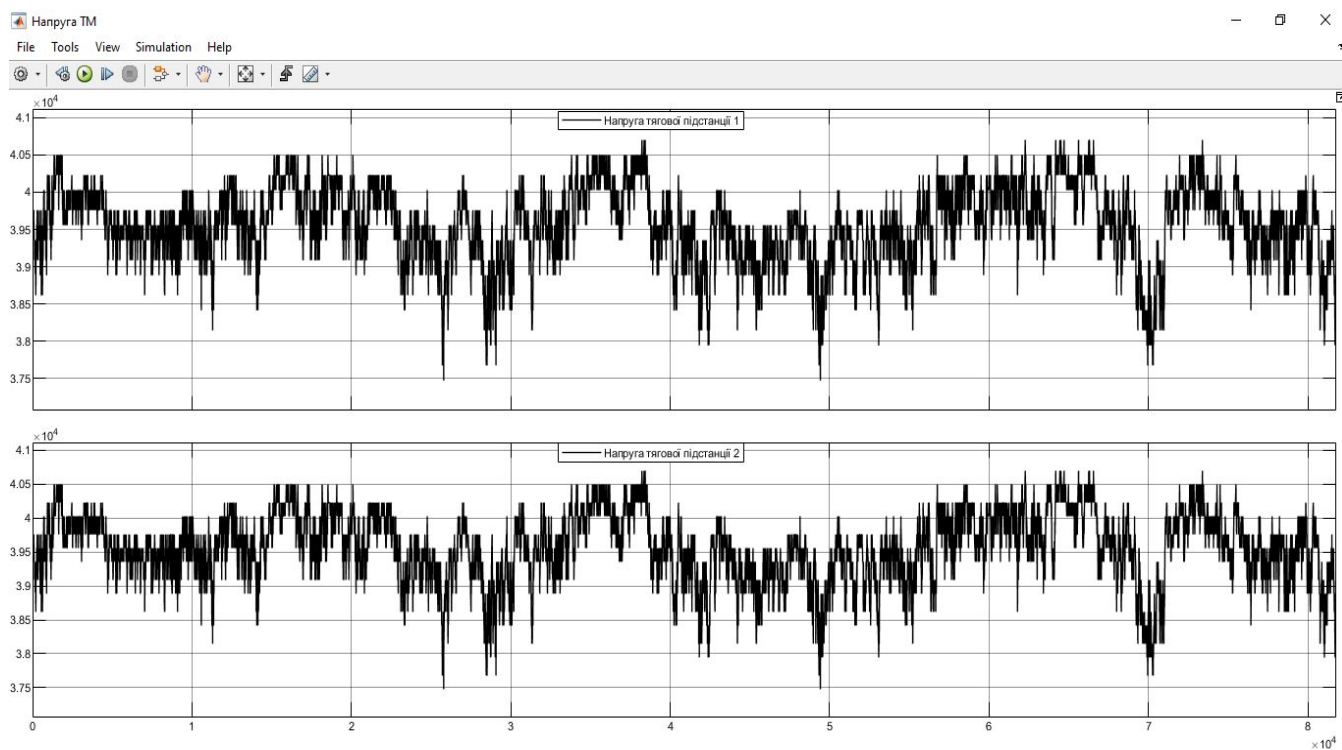


Рисунок 2.35 - Часова залежність значення падіння напруги на тяговій підстанції у фідерній зоні одноколіїної ділянки

Розраховуємо числові статистичні значення блоку Signal Editor методом математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта асиметрії та ексцес в системі Excel

Таблиця 2.3 - Статистичні значення падіння напруги на тяговій підстанції у фідерній зоні одноколійної ділянки

| Статистичні данні | Utp1, В | Utp2, В |
|--------------------------------|----------|----------|
| Математичне очікування | 28060,26 | 28060,26 |
| Дисперсія | 129406,2 | 129406,2 |
| Середньоквадратичне відхилення | 359,7307 | 359,7307 |
| Коефіцієнт асиметрії | -0,48449 | -0,48449 |
| Ексцес | 0,138697 | 0,138697 |

Так як заданні параметри тягової підстанції однакові, розрахунки значень теж мають однаковий вигляд. Значення функції які використовували для розрахунку значень в середовищі Microsoft Excel описані в пункті 2.2

За данною схемою одноколійна ділянка має довжину (60км) поділена на чотири частини кожна з яких має свої особливі параметри та розмір ділянки

Дані контактної мережі вибрані для одноколійної та двоколійної ділянки

Отримаємо значення тягового кола змінного струмі

$$r_{a1} = 0,004, \quad x_1 = 0,137, \quad r_{12} = 0,045, \quad x_{12} = 0,163.$$

Для того щоб отримати реальні параметри тягового кола скористаємося наступними формулами

$$R_{a1} = r_{a1}, \quad R_{12} = r_{12},$$

$$L_1 = x_1 / \omega, \quad L_{12} = x_{12} / \omega,$$

$$R_{TM} = (R_{a1} + R_{12}) \cdot l, \quad (2.1)$$

$$L_{TM} = (L_1 + L_{12}) \cdot l.$$

реальне джерело синусоїдної е.р.с. $R_{TM} = 0,176$ – активний опір тягової підстанції; $L_{TM} = 0,177$ – індуктивність тягової підстанції; $1,1 \cdot e_1(t)$ – е.р.с. тягової підстанції.

Ділянка 16км має такі параметри, позначимо її як №1

Series RLC Branch (mask) (link)
 Implements a series branch of RLC elements.
 Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RL

Resistance (Ohms): 3.984

Inductance (H): 0.03056

Set the initial inductor current

Measurements: Branch voltage and current

Рисунок 2.36 - Параметри блока RLC ділянкою 16км

Ділянка №2 (14км) має такі параметри

Series RLC Branch (mask) (link)
 Implements a series branch of RLC elements.
 Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RL

Resistance (Ohms): 3.486

Inductance (H): 0.02674

Set the initial inductor current

Measurements: Branch voltage and current

Рисунок 2.37 - Параметри блока RLC ділянкою 14км

Ділянка №3 (10км) має такі параметри

Рисунок 2.40 - Параметри блока RLC ділянкою 10км

Ділянка №4 (20км) має такі параметри

Рисунок 2.41 - Параметри блока RLC ділянкою 20км

Проведемо статистичний розрахунок падіння струму кожної ділянки контактної мережі методами математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта асиметрії та ексцес.

Таблиця 2.4 – Статистичні данні значення падіння струму на ділянках контактної мережі у фідерній зоні одноколійної ділянки

| Статистичні данні | I_{k1} , А | I_{k2} , А | I_{k3} , А | I_{k4} , А |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Математичне очікування | 263,84 4 | 263,843 9 | 34,428 3 | 236,46 3 |
| Дисперсія | 17,215 4 | 17,2153 7 | 0,2997 1 | 13,847 6 |

| | | | | |
|------------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Середньоквадратич не відхилення | 4,1491 4 | 4,14914 1 | 0,5474 6 | 3,7212 3 |
| Коефіцієнт асиметрії | -25,08 9 | -25,089 4 | -26,72 2 | -25,19 8 |
| Єксцес | 1838,1 1 | 1838,11 4 | 2001,9 2 | 1848,8 6 |

Загальний вигляд падіння значень струму на ділянках контактної мережі
показанні осцилографом в системі MatLab Simuling

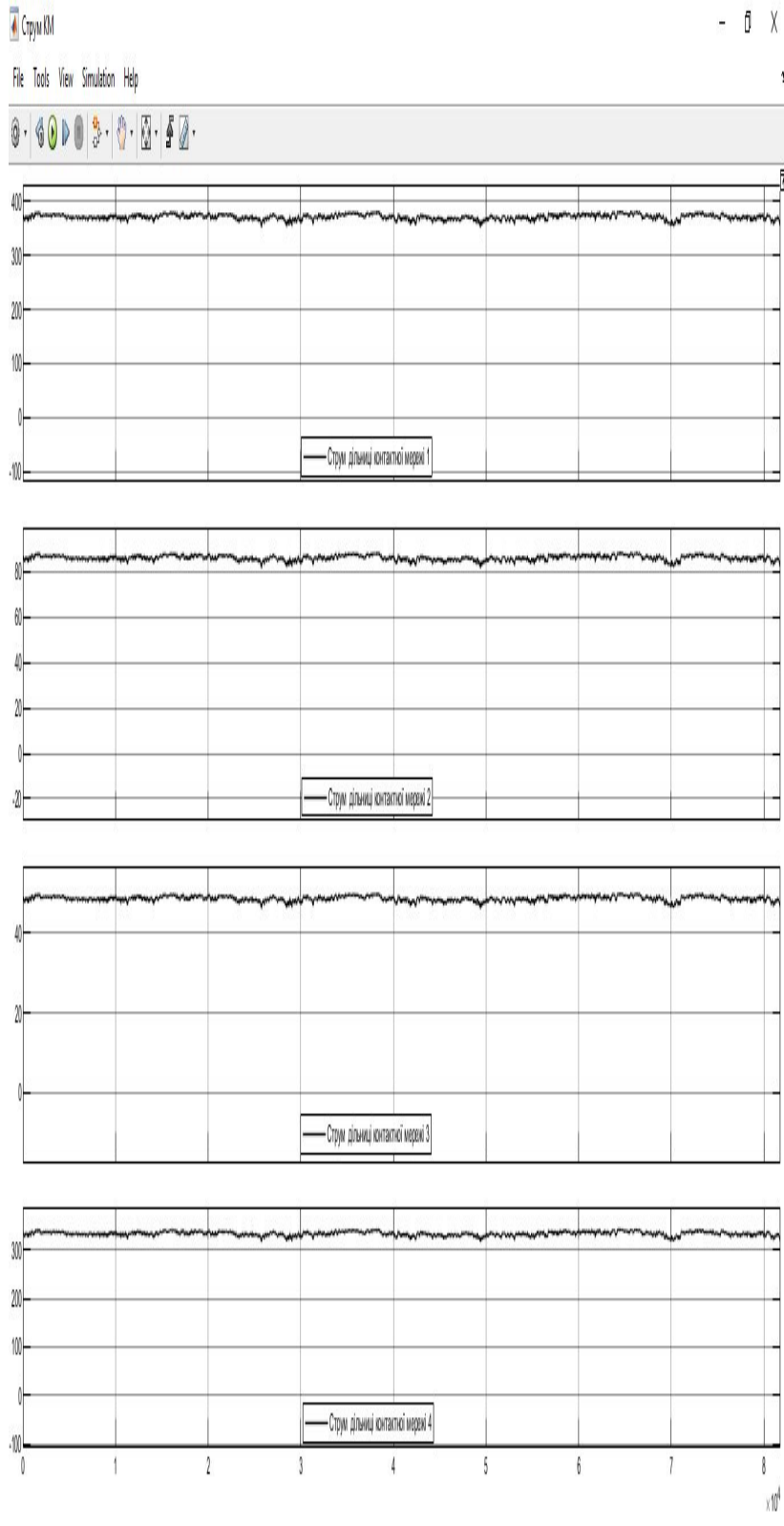


Рисунок 2.42 - Часова залежність значення падіння струму на ділянках контактної мережі у фідерній зоні одноколійної ділянки

Проведемо статистичний розрахунок падіння напруги кожної ділянки контактної мережі методами математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнт асиметрії та ексцес в системі Excel

Таблиця 2.5 - Статистичні данні значення падіння напруги на ділянках контактної мережі у фідерній зоні одноколійної ділянки

| Статистичні данні | Uk1, В | Uk2, В | Uk3, В | Uk4, В |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Математичне очікування | 1051,8 06 | 1178,3 | 85,723 07 | 1178,3 |
| Дисперсія | 5609,0 89 | 6754,0 38 | 18,819 38 | 6754,0 38 |
| Середньоквадратичне відхилення | 74,893 85 | 82,182 95 | 4,3381 3 | 82,182 95 |
| Коефіцієнт асиметрії | 121,72 82 | 117,53 93 | 115,76 8 | 121,46 97 |
| Ексцес | 15314, 43 | 15271, 12 | 14323, 69 | 15271, 12 |

Загальний вигляд часової залежності значень напруги на ділянках контактної мережі показанні осцилографом в системі MatLab Simuling

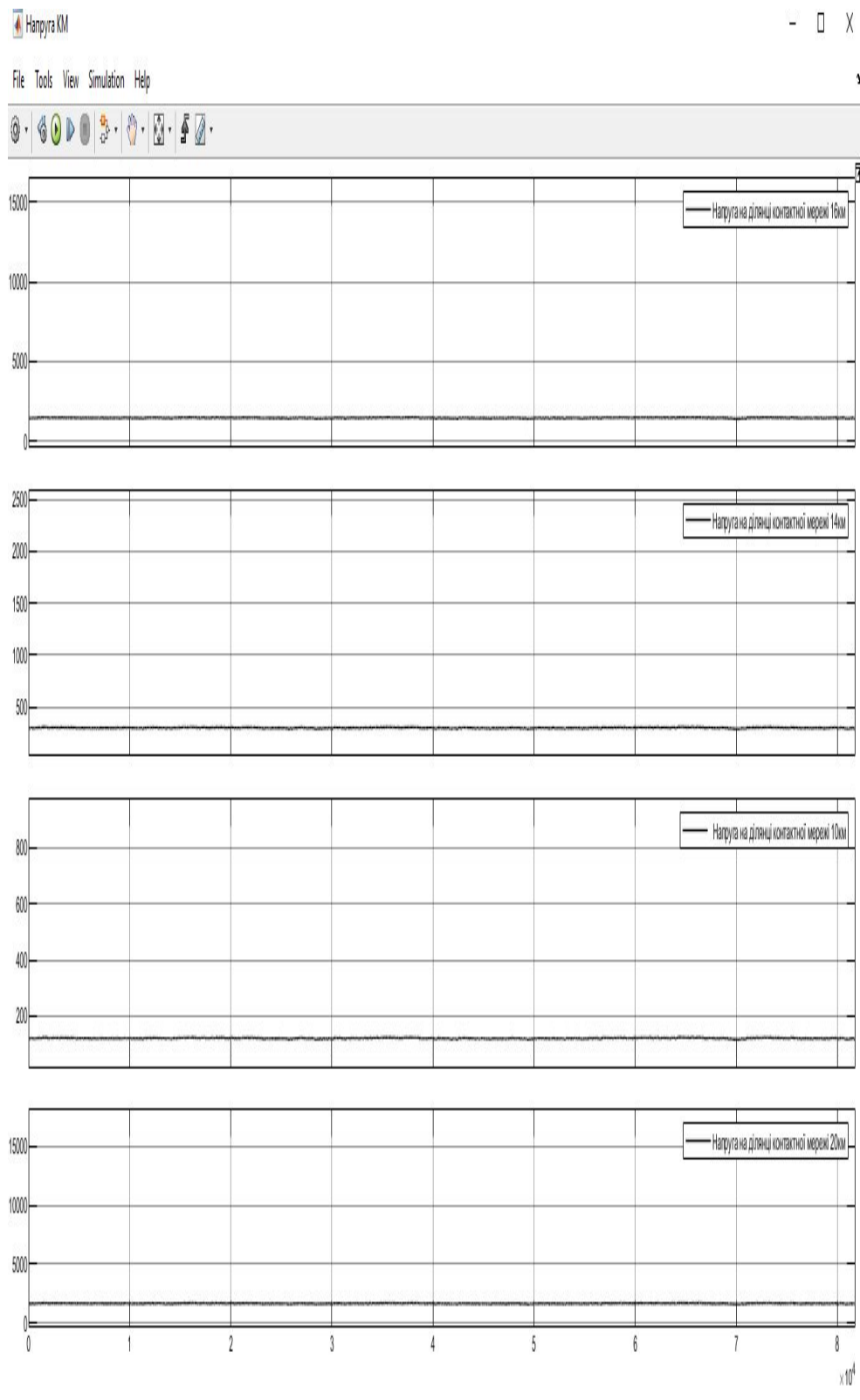


Рисунок 2.43 - Часова залежність значення падіння напруги на ділянках контактної мережі фідерній зоні одноколійної ділянки

З ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ФІДЕРНІЙ ЗОНІ ПРИ РУСІ ТРЬОХ ПОЇЗДІВ НА ДВУХ КОЛІЯХ ДІЛЯНКИ

3.1 Структура схеми та моделі фідерної ділянки

Умови до моделювання : тягової підстанція змінного струму 27,5кВ, 50 Гц двохколійних ділянок довжиною 60км, Контактна підвіска ПБСМ1-95+2МФ-100, схема живлення двухстороння розподільна

Далі потрібно відкрити нашу схему в системі MatLab Simuling в яку потрібно занести дані (описані в пункті 2.1)

Представлена смеха має дві колію ділянки довжиною по 60 км, яка розділена на п'ять різних частини : довжина першої ділянки коліх 33км, 27км; Довжина другої ділянки колії : 23км, 20км та 17км кожна із яких має свої налаштування. Двух сторонне живлення кожне по 25000 В., із частотою в 50 Гц(Для України), дві діляни напруги контактної мережі , та три електровоза кожен з яких має свої параметри налаштування .

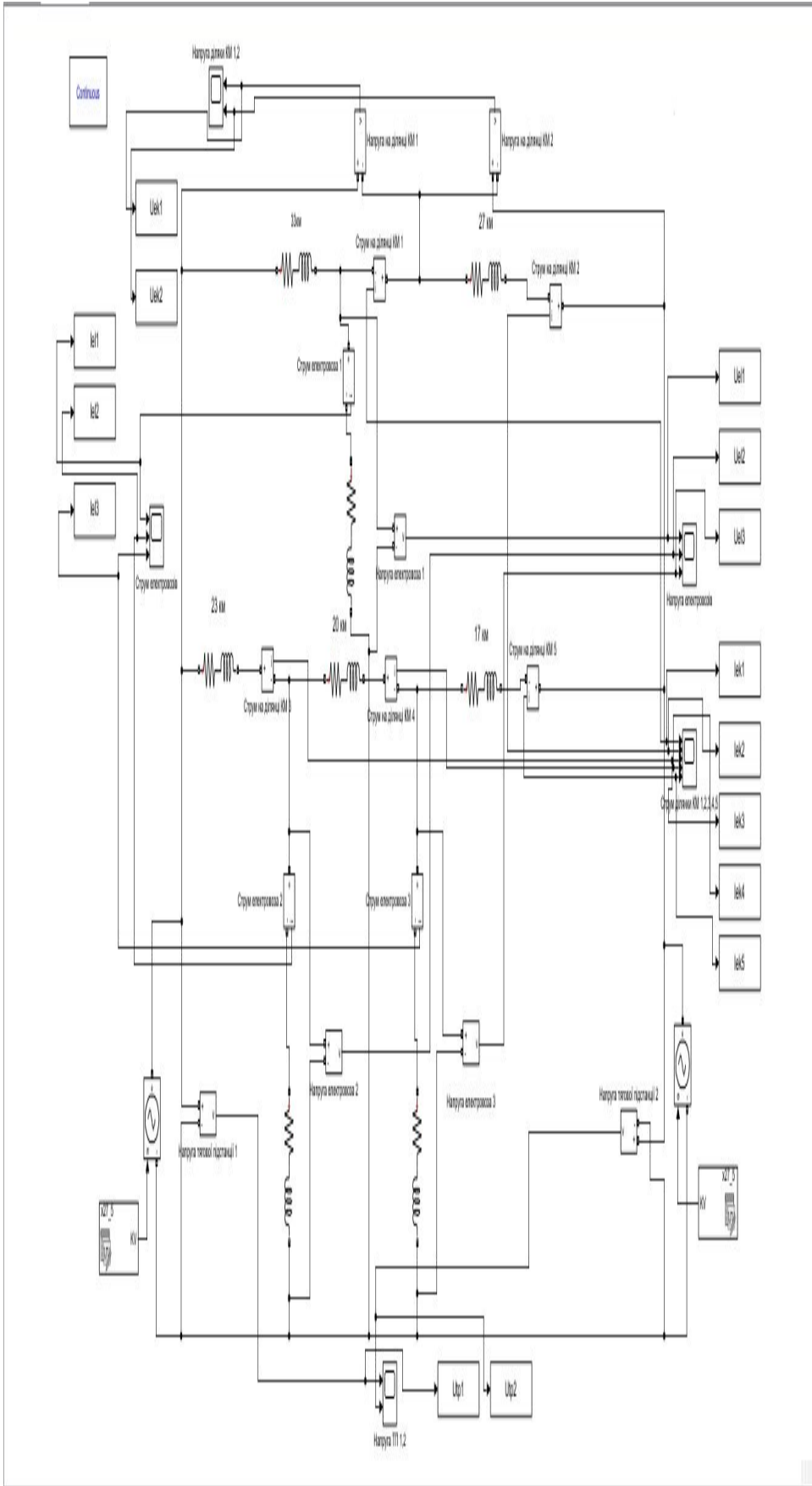


Рисунок 3.1 - Схема електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі трьох поїздів на двох коліях ділянки в системі MatLab Simuling

Після того як ми внесли данні в елемента блоку Signal Editor нам потрібно проаналізувати його властивості(данні) та сценарій сигналу(описаних в пункті 2.1)

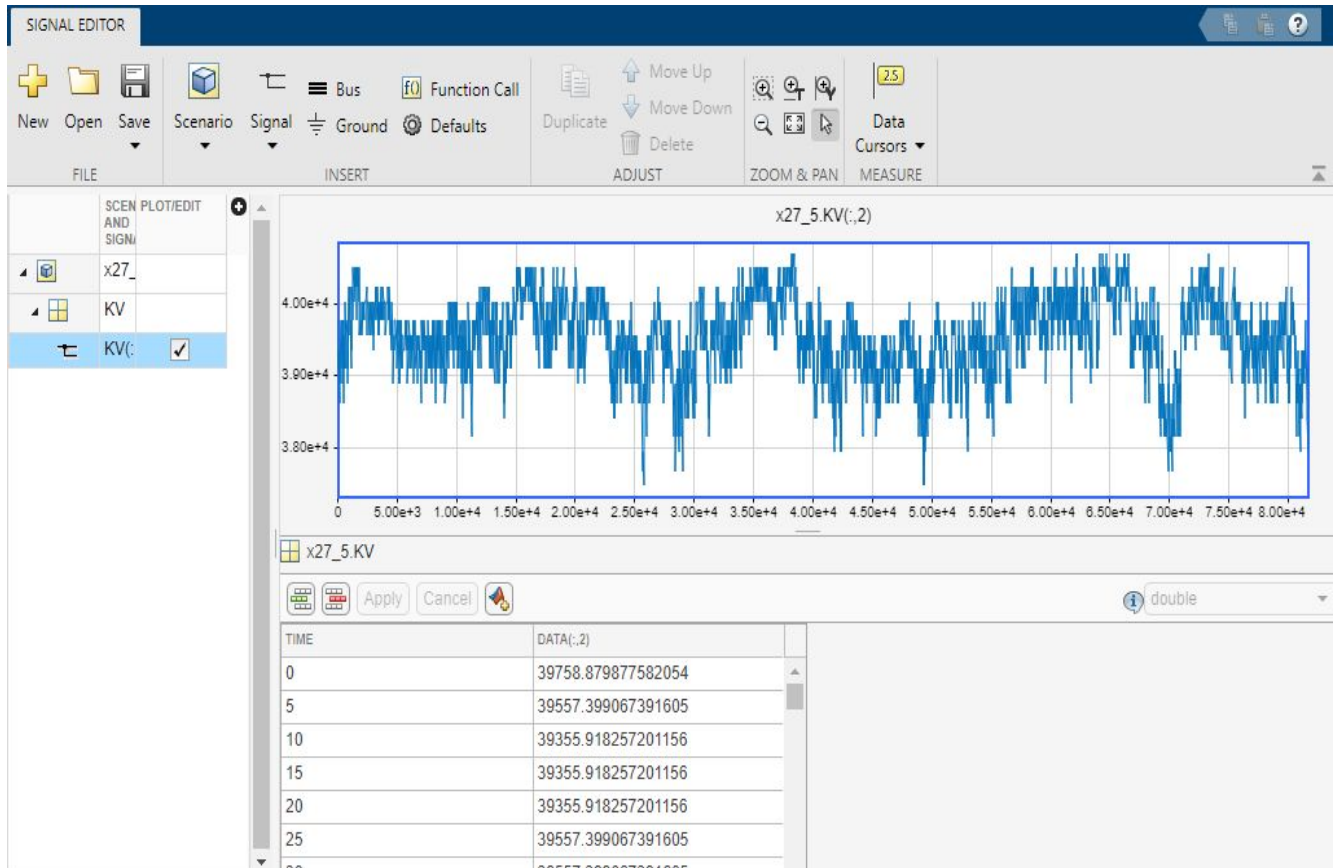


Рисунок 3.2 - Перевіка даних Signal Editor

Для подальшої роботи зберігаємо файл, для у властивостях елемента Signal Editor встановлюємо галочку навпроти Інтерполяція даних, час вибірки обираємо 0, та формуємо результат після кінцевого значення даних шляхом Екстраполяції (дивись рисунок 2.10)

Підключаємо на налаштуємо елемент блоку to Workspace до кожної лінії осцилографів, встановлюємо виборку часу (81780) та запускаємо схему(дивись рисунок 2.16, 2.17)

Після запуску схеми знімаємо обриманні данні з осцилографів , копіюємо їх та переносимо до середовища Excel (дивись рисунок 2.19, 2.20) та зберігаємо їх

3.2 Розрахунок рівня напруги на струмоприймачах електровозів

Загальний вигляд часової залежності значень рівня напруги електровозів на двоколінійній ділянці показаних осцилографом в системі MatLab Simuling

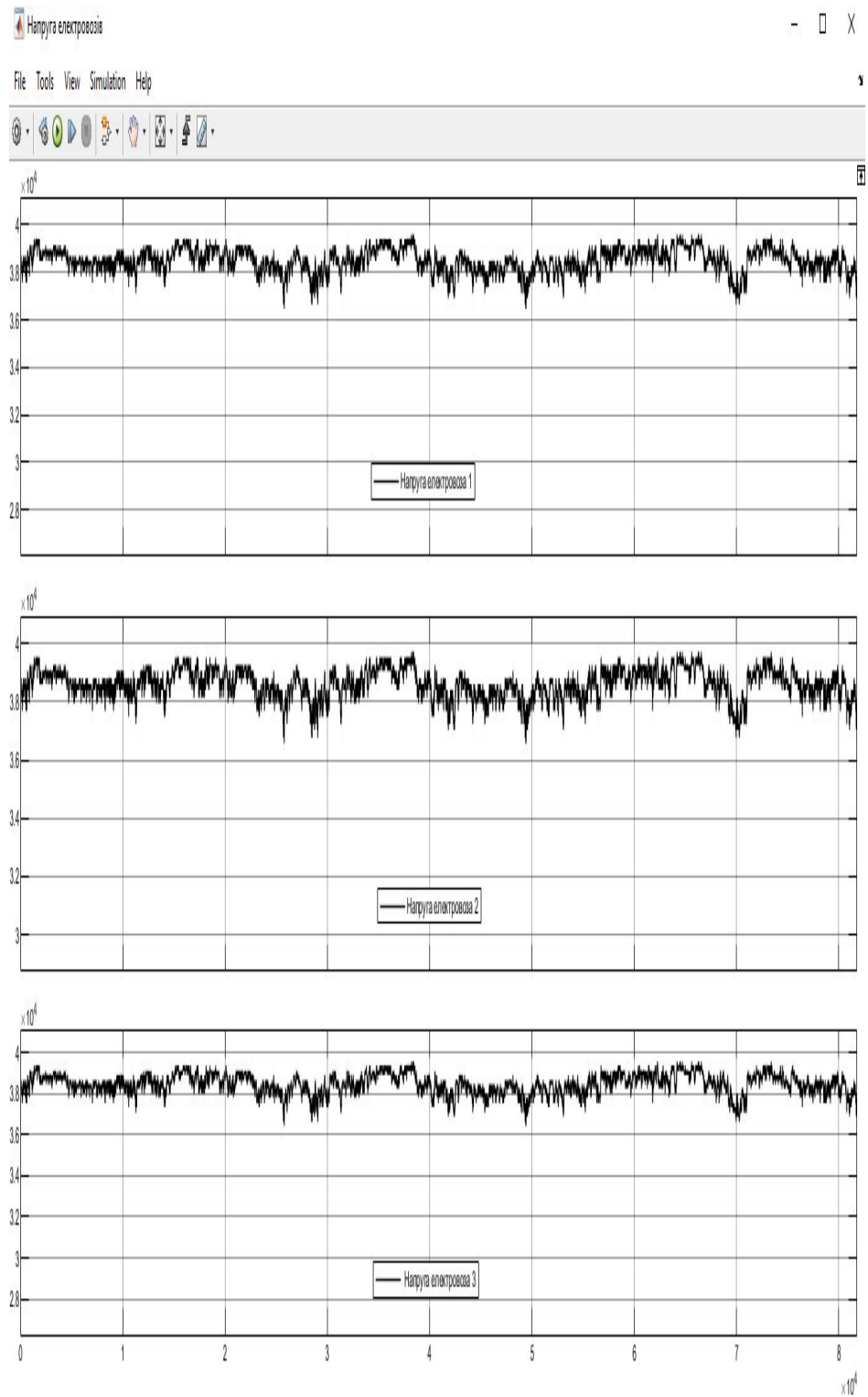


Рисунок 3.3 - Часова залежність значення падіння напруги електровозів у фідерній зоні двоколіїної ділянки

Далі розраховуємо статистичні данні , визначаємо математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії та ексцес напруги електровозів

Маємо статистичну вибірку $(U_{el1}, U_{el2}, \dots, U_n)$ випадкових величини U . Виконуємо статистичний аналіз, визначаємо математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії та ексцес всіх електровозів в середовищі Excel (як описано в пункті 2.2)

Таблиця 3.1 - Статистичні данні значення падіння напруги електровозів у фідерній зоні двоколіїної ділянки

| Статистичні данні | Uel1, В | Uel2, В | Uel3, В |
|--------------------------------|----------|----------|---------|
| Математичне очікування | 27301,03 | 27383,26 | 27279,8 |
| Дисперсія | 126135,3 | 125540,3 | 125859 |
| Середньоквадратичне відхилення | 355,1553 | 354,3166 | 354,766 |
| Коефіцієнт асиметрії | -1,0854 | -0,78552 | -1,066 |
| Ексцес | 13,54312 | 5,52125 | 12,9737 |

Вхідні данні та опис параметрів електровозів вказані на (рисунок 2.31). Швидкість руху поїздів прийнята рівною 200км/год

3.3 Оцінка струморозподілення на ділянці

Загальний вигляд часової залежності значень рівня струму електровозів на двоколінійній ділянці показаних осцилографом в системі MatLab Simuling

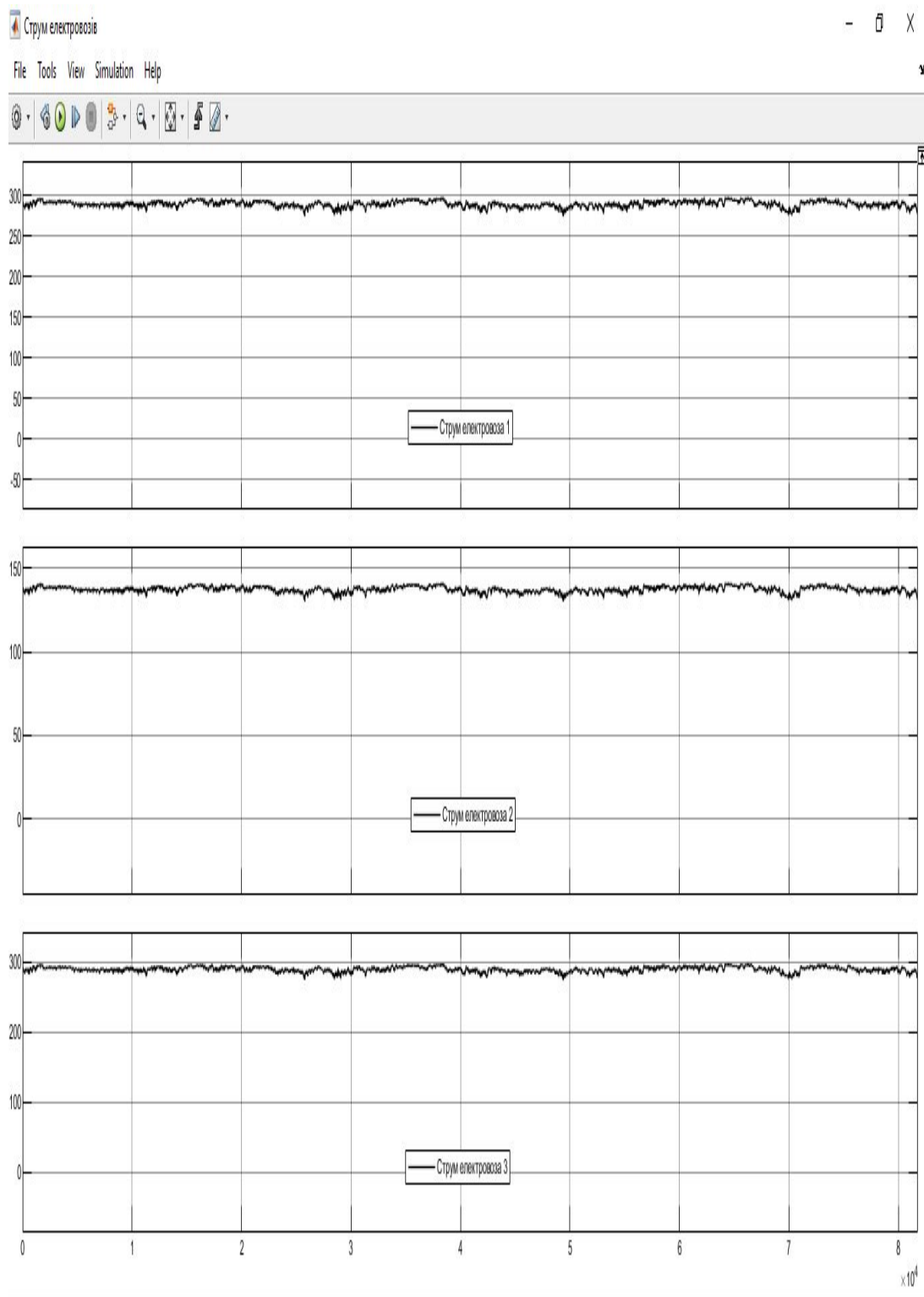


Рисунок 3.4 - Часова залежність значення падіння струму електровозів у фідерній зоні двоколійної ділянки

Далі розраховуємо статичну вибірку випадкових величин струму, визначаємо математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії та ексцес струму електровозів


Маємо статистичну вибірку $(I_{el1}, I_{el2}, \dots, I_n)$ випадкових величини I . Виконуємо статистичний аналіз, визначаємо математичне очікування, дисперсію та середньоквадратичне відхилення всіх електровозів в середовищі Excel (як описано в пункті 2.2)

Таблиця 3.2 - Статистичні данні значення падіння струму електровозів у фідерній зоні двоколіїної ділянки

| Ститистичні данні | Iel1, A | Iel2, A | Iel3, A |
|--------------------------------|----------|---------|----------|
| Математичне очікування | 205,1832 | 97,3744 | 205,023 |
| Дисперсія | 10,2927 | 2,35752 | 10,2795 |
| Середньоквадратичне відхилення | 3,208223 | 1,53542 | 3,20617 |
| Коефіцієнт асиметрії | -24,2494 | -25,487 | -24,2693 |
| Єксцес | 1755,207 | 1877,68 | 1757,16 |

Значення стовців і функції які використовували для розрахунку значень в середовищі Microsoft Excel описані в пункті 2.2

3.4 Дослідження спаду напруги на елементах ділянки

В данній схемі представлена регульована тягова підстанція змінного струму 27,5кВ  відкриємо її для введення даних та аналізування параметрів

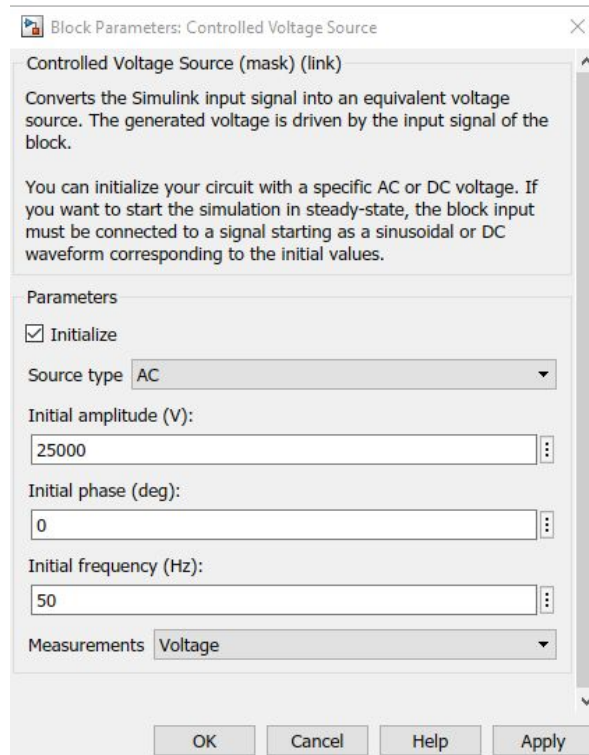


Рисунок 3.5 - Блок параметри регульованої тягової підстанції на двох колійній ділянці

Як бачимо регульована тяговій підстанції на двоколійній ділянці має також самі властивості та параметри як і одноколійна ділянка

Загальний вид часової залежності регульованої тягової підстанції з підключеним блоком Signal Editor на осцилографі в системі MatLab Simuling мають однаковий вигляд, що перша що друга підстанції, тому що введені данні були однакові

Загальний вид часової залежності регульованої тягової підстанції

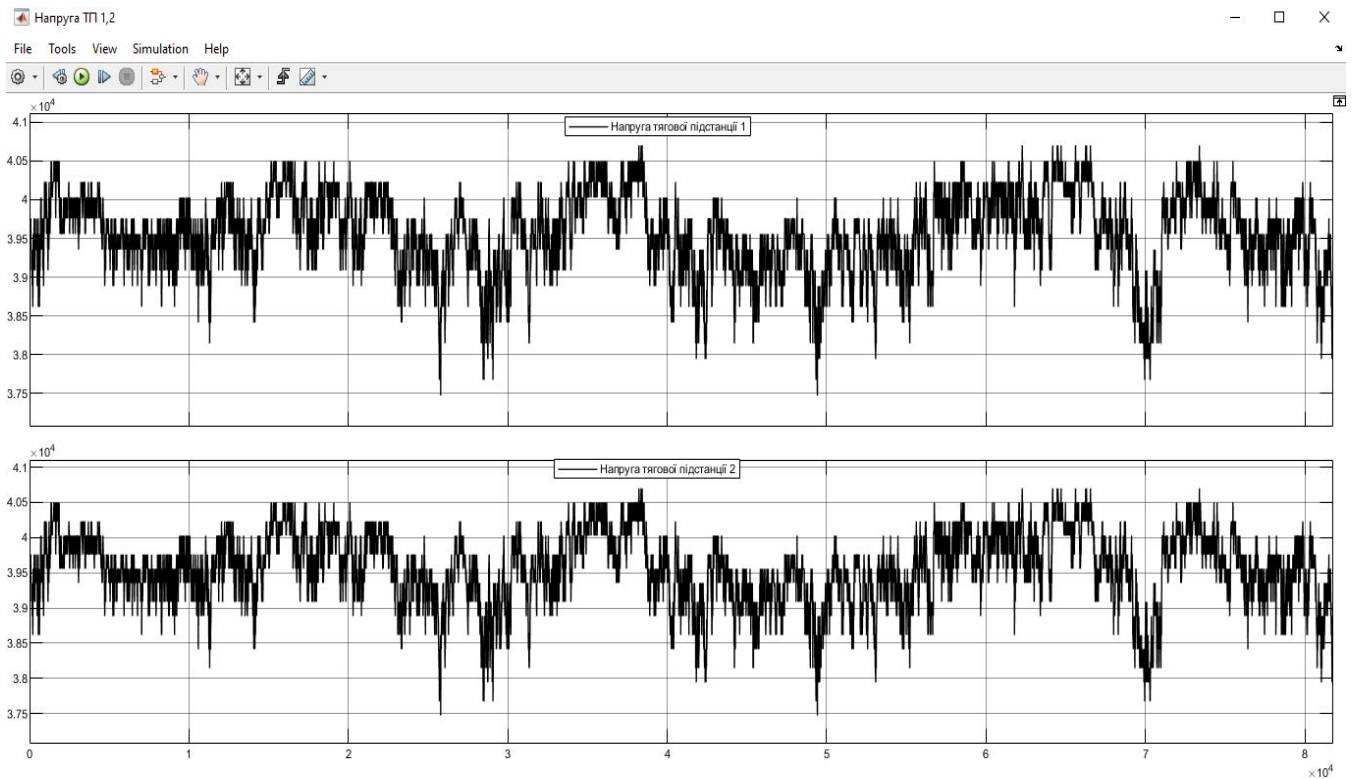


Рисунок 3.6 - Часова залежність значення падіння напруги тягової підстанції у фідерній зоні двоколіїної ділянки

Розраховуємо числові значення блоку Signal Editor методом математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта асиметрії та ексцес в системі Excel

Таблиця 3.3 - Статистичні данні падіння напруги тягової підстанції у фідерній зоні двоколіїної ділянки

| Статистичні данні | U _{тп1} , В | U _{тп2} , В |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|
| Математичне очікування | 28060,26 | 28060,26 |
| Дисперсія | 129406,2 | 129406,2 |
| Середньоквадратичне відхилення | 359,7307 | 359,7307 |
| Коефіцієнт асиметрії | -0,48449 | -0,48449 |

| | | |
|--------|----------|----------|
| Єксцес | 0,138697 | 0,138697 |
|--------|----------|----------|

Так як заданні параметри тягової підстанції однакові, розрахунок робимо на прикладі однієї підстанції. Значення функції які використовували для розрахунку значень в середовищі Microsoft Excel описані в пункті 2.2

За данною схемою двоколійна ділянка має два контактних провода довжиною (60км) та поділена на п'ять частин кожна з яких має свої особливі параметри та розмір ділянки

Дані контактної мережі вибрані для одноколівної та двоколівної ділянки.

Описуємо ділянки контактної мережі та параметри блоків RLC, подробиці до розрахунків дивись (пункт 2.2)

Ділянка 33км має такі заданні параметри , позначимо її №1

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RL

Resistance (Ohms): 8.217

Inductance (H): 0.06336

Set the initial inductor current

Measurements: Branch voltage and current

Рисунок 3.7 - Параметри блока RLC ділянкою 33км

Ділянка 27км №2 має такі заданні параметри

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RL

Resistance (Ohms):
6.723

Inductance (H):
0.05184

Set the initial inductor current

Measurements Branch voltage and current

Рисунок 3.8 - Параметри блока RLC ділянкою 27км

Ділянка 23км №3 має такі заданні параметри, другої ділянки

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RL

Resistance (Ohms):
5.727

Inductance (H):
0.04416

Set the initial inductor current

Measurements Branch voltage and current

Рисунок 3.9 - Параметри блока RLC ділянкою 23км

Ділянка 20км №4 має такі заданні параметри, другої ділянки

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RL

Resistance (Ohms):
4.98

Inductance (H):
0.0384

Set the initial inductor current

Measurements Branch voltage and current

Рисунок 3.10 - Параметри блока RLC ділянкою 20км

Ділянка 17км №5 має такі заданні параметри, другої ділянки

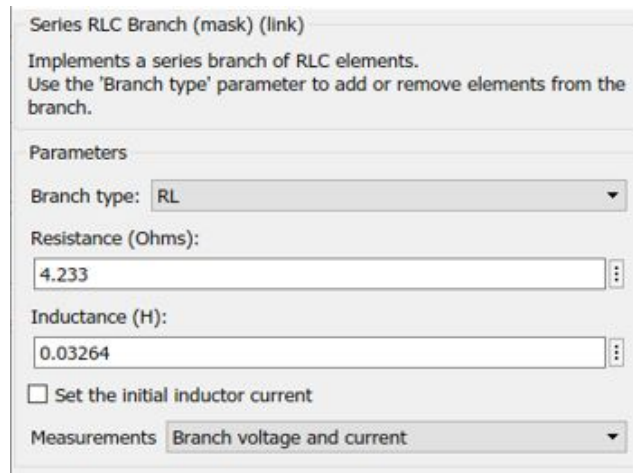


Рисунок 3.11 - Параметри блока RLC ділянкою 17км

Проведемо розрахунок статистичних даних струму кожної ділянки контактної мережі у фідерній зоні методами математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта асиметрії та ексцес в системі Excel

Таблиця 3.4 Статистичні данні падіння струму на ділянках контактної мережі у фідерній зоні двоколіїної ділянки

| Ститистичні данні | Ik1, A | Ik2, A | Ik3, A | Ik4, A |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Математичне очікування | 263,84 4 | 263,843 9 | 34,428 3 | 236,46 3 |
| Дисперсія | 17,215 4 | 17,2153 7 | 0,2997 1 | 13,847 6 |
| Середньоквадратичне відхилення | 4,1491 4 | 4,14914 1 | 0,5474 6 | 3,7212 3 |
| Коефіцієнт асиметрії | -25,08 9 | -25,089 4 | -26,72 2 | -25,19 8 |
| Єксцес | 1838,1 1 | 1838,11 4 | 2001,9 2 | 1848,8 6 |

Загальний вигляд часової залежності даних падіння струму на ділянках контактної мережі показанні осцилографом в системі MatLab Simuling

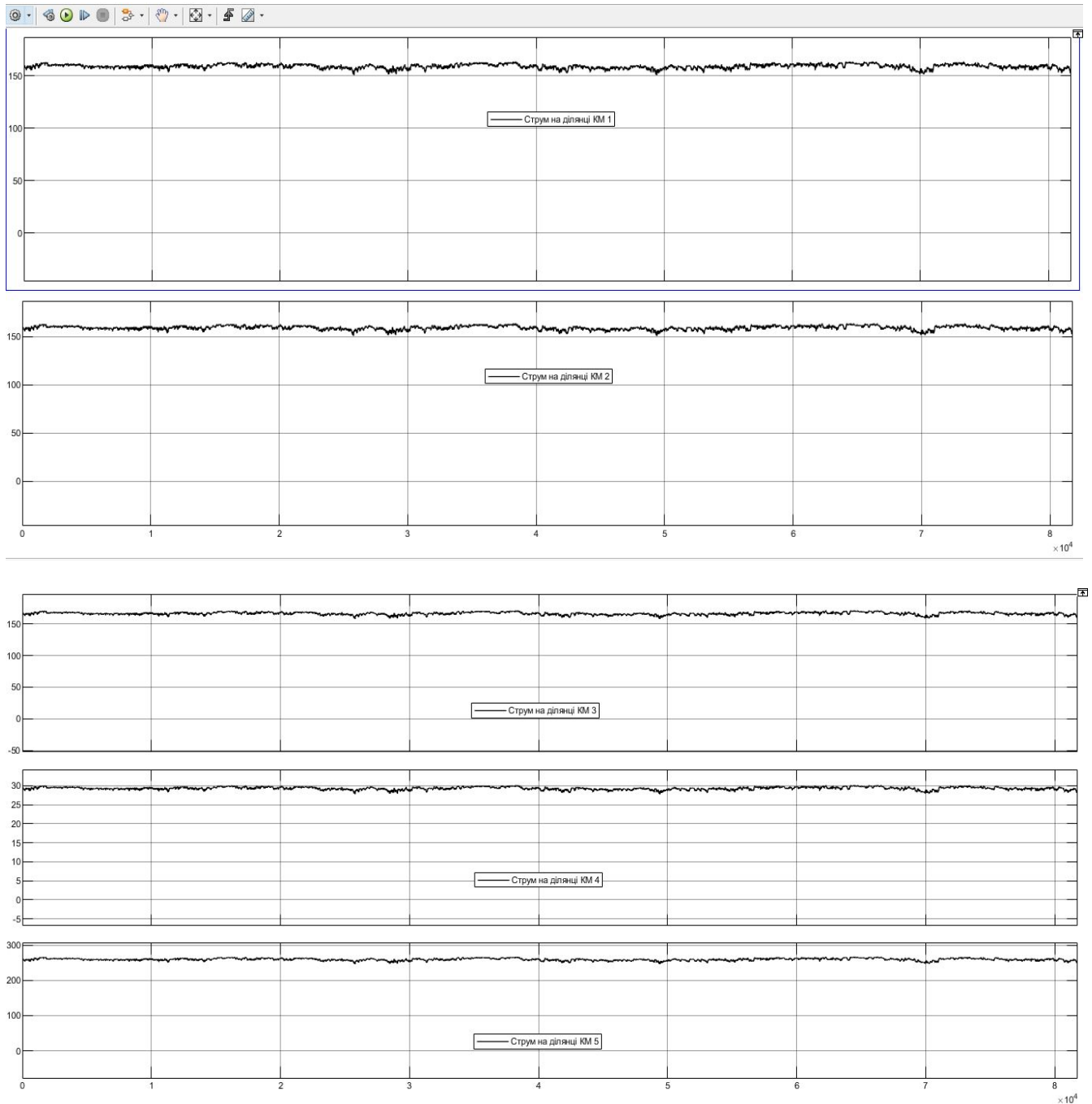


Рисунок 3.12 - Часова залежність значення падіння струму на ділянках контактної мережі у фідерній зоні двоколіїної ділянки

Проведемо розрахунок напруги кожної ділянки контактної мережі методами математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнтом асиметрії та ексцес в системі Excel

Таблиця 3.5 - Статистичні данні падіння напруги на ділянках контактної мережі у фідерній зоні двоколіїної ділянки

| Статистичні данні | Uk1, В | Uk2, В | Uk3, В | Uk4, В |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Математичне очікування | 1051,8 06 | 1178,3 | 85,723 07 | 1178,3 |
| Дисперсія | 5609,0 89 | 6754,0 38 | 18,819 38 | 6754,0 38 |
| Середньоквадратичне відхилення | 74,893 85 | 82,182 95 | 4,3381 3 | 82,182 95 |
| Коефіцієнт асиметрії | 121,72 82 | 117,53 93 | 115,76 8 | 121,46 97 |
| Єксцес | 15314, 43 | 15271, 12 | 14323, 69 | 15271, 12 |

Висновок

1. Приведено існуючі методи моделювання електромагнітних процесів в системі тягового електропостачання та схеми живлення тягової мережі на фідерних зонах ділянки.

2. Розроблено і виконані чисельні розрахунки імітаційних моделей електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на одній колії ділянки з детермінованими даними, під час яких були проаналізовані результати, котрі свідчать про працездатність схем з детермінованими даними. Однак для більш точних розрахунків потрібно дізнаватись безпосередньо максимальне й мінімальне значення напруги у диспетчера підстанції, яку бажаєте змодельовати. Опіраючись на ці значення, створювати дані за допомогою детермінованих значень.

3. Розроблено і виконані чисельні розрахунки імітаційних моделей електромагнітних процесів у фідерній зоні при русі 3-х поїздів на двох коліях ділянки з детермінованими значеннями під час яких були проаналізовані результати, котрі свідчать про працездатність схем з детермінованими даними.

4. Вивчено оцінку імовірнісних характеристик фідерних струмів і струморозподілу між поїздами і тяговою мережею з врахуванням детермінованих значень напруги.

5. Проаналізувавши метод імітаційного моделювання, можна зробити висновок, що завдяки цьому методу можливо відтворити реальні виміри і режими роботи імітуючи їх. На прикладі імітації моделі електромагнітних процесів у фідерній зоні з детермінованими даними напруги було доведено ефективність використання детермінованих величин, завдяки якому можливо провести моделювання, швидко та безперебійно для теоретичного дослідження, який в свою чергу буде наближений до реальних випробувань.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Прохорский, А.А. Тяговые и трансформаторные подстанции: Учебник для техникумов ж.д. трансп. – 4-е изд, перераб. и доп. – М.:Транспорт, 1983 – 496 с.

2. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрофицированных железных дорог. издание четвертое, переработанное и дополненное. Утверждено. Главным управлением учебными заведениями МПС в качестве учебника для студентов высших учебных заведений железнодорожного транспорта. – Москва «ТРАНСПОРТ».

3. Резонансные явления в тяговой сети переменного тока.[Электронный ресурс]. Омский государственный университет путей сообщения, город Омск. Режим доступа. : - <https://cyberleninka.ru/article/n/rezonansnye-yavleniya-v-tyagovoy-seti-peremennogo-toka/viewer/> . – Омский научный вестник №4 (172) 2020.

4. Сиченко, В.Г. Моделювання електромагнітних процесів в тяговій мережі постійного струму / В.Г Сиченко - (ДІТ). УДК 621.331 : 621.311.

5. Модель нагрузки, оказываемой потоком поездов на систему электроснабжения [Электронный ресурс]. Дальневосточный государственный университет путей сообщения. Режим доступа. : - <https://www.sworld.com.ua/konfer25/993.htm/> . - УДК 656.2.05:629.423.082.3.

6. Міщенко, Т.М., Кійко А.І. Математичне моделювання перехідних процесів у системі змінного струму «ТЯГОВА МЕРЕЖА – ЕЛЕКТРОВАЗ» / Т.М. Міщенко, А.І. Кійко.(ДІТ). УДК 621.33.

7. Міщенко, Т.М. Перехідні процеси в електротяговій мережі змінного струму при вмиканні силового трансформатора електровоза ДСЗ у режимі холостого ходу / Т.М. Міщенко. Представив д.т.н., професор Костін М.О.(ДНУЗТ). УДК 629.423 : 621.331.

8. Косарев, Є.М. Регулювання напруги в контактній мережі електрофікованих залізниць постійного струму / Є.М. Косарев.(ДНУЗТ). УДК 621.331.3.