

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Аналіз електроенергетичних показників системи тягового
електропостачання змінного струму**

Виконав: студент групи ЗЕЕМ-23ск

Артем СЕРГІЙЧУК

Керівник випускної роботи _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Нормо контролер _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

СЕРГІЙЧУК Артем Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Аналіз електроенергетичних показників системи тягового
електропостачання змінного струму

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є аналіз
електроенергетичних показників системи тягового електропостачання
змінного струму
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Характеристика електроенергетичних систем тягового електропостачання
змінного струму; II. Аналіз електроенергетичних показників системи
тягового електропостачання змінного струму; III. Аналіз впливу фактору
втрати потужності на визначення електроенергетичних показників системи
тягового електропостачання змінного струму.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Характеристика електровозного відкочення; II. Принципова
схема та лінійні діаграми мостового перетворювача; III. Розрахункові
залежності, отримані за допомогою універсальної програми; IV. Схема
живлення експериментальної ділянки; V. Експериментальні залежності для
живильної ділянки контактної мережі.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олег СІНЧУК		
II	Олег СІНЧУК		
III	Олег СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Аналіз режимів роботи систем тягового електропостачання	24.05.26
2	Аналіз процесу споживання електричної енергії	27.05.26
3	Аналіз рівнів електричного навантаження	31.05.26
4	Визначення електроенергетичних показників	02.06.26
5	Аналіз впливу фактору втрати потужності	07.06.26
6	Програма автоматизованого визначення втрат потужності	11.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Артем СЕРГІЙЧУК
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Аналіз електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму»

38 с., 2 рис., 20 літературних джерел

Об'єкт розробки – електромеханічна система з тяговими електричними двигунами.

Мета роботи: Підвищення енергоефективності, експлуатаційної надійності та електромагнітної сумісності шахтного локомотивного транспорту шляхом комплексного аналізу електроенергетичних показників тягової мережі змінного струму та обґрунтування технічних рішень для їхньої нормалізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати специфіку побудови систем шахтного тягового електропостачання змінного струму (зокрема, вплив однофазного тягового навантаження на трифазну розподільчу мережу шахти).

Дослідити динаміку зміни основних електроенергетичних показників: коефіцієнта потужності, рівнів несиметрії (струмів зворотної послідовності), просядок напруги та коефіцієнтів гармонійних спотворень під час пуску і руху важких рудникових поїздів.

Розробити імітаційну математичну модель тягової мережі ділянки шахти для оцінки втрат активної електроенергії у контактному проводі, рейковому колі та живильних трансформаторах.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оцінити вплив погіршених показників якості електроенергії тягової мережі на роботу суміжних підземних електроспоживачів (вентиляторів, насосів, систем автоматики).

Обґрунтувати вибір та параметри сучасних засобів нормалізації електроенергетичних показників (симетруючих трансформаторів, статичних тиристорних компенсаторів, активних фільтрів).

ШАХТНИЙ ЕЛЕКТРОВОЗ, ТЯГОВА МЕРЕЖА ЗМІННОГО СТРУМУ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ, НЕСИМЕТРІЯ НАПРУГИ, ВИЩІ ГАРМОНІКИ, ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Характеристика електроенергетичних систем тягового електропостачання змінного струму	12
1.1. Аналіз режимів роботи систем тягового електропостачання змінного струму	12
1.2. Аналіз процесу споживання електричної енергії у системах тягового електропостачання змінного струму	13
Розділ 2. Аналіз електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму	14
2.1. Аналіз рівнів електричного навантаження у системах тягового електропостачання змінного струму	14
2.2. Визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму	16
Розділ 3. Аналіз впливу фактору втрати потужності на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму	22
3.1. Аналіз впливу фактору втрати потужності у структурі перетворювача на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму	22
3.2. Аналіз впливу фактору втрати потужності у контактній мережі на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму	26
3.3. Аналіз впливу фактору втрати потужності на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму у динамічних режимах роботи	28

3.4. Програма автоматизованого визначення втрат потужності у системі тягового електропостачання змінного струму у динамічних режимах роботи	29
Висновки	34
Список використаних джерел	35
Додаток А	37
Додаток Б	38

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Вступ

Актуальність та інженерна проблематика

Підземний рейковий транспорт є головною кровоносною системою будь-якої великої шахти, що забезпечує видачу гірничої маси до окологостовольного двору та доставку матеріалів і персоналу до робочих вибоїв.

Історично на шахтах домінувала контактна тяга постійного струму (250 або 600 В), проте зі збільшенням довжини відкатних виробок та зростанням ваги поїздів системи постійного струму вичерпали свої можливості через величезні втрати напруги та необхідність будувати велику кількість тягових підстанцій під землею.

Альтернативою стала система тягового електропостачання змінного струму (зазвичай однофазного підвищеної напруги або трифазного підвищеної частоти).

Вона дозволяє передавати більшу потужність на значні відстані, різко скоротити кількість підземних підстанцій та зменшити перерізи мідних контактних проводів.

Проте впровадження змінного струму в тягу породило цілий комплекс серйозних електроенергетичних проблем.

Головна проблема полягає у **несиметрії**.

Електровоз, що живиться від однофазної контактної мережі, є потужним однофазним навантаженням, яке підключається до загальної трифазної мережі шахти.

Це викликає перекіс фаз та появу струмів зворотної послідовності.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі струми є вкрай небезпечними для звичайних асинхронних двигунів (наприклад, водовідливу чи вентиляції), оскільки вони створюють гальмівний електромагнітний момент, викликають сильну вібрацію та перегрів їхніх обмоток.

Крім того, сучасні електровози змінного струму оснащуються бортовими напівпровідниковими випрямлячами або інверторами.

Під час важкого пуску поїзда з рудою вони генерують у живильну мережу потужний спектр вищих гармонік і різко знижують загальний коефіцієнт потужності мережі через значне споживання реактивної енергії.

Особливості режимів тягової мережі

Тягова мережа має найгірший графік електричних навантажень серед усіх споживачів шахти. Її характерні риси:

- **Стохастичність (випадковість):** Місцезнаходження електровоза постійно змінюється, а отже, безперервно змінюється активний та індуктивний опір самої лінії передачі (контактного проводу та рейок).
- **Імпульсність:** Струм споживання може зростати від нуля до тисяч ампер за кілька секунд під час зрушення рудного поїзда з місця, викликаючи глибокі (до 15–20%) просадки напруги на пантографі.
- **Складна система зворотного струму:** Зворотним проводом служать ходові рейки та земля (порода). Змінний струм, на відміну від постійного, має яскраво виражений поверхневий ефект (скін-ефект), що різко збільшує активний опір рейок і спричиняє виникнення небезпечних потенціалів кроку та дотику в сирих виробках.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практична реалізація: шляхи нормалізації показників

Для вирішення цих проблем і забезпечення електромагнітної сумісності тяги зі загальношахтною мережею на практиці застосовують такі рішення:

Інженерне рішення	Принцип дії	Ефект для системи електропостачання
Симетруючі схеми підключення (трансформатори Скотта, Леблана)	Спеціальна схема обмоток тягового трансформатора, що дозволяє рівномірно розподілити однофазне навантаження двох плечей контактної мережі на три фази первинної мережі.	Радикальне зниження несиметрії напруг (перекосу фаз) на головних розподільчих підстанціях шахти.
Установки поздовжньої компенсації (УПК)	Включення конденсаторних батарей послідовно у контактну мережу або фідер.	Миттєва компенсація індуктивного опору мережі, автоматична стабілізація напруги на струмоприймачі під час пуску поїзда.

Бортові 4-квADRANTні перетворювачі (4q-converter)	Встановлення на сучасних електровозах активних випрямлячів замість діодних або тиристорних мостів.	Підтримка $\cos \varphi \approx 1$ у всіх режимах (тяга і гальмування), синусоїдальна форма струму, повна відсутність гармонійних завад від рухомого складу.
---	---	--

Комплексний аналіз цих показників дозволяє не просто констатувати факт низької якості електроенергії, а науково обґрунтувати місця встановлення компенсувальних пристроїв та мінімізувати втрати дорогоцінної енергії під час транспортування корисної копалини.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк. 11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Характеристика електроенергетичних систем тягового електропостачання змінного струму

1.1. Аналіз режимів роботи систем тягового електропостачання змінного струму

В даний час на рудниках Кривого Рогу транспортування видобутого корисного копалища головними відкочувальними виробками здійснюється електровозами постійного струму з реостатним управлінням.

Такий спосіб управління має досить низькі технічні показники, які погіршуються внаслідок частих пускогальмівних режимів, характерних для руху рудникових електровозів при існуючій технології гірничих робіт.

Робота на реостатних позиціях супроводжується підвищеними втратами енергії на електровозі — до 40% від загальної кількості енергії, споживаної електровозом протягом рейсу.

Застосування статичних перетворювачів на електровозах (тиристорних) дозволяє скоротити витрати електроенергії на регулювання.

Це стає можливим завдяки тому, що зміна швидкості тягових двигунів за допомогою тиристорного перетворювача (шляхом зміни напруги, прикладеної до двигуна) здійснюється практично без втрат — потужності, що розсіюються у дроселі та двигуні, незначні.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1				Лім.	Лист	Листів
Розробив	СергійчукАЮ										
Перевірів	Сінчук О.М.										
Реценз.											
Н. Контр.	Сінчук О.М.										
Затвердив	ПересунькоІ.І.										
					КНУ ЗЕЕМ-23ск						

1.2. Аналіз процесу споживання електричної енергії у системах тягового електропостачання змінного струму

У процесі енергоспоживання електровоза частина електроенергії витрачається на активному опорі контактної мережі.

Причому, величина цих втрат тісно пов'язана з режимом роботи електровоза і способом управління.

У зв'язку з цим становить інтерес питання визначення енергетичних показників — втрат потужності та витрат енергії в процесі руху рудникового електровоза, а також порівняння їх для різних способів регулювання (введенням реостата при постійному струмі та змінням випрямленої напруги за допомогою тиристорного перетворювача при змінному).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Аналіз електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму

2.1. Аналіз рівнів електричного навантаження у системах тягового електропостачання змінного струму

Сучасна технологія ведення гірничих робіт на рудниках Кривбасу характеризується високим ступенем деконцентрації гірничих робіт.

Головну причину якої становить низька продуктивність очисного вибою (5–7 тис. т на місяць) [1].

За цих умов навантаження електровозних составів здійснюється з великої кількості навантажувальних пунктів, доступ до яких забезпечується розгалуженим рейковим шляхом і відповідно влаштованою контактною мережею.

Розподіл часу роботи відкочування протягом зміни такий:

1. Рух навантажених і порожніх составів до місць навантаження та розвантаження — 30%.

2. Простої составів з організаційних причин (очікування черги при розвантаженні, зазвичай наприкінці зміни через обмежену пропускну здатність перекидачів; відсутність руди на пунктах навантаження — на початку зміни) — до 30%.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 2	Лім.	Лист	Листів
Розробив		Сергійчук АЮ					14	8
Перевірив		Сінчук О.М.						
Реценз.								
Н. Контр.		Сінчук О.М.						
Затвердив		Пересунько І.І.				КНУ ЗЕЕМ-23ск		

3. Завантажувально-розвантажувальні роботи та пов'язані з ними маневрові операції — до 40%.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму

Враховуючи сказане, можна дійти висновку, що електровоз більшу частину часу в процесі руху перебуває в пускогальмівних режимах (навантаження, розвантаження, подолання стрілок, переважно розміщених у штреках).

Тому енергетичні показники, зазначені вище, доцільно визначити в перехідному режимі — за період розгону.

У проектній практиці, а також при виконанні слодіджень широко застосовується трьохперіодна діаграма руху, запропонована Ф.Н. Шиляровим (рис. 2.1), яка і покладена в основу розрахунку елементів руху в нашому випадку.

Передбачається, що розгін здійснюється при постійному прискоренні і відповідно при постійному зусиллі на гаку електровоза, яке складається зі статичного $F_{ст}$ і динамічного $F_{дин}$:

$$F = F_{ст} + F_{дин}. \quad (1)$$

Величини статичного та динамічного зусиль залежать від режиму роботи електровоза — здійснюється розгін состава з вантажем чи в порожньому стані.

Сила тяги в період усталеного руху состава з вантажем (статичне зусилля):

$$F_{\text{ст.гр}} = P_{\text{сц}}(W_{\text{е.гр}} - i_{\text{ср}}) + Q_{\text{гр}}(W_{\text{гр}}'' - i_{\text{ср}})$$

де $P_{\text{сц}}$ — зчіпна вага електровоза; $W_{\text{е.гр}}$ та $W_{\text{гр}}''$ — питомий опір руху електровоза та вагонетки в составі поїзда відповідно; Q — вага причіпної частини состава; $i_{\text{ср}}$ — середній ухил.

Статичне зусилля для порожнього состава:

$$F_{\text{ст.пор}} = P_{\text{сц}}(W_{\text{е.пор}} + i_{\text{ср}}) + Q_{\text{пор}}(W_{\text{пор}}'' + i_{\text{ср}})$$

Різниця між статичними зусиллями для середніх умов невелика [2] — для навантаженого состава 370 кг, а для порожнього 340 кг (середнє 355 кг) в розрахунку на один двигун електровоза 14 КР.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

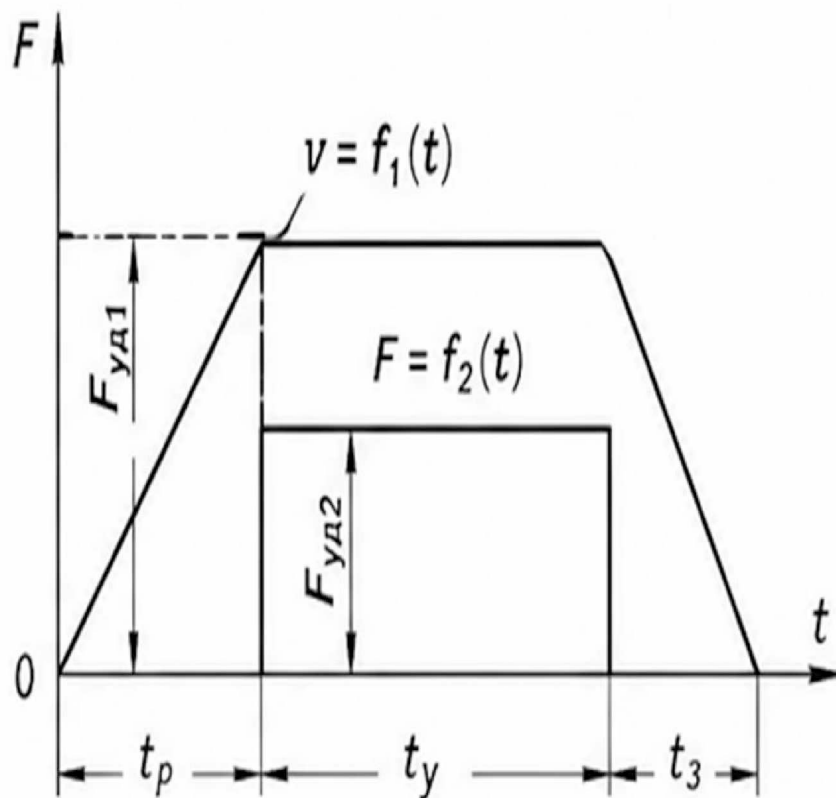


Рис. 2.1. Спрощена навантажувальна діаграма електровозу

t_p – час розгону електровоза, t_y – усталений рух електровозу, t_3 – період уповільнення

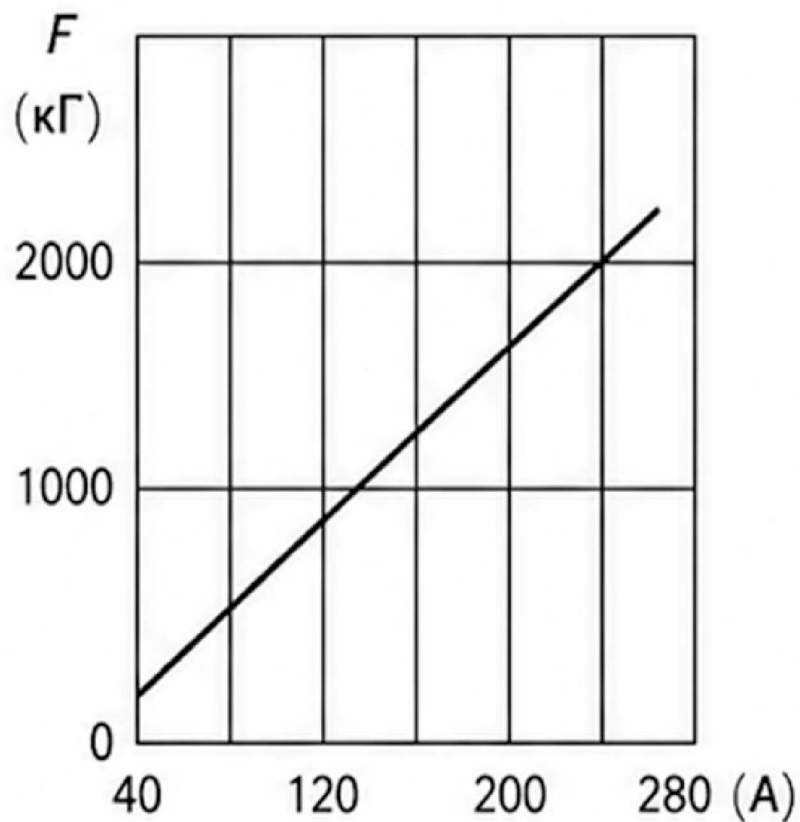


Рис. 2.2. Тягова характеристика електровозного двигуна ДК-809А

Динамічна складова зусилля визначається відомим виразом:

$$F_{\text{дин}} = \frac{1000}{g} (P + Q) \cdot (1 + \varphi) a$$

де g — прискорення вільного падіння; $(P + Q)$ — вага состава; a — прискорення руху состава; $(1 + \varphi)$ — коефіцієнт приведення обертального руху елементів состава до поступального.

Відповідно до [3] $(1 + \varphi) \approx 1,05$ для навантаженого состава і $(1 + \varphi) = 1,075$ — для порожнього.

Як видно, різниця між значеннями $(1 + \varphi)$ невелика, тому вираз для визначення динамічної складової зусилля може бути спрощено за рахунок усереднення $(1 + \varphi)$:

$$F_{\text{дин}} = (P + Q) \cdot 110a$$

Значення прискорень руху состава можуть бути вибрані виходячи з рекомендацій [4].

Найбільш уживані в підземному транспорті значення прискорень такі (м/с²):

а) для навантаженого состава — 0,1–0,15;

б) для порожнього состава — 0,15–0,20.

Середнє значення прискорень: для навантаженого состава $a_{\text{гр}} = 0,125$ м/с²; для порожнього состава $a_{\text{пор}} = 0,175$ м/с².

Зусилля, що припадає на один двигун електровоза:

$$F_{\text{дв}} = F / 2$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Зусилля на гаку електровоза, перерахований для одного двигуна, слугує для визначення струму в двигуні за тяговими характеристиками. Значення мережевого струму визначається виходячи зі струмів двигунів з урахуванням їхньої схеми з'єднання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3. Аналіз впливу фактору втрати потужності на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму

3.1. Аналіз впливу фактору втрати потужності у структурі перетворювача на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму

При визначенні енергетичних показників контактної мережі при змінному струмі слід враховувати і схему перетворювача, встановленого на електровозі, оскільки вона суттєво впливає на значення струму в контактній мережі.

Вже зазначалося [2], що на рудникових електровозах доцільно застосовувати двопівперіодний перетворювач з двома тиристорами та двома діодами (напівкерований міст).

У загальному випадку мостова керована схема перетворювача характеризується лінійними діаграмами, наведеними на рис. 3.1.

Приймаючи загальноприйняті допущення, можна вважати, що мережевий струм має прямокутну форму.

Втрати активної потужності при несинусоїдальному струмі визначаються сумою активних потужностей окремих гармонік.

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_{n-2} + \Delta P_n$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3			Літ.	Лист	Листів	
Розробив	Сергійчук А.Ю.										
Перевірів	Сінчук О.М.									22	12
Реценз.								КНУ ЗЕЕМ-23ск			
Н. Контр.	Сінчук О.М.										
Затвердив	Пересунько І.І.										

Для нашого випадку можна записати:

$$\Delta P_c = I_{c(i)}^2 \cdot R_i + I_{c(3)}^2 \cdot R_3 + \dots + I_{c(n)}^2 \cdot R_n$$

де $I_{c(i)}$ — гармонічні складові струму мережі; R_i — активні опори контактної мережі змінному струму відповідних гармонік.

Діюче значення струму контактної мережі відповідно до [5] визначається виразом:

$$I_c = I_d \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha_1}{\pi}}$$

де α_1 та α_2 — кути регулювання вентильними групами (анодною та катодною), рис. 3.1,б; у нашому випадку $\alpha_2 = 0$; I_d — значення випрямленого струму, величина якого дорівнює струму двигунів і може бути обчислена за допомогою (2), (3), (5), (9).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

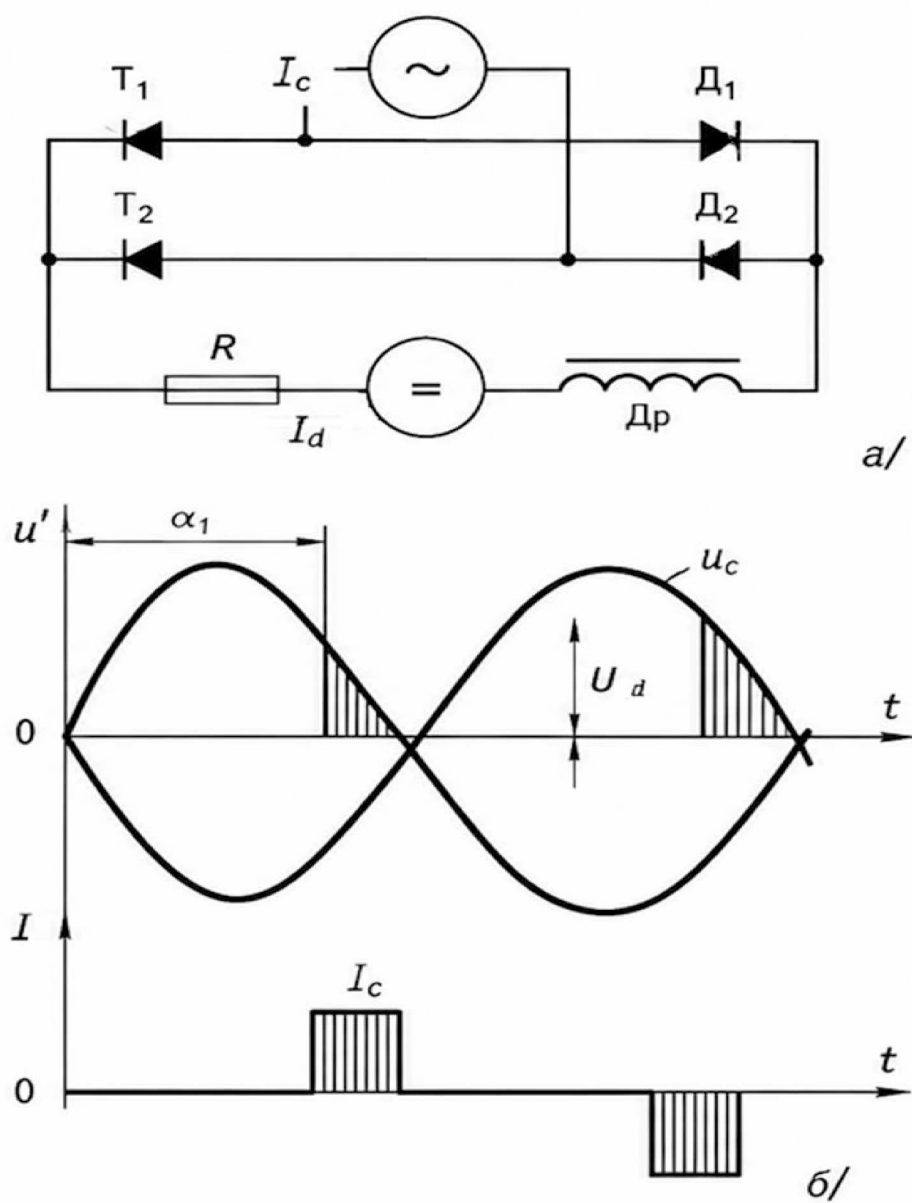


Рис. 3.1. Лінійні діаграми роботи перетворювача

Враховуючи, що діюче значення струму визначається виходячи зі значень вищих гармонічних складових,

$$I_c = \sqrt{I_{c(1)}^2 + I_{c(3)}^2 + \dots + I_{c(n)}^2}$$

і що активний опір контактної мережі першій гармоніці можна вважати рівним активному опору контактної мережі для гармонік вищого порядку, тобто $R_1 = R_3 = \dots = R_n = R_{\text{к.с. пер}}$, для втрат потужності в контактній мережі можна записати:

$$\begin{aligned} \Delta P &= I_c^2 \cdot R_{\text{к.с. пер}} = I_{c(1)}^2 \cdot R_{\text{к.с. пер}} + I_{c(3)}^2 \cdot R_{\text{к.с. пер}} + \dots + I_{c(n)}^2 \cdot R_{\text{к.с. пер}} \\ &= \Delta P_1 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_n \end{aligned}$$

Необхідно враховувати, що активна складова опору контактної мережі $R_{\text{к.с. пер}}$ для змінного струму відрізняється від опору при постійному струмі внаслідок дії явищ витіснення струму.

Величина активного опору контактної мережі змінному струму дещо більша за опір постійному струму і числово може бути прийнята $R_{\text{к.с. пер}} \approx 0.3309 \text{ Ом/км}$ згідно [4].

3.2. Аналіз впливу фактору втрати потужності у контактній мережі на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму

Враховуючи вирази (2), (3), (5), (9), (18) та (19), визначимо втрати потужності в контактній мережі при змінному струмі:

а) для навантаженого состава, що рухається на поСлідовно увімкнених двигунах:

$$\Delta P'_{\text{гр.поСл}} = \left(1 - \frac{\alpha_1}{\pi}\right) \cdot R_{\text{к.с.пер}} \cdot \{0,124[P_{\text{сц}}(W_{\text{е.гр}} - i_{\text{ср}} + 110a) + Q_{\text{гр}}(W''_{\text{гр}} - i_{\text{ср}} + 110a)] + 38\}^2$$

у випадку паралельно з'єднаних двигунів:

$$\Delta P'_{\text{гр.пар}} = 4\Delta P'_{\text{гр.поСл}}$$

б) для порожнього состава при поСлідовно включених двигунах:

$$\Delta P'_{\text{пор.поСл}} = \left(1 - \frac{\alpha_1}{\pi}\right) \cdot R_{\text{к.с.пер}} \cdot \{0,124[P_{\text{сц}}(W_{\text{е.пор}} + i_{\text{ср}} + 110a) + Q_{\text{пор}}(W''_{\text{пор}} + i_{\text{ср}} + 110a)] + 38\}^2$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

у випадку паралельного з'єднання двигунів:

$$\Delta P'_{\text{пор.пар}} = 4\Delta P'_{\text{пор.поСл}}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Аналіз впливу фактору втрати потужності на визначення електроенергетичних показників системи тягового електропостачання змінного струму у динамічних режимах роботи

Витрати енергії, що витрачаються на розгін, визначаються (15) інтегруванням потужності за період розгону.

При встановленні часу розгону можна користуватися (14), орієнтуючись на максимально можливу швидкість при даній напрузі мережі та даній схемі з'єднання двигунів.

Якщо розгін здійснюється до швидкостей, що займають проміжне значення відносно максимальної, то витрати енергії та втрати потужності визначаються тими ж характеристиками тільки за менший час розгону.

Для зручності порівняння втрат енергії та потужності приймемо однакові прискорення та граничні швидкості як для змінного, так і для постійного струму в контактній мережі.

3.4. Програма автоматизованого визначення втрат потужності у системі тягового електропостачання змінного струму у динамічних режимах роботи

Обчислення втрат потужності та витрат енергії в контактній мережі як на постійному так і на змінному струмах здійснюється на цифровій обчислювальній машині.

Для виконання цього розрахунку необхідно скористатись універсальною програмою, яка дозволяє визначати показники при різних струмах навантаження.

Програма для обчислення втрат потужності та витрат енергії в контактній мережі наведена у таблицях 3.1 та 3.2.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Програма для обчислення втрат потужності та витрат енергії в контактній мережі.

Таблиця 3.1. Розподіл пам'яті машини

Адреса комірки	Вміст комірки	Адреса комірки	Вміст комірки
01	а-прискорення	9	0,1
02	$(P+Q) \cdot 107$	20	$K_1 = \frac{\tau_H}{99 \cdot \tau_C \cdot V_{max}}$
03	F _{ст}	26	Ч _{к.с}
04	0,124	44	3600
05	38	32	20
07	Δt (крок по часу)		

Таблиця 3.2. Програма обчислень

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

№ п/п	Адреса команди	Код операції	Адреса комірки	Примітка
1	2	3	4	5
1	00	ЧТ	01	
2	01	МН	02	
3	02	Сл	03	
4	03	МНЖ	04	
5	04	Сл	05	I_d
6	05	Ост	01	Друк I_d
7	06	Зп	06	
8	07	МНЖ	09	
9	08	Зп	10	
10	09	Ост		
11	10	ЧТ	07	
12	11	Сл	08	
13	12	Зп	08	t
14	13	Ост	01	Друк t
15	14	МНЖ	01	v
16	15	Ост	01	Друк v
17	16	МНЖ	20	
18	17	Сл	10	
19	18	МНЖ	87	

20	19	Відн 1	86	
21	20	Возв		
22	21	Діл	81	
23	22	Відн 2	86	
24	23	$\sqrt{\quad}$		
25	24	Мнж	06	I_c
26	25	Ост	01	Друк I_c
27	26	Зп	25	
28	27	Мнж	25	I_c^2
29	28	Мнж	26	ΔP_c
30	29	Ост	01	Друк ΔP_c
31	30	Зп	27	
32	31	Сл	28	
33	32	Діл	87	
34	33	Мнж	07	
38	37	Зп	29	
39	38	Чт	27	
40	39	Зп	28	
41	40	Чт	33	
42	41	Сл	86	
43	42	Зп	33	

44	43	Відн 1	32	
45	44	Уп 1	10	
46	45	Ост		

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Висновки

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було виконати такі завдання:

Проаналізувати специфіку побудови систем шахтного тягового електропостачання змінного струму (зокрема, вплив однофазного тягового навантаження на трифазну розподільчу мережу шахти).

Дослідити динаміку зміни основних електроенергетичних показників: коефіцієнта потужності, рівнів несиметрії (струмів зворотної послідовності), просадок напруги та коефіцієнтів гармонійних спотворень під час пуску і руху важких рудникових поїздів.

Розробити імітаційну математичну модель тягової мережі ділянки шахти для оцінки втрат активної електроенергії у контактному проводі, рейковому колі та живильних трансформаторах.

Оцінити вплив погіршених показників якості електроенергії тягової мережі на роботу суміжних підземних електроспоживачів (вентиляторів, насосів, систем автоматики).

Обґрунтувати вибір та параметри сучасних засобів нормалізації електроенергетичних показників (симетруючих трансформаторів, статичних тиристорних компенсаторів, активних фільтрів).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

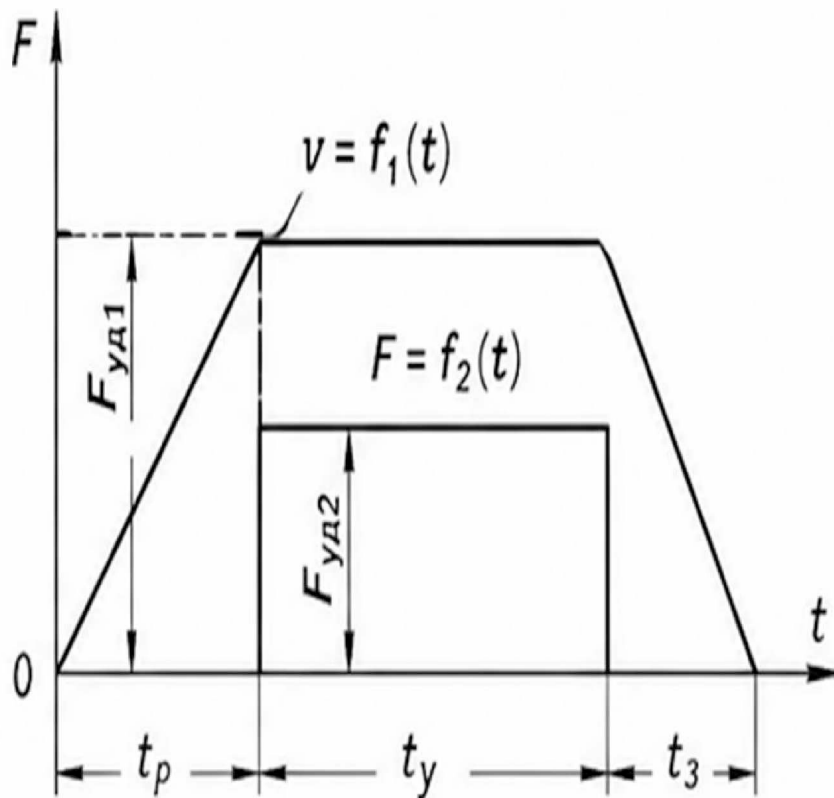
Список використаних джерел

1. Steimel, A. (2008). Electric Traction - Motive Power and Energy Supply: Basics and Practical Experience. Oldenbourg Industrieverlag.
2. Півняк, Г. Г., & Волошин, О. В. (2011). Електропостачання гірничих підприємств. Дніпропетровськ: НГУ.
3. Жежеленко, І. В. (2010). Показники якості електроенергії та їх контроль на промислових підприємствах. Київ: Техніка.
4. Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). Power System Harmonics. John Wiley & Sons.
5. Roehrich, J., & Badr, H. (2014). Power Supply in Mine Haulage Systems. Springer.
6. Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A., & Schneider, E. (2018). Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance. John Wiley & Sons.
7. Синчук, О. М., & Афанасьєв, В. В. (2013). Системи тягового електроприводу рудникових електровозів. Кривий Ріг: КНУ.
8. Bollen, M. H. (2000). Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions. IEEE Press.
9. IEEE Std 519-2014. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE.
10. Hill, R. J. (1994). Electric railway traction. Part 3: Traction power supply. Power Engineering Journal, 8(6), 275-286.
11. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Київ: Держспоживстандарт України.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-16	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Shchutsky, V. I., & Babokin, G. I. (2005). Reliability and Efficiency of Electrical Equipment in Mining Industry. Moscow: Nedra.
13. Volkov, A., & Spivak, O. (2017). Power quality assessment in AC traction networks of underground mines. Mining Electromechanics and Automatics, 99(3), 34-41.
14. Brenna, M., Foiadelli, F., & Zaninelli, D. (2012). Electromagnetic model of high speed railway lines for power quality studies. IEEE Transactions on Power Systems, 25(3), 1301-1308. (Застосовується для методів моделювання).
15. Zachepa, I., & Chorny, O. (2020). Mitigation of voltage unbalance in underground power grids with single-phase traction loads. Electrical Engineering & Electromechanics, (1), 41-47.
16. Pilo, E., Rouco, L., Fernandez, A., & Hernandez-Velasco, A. (2000). A simulation tool for the design of the electrical supply system of high-speed railways. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2, 1054-1059.
17. Кузнецов, В. Г., & Ніколаєнко, В. Г. (2014). Аналіз та нормалізація режимів за якістю електроенергії в системах промислового електропостачання. Київ: Наукова думка.
18. EN 50163:2004. Railway applications. Supply voltages of traction systems. CENELEC.
19. Hu, H., He, Z., & Gao, S. (2016). Power Quality Assessment in Railway Traction Power Supply Systems. Springer.
20. Synchuk, O. M., & Kozakevych, I. A. (2018). Energy efficiency of specific traction schemes in deep ore mines. Journal of Mining Science, 54(4), 621-628.

Спрощена навантажувальна діаграма електровозу



Тягова характеристика електровозного двигуна ДК-809А

