

В статті проаналізована зміна напруги в еквіпотенційних точках послідовно-паралельно з'єднаних двигунів послідовного збудження трамвайного вагону. Досліджено вплив інтенсивності буксування на втрати потужності двигунів. В результаті дослідження отримані данні які будуть використані для подальшої розробки протибуксовочного пристрою з високими техніко-економічними показниками.

УДК 629.4

В. П. Андрійченко,
канд. техн. наук,
С. А. Закурдай,
канд. техн. наук,
Д. А. Матвійчук, асп.
Харківський національний
університет міського
господарства
імені О.М. Бекетова

ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ НАПРУГИ В ЕКВІПОТЕНЦІЙНИХ ТОЧКАХ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ БУКСУВАННЯ

Надійність роботи електричного транспорту на пряму залежить від працездатності тягового двигуна. Для забезпечення працездатності тягового двигуна потрібно захищати його від нестационарних режимів. Процес буксування колісних пар порушує роботу рухомого складу в режимі тяги, під час буксування втрати потужності на двигуні можуть досягати 50%, прискорюється знос бандажів колісних пар та рейок.

На рейковому електричному транспорті як правило використовується послідовно-паралельне з'єднання тягових двигунів. При виникненні буксування на при такому з'єднанні ТЕД інтенсивність буксування та втрати потужності можна визначити порівнюючи значення напруги в еквіпотенційних точках.

Метою дослідження представленого в даній статті є виявлення залежностей зміни напруги в еквіпотенційних точках та втрати потужності ТЕД при буксуванні.

Для виконання розрахунку введемо допущення, що двигуни мають ідеально однакові електромеханічні характеристики, а також встановлено колеса діаметром по колу котіння 700мм.

Для дослідження було обрано двигуни типу ТЕ-022, які використовуються на трамвайних вагонах Т-3.

Приклад спрощеної силової схеми трамвайного вагону Т-3, при послідовно-паралельному з'єднанні двигунів представлено на рисунку 1, де напруга в еквіпотенційних точках це напруга між точками *a* і *b*.

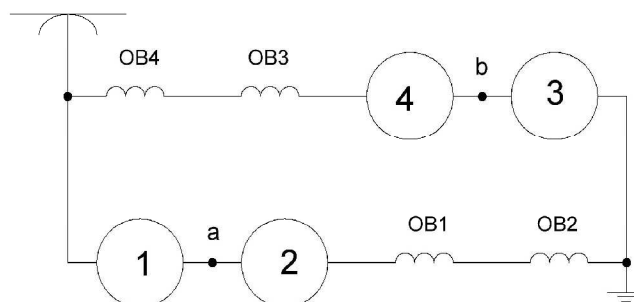


Рис. 1 - Спрощена силова схема трамвайного вагону Т-3 з послідовно-паралельним з'єднанням двигунів

Напруга на двигуні зв'язаному з не буксуючою колісною парою розраховується відповідно до виразу:

$$U_{\text{ов}} = V_i \cdot C\Phi + I \cdot R_o, \quad (1)$$

де V_i - лінійна швидкість на ободу не буксуючої колісної пари;

$C\Phi$ - величина, пропорційна магнітному потоку для заданої швидкості;

I - значення струму ТЕД;

R_d - активний опір тягового електродвигуна, що включає опір якоря додаткові і головні полюси.

Напруга на двигуні зв'язаному з буксуючою колісною парою розраховується відповідно до виразу:

$$U_{\text{оов}} = (V_i + \Delta V) \cdot C\Phi + I \cdot R_o, \quad (2)$$

де ΔV - швидкість надлишкового ковзання.

Так як напруги у паралельних гілках однакові, то згідно виразу 1 та 2 можна знайти напругу у гільці з двигуном зв'язаним з буксуючою колісною парою, яка відповідна напрузі контактної мережі:

$$U_{\text{кв}} = (V_i + \Delta V) \cdot C\Phi + I \cdot R_o + V_i \cdot C\Phi + I \cdot R_o. \quad (3)$$

Виходячи з того що у гільці де обидва двигуни не зв'язані з буксуючою колісною парою напруга на кожному з двигунів буде однаковою то напругу в еквіпотенційних точках можна визначити наступним чином

$$U_{\text{аб}} = \frac{U_{\text{оов1}} - U_{\text{ов2}}}{2}, \quad (4)$$

де $U_{\text{оов1}}$, $U_{\text{ов2}}$ - напруга на двигунах буксуючої і не буксуючої колісних пар.

Швидкість двигуна можна визначити з виразу:

$$V = \frac{U_{\text{ов}} - I_i \cdot R_o}{C \cdot \Phi_i}, \quad (5)$$

де $U_{\text{дв}}$ - напруга живлення тягового електродвигуна;

$Ce = \frac{PN}{60a}$ - конструктивний коефіцієнт;

N - кількість провідників якірної обмотки;

p - кількість пар полюсів;

a - кількість паралельних гілок якоря;

Φ - магнітний потік;

Струм у гільці з двигуном зв'язаним з буксуючою колісною парою можна визначити з виразу 3, але для цього необхідно знати значення $C\Phi$, який знаходиться за виразом:

$$C\Phi_i = \frac{U_{\text{ов}} - I_i \cdot R_{\text{ов}}}{V_{\text{аі}}}, \quad (6)$$

де $V_{\text{аі}}$ - швидкість, що відповідає автоматичній характеристиці повного поля.

В таблиці 1 представлені швидкості повного поля в залежності від струму ТЕД при напрузі живлення 275 В, отримані з експерименту проведеному на кафедрі "Електричного транспорту" ХНУМГ ім О.М. Бекетова.

Таблиця 1.

Швидкісна характеристика ТЕД

I, А	50	75	100	150	200	250	300	350
V, км/год	51	44	38	31,5	28	25,5	23,5	22

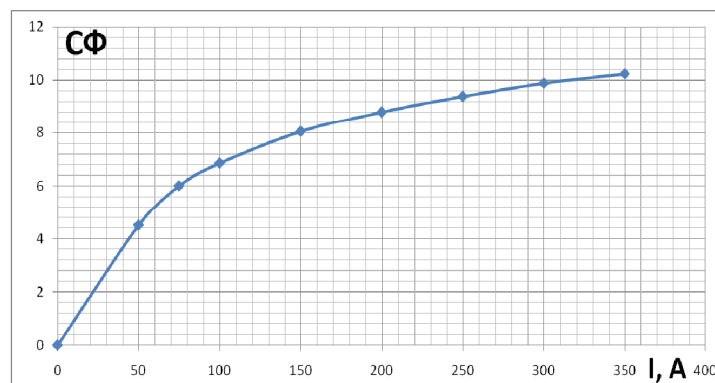
Для знаходження значень СФ використовуємо практично отримані данні залежності швидкості повного поля від струму при напрузі живлення 275 В, і для кожного струму за виразом 6 розраховуємо значення добутку конструктивної постійної на магнітний потік, отримані дані заносимо до таблиці.

Таблиця 2.

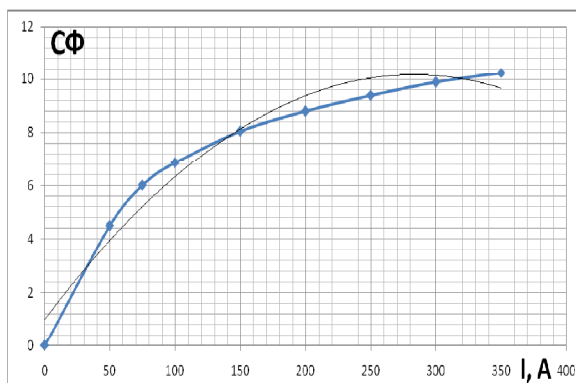
Характеристика пропорційна кривій намагнічування ТЕД

I, А	50	75	100	150	200	250	300	350
СФ	4,5	6	6,86	8,05	8,81	9,4	9,9	10,25

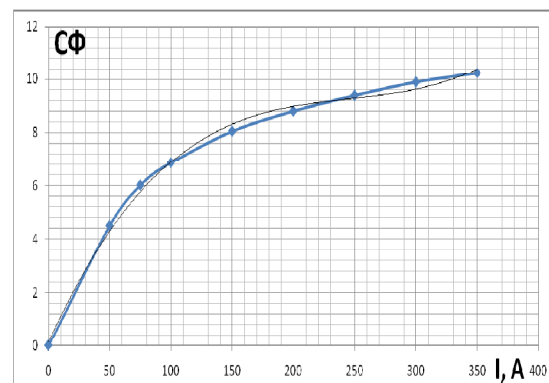
За допомогою *Microsoft Excel* будемо криву пропорційну характеристиці намагнічування для двигуна послідовного збудження $C\Phi=f(I)$:

Рис. 2 - Крива пропорційна характеристиці намагнічування $C\Phi=f(I)$

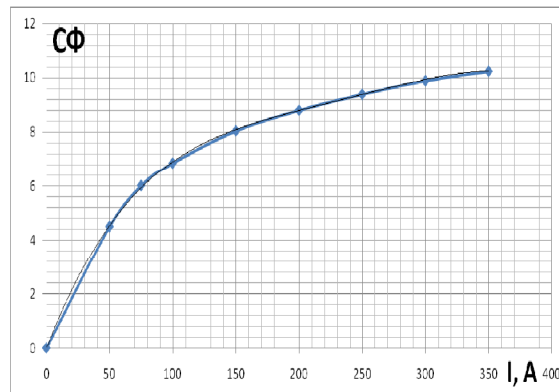
За допомогою функції "лінія тренду" отримуємо апроксимацію даної кривої поліномів 2, 3 та 4 степенів на рис. 3 а, б, в відповідно:



а) з поліномом 2 степені



б) з поліномом 3 степені



в) з поліномом 4 степені

- Крива пропорційна характеристиці намагнічування
 — Крива апроксимації «лінія тренту»

Рис. 3 - Криві пропорційні характеристикам намагнічування $C\Phi=f(I)$ з "лініями тренту" 2, 3, 4 степенів

Як можна побачити з графіків апроксимація кривої з поліномом 4 степені майже ідеально описує криву у необхідному нам відрізку, вираз якої матиме вигляд:

$$C\Phi = -2 \cdot 10^{-9} \cdot I^4 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,0007 \cdot I^2 + 0,1204 \cdot I + 0,0003, \quad (7)$$

Зробивши підстановку виразу 7 у вираз 3 ми можемо виразити значення струму від значення швидкості та напруги контактної мережі:

$$U_{kc} = (V_i + \Delta V) \cdot (-2 \cdot 10^{-9} \cdot I^4 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,0007 \cdot I^2 + 0,1204 \cdot I + 0,0003) + I \cdot R_o + V_i \cdot (-2 \cdot 10^{-9} \cdot I^4 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,0007 \cdot I^2 + 0,1204 \cdot I + 0,0003) + I \cdot R_o, \quad (8)$$

Зробивши перетворення виразу 8 можемо отримати рівняння четвертої степені і вирішити його.

Для знаходження струму при кожному випадку буксування необхідно вирішити рівняння четвертої степені. Для вирішення рівняння використовуємо метод Феррарі. В результаті розв'язання рівняння ми отримуємо чотири корені, для виявлення необхідного нам кореня робимо підстановку трьох значень швидкостей та напруги контактної мережі при відомих значеннях струму і вирішуємо рівняння, результати заносимо до таблиці 3.

Таблиця 3.

Корені рівнянь 4 степені

U_{kc}, B	$V, \text{км/год}$	I, A	X1	X2	X3	X4
600	45,9	100	189,3+163,7i	189,3-163,7i	521	100
600	36,9	200	148,9+134,9i	148,9-134,9i	502	200
600	31,1	300	111,8+144,8i	111,8-144,8i	477	300

Як видно з таблиці корені рівняння X1 та X2 уявні, отже їх ми можемо відкинути одразу. Корені X3 та X4 дійсні, але корінь X3 має похибку від реального значення струму у межах 50-600% тоді як корінь X4 співпадає зі значенням, отже для

знаходження струму при вирішенні рівнянь 4 степені ми будемо обирати четвертий корінь.

За рівняннями 1, 2, 3, 4, 8 знаходимо напруги в еквіпотенційних точках, при різному значенні надлишкового ковзання, при трьох вихідних значеннях струму 100, 200, 300А. Згідно проведеному розрахунку для трьох заданих значень напруги живлення 200, 400, 600В будемо залежність зміни струму від інтенсивності надлишкового ковзання $I=f(\Delta V)$ та залежність напруги в еквіпотенційних точках від інтенсивності надлишкового ковзання $\Delta U=f(\Delta V)$ рис. 4 та рис. 5:

Проаналізувавши зміну напруги та струму на двигунах при виникненні буксування визначаємо значення втрат потужності на двигунах. Згідно розрахованим даним будемо характеристики втрат потужності згідно зміни інтенсивності надлишкового ковзання двигунів трамвайного вагону Т-3 (рис. 6 і рис. 7).

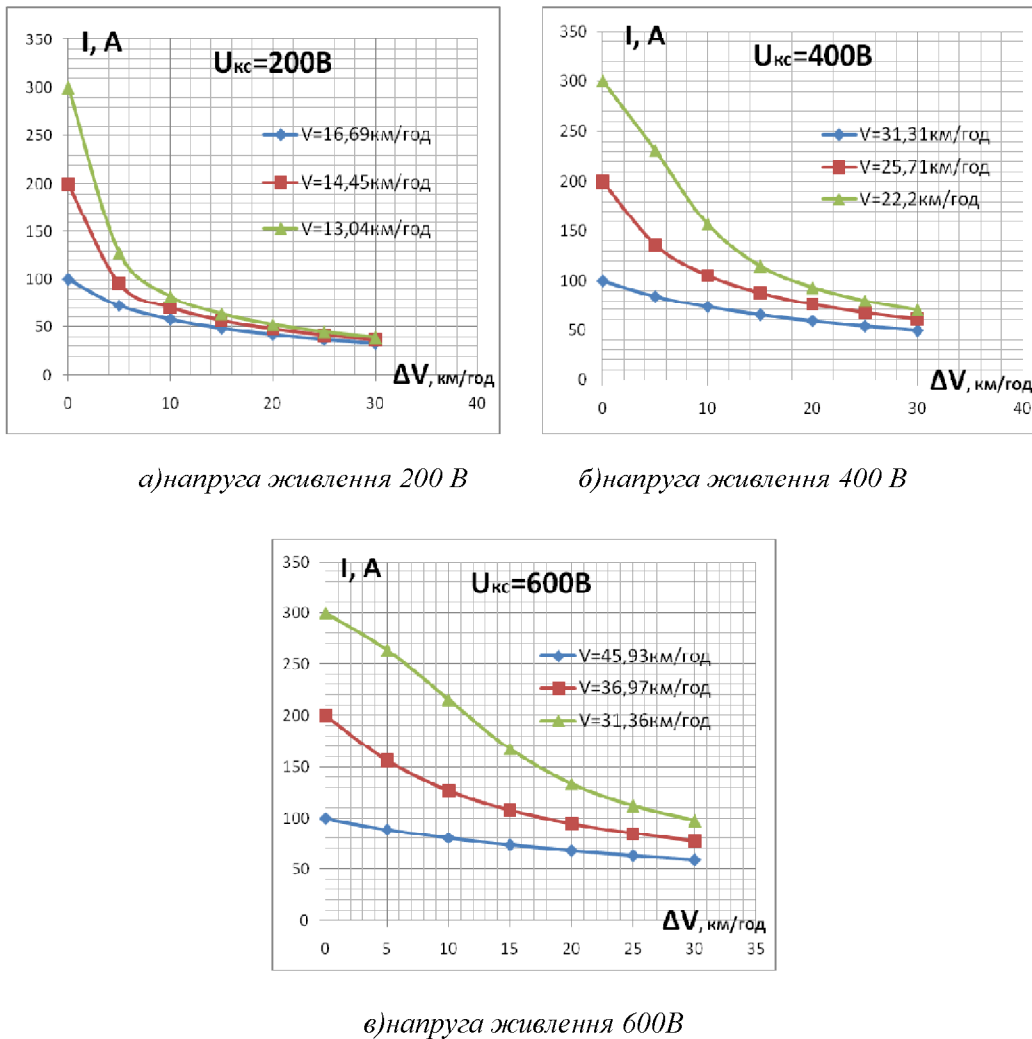
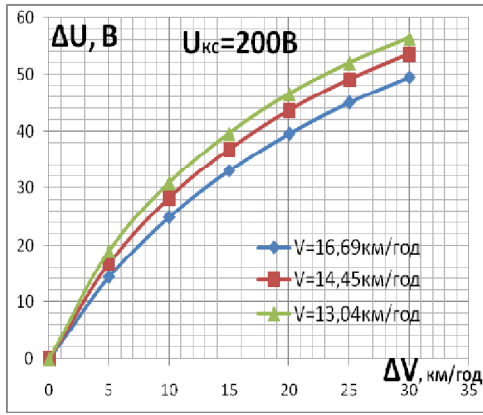
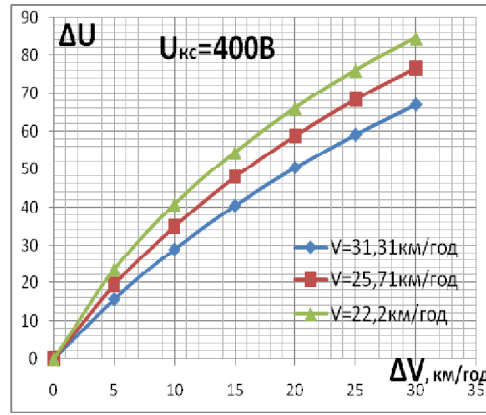


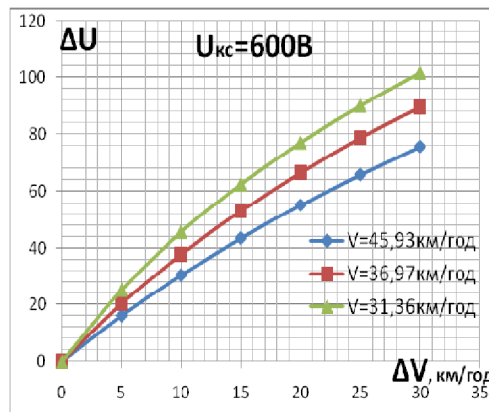
Рис. 4 - Залежність зміни струму від інтенсивності надлишкового ковзання $I=f(\Delta V)$ при різних значеннях напруги живлення



а) напруга живлення 200 В



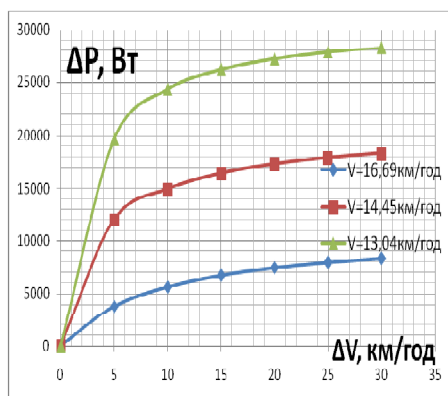
б) напруга живлення 400 В



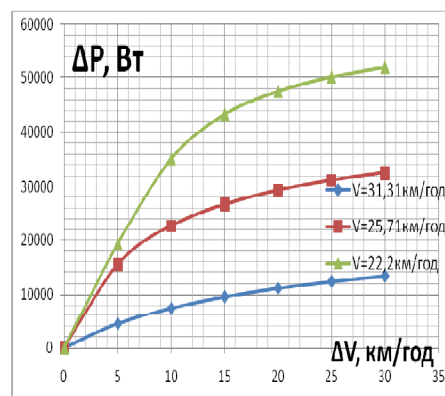
в) напруга живлення 600 В

Рис. 5 - Залежність напруги в еквіпотенційних точках від інтенсивності надлишкового ковзання $\Delta U=f(\Delta V)$ при різних значеннях напруги живлення

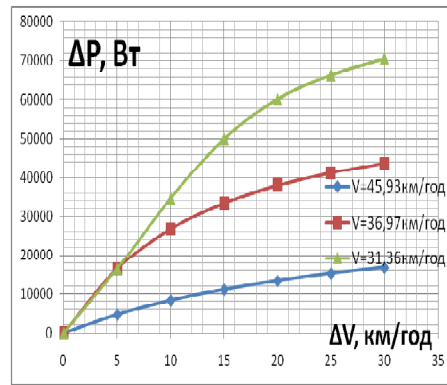
Проаналізувавши зміну напруги та струму на двигунах при виникненні буксування визначаємо значення втрат потужності на двигунах. Згідно розрахованим даним будемо характеристики втрат потужності згідно зміни інтенсивності надлишкового ковзання двигунів трамвайного вагону Т-3 (рис. 6 і рис. 7).



а) напруга живлення 200 В

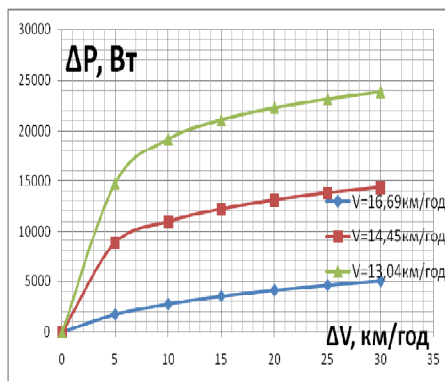


б) напруга живлення 400 В

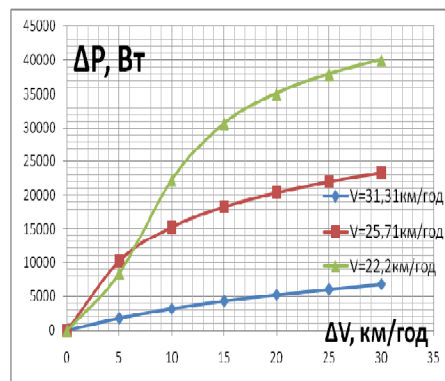


в) напруга живлення 600 В

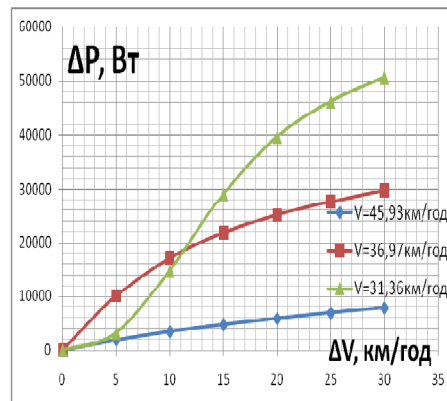
Рис. 6 - Залежності втрат потужностей двигунів не зв'язаних з буксуючою колісною парою від інтенсивності надлишкового ковзання $\Delta P = f(\Delta V)$ при різних значеннях напруги живлення



а) напруга живлення 200 В



б) напруга живлення 400 В



в) напруга живлення 600 В

Рис. 7 - Залежності втрат потужностей на двигунах зв'язаних з буксуючою колісною парою від інтенсивності надлишкового ковзання $\Delta P = f(\Delta V)$ при різних значеннях напруги живлення

У результаті проведених розрахунків були отримані характеристики зміни напруги в еквіпотенційних точках при різних значеннях інтенсивності надлишкового ковзання. Значення напруги в еквіпотенційних точках при інтенсивності надлишкового ковзання 30км/год може досягати 100В.

Виявлено, що при виникненні буксування втрати потужності на двигуні зв'язаному з буксуючою колісною парою можуть досягати до 50кВт. На двигуні не зв'язаному з буксуючою колісною парою втрати потужності можуть досягати до 70кВт.

Отримані характеристики зміни напруги в еквіпотенційних точках в залежності від інтенсивності ковзання. На основі проведених розрахунків будуть створені вузли виявлення і припинення буксування, які реагуватимуть в залежності від інтенсивності ковзання і припиняти цей процес ще до розвинення інтенсивного буксування.

Список використаної літератури

1. Корягина Е.Е. Электрооборудование трамваев и троллейбусов / Е.Е. Корягина, О.А. Коськин. – М.: Транспорт, 1982. – 296 с.
2. Алексеев В.Б. Теорема Абеля в задачах и решениях / Алексеев В.Б. - М.: Физматлит, 1976. - 192 с.
3. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрофицированных железных дорог. – М.: Транспорт, – 1980.– 471с.
4. Минов Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. М.: Транспорт, 1965. – 268 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТОЧКАХ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ БУКСОВАНИЯ

В. П. Андрейченко, С. А. Закурдай, Д. А. Матвейчук

В статье проанализирована изменение напряжения в эквипотенциальных точках последовательно-параллельно соединенных двигателей последовательного возбуждения трамвайного вагона. Исследовано влияние интенсивности буксировки на потери мощности двигателей. В результате исследования получены данные, которые будут использованы для дальнейшей разработки противобуксовочного устройства с высокими технико-экономическими показателями.

DETECTION OF CHANGES DEPENDING VOLTAGE EQUIPOTENTIAL POINT FROM SLIPPING INTENSITY

V. Andriychenko, S. Zakurday, D. Matviychuk

The paper analyzes the changes in voltage equipotential point series-parallel connected motors sequential excitation trams. The influence of the intensity of slipping on the loss of engine power. The study collected data will be used to further develop anti slip regulation system with high technical and economic indices.