

8. Системологія на транспорті / За заг. ред. Дмитриченка М. Ф. – Кн. V: Ергономіка / Е.В.Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін. – К.: Знання України, 2008. – 256 с.
9. Гюлев Н.У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора: Дисс. ... канд. техн. наук / Н.У. Гюлев. – Харьков, 1993. – 139 с.
10. Мишуринов В.М. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей / В.М. Мишуринов, А.Н. Романов, Н.А. Игнатов. – М.: МАДИ, 1982. – 254 с.
11. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. – М.: Медицина, 1979. – 296 с.
12. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.Н. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 222 с.
13. Давідіч Ю.О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Ю.О. Давідіч. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 292 с.
14. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения / Я.В. Хомяк. – К.: Вища шк., 1986. – 271 с.
15. Бабков В.Ф. Дорожные условия и организация движения / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1974. – 238 с.
16. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения / Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
17. Гюлев Н.У. К вопросу о зависимости плотности транспортного потока от функционального состояния водителя / Н.У. Гюлев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т.6/4(54). – С.65-67.
18. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков: Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 288 с.
19. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте / Э.В. Гаврилов. – К.: Техніка, 1976. – 152 с.
20. Бабков В.Ф. Дорожные условия и режимы движения автомобилей / В.Ф. Бабков, М.Б. Афанасьев, А.П. Васильев. – М.: Транспорт, 1967. – 227 с.
21. Гюлев Н.У. К вопросу о влиянии транспортного затора на динамический габарит автомобиля / Н.У. Гюлев // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ». – 2011. – №23. – С.118-122.
22. Гюлев Н.У. Влияние времени простоя автомобиля в дорожном заторе на функциональное состояние водителя / Н.У. Гюлев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т.1/10(49). – С.50-52.
23. Гюлев Н.У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н.У. Гюлев // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ». – 2011. – №2. – С.117-120.

Получено 05.03.2012

УДК 693.54

В.П.АНДРІЙЧЕНКО, О.В.ДОНЕЦЬ, кандидати техн. наук,
І.О.КОСТЕНКО

Харківська національна академія міського господарства

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Розглядається вдосконалення системи керування рухомих складом міського електричного транспорту. Пропонується використання DC-DC перетворювача для ослаблення поля тягових електродвигунів змішаного збудження.

Рассматривается усовершенствование системы управления подвижным составом городского электрического транспорта. Предлагается использование DC-DC преобразователя для ослабления поля тяговых электродвигателей смешанного возбуждения.

We consider the improvement of the management of urban rolling stock of electric transport. It is proposed to use DC-DC converter for field weakening traction motors of mixed excitation.

Ключові слова: DC-DC перетворювач, змішане збудження, ослаблення поля.

В багатьох містах України міський електричний транспорт відіграє велику роль в обслуговуванні населення. На його частку приходить більше половини усіх міських перевезень пасажирів. Такий великий попит на електротранспорт спонукає до розгляду питання щодо підвищення ефективності рухомого складу, що експлуатується в даний час. Велика частина діючого рухомого складу має застарілу та не економічну резистивно-контактну систему керування (РКСК). В статті пропонується вдосконалення РКСК за допомогою DC-DC перетворювача.

Питання щодо ослаблення поля тягових двигунів міського електричного транспорту розглядається в багатьох джерелах, здебільшого підручниках, з відповідними методиками розрахунків та аналізом [1, 2].

Дана система може працювати з двигунами змішаного збудження і забезпечує економічну та ефективну роботу в режимі ослаблення поля. Для полегшення розуміння роботи DC-DC перетворювача в режимі ослаблення поля розглянемо штатну систему ослаблення поля. Для прикладу візьмемо тяговий двигун ДК-210А3 тролейбуса ЗІУ-9. Ослаблення поля тягового двигуна ДК-210А3 виконується наступним чином: спочатку в коло шунтової обмотки вводиться додатковий опір, тим самим зменшується струм збудження. На наступній стадії паралельно серійній обмотці підключаються шунтові опори.

Очевидною неекономічністю цієї системи є те, що енергія розсіюється у вигляді тепла на шунтуючих опорах. Вдосконалити цю систему можна наступним чином: замість шунтуючого опору ввімкнути вхід DC-DC перетворювача. Шунтову обмотку відключити від мережі і підключити до виходу DC-DC перетворювача, але з протилежною полярністю. Подібне включення дозволяє економити енергію завдяки наступним чинникам:

- ККД DC-DC перетворювача знаходиться в межах 80-90%;
- енергія, яка поступає на вхід DC-DC, майже без втрат спрямовується на ослаблення поля завдяки реверсуванню струму в шунтовій обмотці;
- DC-DC перетворювач має незначні масогабаритні показники і собівартість.

Отже, розглянемо підключення DC-DC перетворювача до двигуна як комбінацію послідовного збудження з шунтом, де шунт – це умовно вхід DC-DC, і незалежного збудження.

В першому випадку (рис.1) за умови нескінченно малого вихідного струму DC-DC отримаємо двигун з послідовним збудженням, в якому можна змінювати $R_{ш}$ для досягнення певної міри ослаблення поля [4].

$$\alpha = \frac{R_{ш}}{R_3 + R_{ш}}, \quad (1)$$

де α – ступінь ослаблення поля двигуна; R_3 – опір послідовної обмотки збудження; $R_{ш}$ – опір шунта (входу DC-DC).

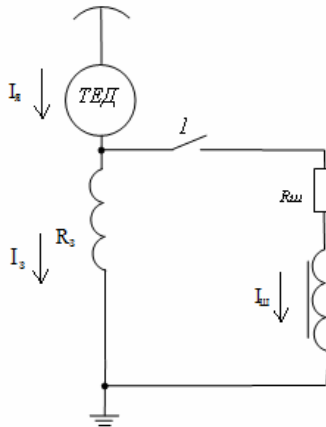


Рис.1 – Ослаблення поля двигуна послідовного збудження

Для цих же $R_{ш}$ визначено співвідношення струмів:

$$\frac{I_{ш}}{I_3} = \frac{R_3}{R_{ш}}; \quad (2)$$

$$I_{ш} + I_3 = I_я, \quad (3)$$

де $I_{ш}$ – струм шунта; I_3 – струм обмотки збудження двигуна; $I_я$ – струм якоря.

У другому випадку (рис.2) допускаємо, що $R_{ш}$ задано і звідси визначається доля струму через R_3 . Ослаблення поля в цьому випадку можна розглядати як взаємодію з паралельною, а точніше, з незалежною обмоткою. Вважаємо, що на попередньому етапі деякий струм протікає через $R_{ш}$ і вступає в дію додаткове ослаблення поля.

Підставляємо $I_{dc(in)}$ в (6):

$$\left[\frac{I_3 \cdot R_3}{R_{dc(in)}} \right]^2 \cdot R_{dc(in)} = K_{DC} \cdot I_{dc(out)}^2 \cdot R_{dc(out)} \quad (7)$$

З (7) визначаємо $I_{dc(out)}$:

$$I_{dc(out)}^2 = \frac{I_3^2 \cdot R_3^2 \cdot R_{dc(in)}}{R_{dc(in)}^2 \cdot K_{DC} \cdot R_{dc(out)}} \rightarrow I_{dc(out)} = \frac{I_3 \cdot R_3}{\sqrt{R_{dc(in)} \cdot K_{DC} \cdot R_{dc(out)}}} \quad (8)$$

Підставимо (8) в (5):

$$F_{on} = I_3 \cdot W_3 - I_3 \cdot \frac{R_3}{\sqrt{R_{dc(in)} \cdot K_{DC} \cdot R_{dc(out)}}} W_{dc(out)};$$

$$F_{on} = I_3 \left(W_3 - W_{dc(out)} \frac{R_3}{\sqrt{K_{DC} \cdot R_{dc(in)} \cdot R_{dc(out)}}} \right) \quad (9)$$

Отже, розрахувати магнітно-рухому силу F (А * вит) ослабленого поля з використанням DC-DC перетворювача можна задаючись струмом збудження серійної обмотки, вхідним опором DC-DC та коефіцієнтом корисної дії DC-DC. Розглянемо відмінність характеристик м.р.с. для двигуна ДК-210А3 з використанням DC-DC перетворювача і без нього.

Залежність $F(A \cdot \text{вит})$ від струму якоря для різних ступенів ослаблення поля без DC-DC перетворювача, а також значення $F(A \cdot \text{вит})$ з DC-DC та урахуванням фіксованого струму входу DC-DC наведено на рис.3.

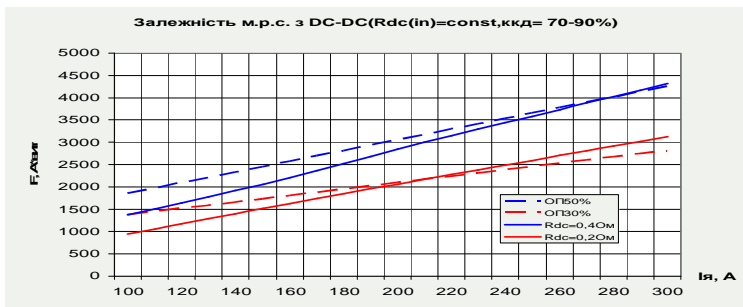


Рис.3 – Залежність м.р.с. з DC-DC ($R_{dc(in)} = \text{const}$)

Відповідна залежність потужності DC-DC перетворювача від струму якоря наведена на рис.4.

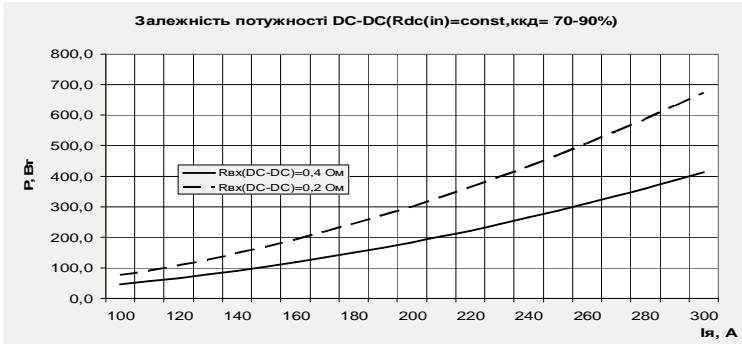


Рис.4 – Залежність потужності DC-DC перетворювача від струму якоря

Під «const» слід розуміти величину, яка задається оператором або системою керування з метою регулювання відповідних величин DC-DC перетворювача. Однак, на практиці отримати DC-DC з керованим вхідним опором досить складно, тому слід розглянути роботу DC-DC з регульованою вихідною напругою (в нашому випадку вихідний опір DC-DC фіксований).

$$I_{dc(in)} + I_3 = I_{\text{я}}. \quad (10)$$

Маємо $I_{dc(in)} = I_{\text{я}} - I_3$, звідки $I_{dc(in)}^2 \cdot R_{dc(in)} = P$.

Маємо

$$(I_{\text{я}} - I_3)^2 \cdot R_{dc(in)} = P; \quad (11)$$

$$I_{dc(in)} \cdot R_{dc(in)} = I_3 \cdot R_3.$$

Тоді

$$(I_{\text{я}} - I_3) \cdot R_{dc(in)} = I_3 \cdot R_3. \quad (12)$$

З (11) одержимо рівняння

$$R_{dc(in)} = \frac{P}{(I_{\text{я}} - I_3)^2}. \quad (13)$$

Підставляємо в (12):

$$(I_{\text{я}} - I_3) \cdot \frac{P}{(I_{\text{я}} - I_3)^2} = I_3 \cdot R_3 \Rightarrow \frac{P}{I_{\text{я}} - I_3} = I_3 \cdot R_3 \Rightarrow P = I_3 \cdot R_3 (I_{\text{я}} - I_3);$$

$$I_3 \cdot R_3 \cdot I_{\text{я}} - I_3^2 \cdot R_3 = P \Rightarrow R_3 \cdot I_3^2 - R_3 \cdot I_{\text{я}} \cdot I_3 + P = 0.$$

Оскільки $R_3 \neq 0$, можна розділити рівняння на R_3 :

$$I_3^2 - \frac{R_3}{R_3} \cdot I_{\text{я}} \cdot I_3 + \frac{P}{R_3} = 0 \Rightarrow I_3^2 - I_{\text{я}} \cdot I_3 + \frac{P}{R_3} = 0.$$

Складемо квадратне рівняння типу $ax^2 + bx + c = 0$ відносно I_3 з відповідними підстановками:

$$I_3 = x; a = 1; -I_{\text{я}} = b; \frac{P}{R_3} = c.$$

Корені рівняння $I_3^{(1)}$ і $I_3^{(2)}$ перевіряємо на допустимість і підставляємо в (13):

$$R_{dc(in)}^1 = \frac{P}{(I_{\text{я}} - I_3^{(1)})^2}; \quad R_{dc(in)}^2 = \frac{P}{(I_{\text{я}} - I_3^{(2)})^2}.$$

$I_3^{(1)}$ і $I_3^{(2)}$ підставляємо в (10), отримаємо також два струми:

$$I_{dc(in)}^{(1)} = I_{\text{я}} - I_3^{(1)};$$

$$I_{dc(in)}^{(2)} = I_{\text{я}} - I_3^{(2)}.$$

Корені рівняння (з урахуванням $a = 1$):

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a \cdot c}}{2a} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2};$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \cdot c}}{2a} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c}}{2};$$

$$D = b^2 - 4c.$$

Якщо $D > 0$, то рівняння має два різних дійсних кореня; якщо $D = 0$, то обидва корені рівняння дійсні і рівні; якщо $D < 0$, то корені рівняння комплексні.

В нашому випадку $D = I_{\text{я}}^2 - \frac{4P}{R_3}$;

$$I_3^{(1)} = \frac{+I_{\text{я}} + \sqrt{I_{\text{я}}^2 - \frac{4P}{R_3}}}{2}; \quad I_3^{(2)} = \frac{+I_{\text{я}} - \sqrt{I_{\text{я}}^2 - \frac{4P}{R_3}}}{2}. \quad (14)$$

Підставивши корні рівняння в (9), отримаємо значення магнітно-рухомої сили для фіксованого значення вихідної напруги DC-DC перетворювача:

$$F_{on} = \left(\frac{I_{я} - \sqrt{I_{я}^2 - \frac{4P}{R_3}}}{2} \right) \cdot \left(W_3 - W_{dc(out)} \frac{R_3}{\sqrt{K_{DC} \cdot R_{dc(in)} \cdot R_{dc(out)}}} \right). \quad (15)$$

Залежність $F(I_{я})$ для різних ступенів ослаблення поля без DC-DC перетворювача, а також значення м.р.с. з DC-DC з урахуванням вихідної напруги (регулювання з певним кроком) DC-DC наведено на рис.5.

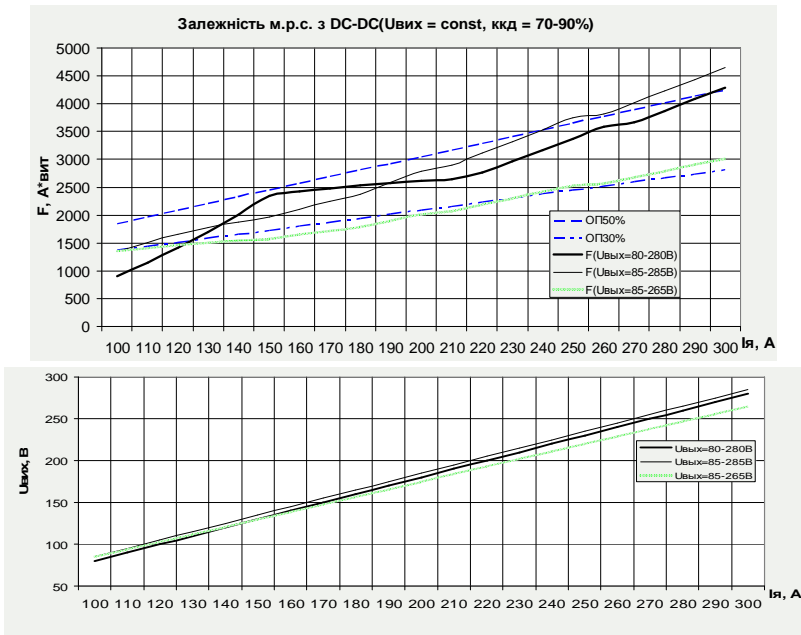


Рис.5 – Залежність м.р.с. від струму якоря з DC-DC ($U_{dc(out)} = 80-285В$)

Характеристики $F (A^* \text{вит})$ для різних ступенів ослаблення поля без DC-DC перетворювача, а також значення $F (A^* \text{вит})$ з DC-DC з урахуванням фіксованої вихідної напруги DC-DC наведено на рис.6.

Слід зазначити, що величина вихідної напруги, навіть при не суттєвій зміні, досить сильно впливає на результуючу магнітно-рухому силу F , і, як наслідок, ступінь ослаблення поля двигуна. Для коректної роботи системи ослаблення поля необхідно задаватися (за певним законом) $U_{dc(out)}$ відповідно до струму якоря. Система керування повинна

реагувати на зміну струму в якорі двигуна для підтримання ослаблення поля двигуна в заданих межах. Графіки на рис.6, в своїй більшості, є тільки теоретичними, оскільки значна частина кривої F знаходиться в області, де $U_{dc(in)}$ менше 2-3В, що є несумісним з роботою напівпровідникових приладів DC-DC перетворювача.

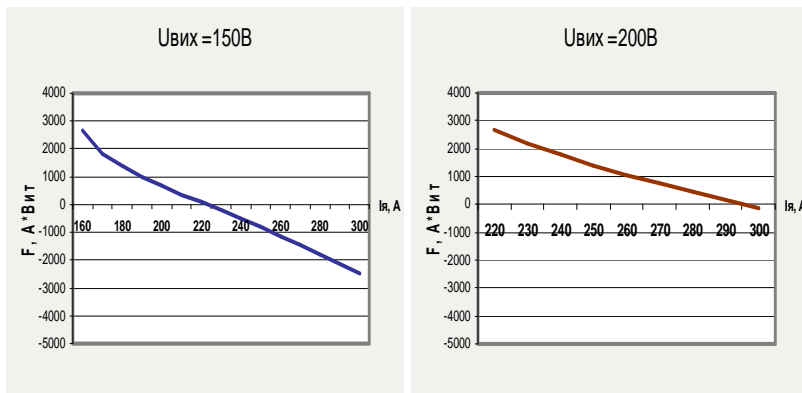


Рис.6 – Залежність м.п.с. з DC-DC ($U_{dc(out)} = \text{const}$)

- 1.Корягина Е.Е., Коськин О.А. Электрооборудование трамваев и троллейбусов. – М.: Транспорт, 1982. – 296 с.
- 2.Ефремов И.С., Косарев Г.В. Теория и расчет троллейбусов (электрическое оборудование). Ч. 2. – М.: Высш. шк., 1981. – 248 с.
- 3.Гаврилов Я.И., Мнацаканов В.А. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями. – М.: Транспорт, 1986. – 229 с.
- 4.Андрійченко В.П., Закурдай С.О. Електричне обладнання рухомого складу міського електричного транспорту. Регулювання тягових електричних двигунів рухомого складу в режимі тяги. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 81 с.
- 5.Евгений Звонарев. Микросхемы для DC/DC-преобразователей от STMicroelectronics // Информационно-технический журнал для разработчиков электроники. – 2010. – №6. – С.7-9.

Отримано 04.03.2012

УДК 621.333

А.І.БЕСАРАБ, В.М.БУШМА, С.А.КАЛКАМАНОВ, д-р техн. наук
Харківська національна академія міського господарства

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Розглядаються основні напрямки модернізації тягових електричних машин постійного струму на основі досліджень магнітних систем та ізоляції.