

УДК 621.3

І. О. КОСТЕНКО, О. М. ПЕТРЕНКО

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ  
ДЛЯ ПРИСТОРОЮ ОСЛАБЛЕННЯ ПОЛЯ

Пропонується алгоритм керування DC-DC системою ослаблення поля тягових двигунів змішаного збудження. Наведені структурна схема DC-DC перетворювача та функціональна схема алгоритму керування. Задача виконується за допомогою мікроконтролера, а також ряду допоміжних датчиків, зокрема датчиків струму, температури, обертів, напруги, тощо. Система розглядається на прикладі тролейбусу ЗІУ-9 з резистивно-контакторною системою керування.

**Ключові слова:** алгоритм, DC-DC перетворювач, двигун, ослаблення поля, мікроконтролер

**Вступ.** З метою покращення енергоефективності рухомого складу, а також його регульованих характеристик приймаються різні засоби. Зокрема, вдосконалення схемних рішень, перехід на імпульсні системи керування тяговим двигуном, застосування напівпровідникових ключових приладів з меншими внутрішніми втратами, тощо. Режим ослаблення поля тягових двигунів є одним з основних режимів роботи рухомого складу електротранспорту. В попередніх статтях [1, 2] автором було детально розглянуто вдосконалення системи ослаблення поля за допомогою DC-DC перетворювача. Обґрунтовані всі переваги та недоліки такого способу регулювання збудження машини постійного струму, але зовсім не було порушено питання системи керування, зокрема алгоритму, відповідно за яким повинно відбуватися ослаблення поля.

**Мета.** Детальне роз'яснення алгоритму роботи системи керування ослаблення поля тролейбусу ЗІУ-9 з використанням DC-DC перетворювача.

Розширена структурна схема DC-DC перетворювача з усіма необхідними датчиками наведена на рис. 1.

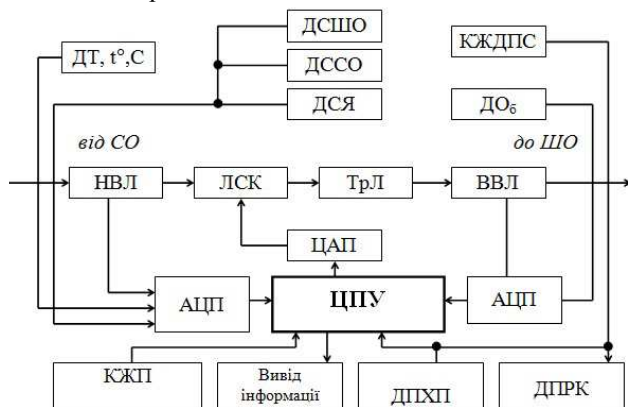


Рис. 1 – Розширена структурна схема DC-DC перетворювача: ДПХП – датчик положення ходової педалі водія; ДПРК – датчик положення реостатного контролера; ДСШО – датчик струму шунтової обмотки; ДССО – датчик струму серієсної обмотки; ДСЯ – датчик струму якоря; ДО<sub>6</sub> – датчик обертів валу двигуна; ДТ – датчик температури двигуна та перетворювача; КЖП – контролер живлення перетворювача DC-DC перетворювача; КЖДПС – контролер живлення двигуна постійного струму

**Алгоритм роботи контролера DC-DC перетворювача на рухомому складі.** На початку роботи програми контролера, зчитуються з ПЗУ прописані заздалегідь значення струму "прибавки" в шунтової обмотці  $\Delta I_{ш}$  (1-10А), а також значення допустимої величини відхилення ослаблення поля  $\Delta \alpha$  (в межах 0,03-0,01). Далі перевіряється стану датчиків контролерів живлення перетворювача і тягового двигуна (логічна "1" у разі, якщо живлення напруги двигуна і перетворювача знаходяться в допустимих межах).

Потім зчитуються значення датчиків ДПХП (датчик положення ходової педалі) і ДПРК (датчик положення реостатного контролера).

ДПХП може мати 5 можливих станів: відключено, маневрове, I ходове, II ходове, III ходове. ДПРК-7 значень відповідних 6 останнім позиціям реостатного контролера з 13 по 18 і "викл". Причому, кожне положення ходової педалі повинно строго відповідати певним позиціям реостатного контролера (див. табл. 1). Якщо відповідності немає-видається повідомлення про помилку (не вказано в схемі алгоритму), якщо відповідність виконується – програма переходить до наступного кроку.

Таблиця 1 – Таблиця відповідностей значень датчиків ДПХП і ДПРК

ДПХП	ДПРК	Дозвіл на перехід до наступного кроку
"відключено"	Будь-яке	No
Маневрове	"відключено"	No
I	"відключено"	No
I	14,15	Yes
II	16,17	Yes
III	18	Yes

Алгоритм роботи програми контролера DC-DC перетворювача наведено на рис. 2.

У разі отримання результату «No», програма контролера знову повертається до перевірки станів датчиків ДПХП і ДПРК, витримавши деяку затримку в часі (від 1 до 500 ms) і повторно перевіривши рівні живлячої напруги.

У разі результату «Yes», програма переходить до перевірки станів датчиків струмів якоря, серієсної і шунтової обмоток, а також перевіряються температурні режими силових ключів DC-DC перетворювача і високочастотного трансформатора.

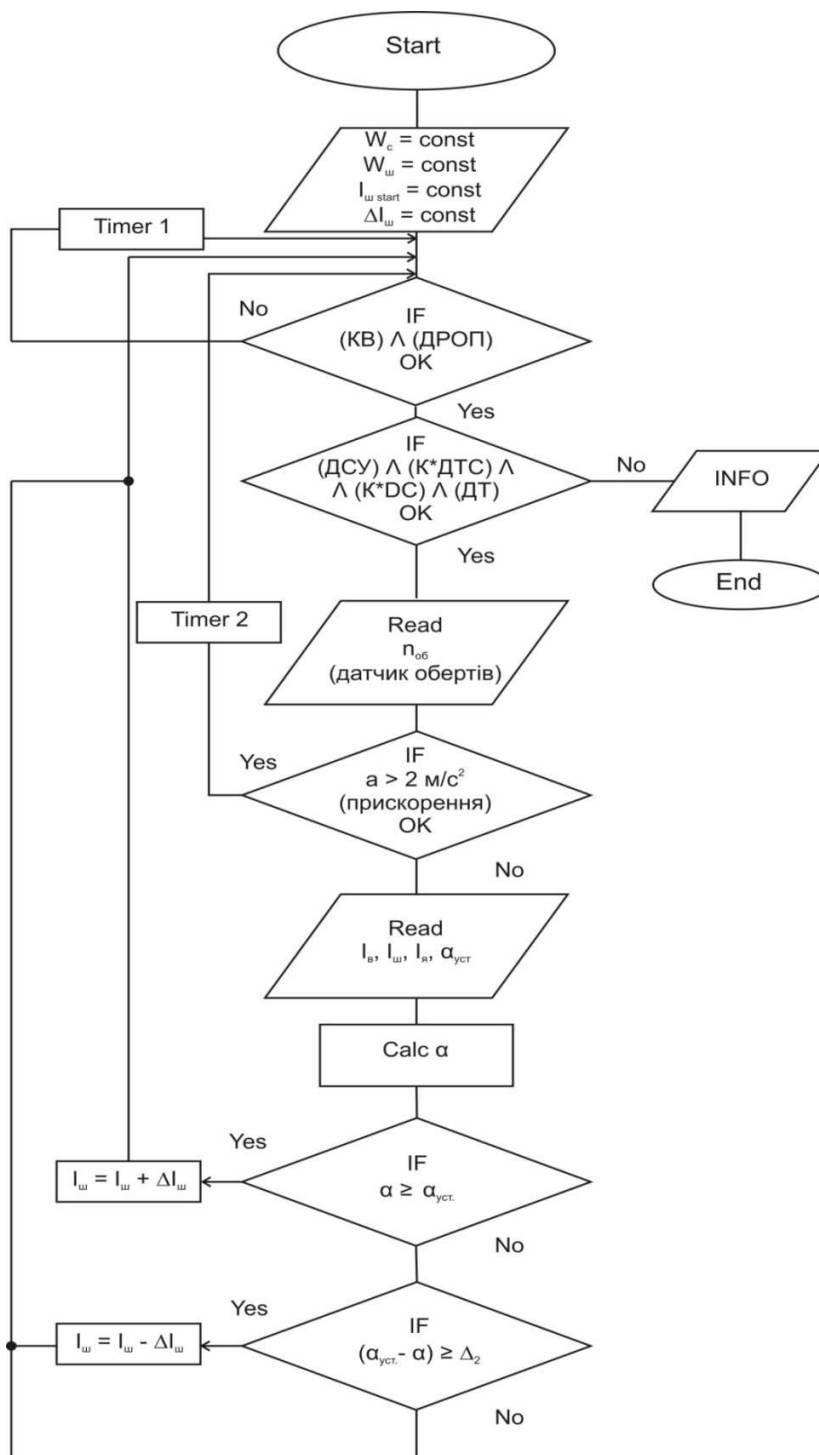


Рис. 2 – Функціональна схема алгоритму роботи програми контролера DC-DC перетворювача

Якщо всі рівні струмів і температур знаходяться в допустимих межах (граничні межі заздалегідь прописуються в ПЗУ), то контролер переходить до наступного кроку, де відбувається зчитування числа оборотів в обертання двигуна за секунду. Ці дані необхідні для визначення величини прискорення рухомого складу.

Далі слід порівняння обчисленого значення прискорення  $\alpha$  з допустимо можливим (може бути встановлено в межах від 1 до 2 м/с). У разі, коли обчислене прискорення з яких-небудь причин перевищує припустиме, контролер витримує "паузу" в

десятки мілісекунд і проводить вимірювання та порівняння повторно, починаючи з перевірки напруги живлення.

У тому випадку, якщо величина прискорення не перевищує допустимого значення, контролер виконує зчитування значень струмів якоря, шунтової і сервісної обмоток, а також значення величини ослаблення поля, що відповідає положенню реостатного контролера на момент зчитування інформації. Дані відповідностей положення позицій реостатного контролера і рівня ослаблення поля тягового двигуна приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Таблиця відповідностей значень ДПРК і  $\alpha_{уст}$ 

ДПРК	$\alpha_{уст}$ , %
13	100
14	90
15	72
16	53
17	40
18	30

Значення  $\alpha_{уст}$  – це та величина ослаблення поля тягового двигуна, яку потрібно отримати за допомогою DC-DC перетворювача.

Далі відбувається обчислення  $\alpha$  виходячи з обчислених значень струмів якоря, шунтової і серієсної обмоток в попередньому кроці.

Обчислене значення  $\alpha$  порівнюється з  $\alpha_{уст}$ . Якщо значення  $\alpha$  більше  $\alpha_{уст}$  (тобто, розраховані значення ослаблення поля не досягли необхідного  $\alpha_{уст}$ ), тоді контролер збільшує струм шунтової обмотки на задану величину  $\Delta I_{ш}$  шляхом збільшення часу відкриття силових ключів.

У разі, якщо ж величина  $\alpha$  виявилася менш  $\alpha_{уст}$ , тоді контролер перевіряє величину  $\alpha$  на предмет "переослаблення". Якщо величина  $\alpha$  не перевищила допуск  $\Delta\alpha$ , то контролер, не вживаючи ніяких дій, повертається на етап перевірки живлячих напруг. Якщо ж допустиме відхилення  $\Delta\alpha$  перевищено, контролер зменшує струм в шунтової обмотці шляхом зменшення часу відкриття силових ключів. Після додавання (віднімання) струмів до шунтової обмотки, програма контролера повертається в точку перевірки живлячих напруг.

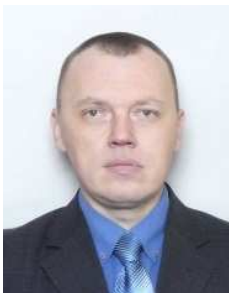
Цикл роботи контролера завершений.

**Висновки.** Розроблено алгоритм роботи схеми ослаблення поля з використанням високочастотного перетворювача для роботи на електрорухомому складі. Детально роз'яснено принцип його функціонування. Використання даного алгоритму роботи системи ослаблення поля на основі DC-DC перетворювача дозволяє переобладнання реостатної системи ослаблення поля рухомого складу без суттєвих переробок.



**Костенко Іван Олександрович** – Харківський Національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, асистент кафедри електричного транспорту; тел.: (057) 705-31-14

**Kostenko Ivan Aleksandrovich** – Kharkiv National University of Urban Economy O.M. Beketov, the assistant of electric transport; tel.: (057) 705-31-14



**Петренко Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, Харківський Національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, старший викладач кафедри електричного транспорту; тел.: (095) 688-27-16; e-mail: petersanya2007@mail.ru.

**Petrenko Alexander Nikolayevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Kharkiv National University of Urban Economy O.M. Beketov, Senior Lecturer at the Department of Electrical transport, tel.: (095) 688-27-16; e-mail: petersanya2007@mail.ru.

**Список літератури:** 1. Андрійченко В.П., Костенко І.О., Герасименко В.А. Вдосконалення системи керування рухомим складом електричного транспорту з використанням DC-DC перетворювача. Коммунальное хоз-во городов: Научн.-техн. сб.: Выпуск 103. – К.: Техніка. 2012. – С. 489 – 497. 2. Андрійченко В.П., Закурдай С.О. Костенко І.О. Вдосконалення способу регулювання збудження тягових двигунів постійного струму. Східно-Європейський журнал передових технологій.: Випуск 67. – Издательство 2014. С. 31-35. 3. Шуров Н.И. Теория электрической тяги: [Учеб. Пособие] / Н. И. Шуров – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 100с. 4. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин – М.: Издательский дом «Додэка - XXI», 2005. – 384 с. 5. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с. 6. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 272с. 7. Ефремов И. С. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского транспорта / И. С. Ефремов, Г. В. Косарев. – М.: Высшая школа, 1976. – 473с. 8. Звонарев Е. Микросхемы для DC/DC-преобразователей от ST Microelectronics / Звонарев Е. – Информационно-технический журнал для разработчиков электроники. – 2010, №6.

**Bibliography (transliterated):** 1. Andriychenko V.P., Kostenko I.O., Herasymenko V.A. Vdoskonalennya systemy keruvannya rukhomym skladom elektrychnoho transportu z vykorystannyam DC-DC peretvoryuvacha. Kommunal'noekhoz-vo horodov: Nauchn.-tekh. sb.: Vypusk 103. Kiev: Tekhnika. 2012. 489-497. Print. 2. Andriychenko V.P. Zakurday S.O. Kostenko I.O. Vdoskonalennya sposobu rehulyuvannya zbudzhennya tyahovykh dyvuhuniv postynnoho strumu. Skhidno-Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy: No 67. – Izdatel'stvo 2014. 31-35. Print. 3. Shhurov N.I. Teorija jelektricheskoy t'jagi: Ucheb.Posobie. N. I. Shhurov. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004. – 100 p. Print. 4. Voronin P. A. Silovye poluprovodnikovye kljuchi: semejstva, harakteristiki, primenenie. P.A. Voronin – Moscow: Izdatel'skij dom «Dodjeka - XXI», 2005. – 384 p. Print. 5. Frajden Dzh. Sovremennyye datchiki. Spravochnik. Dzh. Frajden. – Moscow: Tehnosfera, 2005. – 592 p. Print. 6. Impul'snye istochniki pitaniya. Teoreticheskie osnovy proektirovanija i rukovodstvo po prakticheskomu primeneniju. Per. s angl. – Moscow: Izdatel'skij dom «Dodjeka-XXI», 2008. – 272 p. Print. 7. Efremov I.S. Teorija i raschet jelektrorobudovanija podvizhnogo sostava gorodskogo transporta. I. S. Efremov, G. V. Kosarev. – Moscow: Vysshaja shkola, 1976. – 473 p. Print. 8. Zvonarev E. Mikroshemy dlja DC/DC-preobrazovatelej ot ST Microelectronics. Zvonarev E. – Informacionno-tehnicheskij zhurnal dlja razrabotchikov jelektroniki. – 2010, No 6.

Поступила (received) 09.10.2015