

УДК 629.423

Ю. М. Черних
А. С. Романюк
С. О. Гулак

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОСЛАБЛЕННЯ ЗБУДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

На основі аналізу роботи електровозів показані недоліки існуючих систем регулювання ослаблення збудження тягових двигунів. Запропоновано напівпровідникова система ослаблення збудження, при якій тягові характеристики електровозів змінного струму з колекторним тяговими двигунами відрізняються від штатних на 3-5%, зберігається штатна система електричного гальмування, але при цьому в реостатному гальмуванні істотніше усувається процес юза колісної пари.

На основе анализа работы электровозов показаны недостатки существующих систем регулирования ослабления возбуждения тяговых двигателей. Предложена полупроводниковая система ослабления возбуждения, при которой тяговые характеристики электровозов переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями отличаются от штатных на 3-5%, сохраняется штатная система электрического торможения, но при этом в реостатном торможении существенно устраняется процесс юза колесной пары.

Based on the analysis of electric shows shortcomings of existing systems of regulation weakening of traction motors. Proposed field weakening semiconductor system in which the traction characteristics of electric AC commutator motors differ from regular 3-5% retained nominal electric braking system, but in the dynamic braking process significantly reduces skidding wheelset.

Ключові слова: електровоз змінного струму, індуктивний шунт, керований напівпровідниковий прилад, тяговий електродвигун.

Як відомо регулювання ослаблення збудження - це засіб більш повного використання можливостей тягового електродвигуна, яке призначене для зміни швидкості електрорухомого складу при русі на природних характеристиках двигуна, підвищення плавності пуску, ліквідації боксування (юза) колісних пар, захисту тягових двигунів у режимі реостатного гальмування [1,2].

На вітчизняних електровозах змінного струму з колекторним тяговими електродвигунами найбільшого поширення набула контакторно-резисторна система регулювання збудження з використанням індуктивних шунтів [3,4,5].

© Черних Ю. М., Романюк А. С., Гулак С. О., 2013

Аналіз роботи електровозів показує значне число відмов по тягових двигунах. Однією з причин незадовільного технічного стану електровозів, що веде до збільшення відмов тягових двигунів, є проблема пов'язана з індуктивними шунтами, які задіяні в системі ослаблення збудження тягових двигунів. Проблема посилюється тим, що деякі депо не мають достатнього запасу зазначених шунтів, що викликає складність при ремонтах. Тут слід зазначити складність виготовлення, високу вартість, велику масу і габарити індуктивних шунтів.

Крім того застосування морально застарілих енергоустановок з низькими конструктивними та експлуатаційними показниками, яким є індуктивний шунт, тягне за собою підвищену витрату енергії і додаткові енерговитрати на експлуатацію та ремонт електровозів.

Дану проблему пропонується вирішити шляхом модернізації системи ослаблення збудження тягових двигунів, за рахунок заміни дорогих і громіздких приладів напівпровідниковими системами, а саме, приладом який буде замінити індуктивний шунт.

Силові напівпровідникові прилади дають можливість удосконалювати традиційно використовувані системи збудження за рахунок швидкодії, незначною маси і габаритів, зниження витрат на ремонт і обслуговування, однак наявність пульсацій струму тягових електродвигунів накладає обмеження на використання напівпровідникових приладів в пристроях ослаблення збудження. Відмінною особливістю тягових двигунів електровозів змінного струму є мале падіння напруги на обмотці збудження. При струмах 100-200А незначна величина напруги на обмотці збудження (для електровозів ВЛ80С, ВЛ80Т напруга на обмотці збудження складає 0,79-1,58 В) може призвести до вимикання напівпровідникового приладу, що необхідно враховувати при розробці ключа і алгоритму його роботи.

При відновленні напруги живлення ТЕД струм якоря двигуна розраховувався за відомими формулами [6,7].

$$i = \frac{4 \cdot U_{2m}}{3 \cdot \pi \cdot 2 \cdot \omega \cdot L} \cdot \sin(2\omega t + \psi) + \frac{U_d - C_V \cdot \Phi \cdot V - 2p \cdot w_B \cdot \sigma \cdot \frac{d\Phi}{dt}}{r} \cdot (1 - e^{-\delta t}), \quad (1)$$

де U_{2m} – амплітудне значення випрямленої напруги;

ψ – початкова фаза;

$2p$ – число пар полюсів тягового двигуна;

σ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку головних полюсів;

$\delta = \frac{r}{L}$ – коефіцієнт загасання;

r – опір ланцюга навантаження;

L – індуктивність ланцюга навантаження;

C_V – конструктивна постійна електроприводу;

V – швидкість руху електровоза;

ω – кутова частота;

Φ – магнітний потік;

w_B – число витків обмотки збудження;

U_d – середня випрямлена напруга;

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} - \frac{2 \cdot X_T}{\pi} \cdot I_{я} \quad (2)$$

де U_2 – діюче значення випрямленої напруги;

X_T – індуктивний опір тягового трансформатора;

$I_{я}$ – середнє значення струму якоря ТЕД.

Відновлення напруги на ТЕД, як найбільш небезпечний нестационарний режим, був промодельований за допомогою програми Matlab [8].

Результати розрахунку і комп'ютерного моделювання показали, що з виключенням режиму ослаблення збудження кидки струму зменшуються на 16 %, а з додатковим відключенням шунтуючого резистора на 22 %.

Для обмеження амплітуди струму в нестационарних режимах роботи ТЕД при ослабленому збудженні доцільно відключати ланцюг, шунтуючу обмотку збудження, швидкодіючими напівпровідниковими ключами.

Як ключовий елемент були використані одноопераційні тиристори SCR, двоопераційні тиристори GTO, IGCT, транзистори IGBT.

У режимі ослабленого збудження коефіцієнт регулювання збудження β визначається величинами опорів резисторів $R_{шо}$ і $R_{ш}$ і падінням напруги на напівпровідниковому приладі.

При використанні одноопераційних тиристорів в системі ослаблення збудження представлено схемне рішення з пасивним зарядом комутуючого конденсатора від якоря тягового двигуна (рис. 1). Для обмеження післякомутаційної напруги на конденсаторі паралельно якоря двигуна включений зворотний діод. Реактор L_k застосований для запобігання швидкості наростання струму тиристорів при перезарядженні конденсатора.

Як ключовий елемент в системі ослаблення збудження ТЕД також досліджені повністю керовані напівпровідникові прилади (IGBT транзистори). На рис. 2 і 3 наведені схема безіндуктивного шунта і алгоритм її роботи.

Висновок

1. За результатами дослідження отримано узагальнені характеристики електровоза в режимі ослаблення збудження, що дозволяють оцінити вплив напівпровідникових приладів на коефіцієнт регулювання збудження. Виявилось в діапазоні струмів 300 ... 1200А коефіцієнт β змінюється в межах: для схеми з тиристором - 0,53-0,35; з транзистором IGBT - 0,48-0,36. Тягові характеристики електровоза з напівпровідниковою системою ослаблення збудження відрізняються від штатних максимально на 3 – 4 % (з IGBT), 4-5 % (з SCR).

2. Для отримання номінальних характеристик ТЕД в режимі ослабленого збудження необхідна коригування величини шунтуючого резистора. На 1 та 2-ій позиціях ослаблення збудження при використанні безіндуктивного шунта на IGBT транзисторі необхідно збільшити величину опору шунтуючого резистора $R_{ш}$ на 0,014 Ом і 0,0054 Ом відповідно.

3. Застосування безіндуктивного шунта на повністю керованих напівпровідникових приладах дозволяє зберегти штатну систему електричного гальмування. Напівпровідниковий шунт при роботі електровоза в реостатному гальмуванні дозволяє інтенсивніше усувати процес юза колісної пари за рахунок зниження струму збудження, яке для штатної схеми складає 30 %, з транзистором 32-36 %.

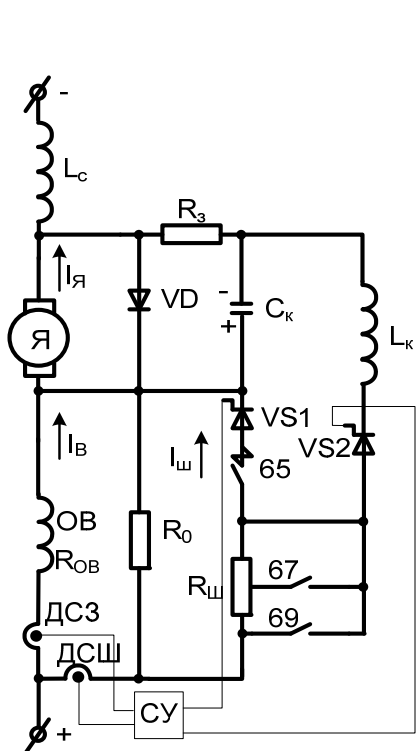


Рис. 1. Безіндуктивний шунт на одноопераційних тиристорах (СУ – система управління)

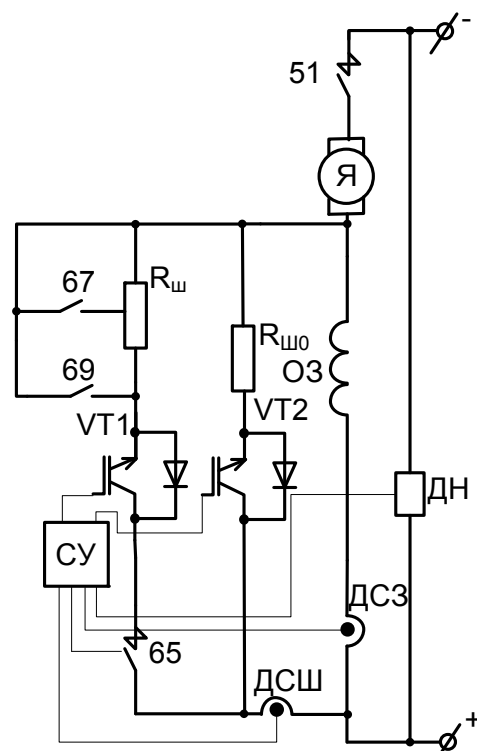


Рис. 2. Схема безіндуктивного шунта на транзисторах (ДН – датчик напруги; ДСЗ, ДСШ – датчики струму збудження і шунта)

4. Результат аналізу напівпровідникових приладів методом експертних оцінок (по найбільшому показнику вагових коефіцієнтів і найменшому значенню коефіцієнтів варіації) показав доцільність використання в системі ослаблення збудження IGBT транзисторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н. Теория электрической тяги: Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1983. – 328с.
2. Быстрицкий Х. Я., Дубровский З. М., Ребрик Б. Н. Устройство и работа электровозов переменного тока: Учебник для технических школ железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1982. – 456 с.
3. Электровоз ВЛ80С. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1982. – 622 с.
4. Тушканов Б. А., Пушкарев Н. Г. и др. Электровоз ВЛ85. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
5. Каптелкин В. А., Колесин Ю. В., Ильин И. П. Пассажирские электровозы ЧС4 и ЧС4Т. – М.: Транспорт, 1975. – 384 с.
6. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы. Под ред. В. Г. Герасимова – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
7. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Дніпропетровськ.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
8. Новгородцев А. Б. Расчет электрических цепей в MATLAB: Учебный курс. – СПб.: Питер, 2004. – 250 с.

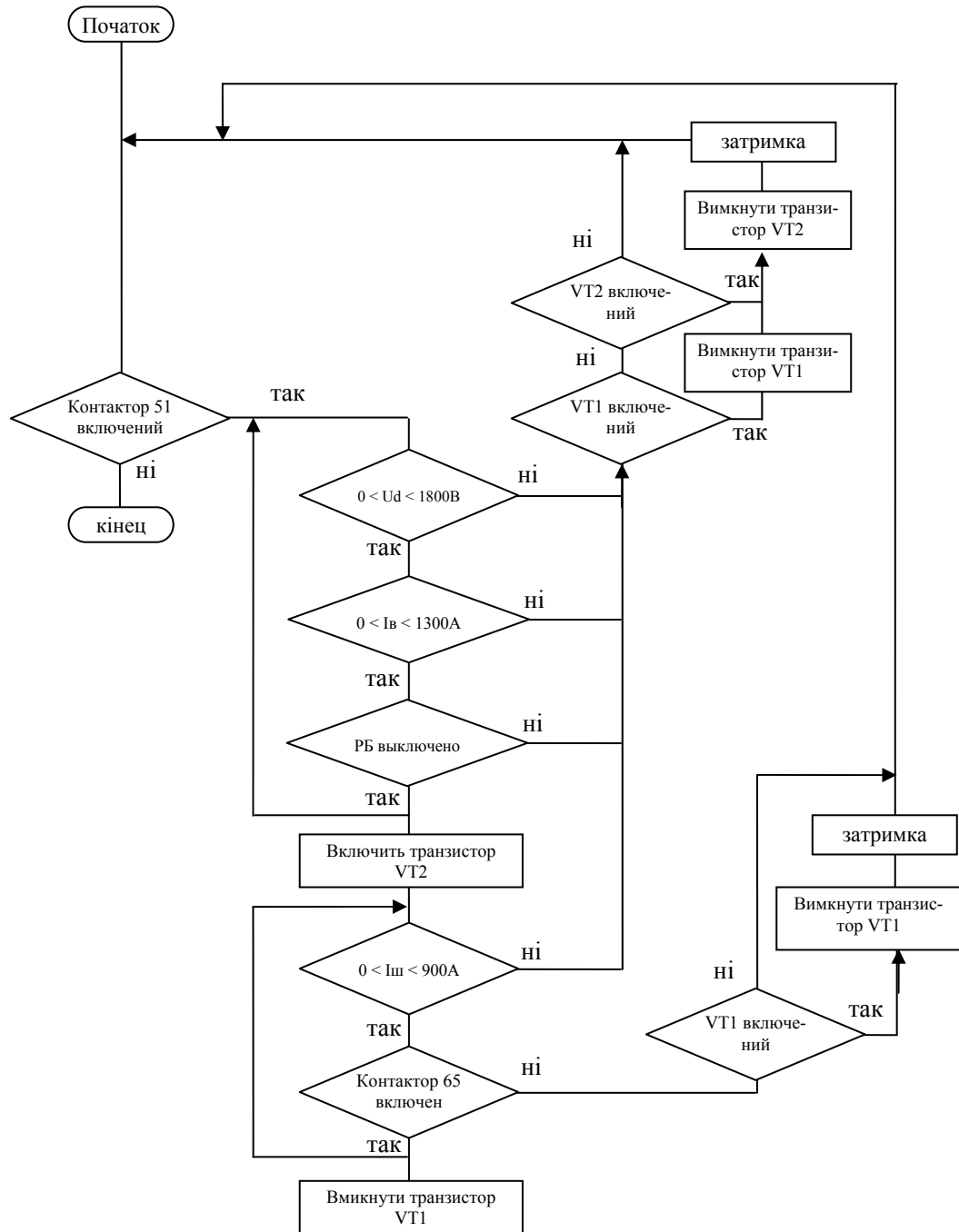


Рис. 3. Алгоритм роботи безіндуктивного шунта