

УДК 623.773, 621.3.078.001



Ю. В. Красношاپка



К. В. Коритченко



О. В. Мартиненко



І. В. Цебрюк



Г. О. Радіонов

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПТ-800 ТА ПН-800 У СТАБІЛІЗАТОРІ ТАНКОВОГО ОЗБРОЄННЯ 2Е42 У ПУСКОВОМУ ТА АВАРІЙНОМУ РЕЖИМАХ

У статті подано результати порівняльного дослідження роботи перетворювачів ПТ-800 та ПН-800 у стабілізаторі танкового озброєння 2Е42 у пусковому та аварійному режимах. Дослідження проведене на танку Т-64Б шляхом виносного підключення перетворювачів у подібних умовах навантаження. Отримані залежності часу виходу гіртахометра на номінальний режим від різних джерел живлення. Обґрунтовано застосування частотного регулювання пуску для скорочення часу виходу перетворювача на номінальний режим.

К л ю ч о в і с л о в а : стабілізатор 2Е42, танкове озброєння, перетворювачі ПТ-800 та ПН-800, пусковий та аварійний режими.

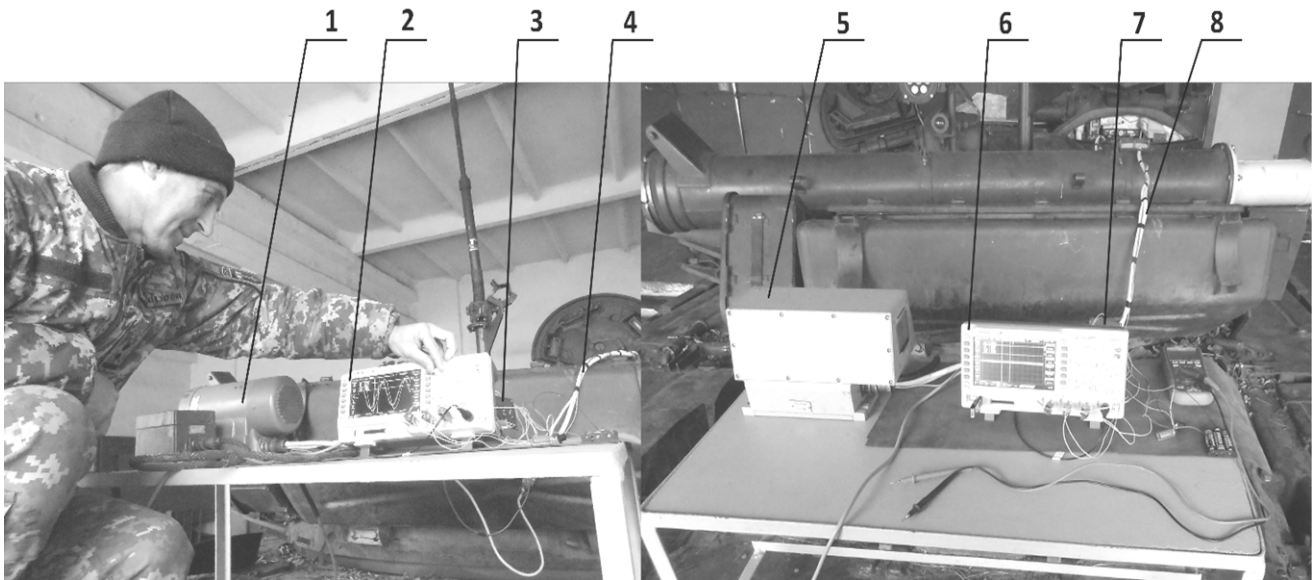
Постановка проблеми. Аналіз модернізації іноземних зразків бойових машин країн-членів НАТО (США – «Abrams» М1А2 SEP V3, Німеччина – «Leopard» 2А7+, Франція – АМХ-56 «Leclerc», Велика Британія – «Challenger-2») та їх партнерів (Південна Корея – К2 «Black Panther», Японія – «Type 90») показав, що кожний наступний модернізований зразок озброєння несе в собі все більше удосконалень системи вторинного електроживлення [1]. Електричне навантаження електрообладнання бронетанкового озброєння та техніки (БТОТ), яке не віднесене до бортової мережі, у зв'язку з постійним збільшенням покладених на них функцій та підвищенням вимог до якості електроенергії, що споживається, потребують збільшення потужності та стабільності показників електричної енергії вторинних джерел електроживлення (ВДЕЖ).

Аналіз досліджень і публікацій. Модернізація ВДЕЖ можлива завдяки сучасним технологічним рішенням та, як наслідок, суттєвому підвищенню коефіцієнта корисної дії ВДЕЖ. Процес вдосконалення ВДЕЖ є постійним і безперервним і має за мету значне покращення якості та стабільності роботи складових комплексу озброєння БТОТ, приведення їх у відповідність до вимог сучасності без суттєвого зростання їхньої вартості [1]. Україна також не є виключенням. На сьогоднішній день основу танкових військ Збройних Сил України складають танки Т-64 різних модифікацій, найчисельнішою з яких є Т-64БВ. Даний зразок випускався до середини 80-х років минулого сторіччя і цілком відповідав тогочасному технологічному рівню БТОТ [2]. Сучасна експлуатація зразків озброєння та військової техніки ЗСУ і НГУ в умовах російсько-української війни та економічна ситуація в Україні підтверджують пріоритетність напрямку підвищення технічної надійності бойових машин та вдосконалення їх тактико-технічних характеристик шляхом глибокої модернізації, насамперед системи управління вогнем (СУВ).

Фахівцями Харківського приладобудівельного заводу ім. Т. Г. Шевченка розроблено електростатичний перетворювач ПН-800 на заміну електромашинного перетворювача ПТ-800. У даній статті проведене порівняльне дослідження роботи перетворювачів ПТ-800 та ПН-800 у стабілізаторі танкового озброєння 2Е42 у пусковому та аварійному режимах для визначення впливу заміни перетворювача на характеристики СУВ в цілому. Дослідження пускового режиму дозволяють визначити час приведення СУВ до бойового застосування, а аварійний режим дозволяє визначити вимоги до автоматичної системи захисту.

Метою статті є визначення впливу типу перетворювача на час виходу стабілізатора танкового озброєння 2Е42 на робочий режим та визначення аварійних струмів, що виникають під час короткого замикання напруги на виході перетворювача.

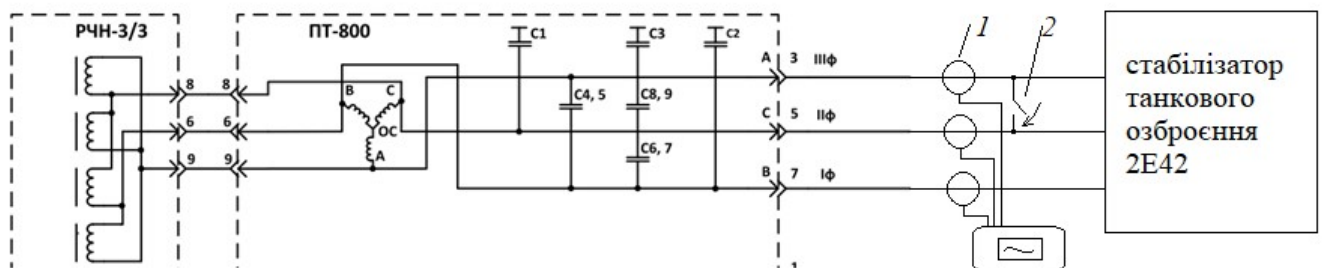
Виклад основного матеріалу. Техніка та методика проведення дослідження. Дослідження проведене на танку Т-64Б шляхом виносного підключення перетворювачів ПТ-800 [3, 4, 5] та ПН-800 (рисунок 1). Для цього створювались електропровідні подовжувачі довжиною 5 м, які підключались до роз'єму ШР20МДТ33КПЭ7Г9В10 та перетворювача. Перетин мідного проводу на кожному з фаз дорівнював 6 мм^2 .



1 – перетворювач ПТ-800; 2, 6 – осцилограф; 3, 7 – датчики струму; 4, 8 – електропровідні подовжувачі; 5 – перетворювач ПН-800

Рисунок 1 – Підключення перетворювачів ПТ-800 та ПН-800 до СУВ танка Т-64Б

Таким чином, створювались подібні умови навантаження перетворювачів Т-800 та ПН-800. Опір електропровідного подовжувача практично не впливав на роботу СУВ танка Т-64Б. Вимірювання струму здійснювалось трьома датчиками струму ACS756, сигнали з яких реєструвались на цифровому осцилографі Rigol DS1104Z, що має вхідну частоту пропускання 100 МГц. Схема включення датчиків струму у електричне коло відображена на рисунку 2.



1 – датчики струму; 2 – замикач

Рисунок 2 – Схема включення датчиків струму у електричне коло та створення режиму короткого міжфазного замикання

Як замикач використано контактор КМ-50Д-В, що забезпечує комутацію струму 50 А. Вимірювання міжфазної напруги здійснювалось за допомогою осцилографа Tektronix TDS 3014В.

Вимірювання часу виходу стабілізатора танкового озброєння 2Е42 на робочий режим здійснено таким чином. Для порівняльного дослідження впливу перетворювачів ПТ-800 та ПН-800 на час виходу споживачів трифазного струму (36 В, 400 Гц) на робочий режим роботи використовувався гіротахometr приводу вертикального наведення стабілізатора танкового озброєння 2Е42. Вигляд стенда для вимірювання частоти обертання гіротахометра поданий на рисунку 3.



1 – лазерний безконтактний тахометр Walcom DT-2234С+; 2 – гіротахometr BC2365004;
3 – мультиметр; 4 – секундомір

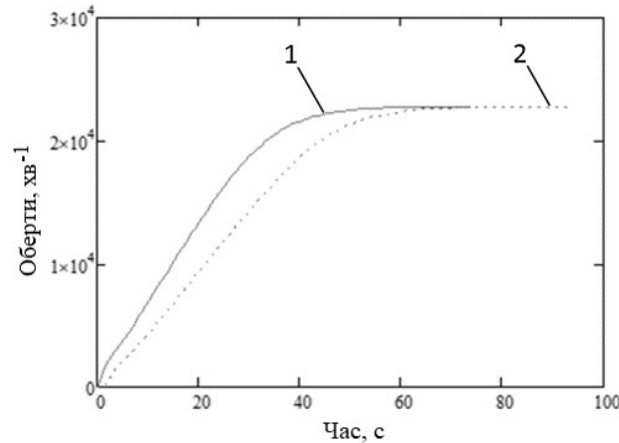
Рисунок 3 – Вигляд стенда з виходу гіротахометра на номінальний режим роботи

Вимірювання частоти обертання ротора гіротахометра здійснювалось тахометром Walcom DT-2234С+ безконтактним методом шляхом вимірювання частоти відбиття лазерного променя від мітки на роторі. Для визначення зміни обертів ротора у часі у пусковому режимі здійснювалась відеозйомка показань тахометра та секундоміра з подальшою обробкою її результатів.

Визначимо точність відтворення даних у часі за цим методом. Відеозйомка здійснювалась фотоапаратом NICON Coolpix S4300 з частотою 30 кадрів/с (33 мс на кадр). Цифровий секундомір відтворював час з роздільною здатністю у соті частки секунди. Час відгуку мультиметра дорівнював 30 мс з часом оновлення даних 10 разів/с або 0,1 с. Діапазон вимірювання лазерного безконтактного тахометра від 2,5 об/хв до 99999 об/хв з кроком виміру 1 об/хв для показань від 1000 об/хв, похибка $\pm (0,05 \% + 1)$ об./хв, час відгуку 0,5 с. Таким чином, беручи до уваги характеристики найбільш повільного приладу, точність відтворення даних у часі сягає 0,5 с. З погляду на загальний типовий час виходу гіротахометра на режим 120 с (вказаний в інструкції з експлуатації стабілізатора 2Е42) отримана точність є допустимою.

Вимірювання проводилися по чергово з живленням споживачів від ПТ-800 та ПН-800. Повний час вимірювань становив 120 с. Протягом вказаного часу фіксувалася динаміка зміни частоти обертання гіротахометра та визначався час виходу гіротахометра на номінальний режим роботи. В обох випадках максимальна частота обертання гіротахометра становила 22789 об/хв.

Результати вимірювання часу виходу стабілізатора танкового озброєння 2Е42 на робочий режим. За підсумками дослідження отримані залежності часу виходу гіротахометра на номінальний режим від різних джерел живлення. Графіки залежності частоти обертання ротора гіротахометра від часу після включення тумблера «Преобр.» подані на рисунку 4.



1 –живлення від ПТ-800; 2 –живлення від ПН-800

Рисунок 4 – Залежності часу виходу гіротахометра на номінальний режим

За результатами аналізу графіків (рисунок 4) бачимо, що час виходу гіротахометра на номінальний режим не перевищує нормативний час пуску 120 с, вказаний в інструкції. Водночас під час живлення гіротахометра від ПТ-800 максимальна частота обертання була досягнута за 72 с, а під час живлення від ПН-800 – за 94 с. Це свідчить про необхідність покращення узгодження роботи перетворювача ПН-800 з навантаженням.

Час виходу стабілізатора танкового озброєння 2Е42 на робочий режим є важливим показником. Тому розглянемо заходи, що забезпечують його скорочення у разі застосування перетворювача ПН-800. Танкові гіроскопи за своєю будовою є асинхронними двигунами із зовнішнім розташуванням ротора. Збільшення обертів ротора гіроскопа визначається електромагнітним моментом. Відомо, що останній залежить від ковзання. Ця залежність має такий вигляд (рисунок 5).

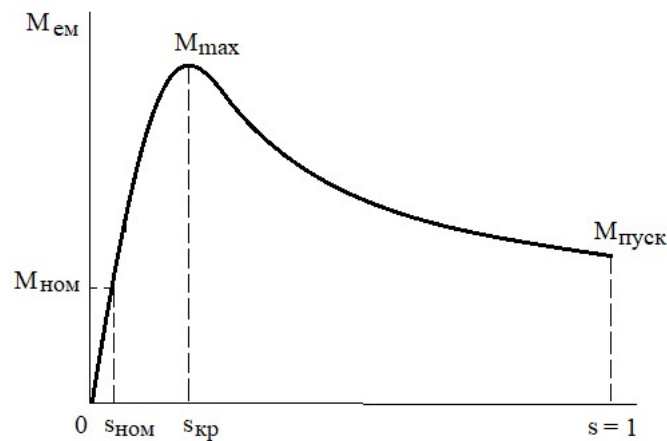


Рисунок 5 – Залежність електромагнітного моменту $M_{ем}$ від ковзання s у асинхронному двигуні

З наведеної залежності маємо, що пусковий момент, де ковзання дорівнює одиниці, є значно менше максимального моменту. При цьому максимум моменту зміщений до значень ковзання, наближених до нуля.

Розглянемо механізм впливу на електромагнітний момент. Величина електромагнітного моменту визначається рівнянням [6, 7]

$$M = C_M U_1^2 \frac{\frac{R_2}{s}}{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}, \quad (1)$$

де C_M – стала величина двигуна;

U_1 – напруга живлення;

R_2 – активний опір ротора;

$X_{20} = 2\pi f_1 L_2$ – індуктивний опір нерухомого ротора;

s – ковзання.

Ковзання розраховується за виразом [6,7]

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (2)$$

де n_1 – частота обертання магнітного поля статора;

n_2 – частота обертання ротора.

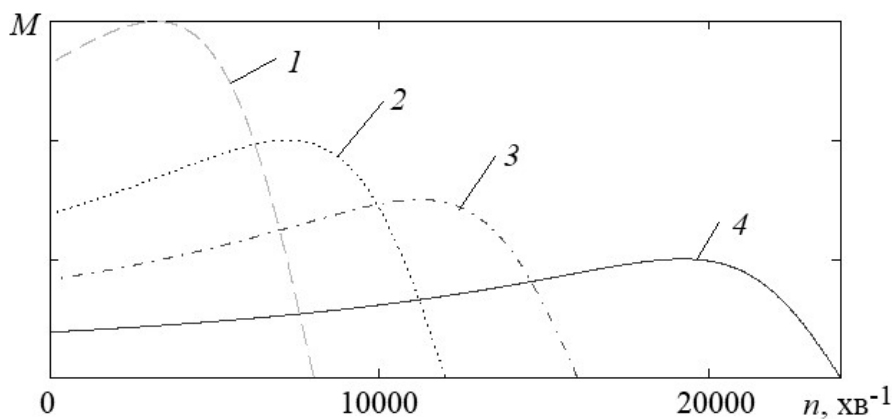
Магнітне поле статора обертається з частотою [6,7]

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}, \text{ хв}^{-1}, \quad (3)$$

де f – частота струму в обмотках;

p – кількість пар полюсів магнітного поля; у танкових гіроскопах $p = 1$.

Зазвичай для підвищення пускового моменту двигуна збільшують активний опір ротора, а для збільшення моменту в цілому підвищують напругу живлення двигуна, що видно з виразу (1). В стабілізаторі танкового озброєння 2Е42 такі заходи не можуть бути реалізовані. Зокрема збільшувати опір ротора не можливо через конструктивні обмеження. Підвищення напруги може призвести до виходу з ладу електрообладнання машини. Але з виразу (1) впливає можливість регулювання моменту двигуна, використовуючи зміну частоти його живлення шляхом зміни індуктивного опору нерухомого ротора. Результати розрахунку характерного впливу частоти живлення на момент подано на рисунку 6.



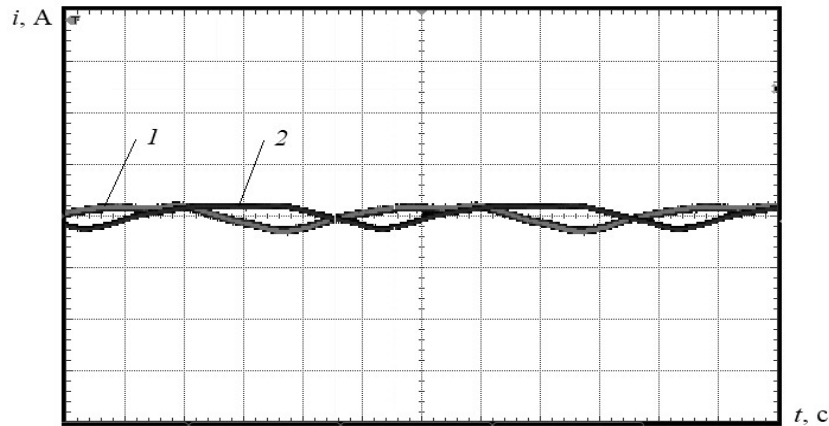
1 – 133,3 Гц; 2 – 200 Гц; 3 – 266,6 Гц; 4 – 400 Гц

Рисунок 6 – Залежність електромагнітного моменту від частоти обертання ротора для різних частот живлення

Перетворювач ПН-800 дозволяє регулювати частоту живлення, що практично не можливо виконати за допомогою перетворювача ПТ-800. Таким чином, необхідно регулювати частоту перетворювача залежно від поточних обертів ротора для забезпечення найменшого часу виходу на номінальний режим роботи. Спостерігаємо, що за зниженої частоти живлення на пускових обертах відбувається

багаторазове зростання електромагнітного моменту, що є передумовою скорочення часу виходу перетворювача на номінальний режим.

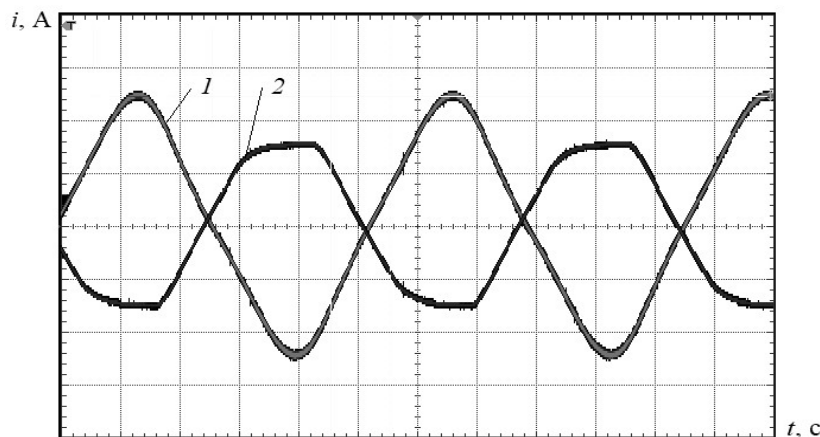
Результати вимірювання струмів короткого замикання. На перетворювачі ПТ-800 було здійснене міжфазне замикання, після чого струм вимірювався на замкнених фазах. Результати вимірювання струму до замикання подано на рисунку 7.



1 – струм фази А; 2 – струм фази В; розгортка за струмом 25 А/поділ.; розгортка у часі 500 мкс/поділ.

Рисунок 7 – Лінійний струм на двох фазах до міжфазного замикання перетворювача ПТ-800

З рисунка 7 бачимо, що амплітудне значення лінійного струму на двох фазах складає від 5 А до 10 А. Результати вимірювання струму в момент замикання перетворювача ПТ-800 подано на рисунку 8.

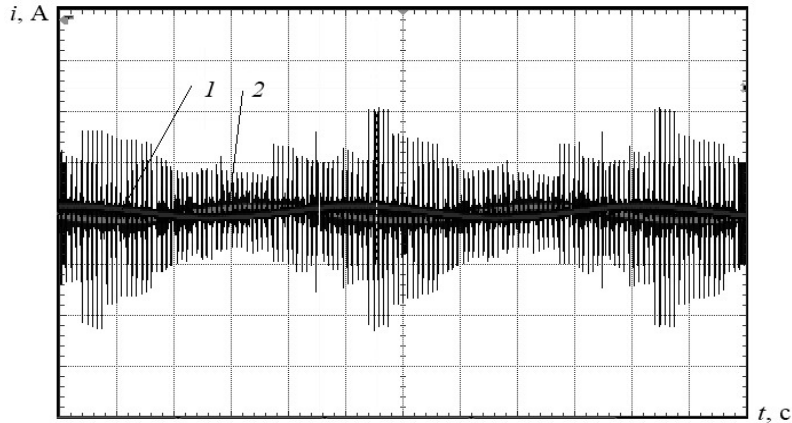


1 – струм фази А; 2 – струм фази В; розгортка за струмом 25 А/поділ.; розгортка у часі 500 мкс/поділ.

Рисунок 8 – Лінійний струм на двох фазах у момент міжфазного замикання перетворювача ПТ-800

Порівнюючи результати вимірювання (рисунки 7 та 8), бачимо, що після міжфазного замикання на ПТ-800 відбувається зростання струму від 60 А до 70 А, тобто у 7-10 разів. Таке значне зростання струму може призвести до виходу з ладу електромережі танка у разі аварійного замикання перетворювача ПТ-800. Особливо це можливо у разі «блукаючої» поломки, коли замикання періодично повторюється, що може бути причиною пожежі.

Результати вимірювання струму до замикання перетворювача ПН-800 подано на рисунку 9.



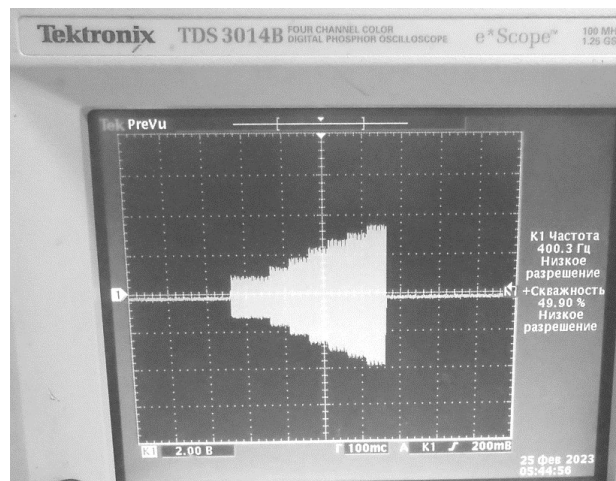
1 – струм фази А; 2 – струм фази В; розгортка за струмом 25 А/поділ.; розгортка у часі 500 мкс/поділ.

Рисунок 9 – Лінійний струм на двох фазах до міжфазного замикання перетворювача ПН-800

Аналізуючи рисунки 5 та 7, можна дійти висновку, що струм до замикання на перетворювачах ПН-800 та ПТ-800 є практично ідентичним за амплітудою, але на перетворювачі ПН-800 спостерігається накладення високочастотних коливань на основну гармоніку вихідного струму, що спричинено принципом роботи цього перетворювача.

Після міжфазного замикання виходу перетворювача ПН-800 лінійний струм миттєво знижувався до нуля на 1-2 с, потім відбувалось його поступове зростання протягом 500 мс, і після досягнення максимуму струм зникав. Такий процес періодично повторювався.

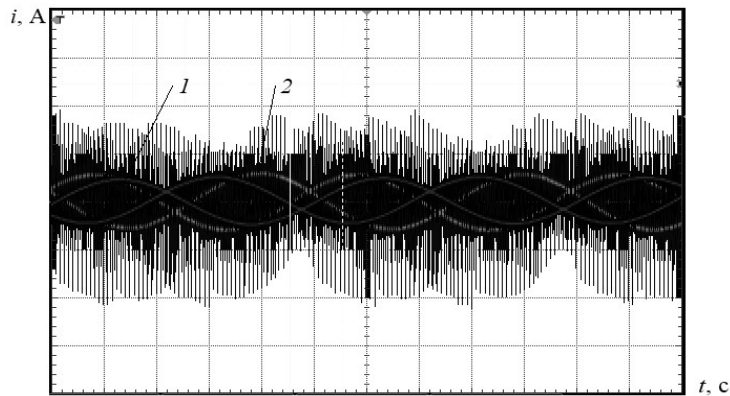
Поступове зростання струму викликано поступовим зростанням вихідної напруги під час пуску перетворювача (рисунок 10).



розгортка за напругою 2 В/поділ.; розгортка у часі 100 мс/поділ.

Рисунок 10 – Лінійна напруга під час міжфазного замикання перетворювача ПН-800

За результатами вимірювань струму короткого замикання на перетворювачі ПН-800 маємо зростання струму до 15-20 А, тобто у 1,5-2 рази (рисунок 11).



1 – струм фази А; 2 – струм фази В; розгортка за струмом 25 А/поділ.; розгортка у часі 500 мкс/поділ.
Рисунок 11 – Лінійний струм на двох фазах у момент міжфазного замикання перетворювача ПН-800

За результатами порівняльного дослідження визначено, що перетворювач ПН-800 має суттєву перевагу над перетворювачем ПТ-800 щодо роботи у аварійному режимі.

Висновки

Проведено порівняльне дослідження впливу типу перетворювача (ПТ-800 та ПН-800) на час виходу стабілізатора танкового озброєння 2Е42 на робочий режим та визначено аварійні струми, що виникають під час короткого замикання напруги на виході з перетворювача.

Отримані залежності часу виходу гіротахометра на номінальний режим від різних джерел живлення. Зокрема час виходу гіротахометра на номінальний режим для різних типів перетворювачів не перевищує нормативний час пуску 120 с, що вказаний в інструкції. Разом з тим під час живлення гіротахометра від ПТ-800 максимальна частота обертання була досягнута за 72 с, а під час живлення від ПН-800 – за 94 с.

Після міжфазного замикання на перетворювачі ПТ-800 відбувається зростання струму до 60-70 А, тобто у 7-10 разів. Таке значне зростання струму може призвести до виходу з ладу електромережі танка у разі аварійного замикання перетворювача ПТ-800. Особливо це небезпечно у випадку «блукуючої» поломки, коли замикання періодично повторюється і може бути причиною виникнення пожежі. Після міжфазного замикання виходу перетворювача ПН-800 лінійний струм миттєво знижувався до нуля на 1-2 с, потім відбувалось його поступове зростання протягом 500 мс, після досягнення максимуму струм зникав.

За результатами порівняльного дослідження визначено, що перетворювач ПН-800 має суттєву перевагу над перетворювачем ПТ-800 щодо роботи в аварійному режимі.

Перелік джерел посилання

1. Marrone A., Sabatino E. Main Battle Tanks, Europe and the Implications for Italy. Istituto Affari Internazionali, Rome, IAI. April 2020. 121 p.
2. Танки Т-64Б и Т-64Б1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Харьков : Воениздат, 1983. Кн. 1. 589 с.
3. Система 2Э36 : учебное пособие. Киев : КВТИУ, 1986. 153 с.
4. Автоматизовані системи управління озброєнням : навч. посіб. / П. А. Бондарук та ін. Харків.: Військ. ін-т танкових військ НТУ «ХП», 2018. Ч. 1. Основи теорії автоматичного регулювання, елементи, пристрої і системи управління та стабілізації основного озброєння танків. 404 с.
5. О. К. Аблесімов, Є. Є. Александров, І. Є. Александрова. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами : навч. посіб. у 4 т. Харків : НТУ «ХП», 2008. Т. 3. Автоматичне керування озброєнням танків. 444 с.
6. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори : навч. посіб. / за ред. В. І. Міліх. Харків : ФОП Панов А. М., 2017. 452 с.
7. Чуєнко Р. М. Електричні машини : навч. посіб. Київ : Компрінт, 2015. 436 с.

Стаття надійшла до редакції 21.03.2023 р.

UDC 623.773, 621.3.078.001

Yu. Krasnoshapka, K. Korycthenko, O. Martynenko, I. Tsebriuk, H. Radionov

COMPARATIVE STUDY OF THE OPERATION OF THE PT-800 AND PN-800 CONVERTERS IN THE 2E42 TANK WEAPON STABILIZER IN THE START-UP AND EMERGENCY MODES

The paper presents the results of a comparative study of the PT-800 and PN-800 converters in the 2E42 tank weapon stabilizer in the start-up and emergency modes. The research was carried out on the T-64B tank by remote connection of converters under similar load conditions. The current was measured by 3 ACS756 current sensors, the signals from which were recorded on a Rigol DS1104Z digital oscilloscope with an input frequency of 100 MHz. The line voltage was measured using a Tektronix TDS 3014B oscilloscope. For a comparative study of the influence of PT-800 and PN-800 converters on the output of 3-phase current consumers in the operating mode, a 2E42 gyro tachometer of the vertical guidance drive of the stabilizer of tank weapons was used. The gyro tachometer rotor rotation frequency was measured with a Walcom DT-2234C+ tachometer using a non-contact method. The time dependences of the gyrotachometer output to the nominal mode from different power sources are obtained. It was measured that the time for the gyro tachometer to reach the nominal mode does not exceed the normative start-up time of 120 s, which is indicated in the instructions. The use of frequency regulation of start-up to reduce the time of output of the converter to the nominal mode is substantiated. At a reduced power supply frequency, there is a multiple increase in the electromagnetic moment at the start-up speed, which is a prerequisite for reducing the output time of the converter to the nominal mode. We observed that after a phase-to-phase shorting on the PT-800 converter, the current increases to 60-70 A, i.e. 7-10 times. Such a multiple increase in current can lead to failure of the tank's electrical network in the event of an emergency shutdown of the PT-800 converter. After the phase-to-phase shorting of the output of the PN-800 converter, the linear current instantly decreased to zero for 1-2 s, then it gradually increased over 500 ms, and after reaching the maximum, the current disappeared. According to the results of short-circuit current measurements on the PN-800 converter, we have an increase in current to 15-20 A, that is, by 1.5-2 times. It was found that the PN-800 converter has a significant advantage over the PT-800 converter in terms of operation in emergency mode.

Key words : stabilizer 2E42, tank armament, converter PT-800, PN-800, launch and emergency modes.

Красношопка Юрій Васильович – старший викладач кафедри озброєння та стрільби Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0001-9234-4844>

Коритченко Костянтин Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальної електротехніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-1005-7778>

Мартиненко Олег Вікторович – старший викладач кафедри озброєння та стрільби Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0001-9315-0929>

Цебрюк Іван Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-4246-8854>

Радіонов Геннадій Олександрович – кандидат військових наук, начальник кафедри ракетно-артилерійського озброєння Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-1112-7456>