

М.А. ЛЕЛЮК, Б.В. КЛИМЕНКО

ГІБРИДНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МОНОСТАБІЛЬНИМ ПОЛЯРИЗОВАНИМ ПРИВОДОМ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

Проведено аналіз систем керування вакуумних контакторів середніх напруг. Виявлено недоліки електромеханічних та мікропроцесорних систем керування. Встановлено, що перспективним напрямком удосконалення систем керування є розробка мікропроцесорних гібридних систем керування обмоткою електромагнітів на основі використання малогабаритних електромеханічних інтерфейсних реле. Розроблено алгоритм роботи та мікропроцесорна гібридна система керування моностабільним поляризованим електромагнітом з однією котушкою. Проведено експериментальні дослідження роботи мікропроцесорної гібридної системи керування, результатами яких були значення часу ввімкнення контактора 65 мс та вимкнення 60 мс. Ці значення знаходяться в межах відповідних часових інтервалів спрацьовування моделей вакуумних контакторів середніх напруг провідних світових виробників. Розроблена мікропроцесорна система керування моностабільним поляризованим електромагнітним приводом пройшла експериментальну перевірку на прототипах декількох контакторів.

Ключові слова: вакуумний контактор, моностабільний та бістабільний електромагніт, інтерфейсне реле, постійний магніт, гібридна система керування.

М.А. ЛЕЛЮК, Б.В. КЛИМЕНКО

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОНОСТАБИЛЬНЫМ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ПРИВОДОМ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

Проведен анализ систем управления вакуумных контакторов средних напряжений. Выявлены недостатки электромеханических и микропроцессорных систем управления. Установлено, что перспективным направлением совершенствования систем управления является разработка микропроцессорных гибридных систем управления обмоткой электромагнитов на основе использования малогабаритных электромеханических интерфейсных реле. Разработан алгоритм работы и микропроцессорная гибридная система управления моностабильным поляризованным электромагнитом с одной катушкой. Проведены экспериментальные исследования работы микропроцессорной гибридной системы управления, результатами которых были значения времени включения контактора 65 мс и выключение 60 мс. Эти значения находятся в пределах соответствующих временных интервалов срабатывания моделей вакуумных контакторов средних напряжений ведущих мировых производителей. Разработанная микропроцессорная система управления моностабильным поляризованным электромагнитным приводом прошла экспериментальную проверку на прототипах нескольких контакторов.

Ключевые слова: вакуумный контактор, моностабильный и бистабильный электромагнит, интерфейсное реле, постоянный магнит, гибридная система управления.

М.А. LELIUK, B.V. KLYMENKO

HYBRID CONTROL SYSTEM FOR MONOSTABLE POLARIZED VACUUM CONTACTOR DRIVE

The analysis of control systems for medium voltage vacuum contactors is carried out. The shortcomings of electromechanical and microprocessor control systems are revealed. It has been established that a promising direction for improving control systems is the development of microprocessor hybrid control systems for electromagnets winding based on the use of compact electromechanical interface relays. An algorithm of operation and a microprocessor hybrid control system for a monostable polarized single-coil electromagnet are developed. Experimental investigations of the microprocessor hybrid control system operation are carried out, the results of which are the values of the turn-on time of the contactor of 65 ms and of the turn-off of 60 ms. These values are within the corresponding time intervals of operation of the models of medium voltage vacuum contactors from leading world manufacturers. The developed microprocessor control system for a monostable polarized electromagnetic drive has been experimentally tested on prototypes of several contactors.

Key words: vacuum contactor, monostable and bistable electromagnet, interface relay, permanent magnet, hybrid control system.

Вступ. Вакуумні контактори широко застосовуються у різних галузях промисловості. В якості приводів цих контакторів використовуються форсовані моностабільні неполяризовані двохстрижневі електромагнітні приводи (електромагніти з поворотними пружинами) та бістабільні поляризовані електромагніти [1-7]. Відомі способи керування обмотками приводів таких контакторів, які використовують форсовані електромеханічні та мікропроцесорні пристрої [8].

Керування моностабільним неполяризованим двохстрижневим електромагнітним приводом відбувається електромеханічною системою. Для зменшення споживної потужності у ввімкненому положенні керування

відбувається у форсованому режимі з використанням пускових та утримуючих обмоток (рис. 1) [9]. Виводи пускових обмоток позначені як $A1$ і $A2$, виводи утримуючих обмоток – як $B1$ і $B2$. Діодний міст VD забезпечує можливість живлення пристрою форсованого керування як від джерела змінної, так і від джерела постійної напруги, а послідовний $R-C$ ланцюг забезпечує іскрогасіння. До моменту розмикання допоміжного контакту утримуючі обмотки $B1$ і $B2$ опиняються закороченими, що істотно збільшує струм в пусковій обмотці $A1$ і $A2$, а відтак, прискорює процес включення апарату.

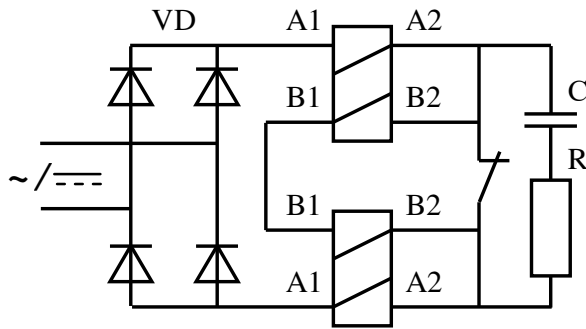
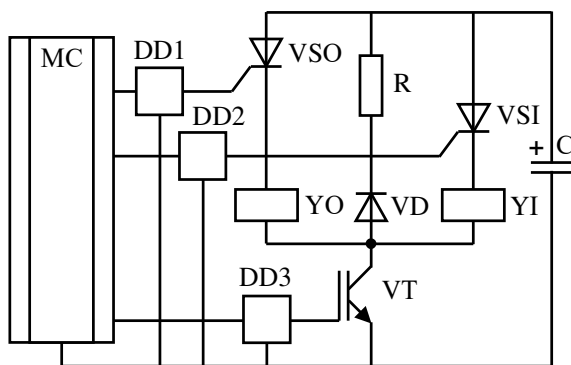


Рис. 1. Схема пристрою форсованого керування для двофазного електромагніта з пусковими (A1-A2) і утримуючими (B1-B2) обмотками

Допоміжний розмикаючий контакт, який використовується в даній системі форсованого управління, не може бути звичайним *b*-контактом. Цей контакт повинен розмикатися в самому кінці руху якоря електромагніта і вимагає дуже точного регулювання, оскільки більш раннє розмикання може привести до появи дзвонового ефекту, а не розмикання цього контакту призведе до не вимкнення пускової обмотки, її неприпустимого перегріву і пошкодження.

Пізнніше розмикання контакту означає, що між його рухомою і нерухомою компонентами встановлюється дуже малий зазор, що ускладнює гасіння електричної дуги, що виникає на цьому контакті, і призводить до його підвищеного зносу навіть за умови застосування іскрогасних ланцюгів. Досвід експлуатації таких контакторів показує, що однією з головних причин їх відмов є виникнення ушкоджень саме в системі форсованого керування. Також є ймовірність перегрівання котушок електромагніта та вихід їх з ладу при зниженні напруги ланцюга керування контактора.

Що стосується систем керування бістабільними поляризованими електромагнітами, то використання мікропроцесорної системи керування усуває ці недоліки та розширює функціональні можливості пристрою. На рис. 2 показана схема системи керування контактором



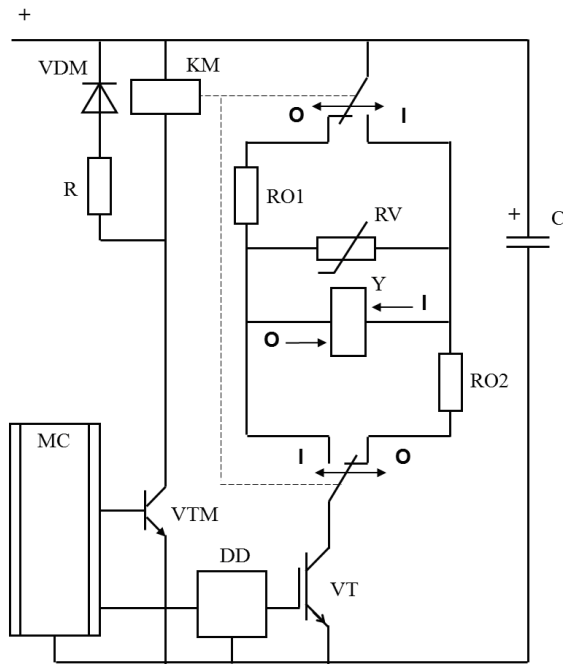
YI, YO – обмотки включення і відключення; VT – силовий транзистор; VSI, VSO – тиристри, комутуючі ланцюги відповідних обмоток; VD – діод; R – резистор; DD1-DD3 – драйвери; MC – мікроконтролер; C – електролітичний конденсатор

Рис. 2. Схема силового ланцюга мікропроцесорної системи керування обмотками бістабільного поляризованого електромагніта

Силовий ланцюг системи керування обмотками електромагніта складається з напівпровідникових комутаційних елементів – силового транзистора VT і двох тиристорів, одного VSI в колі ввімкнення та одного VSO в колі вимкнення контактора. Певним недоліком даної системи керування є необхідність витримки певної паузи під час виконання операції ввімкнення та вимкнення контактора, тривалість якої може становити кілька десятків мілісекунд (це час запирання відповідного тиристора) [10]. Наприклад, після виконання операції ввімкнення контактора, необхідно миттєво його вимкнути. Для цього мікроконтролер MC через драйвер DD3 подає керуючий сигнал на затвор транзистора VT і через драйвер DD1 короткий імпульс струму на керуючий електрод тиристора VSO, в результаті чого обмотка вимкнення YO електромагніта підключається до джерела живлення і відбувається операція вимкнення контактора. Відсутність певної паузи між комутаційними операціями призводить до відкриття транзистора VT і тиристора VSO при відкритому тиристорі VSI і як наслідок, операція вимкнення контактора може не відбутися, а це, в свою чергу, може призвести до серйозної аварії, наприклад, якщо потрібно виконати вимкнення апарату відразу ж після ввімкнення його на короткозамкнутий ланцюг.

Мета роботи – аналіз систем керування вакуумних контакторів середніх напруг та розробка нової мікропроцесорної гібридної системи керування моностабільним поляризованим електромагнітним приводом.

Мікропроцесорна гібридна система керування бістабільним поляризованим електромагнітним приводом. На теперішній час найбільш перспективними та надійними є саме мікропроцесорні системи керування. В цих пристроях застосовуються або приводи з декількома обмотками або однообмоткові приводи з керуванням за допомогою мостової схеми, утвореної чотирма силовими IGBT транзисторами або тиристорами [11-14]. Головним недоліком цих схем є використання чотирьох силових транзисторів та драйверів до них або транзистора, тиристорів і драйверів, які є коштовними елементами і підвищують вартість пристрою. Для усунення цих недоліків пропонується використання гібридної системи керування, яка засновується на використанні інтерфейсного реле з двома перемикаючими контактними групами та одного силового транзистора (рис. 3) [15].



MC – мікроконтролер, DD – драйвер, VT – силовий IGBT транзистор, Y – обмотка електромагніта, C – конденсатор, VTM – біполярний транзистор, KM – обмотка інтерфейсного реле з двома перемикаючими контактними групами, VDM – діод, R, R01, R02 – резистори, RV – варистор

Рис. 3. Основні елементи силової частини гібридної системи керування електромагнітним приводом вакуумного контактора

Алгоритм роботи системи керування моностабільним поляризованим електромагнітом

Перш ніж розглядати роботу системи керування моностабільним поляризованим електромагнітом слід звернути увагу на те, що наявність поворотної пружини в механічній системі контактора, робить привод бістабільним поляризованим, тобто він має два положення спокою, що відповідають ввімкненому та вимкненому стану контактора. Враховуючи це, робота гібридної системи керування електромагнітним приводом здійснюється таким чином. При виконанні операції ввімкнення вакуумного контактора (у якому до того завдяки бістабільному елементу привідний електромагніт знаходився в положенні спокою у розімкненому стані, а головні контакти були розімкненими) внаслідок команди, яка надходить ззовні від оператора або системи релейного захисту чи від зовнішньої системи керування тощо, вивід одного з портів мікроконтролера MC видає керуючий сигнал на базу біполярного транзистора VTM, останній відкривається, при цьому внаслідок розряду конденсатора C струм проходить через обмотку інтерфейсного реле KM, воно спрацьовує і перемикальні контакти двох перемикаючих контактних груп замикаються з виводами відповідних замикальних контактів (рис. 3). Після певної паузи, тривалість якої перевищує період брязкоту контактів інтерфейсного реле KM, вивід іншого порту мікроконтролера MC через драйвер DD видає керуючий сигнал на затвор силового IGBT транзистора VT, останній відкривається і струм розряду

конденсатора C проходить через обмотку електромагніта Y, що призводить до його спрацьовування, тобто до переходу у положення спокою в замкненому стані, в результаті чого головні контакти вакуумного контактора замикаються і операція ввімкнення контактора завершується. При цьому від датчика положення (на рис. 3 не показаний) на мікроконтролер MC подається сигнал про завершення операції ввімкнення, мікроконтролер MC знімає керуючий сигнал з затвору силового транзистора VT і він закривається, а після певної паузи, тривалість якої перевищує час розмагнічування обмотки електромагніта Y (зменшення струму у ній до нуля завдяки варистору RV, опір якого автоматично зменшується в момент закриття транзистора VTM внаслідок збільшення напруги на обмотці електромагніта Y у цей момент, і автоматично збільшується після зменшення практично до нуля струму в обмотці електромагніта Y), мікроконтролер MC знімає керуючий сигнал з бази біполярного транзистора VTM, останній закривається і обмотка інтерфейсного реле KM знеструмлюється. При цьому перемикальні контакти двох перемикаючих контактних груп переходять у початкове положення тобто замикаються з відповідними розмикальними контактами. Завдяки бістабільному елементу, незважаючи на відсутність струму в обмотці, електромагніт залишається у положенні спокою в замкненому стані, головні контакти вакуумного контактора залишаються також у замкненому стані, а сам контактор стає готовим до виконання операції вимкнення.

При виконанні операції вимкнення вакуумного контактора внаслідок команди, яка надходить ззовні від оператора або системи релейного захисту чи від зовнішньої системи керування тощо, мікроконтролер MC через вивід одного з портів видає сигнал на вхід драйвера DD, який видає керуючий сигнал на затвор силового IGBT транзистора VT, останній відкривається і струм розряду конденсатора C проходить через обмотку електромагніта Y у зворотному напрямі, електромагніт переходить у розімкнене положення і головні контакти також розмикаються. Від датчика положення (не показаний) на мікроконтролер MC подається про це сигнал, останній знімає керуючий сигнал з затвору силового транзистора VT і він закривається. Після певної паузи, тривалість якої перевищує час розмагнічування обмотки електромагніта Y (зменшення струму у ній до нуля завдяки варистору RV), контактор стає готовим до виконання наступної операції вмикання.

Таким чином, гібридна система керування забезпечує операції ввімкнення та вимкнення вакуумного контактора з бістабільним поляризованим приводом на основі використання моностабільного поляризованого електромагніта з однією обмоткою та поворотної пружини.

Експериментальні дослідження мікропроцесорної гібридної системи керування. Для проведення експериментальних досліджень розроблено гібридну систему керування, що показана на рис. 4.

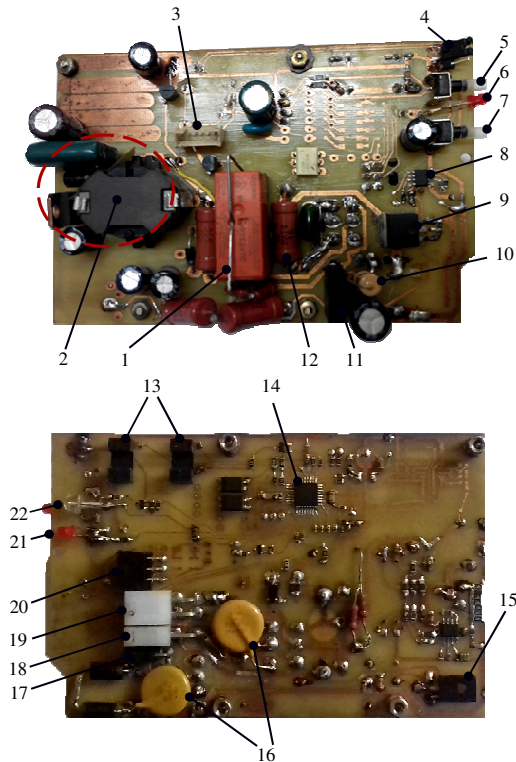


Рис. 4. Гібридна система керування приводом вакуумного контактора

Місця розміщення основних елементів гібридної системи керування на печатній платі наступні:

1 – інтерфейсне реле RTE24110 з номінальною напругою живлення обмотки $U_s = 110$ В.

2 – блок живлення для заряду конденсатора;

3 – штирьовий роз'єм для підключення програматора мікроконтролера;

4 – перемикач режимів роботи контактора. Мікропроцесорна система керування має три режими роботи: режим звичайного контактора (Single Command Operated) [6], режим контактора з заціпкою (Double Command Operated), режим перевірки на механічну зносостійкість (циклічний режим). Останній режим використовується тільки в дослідному зразку контактора. Більш детально кожен з режимів роботи буде розглянуто далі;

5 – кнопка ввімкнення контактора;

6 – діод червоного кольору, сигналізує готовність системи керування до виконання операції ввімкнення або вимкнення контактора. Блімання діода свідчить про правильну роботи системи керування;

7 – кнопка вимкнення контактора;

8 – драйвер силового IGBT транзистора;

9 – силовий IGBT транзистор;

10 – резистор кола живлення;

11 – випрямляч (діодний міст);

12 – резистор в колі котушки електромагніта при вимкненні контактора;

13 – оптосимістори – датчики положення механічної системи контактора та електромагніта. Більш детально робота датчика буде розглянуто далі;

14 – мікроконтролер ATmega8;

15 – біполярний транзистор керування обмоткою інтерфейсного реле;

16 – варистор для «розмагнічування» обмотки при завершенні операції ввімкнення або вимкнення контактора;

17 – гніздовий роз'єм для підключення системи керування до мережі живлення 220 В, 50 Гц (можливість підключення до мережі з постійною напругою);

18 – гніздовий роз'єм для підключення виводів котушки електромагніта;

19 – гніздовий роз'єм для підключення виводів зарядного резистора конденсатора та виводів конденсатора;

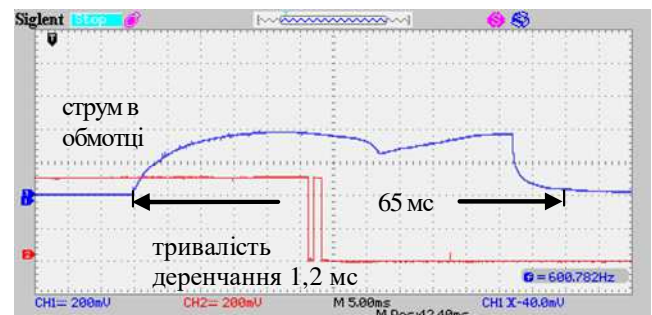
20 – гніздовий роз'єм пристрою для підключення зовнішніх кіл керування контактором;

21 – діод зеленого кольору, сигналізує про ввімкнений стан контактора;

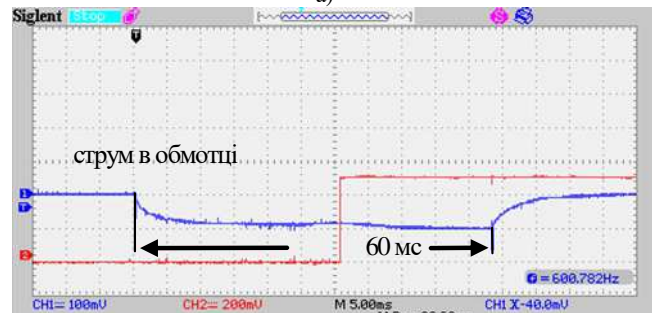
22 – діод червоного кольору, сигналізує про вимкнений стан контактора.

Гібридна система керування працює як від мережі зі змінною напругою (220-240 В, 50 Гц) так і від мережі з постійною напругою, але її значення для змінної напруги не повинно становити менше 140 В, а для постійної напруги – менше 198 В. Наявність в блоці живлення 2 стабілізатора напруги та випрямляча напруги 11 створює постійну напругу заряду конденсатора 320 В.

Осцилограми ввімкнення та вимкнення контактора представлені на рис. 5. З осцилограм видно, що час ввімкнення контактора становить 65 мс, а вимкнення 60 мс і ці значення знаходяться в межах відповідних часових інтервалів спрацьовування моделей вакуумних контакторів середніх напруг провідних виробників, таких як ABB (Германія), LVC (Корея), Hyundai (Корея), VMC (Індія) (наприклад, час ввімкнення та вимкнення вакуумного контактора VSC-7 фірми ABB становить 60-90 та 40-60 мс відповідно).



а)



б)

а – ввімкнення контактора; б – вимкнення контактора

Рис. 5. Осцилограми струму в котушці електромагніта та замикання контактів вакуумного переривника

У дослідженнях, також фіксувалася кількість та тривалість відскоків головних контактів вакуумних переривників під час виконання операції ввімкнення контактора. На рис. 5, а показана осцилограма деренчання контактів одного з полюсів контактора під час виконання операції ввімкнення. З осцилограми видно, що тривалість деренчання контактів складає 1,2 мс (це найбільше значення тривалості деренчання, що було зафіксовано під час виконання операції ввімкнення контактора по трьом полюсам), проте характеристики відскоків не перевищують граничних значень, встановлених виробниками вакуумних переривників відносно тривалості та кількості відскоків (до двох відскоків впродовж 2 мс). Тобто, вимога виробників вакуумних переривників виконується.

Висновки. 1. Проведено аналіз систем керування вакуумних контакторів середніх напруг та виявлено їх недоліки. Встановлено, що перспективним напрямком удосконалення систем керування є розробка мікропроцесорних гібридних систем керування обмоткою електромагнітів на основі використання малогабаритних електромеханічних інтерфейсних реле.

2. Розроблено алгоритм роботи гібридної системи керування моностабільним поляризованим електромагнітом, особливість роботи якої полягає в тому, що функції ввімкнення і вимкнення струму виконує тільки напівпровідниковий комутаційний елемент (транзистор), а механічні комутаційні елементи (контактні групи реле) виконують функції маршрутизатора, перемикаючі електричні ланцюги під час безструмових пауз.

3. Розроблено мікропроцесорну гібридну систему керування моностабільним поляризованим електромагнітом з однією котушкою.

4. Проведено експериментальні дослідження роботи мікропроцесорної гібридної системи керування, результатами яких були значення часу ввімкнення контактора 65 мс та вимкнення 60 мс. Ці значення знаходяться в межах відповідних часових інтервалів спрацьовування моделей вакуумних контакторів середніх напруг провідних виробників.

5. Мікропроцесорна система керування моностабільним поляризованим електромагнітним приводом пройшла експериментальну перевірку на прототипах декількох контакторів, результати якої підтвердили можливість заміни напівпровідникового комутатора, що складається з чотирьох високовартісних силових транзисторів або транзистора та тиристорів, гібридним комутатором, який складається з одного силового транзистора та малогабаритного електромеханічного інтерфейсного реле.

Список літератури

1. Medium Voltage Products V-Contact Medium voltage vacuum contactors. Technical Catalogue 2009. www.abb.com.
2. 3TL Vacuum Contactors Selection and Ordering Data Medium-Voltage Equipment. Catalog HG 11.21 2014. www.siemens.com/3TL.
3. Medium Voltage Distribution. CPX – CLX – CBX – CVX. Vacuum contactors up to 12 kV. Fixed and withdrawable range of contactors. Catalogue 2014. www.schneider-

electric.com.

4. U-Series Вакуумный контактор среднего напряжения. www.hyundai-elec.com.
5. Tri-MEC LS Вакуумные контакторы среднего напряжения. Электрооборудование. Catalogue 2011. eng.lsis.biz.
6. Medium voltage products V-Contact VSC. Вакуумные контакторы среднего напряжения. Technical catalogue 2015. www.abb.com.
7. Клименко Б.В. Электромагнитный актуатор для вакуумного контактора средних напруг / Б.В. Клименко, М.А. Лелюк, В.М. Бугайчук, Я.Б. Форкун // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 32.– С. 27-33.
8. Лелюк М.А. Структура та кінематичні схеми вакуумних контакторів середньої напруги / М.А. Лелюк // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 32.– С. 29-31.
9. Король О.Г. Дослідження перехідних процесів в пристрої форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора/ О.Г. Король, Б.В. Клименко, О.В. Ересько // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 32.– С. 34-40.
10. Клименко Б.В. Исследование возможности применения интерфейсных реле в системах гибридной коммутации обмоток бистабильных актуаторов / Б.В. Клименко, А.В. Ересько, И.С. Варшамова, Н.А. Лелюк // Електротехніка і Електромеханіка, (2016), – №1, – С. 21-25.
11. Клименко Б.В. Пристрій керування обмоткою актуатора вакуумного контактора / Б.В. Клименко, М.А. Лелюк // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXVI міжн. наук.-практична конф. (microCAD-2018), 16-18 травня: тези доп. / Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – С. 78.
12. Heyun Lin, Xianbing Wang, Shuhua Fang: Design, optimization, and intelligent control of permanent-magnet contactor. IEEE Transactions on Industrial Electronics, (2013), vol. 60, No. 11, 5148-5159.
13. Xianbing Wang, Heyun Lin, S.L.No, Shuhua Fang, and Ping Jin: Analysis of dynamic characteristics of permanent magnet contactor with sensorless displacement profile control. IEEE Transactions on Magnetics, (2010), vol. 46, No. 6, 1633-1636.
14. Xianbing Wang, Heyun Lin, Shuhua Fang, Ping Jin, Junhua Wang, and S. L. No: Dynamic performance analysis of permanent magnet contactor with a flux-weakening control strategy. Journal Of Applied Physics, (2011), vol. 109, No. 7, 07E707- 07E707-3.
15. Патент України № 126923 МПК: H01F 7/06 H01H 33/42, Система керування електромагнітним приводом комутаційного апарата / Бугайчук В.М., Клименко Б.В., Лелюк М.А. Ересько О.В.; Форкун Я.Б. / № u201801171; заявл. 07.02.2018; опубл. 10.07.2018, Бюл.№ 13.– 4 с.: 1 іл.

References (transliterated)

1. Medium Voltage Products V-Contact Medium voltage vacuum contactors. Technical Catalogue 2009. www.abb.com.
2. 3TL Vacuum Contactors Selection and Ordering Data Medium-Voltage Equipment. Catalog HG 11.21 2014. www.siemens.com/3TL.
3. Medium Voltage Distribution. CPX – CLX – CBX – CVX. Vacuum contactors up to 12 kV. Fixed and with drawable range of contactors. Catalogue 2014. www.schneider-

4. U-Series Vakuumnyiy kontaktor srednego napryazheniya. www.hyundai-elec.com.
5. Tri-MEC LS Vakuumnyie kontaktoryi srednego napryazheniya. Elektrooborudovanie. Catalogue 2011. eng.lsis.biz..
6. Medium voltage products V-Contact VSC. Vakuumnyie kontaktoryi srednego napryazheniya. Technical catalogue 2015. www.abb.com..
7. Klimentko B.V., Leliuk M.A., Bugaychuk V.M., Forkun Ya.B. Elektromagnitnyy aktuator dlya vakuumnogo kontaktora srednih naprug. Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu "Harkivskiy politekhnichnyy Institut". Kharkiv: NTU «KhPI». 2018. No 32. Pp. 27-33.
8. Leliuk M.A. Struktura ta kinematychni skhemy vakuumnykh kontaktoriv srednoi napruhy. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu "Kharkivskiy politekhnichnyy instytut". Kharkiv: NTU «KhPI». 2016. No 32. Pp. 29-31.
9. Korol O.H., Klimentko B.V., Eres'ko O.V. Doslidzhennya perekhidnykh protsesiv v prystroyi forsovanoho keruvannya monostabil'nym elektromahnitom vakuumnogo kontaktora. Visnyk Natsional'nogo tekhnichnogo universytetu "Kharkivs'kyu politekhnichnyy instytut". Kharkiv: NTU «KHPI». 2018. No 32. Pp. 34-40.
10. Klimentko B.V., Eresko A.V., Varshamova I.S., Lelyuk N.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya interfeysnyih rele v sistemah gibridnoy kommutatsii obmotok bistabilnyih aktuatorov. Elektrotehnika i elektromekhanika, 2016, No 1. Pp. 21-25.
11. Klymenko B.V., Leliuk M.A. Prystriy keruvannya obmotko-yu aktuatora vakuumnogo kontaktora. Informatsiyni tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya: XXVI mizhn. nauk.-praktychna konf. (microCAD-2018), 16-18 travnya: tezy dop. Kharkiv: NTU «KhPI». 2018. P. 78.
12. Heyun Lin, Xianbing Wang, Shuhua Fang: Design, optimization, and intelligent control of permanent-magnet contactor. IEEE Transactions on Industrial Electronics, (2013), vol. 60, No. 11, 5148-5159.
13. Xianbing Wang, Heyun Lin, S.L.Ho, Shuhua Fang, and Ping Jin: Analysis of dynamic characteristics of permanent magnet contactor with sensorless displacement profile control. IEEE Transactions on Magnetics, (2010), vol. 46, No. 6, 1633-1636.
14. Xianbing Wang, Heyun Lin, Shuhua Fang, Ping Jin, Junhua Wang, and S. L. Ho: Dynamic performance analysis of permanent magnet contactor with a flux-weakening control strategy. Journal Of Applied Physics, (2011), vol. 109, No. 7, 07E707- 07E707-3.
15. Patent Ukrainy № 126923 MPK: H01F 7/06 H01H 33/42, Systema keruvannya elektromahnitnym pryvodom komutatsiynoho aparata. Buhaichuk V.M., Klymenko B.V., Leliuk M.A. Yeresko O.V.; Forkun Ya.B. u201801171; zaiavl. 07.02.2018; opubl. 10.07.2018, Biul.№ 13. 4 p.

Надійшла (received) 18.03.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах /About the Authors

Лелюк Микола Анатолійович (Лелюк Николай Анатольевич, Leliuk Mykola Anatoliyovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач навчальної лабораторії кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: Lelyuk.nik@gmail.com

Клименко Борис Володимирович (Клименко Борис Владимирович, Klymenko Borys Volodymyrovych) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач, професор кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7860-4937>; e-mail: b.v.klymenko@gmail.com