

М.А. ЛЕЛЮК, В.В. ЛИТВИНЕНКО

ВАКУУМНИЙ ВИМИКАЧ СЕРЕДНІХ НАПРУГ З ПОФАЗНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

В вакуумних вимикачах середніх напруг для досягнення рівномірного розподілу сили по всій довжині приводного валу приводний механізм роблять пофазним, тобто під кожним полюсом встановлюють окремий електромагніт. Проведено аналіз конструкцій та особливостей роботи вакуумних вимикачів з пофазним електромагнітним приводом. Виявлено недоліки в конструкціях цих приводів. Розглянуто конструкцію вакуумного вимикача з пофазним електромагнітним приводом та кінематичну схему роботи вакуумного вимикача з моностабільним поляризованим електромагнітом та поворотною пружиною при здійсненні операції включення. В якості пофазного приводу запропоновано використання трьох моностабільних поляризованих електромагнітів з поворотними пружинами, що дає змогу зменшити габаритні розміри не тільки приводного електромагніта а й вимикача. Причому поворотна пружина не входить до конструкції запропонованого електромагніта, а є частиною приводного механізму вимикача. Розроблено конструкцію корпусу вакуумного вимикача з пофазним приводом та синхронізуючим валом, який унеможливує одночасність замикання і розмикання головних контактів при виконанні комутаційних операцій. Проведено розрахунок моностабільного поляризованого електромагніта та підтверджена можливість його використання в якості пофазного приводу в вакуумних вимикачах середніх напруг.

Ключові слова: вакуумний вимикач середньої напруги, пофазний електромагнітний привод, моностабільний поляризований електромагніт, синхронізуючий вал, поворотна пружина.

Н.А. ЛЕЛЮК, В.В. ЛИТВИНЕНКО

ВАКУУМНИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ СРЕДНИХ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОФАЗНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

В вакуумных выключателях средних напряжений для достижения равномерного распределения силы по всей длине приводного вала приводной механизм делают пофазным, то есть под каждым полюсом устанавливают отдельный электромагнит. Проведен анализ конструкций и особенностей работы вакуумных выключателей с пофазным электромагнитным приводом. Выявлены недостатки в конструкциях этих приводов. Рассмотрены конструкция вакуумного выключателя с пофазным электромагнитным приводом и кинематическая схема работы вакуумного выключателя с моностабильным поляризованным электромагнитом и возвратной пружиной при осуществлении операции включения. В качестве пофазного привода предложено использование трех моностабильных поляризованных электромагнитов с возвратными пружинами, что позволяет уменьшить габаритные размеры не только приводного электромагнита, но и выключателя. Причем возвратная пружина не входит в конструкции предложенного электромагнита, а является частью приводного механизма выключателя. Разработана конструкция корпуса вакуумного выключателя с пофазным приводом и синхронизирующим валом, который делает невозможным одновременность замыкания и размыкания главных контактов при выполнении коммутационных операций. Проведен расчет моностабильного поляризованного электромагнита и подтверждена возможность его использования в качестве пофазного привода в вакуумных выключателях средних напряжений.

Ключевые слова: вакуумный выключатель среднего напряжения, пофазный электромагнитный привод, моностабильный поляризованный электромагнит, синхронизирующий вал, возвратная пружина.

М.А. LELIUK, V.V. LITVYNENKO

MEDIUM VOLTAGE VACUUM CIRCUIT BREAKER WITH PER PHASE ELECTROMAGNETIC ACTUATOR

In medium voltage vacuum circuit breakers, in order to achieve an even distribution of force along the entire length of the drive shaft, the drive mechanism is made per phase, that is, a separate electromagnet is installed under each pole. The analysis of designs and features of operation of vacuum circuit breakers with a per phase electromagnetic drive is carried out. Deficiencies in the designs of these drives have been identified. The design of a vacuum circuit breaker with a per phase electromagnetic drive and a kinematic diagram of the operation of a vacuum circuit breaker with a monostable polarized electromagnet and a return spring during the closing operation are considered. As a per phase drive, it is proposed to use three monostable polarized electromagnets with return springs, which makes it possible to reduce the overall dimensions of not only the drive electromagnet, but also the vacuum circuit breaker. Moreover, the return spring is not included in the design of the proposed electromagnet, but is part of the circuit breaker drive mechanism. The design of the housing of the vacuum circuit breaker with a per phase drive and a synchronizing shaft has been developed, which makes it impossible for the non-simultaneous closing and opening of the main contacts when performing switching operations. The calculation of a monostable polarized electromagnet is carried out and the possibility of its use as a per-phase drive in a medium voltage vacuum circuit breaker is confirmed.

Key words: medium voltage vacuum circuit breaker, per phase electromagnetic drive, monostable polarized electromagnet, synchronizing shaft, return spring.

Вступ. Вакуумні вимикачі середньої напруги є найбільш популярними та затребуваними апаратами на сучасному ринку електромеханічної апаратури серед комутаційних та захисних пристроїв для мереж середніх напруг. Ці апарати повинні не тільки задовольняти експлуатаційним вимогам та вимогам надійності, але й мати привабливу для покупця вартість, що в поєднанні дає конкурентний продукт. В конструкціях вакуумних вимикачів крім головних контактів, які розташовані у вакуумних переривниках, системи ке-

рування, струмоведучих частин, дуже важливим елементом є привідна система, яка забезпечує спрацювання вимикача та виконання необхідних функцій.

В більшості моделей вакуумних вимикачів використовуються поляризовані електромагнітні приводи, які мають певні переваги у порівнянні з пружинно-моторними [1]. Поляризований електромагніт, що входить до складу таких приводів, встановлюється під середнім полюсом (вертикальний дизайн) або за ним (ранцевий дизайн) та з'єднується з привідним валом,

який в свою чергу, з'єднується з тягою рухомого контакту вакуумного переривника. У включеному положенні вимикача електромагніт повинен створювати силу, що відповідає силі контактного натискання головних контактів вакуумних переривників встановлених виробником [2]. Також слід зазначити, що значення цієї сили дається для одного полюса, а у вакуумного вимикача їх три. Тому для забезпечення вище зазначених умов по силі контактного натискання виробники вакуумних вимикачів встановлюють потужні поляризовані електромагніти, що мають значні габаритні розміри (рис. 1) [3, 4].

Особливість конструкції таких вимикачів полягає в тому, що електромагніт з'єднується з привідним валом в одній точці, а враховуючи значні зусилля (6000-8000 Н) це може призвести до його скручування [5] і як наслідок відхилення від вимог виробників вакуумних переривників відносно додаткового контактного кінцевого зусилля, зазору між головними контактами у відкритому положенні.

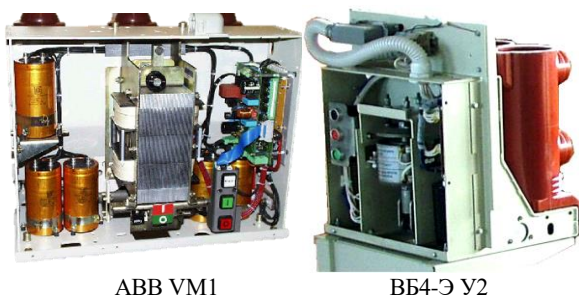


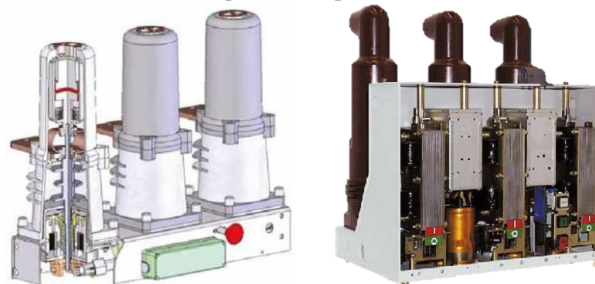
Рис. 1. Вакуумні вимикачі з одним поляризованим електромагнітом

Виходом з цієї ситуації може бути або збільшення перетину привідного валу, що призводить до збільшення масо-габаритних показників вимикача, або рівномірний розподіл сили по всій його довжині. Для досягнення рівномірного розподілу сили по всій довжині валу привідний механізм роблять пофазним, тобто під кожним полюсом встановлюють окремі поляризовані електромагніти (рис. 2) [3, 6-8].

В розглянутих вакуумних вимикачах є ряд недоліків, що стосуються конструкції пофазних приводів, а саме, у вимикачах ВВ/TEL-10 та ВВМ-СЭЩ-3-10-20/1000 контактна та поворотна пружини встановлені в корпусі електромагніта, що суттєво ускладнює його конструкцію та збільшує габаритні розміри. Особлива конструкція якоря електромагніта вимикачах ВВ/TEL-10 ускладнює можливість перевірки та регулювання провалу головних контактів вакуумного переривника. В електромагніті вимикача АBB VM1 встановлено дві однообмоткові котушки включення та відключення, що призводить до збільшення габаритних розмірів.



ООО «Таврида Електрик» ВВ/TEL-10



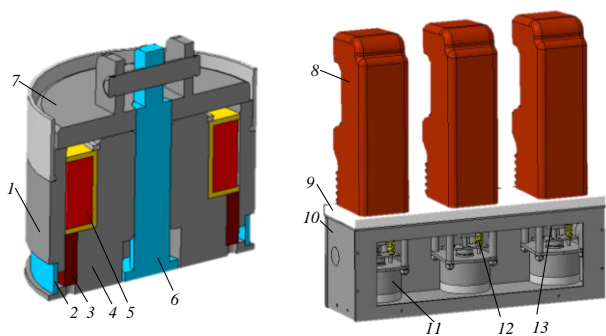
ОАО «Электрощит»
ВВМ-СЭЩ-3-10-20/1000

ABB VM1

Рис. 2. Вакуумні вимикачі з трьома поляризованими електромагнітами (пофазний привідний механізм)

Мета роботи – розробка конструкції вакуумного вимикача середніх напруг з пофазним бістабільним поляризованим електромагнітним приводом.

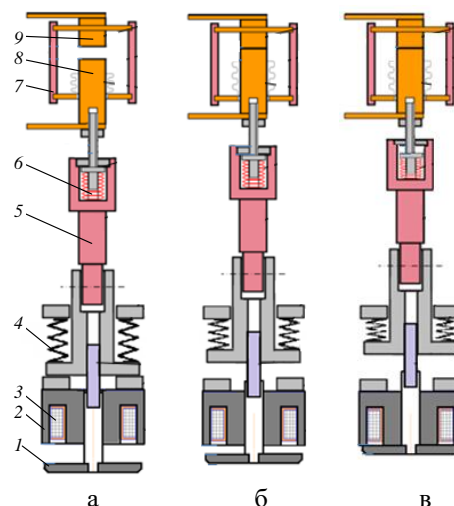
Бістабільний поляризований електромагнітний привод вакуумного вимикача середніх напруг. В існуючих моделях вакуумних вимикачів використовуються два типи поляризованих електромагнітів: моно та бістабільні. Особливість цих електромагнітів полягає в тому, що до їх складу входять постійні магніти на основі рідкоземельних металів, що дає змогу зменшити габаритні розміри та енергоспоживання. Для забезпечення бістабільного положення приводу вимикача може використовуватися або бістабільний поляризований електромагніт з окремими однообмотковими котушками включення та відключення [3, 8] або моностабільний поляризований електромагніт (МПЕ) з однією однообмотковою котушкою та поворотною пружиною [6, 7]. Саме використання останнього дає змогу зменшити габаритні розміри не тільки електромагніта а й вимикача. Причому, поворотна пружина не входить до конструкції електромагніта, а є частиною привідного механізму вимикача. На рис. 3 показано конструкцію МПЕ [9, 10] та вакуумного вимикача з пофазним приводом.



1 – корпус МПЕ; 2 – немагнітне кільце; 3 – постійний магніт; 4 – осердя; 5 – котушка; 6 – немагнітний шток;
7 – яркір; 8 – вакуумна камера; 9 – ізоляційна плита;
10 – корпус вимикача; 11 – МПЕ; 12 – поворотна пружина (встановлено дві на кожному полюсі); 13 – тяга вакуумної камери з тарілчастими пружинами підтискання

Рис. 3. Моностабільний поляризований електромагніт та вакуумний вимикач з пофазним приводом

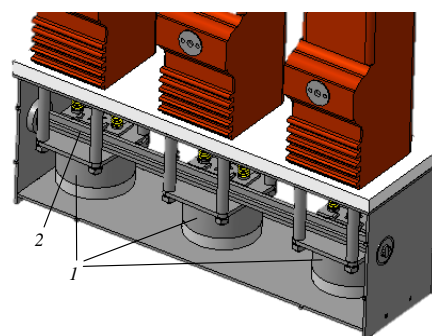
Особливість роботи МПЕ полягає в тому, що використовується одна однообмоткова котушка, яка виконує функції котушки включення та відключення і в залежності від того яка операція відбувається, включення або відключення вимикача, постійний струм, що подається на котушку, повинен протікати у певному напрямку [10]. Зазвичай в вакуумних комутаційних апаратах для виконання цих операцій використовується мікропроцесорна система керування [11]. Бістабільне положення приводного механізму забезпечується за рахунок дії постійних магнітів у включеному положенні та поворотної пружини у відключеному положенні. На рис. 4 показано кінематичну схему роботи приводного механізму вакуумного вимикача з МПЕ та поворотною пружиною для одного полюса. Розглянемо її роботу на прикладі виконання операції включення вакуумного вимикача. У відключеному положенні яркір 1 знаходиться на заданій відстані від осердя 2 (рис. 4, а), головні контакти 8 та 9 розімкнені і знаходяться на відстані, що відповідає повному ходу, поворотна пружина 4 знаходиться у підтиснутому стані і створює зусилля, що необхідне для підтримання контактів розімкненими при повному ході. При подачі струму на котушку 3 МПЕ яркір 1 починає притягуватися до осердя 2, рухомий контакт 8, через тягу вакуумної камери 5, рухається в напрямку замикання з нерухомим контактом 9, поворотна пружина 4 при цьому стискається. Головні контакти 8 та 9 замикаються, однак яркір 1 повністю не притягнувся до осердя 2 і знаходиться на відстані, що дорівнює ходу підтискання контактів (рис. 4, б). Яркір 1 повністю притягується до осердя 2 (рис. 4, в) при цьому стикаються тарілчасті пружини 6 створюючи додаткове контактне кінцеве зусилля значення якого залежить від номінального струму відключення вимикача при короткому замиканні [12].



1 – яркір; 2 – осердя; 3 – котушка; 4 – поворотна пружина;
5 – ізолювана тяга; 6 – тарілчасті пружини; 7 – сільфон;
8 – рухомий контакт; 9 – нерухомий контакт
а – відключене положення; б – проміжне положення;
в – включене положення

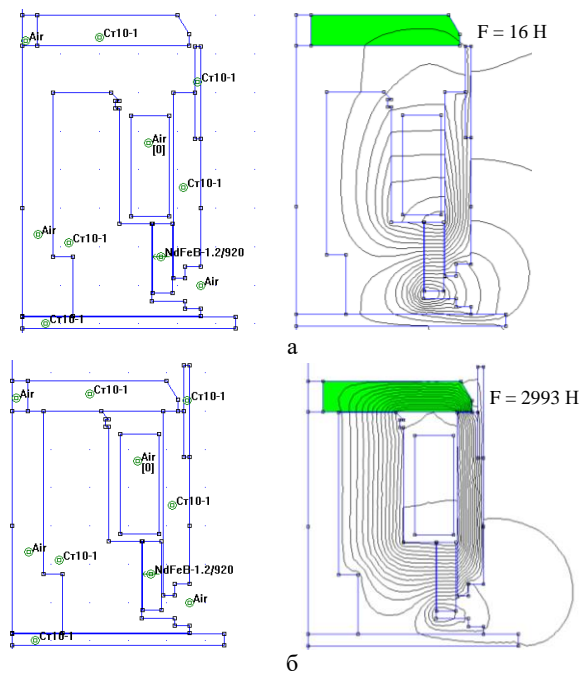
Рис. 4. Кінематична схема роботи вакуумного вимикача при виконанні операції включення для одного полюса

Враховуючи, що приводний механізм складається з трьох МПЕ, то є ймовірність неодновременності замикання і розмикання контактів при виконанні комутаційних операцій. Виробники вакуумних переривників чітко встановлюють, що це значення не повинно перевищувати 2 мс [13]. Для виконання цієї вимоги виробники вакуумних вимикачів з пофазним приводом встановлюють синхронізуючий вал [6, 7], який жорстко з'єднаний з електромагнітом. На рис. 5 показано конструкцію вакуумного вимикача з пофазним МПЕ приводом та синхронізуючим валом.



1 – моностабільний поляризований електромагніт;
2 – синхронізуючий вал
Рис. 5. Вакуумний вимикач з пофазним приводом та синхронізуючим валом

Важливим етапом при розробці та проектуванні приводного механізму вимикача є визначення сили, яку розвиває МПЕ при включенні вимикача та сили у включеному положенні, коли яркір притиснутий до осердя. Для даної конструкції МПЕ було розроблено ФЕММ модель [14] (рис. 6) та проведені відповідні розрахунки.



а – відключене положення; б – включене положення
Рис. 6. Розрахункова FEMM модель моностабільного поляризованого електромагніта

У включеному положенні МПЕ яркір притиснутий до осердя з силою 2993 Н. Цього цілком достатньо для надійного утримання головних контактів у замкненому положенні. У відключеному положенні сила тяжіння яркоря до осердя становить 16 Н, враховуючи дію поворотної пружини, її не достатньо для того, щоб зменшити задану відстань між яркорем та осердям, а від так і між рухомих та нерухомих контактом.

Результати розрахунку проведені для одного електромагніта пофазного приводу вакуумного вимикача не випадково, так як виробники вакуумних переривників зазначають електричні та механічні характеристики саме для одного полюсу. Враховуючи це сумарна сила трьох МПЕ буде становити 8979 Н, що цілком достатньо для використання пофазного приводу в вакуумних вимикачах середніх напруг.

Висновки. 1. Проведено аналіз конструкцій та особливостей роботи вакуумних вимикачів з пофазним електромагнітним приводом. Виявлено недоліки в конструкціях цих приводів.

2. Розглянуто конструкцію вакуумного вимикача з пофазним електромагнітним приводом.

3. Розглянуто кінематичну схему роботи вакуумного вимикача з моностабільним поляризованим електромагнітом та поворотною пружиною при виконанні операції включення.

4. В якості пофазного приводу запропоновано використання трьох моностабільних поляризованих електромагнітів з поворотними пружинами.

5. Розроблено конструкцію нового корпусу вакуумного вимикача з пофазним приводом та синхронізуючим валом, який унеможливує неодноразовість замикання і розмикання головних контактів при виконанні комутаційних операцій.

6. Проведено розрахунок моностабільного поляризованого електромагніта та підтверджена можливість його використання в якості пофазного приводу в вакуумних вимикачах середніх напруг.

Список літератури

1. Лелюк М.А. Аналіз роботи приводних механізмів вакуумних вимикачів середньої напруги / М.А. Лелюк, В.В. Литвиненко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ «ХПІ». – 2020. – № 1. – С. 22-26.
2. Лелюк М.А. Бістабільний електромагнітний привод вакуумного вимикача середньої напруги / М.А. Лелюк, В.В. Литвиненко, О.В. Мішанина, А.В. Милашич // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIX міжн. наук.-практична конф. (microCAD-2021), 18-20 травня: тези доп. / Харків: НТУ «ХПІ». – 2021. – С. 25.
3. Dullni. E. A family of vacuum circuit-breakers with worldwide applications using common components / E. Dullni., H. Fink, M. Heimbach, C. Reuber // February 2001. DOI: 10.1049/cp:20010680. SourceIEEE Xplore. Conference: Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) Volume: 1.
4. Выключатель вакуумный ВБ4-Э У2. <http://abm-amper.com/product/vyklyuchatel-vakuumnyj-vb4-e-u2>.
5. Байда Е.И. Исследование механических напряжений в приводном валу вакуумного выключателя средних напряжений / Е.И. Байда, Б.В. Клименко // Електротехніка і електромеханіка, – 2017, – № 1. – С. 10-15.
6. ВВ/TEL Вакуумный выключатель. Руководство по эксплуатации. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10. <https://www.tavrıda.com>;
7. Выключатели вакуумные серии ВВМ-СЭЦ-3(4)-10. Техническая информация. ТИ – 1 56 – 2009. <http://electroshield.ru>;
8. Carlo Cereda, Carlo Gemme, Christian Reuber. Synchronous medium voltage circuit breakers: ABB solution based on magnetic drive and electronic control. CIRED'99. 5th International Conference & Exhibition on ELECTRICITY DISTRIBUTION. NICE, 1/14.
9. Патент України № 117000 МПК: H01H 33/42, H01F 7/06 Електромагнітний привід / Бугайчук В.М., Клименко Б.В., Лелюк М.А. / № u201613627; заявл. 30.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11. – 11 с.
10. Клименко Б.В. Электромагнітний актуатор для вакуумного контактора середніх 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.
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. Перцев А.А. Особенности испытаний вакуумных выключателей током короткого замыкания / А.А. Перцев, А.Л. Петерсон, Л.А. Рылская // Електротехніка. – 2006, – №9, – С. 29-32.
13. Shaanxi Baoguang Vacuum Electric Device Co. Ltd. Vacuum Interrupter & Embedded Pole products. <http://www.baoguang.com.cn/en/product/enclosed/1/2795>.
14. Finite Element Method Magnetics. User's Manual 2006. Version 4.2 [Электронный ресурс] / D. Meeker // Режим доступа: <http://femm.berlios.de>.

References (transliterated)

1. Leliuk M.A., Lytvynenko V.V. Analiz roboty pryvidnykh mekhanizmv vakuumnykh vumykachiv sereidnoi napruhy. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "Kharkivskyi politekhnichnyi instytut". – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2020. – 1. – Pp. 22-26.
2. Leliuk M.A., Lytvynenko V.V., Mishanina O.V., Mylasyhch A.V. Bistabilnyi elektromahnitnyi pryvod vakuumnoho vumyacha sereidnoi napruhy. Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorov'ia: XXIX mizhn. nauk.-praktychna

- konf. (microCAD-2021), 18-20 travnia: tezy dop. Kharkiv: NTU «KhPI». – 2021. – Pp. 25.
3. Dullni. E., Fink H., Heimbach M., Reuber C. A family of vacuum circuit-breakers with world-wide applications using common components. February 2001. DOI: 10.1049/cp:20010680. SourceIEEE Xplore. Conference: Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th Inter-national Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) Volume: 1.
 4. Vyiklyuchatel vakuumnyiy VB4-E U2. <http://abm-amp.com/product/vyiklyuchatel-vakuumnyj-vb4-e-u2>.
 5. Bayda E.I., Klimenko B.V. Issledovanie mehanicheskikh napryazheniy v privodnom valu vakuumnogo vyiklyuchatelya srednih napryazheniy. Elektrotehnika i elek-tromehaniika, – 2017, – 1. – Pp. 10-15.
 6. BB/TEL Vakuumnyiy vyiklyuchatel. Rukovodstvo po eks-pluatatsii. Vakuumnyiy vyiklyuchatel BB/TEL-10. <https://www.tavrda.com>;
 7. Vyiklyuchateli vakuumnyie serii VVM-SESch-3(4)-10. Tehnicheskaya informatsiya. TI – 1 56 – 2009. <http://electroshield.ru>;
 8. Carlo Cereda, Carlo Gemme, Christian Reuber. Synchronous medium voltage circuit breakers: ABB solution based on magnetic drive and electronic control. CIRED'99. 5th International Conference & Exhibition on ELECTRICITY DISTRIBUTION. NICE, 1/14.
 9. Patent Ukraini № 117000 MPK: H01H 33/42, H01F 7/06 El-ektromagnitnyy privid. Bugaychuk V.M., Klimenko B.V., Lelyuk M.A. u201613627; zayavl. 30.12.2016; opubl. 12.06.2017, Byul. 11.– 11 p.: 12 il
 10. Klimenko B.V., Lelyuk M.A., Bugaychuk V.M., Forkun Ya.B. Elektromagnitnyy aktuator dlya vakuumnogo kontaktora srednih naprug. Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu “Harkivskiy politehnicniy Institut”. – Harkiv: NTU «HPI». – 2018. – 32.– Pp. 27-33.
 11. Klimenko B.V., Lelyuk M.A. Pristriy keruvannya obmotkoy aktuatora vakuumnogo kontaktora. Informatsiyni tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: XXVI mizhn. nauk.-praktichna konf. (microCAD-2018), 16-18 travnya: tezy dop. Harkiv: NTU «HPI». – 2018. – Pp. 78.
 12. Pertsev A.A., Peterson A.L., Ryilskaya L.A. Osobennosti ispytaniy vakuumnih vyklyuchateley tokom korotkogo zamyikaniya. El-ektrotehnika. – 2006. – 9. – Pp. 29-32.
 13. Shaanxi Baoguang Vacuum Electric Device Co. Ltd. Vacuum Interrupter & Embedded Pole products. <http://www.baoguang.com.cn/en/product/enclosed/1/2795>.
 14. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. User's Manual 2006. Version 4.2 [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa: <http://femm.berlios.de>.

Надійшла (received) 02.05.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лелюк Микола Анатолійович (Лелюк Николай Анатольевич, Leliuk Mykola Anatoliyovych) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри електричних апаратів, м. Харків, e-mail: lelyuk.nik@gmail.com

Литвиненко Вікторія Володимирівна (Литвиненко Виктория Владимировна, Lytvunenko Viktoriia Vladimirovna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: vikalitiv21082@gmail.com.