СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенд для исследования фильтра калмана в системе управления мультикоптером, смоделированным в среде Matlab / Фам Чонг Хай, А.М. Гунько, Б.И. Батомункуев, А.И. Салмин ; науч. рук. А.А. Шилин // Бутаковские чтения : сборник статей III Всероссийской с международным участием молодёжной конференции, 12–14 декабря 2023 г., Томск. – Томск : Изд-во ТПУ, 2023. – С. 549–552.
2. ESP32 NodeMCU: руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Версия от 29.06.2021. – Доступно по: https://joy-it.net/files/files/Produkte/SBC-NodeMCU-ESP32/SBC-NodeMCU-ESP32-Manual-2021-06-29.pdf (дата обращения: 13.11.2024).
3. ESP32: проекты [Электронный ресурс]. – URL: https://microkontroller.ru/esp32-projects/ (дата обращения: 13.11.2024).
4. Осциллограф на ESP32 [Электронный ресурс]. – URL: https://microkontroller.ru/esp32-projects/osczillograf-na-esp32/ (дата обращения: 13.11.2024).
5. Как я разработал квадрокоптер на ESP32 с нуля – ушло 4 года [Электронный ресурс]. – URL: https://pcnews.ru/blogs/kak_a_razrabotal_kvadrokopter_na_esp32_s_nula_uslo_4_goda-1444579.html (дата обращения: 13.11.2024).
6. Perks K., Theys B. A Control Approach for Transitioning VTOL UAVs with Continuously Varying Transition Angle and Controlled by Differential Thrust [Электронный ресурс] // Semantic Scholar. – URL: https://pdfs.semanticscholar.org/85d6/8372c8c81096c875f9ffcc8eb6a0f4d030ca.pdf (дата обращения: 13.11.2024).
7. Theys B., et al. A Control Approach for Transitioning VTOL UAVs with Continuously Varying Transition Angle and Controlled by Differential Thrust [Электронный ресурс] // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/profile/Bart-Theys/publication/304802673_A_control_approach_for_transitioning_VTOL_UAVs_with_continuously_varying_transition_angle_and_controlled_by_differential_thrust/links/5aaa3b370f7e9b88266fd058/A-control-approach-for-transitioning-VTOL-UAVs-with-continuously-varying-transition-angle-and-controlled-by-differential-thrust.pdf (дата обращения: 13.11.2024).
8. Marmol L.G. et al. Autonomous UAV Systems for Remote Sensing and Environmental Monitoring // MDPI. – 2023. – Т. 11, № 8. – С. 654. [Электронный ресурс] – URL: https://www.mdpi.com/2226-4310/11/8/654 (дата обращения: 13.11.2024).

ГАШЕНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА В ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

В.С. Фёдоров

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, Группа 5А15

Научные руководители: В.В. Шестакова, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ;
А.Ю. Юшков, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ

В настоящее время потребности общества в электроэнергии возрастают ежегодно. Также можно отметить, что постоянно увеличиваются объемы передачи электрической энергии на значительные расстояния, сотни километров. Как известно, потери при передаче энергии на переменном токе значительны. Кроме того, включение линий переменного тока требует соблюдения условий синхронизма. Передача энергии по линиям постоянного тока сопровождается значительно меньшими потерями (энергия теряется только за счет активного сопротивления проводов) и не требует синхронизации.

Однако внедрение систем электропередачи на постоянном токе приводит к другой проблеме – неспособности известных коммутационных аппаратов отключать цепи с постоянным током. Для сравнения приведем следующие значения. Предельный отключаемый ток короткого замыкания на переменном токе равен 250 кА, а предельное значение для постоянного тока – всего 5 кА, в 50 раз меньше [1]. В связи с этим проблема конструирования надежных и сравнительно дешевых выключателей постоянного тока является актуальной.

Одно из известных решений гашения дуги постоянного тока заключается в применении магнитного поля [2]. При нахождении электрической дуги в силовых линиях магнитной индукции на заряженные частицы, в большей части на электроны, оказывает действие сила Лоренца. Это приводит к движению плазмы, увеличению ее сопротивления из-за увеличения длины плазменного шнура и, как следствие, его последующему погасанию.

Известные принципы гашения дуги в выключателях многогранны и включают в себя разные подходы к созданию магнитного поля, как продольного, так и поперечного. В данной работе предлагается усовершенствование конструкции выключателя постоянного тока для надежного гашения дуги.

В качестве исходной идеи был принят опыт Де-Ля-Риво, заключающийся в зажигании электрического разряда в продольном магнитном поле [3]. Как показал опыт Де-Ля-Риво, электрический разряд (дуга) вращается вокруг стального сердечника электромагнита под действием силы Лоренца. В результате действия магнитного поля, электрический разряд двигается вокруг стержня, что приводит к удлинению токопроводящего канала и, в результате, его разрыву. Именно этот опыт послужил основой разработки конструкции комбинированного принципа гашения электрического разряда в магнитном поле и поглощением тепла.

Предлагается осуществлять гашение дуги за две стадии:

1. Включение поля и придания углового момента плазменному шнуру.
2. Создание условий для закручивания плазменного шнура вокруг диэлектрического стержня с канавкой.

Важным отличием от известных систем дугогашения является наличие в конструкции выключателя диэлектрического стержня. Внутри этого стержня, проходящего вдоль всей камеры, располагаются магнитопроводы электромагнитов. Необходимо отметить, что на диэлектрическом стержне имеются канавки, которые играют также 2 роли:

1. В канавки «укладывается» плазменный шнур.
2. Увеличение длины поверхности приводит к усложнению зажигания поверхностного разряда.

Именно внедрение канавок и действие поля не позволяет возникать поверхностному заряду. Даже в случае его возникновения сила Ампера приведет к отделению стримера от поверхности и дальнейшему погасанию, предотвращая тем самым переход в дуговое замыкание.

На рис. 1 приведен чертеж прототипа вакуумного выключателя с магнитными катушками.

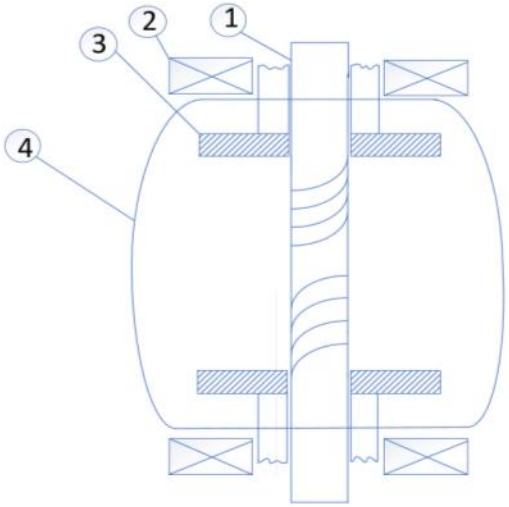

Рис. 1. Конструкция выключателя: 1 – диэлектрический стержень; 2 – магнитные катушки; 3 – контактная поверхность; 4 – корпус аппарата

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum.2008. – URL: https://www.researchgate.net/publication/224349717_DC_vacuum_circuit-breaker (дата обращения 03.10.2024)
2. International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED) DC vacuum circuit breaker.
3. 2017. – URL: https://digital-library.theiet.org/doi/10.1049/oap-cired.2017.0229 (Дата обращения 12.09.2024)
4. Plasma diffusion across a magnetic field.1986. Los Alamos. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0167278986900473 (Дата обращения 01.11.2024)