

ВПЛИВ ЕНЕРГІЇ ДУГИ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕРОЗІЮ

Коханівський С. П., Радько І. П., Наливайко В. А.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Визначені складові теплової енергії, що виділяються в контактах при комутації струму. На основі аналізу умов їх роботи знайдено оптимальний час комутації, при якому дія електричної дуги на ерозію мінімальна.

Постановка проблеми. Однією з основних експлуатаційних характеристик електричних апаратів є комутаційна зносостійкість їх контактів, яка залежить від сили струму, напруги, характеру навантаження та багатьох інших параметрів.

Інтегруючим показником, який впливає на електроерозійну стійкість є кількість електричної енергії, яка виділяється в між контактному проміжку при комутації струму.

Час розмикання в значній мірі залежить від механічних характеристик електричних апаратів. Використовуючи методи математичного моделювання можна досягнути оптимальних співвідношень характеристик контактних вузлів при яких буде спостерігатися мінімальна ерозія контактів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час в сільському господарстві України експлуатуються біля 5 млн. електродвигунів

Для керування і захисту цими двигунами та іншого електрообладнання використовується 18-20 млн. пуско-захисних апаратів, щорічний вихід з ладу яких складає до 20 %.

Мета статті. Підвищення експлуатаційної надійності контактних вузлів на основі оптимізації умов комутації.

Основні матеріали дослідження.

Температурні поля контактів розраховуються з використанням циліндричної моделі [4]. При комутації струму потік енергії дуги викликає великий перепад температур, що призводить до плавлення, випаровування та розбризкування металу. Нелінійна задача теплопроводності металу розв'язується з урахуванням плавлення і випаровування аналітичними наближеними методами з використанням чисельного інтегрування.

У загальному випадку можна записати, що енергія W витрачається на нагрівання до температури плавлення Q_1 та на плавлення матеріалу Q_2 :

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

Тепло поступає в контакт через його робочу поверхню S імпульсами. Тривалість дії джерела тепла Q дорівнює тривалості замикання чи розмикання контактів t_0 ,

Допускаємо, що частота комутацій струму дає можливість контактам охолоджуватися до температури навколишнього середовища T_0 .

Для визначення кількості тепла Q_i , яке витрачається на нагрів контакту до температури плавлення $T_{пл}$ за проміжок часу комутації t_0 використовуємо наступне рівняння теплопроводності

$$\frac{dT(x,t)}{dt} = a \frac{d^2T(x,t)}{dx^2}; (t > 0; 0 < x < \infty), \quad (2)$$

де $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ - коефіцієнт теплопроводності:

λ - питома теплопроводність матеріалу, Вт/м град;

c - питома теплоємність, Дж/кг град;

γ - густина матеріалу, кг/м³.

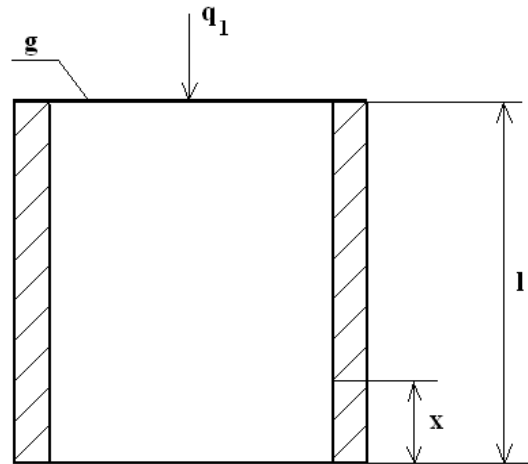


Рисунок 1 – Надходження тепла та розподіл температури в матеріалі електроду з тепловою ізоляцією бокових поверхонь:

q_1 - тепло, що поступає в робочу поверхню;

$T_{пл}$ - температура плавлення; S - площа поверхні;

T_0 - температура навколишнього середовища;

l - довжина електроду; x - поточна координата перерізу електроду вздовж осі

Граничні умови: $T(x,t) = 0$ і $T(\infty,t)$, тобто перепад температур матеріалу контактів та середовища в початковий момент дорівнює нулю. Температура точок протилежної поверхні контакту дорівнює температурі навколишнього середовища.

Рівняння тепловіддачі з протилежної сторони контакту:

$$\frac{dT(0,t)}{dx} = HT(0,t), \quad (3)$$

де $H = \frac{\gamma}{\lambda}$ - відносний коефіцієнт теплообміну;

a - коефіцієнт теплообміну, Вт/м²град.

Якщо температура протилежної поверхні контакту постійна, то це відповідає випадку, коли $H \rightarrow \infty$.

Температура в будь-якому перерізі контакту x по його довжині (див. рис.) в кожний момент часу при надходженні імпульсу тепла в матеріал контакту знаходиться із розв'язування рівнянь (2) і (3):

$$T(x,t) = \frac{B}{2\sqrt{\pi at}} \left\{ e^{-\frac{(x-l)^2}{4at}} + e^{-\frac{(x-l)^2}{4at}} - \frac{BH}{\sqrt{\pi at}} \int_0^\infty e^{-\xi H + \frac{(x+l)^2}{4at}} \right\}, \quad (4)$$

де $\xi = 2at$ коефіцієнт теплосасвоєння, Вт/град;

$$B = \frac{Q_1}{c\gamma S} - \text{коефіцієнт витрат тепла, що поступило}$$

в контакт через його поверхню S .

Якщо врахувати, що на робочій поверхні контакту досягається температура плавлення матеріалу (при $x = l$, $T = T_{пл}$, $T = T_0$), маємо:

$$T = \frac{Q_1}{2c\gamma S\sqrt{\pi at_0}} \left(1 + e^{-\frac{l^2}{at_0}} \right). \quad (5)$$

Із рівняння (4) стає можливим визначити кількість тепла необхідного для плавлення матеріалу контакту:

$$Q_1 = \frac{2c\gamma S\sqrt{\pi at_0}}{\psi} T, \quad (6)$$

$$\text{де } \psi = 1 + e^{-\frac{l^2}{at_0}}$$

При $l = 0$, $\psi = 2$; $l = \infty$, $\psi = 1$; $1 \leq \psi \leq 2$.

Із (5) видно, що тепло, яке йде на нагрів матеріалу контакту, пропорційне кореню квадратному із тривалості комутації струму t_0 і залежить від геометричних розмірів контакту та теплофізичних властивостей матеріалу.

Друга складова тепла, яка йде на плавлення та випаровування матеріалу контакту, дорівнює $Q_2 = Q - Q_1$.

Q - тепла енергія, що виділяється в дузі. Вона залежить від характеру навантаження і має дві складові: перша, прямо пропорційна тривалості часу розмикання контактів - W_R , а друга W_L визначає енергію магнітного поля, що накопичилася в його індуктивності:

$$W_R = Pt_0; W_L = \frac{1}{2} LI_0^2 \quad (7)$$

де P - потужність навантаження, яка комутується контактами, Вт;

L - індуктивність, Гн;

I_0 - номінальний струм навантаження.

$$Q = W_R + W_L = Pt_0 + \frac{1}{2} LI_0^2, \quad (8)$$

$$Q_2 = Pt_0 \frac{LI_0^2}{2} - \frac{2c\gamma S\sqrt{\pi at_0} T}{1 + e^{-\frac{l^2}{at_0}}}, \quad (9)$$

Теплота Q_2 , що визначає величину ерозії контактів, має мінімум при оптимальному часі комутації t_{opt} , який знаходиться з умови:

$$\frac{dQ_2}{dt} = 0, t_{opt} = \frac{\pi\lambda\gamma CT^2 S^2}{\beta^2 \rho}, \quad (10)$$

Висновки. При оптимальному часі комутації струму витрата тепла електричної дуги на ерозію контактів буде мінімальною.

Список використаних джерел

1. Брон О. Б. Тепловое сопротивление контактов / О. Б. Брон // Электрические контакты: материалы VI Всесоюзного совещания. – М.: Наука, 1972. – С. 3-5.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1967. – 520 с.
3. Намитокон К. К. Электроэрозионные явления / К. К. Намитокон. – М.: Энергия, 1978. – 455 с.
4. Ким Е. И. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах / Е. И. Ким, В. Т. Омельченко, С. Н. Харин. – Алма-Ата, 1977. – 236 с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ДУГИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭРОЗИЮ

Кохановский С. П., Радко И. П., Наливайко В. А.

Определены составляющие тепловой энергии в контактах при коммутации тока. На основе анализа условий их работы определено оптимальное время коммутации, при котором наблюдается минимальная эрозия контактов.

Abstract

THE INFLUENCE OF ELECTRICAL ARC ENERGY ON ELECTRICAL EROSION

S. Kochanovskii, I. Radko, V. Nalyvajko

Components of heat, which are released in the contacts during current switching, are defined in this project. There was found the optimal switching time, which causes to minimum value of electrical erosion, by using analysis of switching devices conditions.