

# ANALYSIS OF CONTACT DISCONNECTION IN A LOW VOLTAGE CIRCUIT BREAKER

**Martin Mačák**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xmacak00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Vyroubal

E-mail: vyroubal@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This work deals with a simulation of plasma phenomenon and with a simulation of an arc ignition between contacts in a low voltage circuit breaker. Simulations were made in Ansys Fluent with the usage of MHD (Magnetohydrodynamic) add-on module and additional UDFs (User Defined Functions). Mathematical model presented in this work connects electric and magnetic field, which is not possible in Ansys Fluent by default.

**Keywords:** Plasma, Electric arc, Ansys Fluent, Circuit breaker, MHD

## 1 ÚVOD

Nízkonapäťový istič je zariadenie, ktoré sa využíva na ochranu zdrojov, elektrických prístrojov a taktiež na ochranu ľudí proti poruchovým prúdom. Keď istič preruší poruchový prúd, vzniká medzi jeho kontaktmi elektrický oblúk a tým pádom aj plazma. [1]

Základný proces vzniku a pohybu oblúku je možné popísať nasledovne:

1. Zapálenie oblúku a zámerna  
Ak je elektrický istič spustený, jeho rozpojenie je hnané mechanizmom. Oblúk sa spočiatku zapáli medzi kontaktami. Dĺžka oblúku sa zväčšuje spolu so zväčšujúcou sa vzdialenosťou kontaktov. Na oblúk pôsobí magnetická sila, indukovaná samotným oblúkom, tým pádom sa predlžuje a ohýba. Keď sa oblúk dostane k bežcu (elektróda s rovnakým potenciálom ako pohyblivý kontakt) musí naň preskočiť. Tento proces sa nazýva zámerna.
2. Pohyb oblúku  
Na pohyb oblúku vplyvajú dva faktory: magnetická sila a tlak plynu. Tento pohyb je možné ovplyvniť geometriou, pridaním ferromagnetických materiálov alebo využitím magnetickej cievky.
3. Proces rozdeľovania oblúku  
Oblúk sa nakoniec dostáva ku rozdeľovacím doskám. Príťažlivý efekt je tvorený ferromagnetickými rozdeľovacími doskami, ktoré tiež pomáhajú usmerňovať pohyb oblúku. Na týchto doskách sa oblúk ohýba a rozširuje a následne je rozdelený na viacero menších oblúkov. [2]

## 2 MATEMATICKÝ MODEL

Modelovanie dejov v elektrickom ističi ako aj modelovanie plazmy samotnej je zložitý proces, ktorý spája hydrodynamiku, termodynamiku, elektromagnetizmus a prípadne aj pohyb mechanických častí. Analýzy boli uskutočnené v programe Ansys Fluent. Ide o najrozšírenejší CFD (Computational Fluid Dynamics) program.

Na simulovanie elektromagnetických dejov bol využitý prídavný magnetohydrodynamický modul (MHD). Tento modul obsahuje dva spôsoby výpočtu prúdovej hustoty a to buď pomocou elektrického potenciálu, alebo magnetickej indukcie. Bola vybratá metóda s využitím elektrického poten-

ciálu. Z tohto dôvodu museli do programu byť vnesené vlastné rovnice, ktoré popisujú vznik magnetického pola pomocou magnetického potenciálového vektora. Jedná sa o rovnice:

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (1)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi \quad (2)$$

$$\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu \mathbf{j} \quad (3)$$

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla \phi) = 0 \quad (5)$$

Kde  $\mathbf{B}$  je vektor magnetickej indukcie,  $\mathbf{A}$  je magnetický potenciálový vektor,  $\mathbf{E}$  je vektor elektrickej intenzity,  $\phi$  je elektrický potenciál,  $\mu$  je magnetická permeabilita,  $\mathbf{j}$  je vektor prúdovej hustoty,  $\sigma$  je elektrická vodivosť.

Teplotné závislosti parametrov (tepelná vodivosť, viskozita, elektrická vodivosť) plynu boli nastavené podľa [3], a do programu boli vnesené pomocou vlastných rovníc. Hustota plynu bola definovaná rovnicou ideálneho plynu:

$$pV = nRT \quad (6)$$

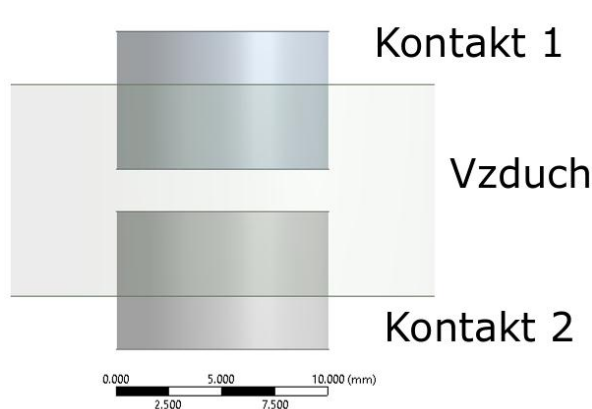
Kde  $p$  je tlak,  $V$  je objem,  $n$  je látkové množstvo,  $R$  je plynová konstanta a  $T$  je termodynamická teplota.

### 3 ANALÝZY

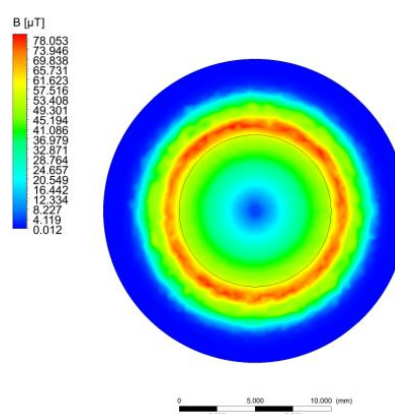
Elektrické oblúky sú charakteristické svojou vysokou teplotou preto môžu byť sledované s využitím teplotného pola. Chemické procesy a odparovanie elektród v tejto práci neboli uvažované z dôvodu zjednodušenia výpočtu.

Prvá analýza sa zaoberala indukciou magnetického pola v okolí plazmy. Bola použitá zjednodušená geometria dvoch kontaktov, ktoré sú od seba vzdialené 2 mm. Priemer kontaktov je 10 mm.

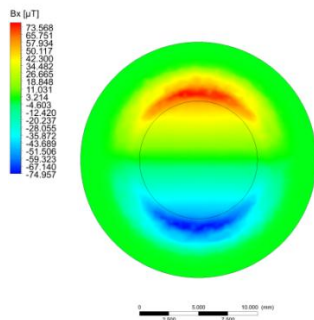
Na obrázkoch 2, 3, 4 je možné pozorovať veľkosť a smer magnetického pola indukovaného plazmou, ktorá bola vytvorená s využitím okrajovej podmienky prúdovej hustoty  $j = 25000 \text{ A/m}^2$ . Veľkosť magnetickej indukcie vo vzdialenosti 5 mm od stredu je približne  $7,8 \mu\text{T}$ .



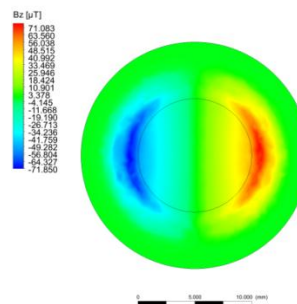
Obrázok 1: Model kontaktov



Obrázok 2: Veľkosť magnetickej indukcie

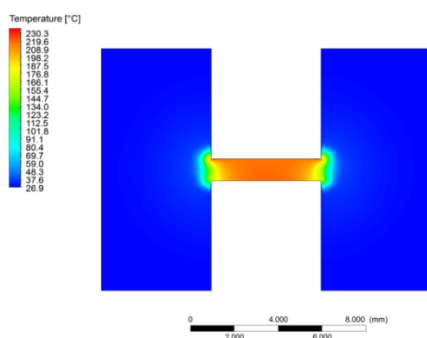


**Obrázok 3:** Magnetická indukcia v smere osi X

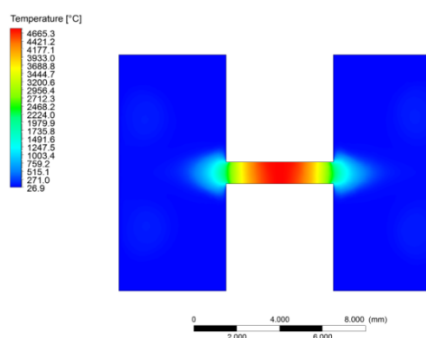


**Obrázok 4:** Magnetická indukcia v smere osi Z

Druhá analýza sa zaoberala vzniknutím elektrického oblúku a následným oddelovaním kontaktov. Na obrázkoch 5 a 6 je možné pozorovať elektrický oblúk v rôznych časových okamihoch.



**Obrázok 5:** Elektrický oblúk, čas 10  $\mu$ s



**Obrázok 6:** Elektrický oblúk, čas 1 ms

#### 4 ZÁVER

V práci bol vytvorený matematický model plazmy a bola uskutočnená analýza oddelovania kontaktov v elektrickom ističi. Bolo sledované magnetické pole indukované poruchovým prúdom medzi kontaktami a taktiež formovanie elektrického oblúku. Tieto poznatky je možné využiť pri navrhovaní ističov, ich kontaktov ako aj pri všeobecnom skúmaní elektrických oblúkov a plazmy.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla za finančnej podpory projektu špecifického výzkumu na VUT (projekt č. FEKT-S-17-4595, Materiály a technológie pro elektrotechniku III.).

#### REFERENCIE

- [1] Rong, Mingzhe & Ma, Qiang & Wu, Yi & Xu, Tiejun & Murphy, Anthony. (2009). The influence of electrode erosion on the air arc in a low-voltage circuit breaker. *Journal of Applied Physics*. 106. 023308 - 023308. 10.1063/1.3176983.
- [2] Fei Yang et al 2013 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46 273001
- [3] Murphy, A.B. *Plasma Chem Plasma Process* (1995) 15: 279. <https://doi.org/10.1007/>