

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra energetiky**

**Vliv vnějšího magnetického pole na vypínací proces  
jistice nízkého napětí**

**Influence of External Magnetic Field on Switch-Off  
Process of Low Voltage Circuit Breaker**

**2016**

**Pavel Sedlmajer**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Sedlmajer**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Vliv vnějšího magnetického pole na vypínací proces jističe nízkého napětí**  
**Influence of External Magnetic Field on Switch-Off Process of Low Voltage Circuit Breaker**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor vypínání AC proudu, propuštěná energie  $I_2t$
3. Základní konstrukce jističe nn, provedení, charakteristiky
4. Proveďte měření propuštěné energie jističem nn při vypínání zkratu
5. Měření opakujte s ohledem na působení externího magnetického pole
6. Vyhodnocení naměřených údajů a porovnání
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- HAVELKA, Otto. Elektrické přístroje, Praha, 1985, SNTL
- CIGÁNEK, Ladislav. Elektrické přístroje, Praha, 1956, SNTL
- ARTBAUER, Otto. Tepelný výpočet elektrických přístrojů, SVTL Bratislava, 1963, SVŠT Bratislava
- Katalogy a katalogové listy
- Odborné a technické www stránky
- Technické normy

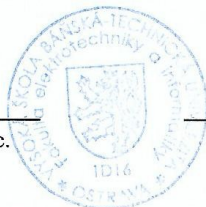
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny odborné literární parametry a publikace, ze kterých jsem čerpal. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při zpracování této práce je legální.

V Ostravě dne: 26.4.2017



Podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Petrovi Kačorovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Jistič je schopen samočinně vypínat elektrický obvod při přetížení, zkratu, nebo nadproudu. Při rozpojení jeho kontaktů vznikne elektrický oblouk, který je magnetickým polem uvnitř jističe vtažen do zhašecí komory, kde je uhašen.

Cílem této práce bylo vyhodnotit, jak se bude chovat jistič, když k němu přidáme externí magnetické pole.

První část bakalářské je zaměřená na teoretický rozbor magnetického pole a jeho vlastností a popis jističe a princip jeho funkce.

Druhá část je zaměřená na samotné měření vlastností jističe po přidání vnějšího magnetického pole. Jsou zde zhotoveny grafické závislosti naměřených a vypočtených hodnot. V závěru jsou rozdíly mezi měřeními porovnány a zhodnoceny.

## **Klíčová slova**

jistič, magnetické pole, elektrický oblouk, magnet, vzdálenost, vypínání, zkrat, zkratový proud, energie, propuštěná energie

## **Abstrakt**

Circuit breaker is able to automatically trip a electrical circuit when overloaded, short circuit or when there is overcurrent. Disconnection of contacts leads to creation of current arc, that is pulled to quenching chamber by magnetic field inside circuit breaker, where it is quenched.

Goal of this paper is to evaluate, how circuit breaker is going to act, if we add external magnetic field to it.

First part of this paper is focused on theoretical analysis of magnetic field and it's properties, description of circuit breaker and it's function principle.

Second part is focused on measuring of properties of circuit breaker after adding external magnetic field to it. Plots of measured and calculated values are made, and those results are compared and evaluated in conclusion.

## **Key words**

circuit breaker, magnetic field, electrical arc, magnet, distance, tripping, short circuit, shot circuit current, energy, released energy

## **OBSAH**

1 Seznam použitých symbolů a značek .....	- 7 -
2 Seznam ilustrací a tabulek .....	- 8 -
3 Úvod .....	- 9 -
4 Literární přehled .....	- 10 -
4.1 Teoretický rozbor .....	- 10 -
4.1.1 Magnetické pole .....	- 10 -
4.1.2 Základní fyzikální veličiny popisující magnetické pole.....	- 10 -
4.1.3 Rozdělení magnetického pole.....	- 13 -
4.2 Elektrické přístroje .....	- 16 -
4.2.1 Elektrické přístroje obecně .....	- 16 -
4.2.2 Kontakty spínacích přístrojů.....	- 17 -
4.2.3 Jistič.....	- 19 -
5 Praktická část - měření vlastností jističe s přidaným vnějším magnetickým polem .....	- 24 -
5.1 Schéma zapojení .....	- 25 -
5.2 Použité přístroje.....	- 25 -
5.3 Postup měření .....	- 25 -
5.4 Vyhodnocení naměřených hodnot. ....	- 26 -
6 Závěr.....	- 34 -
7 Seznam použité literatury .....	- 35 -

# 1 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
$\Phi$	Wb; V.s; M	Magnetický tok
t	s	Čas
U	V	Elektrické napětí
U <sub>i</sub>	V	Indukované napětí
B	T; Vs.m <sup>-2</sup> ; G	Magnetická indukce
S	m <sup>2</sup>	Průřez vodiče
H	Am <sup>-1</sup> ; Oe	Intenzita magnetického pole
F <sub>m</sub>	A	Magnetomotorické napětí
l	m	Délka
$\mu$	H.m <sup>-1</sup> ;	Permeabilita prostředí
$\mu_0$	H.m <sup>-1</sup>	Permeabilita vakua
$\mu_r$	-	Relativní permeabilita prostředí
F	N	Velikost magnetické síly
K	-	Jednotka teploty 1K= 273,15 C°
AC	-	Střídavý proud
l <sup>2</sup> t	A <sup>2</sup> m	Míra propuštěné energie
I <sub>max</sub>	A	Maximální proud při vypínacím procesu jističe
i <sub>i</sub>	A	Indukovaný proud
U <sub>k</sub>	V	Napětí na kontaktech jističe
U <sub>s</sub>	V	Napětí sítě
IN	A	Jmenovitý proud
Ag-Cu	-	Stříbro-měď
Ag-Ni	-	Stříbro-nikl
vn	-	Zkratka vysokého napětí
vvn	-	Zkratka velmi vysokého napětí

## 2 SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obr. 1 - [https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A9\\_pole#/media/File:Electromagnetism.png](https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A9_pole#/media/File:Electromagnetism.png)

Obr. 2 –

<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zae/el7.htm>

Obr. 3 –

[http://www.wikiskripta.eu/index.php/Magnetick%C3%A9\\_pole](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Magnetick%C3%A9_pole)

Obr. 4 –

[http://www.wikiskripta.eu/index.php/Magnetick%C3%A9\\_pole](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Magnetick%C3%A9_pole)

Obr. 5 –

<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zae/el7.htm>

Obr. 6 –

[http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna\\_eltech/esp/el\\_pristroje\\_esp.pdf](http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_esp.pdf)

Obr. 7 –

[http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna\\_eltech/esp/el\\_pristroje\\_esp.pdf](http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_esp.pdf)

Obr. 8 –

<http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-jistic/>

Obr. 9 –

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5FV7RdPri9YJ:oenergetice.cz/technologie/elektricky-oblouk/+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>

Obr. 10 -

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5FV7RdPri9YJ:oenergetice.cz/technologie/elektricky-oblouk/+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>

Obr. 11 -

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5FV7RdPri9YJ:oenergetice.cz/technologie/elektricky-oblouk/+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>

Obr. 12 -

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5FV7RdPri9YJ:oenergetice.cz/technologie/elektricky-oblouk/+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>



### 3 ÚVOD

Jističe mají schopnost zapínat a samočinně vypínat také zkratové proudy, které mohou být až 10x větší než jejich jmenovitý proud. Při rozpojení kontaktů se mezi kontakty vytvoří elektrický oblouk, který je potřeba rychle uhasit. K tomu se používají různé druhy zhášecích komor. Pro účely této práce jsme použili jistič, který je vybaven zhášecí komorou, která zháší oblouk pomocí metody dělení oblouku.

Působením elektromagnetického pole uvnitř jističe je oblouk vtažen do zhášecí komory mezi kovové vložky, které oblouk rozdělí na kratší oblouky. Kovové vložky oblouk navíc ochlazují, protože mají vysokou tepelnou vodivost.

Cílem této práce bylo zjistit, jak se změní chování jističe a jeho charakteristiky, pokud k jističi přidáme vnější magnetické pole, které bylo realizováno pomocí dvou permanentních magnetů. Magnety jsme postupně přibližovali k jističi a pro každou vzdálenost měřili jeho výstupní charakteristiky.

Nejdříve se budu v práci zabývat teoretickým rozborem magnetického pole, jističů, jejich rozdělení a vlastností.

V druhé části práce bude uveden samotný experiment, který bude obsahovat grafy a vypočtené hodnoty. Jedna sada grafů bude obsahovat průběh zkratového proudu na kontaktech v závislosti na čase. Každý graf má časové rozpětí 0-10ms, což se rovná jedné půlperiodě napětí při frekvenci 50Hz. Druhá sada bude ukazovat porovnání průběhů zkratových proudů pro všechny realizované vzdálenosti magnetů a závislost míry propuštěné energie  $I^2t$  na vzdálenosti magnetů. Porovnání a zhodnocení výsledných hodnot bude uvedeno v závěru práce.

## 4 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 4.1 Teoretický rozbor

#### 4.1.1 Magnetické pole

Magnetické pole se projevuje magnetickými účinky a jevy. Pro laika jsou zjevné silové účinky magnetického pole na okolní feromagnetické látky hlavně v blízkosti pólů zdroje magnetického pole. Byla stanovena dohoda o označení magnetických pólů: [6]

a) „Severní“ pól

- mezinárodní označení písmenem N
- označení v české literatuře písmenem S
- na zdrojích magnetického pole, například permanentních magnetech bývá barevně označen

Byla stanovena dohoda o tom, že siločáry magnetického pole vystupují ze severního pólu zdroje magnetického pole. [6]

b) „Jižní“ pól

- mezinárodní označení písmenem S
- označení v české literatuře písmenem J
- na zdrojích magnetického pole, například permanentních magnetech nebývá nijak označen

Byla stanovena dohoda o tom, že siločáry magnetického pole vstupují do jižního pólu zdroje magnetického pole. Poté se vnitřkem tělesa vrací k severnímu pólu a tvoří tak uzavřené křivky (vírové pole). [6]

#### 4.1.2 Základní fyzikální veličiny popisující magnetické pole

##### 4.1.2.1 Magnetický tok ( $\Phi$ )

Vektorová veličina, která vyjadřuje počet siločar magnetického pole, které procházejí plochou kolmou na směr orientace siločar magnetického pole. Fyzikální jednotky magnetického toku v soustavách SI (současně používaná) a v soustavě CGS (předchůdce soustavy SI): [6]

1. v soustavě SI:  
1 weber [Wb]  
1 voltsekunda [Vs] odvozená ze vztahu:  $\Phi = U_i \cdot t$  [Vs; V, s]
2. v soustavě CGS:  
1 maxwell [M]
3. přepočítání fyzikálních jednotek:  
 $1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs} = 10^8 \text{ M}$

Vztah pro výpočet magnetického toku:

$$\Phi = B \cdot S \text{ [Wb; T, m}^2 \text{]} \quad [6]$$

#### 4.1.2.1 Intenzita magnetického pole ( $H$ )

Vektorová veličina, která vyjadřuje „sílu“ magnetického pole, v závislosti na vlivech vytvářejících magnetické pole, například proud, který teče vodičem cívky, a v nezávislosti na vlivech prostředí, ve kterém se magnetické pole nachází. **[6]**

Fyzikální jednotky magnetického toku v soustavách SI (současně používaná) a v soustavě CGS (předchůdce soustavy SI):

- 1) v soustavě SI:  
1 ampér na metr [ $\text{Am}^{-1}$ ]
- 2) v soustavě CGS:  
1 oersted [ $\text{Oe}$ ]
- 3) přepočítání fyzikálních jednotek:  
 $1 \text{ Am}^{-1} = 4\pi / 1000 = 0,0125664 \text{ Oe}$

Vztah pro výpočet intenzity magnetického pole:

$$H = F_m / l \quad [\text{Am}^{-1} ; \text{A}, \text{m}]$$

$F_m$ ...magnetomotorické napětí  
 $l$  střední délka siločáry magnetického pole

$$H = B / \mu \quad [\text{Am}^{-1} ; \text{T}, \text{Hm}^{-1}]$$
$$H = B / (\mu_0 \cdot \mu_r) \quad [\text{Am}^{-1} ; \text{T}, \text{Hm}^{-1}, - ] \quad 3. \quad \mathbf{[6]}$$

#### 4.1.2.3 Magnetická indukce ( $B$ )

Vektorová veličina, který vyjadřuje počet (hustotu) siločar magnetického pole, které procházejí plochou  $1\text{m}^2$ , kolmou na směr siločar magnetického pole. **[6]**

Fyzikální jednotky magnetické indukce v soustavách SI (současně používaná) a v soustavě CGS (předchůdce soustavy SI):

- 1) v soustavě SI:  
1 tesla [ $\text{T}$ ]  
1 voltsekunda/ $\text{m}^2$  [ $\text{Vs.m}^{-2}$ ]  $\rightarrow$  odvozená ze vztahu:  $B = \Phi / S$  [ $\text{Vs.m}^{-2}$ ;  $\text{Vs}, \text{m}^2$  ]
- 2) v soustavě CGS:  
1 gauss [ $\text{G}$ ]
- 3) přepočítání fyzikálních jednotek:  
 $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs.m}^{-2} = 10^4 \text{ G}$

Vztah pro výpočet magnetické indukce magnetického pole:

$$B = \mu \cdot H \quad [\text{T}; \text{Hm}^{-1}, \text{Am}^{-1}] \quad \mathbf{[6]}$$

#### 4.1.2.4 Permeabilita (prostupnost) prostředí ( $\mu$ )

Skalární veličina, která vyjadřuje magnetickou „vodivost“ prostředí, ve kterém se magnetické pole nachází. [6]

Fyzikální jednotky magnetické indukce v soustavách SI (současně používaná) a v soustavě CGS (předchůdce soustavy SI):

- 1) v soustavě jednotek SI:  
1 henry na metr [Hm-1]  
1 tesla/ampér/m [T/Am-1] → ze vztahu:  $\mu = B / H$  [T/Am-1 ; T, Am-1]
- 2) v soustavě CGS:  
1 gauss na oersted [G/Oe] → odvozená ze vztahu:  $\mu = B / H$  [G/Oe ; G, Oe]
- 3) přepočítání fyzikálních jednotek:  
1 H.m-1 = 1 T/Am-1

Vztah pro výpočet permeability prostředí magnetického pole:

$$\mu = B / H \text{ [Hm-1; T, Am-1]} \quad [6]$$

#### 4.1.2.5 Permeabilita vakua ( $\mu_0$ )

Je to magnetická indukční konstanta vakua.

Skalární veličina, která vyjadřuje magnetickou „vodivost“, pro magnetické pole ve vakuu.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,256637 \cdot 10^{-6} \text{ T/Am}^{-1} = 1 \text{ G/Oe} \quad [6]$$

#### 4.1.2.6 Relativní (poměrná) permeabilita prostředí ( $\mu_r$ )

Skalární veličina, která popisuje relativní magnetickou „vodivost“, pro magnetické pole prostředí, ve kterém se nachází magnetické pole.

Tato veličina vyjadřuje, kolikrát je dané prostředí magneticky „vodivější“ pro magnetické pole, než vakuum. [6]

Matematický vztah pro výpočet relativní permeability prostředí  $\mu_r$  (bezrozměrná veličina):

$$\mu_r = B / (\mu_0 \cdot H) = \mu / \mu_0 \text{ [-; T, Hm-1, Am-1 ; Hm-1, Hm-1]} \quad [6]$$

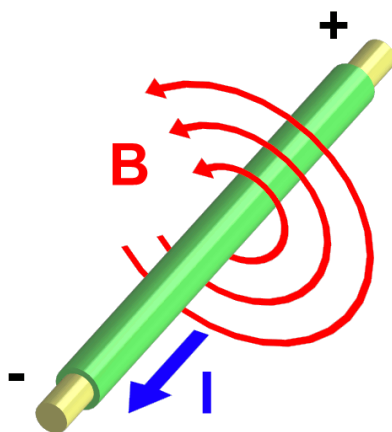
### 4.1.3 Rozdělení magnetického pole

#### 4.1.3.1 Stacionární magnetické pole

Vně cívky je magnetické pole obdobné jako u tyčového magnetu a magnetické indukční čáry zde vytváří uzavřené křivky vystupující z jednoho konce cívky (odpovídá severnímu pólu magnetu) a vstupují do opačného konce (jižního pólu). [4]

Stacionární magnetické pole je pole takové, jehož vlastnosti jsou neměnné v čase. Vektor  $B$  má v daném bodě pole stejný směr i velikost. Zdrojem takového pole mohou být permanentní magnety nebo vodič, který se nepohybuje a protéká jím konstantní elektrický proud.

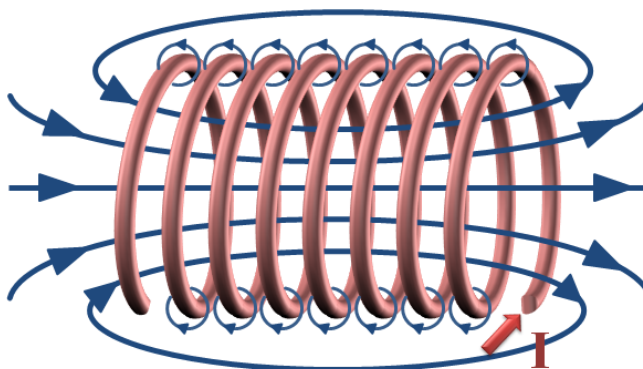
K tomu, abychom znázornili magnetické pole, využijeme magnetické indukční čáry. Tyto čáry jsou vždy uzavřené křivky, jejichž tečny mají v daných bodech směr os malých magnetek, umístěných v těchto bodech. U přímého vodiče můžeme pozorovat kružnice se středem v místě průsečíku vodiče s rovinou, která je na vodič kolmá a ve které leží kružnice. [4]



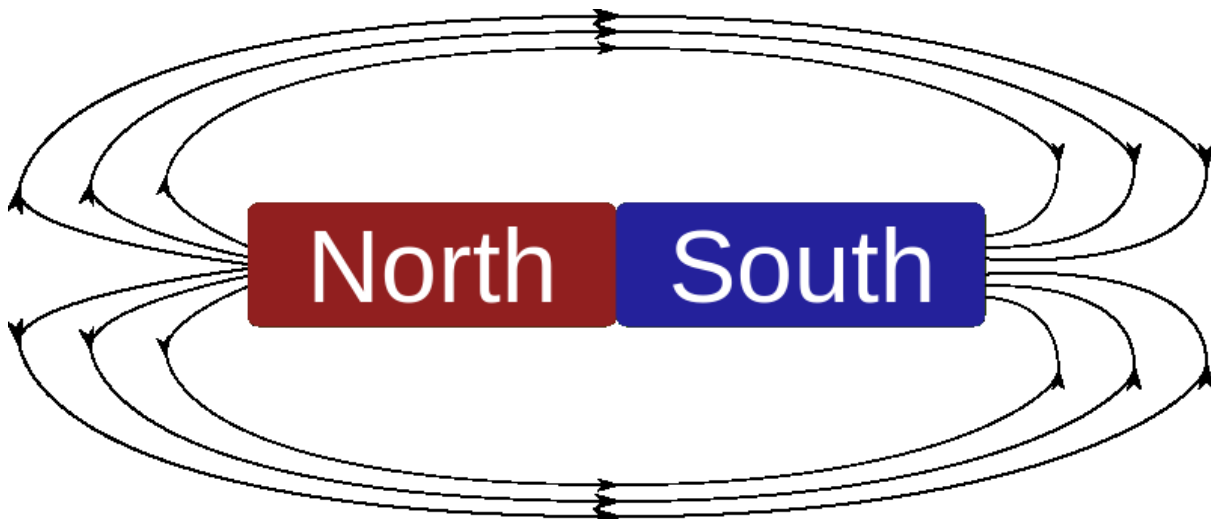
Obr. 1: Indukční čáry přímého vodiče

Magnetické indukční čáry uvnitř cívky jsou rovnoběžné s osou cívky.

Magnetické pole vně cívky se chová obdobně jako u tyčového magnetu. Indukční čáry zde vystupují z jednoho konce cívky (severního pólu) a vstupují do opačného konce cívky (jižního pólu.) (Obr.2). [4]



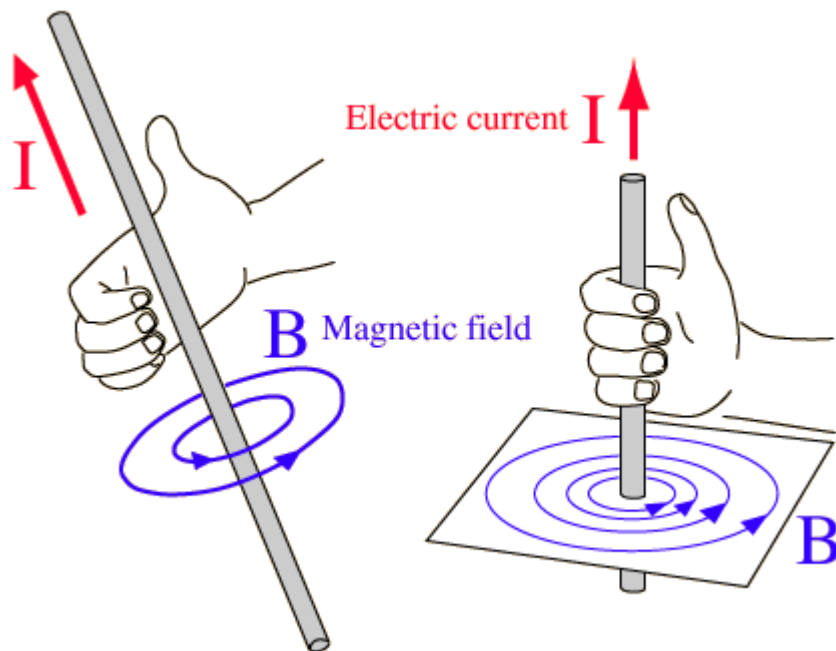
Obr. 2: Indukční čáry uvnitř a vně cívky cívky



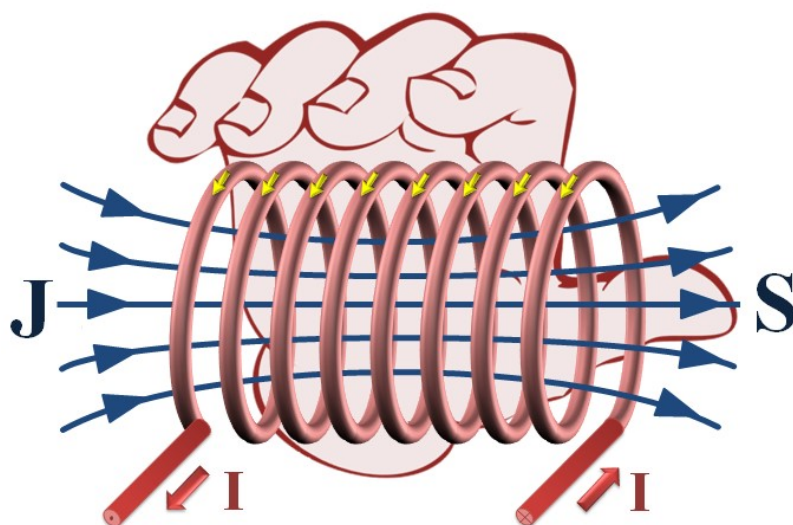
Obr. 3: Indukční čáry tyčového permanentního magnetu

### Pravidlo pravé ruky

Orientaci indukčních čar v okolí elektrického vodiče určíme pomocí Ampérova pravidla pravé ruky pro přímý vodič. Když chytíme vodič do pravé ruky, palec nám ukazuje směr proudu ve vodiči a prsty nám ukazují směr magnetických indukčních čar (Obr.4). Podobně můžeme pravidlo použít pro cívku (Ampérovo pravidlo pravé ruky pro cívku). Kdybychom uchytli cívku pravou rukou, prsty pravé ruky nám ukazují směr, jakým teče závit cívky proud a palec nám ukazuje směr magnetických indukčních čar (Obr.5). [4]



Obr. 4 – Ampérovo pravidlo pravé ruky pro přímý vodič



Obr.5: Ampérovovo pravidlo pravé ruky pro cívku

#### 4.1.3.2 Nestacionární magnetické pole

Vlastnosti nestacionárního magnetického pole se liší od stacionárního magnetického pole. Vlastnosti nestacionárního magnetického pole se mění s časem, v tom případě se mění i magnetická indukce. Ke zdrojům nestacionárního magnetického pole můžeme zařadit například stacionární vodič, ve kterém se s časem mění proud, pohyblivý vodič s proměnným i neproměnným proudem, pohybující se magnet, nebo elektromagnet. [4]

#### Elektromagnetická indukce

Protože je magnetické pole nestacionární, vzniká tak indukované elektrické pole, tomuto úkazu se říká elektromagnetická indukce. V cívce se indukuje napětí a na koncích cívky vzniká indukované napětí  $U_i$ . Celým uzavřeným obvodem pak prochází indukovaný elektrický proud  $I_i$ . [4]

#### Využití:

Indukční sporák - cívka, která je napájena vysokofrekvenčním střídavým proudem se nachází těsně pod sporákem. S pomocí tohoto střídavého proudu se ve vodivé nádobě na sporáku indukuje proud. Protože nádoba nemá nulový odpor, nádoba se zahřívá. Výhodou je že teplo vychází pouze z nádoby na přípravu potravin, a ne ze samotného sporáku.

Elektrický kytarový snímač – elektrický kytarový snímač se skládá z jádra a kolem něj namotané cívky. Tím, jak v magnetickém poli kmitá struna, indukuje se na cívce (snímači) indukované napětí. Toto napětí kmitá stejnou rychlostí jako struna a tento pohyb se následně přenáší do zesilovače (reproduktoru), kde vydává zvuk. [4]

## 4.2 Elektrické přístroje

### 4.2.1 Elektrické přístroje obecně

Elektrické přístroje jsou velmi důležitou součástí rozvodné sítě. Slouží k jištění a ochraně proti poruchovým stavům jako jsou přepětí, nadproudy, zkraty a také ke spínání provozních a zkratových proudů. [3]

Mohou pracovat samostatně nebo být uskupeny do celků o větším počtu přístrojů. Místem o větším počtu elektrických přístrojů říkáme rozvaděče. Pokud musíme vybudovat zvláštní stavební provedení budovy, nazývá se toto provedení rozvodna. [3]

Největší skupinu přístrojů tvoří přístroje spínací. Jejich základním úkolem je uzavírat a přerušovat elektrický obvod. Proto, aby mohl spínač plnit tyto úkoly, má dvě statické polohy:

Vypnuto	-napětí na kontaktech vypínače má velikost napětí sítě ( $U_K = U_S$ ). -obvodem neprotéká proud ( $I=0$ )
---------	---

Vzdálenost kontaktů musí být taková, aby za normálního chodu sítě, nedošlo k elektrickému průrazu mezi kontakty.

Zapnuto	-obvodem protéká jmenovitý proud ( $I = I_N$ ), -napětí na kontaktech vypínače je nulové ( $U_K = 0$ )
---------	---

Kontakty na sebe musí dobře doléhat, aby nedošlo ke svaření kontaktů, vlivem oteplení kvůli velkému přechodovému odporu. [3]

Trvalý přenos proudu nebo trvalé oddělení části vedení s napětím ale není hlavním úkolem spínačů, ale uskutečnění přechodu z jednoho stavu do druhého. Toto představují další dva stavy, kterým říkáme stavy dynamické.

Zapínání	- obvodem začíná protékat proud, který přechodným dějem narůstá z nuly do ustálené hodnoty.
----------	---

Vypínání	- obvodem přestává protékat proud a na kontaktech spínače začíná narůstat napětí z nuly na napětí sítě. [3]
----------	---



#### 4.2.1.1 Konstrukční části přístrojů

Spínací přístroje mají několik konstrukčních dílů:

- části proudovodné – části určené k vedení proudu - svorky přístroje, spojovací části, kontakty - jsou namáhány tepelně a mechanicky
- izolace přístroje – izolace živých částí navzájem, izolace živých částí od neživých plynů (hlavně vzduch), kapalinami (transformátorový olej), pevnými látkami (organické i anorganické)
- mechanismus – zařízení, které přemísťuje kontakty z jedné základní polohy do druhé
- zhášedla – slouží k uhašení oblouku, který vznikne při oddálení kontaktů (vypínání), magnetické vyfukování oblouku do zhášecí komory, tlakovzdušné, plynové
- výzbroj (ověšení) – např. pomocné kontakty, signalizace, podvozek s příslušenstvím, různé druhy krytů [3],[2]

#### 4.2.2 Kontakty spínacích přístrojů

Tvoří nejdůležitější a nejvíce namáhanou část přístroje.

Požadavky na kontakty:

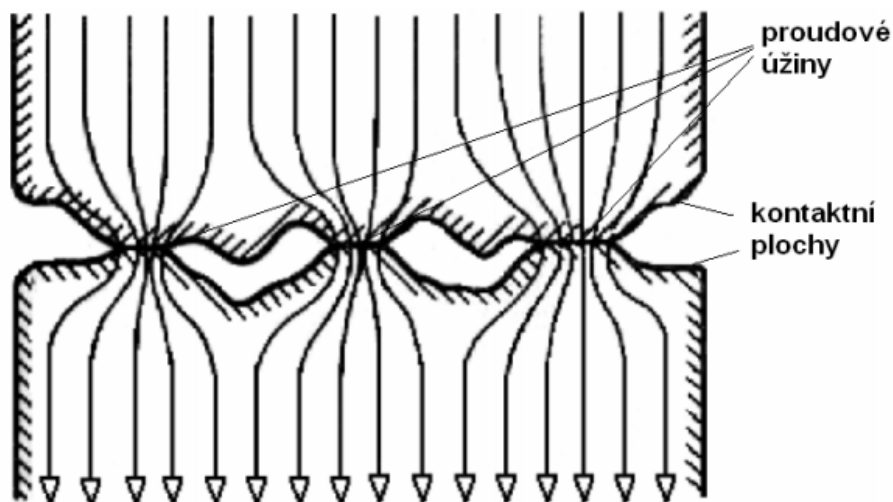
- malý stykový odpor
- velká odolnost proti mechanickému opotřebení
- velká odolnost proti svaření
- velká odolnost proti opalování elektrickým obloukem
- optimální vliv na vývoj deionizačních pochodů po uhasnutí vypínacího oblouku
- dobrá elektrická i tepelná vodivost [5]

Materiály kontaktů:

- měď a slitiny mědi (např. mosaz)
- stříbro – výborná odolnost proti oxidaci a proti opotřebení; stříbro má malou mechanickou pevnost a tvrdost proto se užívají slitiny Ag-Cu, Ag-Ni
- ušlechtilé kovy (zlato, platina, aj.)
- wolfram a molybden – odolné vysokým teplotám; pro vypínače vn a vvn
- nepravé slitiny, dvojkovové materiály (bimetal), grafit, rtuť v baňce, atd. [5]

### Stykový odpor

- vyniká tam, kde přechází materiál z jednoho kontaktu na druhý
- plochy kontaktů nejsou dokonale hladké, proto k sobě ani kontakty nedosedají dokonale, dotýkají se v tzv. proudových úžinách
- proud prochází menším průřezem, tedy větším odporem
- čím větší je stykový odpor, tím více se kontakty zahřívají, a tím více roste odpor kontaktu. Hrozí tedy tavení nebo svaření kontaktu.
- odpor kontaktů lze zmenšit pomocí větší přitlačné síly, a zvolením správného materiálu kontaktů. [5]



Obr.6: Vznik stykového odporu

### 4.2.3 Jistič

Jistič v sobě slučuje jak funkci vypínače, tak funkci pojistky. Umí sám od sebe odpojit zařízení od sítě při zkratu, průniku nebezpečného dotykového napětí s následným zkratem, nebo přetížení. Jistič musí být vybaven zámkem a spouští. Zámek je nezávislý, to znamená, že nemůžeme jistič zapnout, pokud porucha stále trvá, stejně tak jistič nebude při poruše fungovat, pokud budeme páčku jističe držet v pozici „zapnuto“ cizím předmětem. [2][3]

#### 4.2.3.1 Rozdělení jističů

- podle zhašení oblouku - vzduchové, olejové, s vyfukovací cívkou
- podle druhu proudu - střídavé, stejnosměrné
- podle počtu pólů - jednopólové, trojpólové
- podle zapínání - ruční (nejčastější způsob); strojní - elektromagnetické, tlakovzdušné, pružinové, elektromotorové
- podle vypínací charakteristiky: B – jističe pro vedení, C – jističe pro zařízení způsobující proudové rázy (motory), D – zařízení s velkými proudovými rázy [5]

K jištění jednofázových vedení a spotřebičů se používají jednopólové jističe. Normovaně se vyrábějí pro jištění vedení 6, 10, 15, 20, 25A a pro jištění motorů od 0,3 do 25A. Takové jističe se nazývají drobnými.

Troj-pólové jističe se vyrábějí vzduchové a olejové. Obsahují zhašecí komoru pro uhašení oblouku. Vyrábějí se obvykle:

- pro 25, 32, 50, 100, 200, 400 a 600A při napětí 250V nebo 500V
- pro 600, 1000, 2000 a 3000A při napětí 600V
- pro 1000, 1600, 2500 a 4000A při napětí 660V [5]

#### 4.2.3.2 Konstrukce a princip činnosti

Jističe mají dvě spouště:

##### 1. Nadproudová

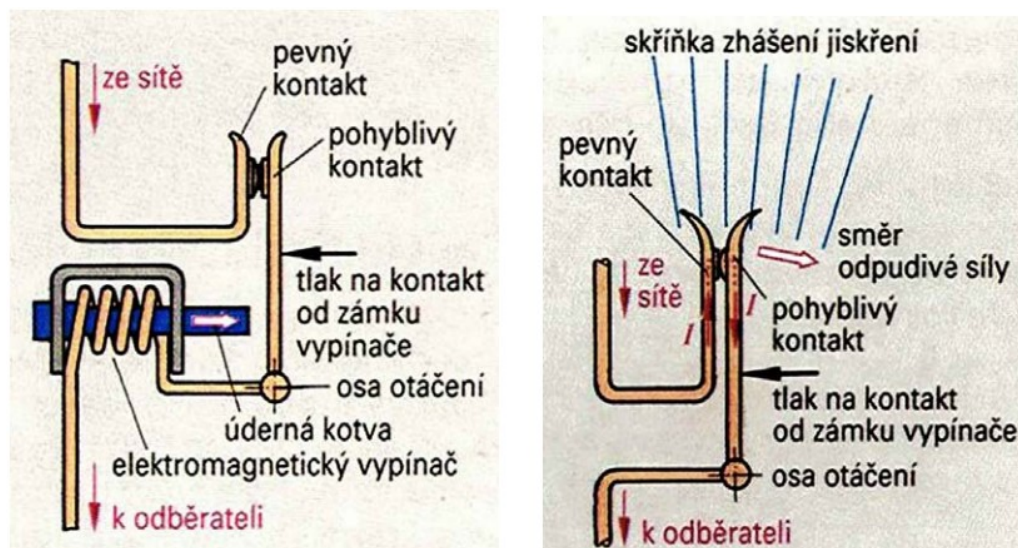
Tepelná spoušť –funguje s pomocí bimetalového pásku, který se při nadproudu zahřeje, tím dojde k prohnutí pásku a následně k rozpojení kontaktů. Tepelný vypínač funguje se zpožděním a funguje pouze při nadproudu. [5]

##### 2. Zkratová

- působí okamžitě, není závislá na velikosti nadproudu, je založena na dvou principech:

- elektromagnetická - je tvořena cívkou s pohyblivým jádrem (kotvou). Při průchodu zkratového proudu vytlačí elektromagnetické pole cívky kotvu, která udeří do pohyblivého kontaktu jističe a kontakty se rozpojí.

- elektrodynamická – používá se u jističů, u kterých jmenovitý proud přesahuje hodnotu 100A. Pohyblivý a pevný kontakt jsou uloženy rovnoběžně. Při zkratu, proud protéká kontakty opačným směrem a silou, kterou vyvolá zkratový proud je pohyblivý kontakt odpojen. Čím větší je proud, který prochází kontakty, tím větší je vzniklá síla. ( $F=B.I.l$ ) [5]

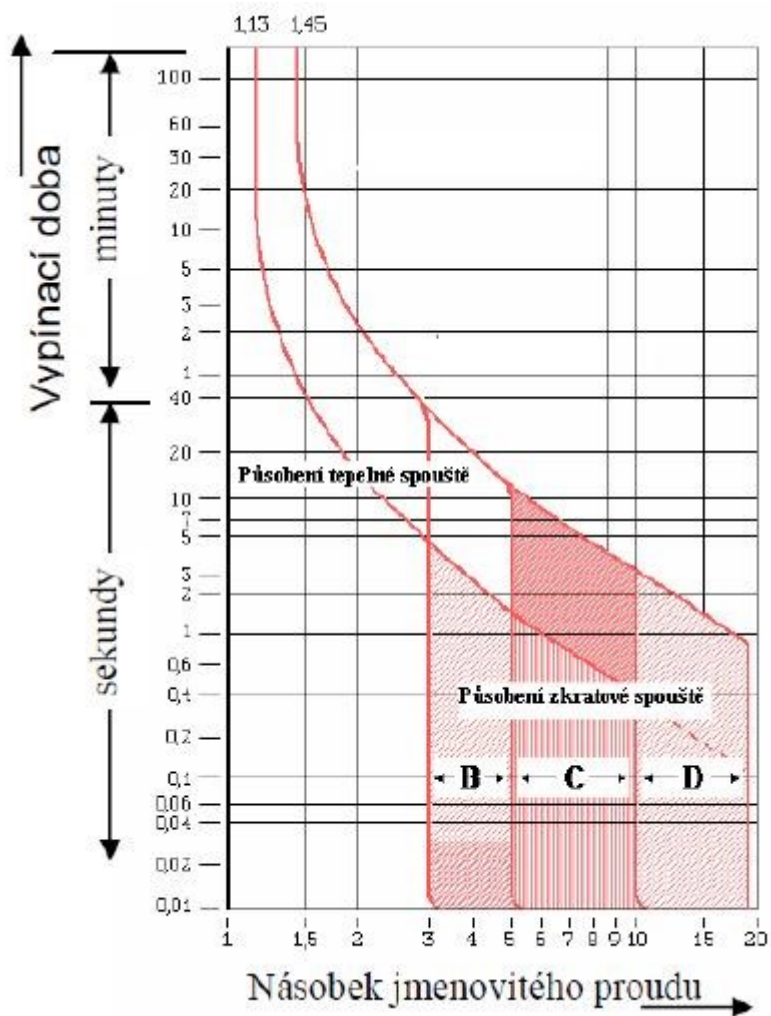


Obr.7 Elektromagnetická a elektrodynamická zkratová spoušť

### 4.2.3.3 Vypínací charakteristiky

Při proudu, který přesahuje jmenovitou hodnotu jističe  $I_N$ , jistič nevypíná obvod, který chrání okamžitě. Závislost doby vypnutí na velikosti nadproudu zjistíme z vypínací charakteristiky jističe (Obr. 8). V domovních a průmyslových instalacích se obvykle setkáváme s jističi s charakteristikami B, C a D.

Jističe, které mají charakteristiku B, reagují na nadproud nejrychleji, jsou proto dobré tam, kde při rozběhu nedochází k velkým nadproudům. Jističe s charakteristikou D oproti tomu mají nejdelší vypínací čas a jsou dobré tam, kde jsou při rozběhu přítomny vyšší nadproudy a nechceme, aby jistič tyto prvky odpojil (např. motory). Jističe s charakteristikou typu C se nachází mezi B a D a jsou vhodné pro jištění běžných spotřebičů a zásuvkových obvodů. [1]



Obr. 8 Vypínací charakteristika jističe

#### 4.2.3.4 Elektrický oblouk v jističi

##### Oblouk a jeho vznik

Elektrický oblouk řadíme mezi elektrické výboje. Je to výboj válcovitého tvaru, který v jističi vzniká při spínání kontaktů.

Při vypínání se začne snižovat přítlačná síla mezi kontakty a zmenšuje se plocha styku. Proudová hustota se zvětšuje a ve stykových bodech roste teplota. Teplo, které vznikne, následně způsobí termickou emisi. Když se kontakty oddálí, magnetická energie, která je nahromaděná v obvodových indukčnostech způsobí přepětí, které prorazí, zatím ještě malou, vzdálenost mezi kontakty. Jiskra, která vznikne, způsobí ionizaci vzduchu v jejím bezprostředním okolí a vzniká elektrický oblouk.

Skládá se z jádra a obalu. Jádro elektrického oblouku tvoří ionizovaný plyn neboli plasmu a dosahuje teplot až 16 000K. Teplota obalu jádra se pochybuje až k 7 000K. [7]

##### Zhášení oblouku

Oblouk je možno zhášet pomocí několika metod. Všechny jsou ale založené buď na principu prodloužení oblouku nebo rozdělení oblouku na více částí. [7]

U prvního a nejjednoduššího řešení, k uhašení pomáhá vhodné uspořádání kontaktů. Působením elektromagnetických sil, které vznikají ve zvláště tvarované proudové dráze, se oblouk prodlužuje. Se vzrůstající délkou oblouku roste jeho napětí a snižuje se proud a tím oblouk zhasne. [7]



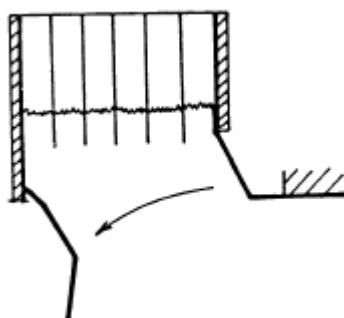
Obr.9 Přirozené zhášení

Pro větší proudy se používají vypínače, které jsou vybaveny zhášecími komorami (Obr.10). Síly, které způsobuje tvar proudové dráhy, oblouk prodlužují. Když oblouk přijde do styku se zhášecí komorou, ochlazuje se a to pomáhá k deionizaci. [7]



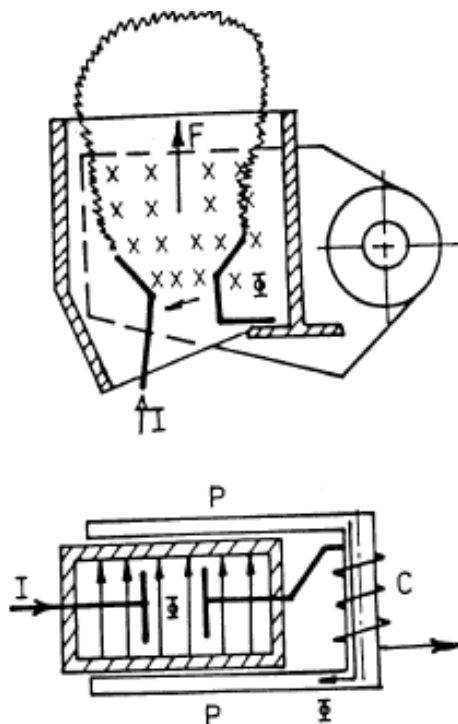
Obr.10 Zhášecí komora

U výkonových vypínačů se používají zhášecí komory s kovovými vložkami (Obr.11), které oblouk rozdělí na kratší oblouky. [7]



Obr.11 Dělení oblouku

Při častém vypínání velkých zkratových proudů je jistič opatřen zhášecí komorou s magnetickým vyfukováním oblouku. Vyfukovací cívka C s železným jádrem opatřeným nástavci P obklopující zhášecí komoru je zapojena do série s kontakty (Obr.12). Nástavce vytvářejí v zhášecí komoře magnetické pole, které je kolmé na dráhu hořícího oblouku, které napomáhá k prodlužování oblouku a jeho následnému zhašení. [7]



Obr.12 Magnetické vyfukování

#### 4.2.3.5 Jouleův integrál - $I^2t$

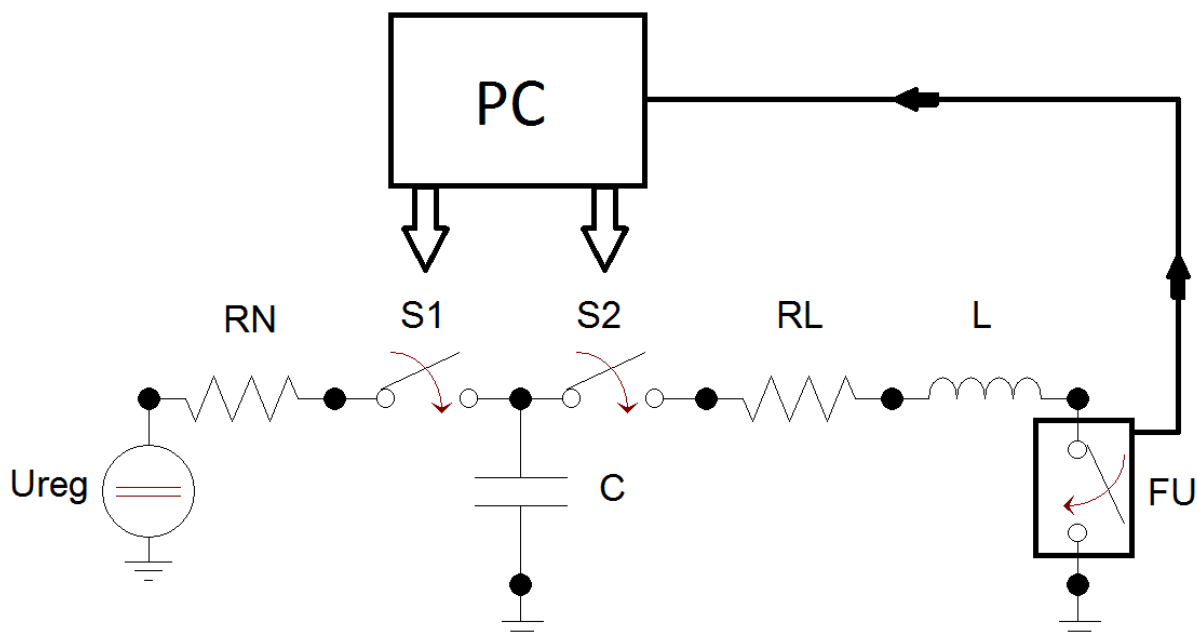
Jouleův integrál jisticího přístroje udává energii, která je propuštěna jisticím přístrojem, když vypíná zkratové proudy. Tato energie namáhá jištěné zařízení, svými tepelnými účinky.

$I^2t$ , který se udává u jisticích přístrojů, vyjadřuje jeho nejvyšší hodnotu, který se za jisticím přístrojem může objevit, když nastanou ty nenepříznivější podmínky. Parametr  $I^2t$  bývá v některých případech rozhodující pro správnou volbu ochrany jištěného zařízení před tepelnými účinky zkratových proudů, které ochrana vypíná, například ochrana vedení. [8]



## 5 PRAKTICKÁ ČÁST - MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ JISTIČE S PŘIDANÝM VNĚJŠÍM MAGNETICKÝM POLEM

### 5.1 Schéma zapojení



### 5.2 Použité přístroje

- Proudová sonda Charvin Arnoux PAC22 150/1500 A AC, BNC
- Základna slotů pro měřicí karty National Instruments NI-cDAQ 9172
- Měřicí karta NI 9481
- Měřicí karta NI 9215
- Jistič Boepke B10 DLS6i ~230/400V
- PC s programem LabView

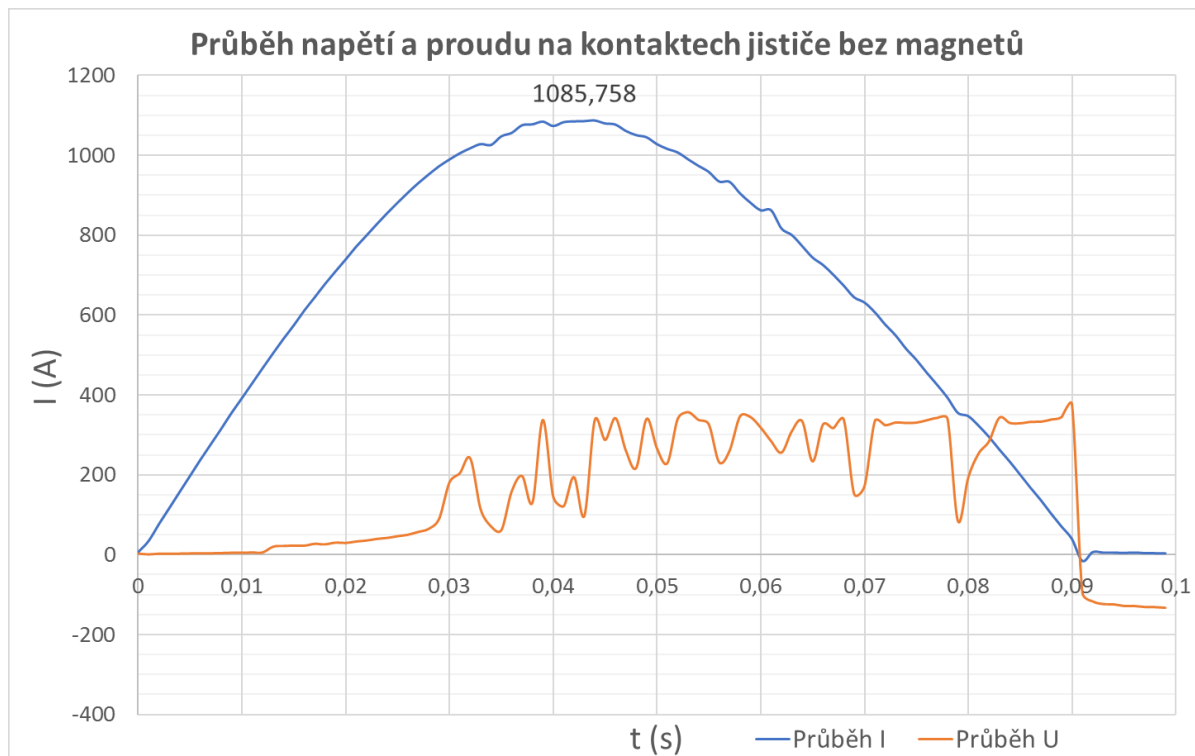
### 5.3 Postup měření

Pro měření vlastností jističe při vypínání zkratového proudu jsme nejdříve museli takový proud vytvořit. To jsme realizovali pomocí vybití kondenzátoru o velikosti  $6000\mu\text{F}$  přímo do jističe. Dále jsme pomocí proudové sondy, která byla k jističi připojená, snímali velikost proudu na kontaktech jističe do PC, kde jsme porovnávali naměřené hodnoty proudů a napětí mezi jističem bez přidaných magnetů a různých vzdáleností magnetů od jističe.

Vzdálenost mezi magnety a jističem jsme měnili pomocí dřevěných distančních destiček. Hodnoty jsme dále vyhodnotili do grafů a vypočetla se míra propuštěné energie  $I^2t$  pro jistič bez magnetů i pro jistič s přidanými magnety.

## 5.4 Vyhodnocení naměřených hodnot.

### a) Jistič bez přidanych magnetů



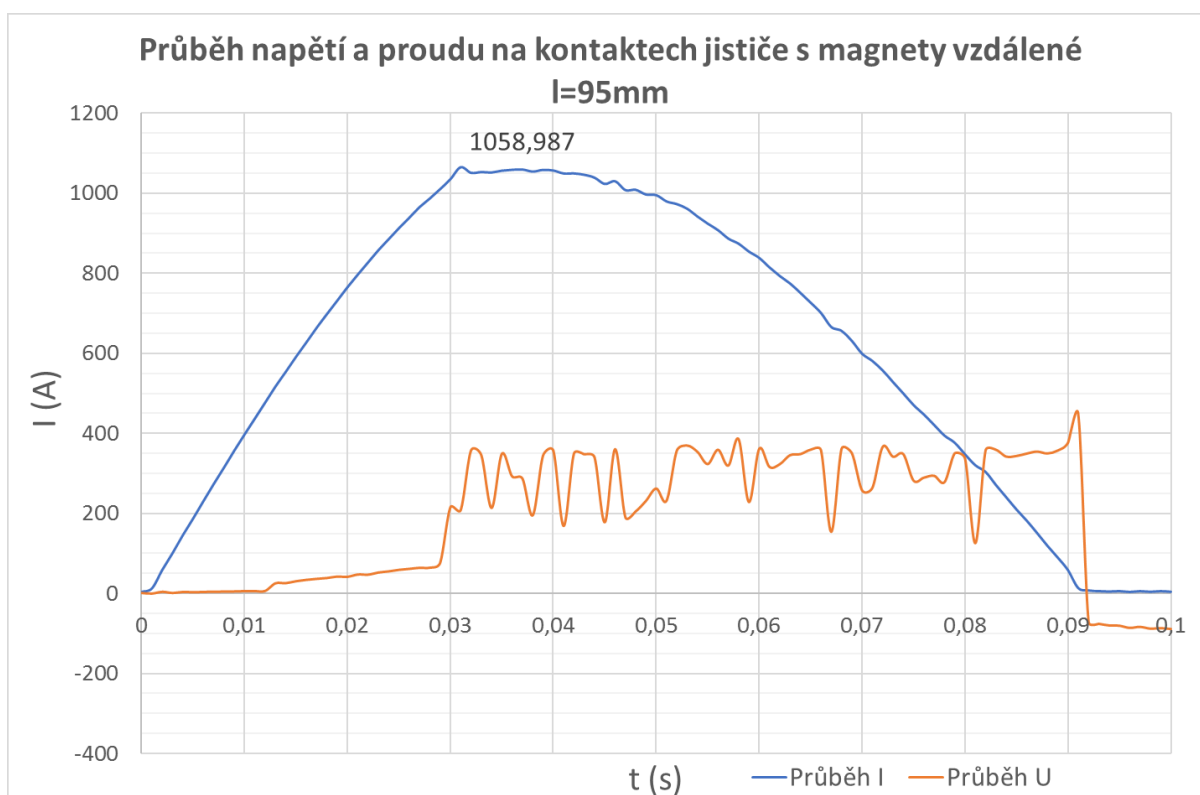
Graf 1 – Průběh napětí a proudu na jističi bez vnějšího magnetického pole

Míra propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 5\,180\text{A}^2\text{m}$$

$$I_{\max} = 1\,085,758\text{ A}$$

**b) Jistič s přidányými magnety od sebe vzdálenými  $l=95\text{mm}$**



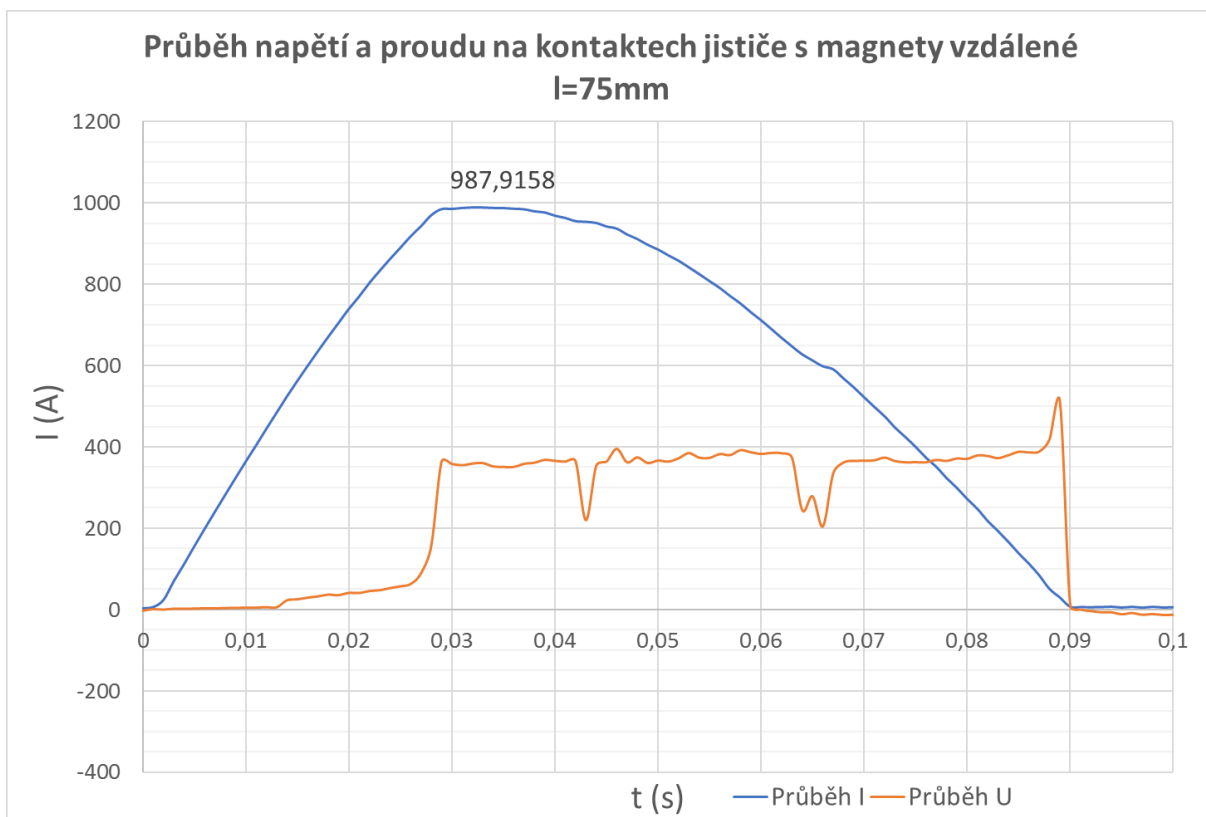
*Graf 2 – Průběh napětí a proudu na jističi s magnety od sebe vzdálenými 95mm*

Míra propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 5\,070\text{A}^2\text{m}$$

$$I_{\max} = 1\,058,987\text{ A}$$

c) *Jistič s přidányými magnety od sebe vzdálenými  $l=75\text{mm}$*



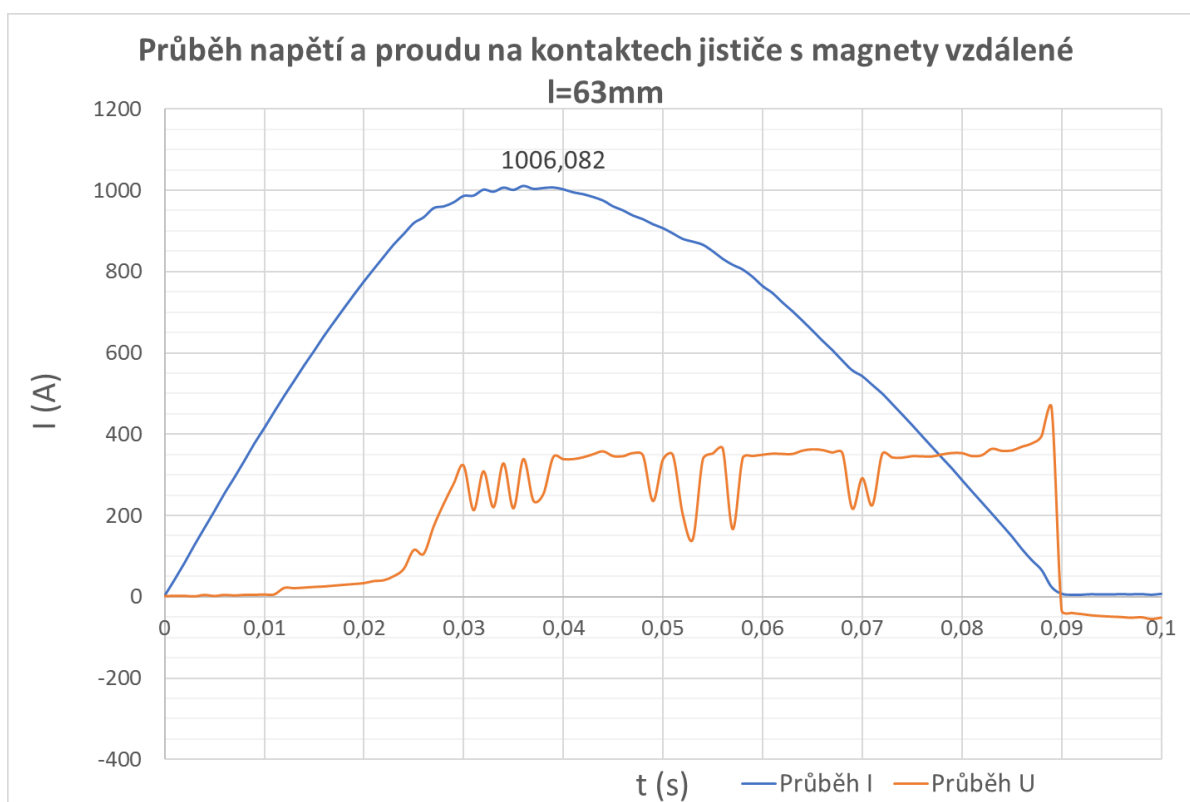
*Graf 3 – Průběh napětí a proudu na jističi s magnety od sebe vzdálenými 75mm*

Mira propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 4\,220\, A^2m$$

$$I_{max} = 987,915\, A$$

d) *Jistič s přidányými magnety od sebe vzdálenými  $l=63\text{mm}$*



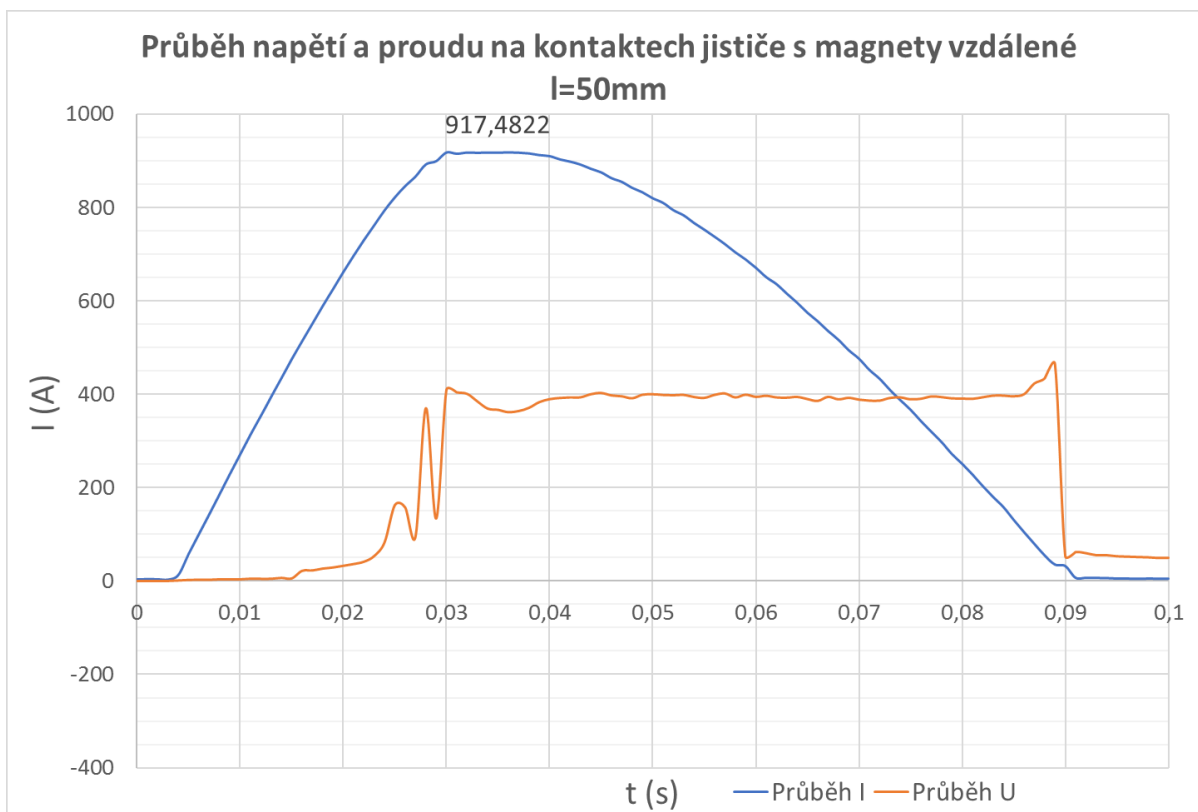
Graf 4 – Průběh napětí a proudu na jističi s magnety od sebe vzdálenými 63mm

Míra propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 4\,520\text{ A}^2\text{m}$$

$$I_{\max} = 1\,006,082\text{ A}$$

e) *Jistič s přidányi magnety od sebe vzdálenými  $l=50\text{mm}$*



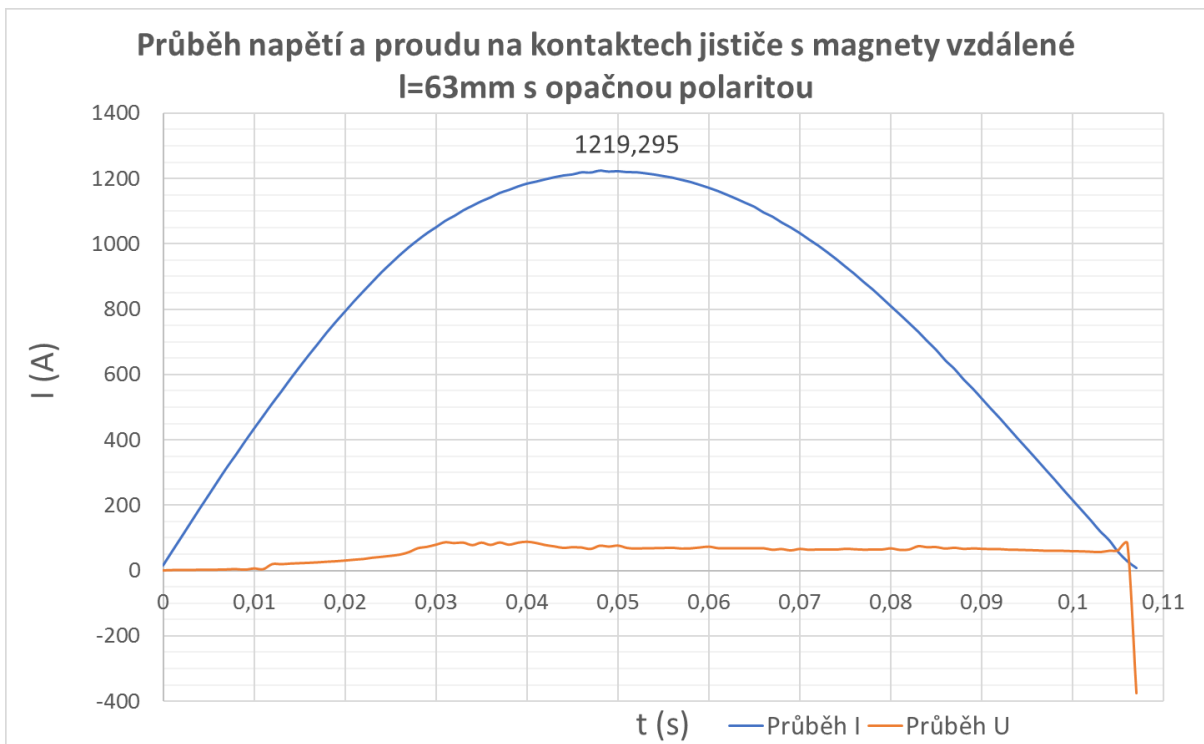
Graf 5 – Průběh napětí a proudu na jističi s magnety od sebe vzdálenými 50mm

Míra propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 3\,570\, A^2m$$

$$I_{max} = 917,4822\, A$$

f) *Jistič s přidávanými magnety od sebe vzdálenými  $l=63\text{mm}$ , s opačnou polaritou*



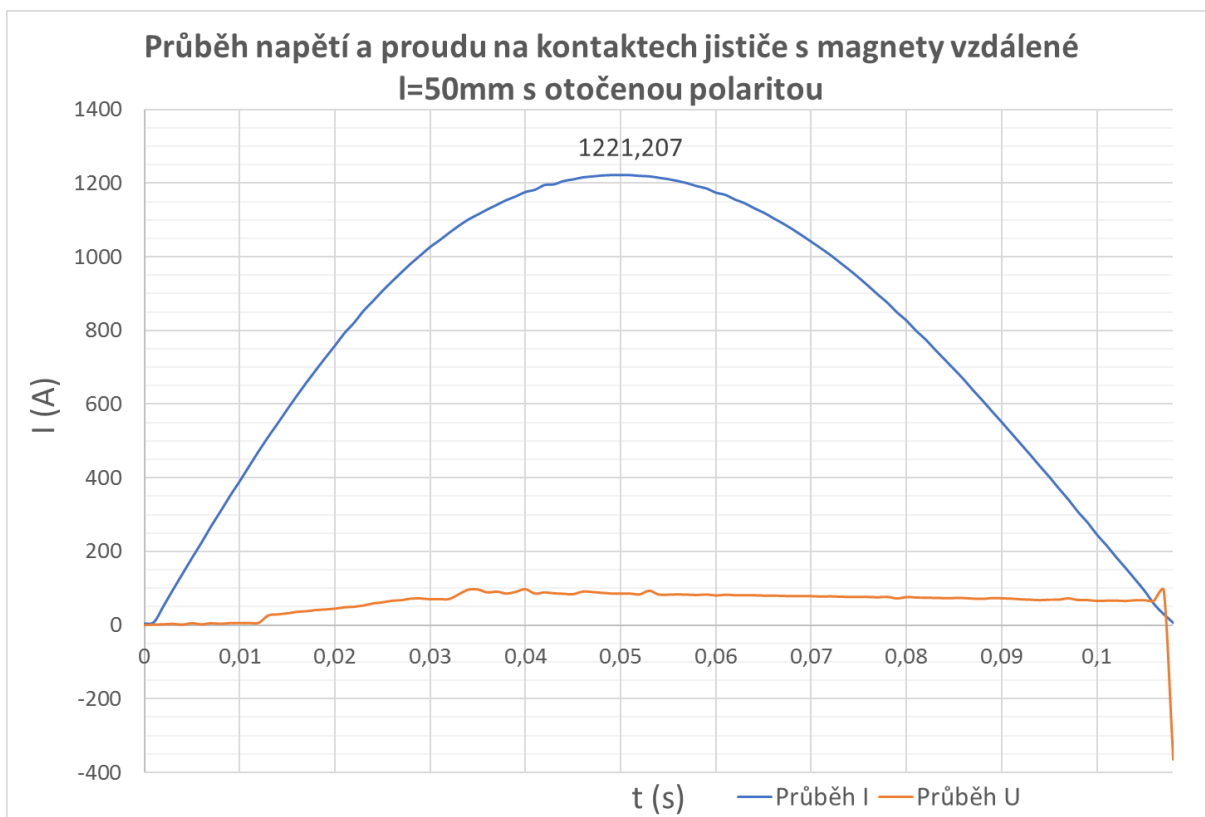
Graf 6 – Průběh napětí a proudu na jističi s magnety od sebe vzdálenými 63mm a vyměněnými pozicemi

Míra propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 8\,230\,A^2m$$

$$I_{max} = 1\,219,295\,A$$

g) Jistič s přidányi magnety od sebe vzdálenými  $l=50\text{mm}$ , s opačnou polaritou



Graf 7 – Průběh napětí a proudu na jističi s magnety od sebe vzdálenými 50mm a vyměněnými pozicemi

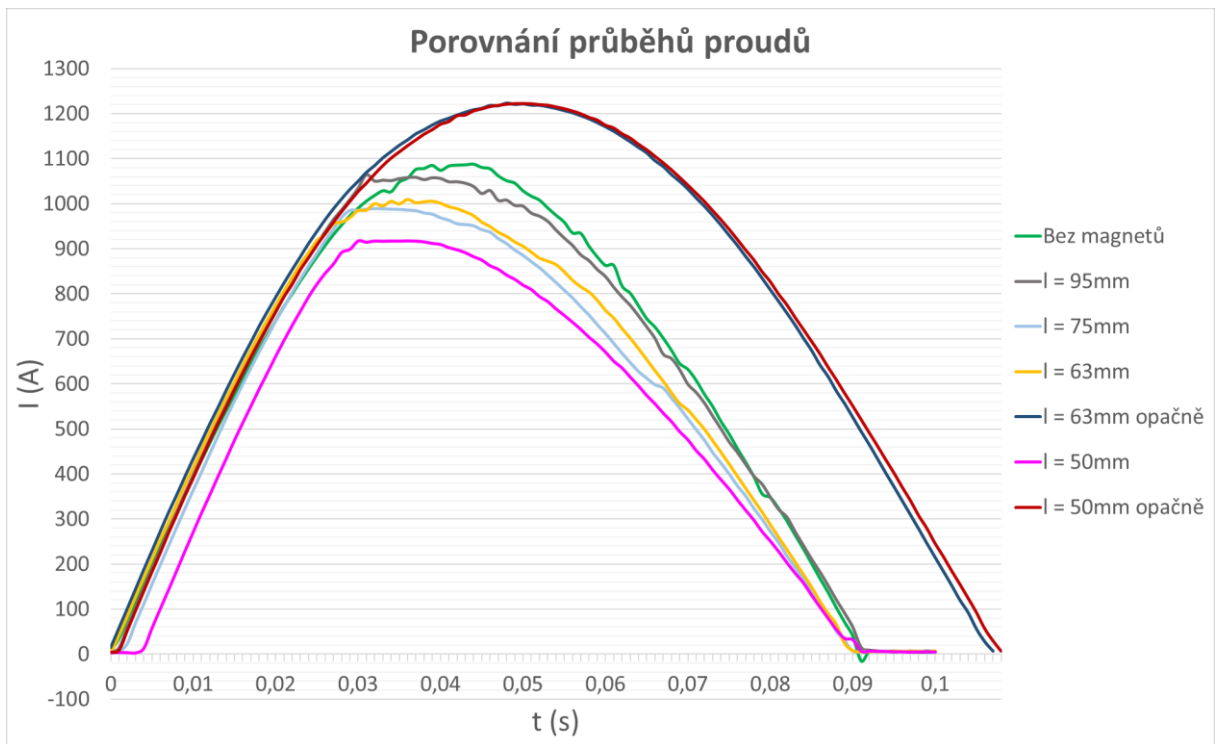
Míra propuštěné energie  $I^2t$  (Joulův integrál)

$$I^2t = \int I^2t \cdot dt = 8\,170\,A^2m$$

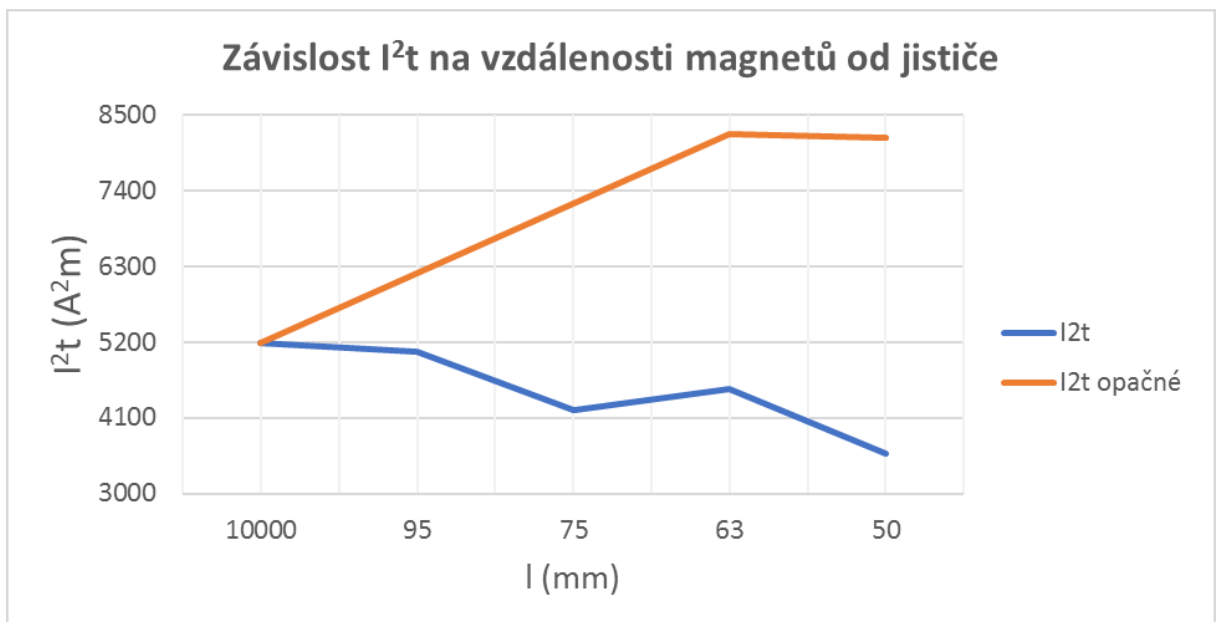
$$I_{max} = 1\,221,207\,A$$



**h) Porovnání výsledků**



Graf 8 – Porovnání průběhů proudů všech při všech pozicích magnetů



Graf 9 – Závislosti míry propuštěné energie  $I^2t$  na vzdálenosti magnetů

## 6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit, jak se bude chovat jistič, když k němu přidáme vnější magnetické pole.

V první části jsem se věnoval teoretickému rozboru jak magnetického pole, tak rozboru jističe a jeho vlastností. Dále jsem do teoretického rozboru zahrnul popis elektrického oblouku, jak vzniká a jak je možné ho zhasit.

V druhé části jsem uvedl naměřená a vypočtená data, která vyplynula z měření vlastností jističe po přidání vnějšího magnetického pole.

Pro měření vlastností jističe při vypínání zkratového proudu jsme nejdříve museli takový proud vytvořit. Ten jsme realizovali pomocí vybití kondenzátoru o velikosti  $6000\mu\text{F}$  přímo do jističe. Dále jsme pomocí sondy, která byla k jističi připojená, snímali velikost proudu a napětí na kontaktech jističe do PC, kde jsme porovnávali naměřené hodnoty proudů a napětí mezi jističem bez přidaných magnetů a různých vzdáleností magnetů od jističe.

Nejdříve jsme měřili vlastnosti jističe bez přidaného vnějšího magnetického pole, abychom věděli, jak budou průběhy vypadat. Zjistili jsme, že maximální proud na kontaktech při vypínání zkratového proudu je  $1080\text{A}$  a míra propustné energie  $5180\text{A}^2\text{m}$ . (Graf 1)

Poté jsme začali měřit průběhy po přidání vnějšího magnetického pole. To jsme vytvořili pomocí dvou permanentních magnetů umístěných po obou stranách jističe. Měnit vzdálenost magnetů nám umožňovaly dřevěné distanční destičky.

Jako první jsme začali měřit s magnety od sebe vzdálenými nejdál a to  $95\text{mm}$ . V Grafu 2 můžeme vidět, že maximální proud se sotva snížil, zato míra propuštěné energie klesla o  $110\text{A}^2\text{m}$ .

Z Grafu 3 můžeme vyčíst, že při menší vzdálenosti magnetů od jističe ( $l=75\text{mm}$ ), už maximální proud klesl razantněji, a to o celých  $97,4\text{A}$ . Také už více zřetelně klesla míra propuštěné energie o  $960\text{A}^2\text{m}$ .

Při vzdálenosti  $l=63\text{mm}$  se maximální proud sice snížil oproti hodnotám u jističe bez vnějšího magnetického pole, ale byl vyšší než při vzdálenosti magnetů  $l=75\text{mm}$ . To mohlo být způsobeno tím, že magnety nebyly umístěny v přesně stejné rovině jako u vzdálenosti  $75\text{mm}$ .

Nejmenší vzdálenost magnetů, při které jsme měřili hodnoty jističe, byla  $50\text{mm}$ . Na Grafu 5 můžeme vidět, že maximální hodnota proudu klesla nejvíce ze všech možných vzdáleností a to o celých  $168,28\text{A}$ . Míra propustné energie klesla o  $1610\text{A}^2\text{m}$ .

Pro úplnost experimentu jsme potřebovali zjistit, jak se bude chovat jistič, když mezi sebou magnety prohodíme a změníme tak polaritu.

Při prohozených magnetech a vzdálenosti  $l=63\text{mm}$  můžeme v Grafu 6 vidět, že proud se razantně zvedl a to o  $133,5\text{A}$ . Stejně tak míra propuštěné energie se zvedla o  $3050\text{A}^2\text{m}$ . Jelikož míra propuštěné energie  $I^2t$  je plocha pod křivkou a doba trvání vypínacího procesu dokonce přesáhla  $10\text{ms}$ , je  $I^2t$  logicky o hodně větší. Podobné hodnoty vykázaly prohozené magnety se vzdáleností  $50\text{mm}$ , maximální proud byl o  $135,45\text{A}$  vyšší a  $I^2t$  bylo vyšší o  $2990\text{A}^2\text{m}$ . Nutno podotknout že při této orientaci magnetů nebyl vtažen oblouk do zhasací komory, právě naopak - oblouk opouštěl jistič přes ovládací páčku.

V Grafu 8 jsou všechny charakteristiky proudu najednou, zde můžeme pěkně vidět, jak se s přibližováním magnetů nebo jejich prohozením, mění křivka proudu.

Graf 9 nám znázorňuje závislost míry propuštěné energie  $I^2t$  na vzdálenosti magnetů.

Z celého měření můžeme vydedukovat, že při vypínání stejnosměrného zkratového proudu je přidání magnetů víc než dobré. Nicméně při vypínání střídavého proudu by tato metoda nebyla realizovatelná, protože s každou půlperiodou se polarita mění. Také je nutno podotknout, že jistič není uzpůsoben tomu, aby vypínal tak velké zkratové proudy v tak krátkých časových intervalech. Z tohoto důvodu nám jistič po 10. měření přestal fungovat a bylo nutné jej vyměnit za nový.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BEŠTA, M. *JISTIČE* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.4-JISTI%C4%8CE.pdf>  
Výukový materiál.
- [2] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje I*. Praha, 1974.
- [3] KAČOR, Petr, David HELŠTÝN a Zdeněk HYTKA. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jisticí* [online]. Ostrava, 2003 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://fe1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/ep/ep\\_II/Elektricke%20%20pristroje%20spnac%ED%20ochranne%20a%20jistici.pdf](http://fe1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/ep/ep_II/Elektricke%20%20pristroje%20spnac%ED%20ochranne%20a%20jistici.pdf)
- [4] Magnetické pole. In: *WikiSkripta* [online]. ČR: Creative Commons, 2013-, 2017-01-16 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Magnetick%C3%A9\\_pole](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Magnetick%C3%A9_pole)
- [5] NAVRÁTILOVÁ, Eva a Tomáš KOSTKA. *ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE* [online]. Havířov, 2009 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna\\_eltech/esp/el\\_pristroje\\_esp.pdf](http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_esp.pdf)
- [6] SINOMAG S.R.O. *Permanentní magnety: Co je třeba vědět o magnetech* [online]. 2009 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni\\_magnety.pdf](http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni_magnety.pdf)
- [7] MORAVEC, Jan. Elektrický oblouk – jak vzniká a jak se zhasí? *O Energetice* [online]. 2017 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektricky-oblouk/>
- [8] KREJČÍ, Jan. *Základní požadavky na jisticí přístroje a jejich hlavní parametry* [online]. 2013 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/zakladni-pozadavky-na-jistici-pristroje-a-jejich-hlavni-parametry>