

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

## MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN NA POHONECH JISTIČŮ NN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

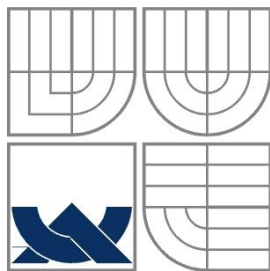
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

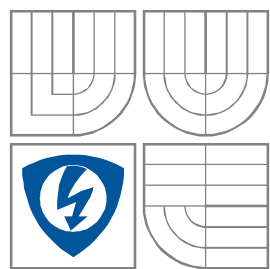
AUTHOR

Tomáš Mazálek

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

## **MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN NA POHONECH JISTIČŮ NN**

**MEASUREMENT OF BASIC ELECTRICAL VARIABLES ON DRIVERS OF LV CIRCUIT BREAKERS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

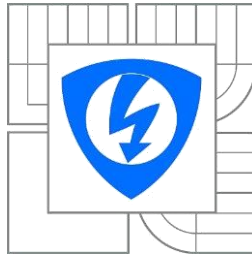
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Tomáš Mazálek

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. Bohuslav Bušov, Csc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Mazálek Tomáš

**Ročník:** 3

**ID:** 146058

**Akademický rok:** 2014/15

**NÁZEV TÉMATU:**

**Měření elektrických veličin na pohonech jističů nn**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Popište princip funkce a konstrukční řešení motorových pohonů pro ovládání jističe.
2. Popište princip měření elektrických veličin na konkrétním pohonu.
3. Proveďte teoretický rozbor a analytický výpočet mechanismu pro jednotlivé stavy dle pokynů vedoucího.
4. Proveďte základní měření na pohonu dle pokynů vedoucího.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] Měření aktivních elektrických veličin s neharmonickými průběhy. S. Ďaďo, M. Sedláček. SNTL, Praha 1987.

**Termín zadání:** 22.9.2014

**Termín odevzdání:** 2.6.2015

**Vedoucí projektu:** doc. Ing. Bohuslav Bušov, CSc.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce byla vytvořena za účelem porovnání vypočtených hodnot pomocí osciloskopu a pomocí Excelu. Bylo proto nutné uvést teorii výpočtů elektrických veličin nesinusového a neperiodického signálu. Pro získání relevantních dat je tu vedena metodika měření spotřeby motorového pohonu. Moje práce přináší široký přehled problematiky, která se pojí s motorovými pohony. Rozebírám princip funkce pohonu, metodiku správného měření, a popisuji přenos pohybové energie od hnacího motoru ke kontaktům jističe.

## **Abstract**

This thesis has been created for the purpose of comparing calculated values by oscilloscope and by Excel. For this it was necessary to show a theory of electrical values of non-sinusoidal and aperiodic signal. There has been shown the methods of measuring of power consumption on motor operator for acquisition of relevant data. My thesis brings a wide overview, which is connected with motor operators. I am analyzing a principle of motor operator, methods of right measuring and I am describing a transfer of kinetic energy from driving motor to contacts of circuit breaker.

**Klíčová slova**

Účinnost; motorový pohon; jistič, západka, rohatka, nejistota

**Keywords**

Efficiency; motor operator; circuit breaker, ratchet, ratchet wheel, uncertainty

## **Bibliografická citace**

MAZÁLEK, T. Měření elektrických veličin na pohonech jističů nn.. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014.  
23 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Bohuslav Bušov, CSc..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Měření elektrických veličin na pohonech jističů nn“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

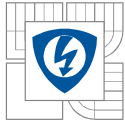
Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Bohuslavu Bušovovi, Csc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

Podpis autora .....

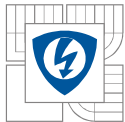


---

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 PRINCIP FUNKCE A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MOTOROVÝCH POHONŮ.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ POHONŮ.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 PŘEHLED DOSTUPNÝCH MOTOROVÝCH POHONŮ .....</b>	<b>16</b>
<b>2 TEORETICKÝ ROZBOR MECHANISMU.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 MODELÝ ČELNÍHO A BOČNÍHO MOTOROVÉHO POHONU.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 MODELÝ JISTIČE .....</b>	<b>21</b>
<b>3 METODIKA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN NA MOTOROVÉM POHONU.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 OSCILOSKOP A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 NAPĚŤOVÁ SONDA .....	23
3.1.2 PROUDOVÁ SONDA.....	24
<b>3.2 NAPÁJECÍ ZDROJE .....</b>	<b>24</b>
3.2.1 NAPĚTÍ POUŽÍVANÁ PŘI MĚŘENÍ POHONŮ.....	24
3.2.2 ZDROJE STEJNOSMĚRNÉHO A STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ.....	25
<b>3.3 CELÁ MĚŘICÍ APARATURA .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 BLOKOVÉ SCHÉMA PRO MĚŘENÍ SPOTŘEB MOTOROVÉHO POHONU.....	26
3.3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA PRO MĚŘENÍ A VÝPOČET ÚČINNOSTI ELEKTRONIKY .....	27
<b>3.4 VÝPOČTY .....</b>	<b>28</b>
3.4.1 TEORETICKÝ ROZBOR .....	28
<b>3.5 URČENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ.....</b>	<b>32</b>
3.5.1 DĚLENÍ NEJISTOT .....	32
<b>4 MĚŘENÍ NA MOTOROVÉM POHONU .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 MĚŘENÍ PŘI STEJNOSMĚRNÉM NAPÁJENÍ .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 MĚŘENÍ PŘI STŘÍDAVÉM NAPÁJENÍ .....</b>	<b>38</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>40</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>41</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

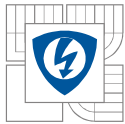
<i>Obrázek 1. - Jistič řady Arion .....</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 2. - Boční motorový pohon MP-BC-X230-B[3].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 3. – Čelní motorový pohon MP-BH-X230 [4] .....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 4. - Sestava motorového pohonu a jističe [5] .....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 5. - Plastová podstava motorového pohonu.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 6. - Kovová základna s vnitřními komponenty: vlevo - ozubené kolo; vpravo - převodovka s upevněným táhlem a západkou.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 7. - Pohled na elektroniku a stejnosměrný motor pohonu .....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 8. - Pohon od firmy Eaton [6].....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 9. - Motorový pohon od ABB [7] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 10. - Pohon od firmy BTicino.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 11. - Motorový pohon od Shneider-electric .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 12. - Jističový pohon od Merlin Gerin.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 13. - Motorový pohon pro domovní rozvody od Merlin Gerin .....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 14. - Model čelního motorového pohonu .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 15. - Model bočního pohonu .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 16. - Model jističe v zapnuté poloze.....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 17. - Model jističe ve vypnuté poloze .....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 18. - Teledyne LeCroy HDO4024[5] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 19. - Napěťová sonda LeCroy ADP305[5] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 20. - Proudová sonda LeCroy AP015[5].....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 21. - Blokové schéma měřicí aparatury pro měření spotřeb motorového pohonu .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 22. - Ilustrační foto ovládacího zařízení.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 23. - Blokové schéma pro měření a výpočet účinnosti elektroniky .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 24. - Energetická bilance elektroniky .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 25. - Výkonový diagram.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 26. - Blokové znázornění relativních chyb osciloskopu.....</i>	<i>34</i>



---

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. - Vysvětlivky k obrázku 1 .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 2. - Přehled dostupných motorových pohonů.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 3. - Hodnoty jmenovitých napětí a vypočítaných mezních hodnot .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5. - Určování koeficientu <math>k_s</math> pro <math>n &lt; 1</math> .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 6. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro stejnosměrné napájení .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 7. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro střídavé napájení.....</i>	<i>39</i>



## ÚVOD

Motorové pohony sloužící k obsluze jističů mají mnoho nesporných výhod. Umožňují jejich dálkové ovládání, dají se zamknout proti nepovolané manipulaci a to vše bez fyzické námahy uživatele. Dálkové ovládání jističů se používá hlavně v elektrických rozvodnách. Umožňují výrazně zkrátit prodlevy mezi obsluhou jednotlivých jističů. Díky stále dokonalejším systémům, ať už se jedná o signalizace různých stavů jističe nebo instalace čipů, je možné vše sledovat z jedné velící místnosti nebo i jiného města.

Pro koncového uživatele je důležité, aby se zakoupený výrobek nepojil s dalšími finančními náklady, ke kterým patří i správně dimenzované napájení. Proto je potřeba správně měřit vstupní elektrické veličiny a potom je i správně vyhodnotit. Vznikla proto potřeba srozumitelným způsobem popsat metodiku měření na motorovém pohonu z hlediska elektrických veličin.

Pro lepší pochopení problematiky kolem motorových pohonů v první kapitole jsem uvedl rozdělení motorových pohonů z různých hledisek, přičemž u konkrétního je popsán princip funkce a je i popsána jeho konstrukce. Pro lepší srozumitelnost jsem vložil několik obrázků, které funkci zařízení vysvětlují nejlépe. Dále je uveden přehled podobných pohonů vyráběných u jiných společností.

Ve druhé kapitole jsou uvedeny modely mechanismu dvou typů pohonů a jističe. Tyto modely vystihují přenos energie a konfiguraci jednotlivých částí dle metodiky TRIZ [2]. Uvedená bloková schémata, vytvořená v programu GoldFire, jsem doplnil i o popis celého systému.

Třetí kapitola pojednává o vlastním měření. Je zde rozebrána metodika měření spotřeby pohonu pomocí osciloskopu. Dále jsem uvedl měřicí přístroje (sondy a osciloskop), jejich chyby a výpočet nejistot. Jsou tu také bloková schémata principu měření a také je tu pár vět o výpočtu účinnosti elektroniky motorového pohonu. Důležitý je však také teoretický rozbor výpočtu elektrických veličin v Excelu.

Z uvedeného je zřejmé, že kvůli lepší návaznosti jednotlivých částí je struktura práce oproti zadání upravena, a to tak, že je přehozeno pořadí zpracovaných bodů 2 a 3.

A nakonec je tu praktická část bakalářské práce, ve které naleznete porovnání výsledků naměřených hodnot v osciloskopu a vypočtených hodnot v Excelu. Bylo zde ověřeno, jakým způsobem osciloskop vypočítává námi potřebné údaje z oscilogramu.

# 1 PRINCIP FUNKCE A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MOTOROVÝCH POHONŮ

Nejprve je třeba se pokusit nějakým způsobem vytrdit pohony, které máme k dispozici. Bude pak jasnější, o jaké pohony v celé práci jde. Rozdělení motorových pohonů (a elektrických přístrojů obecně) je poněkud obtížné, protože velice záleží na tom, z jakého hlediska je dělíme. Toto rozdělení je strukturováno tak, aby došlo ke mně dobře známým motorovým pohonům, na kterých jsem měřil.

Můžeme je tedy dělit podle principu (mám na mysli typ energie), který používají k pohybu pákou jističe. Za zmínku stojí hydraulické pohony (pro pohyb se využívá vhnání kapaliny do válce s pístem) a dále vzduchové pohony, kde se využívá stlačený plyn. Pak tu máme pohony se střadačovým pružinovým systémem, který využívá potenciální energie stlačených pružin, a konečně jsou tu pohony, které využívají k pohybu elektrický motor, který přes převodovku pohybuje pákou jističe. První dva typy se používají hlavně u vysokonapěťových soustav, za to dva poslední můžeme vidět i u pohonů zařízení nízkého napětí.

Pohony jsou dále rozděleny z hlediska montáže k jističi. První skupinou jsou systémy pohonů zabudovaných přímo v jednom krytu společně s jističem. To bývají většinou jističe velkých proudů (řádově jednotky až stovky kiloampérů), ale i menší jističe. Např. firma ABB vyvinula motorový střadač pro jističe řady T7M. Nebo jsou tu ještě pohony jističů řady Arion vyráběné ve firmě OEZ s.r.o.



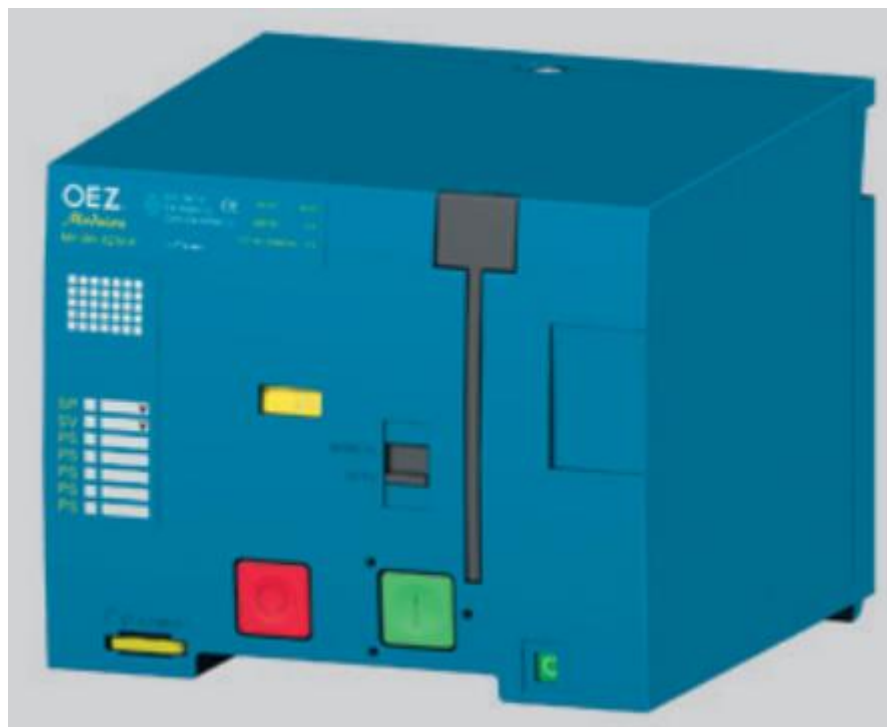
Obrázek 1. - Jistič řady Arion

Druhou skupinou jsou pohony určené pro jističe menších proudů (řádově stovky ampérů). Tuto skupinu pohonů pro menší jističe bych ještě rozdělil na dvě podskupiny a to pohony boční, které se montují z boku jističe a jeho pákou pohybují prostřednictvím táhla. Jako jejich nevýhodu bych uvedl fakt, že pokud máme více jističů vedle sebe, zaberou tak daleko více místa. Oba tyto problémy řeší další podskupina pohonů a to jsou pohony čelní, které se montují přímo na jistič na jeho přední stranu. Páka jističe je vložena do tzv. mostu, který s pákou pohybuje. Protože jsem

s těmito pohony pracoval nejvíce, celé moje měření (třetí a čtvrtý bod zadání) je vlastně o problematice měření elektrických veličin na tomto pohonu.



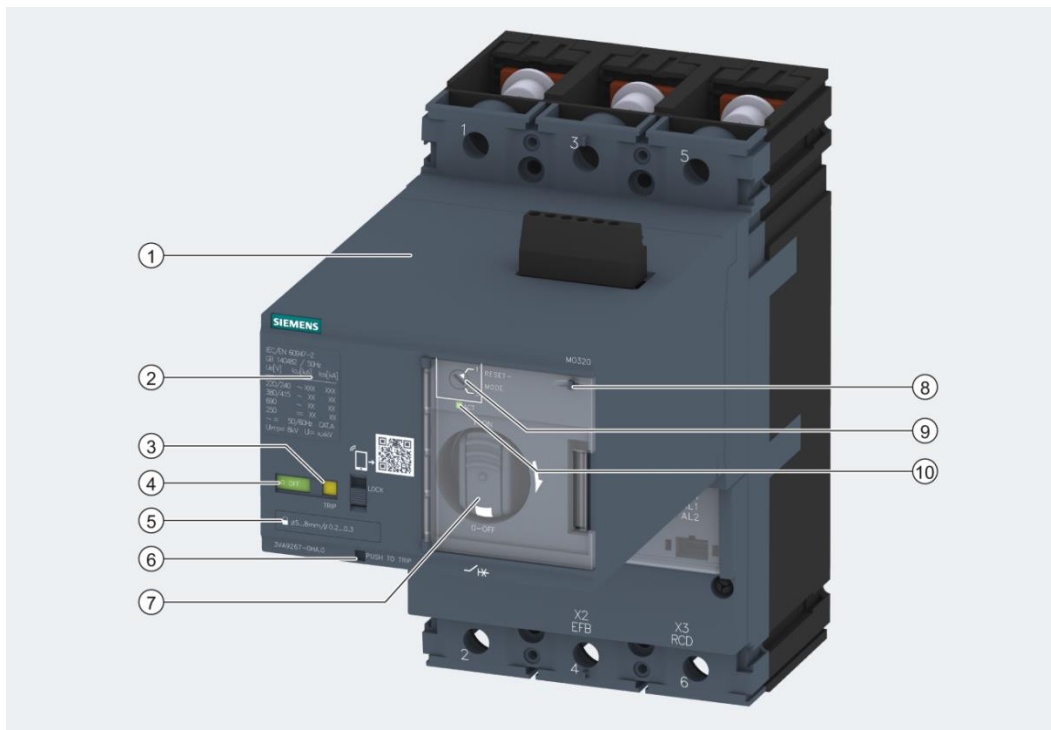
Obrázek 2. - Boční motorový pohon MP-BC-X230-B[3]



Obrázek 3. – Čelní motorový pohon MP-BH-X230 [4]

## 1.1 Konstrukční řešení pohonů

Konstrukce každého pohonu je samozřejmě typ od typu jiná. Já se pokusím popsat, jak vypadá z tohoto hlediska čelní pohon MO320. Začněme obrázkem:



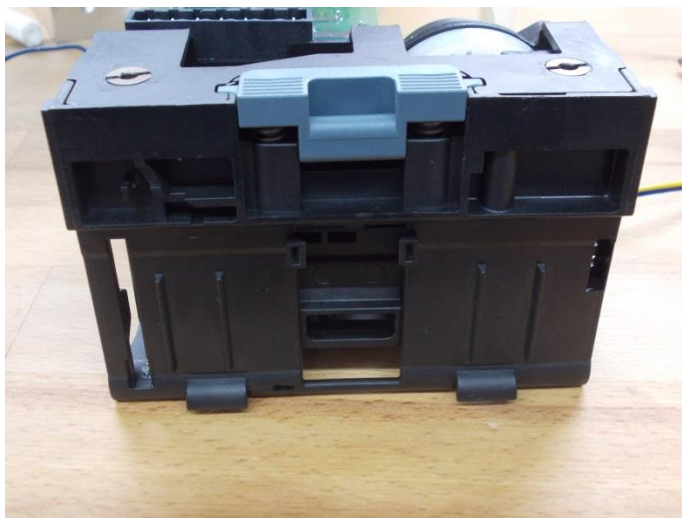
Obrázek 4. - Sestava motorového pohonu a jističe [5]

Tabulka 1. - Vysvětlivky k obrázku 1

	Název komponentu	Vysvětlivky
1	Kryt	
2	Štítek	
3	TRIP LED	Indikace vybaveného (TRIP) stavu jističe
4	ON/OFF Indikace	Indikace stavu kontaktů
5	Zamykací závora	Slouží pro uzamčení motorového pohonu. Po uzamčení není možné nijak manipulovat se stavem jističe, ani sundat pohon.
6	TRIP tlačítko	Slouží pro manuální vybavení jističe.
7	Rukojeť	Pomocí této rukojeti je možné manipulovat s kontakty jističe.
8	Místo pro plombu	Zde je možné zaplombovat dvířka, aby nešlo měnit nastavení pohonu.
9	Auto/Manuální režim	V automatickém režimu přejede pohon automaticky do polohy OFF (přesněji Reset)
10	Active LED	Indikace pohotovostního režimu pohonu, kdy čeká na povel ON nebo OFF

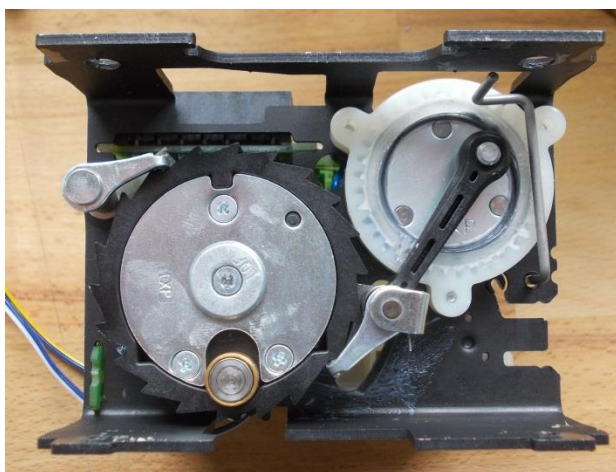
Na obrázku č.2 je vidět motorový pohon MO250F (obchodní označení MO320), nasazený na jističi. Pro popis jednotlivých komponentů jsem vytvořil tabulku č.1.

Podstavu čelního motorového pohonu tvoří plastový výlisek, na kterém se nachází mechanismus zajišťující montáž pohonu na jistič. Z tohoto důvodu musí být na jističi ještě připevněn kompatibilní adaptér. V základně je vytvořen manipulační prostor pro pohyb mostu (vysvětleno dále) a ovládání páky a z boku základny je připevněn kryt (1) pohonu, který tvoří jeho design. V popisu není uveden konektor (černý dílec nahoře), který zajišťuje připojení napájení a ovládacího zařízení. Na krytu se také nacházejí všechny ostatní komponenty, viz. Tabulka 1.



Obrázek 5. - Plastová podstava motorového pohonu

Popis pokračuje kovovou základnou (obr. 3). Ta vlastně zajišťuje dostatečnou pevnost zařízení a ukotvení všech jeho vnitřních částí. Tato základna zajišťuje mimo jiné také posuvný pohyb mostu, ve kterém je vložena páka jističe. Mezi základnou a plastovou podstavou je umístěna rohatka (ozubené kolo) s táhlem a západkou. Tento mechanismus (rohatka, táhlo a západka) je poháněn přes převodovku stejnosměrným motorkem. Všechny zmíněné komponenty jsou nějakým způsobem upevněny v základně. Vedle motorku je dále na kovové základně upevněn plastový „stoleček“, který drží elektroniku.



Obrázek 6. - Kovová základna s vnitřními komponenty: vlevo - ozubené kolo; vpravo - převodovka s upevněným táhlem a západkou



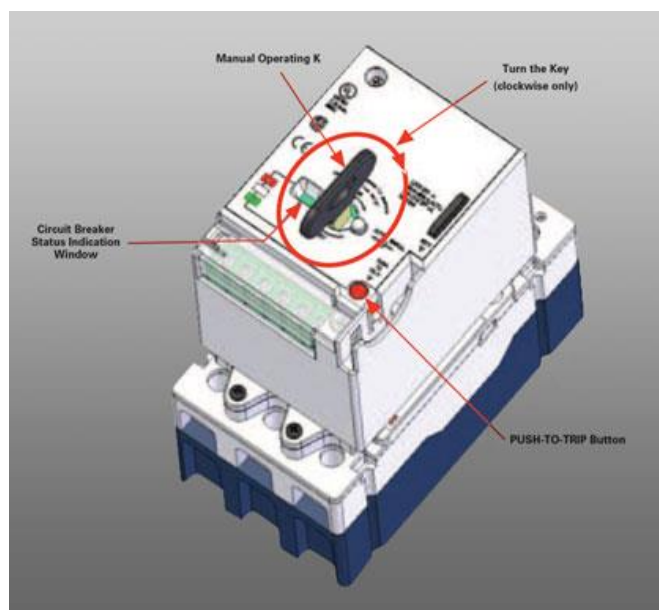
*Obrázek 7. - Pohled na elektroniku a stejnosměrný motor pohonu*

Elektronika obsahuje na vstupu EMC filtr, který pomáhá vyhladit vstupní proud a bránit tak pronikání rušení zpět do sítě. Za EMC filtrem se nachází usměrňovací diodový můstek, díky kterému můžeme připojit jak střídavé, tak stejnosměrné napětí. Za můstkem se nachází měnič, který napájí výše zmíněný stejnosměrný motorek. Výstupní napětí elektroniky je přes polovodičový most připojováno na motor. Elektronika obsahuje firmware, který zajišťuje, aby pohon například vždy dával přednost vypínacímu impulzu před zapínacím. Dále má ochrannou funkci motorku. Mám na mysli třeba příklad, kdy se zasekne páka jističe, most tedy nepřejede do správné polohy, nesepe ne příslušné čidlo a elektronika zabrání spálení motorku.

Za zmínku stojí ještě tři kovová táhla uvnitř pohonu. První zajišťuje indikaci stavu kontaktů jističe a druhé je pro ruční vybavení jističe. Tato dvě táhla jsou mechanicky spojena s jističem. Třetí táhlo je použito pro zamykání motorového pohonu. V uzamknutém stavu není možné měnit stav kontaktů elektricky ani mechanicky a ani není možný pohon demontovat.

## 1.2 Přehled dostupných motorových pohonů

V této podkapitole jsem vypracoval přehled dostupných motorových pohonů. Jedná se taktéž o pohony jističů nízkého napětí. Společnost OEZ s.r.o. (nyní součástí skupiny Siemens) vyvinula pohony pro kompaktní jističe Modeion (obr č.1 a 2). Dále se zde v rámci Siemensu vyvíjí nová řada pohonů náležící k řadě SnG, přičemž už se na trhu objevil pohon MO320, který jsem popsal v předchozí kapitole.



Obrázek 8. - Pohon od firmy Eaton [6]

Za zmínku dále stojí motorové pohony od firmy Eaton na obr.7 a dále od firmy ABB na obr.8.



Obrázek 9. - Motorový pohon od ABB [7]

Při hledání motorových pohonů mimo Českou republiku jsem narazil ještě na několik dalších, které jsem tu zařadil. Patří mezi ně pohony od firmy BTicino na dalším obrázku:



*Obrázek 10. - Pohon od firmy BTicino*

Tato firma vyvinula také boční pohony. Dále jsem zařadil obrázky pohonů od firmy Shneider-electric a Merlin Gerin.

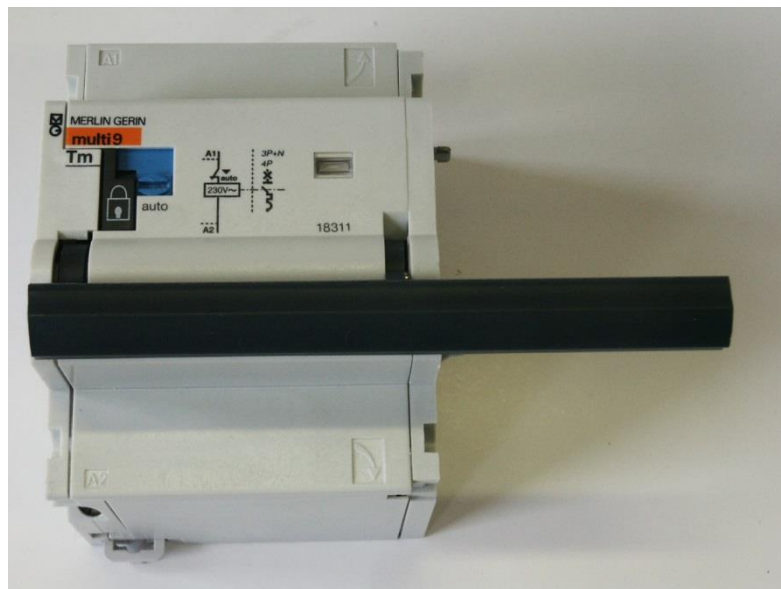


*Obrázek 11. - Motorový pohon od Shneider-electric*



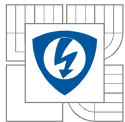
Obrázek 12. - Jističový pohon od Merlin Gerin

Firma Merlin Gerin také vyvinula motorové pohony pro domovní rozvody, zde:



Obrázek 13. - Motorový pohon pro domovní rozvody od Merlin Gerin

Obrázky pohonů od ostatních firem se mi buď nepodařilo najít, nebo byly velmi nekvalitní. Pro ukázkou různých designů byly však tyto obrázky vyčerpávající. Pro přehled ještě uvádím tabulku dostupných motorových pohonů.



*Tabulka 2. - Přehled dostupných motorových pohonů*

<b>Firma</b>	<b>Poznámka</b>
OEZ s.r.o.	Modeion – boční pohon
	Modeion – čelní pohon
Siemens	SnG – čelní pohon
Eaton	Čelní pohon
ABB	Čelní pohon
BTicino	Megatiker – čelní pohon
	Megatiker – boční pohon
Schneider-electric	Čelní pohon
Merlin Gerin	Čelní pohon
	Čelní pohon pro domovní rozvody
Noark electric	Čelní pohon
Terasaki	Čelní pohon

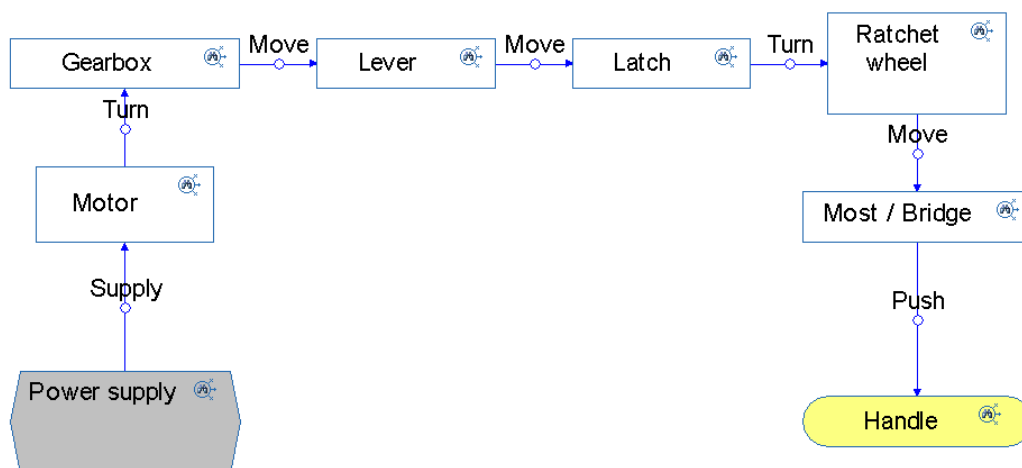
## 2 TEORETICKÝ ROZBOR MECHANISMU

Pro lepší pochopení tvaru průběhů z osciloskopu je třeba pochopit, jak se v motorovém pohonu přenáší pohybová energie. Je pak snadnější vidět souvislost mezi elektrickými výstupními veličinami a mechanismem.

Pro rozbor mechanismu jsem použil metodiku TRIZ, což je tvorba a řešení inovačních zadání. Mojí snahou bylo co nejlépe tímto způsobem popsat, jak se v motorovém pohonu a jističi přenáší pohybová energie směrem od motoru (v motorovém pohonu) k páce jističe a dále na kontakt jističe.

Pro motorový pohon jsem vytvořil dvě schémata, protože se v něm kromě polohy mostu (bridge), který pohybuje s pákou jističe (handle), a rohatky (ratchet), v podstatě jinak uspořádání nemění. Toto schéma je také nutno chápat, jako dynamický děj, při kterém pohon pohybuje pákou. U schémat pro jistič je toto jinak. Tato schémata, která jsou dvě – jedno pro polohu ON (zapnuto) a OFF (vypnuto), je třeba chápat více jako statická (to znamená, že jistič je v konkrétní poloze a ta se nemění).

### 2.1 Modely čelního a bočního motorového pohonu



Obrázek 14. - Model čelního motorového pohonu

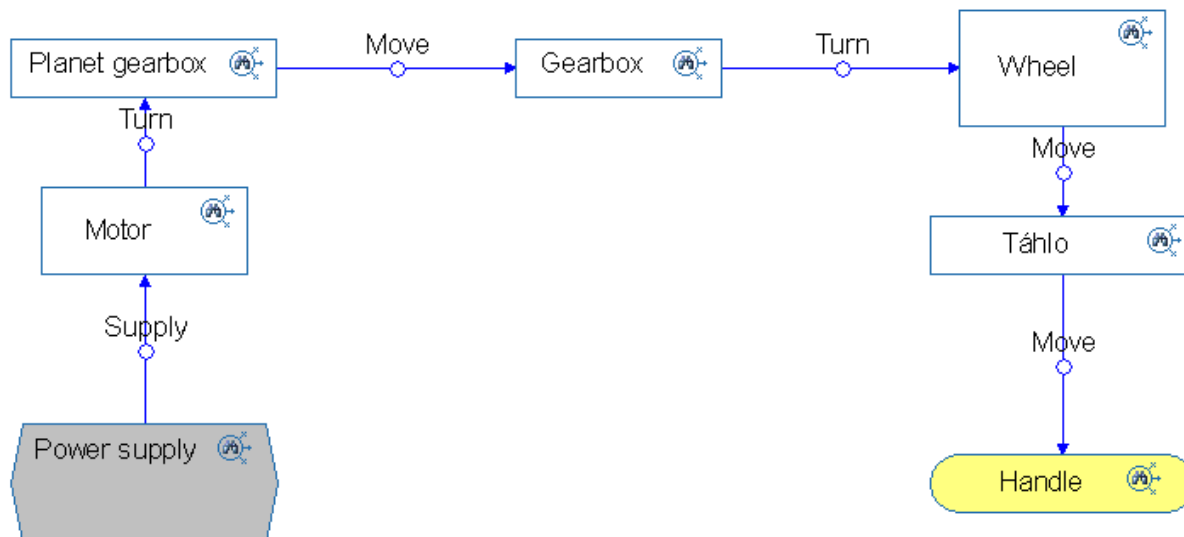
Přenos energie začíná v elektronice (power supply), která napájí motor. Měření veličin na motorku je popsáno v kapitole 2.3.3. Motorek vyvíjí točivý moment a otáčí tak planetovou převodovkou, na jejíž výstupu je upevněno táhlo (lever), které je přes osičku spojeno se západkou (latch). Převodovka tak pomocí táhla a západky může pohybovat ozubeným kolečkem – „rohatkou“ (ratchet wheel), na které je dále excentricky upevněn čep (každá otáčka výstupu převodovky tedy znamená jeden přitažený zub rohatky). Rohatka vlastně slouží jako další klikový hřídel a tím vytváří opět posuvnou sílu, která působí na most. Dráha mostu je opět vymezena konstrukcí a měla by být co nejvíce přizpůsobena dráze páky jističe tak, aby se nemohla poškodit.

Čep je vložen do pouzdra mostu, což je plastový díl pohybující se posuvným pohybem s otvorem určeným pro vložení páky, kterou pak pohybuje. Velikost síly, kterou je pohon schopen vyvinout je možné změřit, ale já se ve své práci zabývám elektrickými veličinami.

Ve schématu tedy můžeme vidět tři změny typu pohybu. První je vidět mezi převodovkou a táhlem, kdy se mění točivý pohyb na posuvný. Naopak je to mezi západkou a rohatkou, která se

však otáčí už poněkud pomaleji a touto rychlostí mění opět otáčivý pohyb na posuvný, který potřebujeme.

Dále tu máme model bočního pohonu:

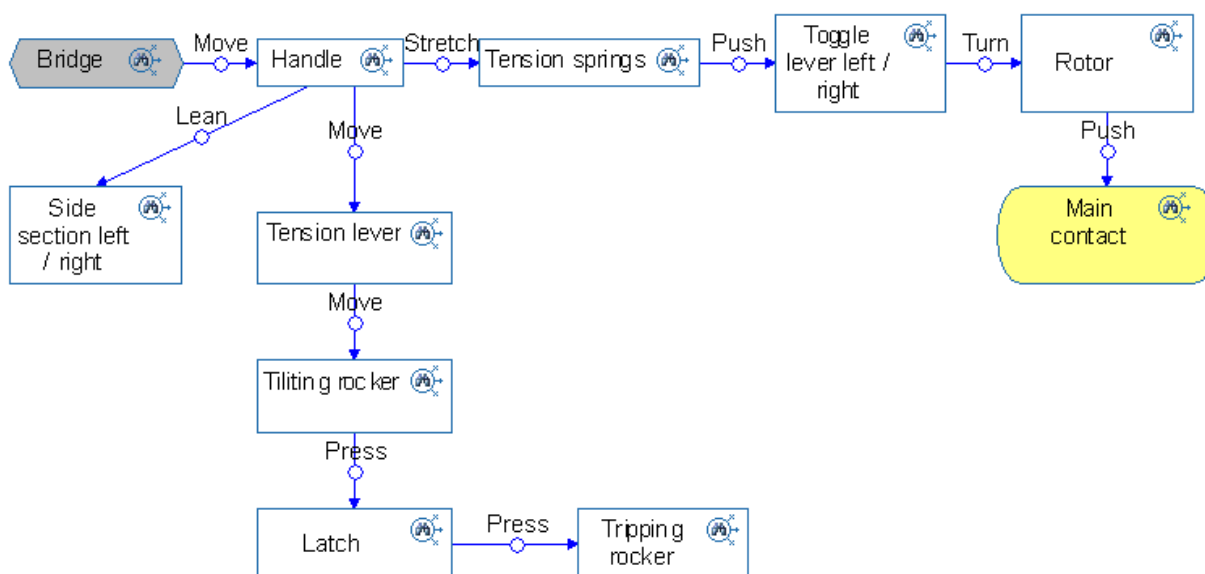


Obrázek 15. - Model bočního pohonu

Motor roztáčí planetkovou převodovku a ta roztáčí další druhou. Důvodem, proč jsou tu dvě převodovky je takový, motorek má vysoké otáčky a jedna převodovka tak velice trpěla. Navíc byl běh pohonu příliš rychlý a jističe se nestačily přepnout do správné polohy. Na druhé převodovce je umístěno kolo, které má na sobě opět excentricky umístěný čep, který je vložen do obdoby mostu u čelního pohonu. Ten se při montáži nasadí na jistič.

## 2.2 Modely jističe

První schéma je vytvořeno pro stav zapnuto, tj. že páka je v poloze ON a kontakty jsou sepnuté:

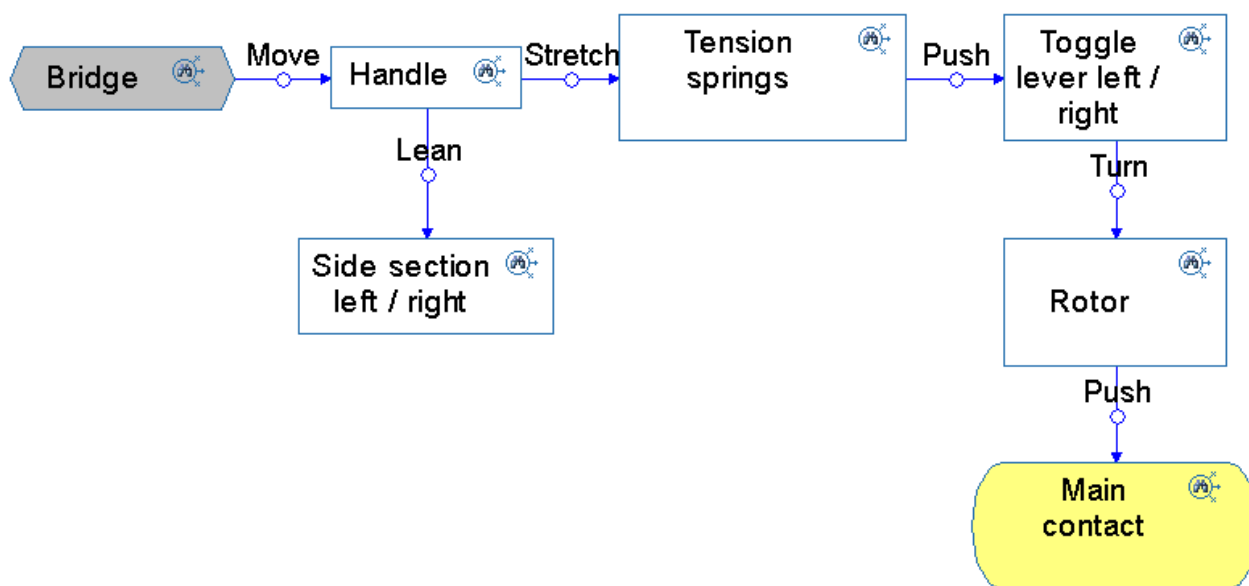


Obrázek 16. - Model jističe v zapnuté poloze

Popis modelu začneme u mostu, který pohybuje pákou. Páka se opírá o základnu jističe (side section). Přímo pod pákou jsou přes osičku natáhnuty pružiny, které zajišťují to, aby jistič zůstal v určené poloze a samovolně tuto polohu neměnil. Jsou to ty pružiny, které musíme překonávat, abychom jistič přepnuli do jiné polohy. Proto je běh motorového pohonu vždy namáhán hlavně na začátku, kdy působí síla těchto pružin, což dokazují také oscilogramy. Pružiny jsou přes osičku spojeny s dvěma táhly, která mají za úkol pohybovat s rotorem. Rotor je malé samostatné zařízení sloužící ke správnému přitlačení kontaktů a zajišťující tak průchod proudu v poloze ON.

Pro další vysvětlení se musíme ve schématu vrátit k páce, která opět díky pružinám velmi silně tlačí přes táhlo (tension lever) a překlápěcí vahadlo (tilting rocker) na západku (latch). Tato západka dále tlačí na vybavovací vahadlo (tripping rocker). Celý tento mechanismus má za úkol čekat v zapnuté poloze jističe vybavení spouště. Toto zařízení by se dalo přirovnat k principu, na kterém funguje například past na myši. Mám na mysli situaci, kdy velkou potenciální energii je možné uvolnit malou vyvinutou silou na spoušť. V našem případě máme velkou potenciální energii nahromaděnou v pružinách a v případě, že některá ze spouští zatlačí na vybavovací vahadélko, se všechna energie uvolní a dojde k mžikovému rozpojení kontaktů. Díky tomu se tento mechanismus nazývá mžikový.

Druhý model je vytvořen pro stav vypnuto. To znamená, že kontakty jsou rozpojené vlivem přepnutí páky do vypnuté polohy.



Obrázek 17. - Model jističe ve vypnuté poloze

Zde si můžeme všimnout, že nám oproti stavu zapnuto úplně zmizela ta část, která je od páky směrem k vybavovacímu vahadlu. Páka jističe se totiž opírá o druhou stranu základny a táhne pružinu směrem tak, aby přes táhlo nutila rotor držet kontakty rozpojené.

## 3 METODIKA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN NA MOTOROVÉM POHONU

### 3.1 Osciloskop a jeho příslušenství

Protože se celé moje měření bude týkat hlavně práce s osciloskopem, pro začátek zmiňuji několik faktů o používaném osciloskopu. Jedná se o 12bitový osciloskop LeCroy HDO4024. Dodavatel osciloskopů (firma Blue Panther) nám udává při plném rozsahu a nulovém offsetu třídu přesnosti  $\pm 0,5\%$ . Používáme vzorkovací rychlost 2,5GSa/s a standardní paměť 12,5MB.



Obrázek 18. - Teledyne LeCroy HDO4024[5]

#### 3.1.1 Napěťová sonda

K měření napětí se používají tzv. diferenční aktivní sondy LeCroy ADP 350. Tyto sondy jsou jako dvě sondy v jedné. Na rozdíl od měření napětí v testovacím bodě vzhledem k zemi (jako u klasických sond), měří diferenční sondy rozdíl napětí v testovacím bodě vzhledem k jinému testovacímu bodu. Dodavatel udává třídu přesnosti 1% (v katalogu jako nízkofrekvenční přesnost). Do této hodnoty je zahrnut i AC šum 50mV rms (vzhledem ke vstupu).



Obrázek 19. - Napěťová sonda LeCroy ADP305[5]

### 3.1.2 Proudová sonda

K měření proudů se používají proudové sondy LeCroy AP015, které jsou určeny pro měření AC+DC proudů bez nutnosti rozpojovat měřený obvod. Výrobce udává nízkofrekvenční přesnost 1%.



Obrázek 20. - Proudová sonda LeCroy AP015[5]

Sondy jsou připojeny k osciloskopu pomocí ProBus rozhraní, díky kterému je veškeré nastavení a ovládání sondy prováděno automaticky osciloskopem, sondy jsou z osciloskopu napájeny, takže nepotřebují žádný externí napájecí zdroj nebo baterii.

## 3.2 Napájecí zdroje

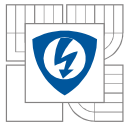
Dále uvedu několik informací k používaným napájecím zdrojům, ale ještě před tím je třeba rozebrat napětí, na kterých pracují mnou měřené pohony.

### 3.2.1 Napětí používaná při měření pohonů

Pohon, na kterém budu měření provádět, se vyrábí pro 4 různá jmenovitá napětí: pro (24 – 60)V AC/DC, (110 – 230)V DC a dále pak pro (110 - 250)V AC. Dále je normou [8] dané, že výrobky musí být odolné proti napěťovým výkyvům. Od každé hladiny napětí jsou tedy odvozené ještě dvě úrovně pro podpětí a přepětí. Podpětí je definováno jako 85% pro AC (nebo 75% pro DC) ze spodní hranice napětí a pro přepětí naopak platí 110% pro AC (nebo 130% pro DC) z horní hranice jmenovitého napětí. Např. pro napájení (110 - 230)V AC se vypočítá podpětí a přepětí takto:

$$\text{Podpětí:} \quad 0,85 * U_S = 0,85 * 110 = 93,5V$$

$$\text{Přepětí:} \quad 1,1 * U_S = 1,1 * 230 = 253V$$



Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce č.3:

Tabulka 3. - Hodnoty jmenovitých napětí a vypočítaných mezních hodnot

Typ napětí	Rozmezí jmenovitých hodnot	Vypočtené podpětí	Vypočtené přepětí
DC	24 – 60 V	18 V	78V
	110 – 250 V	82,5 V	325V
AC	24 – 60 V	20,4 V	66 V
	110 – 230 V	93,5 V	253 V

### 3.2.2 Zdroje stejnosměrného a střídavého napětí

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že pro měření je potřeba široké škály napětí. Proto jsou pro stejnosměrné napětí používány 4 zdroje: STATRON (300V/4A)

STATRON (150V/8A)

STATRON (72V/20A)

STATRON (36V/40A)

Protože pohon potřebuje ke své práci za dobu pohybu určitou přivedenou energii, je zřejmé, že čím nižším napětím budeme pohon napájet, tím bude potřeba větší proud. Proto vždycky používáme zdroj s co nejnižším napětím a největším možným dodávaným proudem.

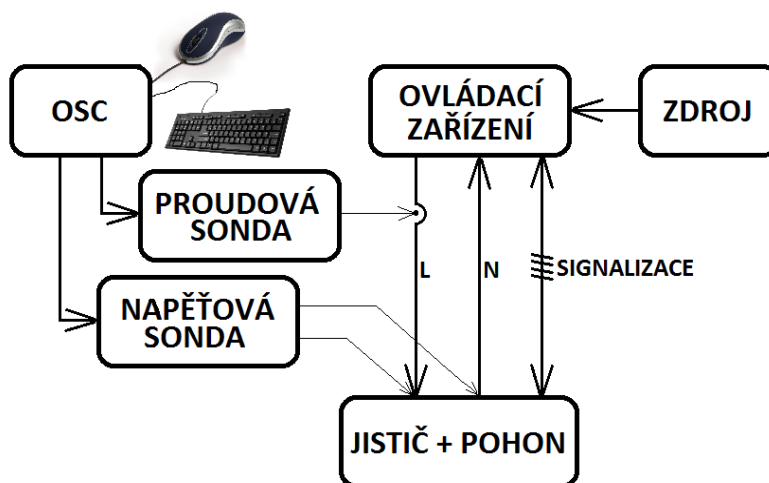
Pro napájení střídavým napětím je používám autotransformátor Křížík 250V/40A, který je snadno regulovatelný a pokryje všechna napětí.

### 3.3 Celá měřicí aparatura

Zde popisují vlastní metodiku měření. Je zde uvedeno zapojení měřicích sond k měřenému pohonu v případě měření spotřeb a v případě měření účinnosti pohonu. Důležité je také schéma ovládacího zařízení.

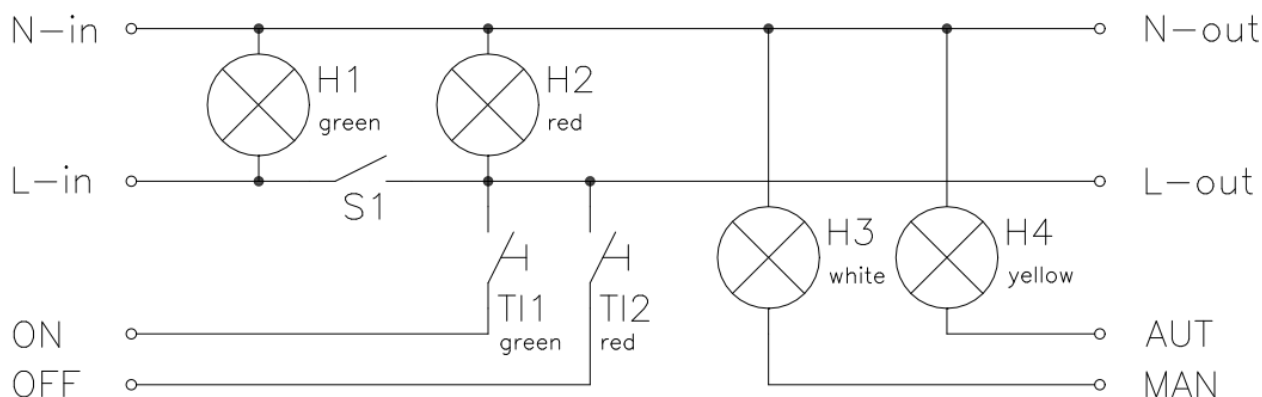
#### 3.3.1 Blokové schéma pro měření spotřeb motorového pohonu

Obrázek 18 se týká blokového schématu měřicí aparatury pro měření spotřeb motorového pohonu. Dále upozorňuji na umístění vodičů pro měření napětí. Ty jsou umístěny co nejbližší k pohonu (na svorkách pohonu), aby úbytky napětí na vodičích nezkreslovaly měření napětí.



Obrázek 21. - Blokové schéma měřicí aparatury pro měření spotřeb motorového pohonu

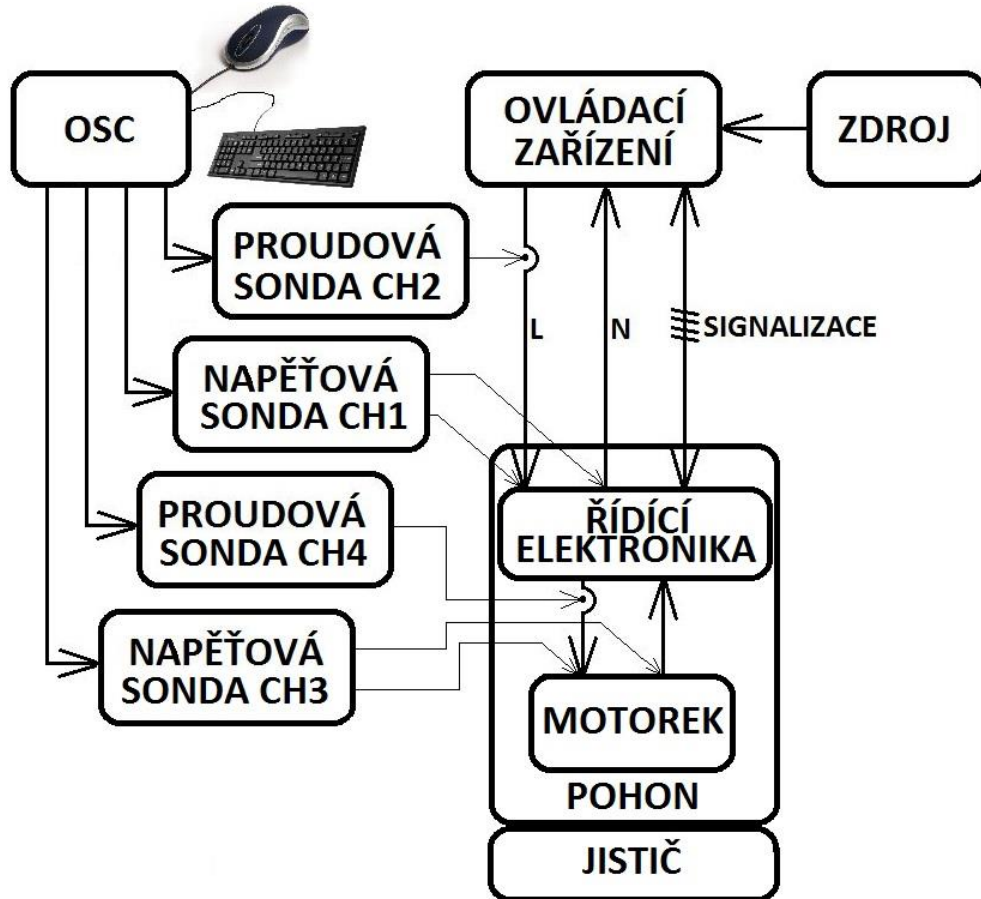
Ovládací zařízení nám umožňuje posílat ovládací povely do pohonu. Je napájeno ze zdroje (svorky N – in a L – in) a po sepnutí spínače je napájen pohon. Signalizace sestává ze čtyř svorek. Dvě z nich nám přímo na ovládacím zařízení signalizují otevřená nebo uzavřená dvířka motorového pohonu (svorky AUT a MAN a signalizační diody H3 a H4). Tlačítka TI1 a TI2 jsou určena k posílání impulzů ZAP / VYP do pohonu.



Obrázek 22. - Ilustrační foto ovládacího zařízení

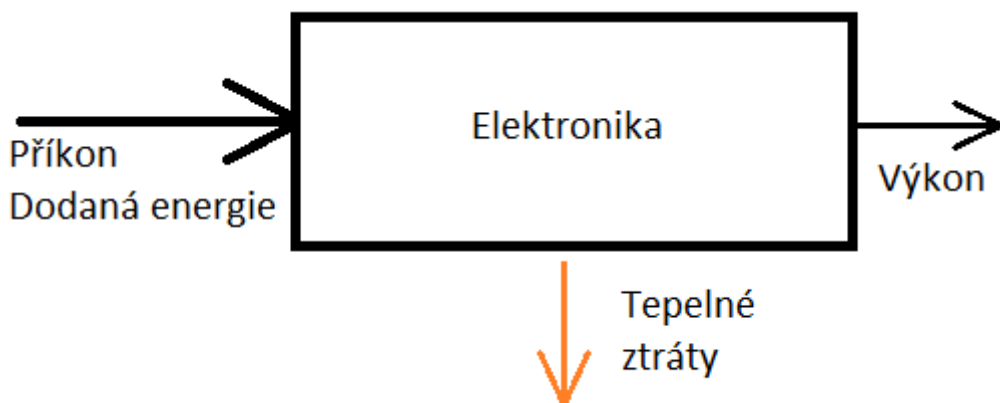
### 3.3.2 Blokové schéma pro měření a výpočet účinnosti elektroniky

Následující obrázek se týká blokového schématu měřicí aparatury pro měření spotřeby motorového pohonu společně s měřením spotřeby vlastní pohonné jednotky (stejnoseměrného motoru).

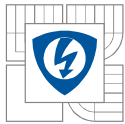


Obrázek 23. - Blokové schéma pro měření a výpočet účinnosti elektroniky

U tohoto obrázku nám oproti předchozímu pouze přibily dvě měřicí sondy (jedna proudová a napěťová) pro měření napětí a proudu na motoru pohonu. Toto měření je potřebné pro určování ztrát na řídicí elektronice.



Obrázek 24. - Energetická bilance elektroniky



### 3.4 Výpočty

Poté, co nám osciloskop zobrazí měřené průběhy, je třeba vyexportovat data. Nejjednodušší způsob, jak to udělat, je opsat z tabulky naměřených hodnot přímo z obrazovky (viz. Obr.7) potřebné údaje a z nich potom dále určovat další parametry. Druhý způsob je vyexportovat průběhy všech veličin do tabulky v Excelu a s nimi dále pracovat. Z praktických měření v kapitole 4 je vidět, že hodnoty vypočtené těmito dvěma způsoby se nepatrně liší. Nejprve je třeba uvést teoretický postup výpočtu veličin, které potřebujeme.

#### 3.4.1 Teoretický rozbor

Výpočty se týkají jednak určení hodnot proudů a napětí, ale hlavně nás zajímají různé druhy výkonů. Teorie se však liší jak z hlediska toho, jakým napětím napájíme zařízení, ale také, jestli je zátěž lineární nebo nelineární.

##### Konstantní zátěž

U tohoto typu zátěže jsou výpočty jednoduché. Při stejnosměrném napájení stačí znát hodnotu napětí a proudu, které mezi sebou vynásobíme a získáme tím odebíraný výkon (energii).

$$P = U * I \quad [W] \quad (1)$$

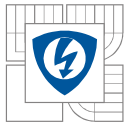
U střídavého napájení se nám do této problematiky ještě přidává fázový posuv mezi napětím a proudem. Po určení efektivní hodnoty napětí a proudu můžeme nejprve vypočítat zdánlivý výkon podle vztahu

$$S = U_{ef} * I_{ef} \quad [VA] \quad (2)$$

V praxi nás však zajímá i činný a jalový výkon, které se vypočítají dle následujících vzorců

$$P = U_{ef} * I_{ef} * \cos\varphi \quad [W] \quad (3)$$

$$Q = U_{ef} * I_{ef} * \sin\varphi \quad [VAr] \quad (4)$$



### Nelineární zátěž

V tomto případě už musíme využít práce s osciloskopem, z čehož vychází problematika, kterou se zabývám i v praktické části.

Z definice výpočtu střední hodnoty obecného časového průběhu vyplývá vztah:

$$X_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (5)$$

a dále vztah pro výpočet efektivní hodnoty:

$$X_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (6)$$

Z těchto vzorců vyplývají vztahy pro výpočet střední hodnoty napětí, proudu a výkonu:

$$U_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (7)$$

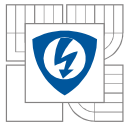
$$I_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (8)$$

$$P_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (9)$$

A efektivní hodnoty:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (10)$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (11)$$



Tyto vzorce bychom mohli uplatnit v případě, že máme definovaný tvar dané veličiny a tím bychom se mohli dobrat k teoretickému výpočtu hodnoty. Osciloskop však neměří spojitě, ale měří vzorky dané veličiny, takže výše uvedených pět vzorců musíme upravit na tvar, který lépe odpovídá dané situaci. Střední hodnoty:

$$U_{stř} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (12)$$

$$I_{stř} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i_i \quad (13)$$

$$P_{stř} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (14)$$

Vzorec pro střední hodnotu výkonu je nejspíše využíván v osciloskopu. Když ho však použijí v Excelu, tak se přesto hodnoty liší. Dále tu jsou efektivní hodnoty:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (15)$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i_i^2} \quad (16)$$

Platnost vztahů (12) až (16) je dokazována v poslední kapitole.

Pro stejnosměrné napájení tedy můžeme vypočítat výkon ze zdroje:

$$P = U_{stř} * I_{stř} \quad (17)$$

A energii:

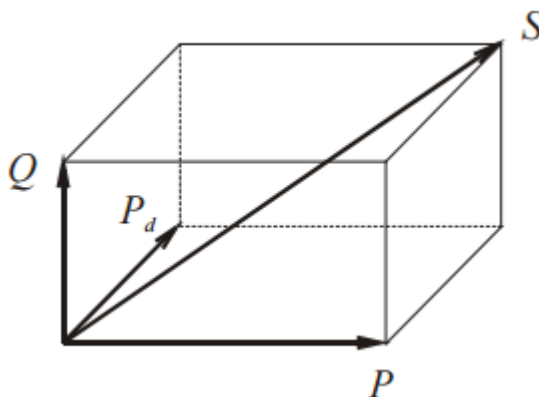
$$E = U_{stř} * I_{stř} * \Delta t \quad (18)$$

Kde  $\Delta t$ ...je délka běhu pohonu odečtená z osciloskopu

Pro střídavé napájení můžeme vypočítat zdánlivý výkon:

$$S = U_{ef} * I_{ef} \quad (19)$$

Pro další úvahu musím uvést grafické znázornění výkonů (literatura [9]):



Obrázek 25. - Výkonový diagram

Z obrázku vyplývá, že pro zdánlivý výkon platí vztah (vztahy 20 až 23 se nachází v literatuře [1]):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (20)$$

Kde  $D$ ...je deformační výkon (na obrázku 21 označený jako  $P_d$ ), který je vyvoláván působením vyšších harmonických složek napětí a proudu, které jsou různého řádu. [VAd]

Činný a jalový výkon by bylo možné určit pomocí Fourierovy frekvenční analýzy. Činný výkon by byl určen ze vztahu:

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} U_k * I_k * \cos\varphi_k \quad (21)$$

Kde  $k$ ...označuje řád harmonické složky průběhu

A podobně bychom mohli také určit jalový výkon:

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k * I_k * \sin\varphi_k \quad (22)$$

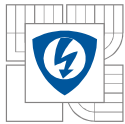
A konečně by bylo možné vypočítat také deformační výkon:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad [VAd] \quad (23)$$

Použití FFT by však bylo vhodnější pro periodické průběhy, ale pro naše účely by bylo zbytečné tuto problematiku dále rozebírat.

Pro určování účinnosti v souvislosti s kapitolou 3.3.2 platí následující vztah:

$$\eta = \frac{P}{P_1} \quad (24)$$



Na závěr této kapitoly je vhodné uvést obecné vzorce, pomocí kterých jsou vypočítány střední a efektivní hodnoty v Excelu. Je to tedy střední hodnota:

$$X_{stř} = \text{SUMA}(E1008:E9663)/(9663 - 1008) \quad (25)$$

A efektivní hodnota:

$$X_{ef} = \text{ODMOCNINA}(\text{SUMA.ČTVERCŮ}(C\$1008:C\$9663) / (9663 - 1008)) \quad (26)$$

### 3.5 Určení nejistoty měření

K metodice měření patří také posouzení velikosti nejistoty měření. Nejistotou se rozumí přidružený parametr k výsledku měření charakterizující rozptýlení hodnot, které lze důvodně pokládat za hodnotu veličiny, která je objektem měření. Pro určování nejistot jsem čerpal z materiálů [10] a [11].

#### 3.5.1 Dělení nejistot

Nejistoty dělíme na dvě základní skupiny – nejistoty A a B. Toto dělení vychází ze způsobu jejich určování. Na základě těchto hodnot jsme schopni určit výslednou nejistotu (tzv. kombinovanou). Tu pak obvykle ještě upravujeme na tzv. nejistotu rozšířenou. Pro výpočet nejistoty A nebyly zatím naměřeny žádné hodnoty, takže zde pouze shrnu něco z teorie.

**Nejistotu A** zjistíme z opakování měření  $x_i$ . Zjistí se jako rozptyl hodnot  $s_x$  opakovaných  $n$  měření. Mírou nejistoty  $u_a$  typu A je výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (27)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (28)$$

$$u_a = k_s * s_{\bar{x}} \quad (29)$$

Počet opakování  $n$  by měl být co největší. Z teorie víme, že bychom měli měření opakovat alespoň desetkrát, v tom případě je totiž  $k_s = 1$ . V případě  $n < 10$  se  $k_s$  určuje dle následující tabulky:

n	9	8	7	6	5	4	3	2
$k_s$	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7

Tabulka 4. - Určování koeficientu  $k_s$  pro  $n < 10$

Nejprve spočítáme výběrovou směrodatnou odchylkou podle (28) pro napětí:

$$s_{\bar{U}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} = 0,000816 \text{ V} \quad (30)$$

Protože jsem z osciloskopu získal velké množství změřených hodnot, můžeme psát, že  $k_s = 1$ , a z toho plyne:

$$u_a(U) = 1 * 0,000816 = 0,000816 \text{ V} \quad (31)$$

Stejný postup je pro proud:

$$s_{\bar{I}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} = 0,000816 \text{ V} \quad (32)$$

$$u_a(I) = 1 * 0,000816 = 0,015426 \text{ A} \quad (33)$$

**Nejistota B** je získávána jinak než statickým zpracováním výsledků opakovaných měření. Jsou vyhodnoceny pro jednotlivé zdroje nejistoty identifikované pro konkrétní měření a jejich hodnoty nezávisí na počtu opakování měření. Pocházejí od různých zdrojů a jejich společné působení vyjadřuje výsledná standardní nejistota typu B značená  $u_b$ . Do budoucna předpokládám, že se mi do ruky dostane zápis z kalibrace osciloskopu, abych mohl nejistotu vyhodnotit přesněji. V této chvíli jsem nejistotu B vypočítal z chyb osciloskopu a sond udaných výrobcem (to také znamená, že počítám s nulovým offsetem), a pro napěťový rozsah 20V/dílek a proudový rozsah 5A/dílek. Do předpokladu zahrnuji i fakt, že průběh je roztažen na co nejvyšší výchylku (co nejmenší rozsah).

Poznámka: Napěťový rozsah: Osciloskop při nulovém offsetu zobrazuje 4 dílky a máme relativní rozsah 10V/dílek, čili absolutní rozsah bude  $4 * 10\text{V} = 40\text{V}$ .

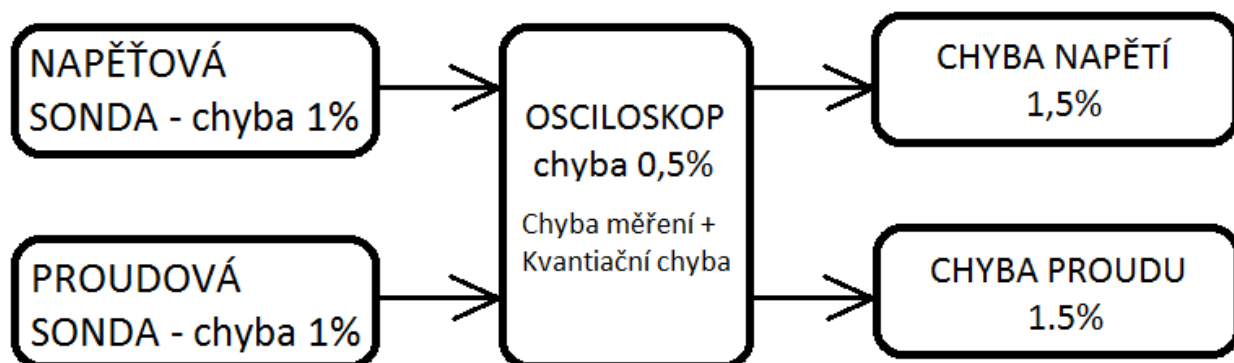
Proudový rozsah: 4 dílky a relativní rozsah 5A/dílek, takže  $4 * 5 = 20\text{A}$

Chybu měření jsem vypočítal jako součet chyby osciloskopu a chyby napěťové sondy, viz. Obr. 22.

$$\delta_U = \delta_O + \delta_{NS} = 1\% + 0.5\% = 1,5\% \quad (34)$$

Výpočet chyby měření proudu je obdobná:

$$\delta_I = \delta_O + \delta_{PS} = 1\% + 0.5\% = 1,5\% \quad (35)$$



Obrázek 26. - Blokové znázornění relativních chyb osciloskopu

Dále můžeme vypočítat jednotlivé absolutní chyby měření napětí a proudu:

$$\Delta_{PU} = \frac{\delta_U * X_{RU}}{100} = \frac{1,5 * 40}{100} = 0,6V \quad (36)$$

$$\Delta_{PI} = \frac{\delta_I * X_{RI}}{100} = \frac{1,5 * 20}{100} = 0,3A \quad (37)$$

Nyní můžeme vypočítat jednotlivé nejistoty (pro napětí a proud):

Obecný vzorec pro výpočet nejistoty B:

$$u_{Bz} = \frac{\Delta_{zmax}}{\chi} \quad (38)$$

Kde: z...měřená veličina

$\Delta_{zmax}$ ...maximální absolutní chyba, uvažujeme  $\Delta_{zmax} = \Delta_{Pz}$

$\chi$ ...Tento koeficient je vázán na tvar rozložení. Protože uvažujeme chybu přístrojů ze základní výstupní kontroly výrobce, uvažujeme  $\chi = \sqrt{3}$ .

Nejistota B pro napětí:

$$u_B(U) = \frac{\Delta_{Umax}}{\chi} = \frac{0,6}{\sqrt{3}} = 0,3464V \quad (39)$$

Nejistota B pro proud:

$$u_B(I) = \frac{\Delta_{Imax}}{\chi} = \frac{0,3}{\sqrt{3}} = 0,1732V \quad (40)$$

**Kombinovanou nejistotu** lze vypočítat z následujícího vztahu:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (41)$$

Kombinovaná nejistota pro napětí dle:

$$u_c(U) = \sqrt{u_A^2(U) + u_B^2(U)} = \sqrt{0,000816^2 + 0,3464^2} = 0,346401 \text{ V}$$

A pro proud:

$$u_c(I) = \sqrt{u_A^2(I) + u_B^2(I)} = \sqrt{0,015426^2 + 0,1732^2} = 0,173886 \text{ A}$$

Kombinovaná nejistota vyjadřuje interval, ve kterém se měřená veličina vyskytuje na 68%, pokud by měla normální rozložení pravděpodobnosti.

Dále můžeme určit **Rozšířenou nejistotu**, protože nejistota plynoucí z nejistoty kombinované je určována při pravděpodobnosti 68% a ta je nedostačující. Kombinovanou nejistotu tedy vynásobíme koeficientem  $k_r = 2$  (nejčastější případ platí pro 95% pravděpodobnost):

$$U = k_r * u_c \quad (42)$$

Nakonec kombinovaná nejistota pro napětí dle (30):

$$U(U) = k_r * u_c(U) = 2 * 0,346401 = 0,692802 \text{ V}$$

Pro proud:

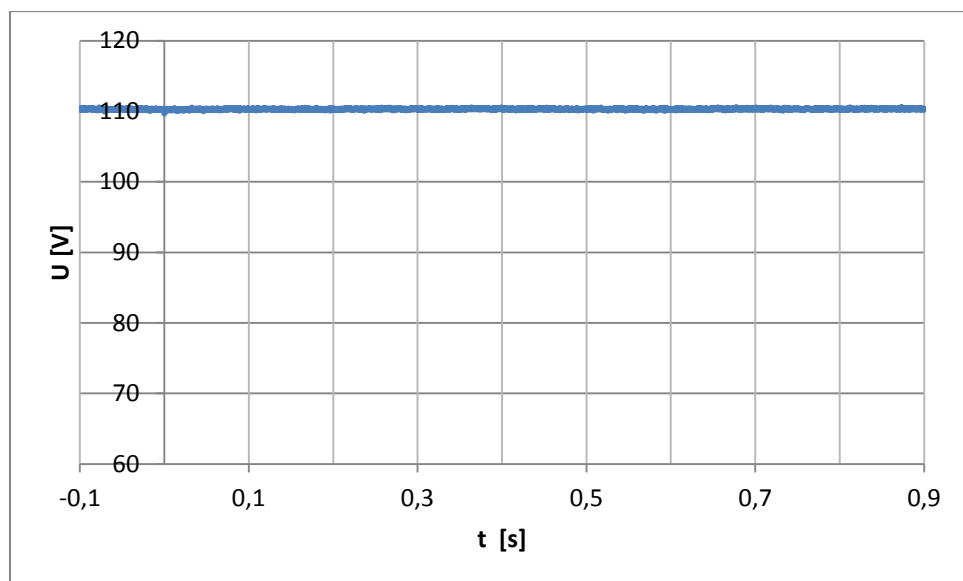
$$U(I) = k_r * u_c(I) = 2 * 0,173886 = 0,347771 \text{ A}$$

## 4 MĚŘENÍ NA MOTOROVÉM POHONU

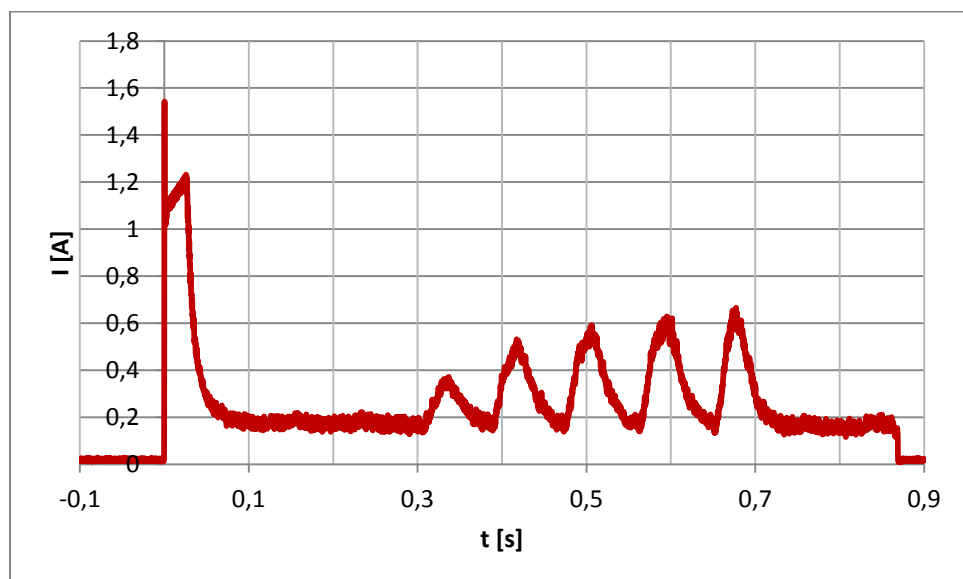
Vlastní měření jsem provedl na čelním motorovém pohonu při napájení střídavým napětím 110 V AC a při stejnosměrném napájení 110 V DC. Zde se dostáváme i k vyhodnocení a porovnání mezi vypočtenými hodnotami přímo v osciloskopu a hodnotami, které nám vypočítal Excel.

### 4.1 Měření při stejnosměrném napájení

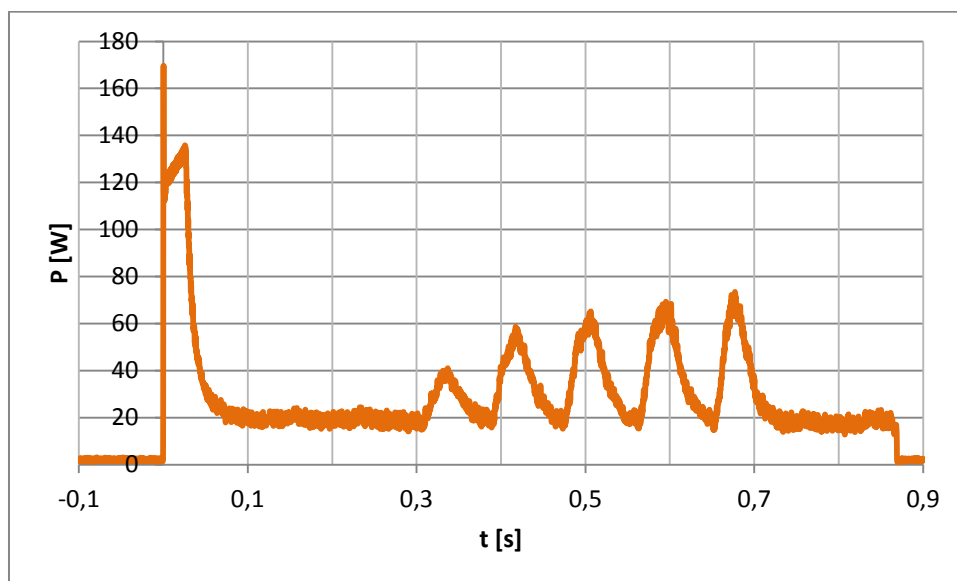
Nejprve uvedu výstup vyhodnocení měření při stejnosměrném napájení. Zde je výstup z osciloskopu:



Graf 1. - Průběh napětí na svorkách motorového pohonu při stejnosměrném napájení



Graf 2. - Průběh proudu při stejnosměrném napájení



Graf 3. - Průběh výkonu při stejnosměrném napájení

Na grafu č.1 je vidět konstantní průběh napětí. Tvary proudu a výkonu jsou prakticky totožné a na nich je vidět (grafy 2 a 3), jak na začátku běhu pohonu musí být překonána velká síla hlavních pružin jističe.

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou v následující tabulce č.6:

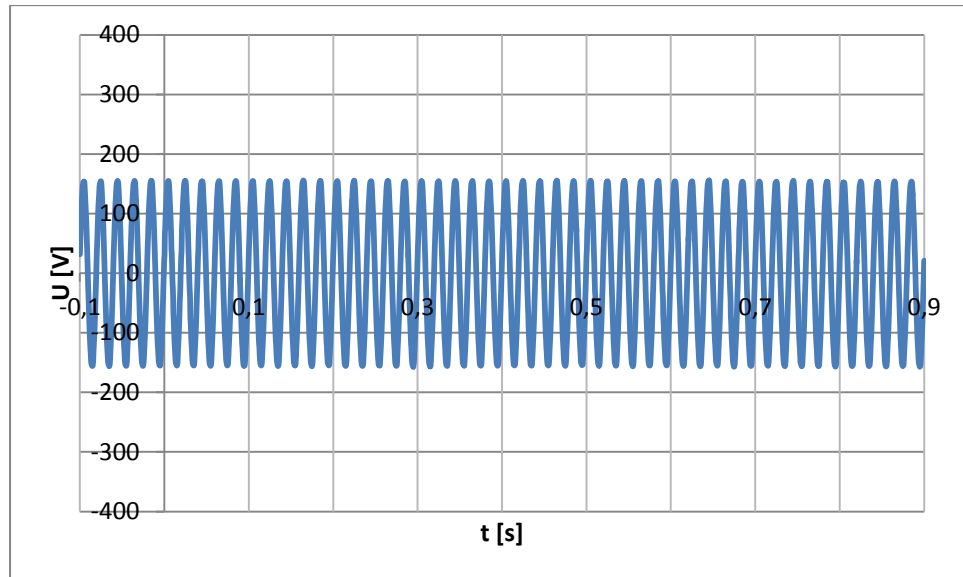
Tabulka 5. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro stejnosměrné napájení

	Osciloskop	Excel	Odchylka
$U_{stř}$ [V]	110,31	110,324	-0,014
$I_{stř}$ [mA]	283,0	283,153	-0,153
$I_{max}$ [A]	1,542	1,54219	-0,00019
$P_{stř}$ [W] $P_{stř} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$	31,21	31,2319	-0,0219
$P_{stř}$ [W] $P_{stř} = U_{stř} * I_{stř}$	31,2177	31,2386	-0,0209
$P_{max}$ [W]	169,7	169,651	0,049
$E$ [J]	27,1881	27,1874	0,0007

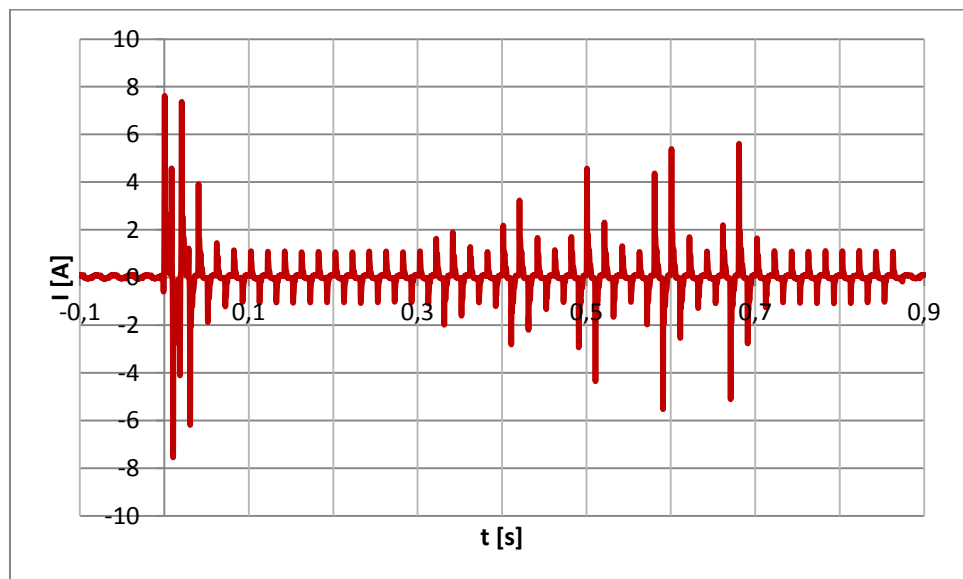
V tabulce 5 jsou v prvním sloupci hodnoty, které změřil osciloskop. V druhém se nacházejí hodnoty vypočtené Excelem. Podle vztahu (25) je zde vypočítána střední hodnoty napětí a proudu. Maximální hodnota proudu a výkonu byla vypočítána podle funkce MAX. Střední hodnoty zde byla vypočítána dvěma způsoby. Poprvé podle vztahu (14) a podruhé dle vztahu (17). Nakonec je tu výpočet energie dle (18). Naměřené a vypočítané hodnoty se liší jen s velmi malou odchylkou.

## 4.2 Měření při střídavém napájení

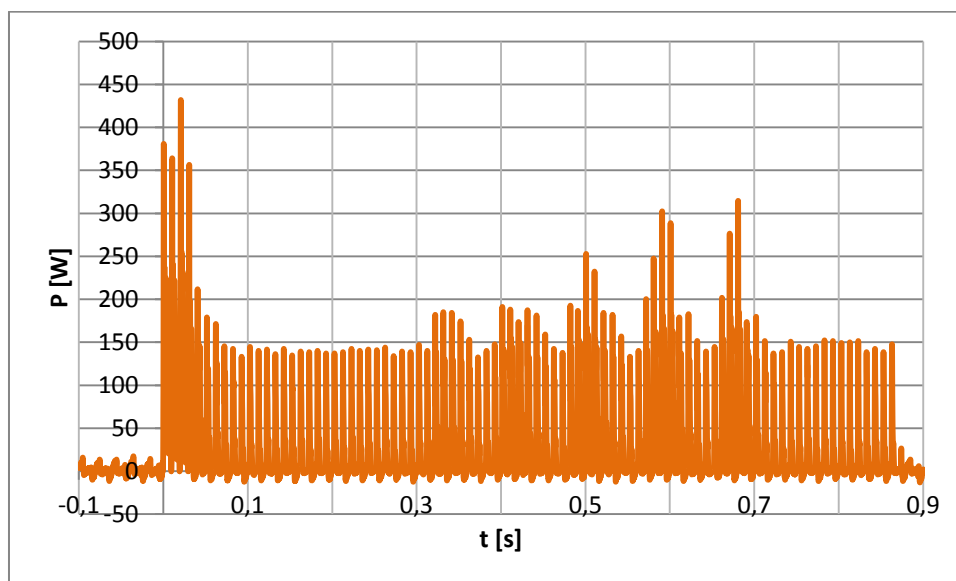
Dále nám zbývá oscilogram, který ukazuje průběhy při napájení střídavým napětím:



Graf 4. - Průběh napětí na svorkách pohonu při střídavém napájení



Graf 5. - Průběh proudu při střídavém napájení



Graf 6. - Průběh výkonu při střídavém napájení

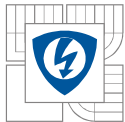
Proud a výkon jsou, co se týče odběru v čase, podobné, protože je opět vidět velký odběr na začátku a několik větších pulzů ke konci průběhu.

Zde jsou opět naměřené a vypočtené hodnoty:

Tabulka 6. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro střídavé napájení

	Osciloskop	Excel	Odchylka
$U_{ef}$ [V]	109,9	109,973	-0,073
$I_{ef}$ [mA]	679	659,564	19,436
$I_{max}$ [A]	7,62	7,62187	-0,00187
$I_{min}$ [A]	-7,55	-7,55187	0,00187
$P_{stř}$ [W] $P_{stř} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$	31	30,8756	0,1244
$S$ [VA]	74,6221	72,5342	2,0879
$P_{max}$ [W]	432	431,876	0,124
$E$ [J]	26,8617	26,7229	0,1388

Efektivní hodnoty byly v Excelu vypočítány podle vztahu (26). Je vidět, že oproti předchozí tabulce (5) nám přibyl ještě minimální proud (v Excelu dle funkce *MIN*), což je důležité, protože maximální nabíjecí proud se může nacházet jak v kladné, tak v záporné půlvlně. Střední hodnota výkonu byla spočítána opět dle (14) a od předchozí tabulky se neliší výpočet  $P_{max}$  a energie. Zdánlivý výkon  $S$  jsem vypočítal dle vztahu (19).



---

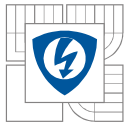
## ZÁVĚR

Podařilo se mi sepsat práci, která rozebírá problematiku motorových pohonů ve velmi širokém okruhu. Je zde popis principu funkce motorového pohonu s výčtem dostupných motorových pohonů a je zde popsán jeho mechanismus. Dále je tu teoretický rozbor výpočtů elektrických veličin a nakonec popsáno praktické měření na motorovém pohonu.

Z vyhodnocených tabulek č.6 a č.7 je zřejmé, že hodnoty z osciloskopu a Excelu se nepatrně liší (v nejhorším případě o jednotky %). U výpočtů v Excelu jsem totiž nedokázal přesně určit časovou oblast, ze které se počítají potřebné údaje. Jde totiž o polohu kurzorů, které zobrazí oscilogram. Nedokážu přesně určit jejich polohu a tím pádem nemohu ani v Excelu přesně určit, od jaké buňky má výpočet probíhat. To je také zřejmě hlavní důvod, proč se naměřené a vypočtené hodnoty liší. Další důvod může být v možných korekcích, které provádí osciloskop.

Výpočty v Excelu jsem tedy ověřil, že osciloskop počítá námi potřebné údaje podle uvedené teorie.

Do budoucna se hodlám více věnovat výpočtům výkonů a jejich zpracování, protože by určitě nebylo od věci vypočítat hodnoty všech typů výkonů.



## LITERATURA

- [1] Měření aktivních elektrických veličin s neharmonickými průběhy. S. Ďaďo, M. Sedláček. SNTL, Praha 1987.
- [2] *Zdokonalování technických systémů metodikou Tvorby a řešení inovačních zadání (TRIZ)* [online]. 2013 [cit. 2015-05-31].
- [2] *KOMPAKTNÍ JISTIČE BC160N* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: [http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2193-z01-13\\_cz\\_sk.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2193-z01-13_cz_sk.pdf)
- [3] *KOMPAKTNÍ JISTIČE BH630N, BH630S* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: [http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2118-z01-13\\_cz\\_sk.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2118-z01-13_cz_sk.pdf)
- [4] *Motor operator MO320* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: [https://www.lowvoltage.siemens.com/tecdoc/3VA/GHB/HTML\\_en-us/66887722891.html](https://www.lowvoltage.siemens.com/tecdoc/3VA/GHB/HTML_en-us/66887722891.html)
- [5] *Blue panther* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: [www.blue-panther.cz](http://www.blue-panther.cz)
- [6] *EATON Series G Motor Operators* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.klocknermoeller.com/EatonMCCB/sg-motorOperators.html>
- [7] *ABB Accessory* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.galco.com/buy/ABB/K5M8>
- [8] Norma SN27095: 2006-09
- [9] Analýza obvodů s neharmonickými zdroji. In: *Analýza obvodů s neharmonickými zdroji* [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~bene/YTE1/Neharmonické/př\\_5\\_neh\\_zdroje\\_YTE1.pdf](http://home.zcu.cz/~bene/YTE1/Neharmonické/př_5_neh_zdroje_YTE1.pdf)
- [10] Stručný úvod do problematiky nejistot měření. In: *Stručný úvod do problematiky nejistot měření* [Pdf]. 2007 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/elearning/>
- [11] Nejistoty měření. In: *Nejistoty měření* [online]. 2005 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://352lab.vsb.cz:83/SberDat/navod.pdf>