

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

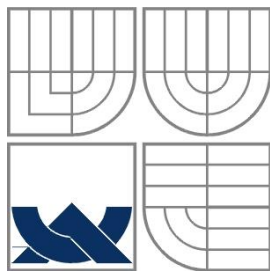
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

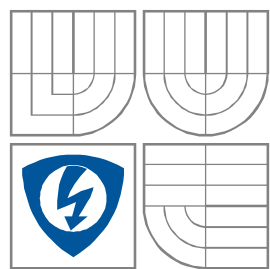
Tomáš Mazálek

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

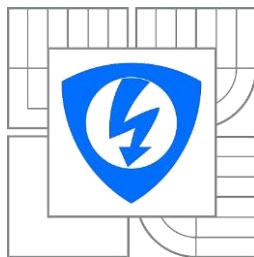
Tomáš Mazálek

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: 24.8.2015

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. Je zde uveden i postup výpočtu maximálního výkonu pomocí vytvořeného makra v 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. There is also introduced the procedure calculating the maximum generated power by using macros in 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

Motorový pohon; jistič, západka, rohatka, spotřeba, Fourierův rozvoj

Keywords

Motor operator; circuit breaker, ratchet, ratchet wheel, consumption, Fourier series

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

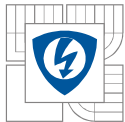
Podpis autora

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. Dále bych tímto rád poděkoval kolegům našeho oddělení pro motorové pohony. Zejména potom Ing. Petru Středovi za jeho pomoc při rozboru teoretického výpočtu ohledně Fourierova rozvoje, dále Ing. Jiřímu Polákovi za zadání práce a cenné rady při úpravě a také kolegům Tomáši Starenkovi a Bc. Michalu Bárnetovi za pomoc při tvorbě makra.

V Brně dne

Podpis autora



SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
ÚVOD	10
1 PRINCIP FUNKCE A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MOTOROVÝCH POHONŮ	11
1.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ POHONŮ.....	13
1.2 PŘEHLED DOSTUPNÝCH MOTOROVÝCH POHONŮ	16
2 TEORETICKÝ ROZBOR MECHANISMU	21
2.1 MODELÝ ČELNÍHO A BOČNÍHO MOTOROVÉHO POHONU.....	21
2.2 MODELÝ JISTIČE	23
3 METODIKA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN NA MOTOROVÉM POHONU.....	25
3.1 OSCILOSKOP A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ	25
3.1.1 NAPĚŤOVÁ SONDA	25
3.1.2 PROUDOVÁ SONDA.....	26
3.2 NAPÁJECÍ ZDROJE	26
3.2.1 NAPĚTÍ POUŽÍVANÁ PŘI MĚŘENÍ POHONŮ.....	26
3.2.2 ZDROJE STEJNOSMĚRNÉHO A STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ	27
3.3 CELÁ MĚŘICÍ APARATURA	28
3.3.1 BLOKOVÉ SCHÉMA PRO MĚŘENÍ SPOTŘEB MOTOROVÉHO POHONU.....	28
3.4 VÝPOČTY	29
3.4.1 TEORETICKÝ ROZBOR	29
UŽITÍ ČASOVÉHO OKNA.....	34
4 MĚŘENÍ NA MOTOROVÉM POHONU	36
4.1 MĚŘENÍ PŘI STEJNOSMĚRNÉM NAPÁJENÍ	36
4.2 MĚŘENÍ PŘI STŘÍDAVÉM NAPÁJENÍ	37
4.3 HLEDÁNÍ MAXIMA SPOTŘEBY MOTOROVÉHO POHONU.....	40
ZÁVĚR.....	43
LITERATURA	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

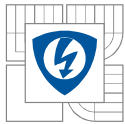
SEZNAM OBRÁZKŮ

<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. - Střadačový pohon řady Tmax od firmy ABB</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 10. - Motorový pohon čelní přímý řady S3 až S5od ABB [7]</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 11. - Motorový pohon čelní přímý řady T1 až T3 od ABB.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 12. - Pohon od firmy BTicino.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 13. - Motorový pohon od Shneider-electric</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 14. - Jističový pohon od Merlin Gerin</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 15. - Motorový pohon pro domovní rozvody od Merlin Gerin</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 16. - Model čelního motorového pohonu</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 17. - Model bočního pohonu</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 18. - Model jističe při zapínání</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 19. - Model jističe při vypínání</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 20. - Teledyne LeCroy HDO4024[5]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 21. - Napěťová sonda LeCroy ADP305[5]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 22. - Proudová sonda LeCroy AP015[5]</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 23. - Blokové schéma měřicí aparatury pro měření spotřeb motorového pohonu</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 24. – Schéma zapojení dálkového ovládání pohonu</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 25. - Výkonový diagram</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 26. - Délka časového okna</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 27. - Výstupní tabulka makra</i>	<i>40</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. - Vysvětlivky k obrázku 4</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 2. - Přehled dostupných motorových pohonů</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 3. - Hodnoty jmenovitých napětí a vypočítaných mezních hodnot</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 4. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro stejnosměrné napájení</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 5. - 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 nepovolené 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 je uvedeno rozdělení motorových pohonů z různých hledisek, přičemž u konkrétního je popsán princip funkce a je i popsána jeho konstrukce. Pro lepší srozumitelnost je vloženo několik obrázků, které funkci zařízení vysvětlují nejlépe. Dále je zde 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, jsou doplněny i o popis celého systému.

Třetí kapitola pojednává o vlastním měření. Je zde rozebrána metodika měření spotřeby pohonu pomocí osciloskopu. Dále jsou zde uvedeny měřicí přístroje, tj. osciloskop a měřicí sondy. Jsou tu také bloková schémata principu měření.

Protože jsou výrobcem těchto motorových pohonů dány určité limity spotřeby elektrické energie, nachází se tu také teoretický rozbor výpočtu elektrických veličin v Excelu.

A nakonec je tu praktická část bakalářské práce, ve které čtenář nalezne porovnání výsledků naměřených hodnot v osciloskopu a vypočtených hodnot v Excelu. Bylo zde ověřeno, jakým způsobem osciloskop vypočítává námi potřebné údaje z oscilogramu a dále je zde praktická ukázka výpočtu pomocí vytvořeného makra, které provádí Fourierův rozvoj napětí a proudu a následného určení velikosti maximální spotřeby motorového pohonu.

1 PRINCIP FUNKCE A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

MOTOROVÝCH POHONŮ

Nejprve je třeba se pokusit nějakým způsobem vytřídit 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 bylo provedeno měření.

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 vhánění 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 „přímé“ 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 stovky až tisíce ampérů). 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.



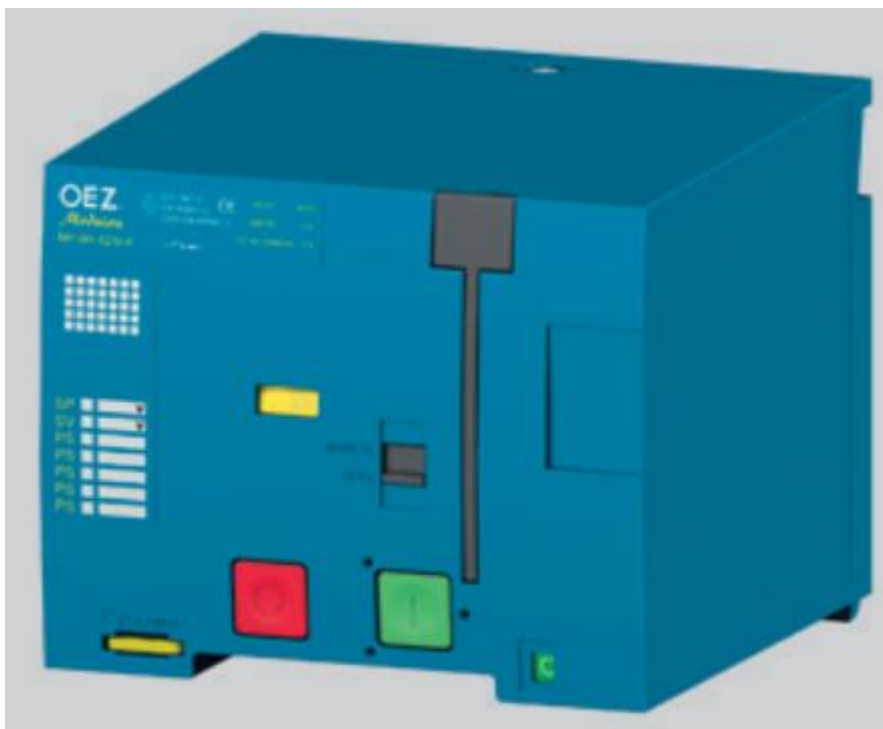
Obrázek 1. - Jistič řady Arion

Druhou skupinou jsou pohony určené pro jističe menších proudů (řádově stovky ampérů). Tato skupina pohonů pro menší jističe je ještě rozdělena na dvě podskupiny a to pohony boční, které se montují z boku jističe a jeho pákou pohybují prostřednictvím táhla. Jejich nevýhoda je fakt, že pokud máme více jističů vedle sebe, zabere tak daleko více místa. Tento problém 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 nejvíce měření proběhlo právě na čelních pohonech, celé měření (třetí a čtvrtý bod zadání) je vlastně o problematice měření elektrických veličin na tomto typu pohonu.



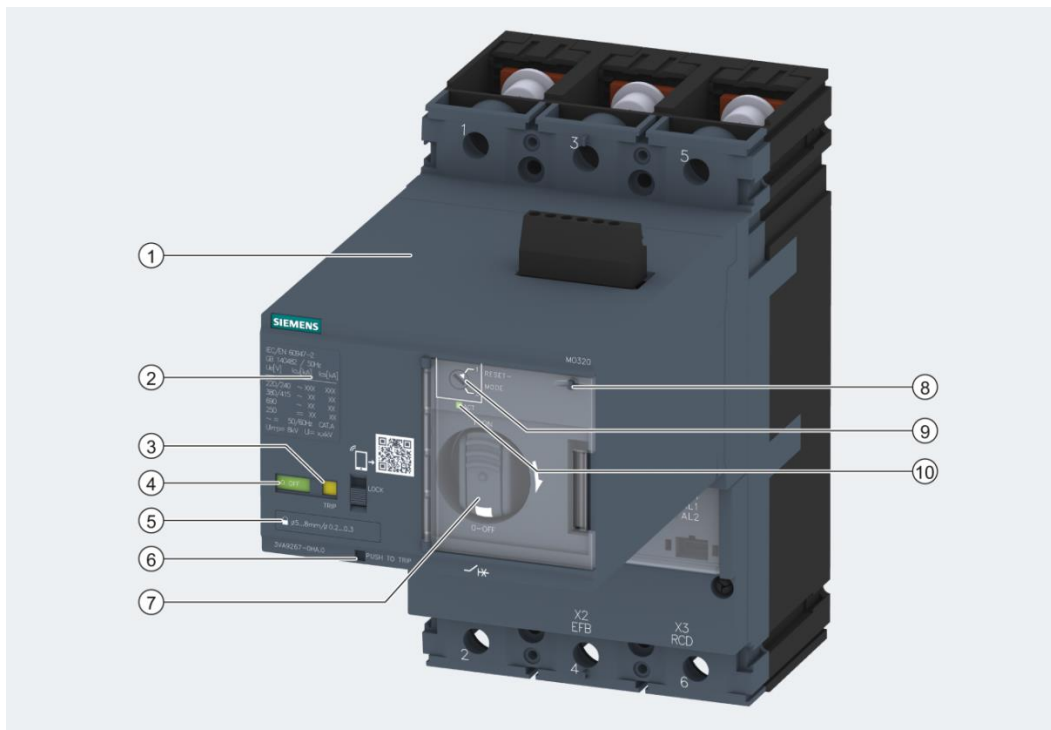
Obrázek 2. - Boční motorový pohon MP-BC-X230-B[3]



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

1.1 Konstrukční řešení pohonů

Konstrukce každého pohonu je samozřejmě typ od typu jiná. Tato kapitola popisuje, jak vypadá z tohoto hlediska čelní pohon MO250F.



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

Tabulka 1. - Vysvětlivky k obrázku 4

	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

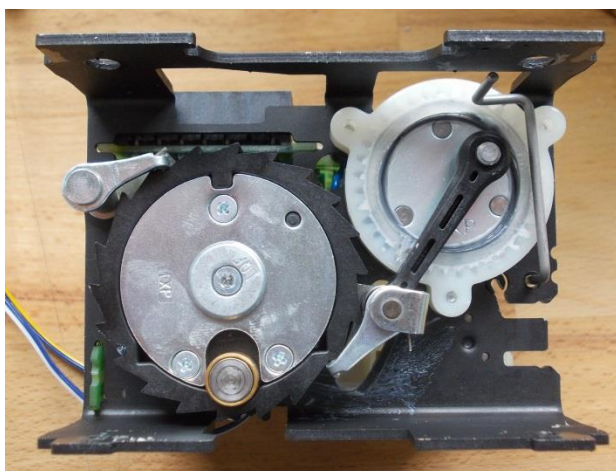
Na obrázku č.4 je vidět motorový pohon MO250F (obchodní označení MO320), nasazený na jističi. Pro popis jednotlivých komponentů je uvedena tabulka 1.

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.

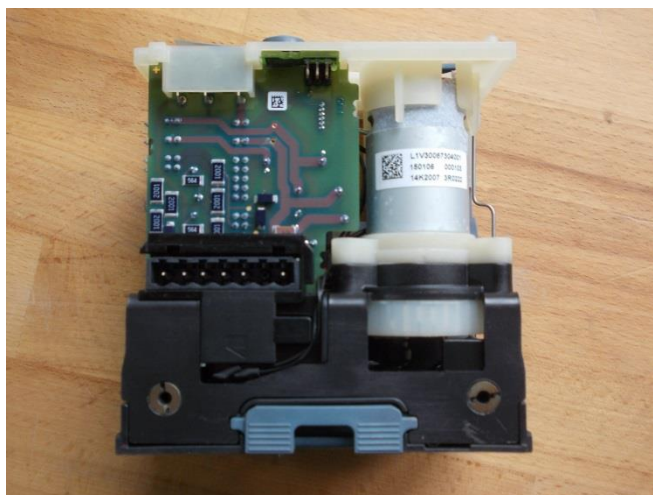


Obrázek 5. - Plastová podstava motorového pohonu

Popis pokračuje kovovou základnou (obr. 6). 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 upevněna plastová deska, která drží elektroniku.



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



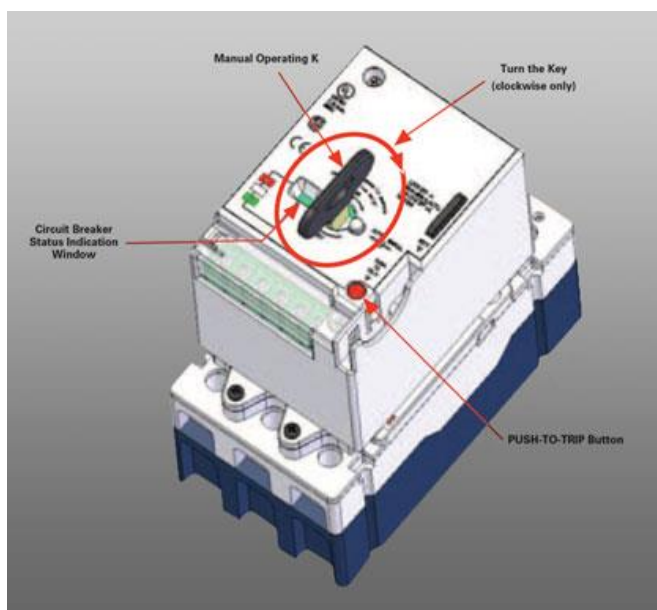
Obrázek 7. - Pohled na elektroniku a stejnosměrný motor pohonu

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 impulsu před zapínacím. Dále má ochrannou funkci motorku. Tím je myšlen například okamžik, kdy se zasekne páka jističe, tím pádem most nepřejede do správné polohy, nesezne 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 možné pohon demontovat.

1.2 Přehled dostupných motorových pohonů

V této podkapitole je vypracován 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 2 a 3). Dále se zde v rámci společnosti Siemens vyvíjí nová řada pohonů náležící k řadě SnG, přičemž už se na trhu objevil pohon MO250F, který je popsán v předchozí kapitole.



Obrázek 8. - Pohon od firmy Eaton [7]

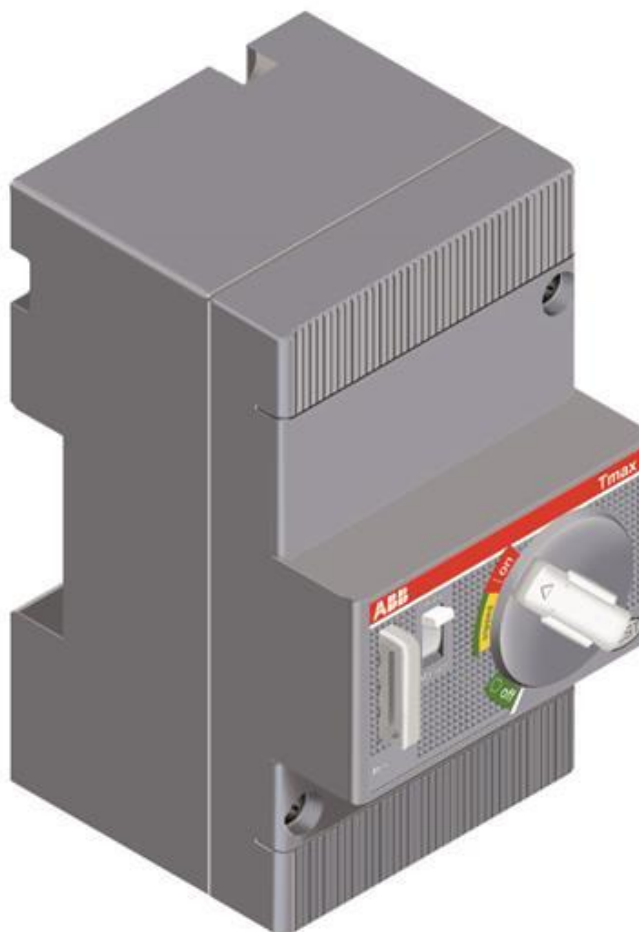
Za zmínku dále stojí motorové pohony od firmy Eaton na obr.8, a dále od firmy ABB na obr.9, 10 a 11.



Obrázek 9. - Střadačový pohon řady Tmax od firmy ABB



Obrázek 10. - Motorový pohon čelní přímý řady S3 až S5 od ABB [8]



Obrázek 11. - Motorový pohon čelní přímý řady T1 až T3 od ABB

Při hledání motorových pohonů mimo Českou republiku bylo nalezeno ještě několik dalších, které jsou zde zařazeny. Patří mezi ně pohony od firmy BTicino na dalším obrázku:



Obrázek 12. - Pohon od firmy BTicino

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



Obrázek 13. - Motorový pohon od Shneider-electric



Obrázek 14. - Jističový pohon od Merlin Gerin

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



Obrázek 15. - Motorový pohon pro domovní rozvody od Merlin Gerin

Obrázky pohonů od ostatních firem buď nebylo možné najít, nebo byly velmi nekvalitní. Pro ukázkou různých designů byly však tyto obrázky vyčerpávající. Pro přehled je zde ještě tabulka č.2 dostupných motorových pohonů.



Tabulka 2. - Přehled dostupných motorových pohonů

Firma	Poznámka	Typ	Velikost jističe
OEZ s.r.o.	Modeion BC160 – boční pohon (Obr. 2)	Přímý	160A
	Modeion BD250 a BH630 čelní pohon (Obr. 3)	Střadačový	250A a 630A
Siemens	SnG – čelní pohon (Obr. 4)	Přímý	160A až 630A
Eaton	Čelní pohon (Obr. 8)	Přímý	15A až 125A
ABB	Čelní pohon– pro řadu T4, T5 a T6 (Obr. 9)	Střadačový	250A až 630A
	Boční pohon pro řadu T1 a T2	Přímý	160A
	Čelní pohon– pro řadu T1, T2 a T3 (Obr. 11)	Přímý	160A a 250A
	Čelní pohon– pro řadu S3, S4 a S5 (Obr. 10)	Přímý	150A až 400A
BTicino	Megatiker – čelní pohon (Obr. 12)	Přímý	160A
	Megatiker – boční pohon	Přímý	160A
Schneider-electric	Čelní pohon – řada NSX 100 až 630 (Obr. 13)	Přímý	100A až 630A
Merlin Gerin	Čelní pohon (Obr. 14)	Přímý	100A až 630A
	Čelní pohon pro domovní rozvody (Obr. 15)	Přímý	15 až 125A
Noark electric	Čelní pohon	Přímý	125A až 800A
Terasaki	Čelní pohon	Přímý	50A, 125A, 250A

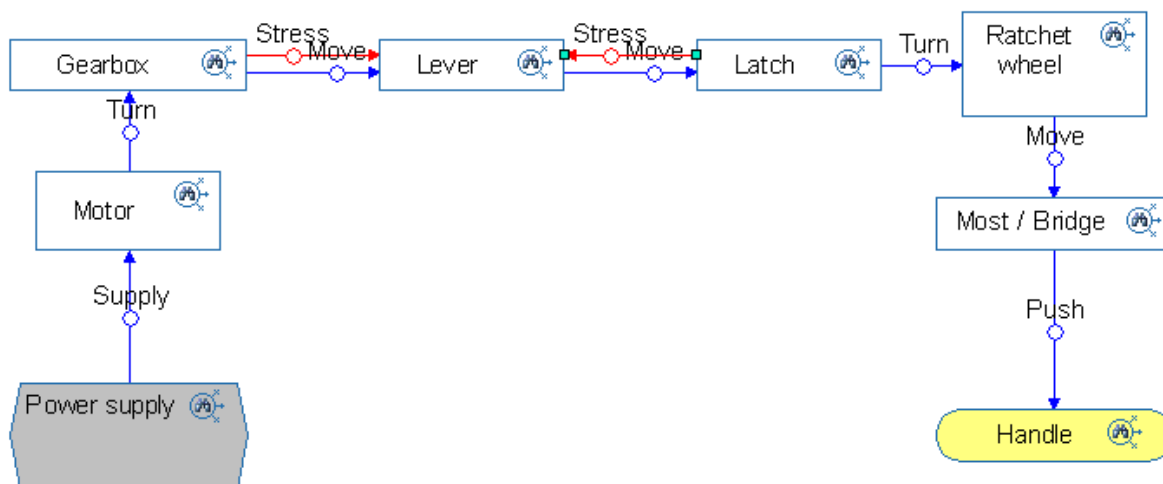
2 TEORETICKÝ ROZBOR MECHANISMU

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 je použita metodika TRIZ, což je zkratka pro „Tvorbu a Řešení Inovačních Zadání“. 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 lepší pochopení schématu je třeba vědět, že modré tenké šipky znázorňují optimální užitečné působení, modré čárkované ukazují zeslabené užitečné působení a tlusté modré naopak příliš velké působení. Naproti tomu červené šipky znázorňují škodlivé působení (např. namáhání, brzdění atd.).

Pro motorový pohon byla vytvořena dvě schémata. První (Obr. 16) reprezentuje čelní motorový pohon a druhé (Obr.17) boční pohon. Protože tato schémata ukazují přenos pohybové energie mechanismu, jedná se u všech těchto schémat o dynamické děje.

2.1 Modely čelního a bočního motorového pohonu



Obrázek 16. - Model čelního motorového pohonu

Jako první je zde popsán model čelního motorového pohonu (Obr. 16). Přenos energie začíná v elektronice (power supply), která napájí motor. Motorek vyvíjí točivý moment a otáčí tak planetovou převodovkou, na jejímž výstupu je upevněno táhlo (lever), které je přes osičku spojeno se západkou (latch). Ze schématu vyplývá, že toto táhlo je namáháno jak ze strany převodovky, tak ze strany západky (naznačují to červené šipky). To může v místech, kde je materiál zeslaben (jsou tím myšlena místa, kde je upevněna převodovka a západka), způsobit prasknutí táhla.

Převodovka tedy 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

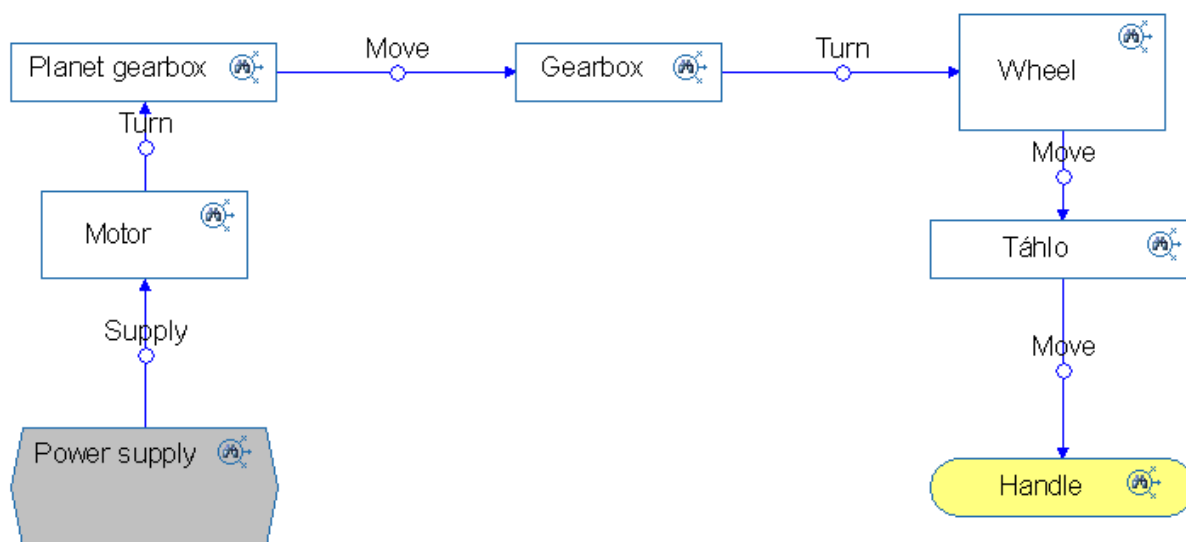
vymezena konstrukcí a měla by být co nejvíce přizpůsobena dráze páky jističe tak, aby se nemohla poškodit.

Čep je vložen do pouzdra mostu, což je plastový díl pohybující se posuvným pohybem s otvorem určeným pro vložení páky, kterou pak pohybuje.

Z uvedeného je tedy možné vyvodit, že nejslabším elementem je táhlo, které by mělo být dostatečně odolné proti namáhání od převodovky a od západky.

Ve schématu jsou dále 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 je třeba.

Dále je na Obr. 17 uveden model bočního pohonu:

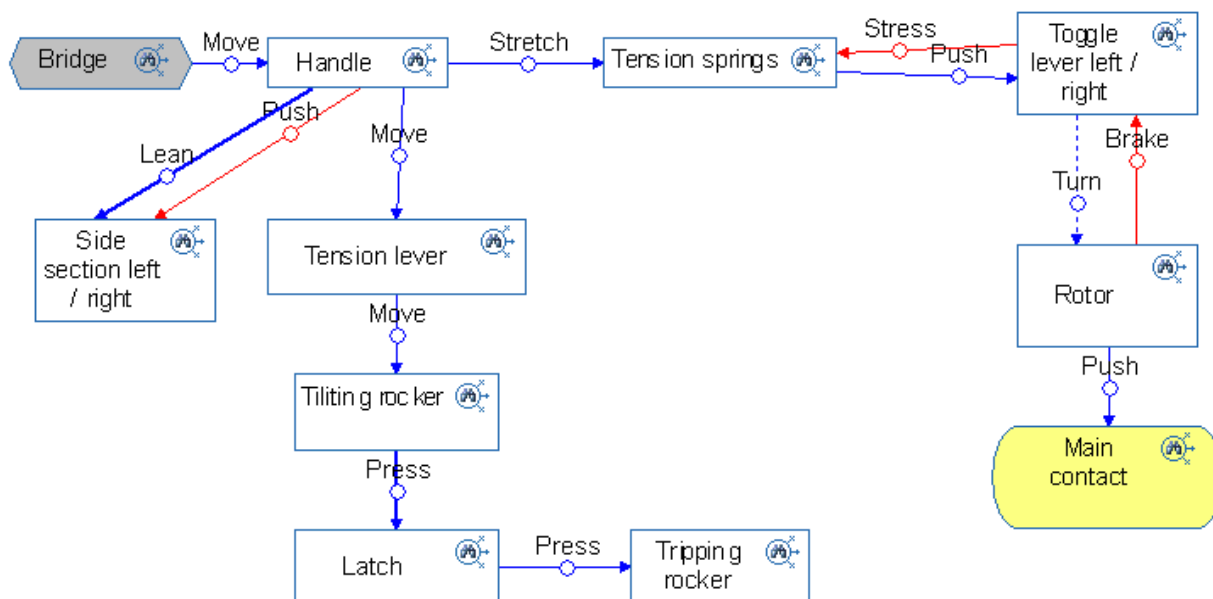


Obrázek 17. - Model bočního pohonu

Motor roztáčí planetkovou převodovku a ta roztáčí další druhou. Důvodem, proč jsou tu dvě převodovky je takový, že motorek má vysoké otáčky a jedna převodovka tak velice trpěla. Navíc ze stejného důvodu se jističe 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 na Obr. 18 je vytvořeno pro přepínání do polohy zapnuto (do ON).



Obrázek 18. - Model jističe při zapínání

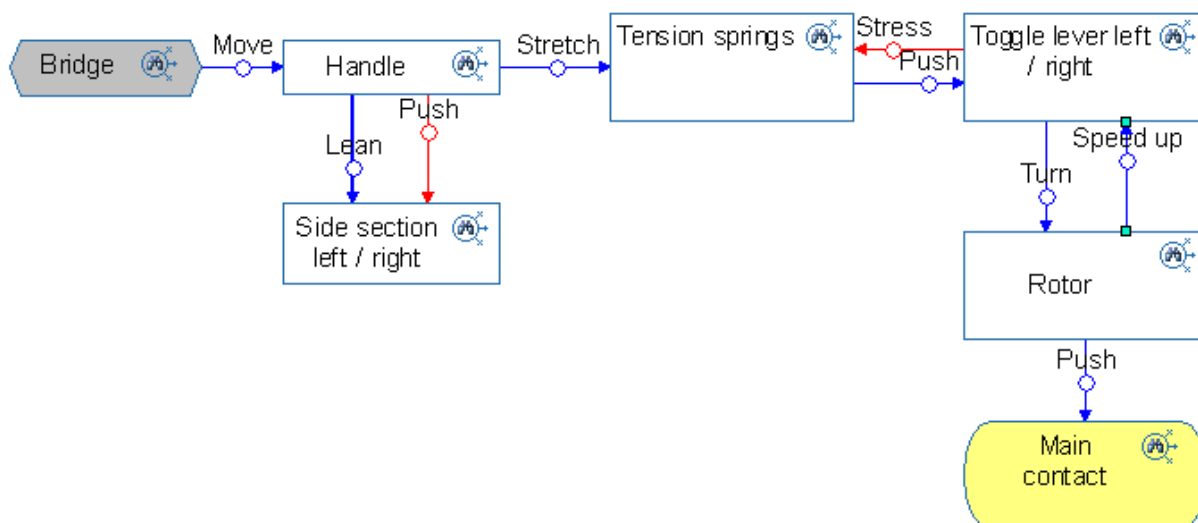
Popis modelu začíná u mostu motorového pohonu (bridge), který pohybuje pákou. Páka se opírá o základnu jističe (side section). Toto opírání je realizováno ve velice úzkém žlábků tak, aby se páka mohla v tomto místě volně pohybovat. Toto působení na velice malé ploše způsobuje, že pokud most pohybuje pákou příliš rychle a daleko, toto místo se může nepatrně poškodit a jistič se tak může stát nefunkční.

Přímo pod pákou se přes osičku natahují pružiny (tension springs), které po dokončení děje zajišťují to, aby jistič zůstal v určené poloze a samovolně tuto polohu neměnil. Tyto pružiny mají dále za úkol při změně polohy dodat mechanismu (hlavně rotor s kontakty) dostatečnou energii k tomu, aby „mžikově“ přepnul do druhé polohy. Proto je běh motorového pohonu vždy namáhán hlavně na začátku, kdy působí síla těchto pružin, což dokazují také oscilogramy. O těchto pružinách je třeba zmínit, že jsou velmi silně namáhány v místech, kde jsou upevněny na táhla (toggle lever). V těchto místech jsou tedy náchylné k prasknutí.

Jak již bylo zmíněno, 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. Rotor působí proti momentu táhel, která tento rotor nutí do zapnutí, což může vést k tomu, že i v případě, že je páka v poloze zapnuto, jsou kontakty málo přitlačeny a může docházet k jejich přílišnému zahřívání.

Další vysvětlení pokračuje opět od páky, 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).

Druhý model je vytvořen pro přechod z polohy zapnuto do polohy vypnuto.



Obrázek 19. - Model jističe při vypínání

Oproti předchozímu se tento model liší v tom, že tu úplně zmizela ta část, která je od páky směrem k vybavovacímu vahadlu. Páka jističe se od této části odklání a přestává na ni tedy tlačit. Problém s namáháním kovové základny a hlavních pružin přetrvává, ale zatímco v předchozím modelu bylo působení rotoru na táhla škodlivé, zde je vidět, že se tato vlastnost změnila na užitečnou a rotor ještě urychluje překlápění do vypnuté polohy.

3 METODIKA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN NA MOTOROVÉM POHONU

3.1 Osciloskop a jeho příslušenství

Protože se celé měření bude týkat hlavně práce s osciloskopem, pro začátek je zde zmíněno několik faktů o používaném osciloskopu. Jedná se o 12bitový osciloskop LeCroy HDO4024. Dodavatel osciloskopů (firma Blue Panther) udává při plném rozsahu a nulovém offsetu třídu přesnosti $\pm 0,5\%$. Je používána vzorkovací rychlost 10kSa/s a standardní paměť 12,5MB.



Obrázek 20. - 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 21. - Napěťová sonda LeCroy ADP350[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 22. - 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

V této kapitole je zmíněno několik informací k používaným napájecím zdrojům, ale ještě před tím je třeba rozebrat napětí, na kterých pracují měřené pohony.

3.2.1 Napětí používaná při měření pohonů

Pohon, na kterém bylo měření provedeno, 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 [9] 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.

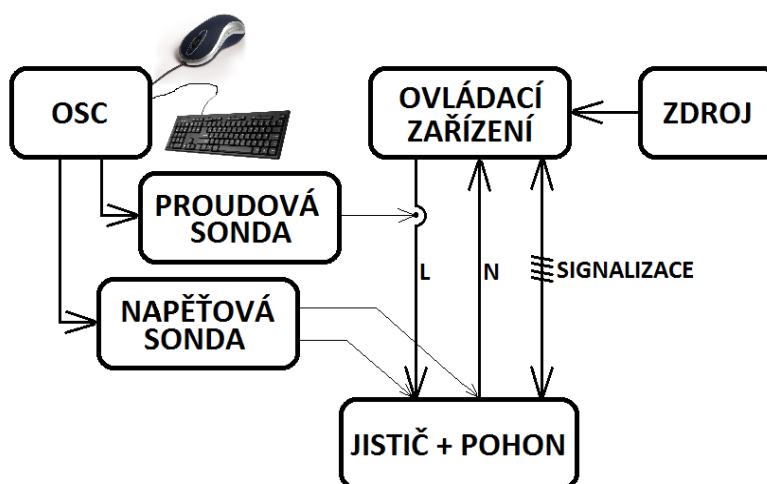
Pro napájení střídavým napětím je používám autotransformátor Křížík 250V/40A, který je snadno regulovatelný a pokryje všechna napětí.

3.3 Celá měřicí aparatura

Zde je popsána vlastní metodika 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.

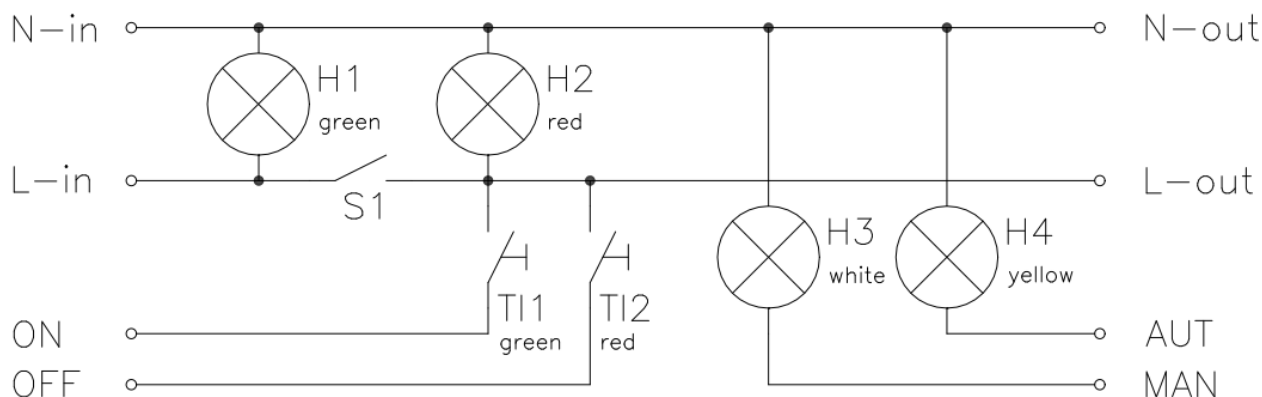
3.3.1 Blokové schéma pro měření spotřeb motorového pohonu

Obrázek č.23 se týká blokového schématu měřicí aparatury pro měření spotřeb motorového pohonu. Zde je třeba upozornit 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 23. - Blokové schéma měřicí aparatury pro měření spotřeb motorového pohonu

Ovládací zařízení umožňuje posílat ovládací povely do pohonu. Je napájen 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 T11 a T12 jsou určena k posílání impulsů ZAP / VYP do pohonu.



Obrázek 24. – Schéma zapojení dálkového ovládání pohonu

3.4 Výpočty

Poté, co sciloskop zobrazí měřené průběhy, je třeba vyexportovat data. Nejjednodušší způsob, jak to udělat, je opsat z tabulky naměřených hodnot přímo z obrazovky 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 jsou třeba.

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, která je rozebírána 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 mohou být uplatněny 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, tím že provedeme diskretizaci příslušných vzorců. A můžeme psát vztahy pro 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.

A energii:

$$E = P_{stř} * \Delta t \quad (17)$$

Kde Δt ...je délka běhu pohonu odečtená z osciloskopu

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

$$X_{stř} = \text{SUMA}(E1008:E9663)/(9663 - 1008) \quad (18)$$

A efektivní hodnota:

$$X_{ef} = \text{ODMOCNINA}(\text{SUMA}(\text{ČTVERCŮ}(C\$1008:C\$9663) / (9663 - 1008))) \quad (19)$$

Pro střídavé napájení můžeme vypočítat zdánlivý výkon:

$$S = U_{ef} * I_{ef} \quad (20)$$

3.4.1.1 Hledání maximální spotřeby motorového pohonu

Pro správné dimenzování napájení motorového pohonu je třeba znát jeho maximální spotřebu a také, jak dlouho tato spotřeba trvá. Výrobce stanovil hodnotu 500 VA jako hranici spotřeby motorového pohonu, která nesmí být překročena.

Dále není dovoleno překročit hodnotu 250 VA na dobu delší než 60 ms. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno v Excelu makro (Microsoft Visual Basic), které zabývá Fourierovým rozvojem. Práce s tímto makrem je ukázána v praktické části.

Makro nejprve nahraje průběh napětí a proudu do paměti, následně vypočítá jejich jednotlivé frekvenční složky a tyto složky sečte dle následujících vzorců (21) a (22):

$$U_{ef} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} \quad (21)$$

$$I_{ef} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} \quad (22)$$

Kde $k \dots$ je harmonická složka

Efektivní hodnotu napětí a proudu pak mezi sebou vynásobí dle vzorce (20).

Matematické vyjádření Fourierova rozvoje je následující:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)] \quad (23)$$

Kde $a_0, a_k, b_k \dots$ Fourierovy koeficienty

$f(t) \dots$ Napětí $u(t)$ a proud $i(t)$

Fourierovy koeficienty vypočítáme následovně:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \quad (24)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(k\omega t) dt \quad (25)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(k\omega t) dt \quad (26)$$

Protože použitý osciloskop měří po diskretních vzorcích, je třeba opět provést diskretizaci vztahů (24) až (26) tak, že diskretní vzorek n nahradíme za čas t , počet vzorků N nahradíme za periodu T a použijeme vztah (27) :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (27)$$

Nový tvar vztahů (24) až (26) vypadá takto:

$$a_0 = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N f(n) \quad (28)$$

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N f(n) \cos(k \frac{n}{N} 2\pi) \quad (29)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N f(n) \sin(k \frac{n}{N} 2\pi) \quad (30)$$

V makru je však použit vhodnější vzorec (oproti vzorci 23) pro určení spektra harmonických složek:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega t + \psi_k) \quad (31)$$

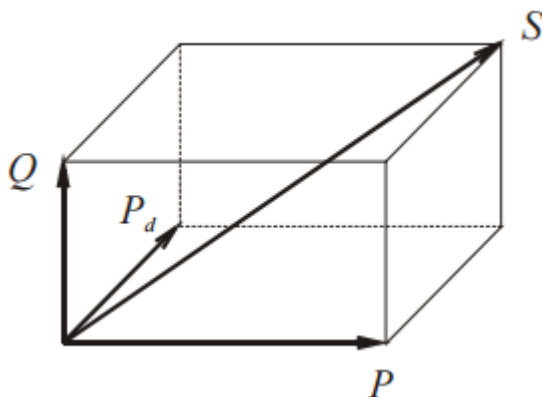
Kde koeficienty A_0 , A_k a ψ_k se vypočítají následovně:

$$A_0 = \frac{a_0}{2} \quad (32)$$

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (33)$$

$$\psi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \quad (34)$$

Pro další úvahu je třeba grafické znázornění výkonů (literatura [10]):



Obrázek 25. - Výkonový diagram[10]

Z obrázku vyplývá, že pro zdánlivý výkon platí vztah (31):

Pozn.: Vztahy (30) až (33) se nachází v literatuře [1].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (35)$$

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 výkon je určen ze vztahu:

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k * I_k * \cos \varphi_k \quad (36)$$

A podobně je také vypočítán jalový výkon:

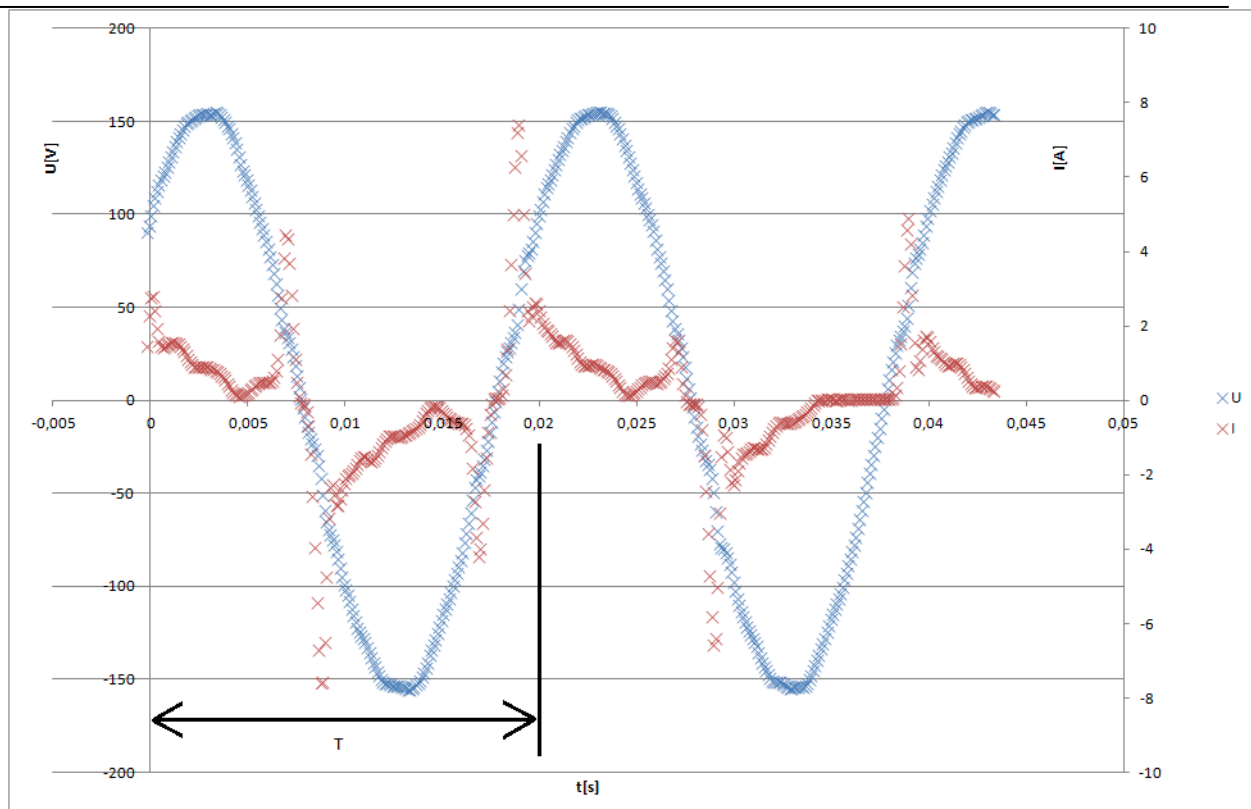
$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k * I_k * \sin \varphi_k \quad (37)$$

A ze vztahu (35) je tedy vypočítán deformační výkon:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad [VAd] \quad (38)$$

Užití časového okna

Výpočet v praxi probíhá tak, že uvedený výpočet je proveden vždy pro určitý časový úsek. Délka tohoto časového úseku – okna je délka jedné periody napětí, což je 20 ms.



Obrázek 26. - Délka časového okna

V rámci tohoto časového okna se tedy vždy provede výpočet Fourierových koeficientů (28) až (30), přes vztahy (32) až (34), pak výpočet efektivních hodnot napětí a proudu (21) a (22) a poté výpočet jednotlivých výkonů (35) až (38). Výsledné hodnoty se vždy uloží do paměti, časové okno se posune o jeden vzorek a celý výpočet probíhá znovu.

Uložená data v paměti vytvoří průběhy efektivních hodnot napětí a proudu a také průběhy jednotlivých výkonů, a z těch makro vykreslí grafy.

Výstupní hodnoty makra

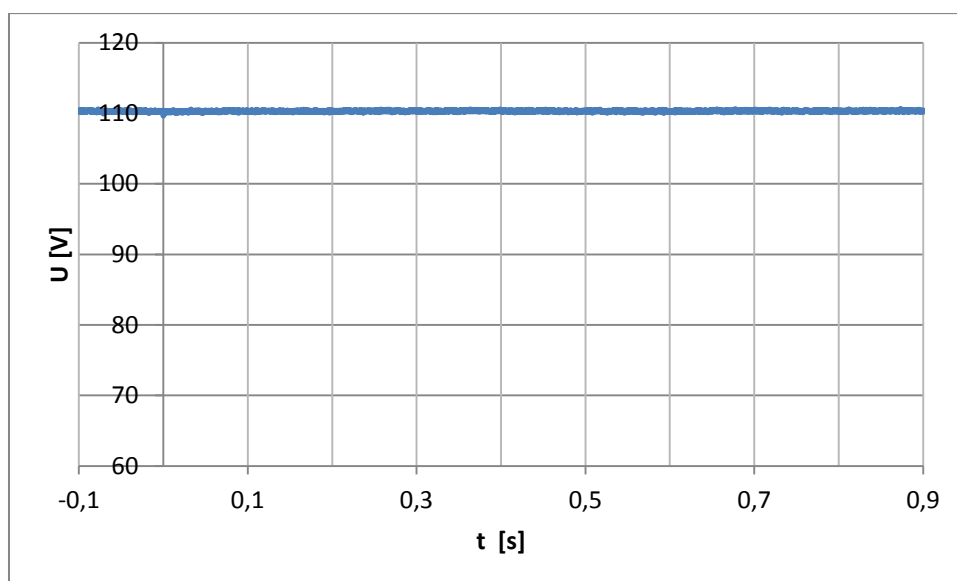
Z výsledných průběhů zdánlivého výkonu je vypočtena maximální hodnota. Dále makro vypočítá další dvě hodnoty a to, zda – li se zdánlivý výkon pohybuje nad 250 VA a nad 500 VA a dobu trvání, po kterou byl výkon nad těmito mezemi.

4 MĚŘENÍ NA MOTOROVÉM POHONU

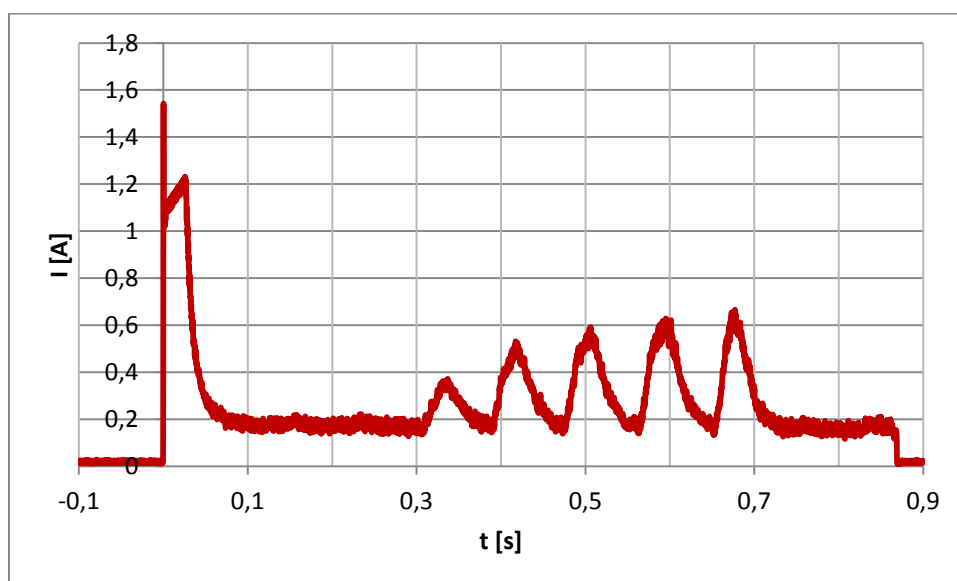
Vlastní měření bylo provedeno na čelním motorovém pohonu při napájení střídavým napětím 110 V AC a při stejnosměrném napájení 110 V DC. Zde se dostáváme i k vyhodnocení a porovnání mezi vypočtenými hodnotami přímo v osciloskopu a hodnotami, které nám vypočítal Excel.

4.1 Měření při stejnosměrném napájení

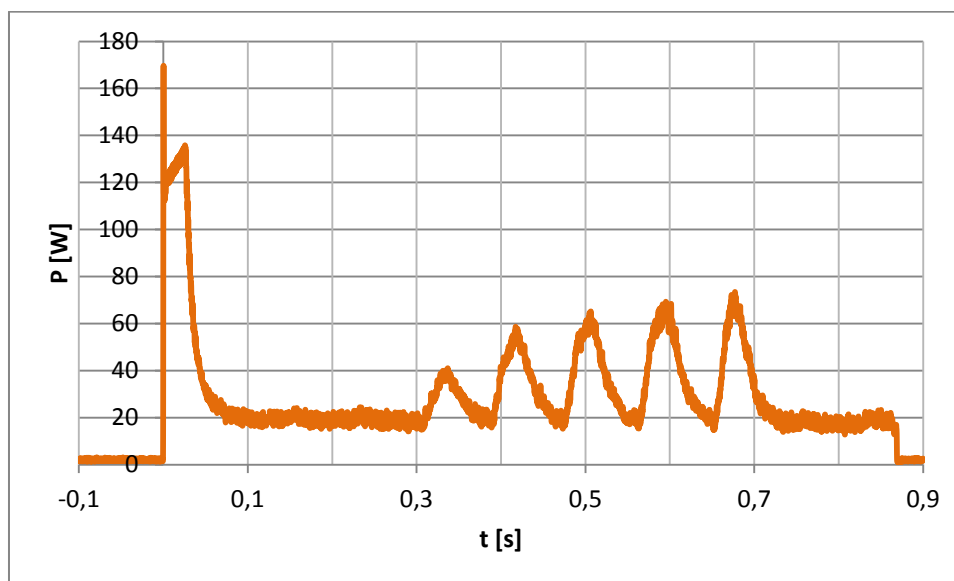
Nejprve uvedu výstup vyhodnocení měření při stejnosměrném napájení. Zde je výstup z osciloskopu:



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.5:

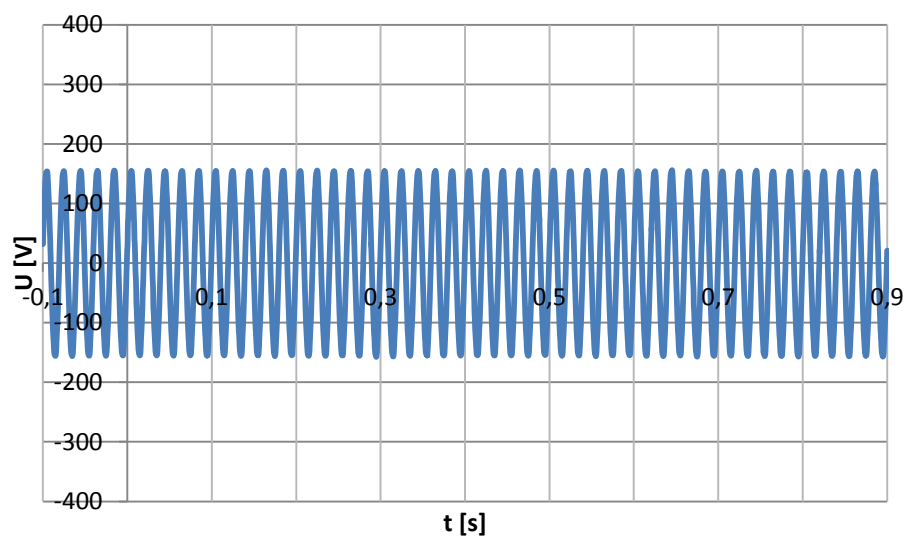
Tabulka 4. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro stejnosměrné napájení

	Osciloskop	Excel	Odchylka
$U_{stř}$ [V]	110,31	110,32	-0,01
$I_{stř}$ [mA]	283,0	283,2	-0,2
I_{max} [A]	1,542	1,542	0
$P_{stř}$ [W]	31,21	31,23	-0,02
P_{max} [W]	169,7	169,7	0
E [J]	27,188	27,187	0,001

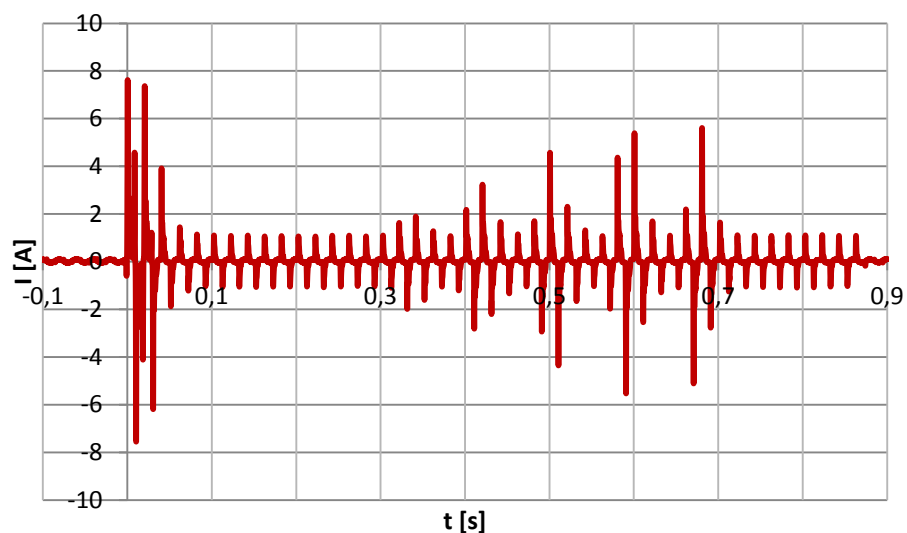
V tabulce 5 jsou v prvním sloupci hodnoty, které změřil osciloskop. V druhém se nacházejí hodnoty vypočtené Excelem. Podle vztahu (18) je zde vypočítána střední hodnoty napětí a proudu. Maximální hodnota proudu a výkonu byla vypočítána podle funkce MAX. Střední hodnota zde byla vypočítána podle vztahu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

4.2 Měření při střídavém napájení

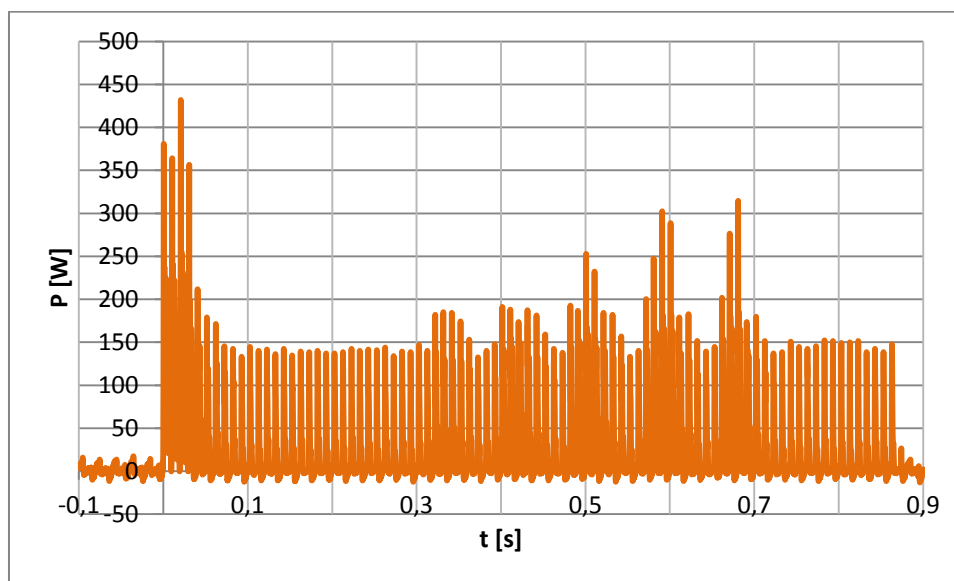
Dále nám zbývá oscilogram, který ukazuje průběhy při napájení střídavým napětím:



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 5. - Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro střídavé napájení

	Osciloskop	Excel	Odchylka
U_{ef} [V]	109,9	110,0	-0,1
I_{ef} [mA]	679	660	19
I_{max} [A]	7,62	7,62	0
I_{min} [A]	-7,55	-7,55	0
$P_{stř}$ [W]	31	31	0
S [VA]	74,622	72,534	2,088
P_{max} [W]	432	432	0
E [J]	26,862	26,723	0,139

Efektivní hodnoty byly v Excelu vypočítány podle vztahu 19). Je vidět, že oproti předchozí tabulce (5) zde 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 byl vypočítán dle vztahu (20).

4.3 Hledání maxima spotřeby motorového pohonu

V teoretické části (kapitola 3.4.1.1) byla vysvětlena funkce makra, které dokáže vypočítat a najít maximální spotřebu motorového pohonu. V této kapitole následuje ukázka práce s makrem. Po otevření MS Excel se ukáže list s názvem „Vstupní data“. V horní části je třeba načíst vstupní průběhy napětí a proudu změřené osciloskopem. Data se načtou do připravených sloupců a vykreslí se do grafů. Pod těmito grafy se nachází tabulka, kde je možné nastavit vstupní parametry. Zásadní je nastavení harmonických složek, které se mají vypočítat (od stejnosměrné složky po koncovou – standardně 21). Délka časového okna je již zmíněných 200 vzorků. Výpočet se spustí stisknutím na tlačítko „Spust’ výpočet“.

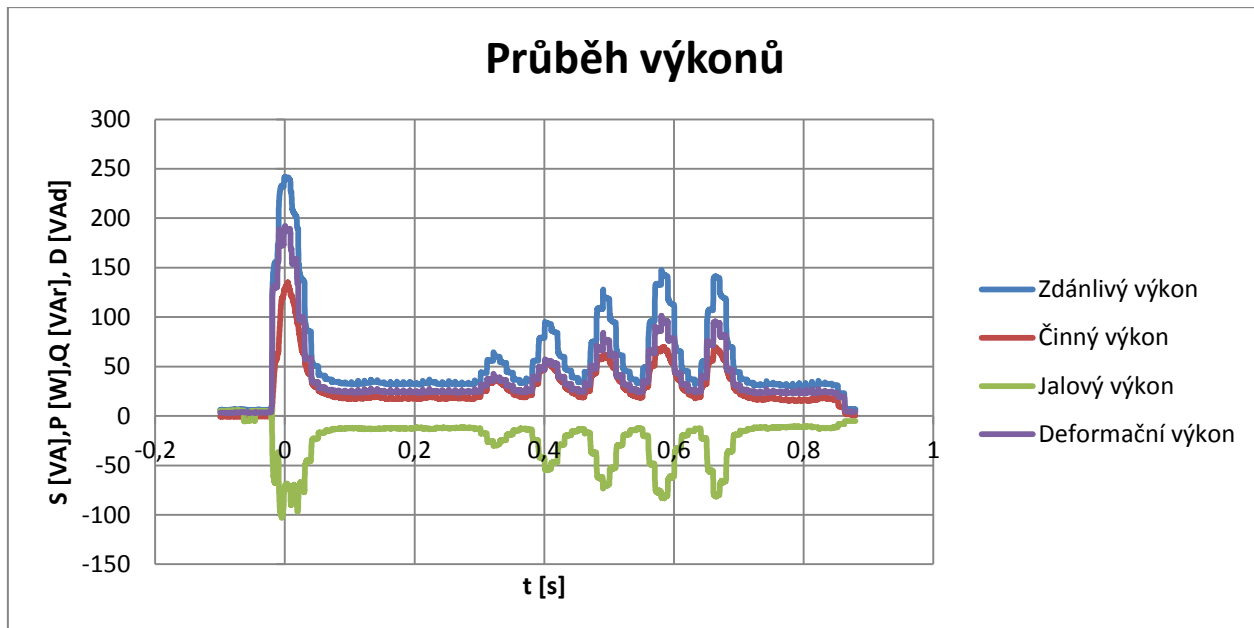
Po provedeném výpočtu, který pro 21 harmonických složek trvá přibližně 2 minuty (podle typu hardwaru), se v dalším listě zobrazí výstupní tabulka.

Vstupní data		
Počáteční harmonická:	0	
Konečná harmonická:	21	
Počet vyšetřovaných harmonických:	22	
Délka okna:	200	
Posun okna:	1	
Počáteční vzorek:	1	
Konečný vzorek:	10002	
Hledání maxima zdánlivého výkonu		
Maximum:	241,8201	VA
Čas maxima:	0,1752	ms
Činný výkon v čase 0,1752 ms:	128,0878	W
Jalový výkon v čase 0,1752 ms:	-72,5195	VAr
Deformační výkon v čase 0,1752 ms:	191,8629	VAd
Trvání zdánlivého výkonu většího než 500 VA je 0 ms		
Trvání zdánlivého výkonu většího než 250 VA je 0 ms		

Obrázek 27. - Výstupní tabulka makra

V horní části se vypíší vstupní parametry a v dolní části je v bloku „Hledání maxima zdánlivého výkonu“ zobrazeno maximum, dále čas, ve kterém se toto maximum nachází a jednotlivé složky výkonu. Pod tímto blokem jsou vypsány doby trvání zdánlivého výkonu většího než 250 VA a 500 VA.

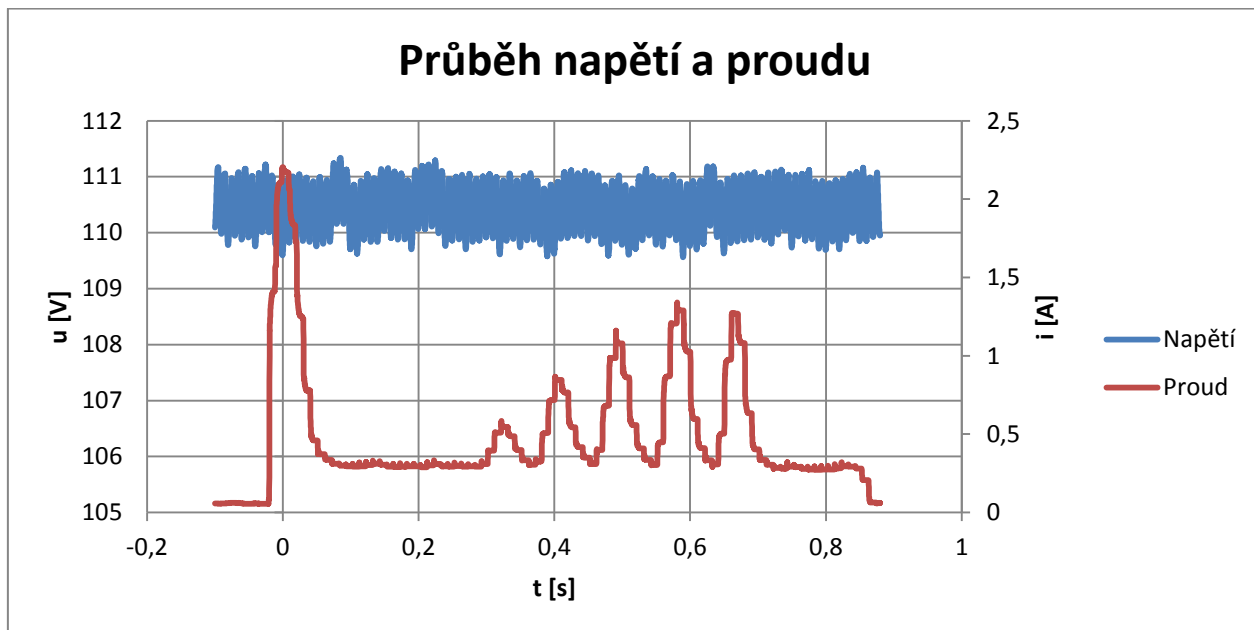
Nakonec makro vykreslí výstupní grafy. V prvním grafu je průběh jednotlivých složek výkonu:



Graf 7. - Graf jednotlivých složek výkonu

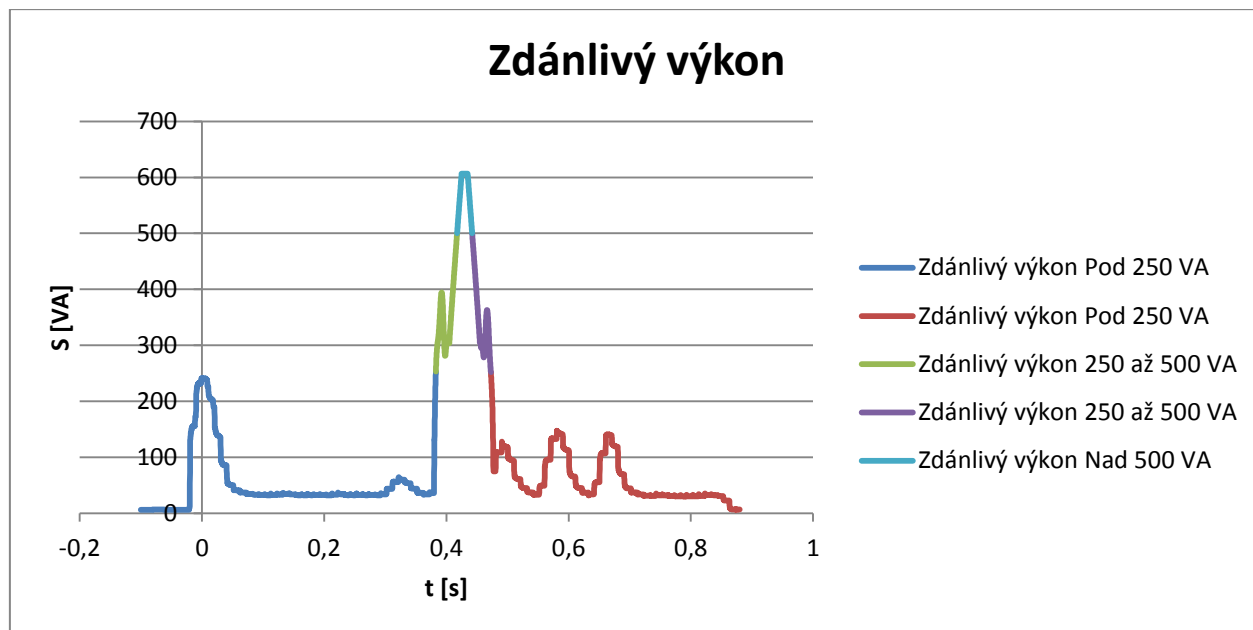
Jalový výkon je záporný což ukazuje, že elektronika motorového pohonu představuje kapacitní zátěž. Dále je vidět, že deformační výkon tvoří poměrně velkou složku zdánlivého výkonu. To znamená, že průběh proudu je hodně zkreslen.

Další vyobrazený graf ukazuje průběh efektivních hodnot napětí a proudu:



Graf 8. - Graf efektivních hodnot napětí a proudu

Třetí a poslední graf se vykreslí pouze v případě, že zdánlivý výkon přesáhne hodnotu 250 VA. Pozn.: Tento graf je pouze ilustrační, protože nesouvisí s provedeným měřením.



Graf 9. - Graf zdánlivého výkonu rozdělený barevně mezi jednotlivé meze

Výhoda grafu č.9 je v tom, že barevně rozdělí průběh zdánlivého výkonu mezi jednotlivé meze, tj. pod 250 VA, na mez mezi 250 VA a 500 VA a nad 500 VA.

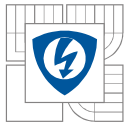
ZÁVĚR

V této práci se podařilo rozebrat 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 je tu popsáno praktické měření na motorovém pohonu.

Z vyhodnocených tabulek č.5 a č.6 je zřejmé, že hodnoty z osciloskopu a Excelu se nepatrně liší (v nejhorším případě o jednotky %). U výpočtů v Excelu totiž nebylo možné 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.

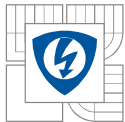
Výpočty v Excelu bylo tedy ověřeno, že osciloskop počítá námi potřebné údaje podle uvedené teorie.

Nejnáročnějším bodem práce bylo rozebrat teorii Fourierova frekvenčního rozvoje a vypočítat tak v makru potřebné údaje. Toho bylo úspěšně dosaženo a věřím, že toto makro najde svoje uplatnění.



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].
- [3] *KOMPAKTNÍ JISTIČE BC160N* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2193-z01-13_cz_sk.pdf
- [4] *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
- [5] *Motor operator MO320* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: https://www.lowvoltage.siemens.com/tecdoc/3VA/GHB/HTML_en-us/66887722891.html
- [6] *Blue panther* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: www.blue-panther.cz
- [7] *EATON Series G Motor Operators* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.klocknermoeller.com/EatonMCCB/sq-motorOperators.html>
- [8] *ABB Accessory* [online]. [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.galco.com/buy/ABB/K5M8>
- [9] Norma SN27095: 2006-09
- [10] 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



SEZNAM PŘÍLOH

Číslo přílohy	Název přílohy
01	Výstupní hodnoty osciloskopu při DC napájení
02	Výstupní hodnoty osciloskopu při AC napájení
03	Makro