8

VYTVOŘENÍ ROZVADĚČE PRO 4Q MĚNIČ SIMOREG 88 KW A JEHO APLIKACE

Martin Brůha, Karel Budín

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

1. Úvod

Měnič Simoreg 6RA70 umožňuje provoz ve všech čtyřech kvadrantech ω-M diagramu. Primárně je navržen pro napájení stejnosměrného motoru v laboratoři, který tvoří soustrojí spolu se synchronním generátorem.

Soustrojí se používá při výuce několika předmětů Katedry elektromechaniky a výkonové elektroniky. Až donedávna bylo pro napájení využíváno nedostačující dynamo, které neumožňovalo plné výkonové využití stroje. Celé soustrojí prošlo generální opravou včetně měření chvění. Připojením k měniči se opět obnovila jeho funkčnost. Rozvaděč je umístěn mezi ovládacími pulty a jeho kompaktní provedení nevylučuje ani spolupráci s jinými zařízeními včetně aplikací v průmyslu.

Záměrem této práce je umožnit řízení soustrojí s ohledem na moderní trendy řízení elektrických pohonů. Cílem bylo vytvořit kompaktní rozvaděč plně srovnatelný s průmyslovými rozvaděči používanými v praxi. Jako laboratorní zařízení s velikým počtem výstupů měřených veličin elektrických i neelektrických a sledování průběhů na monitoru počítače. Jde o vhodnou pomůcku pro studenty k propojování poznatků z elektrických strojů, pohonů a výkonové elektroniky.

Obr. 1.1 Simoreg 6RA70 [3]

2. Popis použitého měniče

Srdcem celého zarízení je usměrňovač Simoreg řady 6RA70 od firmy Siemens (dále jen měnič). Jedná se o řadu mikroprocesorem řízených měničů pro stejnosměrné pohony s proměnlivou rychlostí. Obsahuje dvě polovodičové výkonové jednotky. První jednotka slouží k napájení obvodu kotvy. Tato jednotka sestává ze dvou plně řízených trojfázových můstků zapojených navzájem antiparalelně. To umožňuje měniči pracovat ve všech čtyřech kvadrantech pracovního diagramu. Rekuperační skupinu tvoří celkem 12 tyristorů. Řídicí úhel α lze měnit v rozsahu 0 – 165 stupňů elektrických. Pro omezení přepětí jsou k tyristorům připojeny RC členy, tzv. snubbery.

Modul je provozován bez okruhových proudů, a obsahuje proto logiku, která zajišťuje, že v každém okamžiku pracuje pouze jeden můstkový usměrňovač a druhý je současně blokován. Při reverzaci vzniká krátký časový úsek, ve kterém nepracuje ani jeden z můstků. Pro usměrnění budicího proudu je měnič vybaven dalším můstkovým usměrňovačem, tentokrát polořízeným. Tvoří jej dvojice tyristorů a výkonových diod. Hodnota jmenovitého usměrněného kotevního proudu 210 A je přesně ta hranice, od které již měniče Simoreg nemají pouze pasivní chlazení, ale jsou vybaveny dvěma ventilátory. Tyto jsou napájeny interně stejnosměrným proudem a nacházejí se ve spodní části měniče pod hliníkovým chladičem. Konstrukce celého měniče je provedena jako rozvaděčová a silové svorky pro střídavou i stejnosměrnou stranu se nacházejí v její spodní části. Na Obr.2. jsou vidět 2 ventilátory měniče spolu se silovými svorkami. Pořadí svorek zleva je 1U1, 1D1, 1V1, 1C1, 1W1. Je dobře patrné, že svorky na stejnosměrné straně 1C1 a 1D1 mají větší průřez kvůli většímu jmenovitému proudu.

Obr. 2. DC ventilátory a silové svorky měniče

Hradlová jednotka (gating unit) má za úkol generovat pulsy na hradla tyristorů synchronně se síťovým napětím. Načasování pulsů závisí na výstupní hodnotě regulátoru proudu. Hradlová jednotka se sama nastaví dle frekvence napájecího napětí, pokud je dodržen rozsah 45 – 65 Hz.

Důležitou součástí měniče je také parametrizační jednotka (PMU – Parametrization Unit), jejímž prostřednictvím lze nastavit parametry pohonu, který bude napájen. Nastavení se provádí pomocí tří parametrizačních klíčů. Počet nastavitelných parametrů jsou řádově stovky. Díky tomu lze nastavit množství různých funkcí, např. omezení proudu v závislosti na otáčkách, tj. hodnotu otáček stejnosměrného motoru, při jejímž překročení měnič začne auto-

maticky snižovat velikost proudu kotvy a chrání tak komutátor a kartáče motoru před poškozením. Nastavit lze také zrychlení pohonu, resp. čas, během kterého má motor dosáhnout 100 % jmenovitých otáček při konstantním zrychlení. Obdobné parametry se zadávají pro brzdění. Kromě acelerace a decelerace lze také nastavit minimální a maximální otáčky motoru a proudový limit. Tyto funkce zajišťuje generátor rampy, který dále nabízí různé režimy pro nízké otáčky motoru (pomalý pojezd – tzv. plížení). Pro adaptaci měniče na daný typ zátěže a pro dosažení maximální účinnosti slouží předdefinované zatěžovací cykly, kdy např. měnič pracuje 15 minut při určitém zatížení a po uplynutí této doby pracuje krátkou dobu (obvykle 60 s) se zatížením o 50 % vyšším.

Při těchto cyklech je tak měnič po krátkou dobu přetěžován. Tento fakt měniči nevadí, neboť jeho přetížitelnost je až 180 %. Jedinou podmínkou je, že v cyklu před přetížením byl zatížen menším proudem než jmenovitým. V opačném případě by zareagovala ochrana kontrolující teplotu výkonových polovodičů a přetížení by nepovolila.

Pomocí parametrizační jednotky lze dále nastavit celou řadu ochran, např. proti přetížení, proti mžikovému nadproudu, derivační ochrana dv/dt , SCR ochrana polovodičových pojistek, ochrana izolace elektroniky atd. Velmi důležitá je také ochrana proti ztrátě proudu v budicím obvodu, aby se tak zabránilo úplnému odbuzení motoru a následnému extrémnímu nárůstu otáček.

Pětisegmentový displej zobrazuje měřené hodnoty nebo různá poruchová či výstražná hlášení, slouží tedy i k diagnostice zařízení. Tři LED diody na parametrizační jednotce pak slouží jako ukazatele stavu měniče.

LCD displej mimo jiné ukazuje:

- Údaje o okamžité a požadované rychlosti motoru
- Údaje o proudu a napětí kotvy
- Efektivní hodnotu sdruženého napětí mezi fázemi
- Řízení momentu
- Nastavení všech parametrů
- Operační čas

Displej dále zobrazuje různá diagnostická hlášení. Jejich celkový počet je více než sto dvacet, jako nejdůležitější lze uvést následující:

- Indikace oteplení
- Indikace síťového napětí mimo stanovenou toleranci
- Zastavení motoru
- Detekce selhání ochrany polovodičových pojistek
- Proudové přetížení

Prostřednictvím displeje sleduje uživatel i alarmová a chybová hlášení, která se zobrazují ve formátu A (alarmová) nebo F (chybová) spolu s trojmístným číselným kódem, např. A 034. Za zmínku stojí:

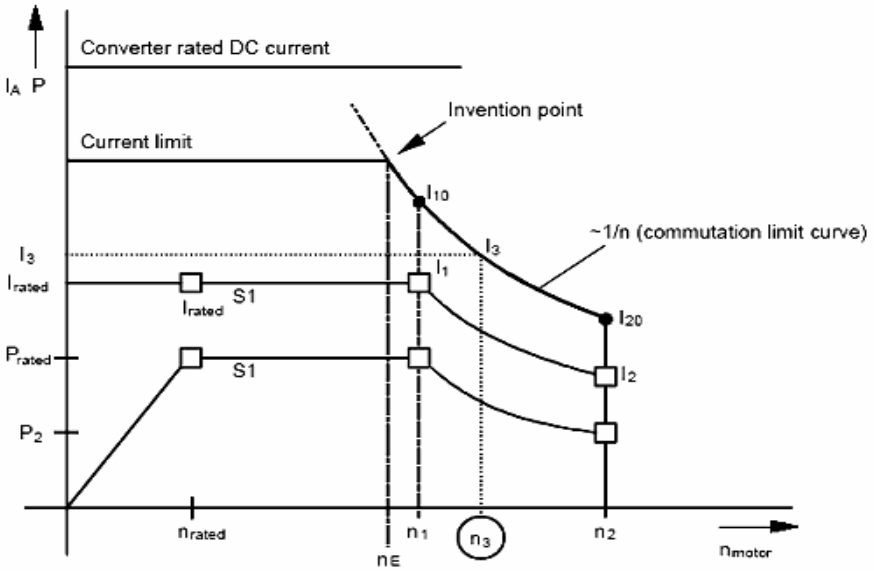
- Alarm: binární výstupy spojeny nakrátko
- Alarm: příliš krátké kartáče (pokud je měnič vybaven senzorem sledujícím délku kartáčů)
- Alarm: překročení maximální dovolené teploty motoru
- Alarm: selhání komutace nebo nadproud

- Alarm: blokovaný pohon
- Alarm: překročení maximálních otáček
- Alarm: příliš vysoká teplota polovodičových prvků
- Fault: selhání napájení elektroniky
- Fault: pokles napájecího napětí kotvy pod stanovenou mez
- Fault: podpětí / přepětí

V paměti se uchovávají poslední čtyři chybová hlášení.

2.1 Omezení proudu v závislosti na otáčkách

Tato funkce je velmi zajímavá, proto se o ní zmíníme trochu podrobněji. Otáčky stejnosměrného motoru lze odbuzováním zvyšovat nad jmenovitou hodnotu, teoreticky mohou růst do nekonečna, prakticky jsou omezeny konstrukční pevností stroje. Při vysokých otáčkách jsou však lamely komutátoru a kartáče silně namáhány a drasticky se zkracuje jejich životnost. Zmíněná funkce proto chrání komutátor a kartáče při vysokých otáčkách. Parametrizací si můžeme nastavit hodnotu otáček, do níž bude proud kotvy konstantní. Po překročení této hodnoty se velikost proudu začne snižovat nepřímo úměrně otáčkám, má tedy hyperbolický charakter. Nastavení parametrů spojených s touto funkcí se liší podle toho, jaký způsob měření otáček zvolíme. Měnič nabízí dvě varianty: analogové tachodynamo nebo digitální čítač pulsů.



Obr. 2.1 Princip činnosti omezení proudu v závislosti na otáčkách [3]

2.2 Ochrana proti tepelnému přetížení (I^2t monitoring)

Pro správnou činnost této ochrany je třeba nastavit tepelnou časovou konstantu motoru a definovat přípustný trvalý proud motorem. Pokud je motor trvale zatěžován, např. 125% přípustného trvalého proudu, je po uplynutí tepelné časové konstanty spuštěno alarmové hlášení. Není-li následně zátěž snížena, dojde k vypnutí pohonu po dosažení vypínací charakteristiky a zobrazí se chybové hlášení. Tepelná časová konstanta závisí na maximální přetížitelnosti.

U dynamického tepelného přetížení výkonové části lze parametrizováním nastavit, zda se po dosažení maximální přípustné teploty tyristorů zobrazí alarmové hlášení a proud se automaticky sníží na nejvyšší přípustnou hodnotu, anebo dojde k automatickému vypnutí měniče.

Na přání zákazníka lze k měniči dodat další příslušenství. Jedná se např. o RI supresorové filtry chránící obvod kotvy před přepětím. Tyto filtry musí být vždy umístěny před komutační tlumivkou. Pro snazší parametrizaci měniče lze také dokoupit dotykový displej.

2.3 Použití měničů Simoreg 6RA

Měniče Simoreg slouží především k napájení obvodů kotvy a budicích obvodů stejnosměrných motorů s proměnlivou rychlostí.

Další zvláštní použití je pro:

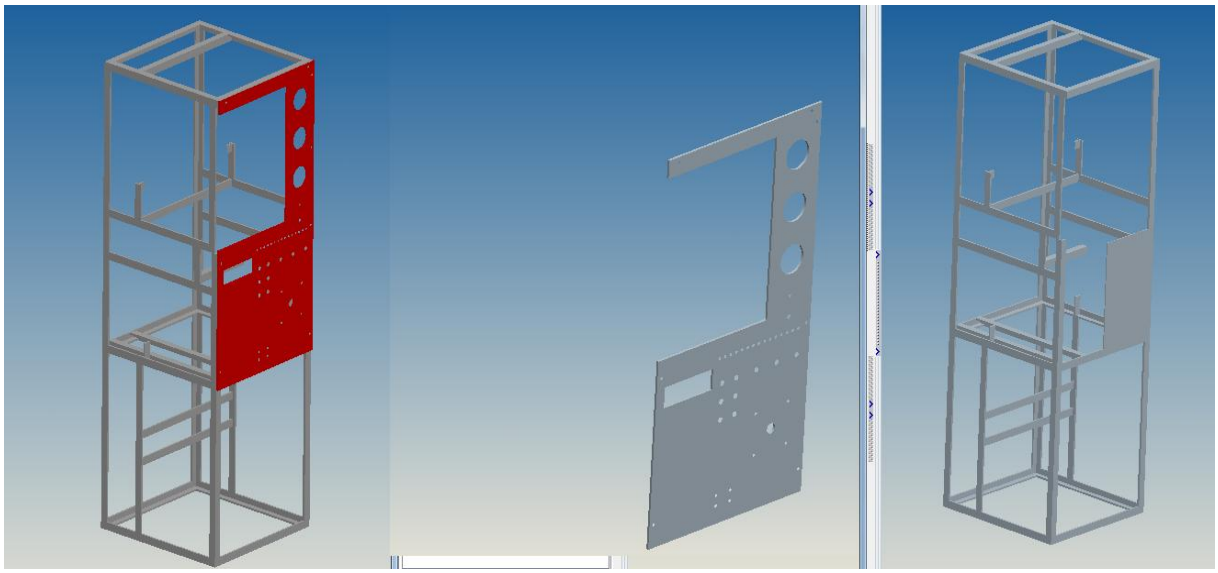
- Napájení budičů velkých generátorů
- Napájení zdvihacích magnetů
- Nabíjení bateriových souprav
- Napájení stejnosměrných meziobvodů výkonových pulsních měničů

3. Konstrukce rozvaděče

3.1 Další komponenty rozvaděčového modulu

Na začátku práce byl dodán vlastní měnič od firmy Siemens včetně tlumivky na střídavou silovou část a tlumivky pro obvod buzení. Součástí dodávky byl i softwarový programovací balíček pro usnadnění parametrizace měniče. Následně bylo třeba vytipovat další potřebné komponenty, které bude výsledný modul obsahovat. Komponenty musely být správně nadimenzovány, aby mohly plnit svoji funkci. U pojistek to znamenalo kromě jmenovité hodnoty proudu volit takové, které jsou dostatečně rychlé a lze jimi jistit polovodičové prvky. Měřicí přístroje se od výrobce nechali ocejchovat stupnicí s rozsahem vhodným přímo pro naše účely. Při výběru komponent jsme využili např. i různé elektrotechnické veletrhy. Výsledný modul nyní tvoří kromě samotného měniče s tlumivkami dále hlavní vypínač, stykač, svorkovnice s DIN lištou, polovodičové pojistky, jističe, ovládací prvky (spínače, přepínače) a analogové měřicí přístroje. Jeden měřicí přístroj ukazuje hodnotu stejnosměrného proudu na výstupu měniče (jeho stupnice je cejchovaná do 210 A) a další dva měřicí přístroje jsou programovatelné. V průběhu stavby jsme se rozhodli zařadit do modulu ještě transformátory proudu.

Nosná konstrukce sestává ze svařeného rámu, oplechování a konstrukčních desek ze sklotextidu a polystyrenu. S ohledem na bezpečnost a elektromagnetickou kompatibilitu jsme dbali na to, aby samotný svařenec i jednotlivé komponenty v něm byly dostatečně uzemněny.



Obr. 3.1.1. 3D model rozvaděčové konstrukce

Měnič je napájen z trojfázové střídavé sítě 3×400 V. Do střídavých silových obvodů bylo třeba dokoupit stykač, rychlé polovodičové pojistky pro ochranu elektroniky, jističe a hlavní vypínač. Silové obvody na stejnosměrné straně bylo třeba doplnit rovněž polovodičovou pojistkou kvůli provozu ve všech čtyřech kvadrantech. Na střídavé straně jsou dle doporučení výrobce pojistky na 200 A, na stejnosměrné straně pak 250 A. Výrobce dále požaduje obvod buzení jistit pojistkami i jističi pro dostatečnou ochranu polovodičové elektroniky. Tyto požadavky jsme respektovali a do obvodu buzení jsme umístili válové polovodičové pojistky a jednopólový jistič s vypínačem.

Řada 6RA70 obsahuje měniče se jmenovitým výstupním stejnosměrným proudem od 30 A do 3 000 A. Měnič s výstupním proudem 125 A by byl pro naši aplikaci a s ohledem na další možné využití v budoucnu nedostatečný. Zakoupený model poskytuje jmenovitý výstupní proud až 210 A, což je pro naši potřebu zase naopak trochu předimenzované. Vzhledem k tomu, že rozvody do jednotlivých ovládacích pultů v laboratořích jsou na 146 A, dimenzovali jsme i rozvaděč na maximální proud 150 A. Rozvaděč s měničem je možno provozovat i mimo laboratoře katedry, ale je nutno s tímto omezením počítat a do obvodu předřadit jištění na zmíněných 150 A.

Tlumivky

-usměrňovač musí být dle normy připojen k síti přes transformátor nebo přes tlumivku/ reaktor, aby se omezil vliv vyšších harmonických napětí, které by jinak usměrňovač odebíral ze sítě a zhoršoval tak parametry elektrické energie v síti.

Tlumivka pro silový obvod na střídavé straně

Výrobce Siemens, typ 4EU2522-3BA00-0AA0

L_X = 0,134 mH, R = 3×0,95 mΩ ± 10%, I_{th} = 160 A, I_{Lmax} = 200 A, $I_{th\ max}$ = 160 A, I = 144 A, Un = 600 V, 50 Hz, U_{max} = 1000 V

Tlumivka pro napájení buzení

Výrobce Siemens, typ 4EM4912-1CB00

L_X = 3,46 mH, R = 43,5 mΩ ± 10%, I_{th} = 14 A, I_{Ln} = 12,6 A, U_n = 400 V, 50 Hz, U_{max} = 690 V

3.2 Návrh rozvaděčové konstrukce

Při návrhu rozvaděčové konstrukce jsme vycházeli z několika požadavků, které bylo třeba splnit. Celkové rozměry konstrukce bylo třeba přizpůsobit prostoru mezi ovládacími pulty, kde pak bude modul převážně umístěn. Šířka konstrukce byla tedy dána velikostí mezery mezi pulty. Výška byla také určitým způsobem omezena. Vyplývalo to z požadavku kompaktnosti modulu, jeho stability a snadné přemístitelnosti a také proto, aby ovládací prvky, displej měniče, prvky signalizace a měřicí přístroje byly v optimální výšce pro obsluhu. Zároveň bylo třeba rozmístit komponenty v modulu tak, aby se minimalizoval vliv jejich vzájemného rušení. Snažili jsme se také dodržet doporučení výrobce, aby silové obvody a obvody ovládání a řízení byly vedeny pokud možno odděleně a zbytečně nedocházelo k jejich křížení. Také aby se zbytečně nekřížily ani silové obvody střídavé a stejnosměrné strany. Při návrhu jsme počítali i s tím, že některé komponenty, např. pojistky, by měly zůstat dobře přístupné pro případnou výměnu. Dalším faktorem při návrhu bylo také optimální chlazení měniče, tj. dostatečný odvod ztrátového tepla. Komponenty jsou v modulu umístěny s ohledem na to, v jakém pořadí se budou vzájemně propojovat vodiči z napájecí střídavé strany. Přehlednost celého rozvaděče přispívá pak k bezpečnosti práce. V neposlední řadě bylo třeba navrhnout konstrukci tak, aby byla správně nadimenzována z hlediska tíhových sil jednotlivých komponent, jejichž hmotnost není zanedbatelná. Pro větší stabilitu modulu jsme vyvrtali otvory pro boční uchycení k oběma ovládacím pultům. Ponechali jsme zde také určitý prostor pro eventuální dokoupení dalších měřicích přístrojů v budoucnu.

Naším záměrem bylo to, aby modul představoval samostatnou jednotku schopnou provozu bez dalších vnějších přístrojů či řídicích prvků.

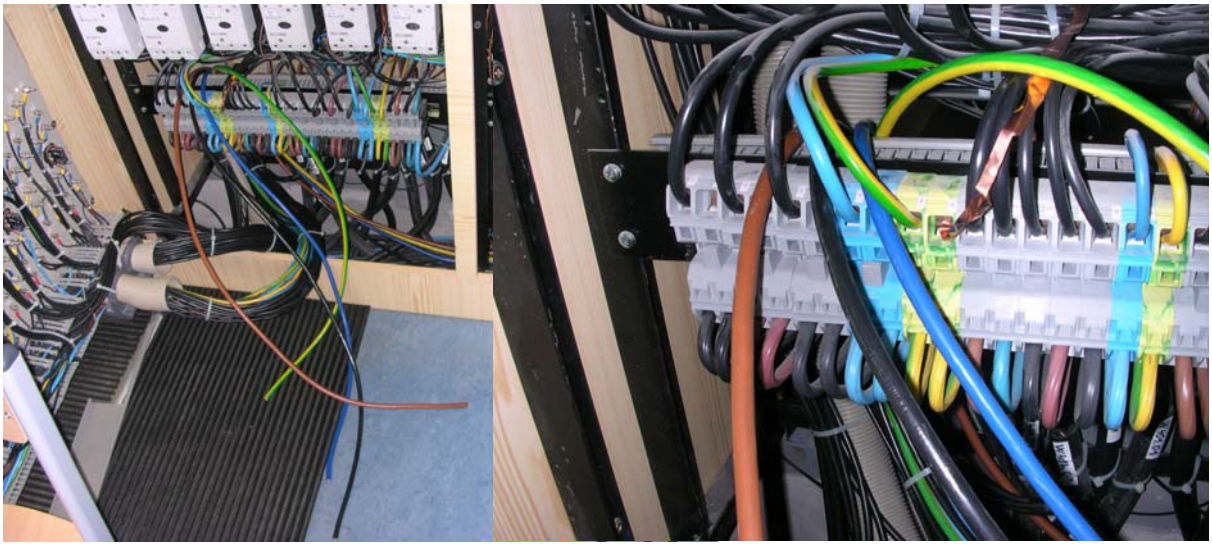
Obr. 3.3.1.Čelní panel rozvaděče

3.3 Stavba rozvaděčové konstrukce

Při zhotovování konstrukce jsme si nejprve stanovili její hlavní rozměry, které vycházely z rozměrů volného prostoru mezi oběma ovládacími pulty, kde bude hotový modul stát. Nosná kostra konstrukce sestává z L a pásovinových profilů z oceli. Poté bylo třeba určit, kde budou umístěny jednotlivé komponenty, tj. vlastní měnič Simoreg, hlavní vypínač, stykač, tlumivky, pojistky, jističe, měřicí transformátory proudu, svorkovnice a všechny ovládací prvky. Při rozmístění komponentů jsme brali ohled na to, aby celá konstrukce zůstala přes

velký počet součástek co nejvíce kompaktní a aby tak zůstala zachována idea přenosnosti modulu a jeho možné využití v dalších aplikacích. Komponenty o vyšší hmotnosti, zejména pak vlastní měnič, hlavní trojfázová tlumivka v silovém obvodu, stykač, hlavní vypínač a měřicí transformátory proudu jsou přichyceny přímo na nosný rám konstrukce. Méně hmotné komponenty jsme připevnili k příčkám ze sklotextidu, které se nachází uvnitř rozvaděčové konstrukce. Výsledný modul je oplechován v zadní části a na bocích. Vrchní část rozvaděče je taktéž zakryta plechem, ale vystříhaly se do něho otvory v prostoru nad hliníkovým chladičem, aby tak mohlo být při provozu vzniklé teplo dobře odváděno do okolí. Přední stranu zakrývá polystyrenová deska v nátěru odpovídajícím okolním pultům. V této desce jsou umístěny ovládací a měřící přístroje. Obr. 3.3.1.

Po svaření ocelového rámu jej bylo třeba důkladně obrousit, začistit a natřít základovou a vrchní modrou barvou. Nastříhali a natřeli jsme také všechny 2mm silné plechy, které budou rozvaděč ve finální podobě zakrývat. Poté přišlo na řadu vrtání všech technologických otvorů a řezání závitů. Připravili jsme si konstrukční desky ze sklotextidu, vyvrtali jsme do nich potřebné otvory, osadili jsme je součástkami a umístili do rozvaděče. Následně jsme opracovávali polystyrenovou desku, která tvoří čelní panel rozvaděče. Před osazením tlumivky a měniče bylo třeba obrousit místa kovových spojů na konstrukci od barvy, aby bylo zajištěno optimální zemění. U šroubových spojů jsme ve většině případů použili vějířové podložky, které zamezují samovolnému povolování.Podle dokumentace k ovládacímu pultu jsme k němu připojili rozvaděč. S výhodou jsme využili rezervních svorek, se kterými se počítalo při jeho výstavbě.



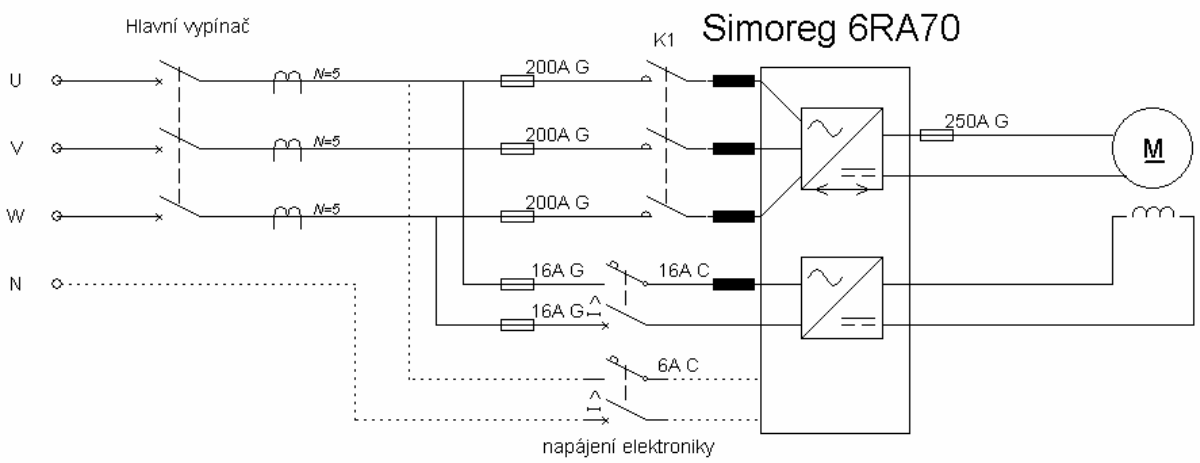
Obr. 3.3.2. Připojení do měřícího pultu

4. Silové obvody rozvaděče

Ze svorkovnice uvnitř ovládacího pultu jsme přivedli vodiče nejprve do svorkovnice uvnitř samotného rozvaděčového modulu. Z naší svorkovnice jsme dále pokračovali na hlavní vypínač, následně na měřicí transformátory proudu, které jsou umístěné ve spodní části rozvaděče. Z transformátorů proudu vede střídavý silový obvod zpět do svorkovnice. V této části se dají od sebe, vyndáním klemů, oddělit hlavní a pomocné obvody pro případ rozdělení rozvaděče na dvě napěťové hladiny (rekuperace do oddělené sítě). Dále jsou řazeny polovodičové pojistky a stykač. Jako poslední komponent před samotným měničem je umístěna trojfázová tlumivka. Toto pořadí propojování komponentů v rozvaděči bylo zvoleno z důvodu snadného odpojení rozvaděče od pultu a použití v jiné aplikaci. Transformátory proudu jsou umístěny až za vypínačem, a nezůstávají proto trvale pod napětím. Před sepnutím hlavního vypínače rozvaděčového modulu je pod napětím pouze prvních 5 svorek na hlavní svorkovnici přístupné ze zadní části modulu. Na všechny tři fáze U, V, W, střední vodič N a ochranný vodič PE na střídavé straně byl použit vodič CYA 25 (H07V-K).

4.1 Střídavé silové obvody

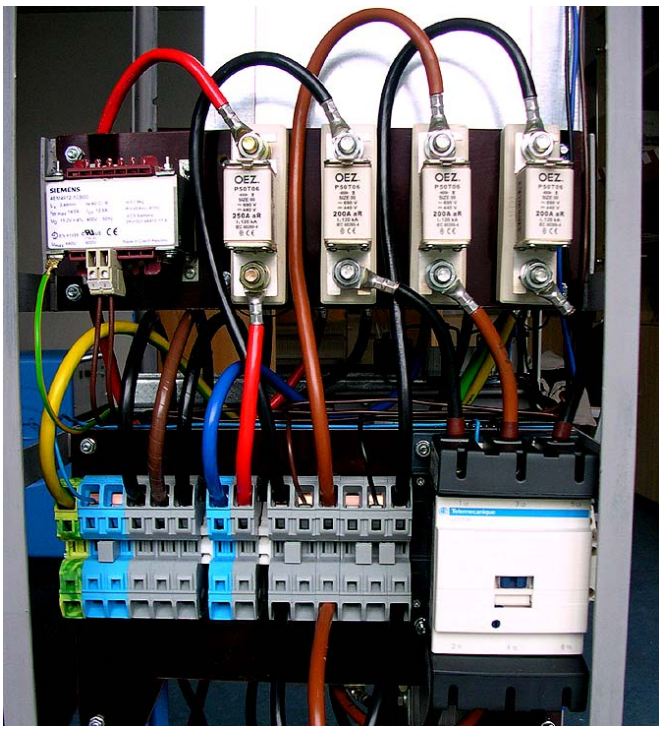
Střídavé silové obvody jsou realizovány vodičem CYA 25 (H07V-K). Dle požadavků výrobce měniče je v každé fázi řazena polovodičová pojistka. Dále je zde z důvodů bezpečného zastavení motoru stykač (uzavřené tyristory nepředstavují dostatečné odpojení napájecího napětí). Pro zlepšení elektromagnetické kompatibility je zde tlumivka.



Obr. 4.1.1. Schéma zapojení

4.2 Stejnosměrné silové obvody

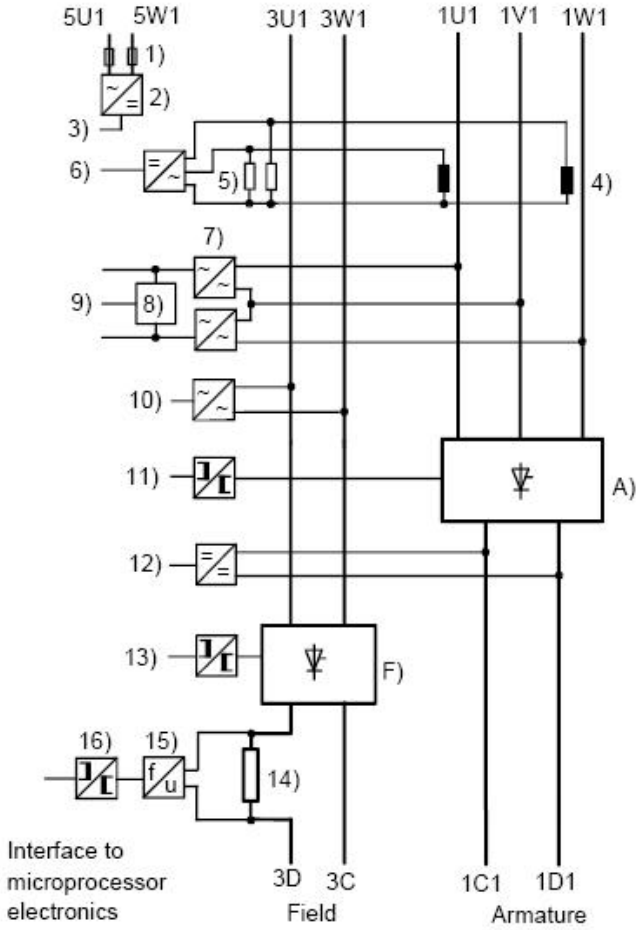
Stejnosměrné silové obvody jsou opět realizovány vodičem CYA 25 (H07V-K), který je určen pro použití v suchém prostředí pro pevné uložení v potrubí nebo pod omítkou, pro



Obr. 4.2.1. Zapojení silových obvodů v rozvaděči

přístrojové vedení a rozvodné stanice. Jedná se o jednožilový měděný vodič s lanovaným jádrem a izolací z PVC. Jmenovité napětí vodiče je 450/750 V, zkušební napětí 2,5 kV a dovolená provozní teplota -15 ÷ +70 °C. Proudová zatížitelnost pro průřez 25 mm^2 je 150 A. Rudý vodič je přívod +, tmavě modrý -. Silové obvody vycházejí ze svorek měniče 1C1 a 1D1 umístěných v jeho spodní části, pokračují na polovodičovou pojistku 250 A, která je u čtyřkvadrantového měniče vyžadována z důvodu rekuperačního provozu. Následně se silové vodiče vracejí do hlavní svorkovnice měniče a z ní pak na příslušné svorky v ovládacím pultu.

Pro obvody buzení jsou použity vodiče CYA 2,5 mm^2. Střídavá strana těchto obvodů je jištěna polovodičovými pojistkami válcového provedení o jmenovitém proudu 16 A. Pro větší ochranu obvodů jsou zde navíc zařazeny jističe. Jde o typ PEP-10J 16/C 1P+N na 16 A, což je jmenovitá hodnota budicího proudu na výstupu z měniče. Budicí obvod je při použití polořízeného usměrňovače provozován pouze s jedním smyslem proudu a stejnosměrnou stranu těchto obvodů proto již není nutné jistit. Pro možnost měření budícího proudu jsme umístili svorky na přední stranu rozvaděče.



Obr. 4.2.2. výkonové obvody měniče [3] 1)středně rychlé pojistky napájení 2)přepínaní variant napájení 3)napájení elektroniky 4)měření proudu kotvy A 5)zatěžovací impedance měřících obvodů 6)elektronické usměrnění měření 7)měření napětí diferenčním zesilovačem v obvodu kotvy 8)simulace třetí fáze 9)k analogově-digitálnímu převodníku, měření napětí A 3-f synchronizaci 10)měření napětí diferenčním zesilovačem pro synchronizaci v obvodu buzení 11)elektrické oddělení pulsů na hradla tyristorů v obvodu kotvy pulzním transformátorem 12)vysokoodporový diferenční zesilovač pro měření napětí kotvy při provozu bez tachodynama 13)elektrické oddělení pulsů na hradla tyristorů v obvodu buzení pulzním transformátorem 14)shuntovací odpory pro měření proudu buzení 15)převodník napětí/frekvence 16)oddělovací transformátor pro měření frekvence (úroveň proudu na můstku F se v řídící elektronice reprezentuje jako frekvence)

5. Parametrizace měniče

V úvodu již bylo zmíněno, že měnič je vybaven dvěma řídicími mikroprocesory a umožňuje nastavit řádově několik set různých parametrů [3]. S měničem jsme obdrželi také CD-ROM s programem Drive Monitor, který umožňuje komunikaci mezi počítačem a měničem. Software však nekomunikoval zcela ideálně a tak jsme na radu technika od firmy Siemens pro nastavování parametrů většinou využívali parametrizační jednotku (PMU) umístěnou na čele měniče. Přesto je vhodné mít současně při parametrizaci počítač připojen a sledovat nastavení parametrů na obrazovce, která umožní sledovat více parametrů současně.

Základní ovládání PMU není složité. Mezi parametry se listuje šipkami nahoru a dolu a stejnými šipkami se zadávají i hodnoty parametrů. Měnič buďto nabízí logické hodnoty, mezi kterými si obsluha vybírá, anebo se nastavuje hodnota veličiny v daném rozsahu a s daným krokem (např. jmenovité napětí kotvy motoru – parametr P100 – může být 10 až 1000V s krokem 1V). Potrvzení nastavené hodnoty a její uložení se provede stiskem parametrizačního klíče P.

Na počátku je třeba nastavit přístupová práva parametrem P051. Přidělením hodnoty 40 se uvolní přístupové právo k hodnotám parametrů a lze je nastavovat či měnit. Pokud je parametru přidělena hodnota 0, nemá obsluha přístup k nastavování parametrů, toto je užitečné zejména v praxi, kdy se omezí přístup neautorizovanému personálu. Za chodu měniče nelze, z pochopitelných důvodů, většinu parametrů měnit. Přiřazením hodnoty 21 parametru P051 se generuje tovární nastavení měniče a předchozí nastavení jsou ztracena.

Po zpřístupnění lze přejít k vlastnímu nastavování. Parametrů je velké množství, ale měnič si na druhou stranu spoustu z nich sám nastaví během optimalizačních procesů.

Rozlišujeme 2 druhy parametrů: parametry ***r*** – nenastavujeme jim hodnoty, pouze jejich prostřednictvím sledujeme jiné parametry nebo slouží k diagnostice; např. r012… zobrazí teplotu motoru, r015… indikace napětí sítě, r017… indikace frekvence sítě, r018… indikace řídicího úhlu, atd.

Parametrům ***P*** pak přiřazujeme konkrétní hodnoty, např. štítkové hodnoty pohonu nebo logické hodnoty pro aktivaci/deaktivaci nějaké funkce. Důležitým parametrem je pak P076… redukce jmenovitého stejnosměrného proudu měniče. Má dvě podskupiny: i001… redukce pro proud kotvy a i002… redukce proudu buzení. Obě hodnoty lze nastavit na 10%, 20%, 33,3%, 40%, 50%, 60%, 66,6%, 70%, 80%, 90% nebo 100% jmenovité hodnoty. Tento parametr slouží jako ochranný limit a měnič jej nepřekročí, ani kdyby byl nastaven vyšší proud pro kotvu motoru respektive buzení.

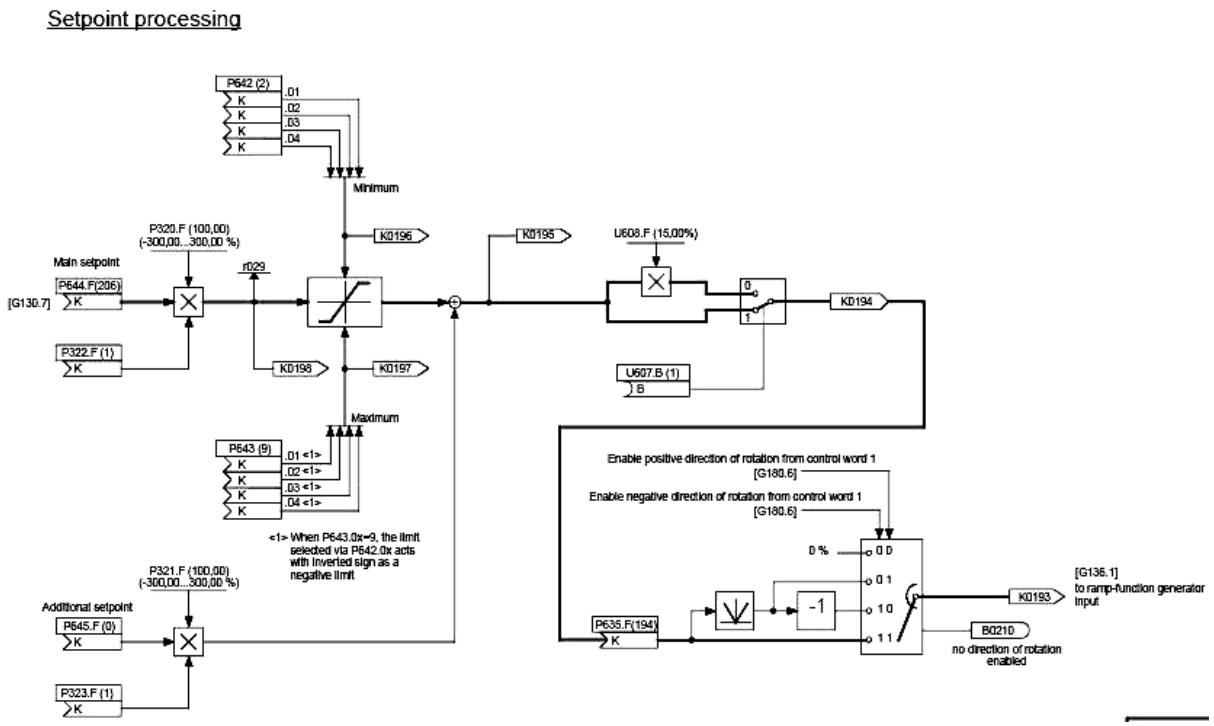
Bezpodmínečně nutné je definování parametrů motoru P100 až P139. Zde se nastaví jmenovitý kotevní proud motoru (P100), jmenovité napětí kotvy motoru (P101), minimální budicí proud motoru (P103), maximální provozní otáčky (P108) a tepelná časová konstanta motoru (P114).

Každý parametr lze nastavovat ve čtyřech skupinách. To umožňuje nastavení a jednoduché přepínání pro čtyři různé pohony.

Pro první optimalizaci měniče je zde parametr P051. Pomocí tohoto si měnič sám provede nastavení s ohledem na připojenou zátěž a to v několika krocích:

1. optimalizace pro přednastavení proudového regulátoru
   - podle indukčnosti a odporu připojeného motoru nastaví proudový regulátor (v parametrech P110 a P111 lze tyto hodnoty nastavit ručně v případě, že se nedaří optimalizaci provést, nebo připojuje-li se motorová tlumivka)
2. optimalizace otáčkového regulátoru
3. optimalizace pro odbuzování
4. optimalizace kompenzace třecího a setrvačného momentu

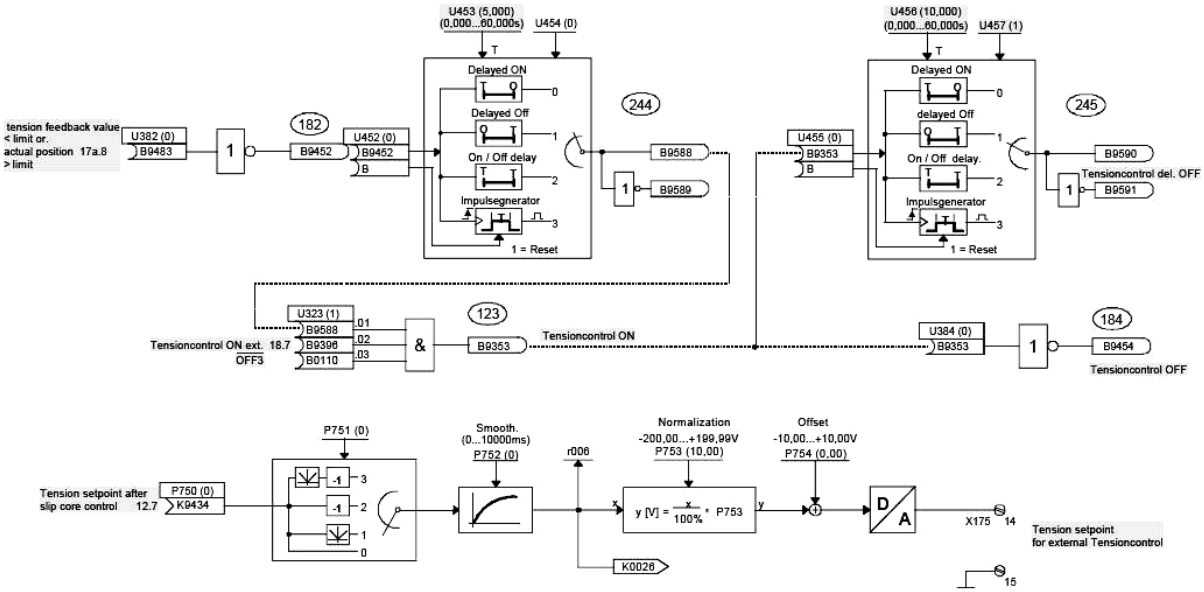
Tímto je provedeno základní nastavení a motor se roztočí. Pro fungování celého pohonu je ještě zapotřebí nastavit více či méně věcí v závislosti na jeho složitosti. Díky plně digitálnímu řízení tohoto měniče je k dispozici obrovská řada možností od paralelního chodu několika měničů (pásové dopravníky) po hlídání tažné síly (lanové dráhy, navijárny). Toto již převyšuje rámec tohoto článku. Jen pro příklad uvedeme nastavení analogového potenciometru Obr.5.1.



Obr. 5.1. Liniové schéma nastavení analogového potenciometru [3]

Nastavení se provádí pomocí takzvané Bico technologie společnosti Siemens. Je to soubor liniových schémat, které se dají pomocí kontrolních slov a bitů v parametrech upravovat („jednotlivé trojúhelníky, lze zasouvat do jejich koncovek“). Tím lze relativně jednoduše nastavit vše, co měnič umí. Jako příklad je ještě uvedeme nastavení kontroly tenze Obr. 5.2.

Tensioncontrol enable



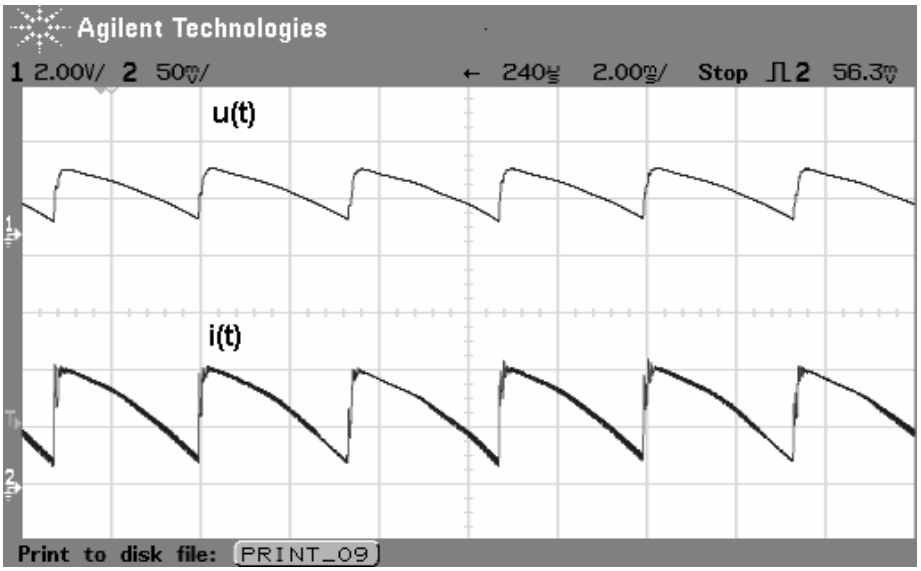
Obr. 5.2. Liniové schéma nastavení kontroly tenze [3]

6. Měření

6.1 Provoz na náhradní zátěži

Nastavování základních výše zmíněných parametrů jsme prováděli při připojené náhradní odporové zátěži označené 4369/029, kterou tvořily 2 topné spirály 400V/2×1250W. Měnič jsme nepřipojovali přímo k motoru z bezpečnostních důvodů a pro odladění případných chyb. Úplně na počátku jsme pro ještě vyšší bezpečnost nenapájeli měnič přímo z pultu (ze sítě), ale zařadili jsme před něj měkký transformátorek. Maximální proud měniče jsme nastavili na 2A. Dále jsme museli nastavit výpočet otáček z napětí, jelikož měnič neumí pracovat bez zpětné vazby na otáčky. Po dokončení těchto nastavení se podařilo měnič do náhradní zátěže úspěšně oživit. Chtěli jsme také provést automatickou proudovou optimalizaci pro nastavení regulátorů, ale vzhledem k charakteru zátěže (čistě odporová) se tuto optimalizaci nepodařilo provést. Otáčková optimalizace se také provést nepodařila. Důvodem byl také charakter zátěže.

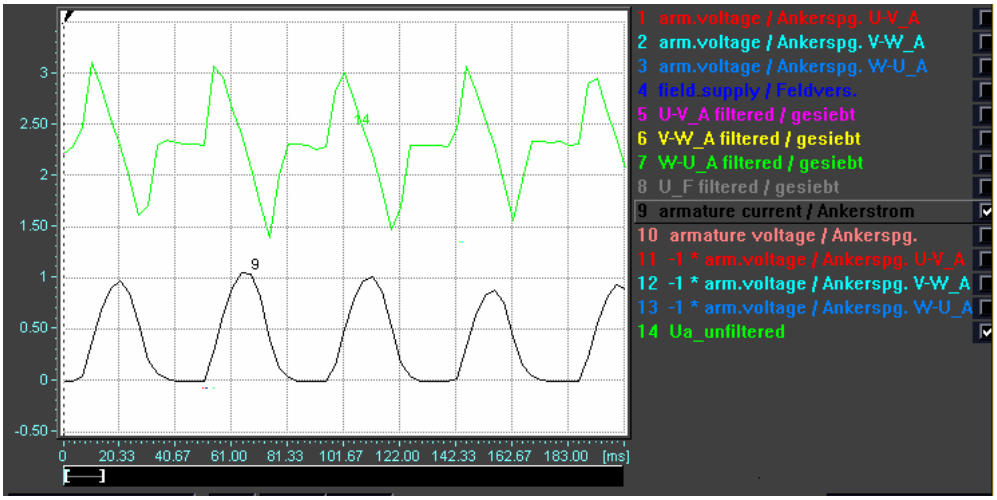
V dalším kroku jsme do obvodu náhradní zátěže připojili navíc osciloskop Agilent 54622D a zjišťovali jsme průběhy usměrněného proudu a napětí na hlavním můstku při změnách řídicího úhlu α . Tento úhel není možno přímo zadat, obsluha nastavuje pouze střední hodnotu usměrněného napětí či požadované otáčky. Měnič si řídicí úhel vypočte sám, jeho hodnotu však lze sledovat pomocí vizualizačních parametrů. Pozorované průběhy odpovídaly našim očekáváním a měnič jsme proto připojili ke svorkám motoru.



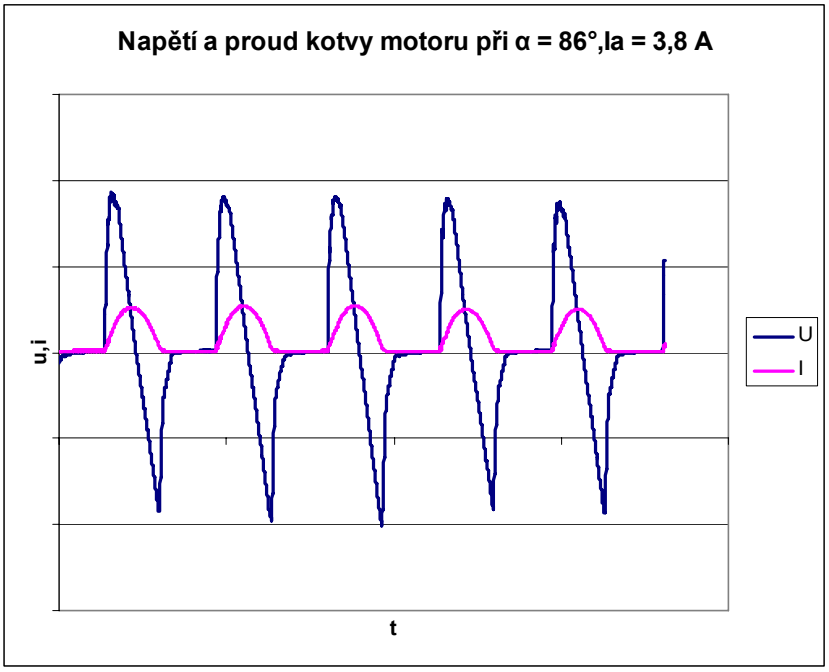
Obr. 6.1.1. Průběh napětí a proudu při odporové zátěži; proud a napětí jsou bez fázového posunu

6.2 Provoz na reálné zátěži

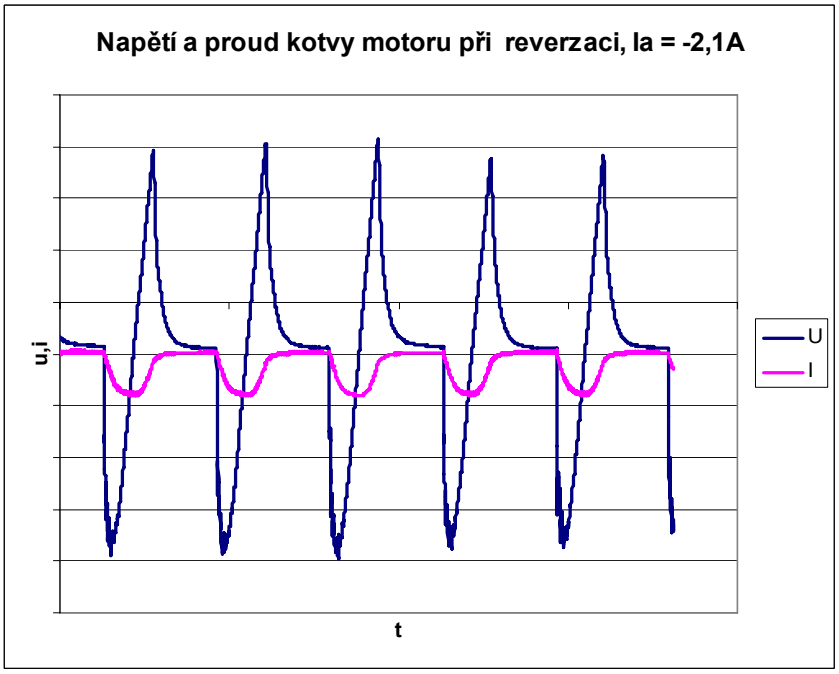
Měnič jsme připojili ke svorkám motoru a nechali jej nabudit. Při proudu kotvy Ia = 3,8 A jsme dosáhli rychlosti motoru 500 ot/min a při proudu Ia = 4,5 A pak 1000 ot/min. Otáčky jsme sledovali na připojeném počítači a správnost ověřili pomocí měření stroboskopem TR 5555 typu OE-721A. Uvedeným hodnotám odpovídají níže uvedené průběhy stejnosměrných napětí a proudů. Následné brzdění probíhalo protiproudem, kdy měnič rychle srazí protékající proud v obvodu nastavením maximálního řídicího úhlu α, následně je zablokován první můstek a po velmi krátké časové prodlevě začíná pracovat druhý můstek, který vytváří proud opačné orientace a tím brzdný moment motoru. Celá popsaná operace proběhne během několika desítek milisekund a zajišťuje dobré dynamické vlastnosti. Měnič obsluze signalizuje na displeji, který můstek je aktuálně v provozu. Měnič umožňuje rovněž brždění rekuperativní, které jsme však v této fázi měření nevyužívali



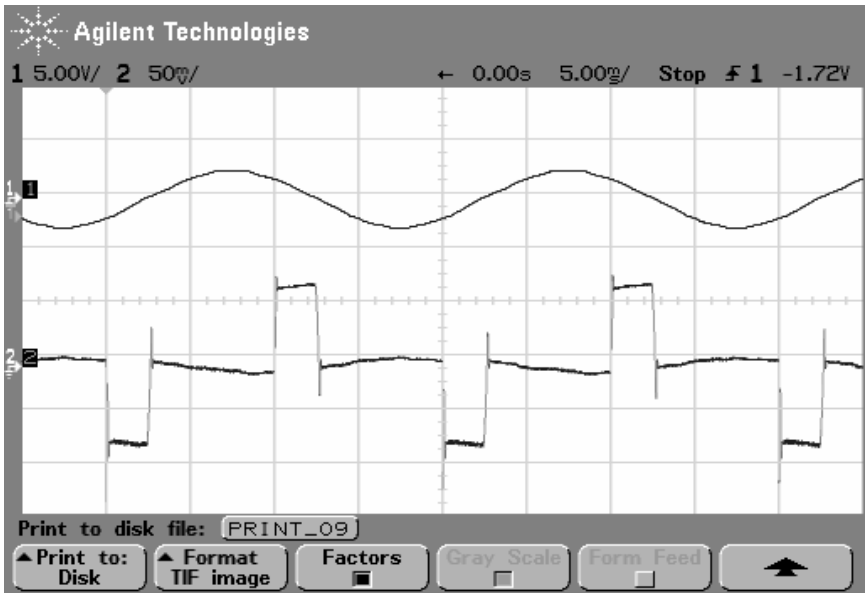
Obr. 6.2.1. Průběh usměrněného napětí a proudu pomocí software DriveMonitor



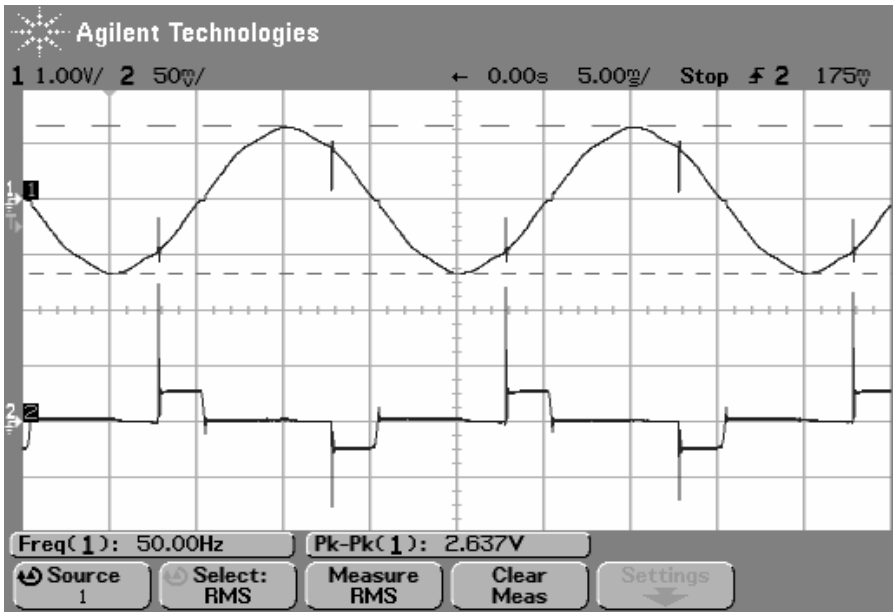
Obr. 6.2.2 Průběh napětí a proudu kotvy při malém proudu; patrné přerušované proudy



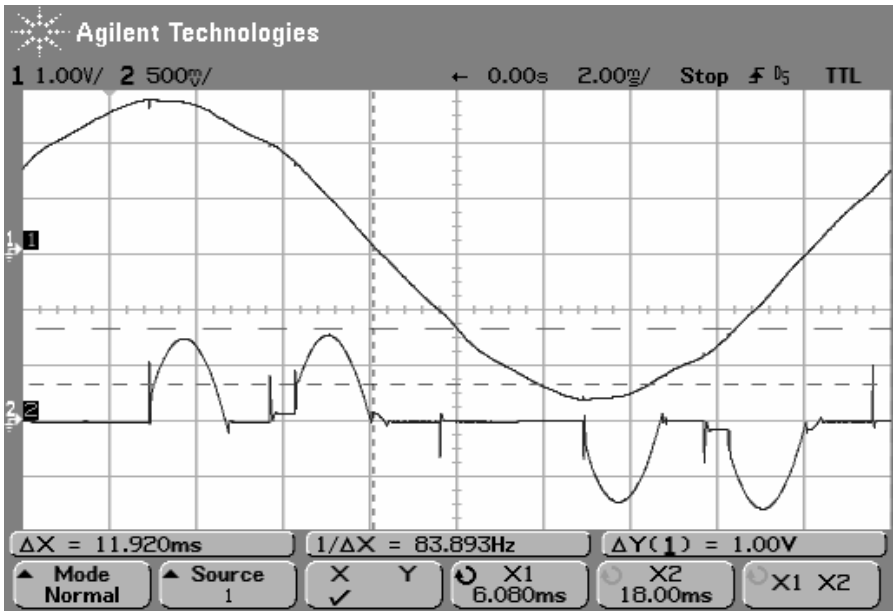
Obr. 6.2.3. Průběh napětí a proudu kotvy při brzděni motoru protiproudem; v této fázi pracuje druhý (antiparalelní) usměrňovačový můstek



Obr. 6.2.4. Průběh napětí a proudu na střídavé straně polořízeného můstku pro napájení buzení



Obr. 6.2.5. Průběh napětí a proudu na střídavé straně polořízeného můstku pro napájení buzení; měřeno za odrušovací tlumivkou-v porovnání s Obr. 6.2.4. dobře patrné neodrušené výkmity



Obr. 6.2.6. Průběh napětí a proudu na střídavé straně plně řízeného můstku pro napájení kotvy (je zde odměřen i proud můstku buzení)

7. Technické parametry měniče

7.1 Technické parametry měniče 6RA7075

Jmenovité napájecí napětí kotvy		3 AC 400 V (+15% / -20%)
Jmenovitý vstupní proud kotvy		175 A
Jmenovité napájecí napětí elektroniky		2 AC 380 až 460 V; I_n = 1 A
	nebo	1 AC 190 až 230 V, I_n = 2 A
Jmenovité napájecí napětí ventilátoru		24 V ss (interní napájení)
Tok vzduchu		100 m^3 / h
Hladina hluku ventilátoru		40 dBA
Jmenovité napájecí napětí buzení		2 AC 400 V (+15% / -20%)
Jmenovitá frekvence		45 – 65 Hz
Jmenovité stejnosměrné napětí		420 V
Jmenovitý stejnosměrný proud		210 A
Přetižitelnost		max.180%
Jmenovitý výstupní výkon		88 kW
Ztráty při jmenovitém ss proudu		676 W
Jmenovité ss napětí buzení		max. 325 V
Jmenovitý ss proud buzení		15 A
Krytí dle DIN EN 60529		IP00
Rozměry (v × š × h)		385 × 265 × 283 mm
Hmotnost		16 kg

8. Technické parametry soustrojí

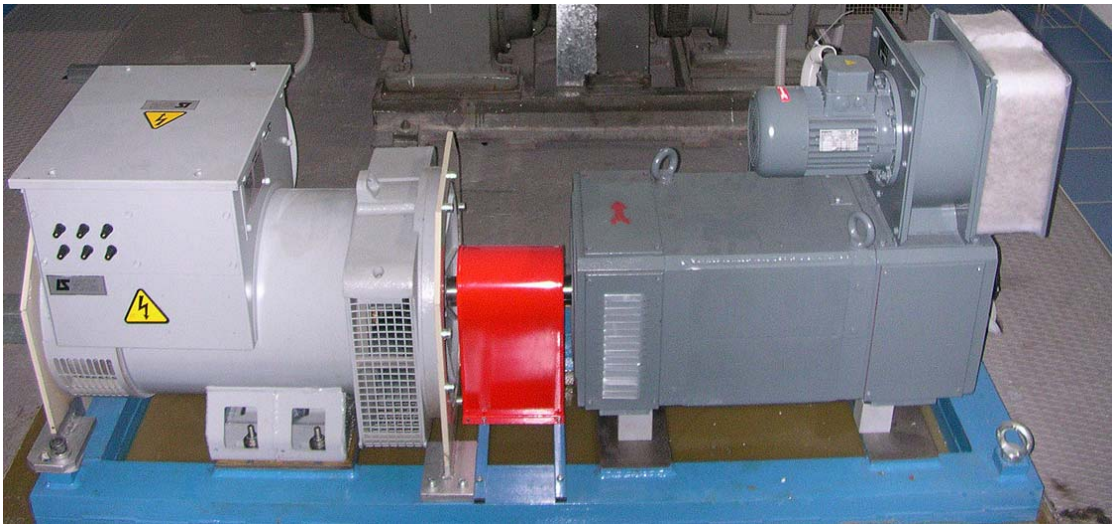
DC motor MM 160 L-C

Počet pólů – 4, výkon 55,4 kW, napětí 440 V, proud kotvy 141 A, 1630 ot/min, buzení cizí 220 V, 5,5 A, krytí IP 23, 295 kg

MEZ CZ s.r.o. Brno

AC synchronní generátor LSA 43,2 L64 J6/4

Počet pólů – 4, výstupní napětí 3 × 400 V, 50 Hz, výkon 63 kVA (50kW), krytí IP 23, cos φ = 0,8, buzení s rotačním usměrňovačem, 290 kg



Obr.9.2. Foto reálné zátěže; nalevo synchronní generátor, napravo stejnosměrný motor s dobře viditelnou cizí ventilací (asynchronní motor v horní části)

9. Závěr

Po zhruba 13 měsících práce se povedlo vytvořit rozvaděčovou konstrukci, osadit ji komponenty a celé zařízení oživit. Soustrojí stejnosměrný stroj – synchronní generátor napájené z měniče Simoreg 6RA70 bezproblémově funguje a zařízení bude možno v dalších semestrech využívat jako laboratorní úlohu - fázování synchronního generátoru na síť a měření V-křivek. Po nafázování je možné využít rekuperativní chod a energii měničem vracet zpět do napájecí sítě. Pro tuto aplikaci byl rozvaděčový modul s měničem přednostně projektován, a obsahuje proto měřicí přístroje na čelním panelu, měřicí transformátory proudu na vstupní střídavé straně.

Při provozních zkouškách nebyl napájený stejnosměrný motor prakticky zatížený, a výstupní proud z usměrňovače proto běžně vycházel přerušovaný. Během měření při fázování synchronního generátoru lze očekávat větší proud kotvy a celkový příznivější průběh. Další variantou je zařazení tlumivky do obvodu kotvy pro vyhlazení proudu na stejnosměrné straně. Výrobce měniče tuto tlumivku v dokumentaci nevyžaduje, ale v laboratoři je k dispozici a plánuje se tedy provést měření s touto tlumivkou a výsledné průběhy porovnat s průběhy bez tlumivky. Ideu kompaktnosti rozvaděče se podařilo dodržet, což umožňuje i případné využití v dalších aplikacích.

V neposlední řadě je třeba zmínit neocenitelné zkušenosti, které jsme v průběhu celé práce získali.

10. Seznam použité literatury

[1] Vondrášek, F.: Výkonová elektronika – svazek II. Skripta ZČU, Plzeň 1981
[2] Piskač, L.: Elektrické pohony – Principy a funkce. Skripta ZČU, Plzeň 2003
[3] Siemens AG: Simoreg DC Master, Operating instructions 6RA70 Series