

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Simulační zapojení asynchronního motoru s měničem
SIMOVERT*

2005

Petr Salaba

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: 2612T – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Mechatronika

*Simulační zapojení asynchronního motoru s měničem
SIMOVERT*

Simulation connect of asynchronous motor with frequency converter SIMOVERT

Petr Salaba

KEL – katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. Eva Konečná, CSc.

Konzultant: Ing. Patrik Endler

Rozsah práce:

55 stran textu

44 obrázků

7 tabulek

15 stran příloh

1 CD

Anotace

Diplomová práce řeší simulaci elektropohonu Siemens v prostředí Matlab. Asynchronní motor je řízen frekvenčním měničem SIMOVERT. Jako zátěž je použit stejnosměrný motor s cizím buzením. Ten je mechanicky spojen s asynchronním motorem. Elektropohon je řízen pomocí PC s nainstalovaným software Simovis.

Základ programu je tvořen simulačními schématy v software Simulink. Ty umožňují simulaci skalárního řízení a vektorového řízení. Simulace odpovídají naměřeným hodnotám skutečného elektropohonu.

Žádané hodnoty veličin jako otáčky, maximální proudové omezení nebo PI složky regulátorů je možno zadávat z grafického rozhraní. Po skončení simulace je možno zobrazit průběhy jednotlivých žádaných, simulovaných i skutečných veličin. To je možné pomocí grafického uživatelského rozhraní vytvořeného s využitím objektivě orientovaného systému Handle Graphics v prostředí Matlab.

Tento systém umožňuje vytvářet a používat standardní prvky Windows (butony, edity, atp.). Grafické rozhraní vytvořené pomocí Handle Graphics v prostředí Matlab umožňuje lepší kompatibilitu s už vytvořenými simulačními programy v Simulinku a přehlednější nastavování parametrů pro simulace i zobrazování nasimulovaných i naměřených hodnot.

Annotation:

The diploma thesis try to solve the simulation of electrodrive Siemens in the Matlab program. Induction motor is controlled by the frequency converter SIMOVERT. As the loading is used direct - current motor with separate excitation. It is mechanically connected with induction motor. Electric drive is directed by PC, which is having installed software Simovis.

The basic of this program is created by the simulation planes in Simulink software. This enables the simulation of the scalar control and vector control. This simulations should correspond with measuring values of the real electrodrive.

The request values of quantities as motor speed, the maximal limit of flow or PI components of regulators is possible to represent courses of the requested, simulate and the actual variations. This is possible with help of the graphics handle interface, created with help of object orientation in the Handle Graphics. It is software system in Matlab.

The system enable you to create and use standard windows elements (buttons, edits, etc.). The graphics interface, created with help of the Handle Graphics in the Matlab program enables better composibility with simulation programs in the Simulink and better summary settings of parameters for simulation and vizualiztion of simulating and measuring values.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení, apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne v tom případě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne : 25.8.2005

Podpis :

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí diplomové práce Doc.Ing. Evě Konečné a konzultantovi Ing. Patriku Endlerovi za ochotu, cenné rady a připomínky, jakož i dalším vyučujícím a kolegům na TUL za všestrannou pomoc nejen na diplomové práci, ale i během celého studia na fakultě mechatroniky. Rád bych také poděkoval svým rodičům, příbuzným a přátelům za jejich pomoc a podporu po celou dobu mého studia.

Seznam použitých značek a zkratek

d, q ...	pravoúhlé souřadnice točivého magnetického pole	
f	... frekvence	[Hz]
f1	... frekvence sítě (napájecí)	[Hz]
f2	... frekvence rotoru	[Hz]
I	... elektrický proud	[A]
I1z	... žádaný proud do statoru	[A]
I _{max}	... maximální proud (proudové omezení)	[A]
I _{sq}	... momentotvorná složka proudu	[A]
I _{sd}	... tokotvorná složka proudu	[A]
i _a , i _b , i _c (i _u , i _v , i _w)	... proudy třífázového statorového vinutí	[A]
i _A , i _B , i _C (i _U , i _V , i _W)	... proudy třífázového rotorového vinutí	[A]
J	... moment setrvačnosti	[kg.m ²]
L	... indukčnost	[H]
L1, Ls	... statorová indukčnost	[H]
L2, Lr	... rotorová indukčnost	[H]
L _{lh}	... vzájemná indukčnost statoru a rotoru	[H]
L _m	... magnetizační indukčnost	[H]
K	... zesílení, konstanta	[-]
M	... moment	[N.m]
M _i	... indukovaný moment	[N.m]
M _n	... jmenovitý moment	[N.m]
M _z	... zátěžný moment	[N.m]
n	... otáčky	[ot.s ⁻¹]
n _m	... jmenovité otáčky	[ot.s ⁻¹]
n _s	... synchronní otáčky	[ot.s ⁻¹]
n2	... otáčky rotoru	[ot.s ⁻¹]
P	... výkon	[W]
P _n	... jmenovitý výkon	[W]
pp	... počet pólových dvojic	[-]
P _z	... ztráty ve statorovém vinutí	[W]
P _δ	... výkon přes vzduchovou mezeru	[W]
R	... elektrický odpor	[Ω]
R1, R2	... statorový a rotorový odpor	[Ω]
s	... skluz	[-]
t	... čas	[s]
Tr	... rotorová časová konstanta	[s]
U	... napětí	[V]
U1, V1, W1	... napětí vstupní fáze	[V]

U_2, V_2, W_2 ...	napětí výstupní fáze	[V]
U_{1z} ...	žádané napětí statoru	[V]
U_d ...	napětí meziobvodu měniče	[V]
U_{dmax} ...	maximální napětí meziobvodu měniče	[V]
x, y ...	budicí a momentové složky	
α, β ...	pravoúhlé souřadnice statoru	
δ ...	vzduchová mezera motoru	[m]
$\cos\varphi$...	účinnost	[-]
λ ...	velikost rozteče (IRC)	[m]
ω ...	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]
ω_l ...	frekvence sítě	[rad.s ⁻¹]
ω_{1z} ...	žádaná frekvence ve statoru	[rad.s ⁻¹]
ω_k ...	obecná rychlost rotujícího systému	[rad.s ⁻¹]
ω_{mech} ...	skutečná úhlová frekvence rotoru	[rad.s ⁻¹]
ω_z ...	žádaná frekvence rotoru	[rad.s ⁻¹]
ω_s ...	úhlová rychlost skluzu	[rad.s ⁻¹]
ψ ...	magnetický tok	[Wb]
ψ_a, ψ_b, ψ_c ...	spřažené magnetické toky fází statoru	[Wb]
ψ_A, ψ_B, ψ_C ...	spřažené magnetické toky fází rotoru	[Wb]
ψ_z ...	žádaný magnetický tok	[Wb]
θ, φ ...	úhel natočení rotoru	[rad]

A/D	Analogové číslicové převodníky
D/A	Číslicové analogové převodníky
DP	Diplomová práce
FM	Frekvenční měnič
AM	Asynchronní motor
SS	Stejnoseměrný motor
SC	Skalární řízení - Scalar Control
VC	Vektorové řízení - Vector Control
BVOV	Blok proudového modelu
BZV	Blok zrušení vazeb
Im	Imaginární složka (proudu)
Re	Reálná složka (proudu)
GUI	Grafické uživatelské rozhraní
IRC	Inkrementální fotoelektrický snímač otáček
OPS1	Ovládací panel
PWM	Pulsně šířková modulace - Pulse With Modulation
UCC	Přenosový protokol
U/f, V/f	Frekvenčně napěťový (řízení, charakteristika)

Obsah

Anotace.....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Seznam použitých značek a zkratek.....	5
Obsah.....	7
1. Úvod.....	8
2. Řízení asynchronních motorů.....	9
2.1. Skalární řízení.....	9
2.2. Vektorové řízení.....	11
3. Měření na elektropohonu.....	13
3.1. Měřený elektropohon Siemens.....	13
3.1.1. Frekvenční měnič SIMOVERT.....	14
3.1.2. Parametrování měniče.....	17
3.1.3. Parametrování měniče programem Simovis.....	19
3.2. Postup měření.....	20
3.3. Výsledky měření.....	24
4. Simulace elektropohonu.....	27
4.1. Sestavení a popis simulačních schémat.....	27
4.1.1. Model asynchronního motoru.....	27
4.1.2. Modely frekvenčního měniče SIMOVERT.....	33
a) Simulace skalárního řízení.....	33
b) Simulace vektorového řízení.....	37
4.2. Výsledky simulací.....	40
4.2.1. Porovnání módů řízení.....	41
4.2.2. Porovnání změn nastavení parametrů PI regulátorů.....	44
4.2.3. Porovnání průběhů při posunutí zátěže.....	46
5. Grafické uživatelské rozhraní.....	49
5.1. Ovládání simulačních programů pomocí GUI.....	49
5.2. Vizualizace průběhů veličin pomocí GUI.....	50
5.3. Ukládání souborů.....	51
5.4. Handle Graphics.....	52
6. Závěr.....	54
7. Seznam použité literatury.....	55
8. Přílohy.....	55

1. Úvod

Elektrickými pohony lze realizovat prakticky jakýkoliv výkon a moment. Nejrozšířenějšími elektropohony jsou v současnosti střídavé. Vytlačují stejnosměrné pohony svým téměř bezúdržbovým chodem. Ze střídavých pohonů se nejvíce prosazují asynchronní motory se svou jednoduchou a levnou konstrukcí.

Stejnosměrné motory se udržují především tam, kde je vyžadována co nejlepší možnost regulace. Výrazné uplatnění střídavých pohonů (až 90%) umožnil prudký rozvoj silnoproudé PN techniky v devadesátých letech dvacátého století. Některé z možností řízení střídavých pohonů (např. vektorové řízení) tak vůbec bylo možno realizovat teprve nedávno, třebaže teoreticky byly popsány mnohem dříve.

Při návrhu nejrůznějších technologických procesů se uplatňují simulační modely vytvořené pomocí nejrůznějších programovacích prostředků (např. Matlab/Simulink). Také předpokládaný průběh veličin elektropohonu je lépe odzkoušet simulací a předejít tak obtížím nebo dokonce zničení při spuštění skutečného pohonu.

Cílem DP je vytvořit takovýto model umožňující simulovat zapojení asynchronního motoru řízeného skalárně i vektorově frekvenčním měničem SIMOVERT, který odpovídá reálně naměřeným veličinám. Na základě vlastních měření a programových prostředků KEL.

2. Řízení asynchronních motorů

Fungování asynchronního motoru je založeno na využití tažení rotoru točivým magnetickým polem vytvářeného statorem. Tento motor vlivem veličiny zvané skluz nikdy nedosáhne tzv. synchronních otáček magnetického pole daných počtem pólů a frekvencí.

Řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů s kotvou nakrátko pak vychází ze základní rovnice:

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p_p} \cdot (1 - s) \quad (2.1)$$

Změnu otáčivé rychlosti lze tedy provést:

- 1) Změnou počtu pólů
- 2) Změnou skluzu
- 3) Změnou napájecího kmitočtu
- 4) Změnou napájecího napětí

Řízení rychlosti změnou napájecího kmitočtu umožňuje v současnosti nejdokonalejší řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů. Podle veličiny, s jejíž pomocí dosahujeme změn kmitočtu, rozlišujeme kmitočtové proudové a kmitočtové napěťové. Tato metoda je aktuální z hlediska DP. Vychází z předpokladu udržování konstantního momentu podle rovnice:

$$M \approx \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad (2.2)$$

Podrobnosti o fungování asynchronních motorů a točivého magnetického pole jsou na CD v adresáři: cd/PrilohyCD/Vlastni tvorba/Elektricke motory.

Z hlediska DP je podstatné jestli měníme jenom amplitudu nebo i prostorové úhly vektorů řídicích veličin. Takto rozlišujeme skalární a vektorové řízení. Použití a simulace obou možností je prakticky základem celé DP.

2.1. Skalární řízení

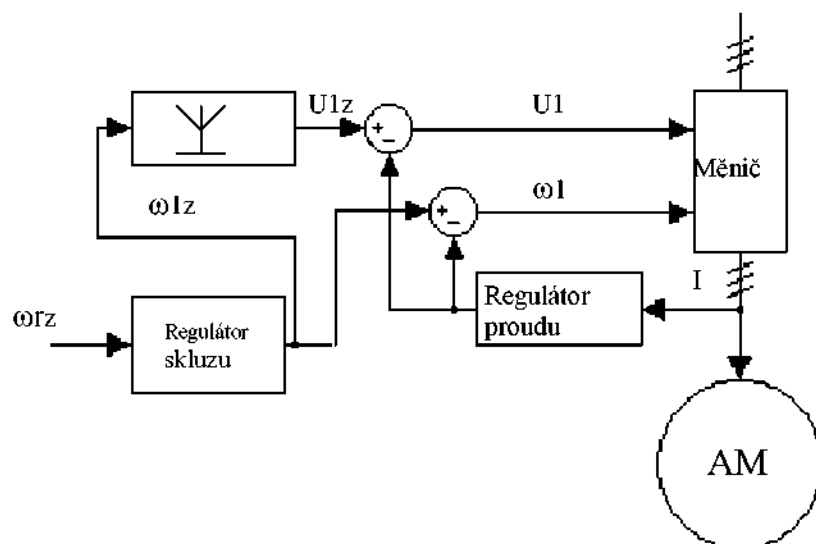
Skalární řízení se používá převážně u takových aplikacích, kde není kladen požadavek na vysokou dynamiku pohonů. Při tomto druhu řízení se udržuje konstantní hodnota celkového magnetického toku statoru Ψ_1 . Podle typu měniče se skalární řízení může dělit na frekvenčně proudové nebo frekvenčně napěťové řízení.

V diplomové práci je použito frekvenčně napěťového řízení, proto uvádím podrobněji tuto metodu. Při frekvenčně napěťovém řízení se nejprve určí závislost $u_1 = f(\omega_1)$ tak, aby Ψ_1 měl stále konstantní hodnotu. Tuto závislost můžeme pro vyšší kmitočty nahradit lineární.

Druhy skalárních řízení se mohou lišit například ve složitosti regulačního obvodu nebo typech použitých součástí.

Většina regulačních obvodů má v jedné zpětné vazbě zapojen proudový regulátor, který na základě získané informace o velikosti statorového proudu reguluje tak, aby nebyla překročena maximální povolená hodnota proudu udávaná výrobcem motoru. V DP tomu odpovídají módy řízení P100=1 a P100=2 reálného měniče, probrané v následujících kapitolách.

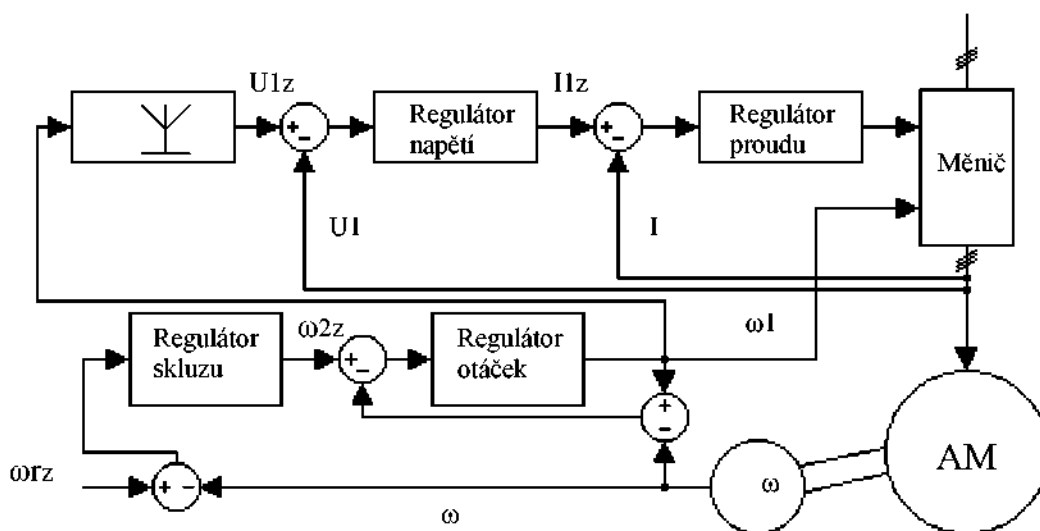
Strukturní schéma tohoto řízení je na obr 2.1-1.



Obr. 2.1-1 Strukturní schéma frekvenčně napětového řízení bez regulátoru otáček

Regulace skluzu být zapojená může ($P100=1$) a nebo nemusí ($P100=2$). A nebo se v obvodu může nacházet například regulátor otáček. To je v DP případ modu řízení pro $P100=0$.

Strukturní schéma tohoto druhu řízení je na obr. 2.1-2.



Obr. 2.1-2 Strukturní schéma frekvenčně napětového řízení s regulátorem otáček

Obdobně probíhá frekvenčně proudové řízení, ale tam se nejprve určí závislost $i_1 = f(\omega_2)$ tak, aby Ψ_1 měl stále konstantní hodnotu. Frekvenčně proudové řízení není v DP použito, takže je nebudeme dále probírat. Všem druhům skalárního řízení je společné, že při regulaci měníme pouze absolutní hodnotu regulovaných veličin. Tím se liší od druhé, často používané možnosti vektorového řízení.

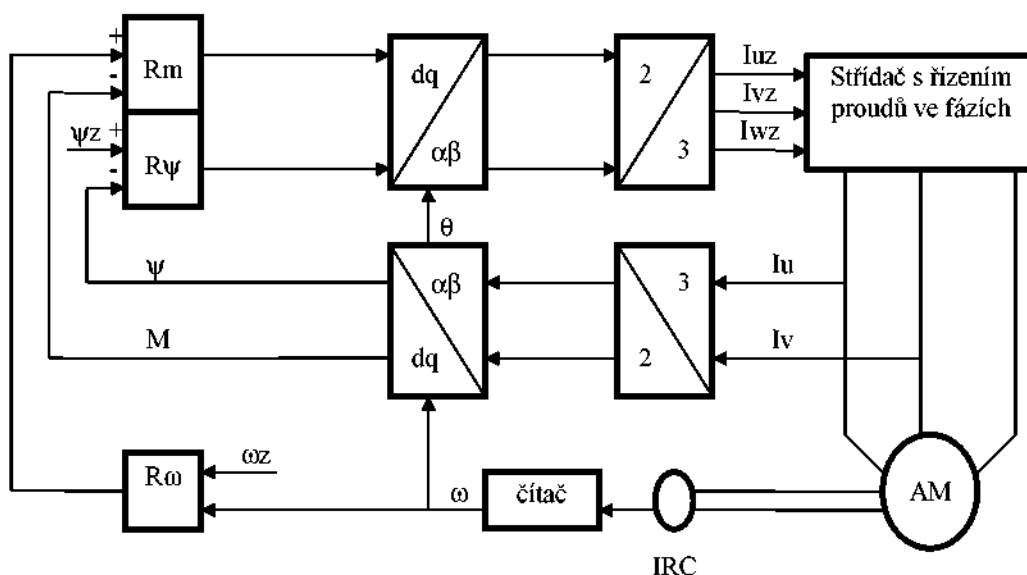
2.2. Vektorové řízení

Při vektorovém řízení měníme nejen skalární amplitudu řízených veličin, ale i jejich prostorové úhly. Řízenou veličinu (konkrétně elektrický proud) rozdělíme na momentotvornou a tokotvornou složku. Obě dvě složky regulujeme samostatnými proudovými regulátory a porovnáme zpětnou transformací do třífázového systému.

Podle způsobu, kterým získáváme informace o výsledném vektoru magnetického toku, rozlišujeme přímé a nepřímé vektorové řízení. Při přímém vektorovém řízení určujeme okamžitý vektor magnetického toku z naměřených hodnot napětí a proudů na statoru a to tak, abychom dosáhli žádaných hodnot magnetického toku a momentu. Tato metoda je velice závislá na rychlosti spínání a přestože byla teoreticky poměrně brzo navržena, tak její praktická realizace byla umožněna až zavedením vysokorychlostních signálových procesorů v devadesátých letech dvacátého století.

Jako zajímavost je možno uvést, že první návrhy počítaly s měřením magnetického toku přímo ve vzduchové mezeře asynchronního motoru pomocí Hallových sond. Frekvenční měnič v diplomové práci tento druh přímého vektorového řízení neumožňuje, takže jej nebudeme dále probírat.

Druhou a využívanější možností regulace vektorů magnetického toku a momentu je nepřímé řízení využívající snímač polohy na motoru. Realizace vektorového řízení předpokládá nutnost informací o poloze os souřadného systému d, q vůči statoru. K tomuto tak potřebujeme přesné a rychlé čidlo rychlosti rotoru. Kromě určení vektoru magnetického toku slouží údaje z tohoto snímače i pro regulaci otáček (resp. polohy). Na obr. 2.2-1. je uvedeno názorné strukturní schéma vektorového řízení.



Obr. 2.2-1 Strukturní schéma nepřímého vektorového řízení se snímačem otáček

Hodnoty změřených fázových proudů jsou ve třífázovém souřadném systému u, v, w . Abychom mohli velikost proudu i jeho prostorové natočení vektorově řídit, musíme znát hodnotu prostorového vektoru nejen ve stojícím třífázovém souřadném systému, ale i v systémech rotujících vůči němu rychlostí ω .

Napřed musíme hodnoty přetransformovat do pravoúhlých souřadnic α a β pevně svázaných se statorovým vinutím prostým rozdělením na reálnou a imaginární část. Symboly α a β pak označují reálnou a imaginární osu. Přepočet souřadnic $u,v,w \rightarrow \alpha,\beta$ provedeme pomocí vztahů:

$$\begin{aligned} i_{\alpha} &= i_a \\ i_{\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (i_b - i_c) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Asynchronní motor nemá vyniklou osu symetrie, proto je poloha vztažného vektoru libovolná – konkrétně vztažená k ose fáze 1. Pro sledování regulačních dějů ovšem potřebujeme, aby byl souřadný systém svázaný s točivým magnetickým polem stroje otáčejícím se synchronní rychlostí. Tyto souřadnice označujeme d a q . Přepočet souřadnic $\alpha,\beta \rightarrow d,q$ provedeme pomocí vztahů:

$$\begin{aligned} i_d &= i_{\beta} \cos\theta - i_{\alpha} \sin\theta \\ i_q &= i_{\beta} \sin\theta + i_{\alpha} \cos\theta \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dva takto získané signály představují dvě složky statorového proudu. Tokotvornou I_d a momentotvornou I_q . Tokotvorná složka vytváří výsledný magnetický tok stroje ψ a momentotvorná složka vytváří točivý moment motoru. Momentotvorná složka je definována jako složka úměrná úbytku napětí na odporu rotorového vinutí.

Regulační veličinu momentotvorného proudového regulátoru tvoří výstupní hodnota regulátoru otáček. Regulační veličinu tokotvorného proudového regulátoru tvoří maximální proudové omezení pohonu.

Zregulované veličiny je pochopitelně třeba převést zpět do třífázového systému u,v,w . Zpětné transformace jsou analogické těm předchozím. Přepočet souřadnic $d,q \rightarrow \alpha,\beta$ provedeme pomocí vztahů:

$$\begin{aligned} i_{\beta} &= i_d \sin\theta + i_q \cos\theta \\ i_{\alpha} &= i_d \cos\theta - i_q \sin\theta \end{aligned} \quad (2.5)$$

Přepočet souřadnic $\alpha,\beta \rightarrow u,v,w$ provedeme pomocí vztahů:

$$\begin{aligned} i_u &= i_{\alpha} \\ i_v &= -0,5 i_{\alpha} + \sqrt{3}/2 i_{\beta} \\ i_w &= -0,5 i_{\alpha} - \sqrt{3}/2 i_{\beta} \end{aligned} \quad (2.6)$$

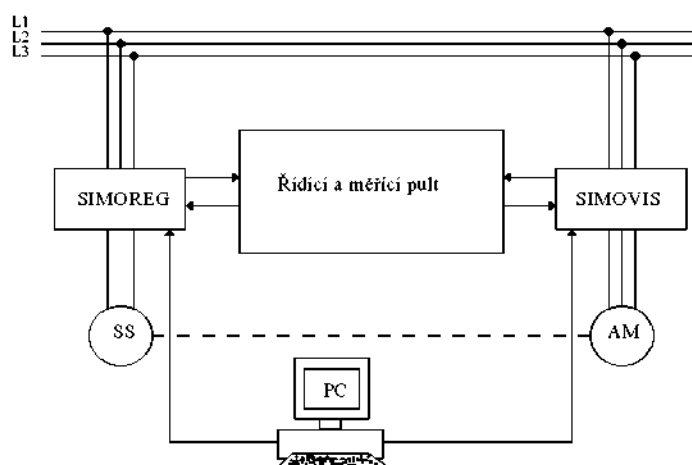
Podrobný popis realizace skalárního a vektorového řízení, včetně simulačních schémat je součástí kapitoly 4.1.2.

3. Měření na elektropohonu

Měření na reálném elektropohonu je důležitou součástí DP, potřebnou pro získání reálných dat nutných k sestavení simulačních schémat pro konkrétní elektropohon. Také je potřeba získat data umožňující kdykoliv později srovnání nasimulovaných a skutečných průběhů veličin v rámci maximální možné tolerance. Součástí popisu měřicí části DP je také seznámení s reálným elektropohonem.

3.1. Měřený elektropohon Siemens

Měřicím zařízením je výukový elektropohon sestavený z komponent vyrobených firmou Siemens a umístěný v laboratoři KEL na TU v Liberci. Na následujícím obr. 3.1-1 je uvedeno přehledné blokové schéma tohoto zapojení.



Obr 3.1-1 Blokové schéma elektropohonu

Základem pohonu je třífázový asynchronní motor 1LA7106-6AA10-Z s kotvou nakrátko a stejnosměrný, cize buzený motor GL5104-0EBB20-6VV1-Z. Oba motory jsou vzájemně spojeny pružnou mechanickou spojkou. Asynchronní motor je řízen frekvenčním měničem SIMOVERT VC 6SE 70161E20 MASTERDRIVES a stejnosměrný motor řízený usměrňovačem SIMOREG 0240/15 Mreg-GeG6V62-4A 6RA 2413-6DV62-0. Přes rozhraní RS 232 je možné oba dva měniče ovládat z PC vybaveného softwarovým balíkem Simovis. Komunikace mezi frekvenčním měničem a asynchronním motorem je realizována pomocí firemního protokolu UCC přes sběrnici RS 485. Informace o rychlosti otáčení motorů předávají inkrementální optoelektronické snímače. Stejný motor je chlazen přistavěným ventilátorem FAN 2CW 144-8.

Pro větší názornost jsou v tabulce tab. 3.1-1 uvedené základní štítkové údaje jednotlivých součástí elektropohonu:

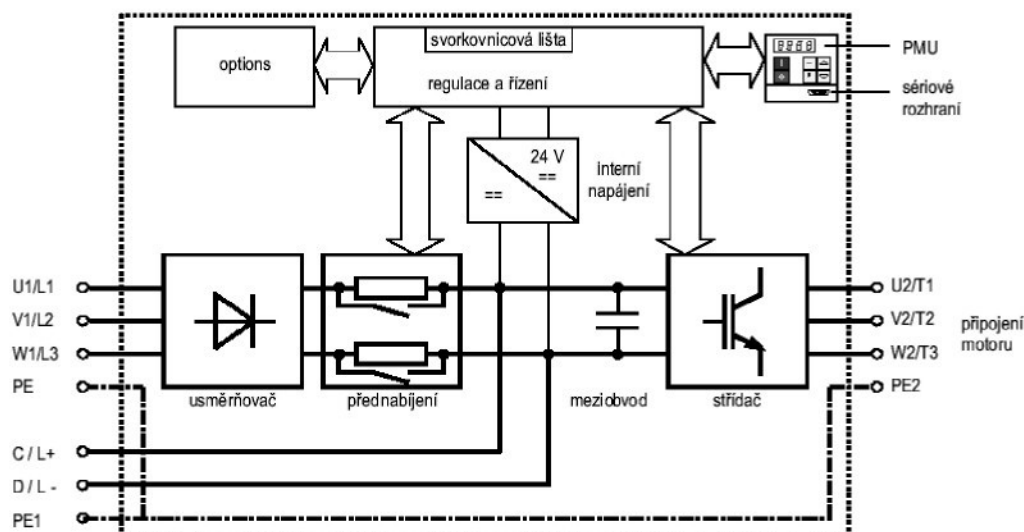
AS motor :	SS motor
3-fázový asynchronní motor výrobce: SIEMENS typ: 1LA7106-6AA10-Z krytí: IP55 chlazení: externí jmenovitá účinnost η : 0.72 jmenovitý moment setrvačnosti J: 0,0083kgm ² 50Hz, 1.5kW, $\cos\phi=0.78$, 925ot/min 230V/400V Δ/Y , 6.7/3.85A 220-240V Δ/Y , 6.8-6.6A 300-420V Δ/Y , 3.9-3.8A Maximální hodnoty 60Hz, 1.75kW, $\cos\phi=0.78$, 460V Δ/Y , 3.8A 440-480V Y, 3.9-3.8V	buzení: cizí typ: GL5104-0EB20-6VV1-Z krytí: IP23 chlazení: externí výrobce: SIEMENS napětí: 110-420V otáčky: 10-1040ot/min (max. 1200ot/min) jmenovité otáčky: 1000ot/min proud: 5.80-5.90A výkon: 1.72kW moment setrvačnosti: 0.0165kgm ² konstrukce :IMB3 Parametry budicího vinutí: 220V, 1.00A 140V, 0.680A
FREKVENČNÍ MĚNIČ :	ŘÍZENÝ USMĚRŇOVAČ
SIMOVERT VC 6SE 7016-1E20 vstup :380-460V 6.1A50/60Hz výstup : 0+U _{max} 6.1A 0+600Hz max.zátěž :6.1A-136%-1min 5.6A-150%-1min IEC 146-1-1	Simoreg 0240/15 Mreg-GeG6V62-4A 6RA 2413-6DV62-0 vstup : 400V 12.5A 50/60Hz výstup :±420V 15A
BRZDNÁ JEDNOTKA	
Breaking Unit 6 SE7018-OES87-2DAO	
Snímač otáček AS motoru	Snímač otáček SS motoru
2CW1174 – 8RF14 – 1 230/400 Δ/Y THICLE 0.19/0.114	Impulsgeber P0G 9 D 1024 9 – 30 V I _{max} = 60 mA Rozlišení: 1024 impulsů/ot.
	Ventilátor SS motoru
	FAN 2CW 144-8

Tab. 3.1-1 Štítkové hodnoty součástí elektropohonu

3.1.1. Frekvenční měnič SIMOVERT

Seznámení se zařízením elektropohonu a zejména frekvenčním měničem SIMOVERT je jedním z bodů zadání DP. Popis zařízení je potřebný při vlastním měření a zejména při tvorbě simulačních schémat. Pochopitelně není možné v DP uvést všechny podrobnosti o tomto zařízení a jeho ovládání. Ty jsou uvedené na CD v adresáři: cd:/PrilohyCD/Pouzita literatura/10.

Všechny použité měniče (SIMOVERT i Simoreg) jsou z konstrukčního hlediska v kompaktním provedení (Compact Units). Frekvenční měnič mění třífázové napětí s pevnou frekvencí 50 Hz (resp. 60 Hz) na třífázový systém napětí, jehož výstupní hodnoty amplitudy a frekvence umožňuje plynule měnit. Je konstruován jako kompletní FM s napěťovým meziobvodem - usměrňovač, napěťový stejnosměrný meziobvod, střídač. Jeho blokové schéma je na obr. 3.1.1-1.



Obr. 3.1.1-1 Blokové schéma zapojení měniče v kompaktním provedení

Střídavé napětí usměrněné třífázovým můstkem se přes přednabíjecí obvod přivádí na kondenzátor v napěťovém meziobvodu. Bez přednabíjecích rezistorů by na kondenzátoru vznikla příliš velká proudová špička. Třífázové střídavé napětí s žádanou frekvencí od 0 do 600 Hz je vytvořeno ve střídači metodou pulsně šířkové modulace PWM (Pulse with modulation).

Jako všechny frekvenční měniče řady SIMOVERT MASTERDRIVES je vybaven více typy komunikačních a řídicích prvků pro zadávání údajů k řízení pohonu:

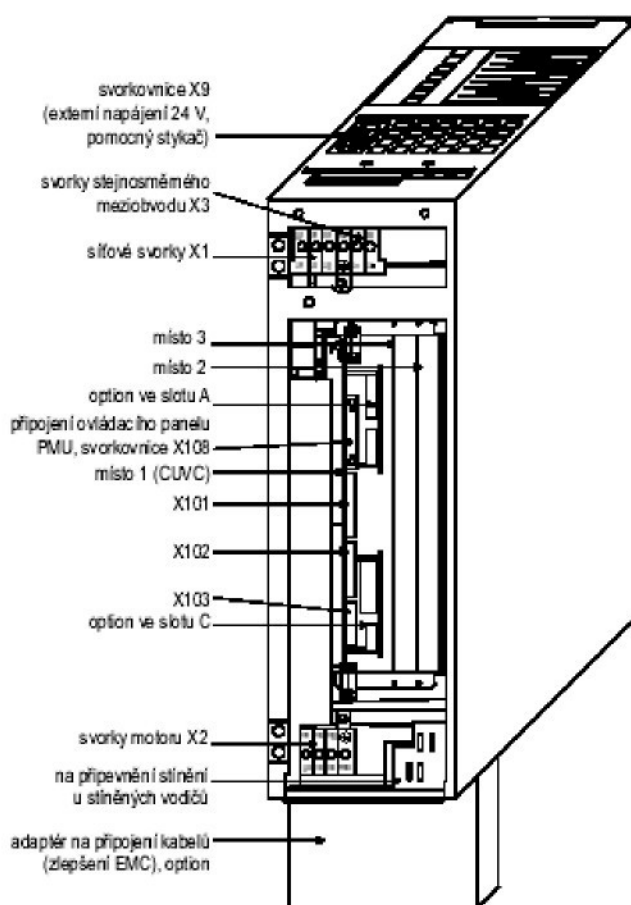
- sériové rozhraní RS 485/ RS 232 pro řízení pomocí PC nebo ovládacího panelu OPS1
- sériové rozhraní (RS 488, protokol USS)
- svorkovnice s připojením čidel
- 2 lišty s binárními vstupy

Pohled na měnič s řídicím panelem je na obr. 3.1.1-2.



Obr. 3.1.1-2 Frekvenční měnič s řídicím panelem

Z hlediska regulační struktury je použitý frekvenční měnič součástí modelové řady SIMOVERT VC (Vector Control) určené k řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů. Tato plně digitální modelová řada měničů obsahuje základní desku osazenou 32 bitovým RISC procesorem Siemens SAB80165, který pracuje s pohyblivou řádovou čárkou, RAM pamětí a EEPROM pamětí. Nastavení parametrů měniče je tak možné uchovat i po výpadku nebo vypnutí napájecího napětí. Doba vzorkování procesů se pohybuje od 100 μ s až do 1.5 ms. Výkonové části střídače jsou osazeny tranzistory IGBT pro všechna napětí až do 690V. Popis struktury kompaktního měniče s ohledem na připojení silových a řídicích vodičů je uvedena na obr. 3.1.1-3.



Obr. 3.1.1-3 Připojení řídicích a silových vodičů na měnič

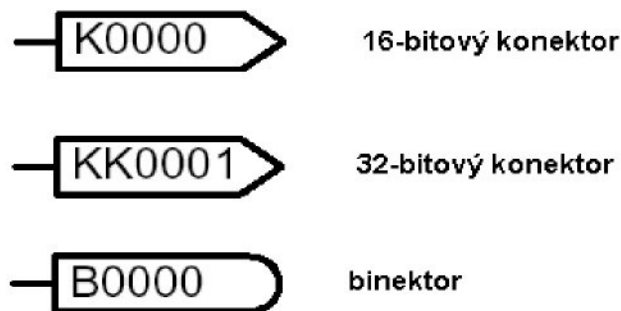
Celá vnitřní struktura měničů řady SIMOVERT MASTERDRIVES využívá BICO technologii [9]. Název je zkratkou slov Binconnector a Connector. Binektory jsou binární vstupy měniče a konektory analogové výstupy. Protože se v měniči nevyskytují analogové signály, tak musejí být všechny digitální nebo upravené A/D převodníky. Číselkové hodnoty signálů a veličin v měniči jsou prezentovány ve formátu boolean, popřípadě word (resp. double - word). Na výstupy konektorů lze vyvést všechny důležité signály z vnitřní struktury a tak z nich vlastně měřit aktuální hodnoty veličin v konkrétních uzlech struktury měniče.

Na vstupy binektorů může přicházet jediné logická 0 nebo 1. Logická 1 sepne příslušný výběrový přepínač uvnitř měniče a logická 0 jej rozezne. Takto lze měnit výrobcem defaultně nastavené strukturální vazby v měniči. Konektory označujeme písmenem K (16-

bitový) nebo KK (32-bitový) číslem specifikujícím bod ve struktuře měniče. Např. žádaná frekvence statorového napětí je KK199. Hodnota signálu na konektoru je vyjádřena v procentech vztahných k referenční hodnotě parametru nebo v desítkové DEC (resp. šestnáctkové HEX) soustavě.

Binektory označujeme písmenem B (BB, BIN). Reprezentují digitální signál nabývající logických hodnot 0/1. Také binektory mohou být 16 a 32 bitové.

Na obrázku 3.1.1-4 jsou symboly binektorů a konektorů ve struktuře měniče.



Obr. 3.1.1-4 Grafické znázornění konektorů a binektorů v měniči

Všechny možné změny struktury měniče pomocí BICO technologie jsou omezeny systémem vnitřní ochrany SQUARDS. Z jeho hlediska je důležitý zejména přípustný jmenovitý proud 6.1 A.

Velikost tohoto proudu závisí na teplotě měniče. V případě DP je měnič chlazen vzduchem. Jako vhodná teplota vzduchu je uvedeno rozmezí 0°C až 40°C. Maximálně do 50°C. V době měření mé DP se hodnota teploty v místnosti pohybovala v přijatelném rozmezí 15°C až 18°C.

Také pokud je nadmořská výška zařízení větší než 1000 m.n.m. tak se jeho velikost jmenovitého proudu přepočítává koeficientem určeným podle teploty a výšky. Na Liberecku by takováto situace teoreticky nastat mohla, ale místo kde je pohon umístěn, má přijatelnou výšku 412 m.n.m.

3.1.2. Parametrování měniče

Přizpůsobení funkce měniče podle konkrétních provozních podmínek provádíme pomocí parametrů. Každý z parametrů je jednoznačně určen svým číslem a názvem, resp. indexem. Čísla parametrů se skládají z písmena a třímístného čísla. Například „zdroj povelu zap/vyp“ P554.2 = 20

- jméno parametru = „zdroj povelu zap/vyp1“
- číslo parametru = P554
- index parametru = 1
- zadaná hodnota parametru = 20

Velká písmena (P, U, H, L) označují parametry, jejichž hodnotu lze měnit a malá písmena (r, n, d, c) parametry, jejichž hodnotu lze jen číst. Pokud chceme měnit hodnotu některého z 900 parametrů měniče, tak musí být splněny určité předpoklady:

- parametr musí být měnitelný (t.j. označený velkým písmenem)
- musíme odblokovat ochranu přepisování hodnot nastavením P053 = 6
- stav měniče musí připouštět nastavování jiných hodnot z hlediska bezpečnosti a provozuschopnosti zařízení (systém SQUARDS)
- nesmí být aktivován zámkový mechanismus měniče

Parametrovat (t.j. zadávat parametry do měniče) lze prostřednictvím:

- vestavěného panelu PMU na čelním panelu měniče
- ovládacího panelu OPS1 (options)
- pomocí PC s nainstalovaným programem Simovis

V DP je aktuální zejména parametrování s pomocí Simovisu popsané v následující kapitole 3.1.3. Čelní panel měniče PMU je případně využit pro počáteční nastavování a při odstraňování poruch a chybových hlášení elektropohonu. Rovněž takováto hlášení o stavu měniče jsou označena jako parametry písmenem a číslem. Nejedná se však o vlastní parametry měniče umožňující měnit nastavení některého binektoru, ale o stavová hlášení signalizující stav měniče. Např. během měření poměrně časté hlášení F051 signalizuje chybu čidla otáček.

Celý proces parametrování lze nastavit parametrem P060. Ten dovoluje využít různých možností nahrání a nastavení sad parametrů. V DP je při měření využito nastavení „definice pohonu“ P060 = 5.

Sady parametrů s nastavením lze nastavit definicí silové části, jednotek, modulů nebo pomocí funkce Upread a Download přenášet mezi měniči vzájemně. To je užitečné například při opravách měničů, kdy lze v případě problémů s vlastním nastavením přehrát nastavenou sadu parametrů z jiného měniče.

Frekvenční měniče SIMOVERT MASTERDRIVES umožňují pracovat s libovolně zvoleným módem řízení a regulace, který nastavíme parametrem P100. Tyto tzv. softwarově podporované řídicí struktury jsou v tab. 3.1.2-1.

U/f charakteristika s otáčkovým regulátorem	P100 = 0
U/f charakteristika	P100 = 1
U/f charakteristika pro textilní aplikace	P100 = 2
Vektorové řízení bez zpětné otáčkové vazby	P100 = 3
Vektorové řízení se zpětnou otáčkovou vazbou	P100 = 4

Tab. 3.1.2-1 Regulační struktury měniče SIMOVERT

Jejich grafická schémata jsou uvedena v příloze č.1. V tab. 3.1.2-2 jsou označení parametrů měniče, které je potřeba nejčastěji měnit během měření.

Označení	Význam parametru
P128	Maximální proudové omezení
P235	P složka regulátoru otáček
P240	I složka regulátoru otáček
P253	Kp zesílení proudových regulátorů VC
P254	Tn časová konstanta proudových regulátorů VC
P331	P složka proudového regulátoru SC
P332	I složka proudového regulátoru SC
P443	Žádaná hodnota otáček

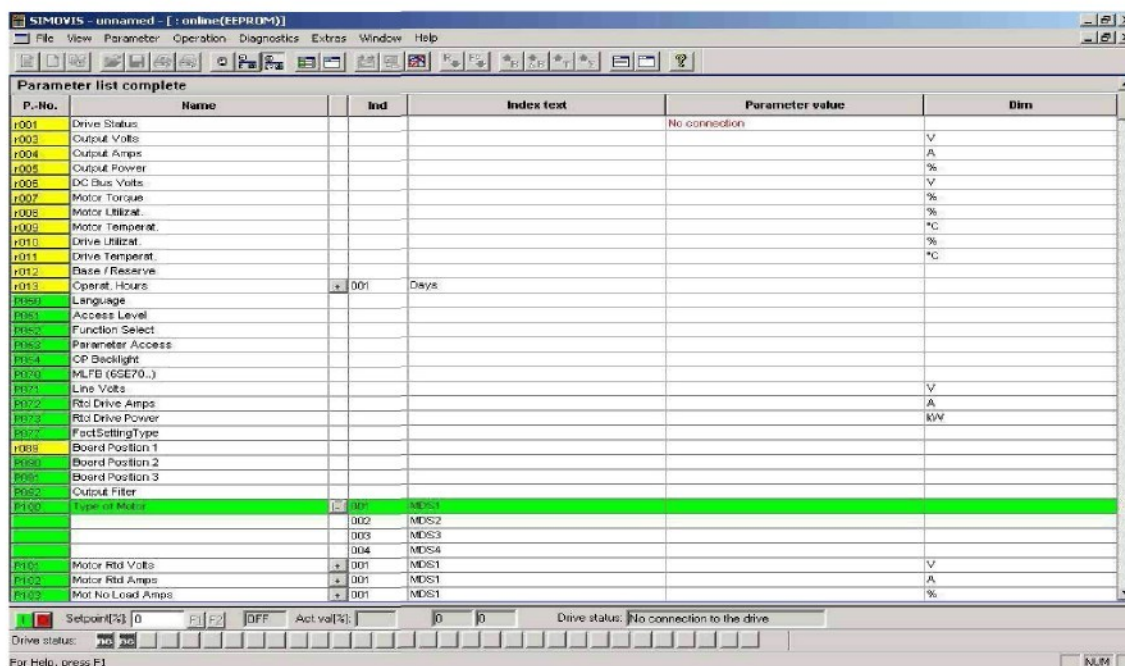
Tab. 3.1.2-2 Označení parametrů měniče často měněných v DP

Lze změnit ještě některé další parametry, jejichž změny nejsou z hlediska následujících simulací v DP tolik důležité. Takže je lze v zásadě ponechat. Při měření bylo v DP vycházeno z hodnot parametrů, které sám měnič automaticky nastavil jako optimální aktivací P115 = 1.

V této DP není možné uvádět podrobně všechny možnosti parametrování frekvenčního měniče SMOVERT. Tyto podrobnosti jsou uvedeny na CD v adresáři: cd:/PrilohyCD/Pouzita literatura/10. Příloha č.2 v DP navíc obsahuje podrobný strukturní diagram parametrování „nastavením pohonu“ P060=5.

3.1.3. Parametrování měniče programem Simovis

Během měření v DP je měnič ovládán zejména pomocí programového prostředí instalovaného na PC. Parametrizování vlastností měniče probíhá pomocí tohoto software přehledným nastavením hodnot parametrů v tabulce programu. Takové jako na obr. 3.1.3-1



Obr. 3.1.3-1 Základní okno kompletních parametrů Simovisu

Parametry nastavované pomocí programu Simovis mají stejné označení písmenem, číslem a indexem jako v případě parametrování měniče obecně. V tabulce přiřadíme ke zvolenému parametru hodnotu jakou potřebujeme. Další důležitou výhodou tohoto způsobu parametrování je, že nemusíme znát podrobně diagramy parametrování a udržovat pořadí volených parametrů, protože to provede sám program.

Předdefinované simovisové soubory (*.dnl) obsahují sadu většího množství nastavených parametrů, tzv. moduly. Vedle parametrů motoru (podle štítkových údajů) a požadovaných veličin jde zejména o grafická zobrazení blokových schémat módů řízení regulace. V rámci měření v DP nebyla grafická schémata Simovisu měněna, ale byla využita při tvorbě simulačních schémat. Jsou podrobně uvedena v příloze č.1.

Jinak ale bylo využito možnosti vytvářet vlastní moduly použitím funkce a tlačítka „free parametrization“. Například vytvoření menu „Casovac“ s výběrem parametrů speciálně k ovlivnění dynamického průběhu měření elektropohonu.

Program Simovis je základním prostředkem při spouštění a měření laboratorního elektropohonu v DP. Podrobnější informace o ovládání a nastavení jsou proto uvedeny v kapitole 3.2.2 popřípadě na CD v adresáři: cd:/PrilohyCD/Pouzita literatura/10/Anglicky/Simovis.

3.2. Postup měření

Metodika měření v DP spočívá ve využití programu Simovis. S jeho pomocí změníme některé z řídicích parametrů měniče a následně změříme průběhy veličin elektropohonu. Cílem měření je najít takovou optimální kombinaci nastavení parametrů (zejména PI složky regulátorů), která umožňuje získat co nejvhodnější průběh naměřených veličin (otáček, proudů,...).

K vyhledání nejvhodnější kombinace parametrů bylo vycházeno z parametrů měniče, které výrobce nastavil jako optimální. Tyto tzv. moduly nejsou přirozeně nejvhodnější pro konkrétní elektropohon. Fakt, že celý elektropohon pochází od stejného výrobce nemění nic na tom, že v konečném sestavení bylo využito různých typů motorů a měničů v kombinacích, které nemohl výrobce předpokládat. Toto poněkud narušuje kompatibilitu z hlediska optimálního průběhu měřených veličin. Dodejme, že k sestavení pohonu byl použit program PATH umožňující teoreticky výběr neoptimálnějších elektrotechnických prvků [9].

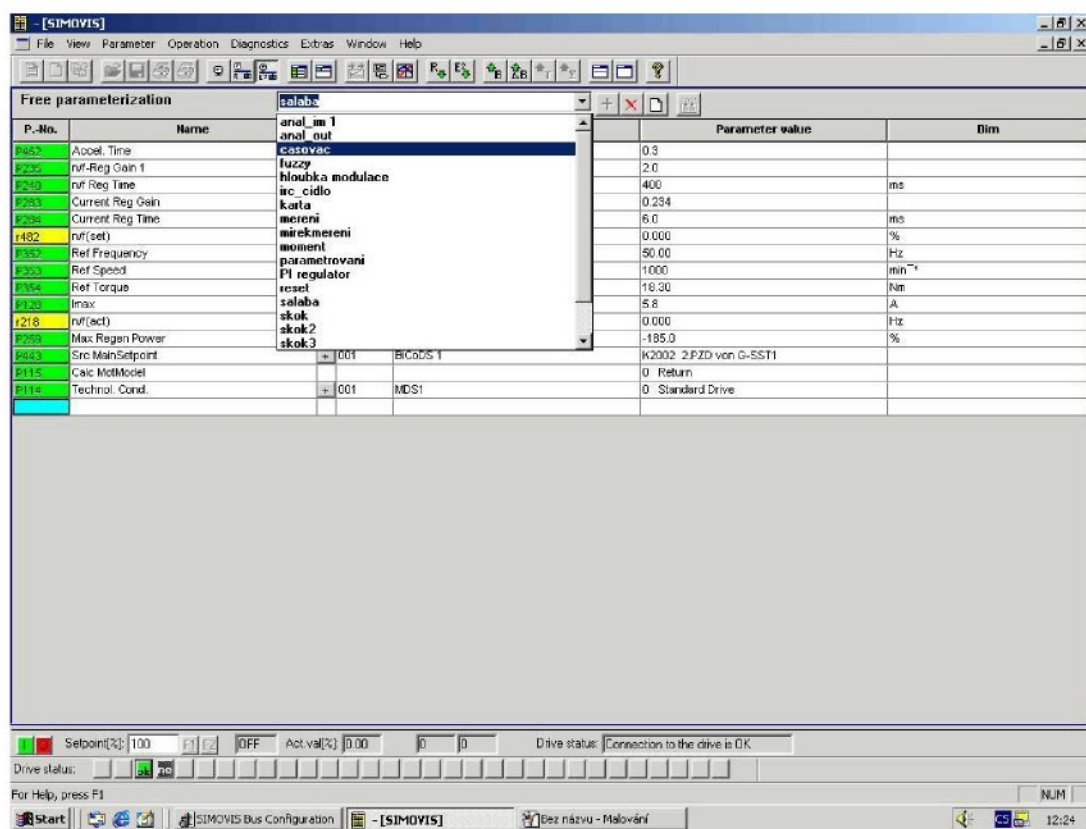
Při zpracování postupu měření v DP bylo přihlédnuto k bodu č.3 zadání DP - navrzení laboratorního cvičení. Tato kapitola by proto měla čtenáři DP usnadnit spouštění a zejména měření na elektropohonu. Proto jsou tu uvedené některé podrobnosti týkající se ovládání Simovisu během měření. Podrobný postup při měření a simulaci konkrétní laboratorní úlohy je uveden v příloze č.3.

Po spuštění Simovisu byl ikonou „add drive“ vybrán typ řízení měniče MASTERDRIVES VC (CU2). Většinu parametrů potřebných k řízení měniče nastavil sám program. Pro požadované nastavení frekvenčního měniče SIMOVERT bylo třeba napřed nastavit menu „nastavení pohonu“ P060 = 5 a parametrem P100 vybrat „mód řízení“. Ty jsou uvedeny v tab. 3.1.2-1. PI složky regulátorů byly nastaveny na začátku každého měření automaticky parametrem P115 = 7.

Zátěžný moment asynchronního motoru 15 Nm je vytvářen stejnosměrným motorem. Ten je ovládán nastavením usměrňovače SIMOREG a podle potřeby spouštěn vypínačem (usměrňovač byl stále nastaven a aktivní) podle toho, jestli se jedná o měření naprázdno a nebo se zátěží. Vyvozování zatížení je hlavním účelem stejnosměrného motoru. Proto tvoří jeho ovládání vedlejší část měření DP a hlavní pozornost je věnována změnám parametrů frekvenčního měniče SIMOVERT ovládajícího asynchronní motor.

Individuální změny parametrů si lze usnadnit výběrem nebo vytvořením menu „free parametrization“. Tato možnost je vhodná pro lepší přehlednost, kdy si zobrazíme parametry jen několika měněných veličin místo celé sady všech 900 možných parametrů.

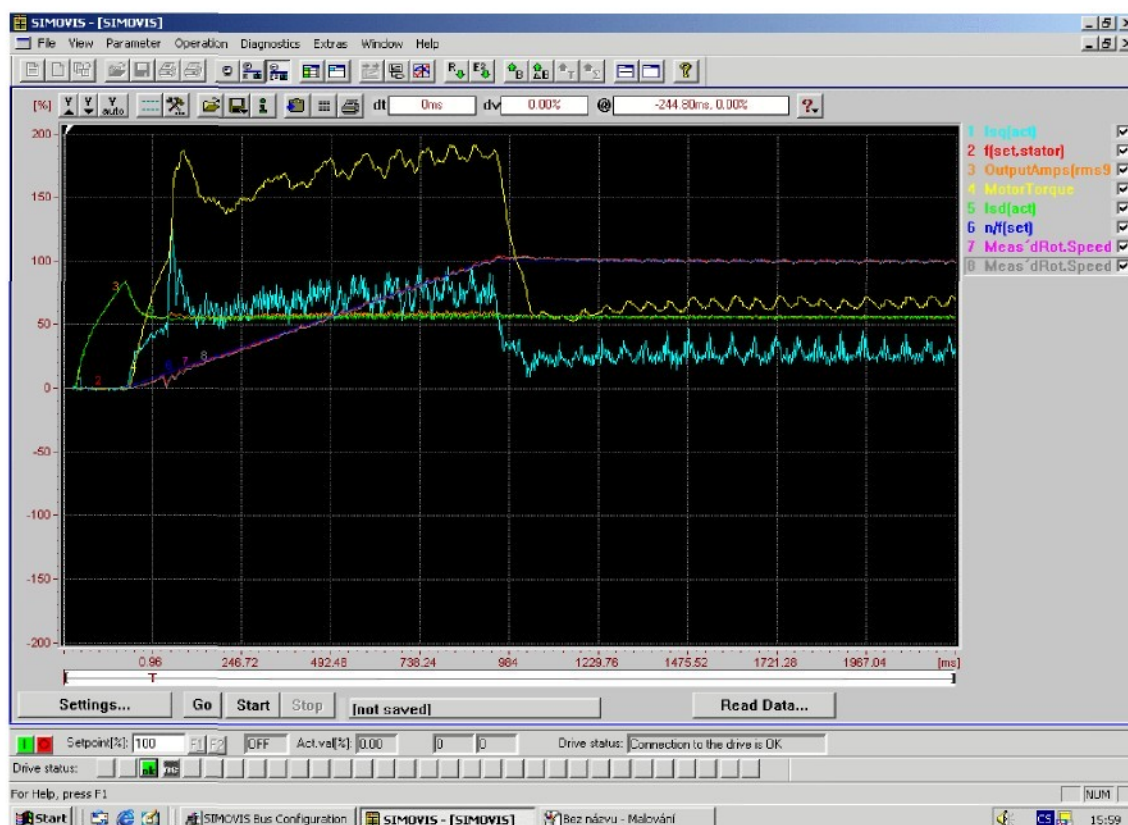
Pro změny dynamických vlastností průběhu elektromotoru bylo využito menu „casovac“ a pro PI složky regulátorů měniče vytvořeno nové menu „salaba“. Následující obr. 3.2-1. ukazuje přehled parametrů vybraných do menu „salaba“. Na roletovém menu na obrázku je vidět některá další menu. Ne všechna byla použita v rámci mé DP, většinou se vztahují k jiným pracím.



Obr. 3.2-1 Vlastní seznam parametrů řídících veličin „free parametrization“

Prostřednictvím menu „casovac“ lze měnit dynamický průběh asynchronního motoru. V rámci měření DP jde zejména o jeho rozběh. Jde zejména o dobu rozběhu P462, vzorkovací čas P357 a dobu zpoždění zapojení zátěže parametrem U294 nazvaným „time timer“.

Grafické okno pro sledování naměřených průběhů veličin otevřeme ikonou „trace“. Na obr. 3.2-2 je uvedena ukázka tohoto měřicího okna se zobrazením naměřených veličin.



Obr. 3.2-2 Kompletní průběh naměřených veličin v grafickém okně „trace“ Simovisu pro VC 1000 ot/min

Pomocí tlačítka „settings...“ v tomto okně vybíráme jednotlivé signály, které chceme zobrazit. Vybíráme je podle označení konektorů. Přitom je třeba dbát na stále stejné pořadí zobrazovaných signálů pro všechna měření, aby byly programy v Matlabu pro zobrazení simulovaných a naměřených veličin schopné uložené výsledy měření přechít.

Podle vybraného modu řízení (parametr P100) rozlišujeme regulace na skalární a vektorové řízení. Pro vizualizaci těchto dvou skupin módů řízení uvedených v tab. 3.1.2-1 musíme dodržet odlišné pořadí výběru měřených veličin v okně Simovisu. Pořadí je uvedeno v tab. 3.2-1 a v tab. 3.2-2.

Zobrazované signály pro skalární řízení:

konektor	Signál	Veličina	Význam
KK0075	n/f(set)	Otáčky	Skutečné otáčky
KK0199	f(set,stator)	Otáčky	Žádaná hodnota frekvence na vstupu střídače
K0021	OutputVolts	Napětí	Výstupní napětí
K0242	Output Amps(rms9)	Proud	Výstupní proud – efektivní hodnota
K0024	Motor Torque	Moment	Moment motoru po vyhlazení se zpožděním
K0241	Torque(act)	Moment	Skutečný moment
K0184	Isq(act)	Proud	Momentotvorná složka proudu
KK0091	Meas'dRot.Speed	Otáčky	Signál z IRC čidla bez vyhlazení

Tab. 3.2-1 Seznam a pořadí uložení naměřených veličin pro skalární řízení

Zobrazované signály pro vektorové řízení:

konektr	Signál	Veličina	Význam
K0184	Isq(act)	Proud	Momentotvorná složka proudu
KK0199	f(set,stator)	Otáčky	Žádaná hodnota frekvence na vstupu střídače
K0242	OutputAmps(rms9)	Proud	Výstupní proud – efektivní hodnota
K0024	Motor Torque	Moment	Moment motoru po vyhlazení se zpožděním
K0182	Isd(act)	Proud	Tokotvorná složka proudu
KK0075	n/f(set)	Otáčky	Skutečné otáčky
KK0091	Meas'dRot.Speed	Otáčky	Signál z IRC čidla bez vyhlazení

Tab. 3.2-2 Seznam a pořadí uložení naměřených veličin pro vektorové řízení

V tomto pořadí se naměřené průběhy veličin ukládají jako textové matice hodnot. Je potřeba dodržet toto uvedené pořadí nebo by se v grafech při vizualizaci zobrazovaly jiné hodnoty. Současně s měřeními veličinami se v prvním sloupci ukládá časová osa, se kterou je při tvorbě vizualizačních programů třeba také počítat.

Ne vždy mají naměřené veličiny očekávaný průběh. Nejčastější potíží je kmitavý průběh. Zejména je problém pokud takto kmitá například průběh otáček. Při reálném spuštění měniče se tento nežádoucí jev projeví vznikem silných a slyšitelných rázů. Ty by mohly při dlouhodobém spuštění zařízení poškodit motor.

V takovém případě je třeba změnit hodnoty některých parametrů. Převážně byly měněny PI složky regulátorů. Pro vyhlazení průběhu byly P složky obecně snižovány a I složky zvyšovány, dokud nebylo dosaženo maximálně možného nekmitavého průběhu veličin.

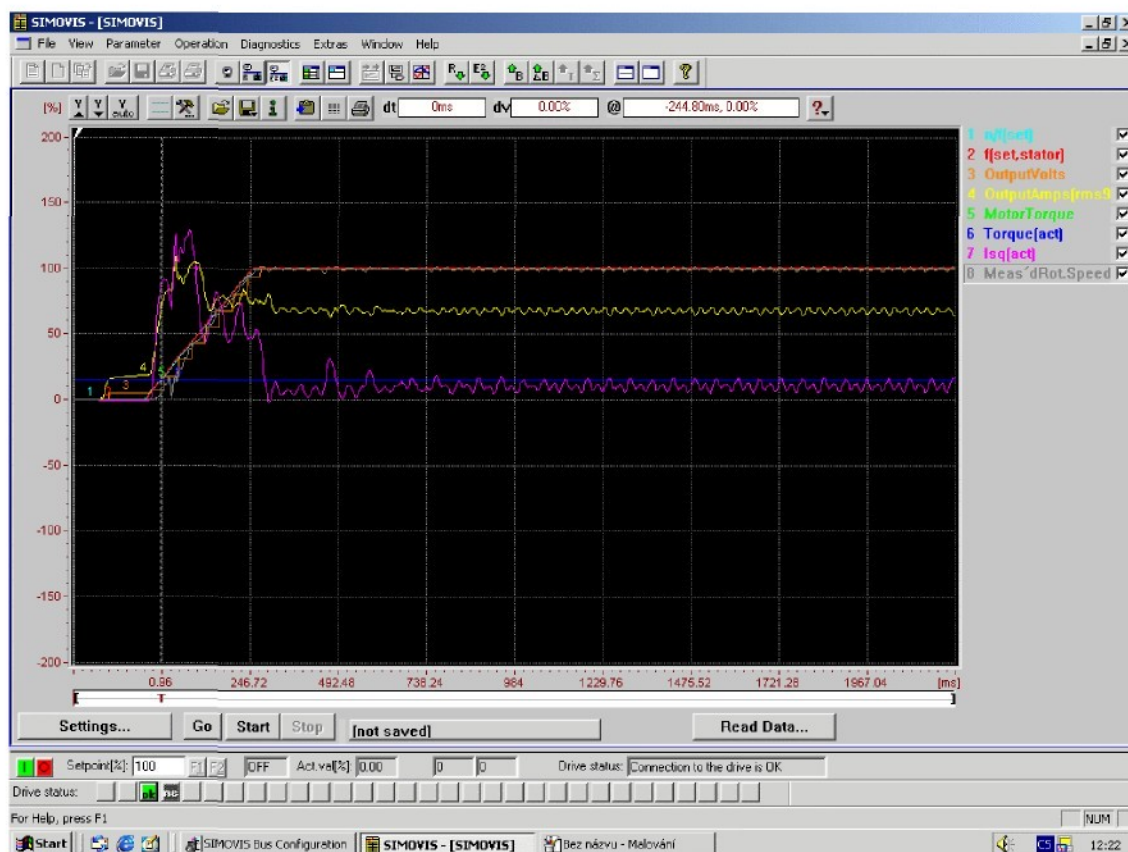
Měříme veličiny proud, napětí, moment a otáčky. Při jejich určování je využito technologie BICO popsané v kapitole 3.1.1. Na výstupy konektorů lze vyvést všechny důležité signály z vnitřní struktury měniče a na takto vyvedené signály pohlížet jako na měřicí body. Hodnota aktuální v určitém místě měniče je vyvedena přímo do měřicího zařízení, podle volby. Jedno měřicí zařízení konkrétní veličiny tak může určit její hodnotu téměř v libovolném bodě struktury měniče.

Hodnotu otáček měříme inkrementálním optoelektronickým snímačem. Elektrické pulsy generované snímačem jsou zpracovány v čítači, který je součástí frekvenčního měniče. Podrobnosti o IRC jsou uvedené na CD v adresáři: cd:/PrilohyCD/Vlastní tvorba/Snimace otacek.

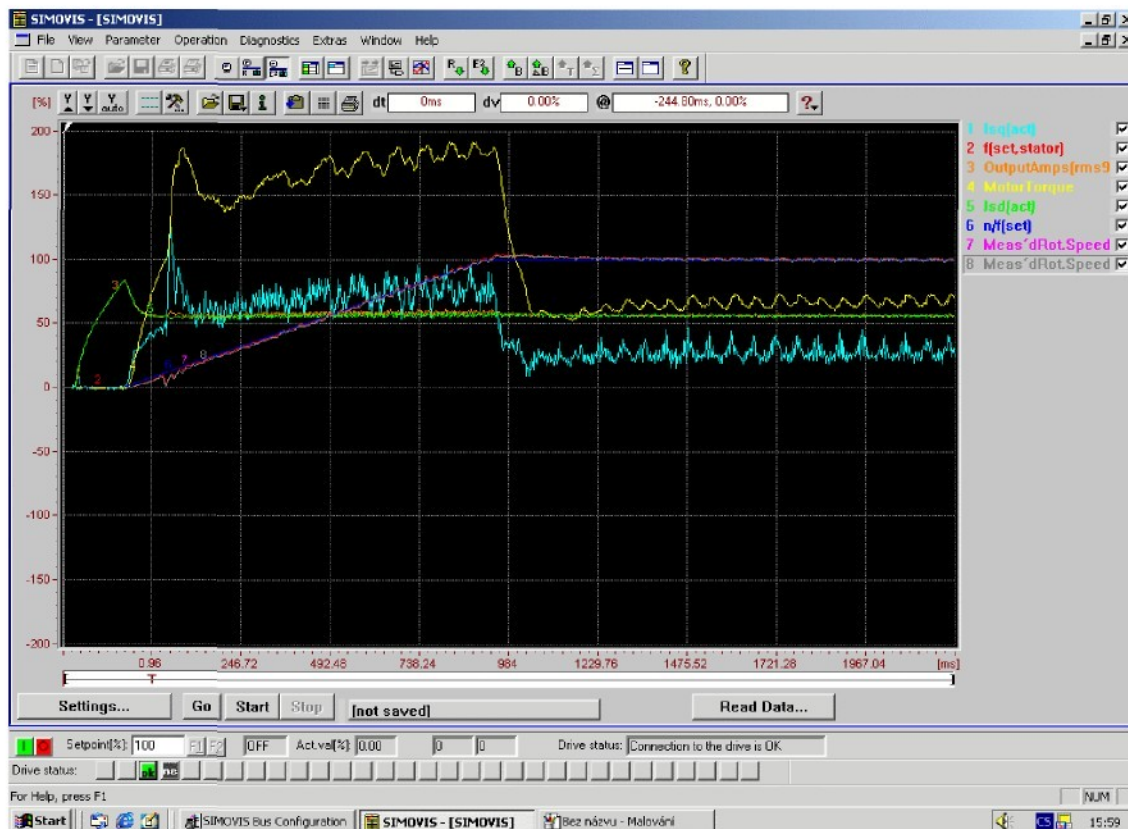
Důležité je upozornit, že hodnoty zadaných a také měřených veličin jsou uvedeny v procentech referenčních hodnot. Pokud není uvedeno a nastaveno jinak jsou:

- Otáčky 1000ot/min
- Proud 3.9A
- Moment 18.3Nm
- Napětí 400V
- Frekvence 50Hz.

3.3. Výsledky měření



Obr. 3.3-1 Kompletní průběh veličin pro skalární řízení 1000 ot/min



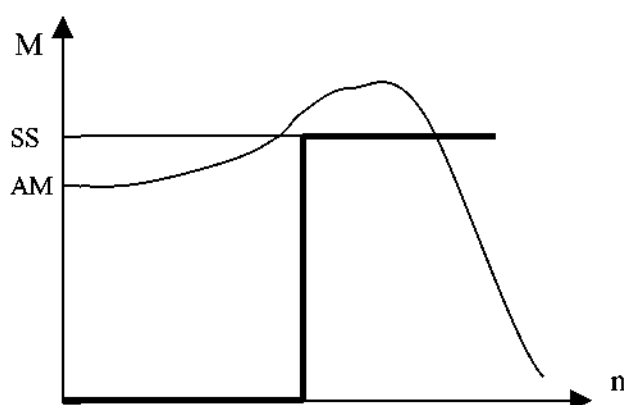
Obr. 3.3-2 Kompletní průběh veličin pro vektorové řízení 1000 ot/min

Na obr. 3.3-1 a obr. 3.3-2 jsou ukázky kompletních naměřených průběhů veličin pro 1000 ot/min satorově a vektorově regulovaných. Oba průběhy jsou při chodu naprázdno a s různě dlouhou rozběhovou rampou.

Je vidět, že při vektorovém řízení dochází k větším zákrmitům regulovaných otáček než při plynuleji fungujícím skalárním řízení. Teoreticky by tomu mělo být naopak, ale obě regulované složky (tokotvorná a momentotvorná) se vzájemně ovlivňují v důsledku většího zpoždění při vektorovém řízení.

Jiný důležitý výsledek měření je patrný z obr. 3.3-4 a obr. 3.3-5. Ty zobrazují průběh skutečných a žádaných otáček 100 za minutu při stejné délce rozběhové rampy na 1s. Rozdíl je v době zapojení zátěžného momentu generovaného stejnosměrným motorem točícím se v opačném smyslu. Jednak 0.23s a 1s po spuštění asynchronního motoru.

Tento problém lze vysvětlit porovnáním momentových charakteristik rozběhu stejnosměrného a asynchronního motoru. Ty jsou uvedeny na obr. 3.3-5 názorně v jednom grafu.

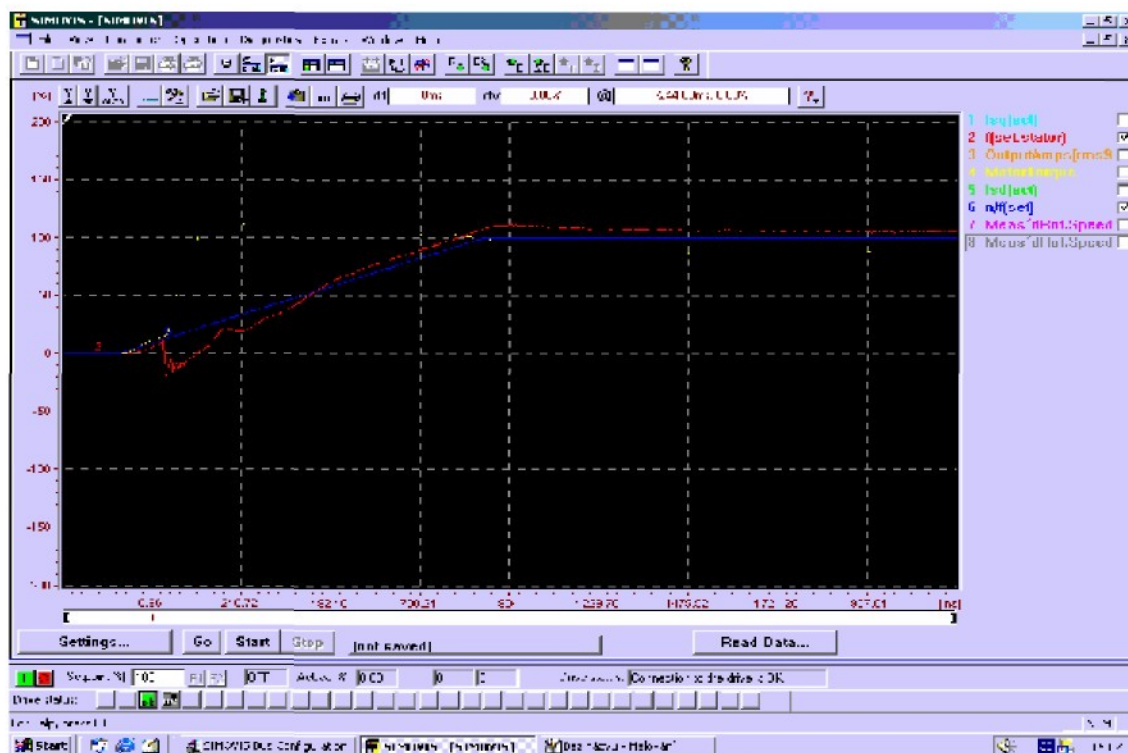


Obr. 3.3-3 Momentové charakteristiky rozběhu AM a SS

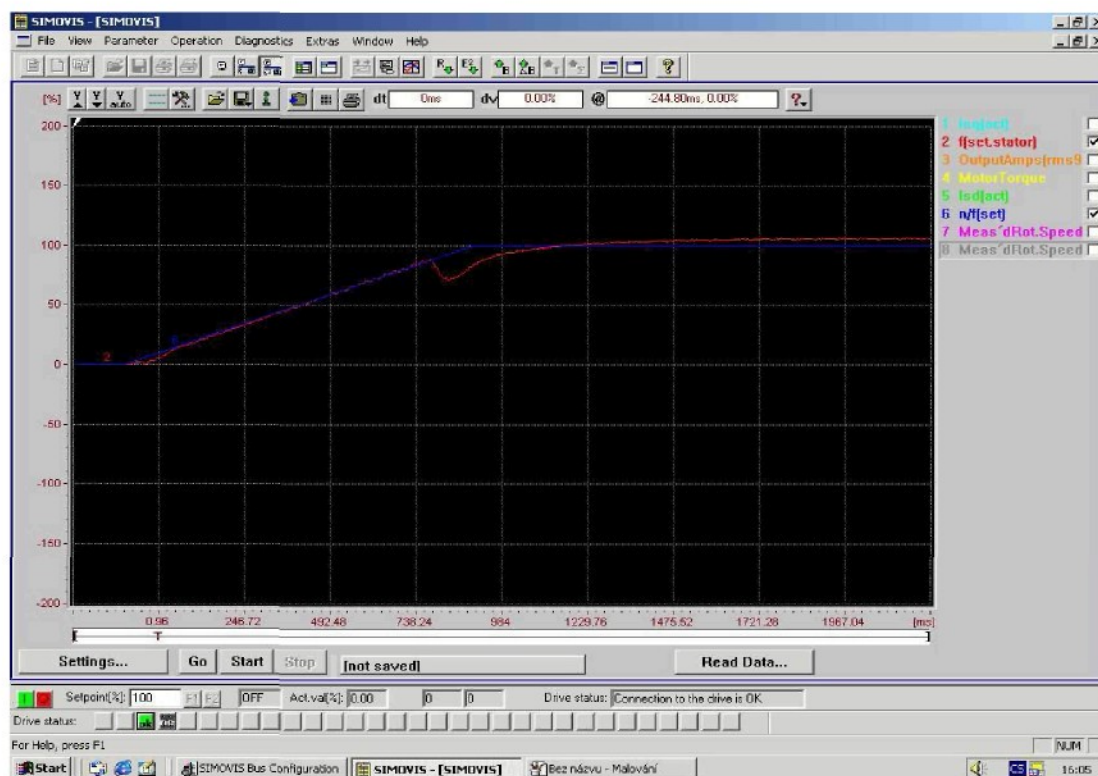
Při současném zapnutí asynchronního a stejnosměrného motoru se AM s nižším rozběhovým momentem vůbec nerozběhne a bude se točit na opačnou stranu. AM přejde do generátorického stavu. Z obrázku vyplývá, že je třeba nastavit asynchronní motor na více otáček. Jak však ukázala měření na reálném elektropohonu, ani to vždy nezabrání výrazným překmitům AM do záporných otáček, popřípadě odpojení od zátěže bezpečnostním systémem elektropohonu.

Řešením je zavedení časového posunutí zapojení zátěže. Připojení se pak projeví drobnou odchylkou skutečných hodnot otáček od žádaných. Čím později je zátěž připojena, tím plynulejší je průběh skutečné veličiny. To lze ostatně vidět z obrázků 3.3-3 kdy je zátěž spuštěna krátce po AM a z obr. 3.3-4 kdy je zátěž spuštěna na již rozeběhnutý AM na konci doby rozběhu.

V DP se tento jev uplatnil zejména při konstrukci simulačních modelů (kap.4). Zavedení zpoždění připojení zátěžného momentu více napodobilo reálný pohon a odstranilo problémy s růstem záporných hodnot veličin při teoretických simulacích.



Obr. 3.34-3 Naměřený průběh otáček při zapnutí M_z za 0.23 s



Obr. 3.3-5 Naměřený průběh otáček při zapnutí jmenovitého zatížení za 1 s

4. Simulace elektropohonu

Simulace elektropohonu je páteří celé DP. Simulační programy jsou vytvořeny v programovém prostředí Matlab. Cílem simulace je dosáhnout maximální možné shody při srovnání průběhů veličin získaných touto simulací s naměřenými. Simulaci a zobrazení průběhů je vhodné ovlivňovat s pomocí grafického uživatelského rozhraní.

4.1. Sestavení simulačních schémat

Sestavení simulačních schémat je programovým vyjádřením blokových schémat skutečného elektropohonu podle zadání č.2 DP. Konkrétně jde o model bloků asynchronního motoru a usměrňovače SIMOREG. Stejnoseměrný elektromotor je v simulačních schématech reprezentován jako konstantní zdroj zátěžného momentu M_z vzhledem k těžišti celé práce, která se týká dle zadání č.1a frekvenčního měniče SIMOVERT.

Simulační schémata elektropohonu jsou vytvořena pomocí prostředí Matlab - Simulink. V tomto software, vhodném k simulaci dynamických průběhů elektrických veličin, jsou programově vyjádřena bloková schémata funkcí reálného pohonu.

Podrobnosti o simulačním software Matlab a jeho grafické nadstavbě Simulink jsou uvedeny na CD v adresářích: cd:/PrilohyCD/Vlastní tvorba/Matlab simulink resp. cd:/PrilohyCD/Pouzita literatura/07.

4.1.1. Model asynchronního motoru

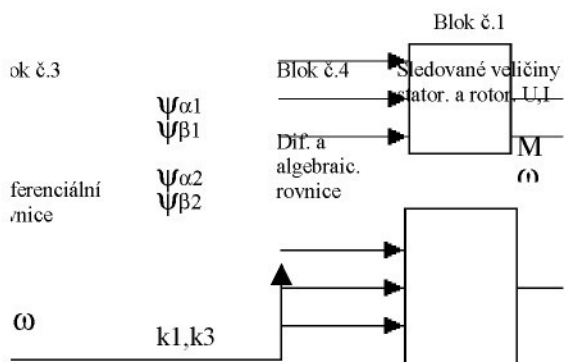
Model asynchronního motoru použitý v simulačních programech DP konstrukčně vychází z modelu vytvořeného mým konzultantem [8] resp. z literatury VSB Ostrava [4]. Tento model byl vytvořen podle konkrétního elektropohonu, kterému odpovídá více než všeobecné elektrické výkonové modely uvedené v toolboxu Power Blockset System programu Simulink.

Obecná teorie asynchronních motorů byla v DP zredukována na nezbytný počet rovnic, jejichž softwarová interpretace byla použita při tvorbě modelu. Zájemce o podrobnosti odvozování vztahů může najít odkazy na CD v adresářích: cd:/PrilohyCD/Pouzita literatura/03 resp. cd:/PrilohyCD/Vlastní tvorba/Elektrické motory.

Model asynchronního motoru je poměrně složitý, proto bylo nutno přijmout některé zjednodušující předpoklady:

- napájecí soustava je trojfázová souměrná
- celý trojfázový systém se přepočítává na dvojfázový
- vícefázový rotor s kotvou nakrátko se považuje za ekvivalentní trojfázový rotor
- parametry rotoru se přepočítávají na stator
- odpory a indukčnosti jednotlivých fází jsou shodné
- nezahrnuje se vliv nasycení hlavní - magnetizační indukčnosti (tzv. nesycený model) uvažovanou jako konstantní.
- zanedbává se vliv vyšších harmonických a skin efektu
- zanedbává se vliv teploty
- zanedbávají se ztráty v železe
- mechanické ztráty se připočítávají k zátěžnému momentu
- šířka vzduchové mezery se považuje za konstantní
- magnetizační charakteristika je lineární

Na obr. 4.1.1-1 je uvedeno blokové schéma modelu asynchronního motoru. Vyjadřuje názorně vztahy mezi rovnicemi asynchronního motoru uvedenými v této kapitole.



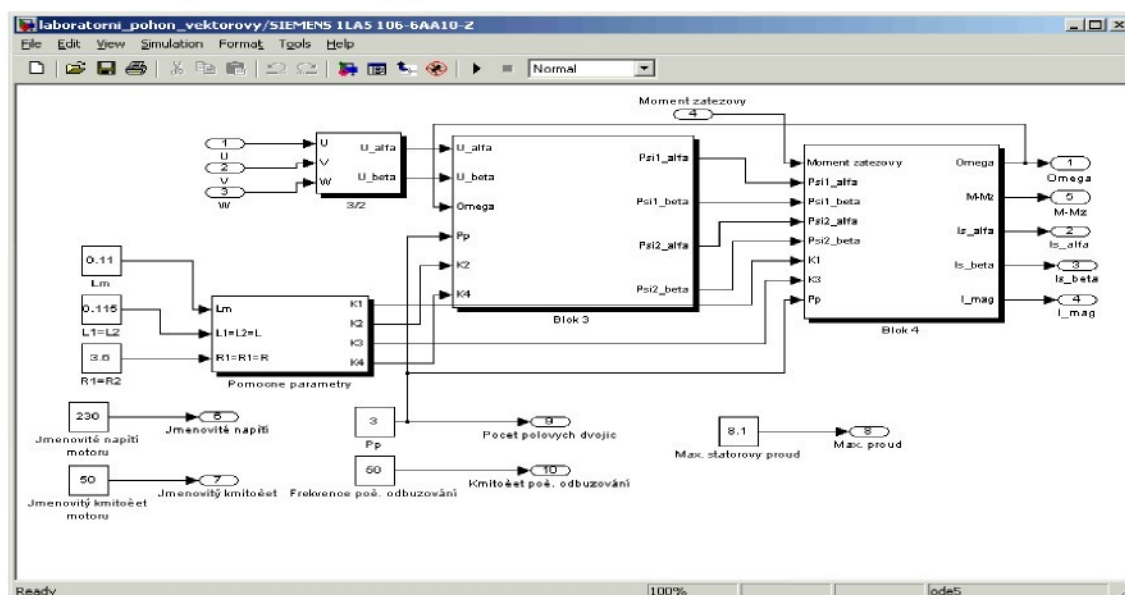
motoru

Vstupními veličinami modelu jsou zejména:

- hodnoty třífázového napětí U_a, U_b, U_c
- satorové a rotorové indukčnosti jedné fáze vinutí $L_1 = L_2 = L$
- satorové rotorové odpory jedné fáze vinutí $R_1 = R_2 = R$
- zátěžný moment M_z
- magnetizační indukčnost L_m

Hodnoty těchto veličin jsou určeny podle štítkových údajů uvedených v tab. 3.1.-1. Abychom získali výstupní veličiny jako satorové či rotorové proudy nebo moment M či úhlovou rychlost rotoru ω , potřebujeme vypočítat spřažené magnetické toky $\Psi_{\alpha 1}, \Psi_{\alpha 2}, \Psi_{\beta 1}, \Psi_{\beta 2}$.

Na obr. 4.1.1-1 je simulační zapojení bloků z obr. 4.1.1-1 v DP

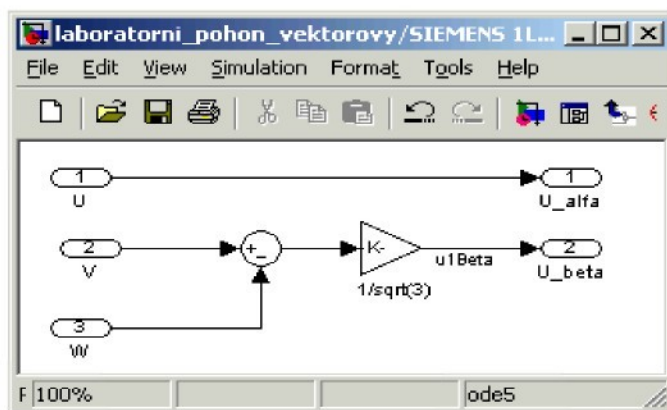


Obr. 4.1.1-2 Simulační schéma nesyčeného modelu asynchronního motoru

Třífázové napětí převedeme do dvoufázového systému α, β pomocí vztahů:

$$\begin{aligned} u_{\alpha} &= u_a \\ u_{\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (u_b - u_c) \end{aligned} \quad (4.1)$$

uvedených jako simulační schéma v modelu na obr. 4.1.1-3.

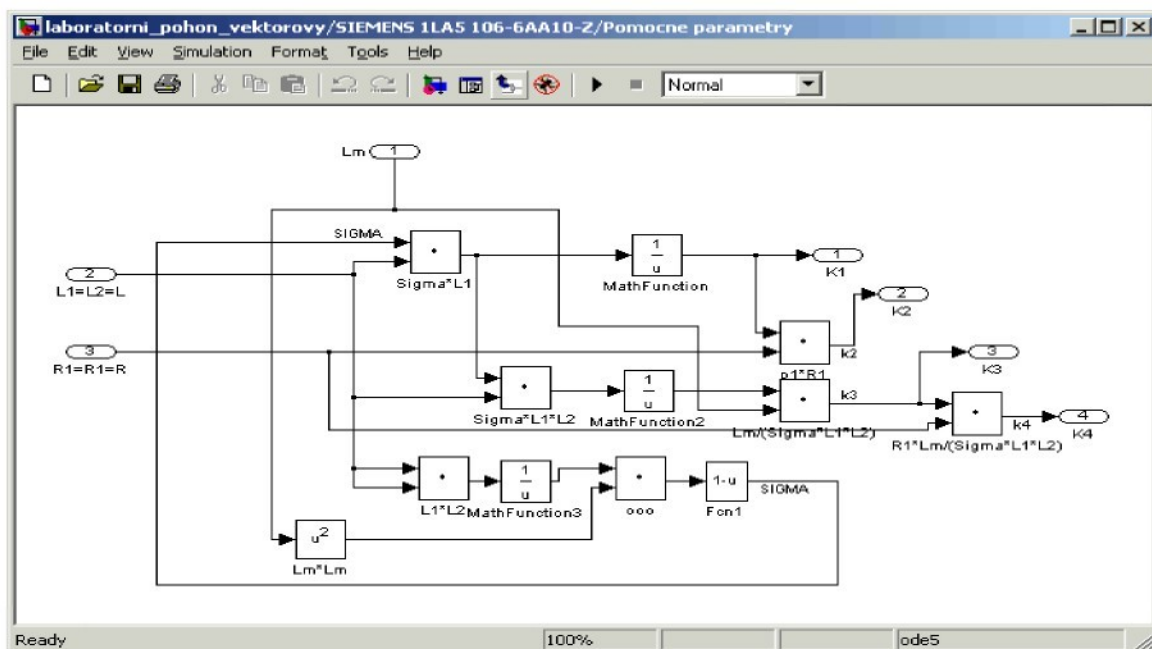


Obr. 4.1.1-3 Simulační schéma převodu 3/2 v modelu AM

Indukčnosti a odpory přepočítáme na pomocné koeficienty pro usnadnění výpočtů v rovnicích magnetických toků. Jde o koeficienty:

$$\begin{aligned} \sigma &= 1 - L_m^2 / L^2 \\ k_1 &= 1 / (\sigma \cdot L) \\ k_2 &= R / (\sigma \cdot L) \\ k_3 &= L_m / (\sigma \cdot L^2) \\ k_4 &= R \cdot L_m / (\sigma \cdot L^2) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Simulační schéma bloku pro výpočet těchto parametrů je na obr. 4.1.1-4.



Obr. 4.1.1-4 Simulační schéma výpočtu pomocných parametrů

Při výpočtu spřažených magnetických toků vycházíme z rovnic uvedených v lit [4] pro výpočet statorových a rotorových proudů.

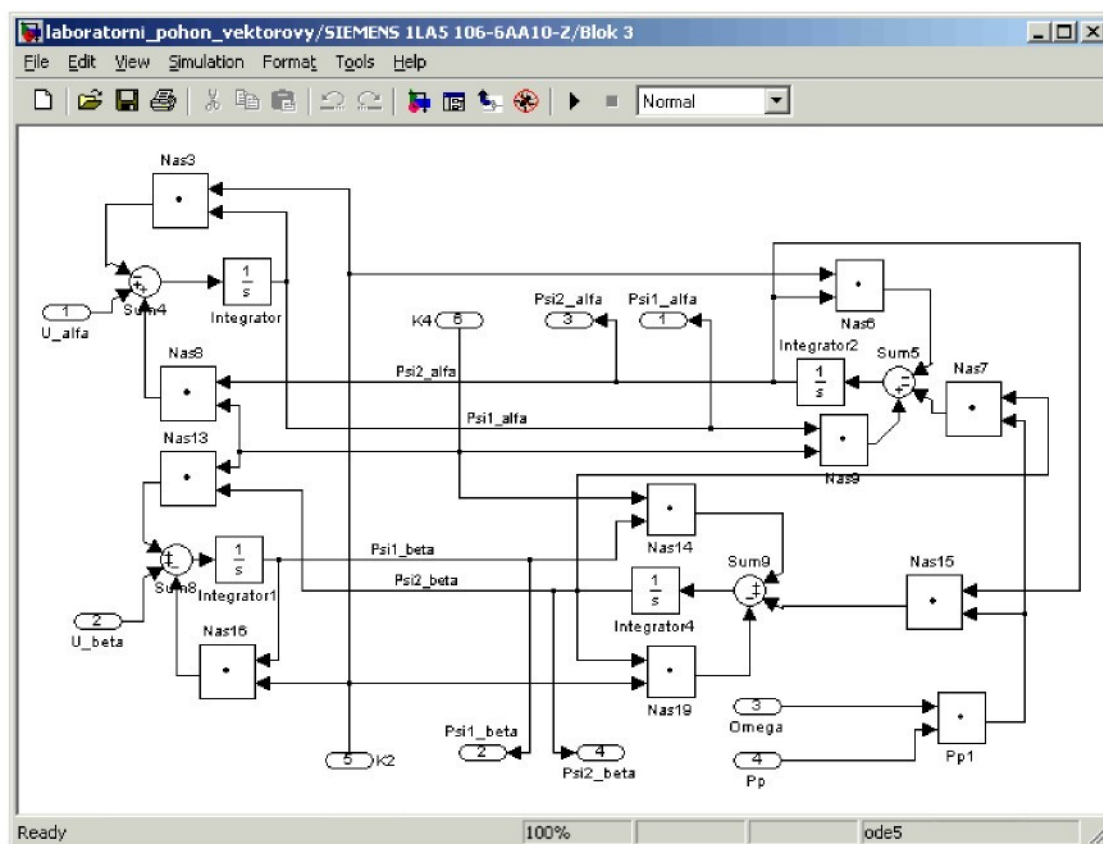
$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{1}{\sigma \cdot L} \cdot \Psi_1 - \frac{L_m}{\sigma \cdot L^2} \cdot \Psi_2 \\ i_2 &= \frac{1}{\sigma \cdot L} \cdot \Psi_2 - \frac{L_m}{\sigma \cdot L^2} \cdot \Psi_1 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Pokud tyto rovnice dosadíme do rovnic pro souřadnice pevně svázané se statorem (α, β) ve kterých uvažujeme nulová rotorová napětí, tak po integraci a algebraických úpravách (včetně pomocných koeficientů) získáme konečný tvar spřažených magnetických toků:

$$\begin{aligned} \Psi_{\alpha 1} &= \int k_5 \cdot \Psi_{\alpha 2} dt - \int k_2 \cdot \Psi_{\alpha 1} dt + \int u_{\alpha 1} dt \\ \Psi_{\beta 1} &= \int k_5 \cdot \Psi_{\beta 2} dt - \int k_2 \cdot \Psi_{\beta 1} dt + \int u_{\beta 1} dt \end{aligned} \quad (4.4)$$

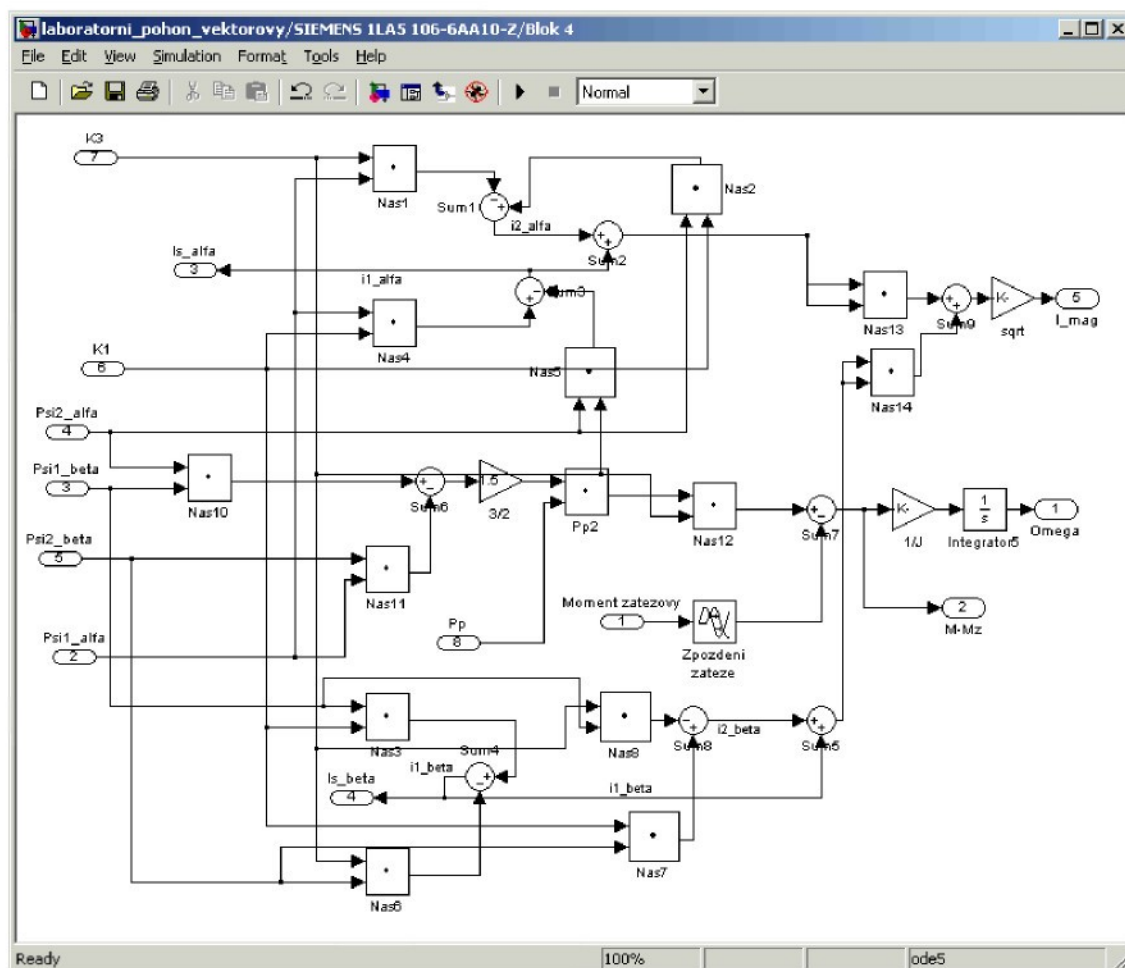
$$\begin{aligned} \Psi_{\alpha 2} &= \int k_5 \cdot \Psi_{\alpha 1} dt - \int k_2 \cdot \Psi_{\alpha 2} dt + \int \omega^* \cdot \Psi_{\beta 2} dt \\ \Psi_{\beta 2} &= \int k_5 \cdot \Psi_{\beta 1} dt - \int k_2 \cdot \Psi_{\beta 2} dt - \int \omega^* \cdot \Psi_{\alpha 2} dt \end{aligned} \quad (4.5)$$

Simulační zapojení odpovídající těmto rovnicím je na obr. 4.1.1-5.



Obr. 4.1.1-5 Simulační schéma výpočtu spřažených magnetických toků AM

Hodnotu ω^* , která se v rovnicích vyskytuje, převedeme zpětnou vazbou z bloku pro výpočet výstupních veličin, jehož simulační schéma zapojení je na obr. 4.1.1-6.



Obr. 4.1.1-6 Simulační schéma výpočtu výstupních veličin

Jednou z výstupních veličin je moment. Momentovou rovnici odvodíme ze vztahu pro okamžitý obecný elektrický výkon:

$$P_1 = A \cdot \text{Re} (U_1 \cdot I_1^*) \quad (4.6)$$

Hvězdičkou je označena konjugovaná veličina, jejíž imaginární složka je záporná. Parametr A vlastně udává přepočítávací koeficient pro výpočet výkonu v systémech s různým počtem fází.

Pro vektor proudu I_1 tedy platí: (4.7)

$$I_1 = i_{\alpha 1} + j \cdot i_{\beta 1}$$

a pro vektor proudu I_1^* platí: (4.8)

$$I_1^* = i_{\alpha 1} - j \cdot i_{\beta 1}$$

Dosazením rovnic pro satorové napětí v souřadnicích α, β a $K=2/3$ (kdy platí, že $i_{\alpha 1}^2 + i_{\beta 1}^2 = I_{1m}^2$) dostaneme vztah:

$$P_1 = A \cdot \text{Re} [R_1 \cdot I_{1m}^2 + \omega_1 (\Psi_{\alpha 1} \cdot i_{\beta 1} - \Psi_{\beta 1} \cdot i_{\alpha 1})] \quad (4.9)$$

První část tohoto vztahu udává ztráty ve statorovém vinutí:

$$P_z = A \cdot \operatorname{Re}(R_1 \cdot I_{1m}^2) \quad (4.10)$$

A druhá část tohoto vztahu udává výkon předávaný přes vzduchovou mezeru:

$$P_\delta = A \cdot \operatorname{Re} [\omega_1 (\Psi_{\alpha 1} \cdot i_{\beta 1} - \Psi_{\beta 1} \cdot i_{\alpha 1})] \quad (4.11)$$

Pomocí známých vztahů:

$$M_i = \frac{(1-s) \cdot P_\delta}{\omega_{\text{mech}}} \quad (4.12)$$

$$\frac{\omega_{\text{mech}}}{1-s} = \frac{\omega_1}{p_p} \quad (4.13)$$

kde ω_{mech} je skutečná úhlová frekvence rotoru, ω_1 je úhlová frekvence ve statorovém vinutí, p_p je počet pólových dvojic a s je skluz, získáme po úpravě vztah:

$$M_i = \frac{p_p \cdot P_\delta}{\omega_1} \quad (4.14)$$

Dosazením do rovnice výkonu přes vzduchovou mezeru získáme hledanou momentovou rovnici:

$$M_i = 3/2 \cdot p_p \cdot (\Psi_{\alpha 1} \cdot i_{\beta 1} - \Psi_{\beta 1} \cdot i_{\alpha 1}) \quad (4.15)$$

Po úpravě pomocí proudových rovnic získáme vztah:

$$M_i = 3/2 \cdot p_p \cdot k_3 \cdot (\Psi_{\alpha 2} \cdot \Psi_{\beta 1} - \Psi_{\alpha 1} \cdot \Psi_{\beta 2}) \quad (4.16)$$

s jehož pomocí spočítáme moment přímo pomocí získaných čtyř spřažených magnetických toků $\Psi_{\alpha 1}, \Psi_{\alpha 2}, \Psi_{\beta 1}, \Psi_{\beta 2}$. Úhlovou rychlost ω pak získáme integrací vztahu:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = (M_i - M_z) \quad (4.17)$$

jako:

$$\omega = \frac{1}{J} \cdot \int (M_i - M_z) dt \quad (4.18)$$

Konjugovanou hodnotu otáček ω^* , která se vyskytuje v rovnicích spřažených magnetických toků, určíme vzorcem:

$$\omega^* = \omega \cdot p_p \quad (4.19)$$

Vedle mechanických veličin jsou na výstupech z modelu také α, β souřadnice statorových a rotorových proudů potřebné pro modely regulačních schémat měniče.

Simulační schéma asynchronního motoru je doplněno o několik důležitých komponent. Vedle $I_{s\alpha}$ je třeba vypočítat $I_{s\beta}$. Zejména pro vektorové řízení je potřeba znát simulované průběhy obou veličin. Statorové (popř. rotorové) proudy určíme pomocí vztahů:

$$i_{s\alpha} = \psi_{s\alpha} * k_1 - \psi_{r\alpha} * k_3 \quad (4.20)$$

$$i_{s\beta} = \psi_{s\beta} * k_1 - \psi_{r\beta} * k_3 \quad (4.21)$$

Dalším vylepšením je zavedení zpoždění zátěže do modelu asynchronního motoru komponentou Transport Delay. To umožňuje v modelu realizovat důležitý problém reálného pohonu. Přiblížení modelu k reálnému měření, kde zpravidla nastavujeme zpoždění připojení zátěžného momentu proti rozběhu asynchronního motoru. Aby nedošlo k naměření záporných hodnot otáček asynchronního motoru, vlivem většího momentu stejnosměrného motoru. V případě reálného elektropohonu dojde zpravidla okamžitě během doby rozběhu k následnému nárůstu hodnot otáček asynchronního motoru. Pouze v případě menších otáček se jejich skutečná hodnota může ustálit na žádané výrazně později. Nebo se pohon automaticky vypne.

V případě simulačních schémat často dochází k trvalému růstu záporných hodnot. To je zejména pro případ momentů větších než jmenovitý moment 15 Nm. Tento poměrně nepříjemný jev je způsoben tím, že skutečnou úhlovou rychlost ω získáváme integrací rozdílu indukovaného a zátěžného momentu podle vzorce:

$$\omega = \frac{1}{J} \cdot \int (M_i - M_z) dt \quad (4.22)$$

Rozdíl $M_i - M_z$ ovšem může být záporný, zejména okolo počátku rozběhu asynchronního motoru. Tím se zároveň zvyšuje záporná hodnota indukovaného momentu a rychlost nasimulovaných „skutečných“ otáček trvale prudce klesá, protože na tak nízké hodnoty nereagují nasimulované regulátory a omezovače.

U reálného měniče k takovéto situaci prakticky nedochází kromě úzkého časového rozmezí při rozběhu. Toto „překlopení“ je důsledkem zbrždění skutečných otáček hnacího asynchronního motoru dočasně větším momentem stejnosměrného motoru.

4.1.2. Modely frekvenčního měniče SIMOVERT

Model frekvenčního měniče SIMOVERT je rozdělen na dvě základní schémata umožňující simulovat skalární a vektorové řízení asynchronního motoru. Tyto simulinkové programy odpovídají pěti základním módům řízení měniče, které v reálu volíme parametrem P100. Tyto módy jsou uvedeny v tab. 3.1.2-1 při popisu parametrování měniče. Jejich bloková schémata v programu Simovis jsou uvedena v příloze č.1. Tato bloková schémata tvořila důležitý podklad při vytváření vlastních simulačních programů v DP pomocí Matlab - Simulinku.

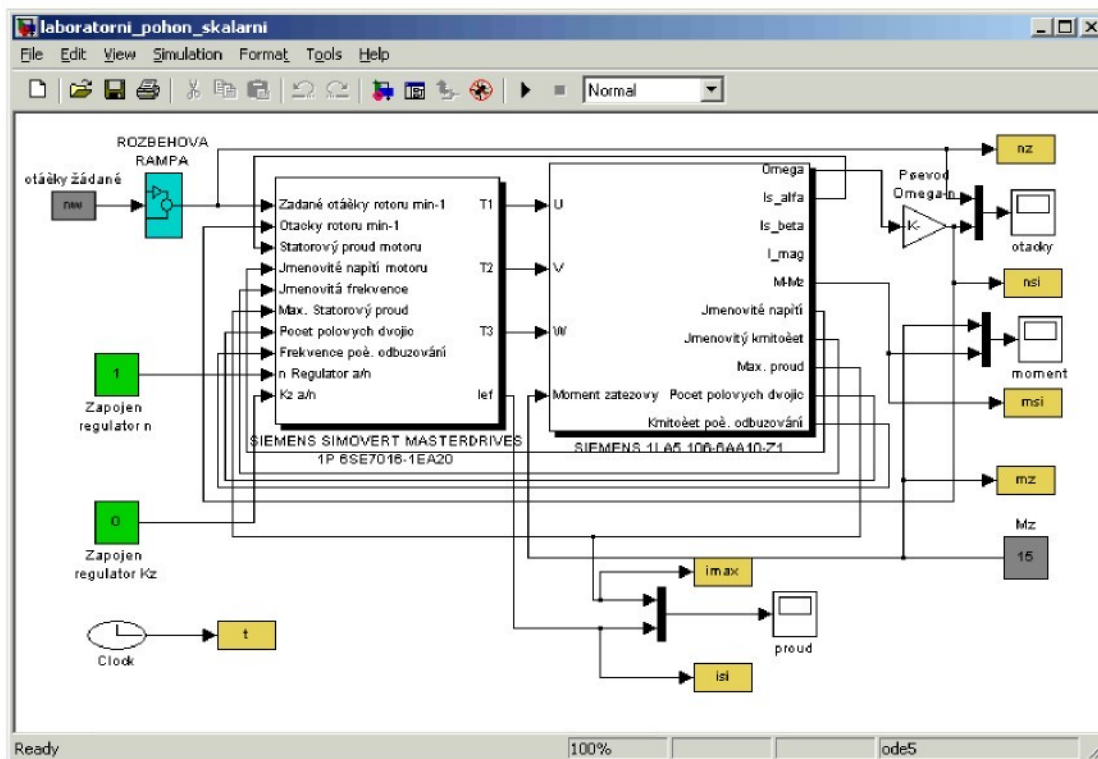
Významná část měření DP zahrnovala sledování dynamických vlastností při rozběhu. K simulaci těchto vlastností obsahují oba simulační modely blok „rozběhová rampa.“

a) Simulace skalárního řízení

Schéma pro simulaci skalárního řízení vychází z modelu podrobně uvedeného v lit. [8] případně [4]. Proto jsou zmíněny hlavně takové části, které mají význam pro mou diplomovou práci, zejména pokud byly změněny.

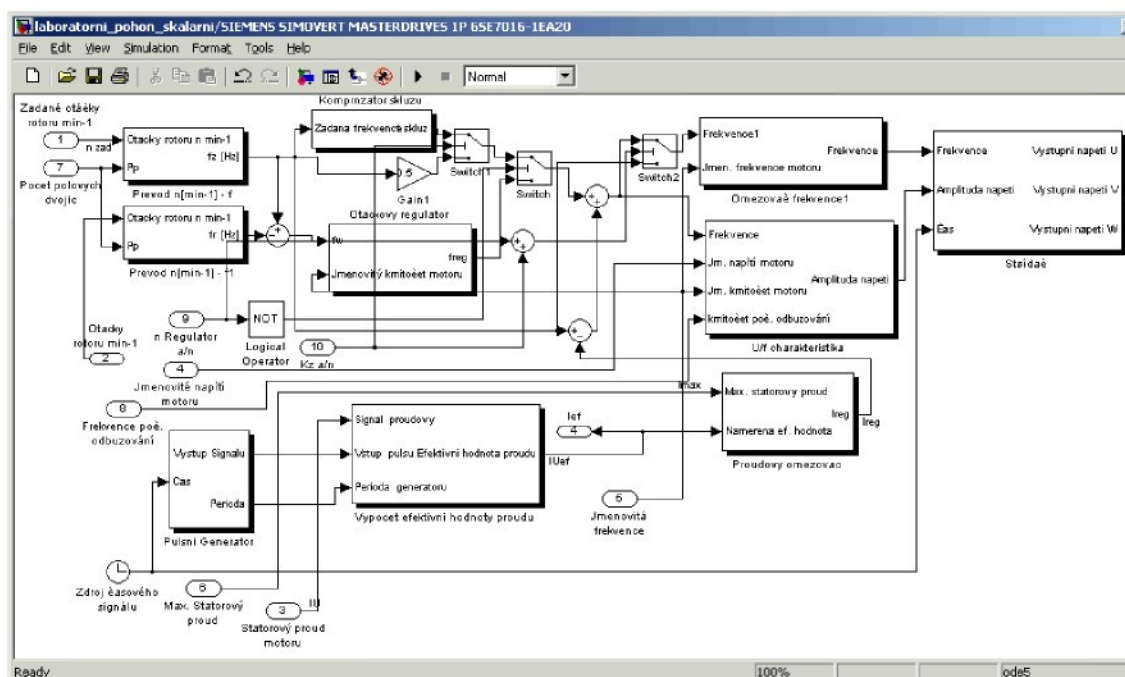
Vypnutí nebo zapnutí regulátoru otáček nebo kompenzátoru skluzu umožňuje všechny tři základní módy skalárního řízení měniče SIMOVERT. Ty se liší především jejich různou kombinací zapnutí nebo vypnutí.

Aktivaci regulátorů lze měnit dosazením logické 1 nebo 0 do zeleně označených komponent tak, jak jsou uvedeny v zapojení skalárně řízeného modelu měniče na obr. 4.1.2-1.



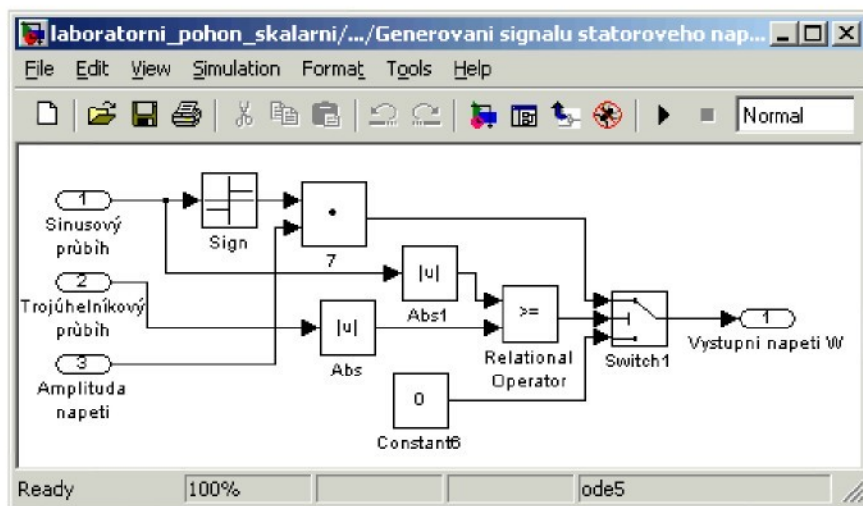
Obr. 4.1.2-1 Simulační schéma zapojení měniče při SC

Na obr. 4.1.2-2 je uvedena celá vnitřní struktura frekvenčního měniče SIMOVERT pro skalární řízení.



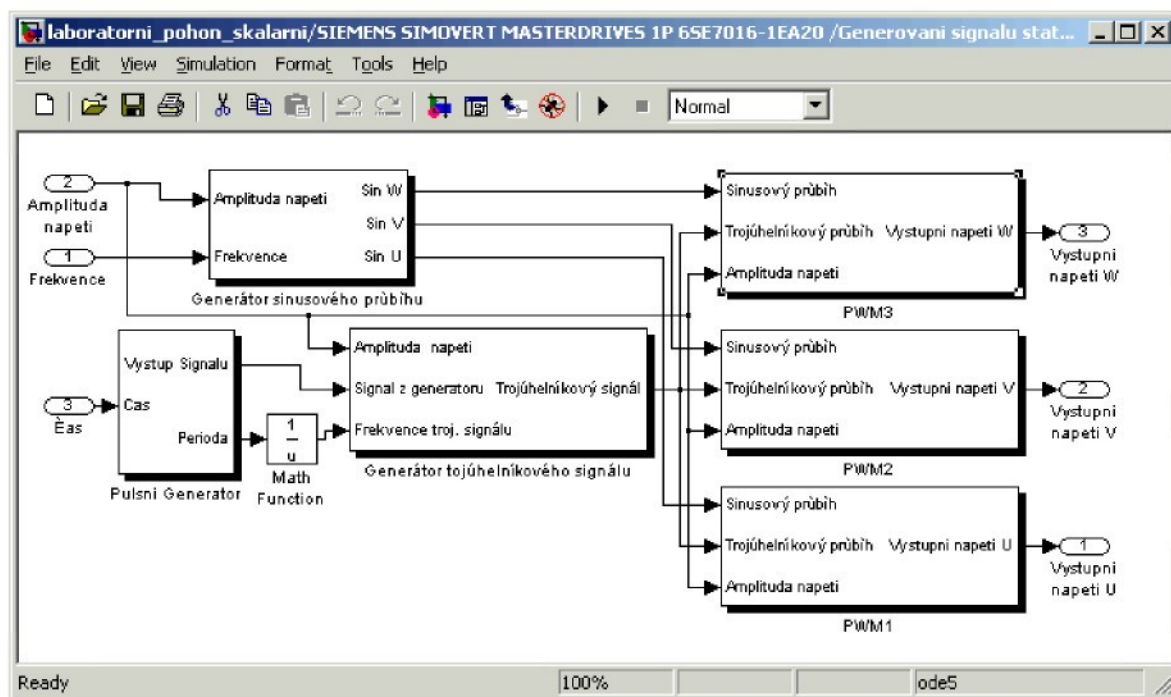
Obr. 4.1.2-2 Simulační schéma vnitřního uspořádání měniče při SC

Vliv polovodičových součástek a impedancí je zanedbán, takže konstantní veličiny jsou v modelu skutečně konstantní. Model měniče tak obsahuje jednoduchý systém PWM (pulsně-šířkové modulace), nepopisující děje v usměrňovači ani ve střídači. Blokové vyjádření této PWM je na obr. 4.1.2-3



Obr. 4.1.2-3 Simulační schéma PWM při SC

Celkové schéma „střídače“ generujícího satorový signál je uvedeno na obr. 4.1.2-4.



Obr. 4.1.2-4 Simulační schéma střídače generujícího satorový signál

Okamžitou hodnotu signálu satorového proudu motoru je třeba před dalším zpracováním v měniči změnit na efektivní. To lze nejsnáze provést pomocí vzorce

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int i^2 dt} \quad (4.23)$$

za předpokladu, že okamžitý proud i je periodický.

Vzhledem k tomu, že tento signál není v reálu ani v simulaci nikdy zcela periodický, je třeba proudový signál umocnit (blok „Math function“) na druhou a rozdělit do 2 větví. Jedna z nich je zpožděna o dobu T danou součinem periody bloku „pulsního generátoru“ s násobkem periody. Zpožděný a nezpožděný signál jsou od sebe odečteny a integrovány.

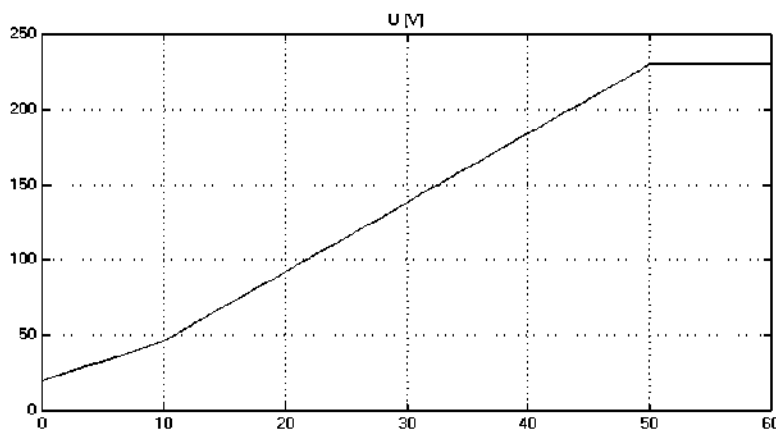
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{t} \int i^2 dt} \quad (4.24)$$

Doba t je proměnná, která nabývá hodnot simulace $t \in (0; T)$. Od času simulace T je $t = T$.

Také hodnotu otáček vstupujících do měniče je třeba převést z jednotek za minutu na frekvenci vzorcem

$$f = n \cdot P_p / 60 \quad (4.25)$$

Pomocí regulátorů a omezovačů měníme hodnoty frekvencí. Do střídače generujícího napěťový signál ovšem nevstupuje jen frekvence (omezená v bloku „Omezovač frekvence“), ale také amplituda. Tu určíme pomocí U/f charakteristiky. V reálném měniči SIMOVERT můžeme parametrem P330 navolit kvadratickou nebo lineární, která byla v DP ponechána. Je uvedena na obr. 4.1.2-5.

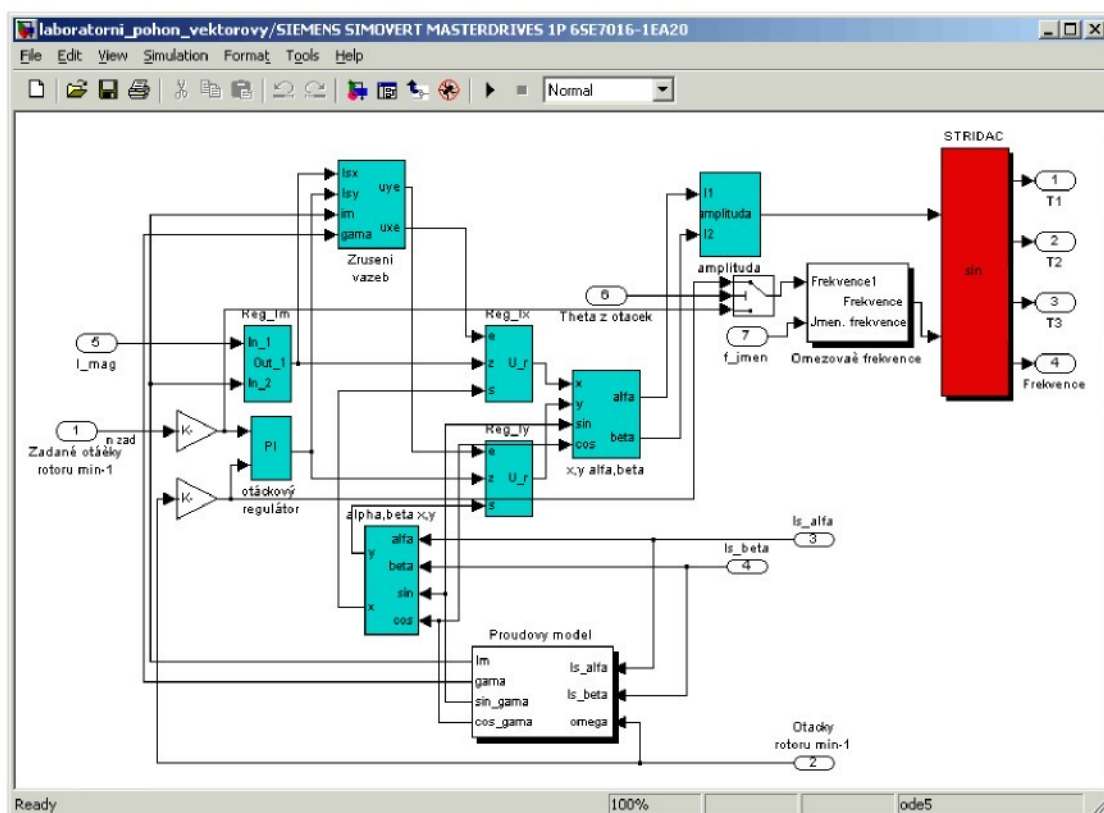


Obr. 4.1.2-5 Lineární U/f charakteristika frekvenčního měniče

Tato U/f charakteristika tak platí pouze pro jmenovité hodnoty:

- Hodnota zvýšení napětí = 20 V
- Koncový kmitočet zvýšení napětí = 10 Hz
- Jm. napětí motoru = 230 V
- Jm. kmitočet motoru = 50 Hz
- Kmitočet počátku odbuzování = 50 Hz

Charakteristika není lineární směrem do nulové hodnoty, protože v měniči musí být stále udržováno minimální napětí.



Obr. 4.1.2-7 Simulační schéma vnitřního uspořádání měniče pro VC

Při tvorbě modelu byly zčásti využity komponenty odlišné od skalárního řízení. Například blok střídače generujícího třífázové napětí je principiálně stejný jako při skalárním řízení. Rozdíly jsou ve způsobu získání amplitudy ke generaci třífázového signálu. Ta je určena efektivní hodnotou statorového proudu, který je třeba určit pomocí periody T generované pulsním generátorem.

Naproti tomu hodnota amplitudy při vektorovém způsobu řízení vzniká skládáním dvou průběhů složek regulované veličiny. Tokotvorné a momentotvorné. Výpočet efektivní hodnoty proudu je sice v modelu přítomen, ale pouze pro sledování výstupního signálu v grafu. Do regulačních dějů I_{ef} nezasahuje.

Jedním z důvodů nevhodnosti výpočtu efektivní hodnoty při vektorovém řízení, je její závislost na T . Je-li T větší, je výpočet efektivní hodnoty přesnější, ale také pomalejší. A naopak. Vektorové řízení je ovšem závislé zejména na rychlosti a přesnosti generování řídicích veličin v měniči. Proto vlastně byl tento způsob regulace realizován relativně nedávno s rozvojem výkonové polovodičové techniky.

Model pulsního generátoru T pro výpočet I_{ef} běží synchronně s generováním třífázového signálu ve střídači. Ve vektorovém řízení je toto vcelku zbytečné, naopak to může nepatrně zpomalovat vlastní regulační děje. Proto byl blok střídače v tomto druhém modelu nahrazen jednodušším. K výpočtu efektivní hodnoty pro potřeby grafického sledování je jeho frekvence teprve dodatečně vyvedena vně bloku měniče.

Jiným zjednodušením ve schématu střídače při vektorovém řízení je využití absolutní hodnoty statorového proudu pro generaci vstupního napětí v bloku Střídač. Z regulačního hlediska se však nic nemění, protože není regulována tato absolutní skalární hodnota, ale prostorový vektor proudu. Z jeho složek vznikne skalární hodnota až po skončení regulace.

Model asynchronního motoru je obdobný jako v případě skalárního řízení, ale rozšířen o výpočet a vývoody průběhu satorových proudů v systému α, β . Kromě těchto dvou komponent bylo při tvorbě modelu použito literatury [4].

$$T_r = \frac{L_r}{R_w} = \frac{L_h + L_r \sigma}{R_w} \quad (4.25)$$

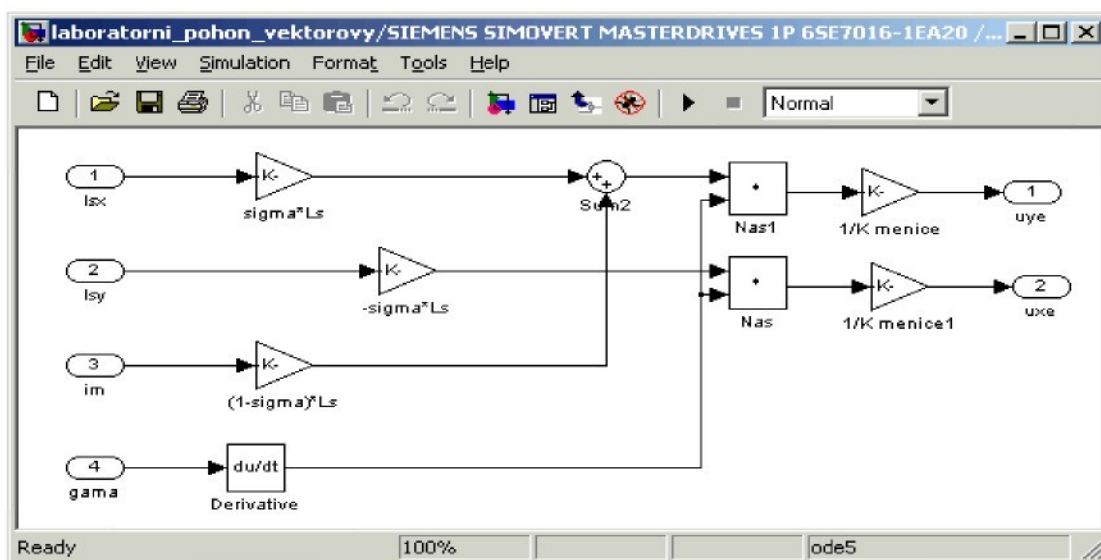
Výstupem z tohoto bloku (resp. skupiny bloků) je absolutní hodnota prostorového vektoru magnetizačního proudu a jeho poloha (úhel γ) vzhledem k ose α statorového souřadného systému. Sinus a cosinus úhlu γ pak používáme k transformaci řízených proudových veličin mezi souřadnými systémy.

39

Aby byly tyto regulace kvalitnější, tak na výstupy proudových regulátorů přičteme napětí odstraňující vazby mezi osami x a y. Realizujeme v bloku zrušení vazeb BZV podle rovnic:

$$\begin{aligned} u_{xe} &= -\omega_{im} \sigma L_s i_{sy} \\ u_{ye} &= \omega_{im} [\sigma L_s i_{sx} + (1 - \sigma) L_s i_m] \\ \omega_{im} &= \frac{d\gamma}{dt} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Na obr. 4.1.2-9. je simulační schéma zapojení bloku zrušení vazeb



Obr. 4.1.2-9 Simulační schéma bloku zrušení vazeb

4.2. Výsledky simulace

Průběhy veličin získané při použití simulačních schémat v DP by měly maximálně možně odpovídat veličinám skutečně naměřeným na elektropohonu. Samozřejmě že nelze očekávat zcela totožný průběh nasimulovaných a naměřených veličin.

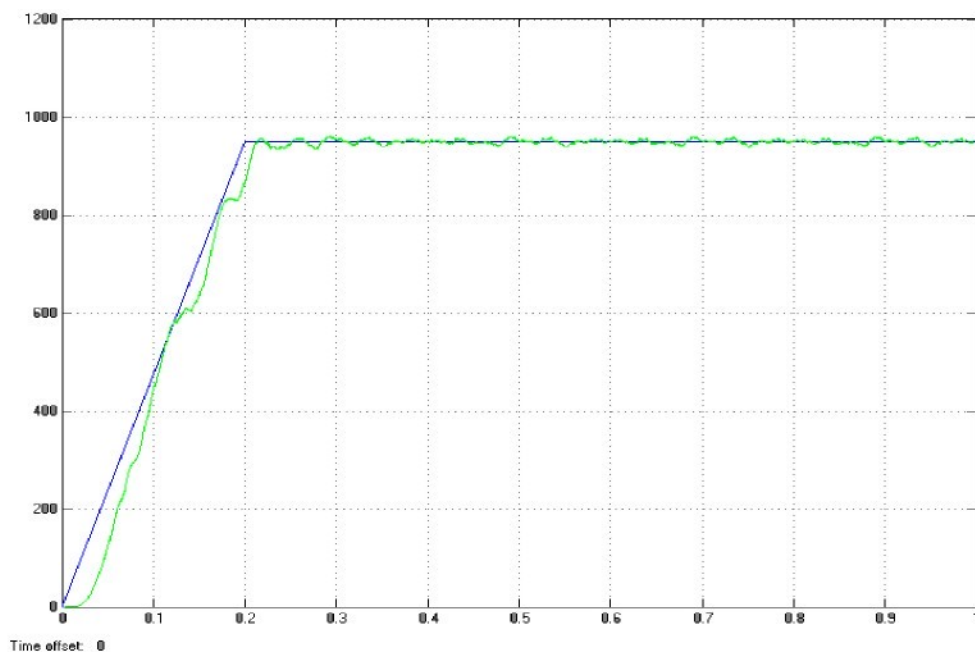
Vedle obecných důvodů nepřesnosti simulace každého obecného systému představuje určitý problém spíše odhadování, než skutečná znalost vnitřní struktury některých konkrétních bloků, které jsou kromě výrobce (firma Siemens) nepřístupné. Výsledky simulací jsou demonstrovány obrázky s grafickými průběhy. Zelená je žádaná, popřípadě maximální hodnota a modrá značí nasimulovaný průběh.

4.2.1. Porovnání módů řízení

Simulačními programy DP je možno realizovat několik možných módů řízení uvedených v tab. 3.1.2-1. Příslušná regulační schémata jsou v příloze č.1. Tyto rozdílné struktury řízení elektropohonu dosahují obecně různé přesnosti řízení průběhu otáček.

Průběhy otáček (1/min) jsou uvedeny na obr. 4.2.1 – 4.2.4. Všechny simulační programy v DP realizují simulaci frekvenčně napěťového řízení a pro zjednodušení jde o simulaci chodu motoru naprázdno a jmenovité žádané otáčky 950 ot/min.

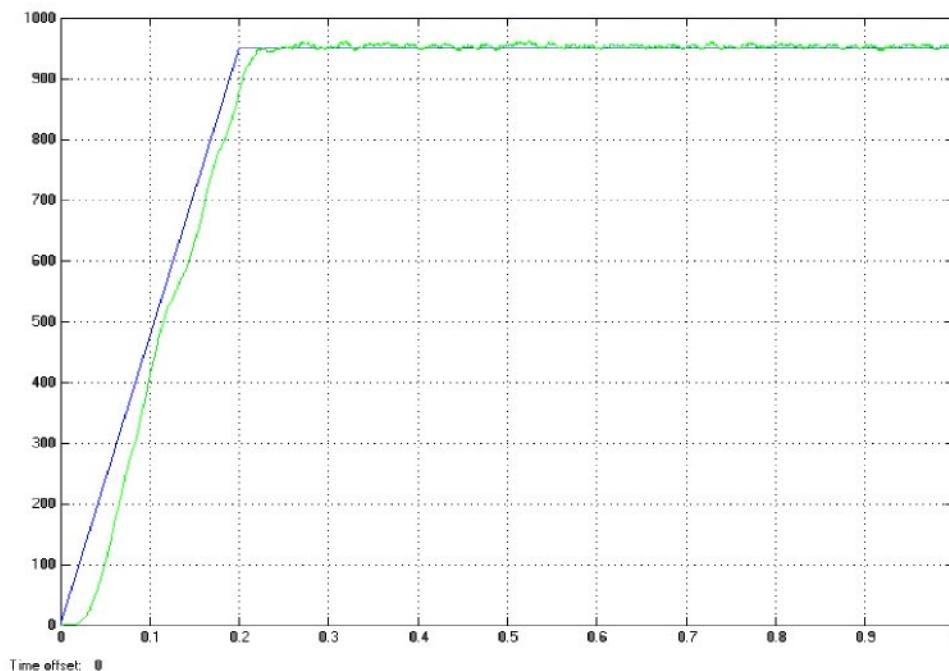
Parametry PI regulátorů byly pro tyto průběhy nastaveny různě, podle toho kterého módu. Změnám nastavení parametrů je věnována následující kap. 4.2.2.



Obr. 4.2.1-1 Skálární řízení jen s regulací proudu ($P100=1$)

Samotná regulace proudu bez ovlivňování otáček (obr. 4.2-1) vykazuje poměrně velké kmitání průběhů jak při rozeběhu (patrná tendence zpožd'ovat se za žádanou hodnotou), tak při dosažení konečné žádané hodnoty. Proto je tato regulační struktura využívána v jednoduchých aplikacích jako ventilátory, čerpadla atp.

O něco plynulejší je regulace s použitím kompenzátoru skluzu uvedená na obr. 4.2-2.

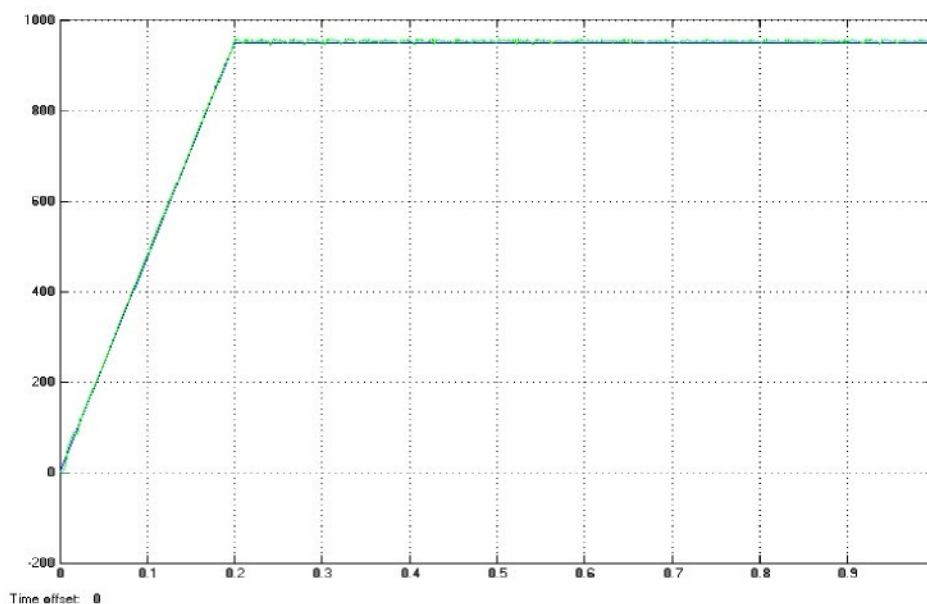


Obr. 4.2.1-2 Skalární řízení s regulací skluzu ($P100=2$)

V případě asynchronních motorů není frekvence otáček rotoru shodná s frekvencí napětí na statoru. Tento rozdíl (tzv. skluz) vyrovnáváme kompenzací skluzu. V simulačních schématech je s trochou zjednodušení řešena jako zesílení kompenzátoru skluzu. Každé hodnotě otáček odpovídá odlišná hodnota. V případě 590 ot/min uvedených na obrázku je optimální zesílení 0.005.

Udržování konstantní hodnoty vyrovnávání skluzu již dovoluje plynulejší průběh dosažené žádané hodnoty otáček. Je možné použití této řídicí struktury například v textilních aplikacích. Celý název tohoto módu řízení je „U-f charakteristika pro textilní aplikace“.

Velkou slabinou této možnosti řízení je zpožděná reakce na dynamické změny chodu požadovaných otáček motoru. K vyrovnání tohoto nedostatku je ve skalárním řízení zaveden regulátor otáček. Průběh otáček s jeho použitím je na obr. 4.2-3.

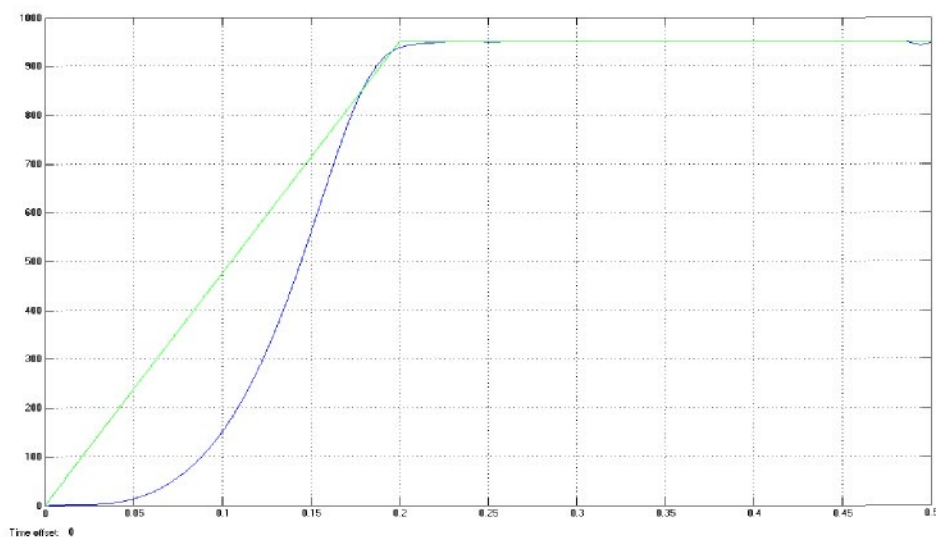


Obr. 4.2.1-3. Skalární řízení s regulací otáček ($P100=0$)

Prizpůsobení nasimulovaných (a stejně tak skutečně naměřených) otáček je při použití této regulační struktury prakticky okamžité.

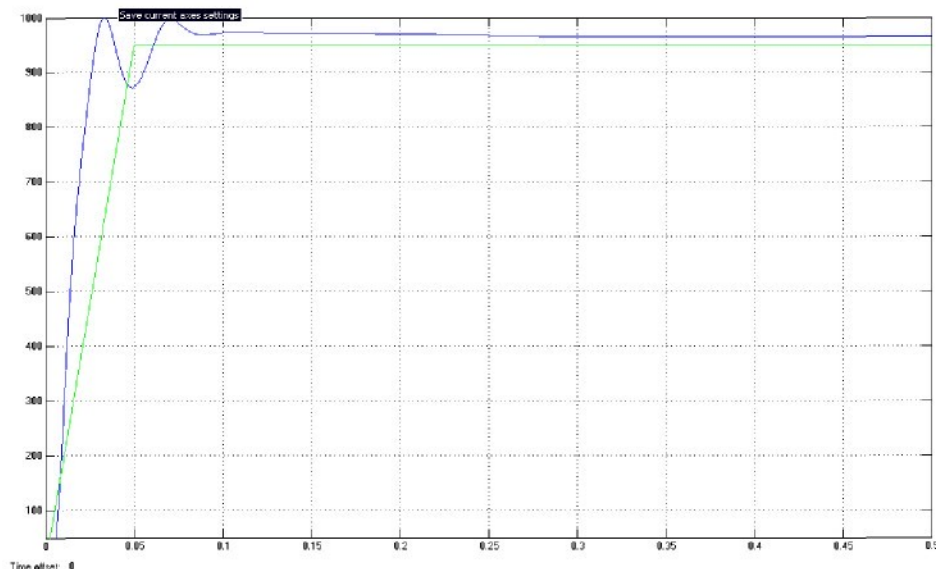
O něco složitější je situace při simulaci vektorového řízení. K určení úhlu natočení θ je v DP vždy použit snímač otáček a regulátor otáček k ovlivnění momentotvorné složky proudu. Rozdíl tkví v použití snímání otáček k určení výstupních veličin proudového modelu (viz. kap. 4.1.2).

Na obr. 4.2-4. je uveden průběh otáček při vektorovém řízení bez zpětné otáčkové vazby.



Obr. 4.2.1-4. Vektorové řízení bez zpětné otáčkové vazby ($P100=3$)

Pro srovnání si uvedeme průběh otáček při tom samém nastavení parametrů, ale při použití vektorového řízení se zpětnou otáčkovou vazbou. Obr. 4.2-5.



Obr. 4.2.1-5. Vektorové řízení se zpětnou otáčkovou vazbou ($P100=5$)

Je patrné, že při použití zpětné otáčkové vazby vykazuje průběh otáček větší nežžádané kmitání než za stejných podmínek bez použití zpětné otáčkové vazby, kdy se při dosažení konečné žádané hodnoty ustálí s výrazně nižším nežžádoucím kmitáním průběhu.

Je to proto, že zpracování tokotvorné a momentotvorné složky proudu klade velké nároky na synchronicitu obou průběhů, kterou je snadnější udržet pokud určující veličinu – úhel natočení rotoru θ - určíme přímo ze žádaných hodnot, než když použijeme výstupu čidla skutečných otáček.

Velký problém při simulaci (a také při skutečném měření) vektorového řízení představuje dynamika průběhu nasimulovaných otáček při změnách. Konkrétně při rozeběhu. V tomto ohledu jsou simulační programy vektorového řízení méně přesné než simulační programy skalárního řízení.

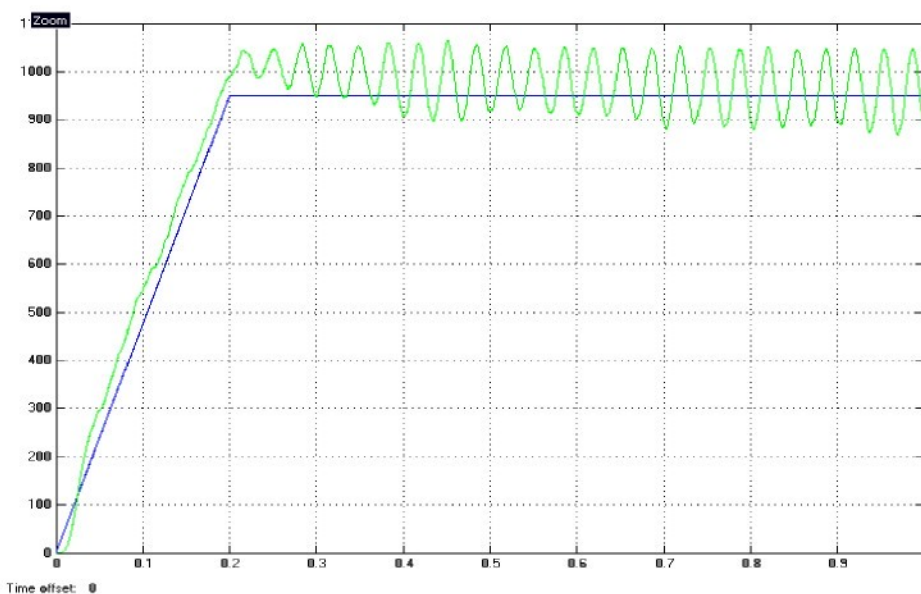
Je ovšem třeba dodat, že také při měření na reálném pohonu bylo dosaženo uvedeného pořadí postupně se zvětšující se nepřesností popřípadě rozptylu skutečných a žádaných hodnot podle jednotlivých regulačních struktur skalárního až vektorového řízení. Větší rozdíly oproti naměřeným průběhům vykazují simulační schémata vektorového řízení.

4.2.2. Porovnání změn nastavení parametrů PI regulátorů

Průběh naměřených a nasimulovaných veličin závisí podstatně na nastavení parametrů regulátorů. Frekvenční měnič SIMOVERT obsahuje moduly parametrů, které by měly při nastavení dávat ideální průběh. Tj. hladký průběh bez kmitání (které se v reálném pohonu projeví rázy motoru) sledující průběh žádané veličiny.

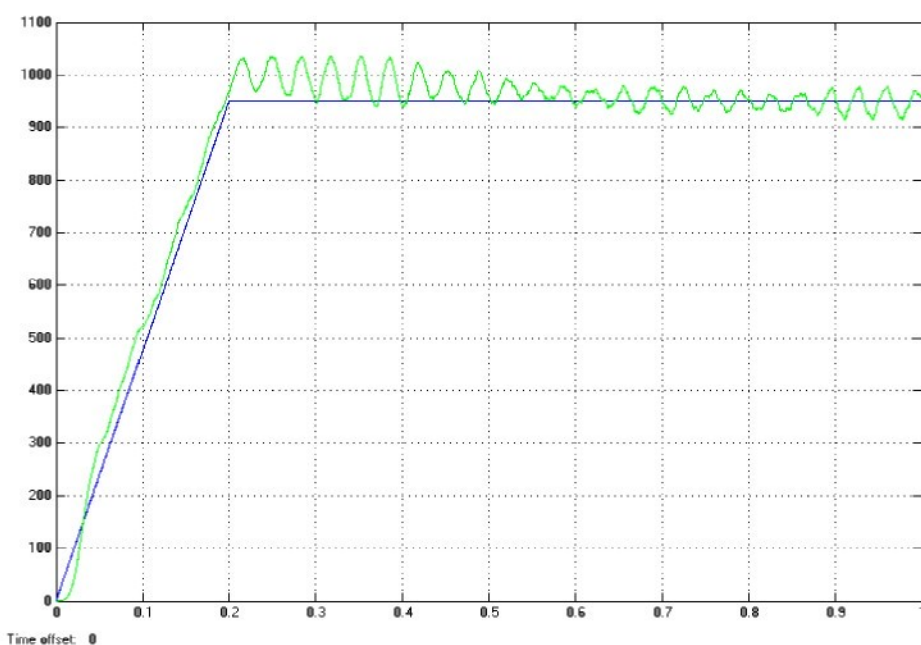
Ve skutečnosti je třeba parametry regulátorů měnit, aby se dosáhlo co nejoptimálnějšího průběhu. Ten pro konkrétní otáčky byl pak případně uložen. Obecně bylo vycházeno z parametrů, které měl měnič nastavené jako optimální a zpravidla byly proporcionální složky postupně zvyšovány a integrační spíše snižovány, podle toho, jak se průběh blížil, nebo vzdaloval od ideálního průběhu.

Na obr. 4.2-6. je nestabilní průběh simulovaných 950 ot/min s použitím regulátoru otáček. Ty jsou při spuštění řídicího grafického rozhraní (viz. kap.5) nastaveny na optimální hodnoty pro vektorové řízení. Při aplikaci na skalární řízení vyjde takovýto kmitavý průběh.



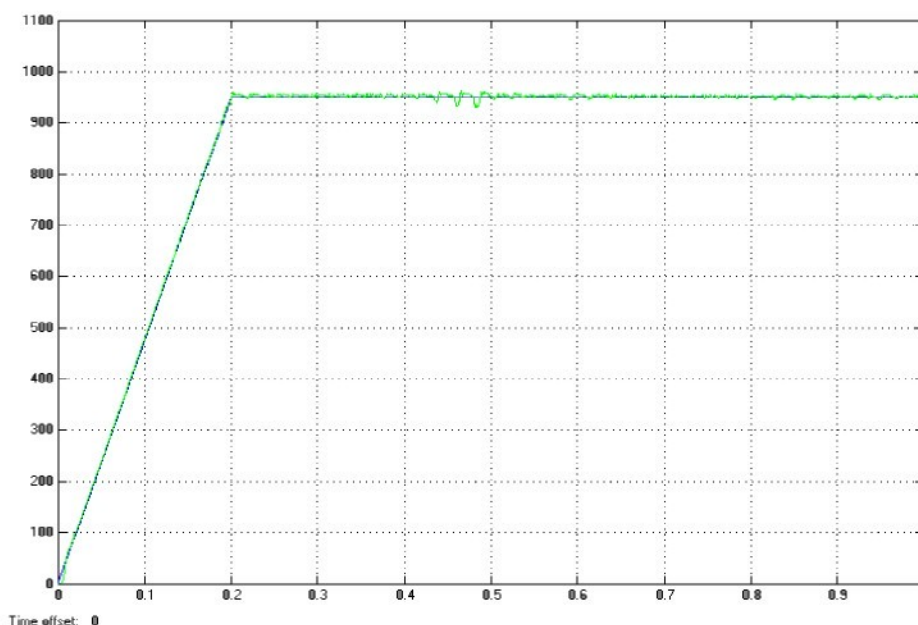
Obr. 4.2.2-1. Nestabilní kmitavý průběh otáček při skalárním řízení s regulátorem otáček ($P=1$, $I=4$) a regulátorem proudu ($P=0.005$, $I=0.004$).

Napřed se podíváme, co se stane při změně parametrů regulátoru proudu. Na obr. 4.2-7. Hodnoty parametrů otáčkového regulátoru zůstaly nezměněny.



Obr. 4.2.2-2. Průběh otáček při změně parametrů regulátoru proudu ($P=0.479$, $I=0.004$)

Velikost kmitání (které by se v reálu projevilo vznikem mechanických rázů) se výrazně snížila. A konečně pokud navíc změníme parametry otáčkového regulátoru, dostaneme prakticky hladký průběh otáček jako na obr. 4.2-8.

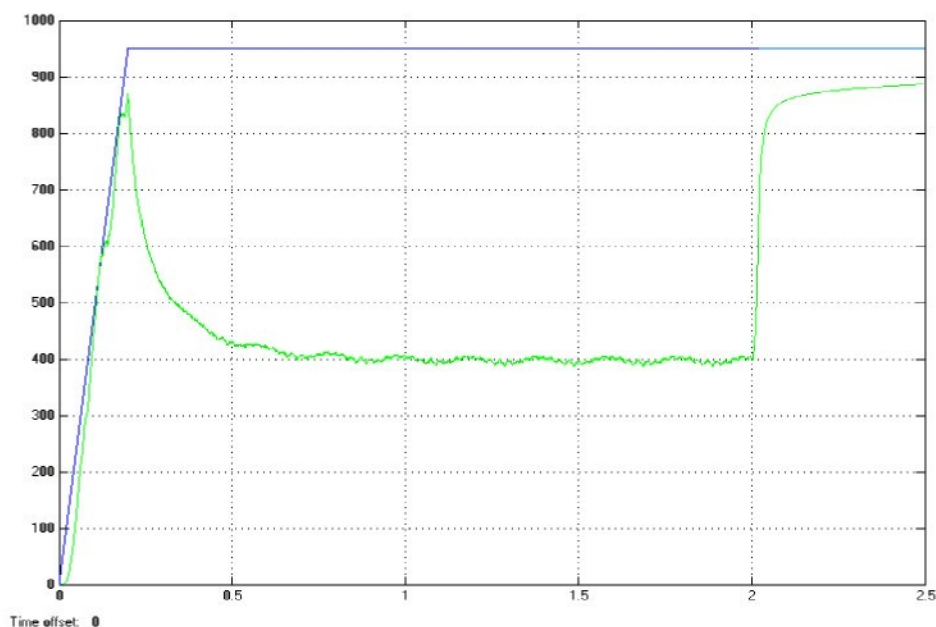


Obr. 4.2.2-3 Průběh otáček při změně parametrů regulátoru otáček ($P=40$, $I=0.999$)

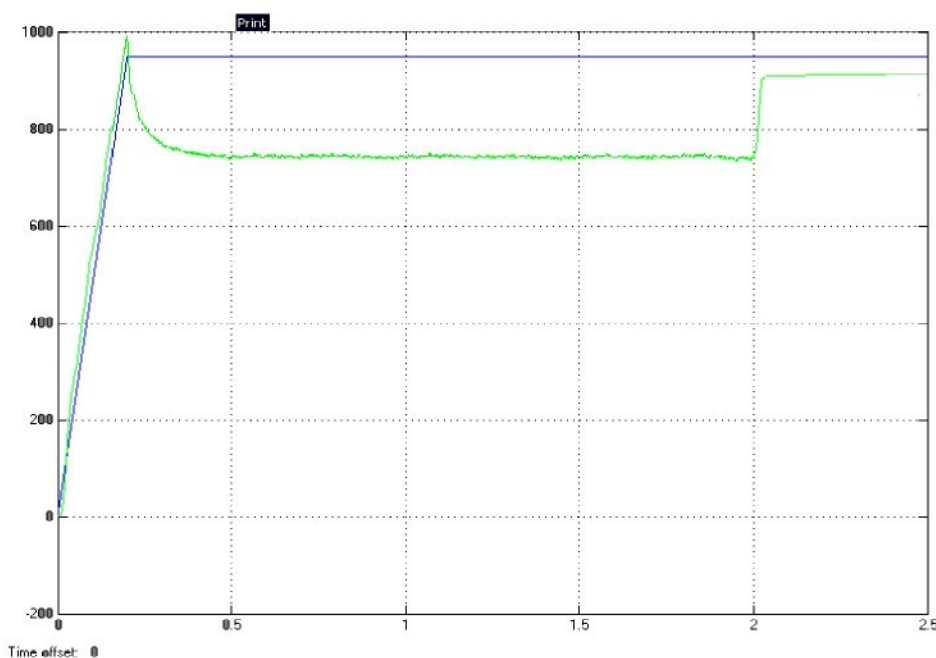
4.2.3. Porovnání průběhů při posunutí zátěže

Pokud spustíme stejnosměrný motor generující zatížení spolu s asynchronním motorem, tak se asynchronní normálně vůbec nerozběhne. Podrobnosti tohoto jevu jsou v kap. 3.3. Reálný asynchronní motor přejde do generátorického stavu a v případě simulace začne růst hodnota žádaných otáček do nekonečné hodnoty, protože modely regulátorů jsou přizpůsobeny pouze na motorický stav asynchronního motoru.

Na obr. 4.2-9 až 4.2-11 jsou uvedené simulované průběhy otáček při zapojení jmenovitého zátěžného momentu 15 Nm za dobu rozběhové rampy.



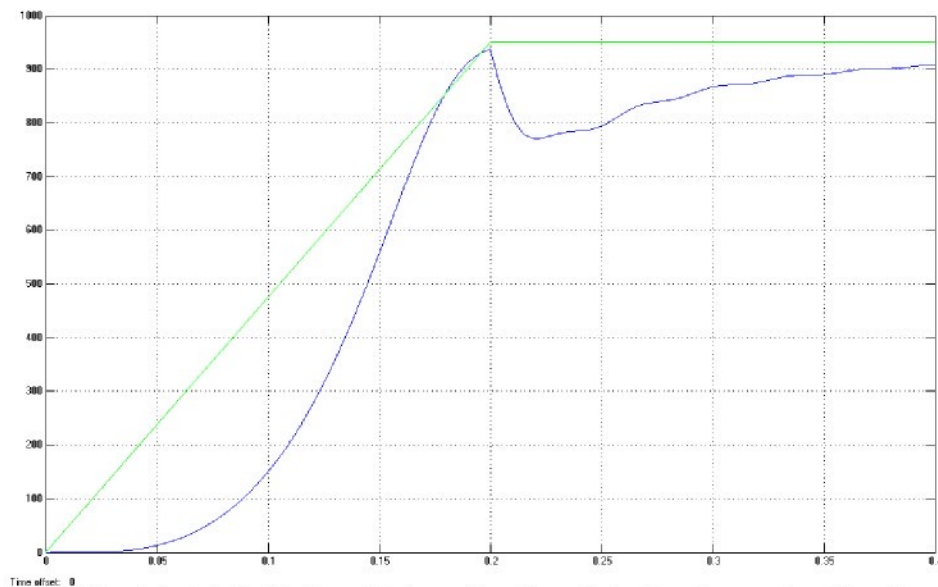
Obr. 4.2.3-1 Průběh otáček zatíženého AM při skalárním řízení bez regulace otáček



Obr. 4.2.3-2 Průběh otáček zatíženého AM při skalárním řízení s regulací otáček

Z obrázků je vidět, že rozdíl nasimulovaných a žádaných otáček je mnohem menší, pokud je zapnut regulátor otáček (pokles o 350 ot/min), než když je aktivní pouze regulátor proudu (až o 450 ot/min). Tak je tomu také v případě skutečně naměřených průběhů, ikdyž pokles neregulovaných otáček je mnohem menší a zejména zpravidla trvá kratší dobu.

Na obr. 4.2-11 je vidět ukázka simulace vektorového řízení bez zpětné otáčkové vazby za připojení téhož zatížení 15 Nm.



Obr. 4.2.3-3 Průběh otáček zatíženého AM při vektorovém řízení bez zpětné otáčkové vazby

Srovnáním obr. 4.2-11 s obr. 3.3-4 je vidět, že simulace vektorového řízení reaguje na připojení zátěžného momentu poměrně rychle. Mnohem rychleji než v případě skalárního řízení.

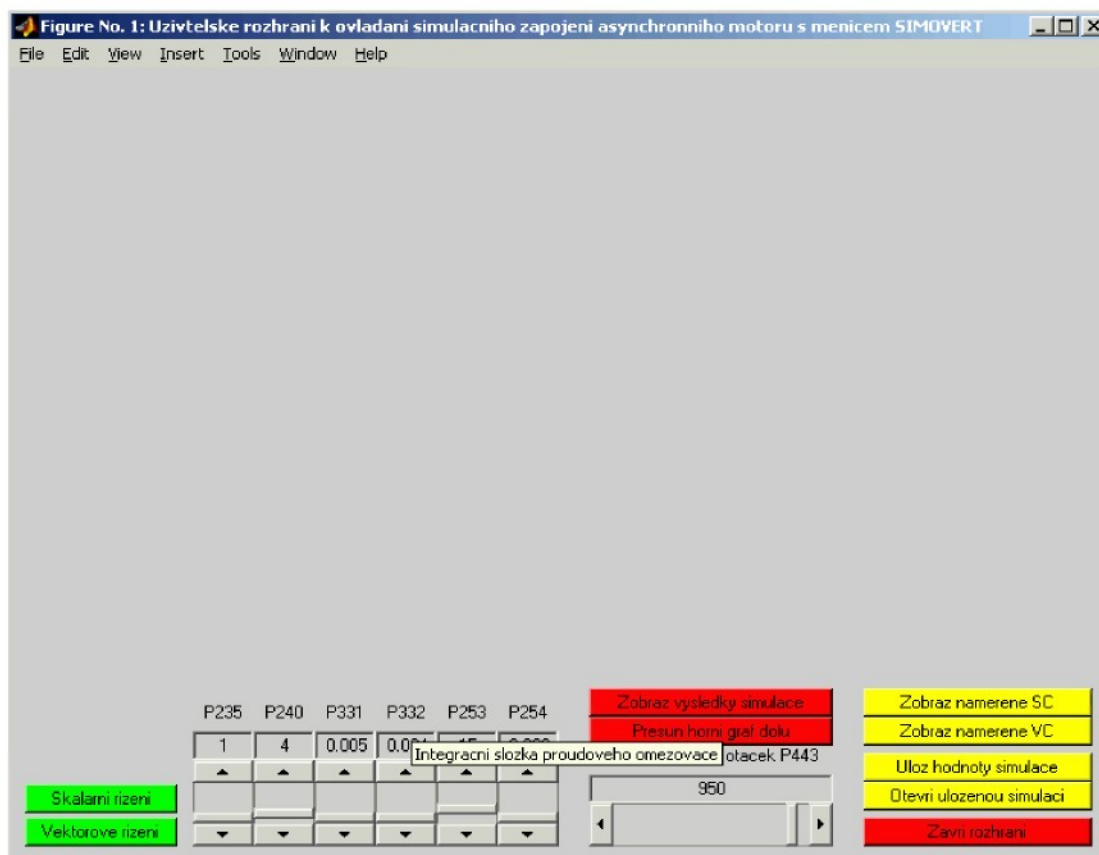
Rozdíl je způsoben tím, že při zatížení je potřeba regulovat nejen obecné satorové napětí, ale zvláště jeho momentotvornou složku. A to (spolu s tokotvornou složkou) provádí právě vektorové řízení, takže případné změny zátěže vyvolají dříve odezvu v regulátorech. Kdežto při skalárním řízení regulujeme pouze absolutní hodnotu veličin.

5. Grafické uživatelské rozhraní

Podle bodu č.4 zadání DP bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní GUI k ovládání simulačních schémat a vizualizaci naměřených a nasimulovaných hodnot. K vytvoření grafického uživatelského rozhraní (nadále zkratka GUI) bylo použito systému Matlab jako pro simulační programy. Konkrétně jde o software Handle Graphics. Vytváření rozhraní s jeho pomocí je věnována samostatná podkapitola 5.3.

Simulační schémata jsou softwarově propojena s rozhraním prostřednictvím pracovního bufferu Matlabu – Workspace. Nastavením, popř. změnou nastavení proměnných v rozhraní se změní proměnné ve schématech a následně jejich průběhy veličin.

GUI vyvoláme spuštěním souboru ZaciGUI.m. Pro lepší přehlednost je soubor pojmenován tak, aby byl posledním M-souborem v adresáři. Ostatní soubory vesměs slouží k provedení určité operace po stisknutí některého z tlačítek na uživatelském rozhraní. Po spuštění souboru ZaciGUI.m se zobrazí rozhraní obdobně jako na obr. 5-1.



Obr.5-1 Grafické uživatelské rozhraní

5.1. Ovládání simulačních programů pomocí GUI

Simulační schémata uvedená v kapitole 4.1.2. se zobrazí stisknutím některého ze dvou zelených tlačítek. „Skalární řízení“ nebo „Vektorové řízení.“ Tyto dva modely umožňují realizovat dohromady 5 možností módů řízení elektropohonu.

Parametry modelu měniče můžeme zadat přímo v simulačních schématech nebo prostřednictvím rozhraní. Konkrétně jde o hodnoty žádaných otáček a parametrů PI

regulátorů, které lze změnit pomocí posuvníků. Ty jsou v rozhraní označeny číslem parametru, proto je v tab. 5.1-1 také uveden jejich význam:

Označení parametru	Význam parametru
P235	P složka regulátoru otáček
P253	Kp zesílení proudových regulátorů
P254	Tn časová konstanta proudových regulátorů VC
P240	I složka regulátoru otáček
P331	P složka proudového omezovače SC
P332	I složka proudového omezovače SC
P443	Žádaná hodnota otáček

Tab. 5.1-1 Označení parametrů měnitelných z rozhraní

V reálném uživatelském rozhraní lze získat význam toho kterého parametru pomocí funkce tooltipstring (viz. obr. 5.1.) najetím myši na tu kterou ikonu.

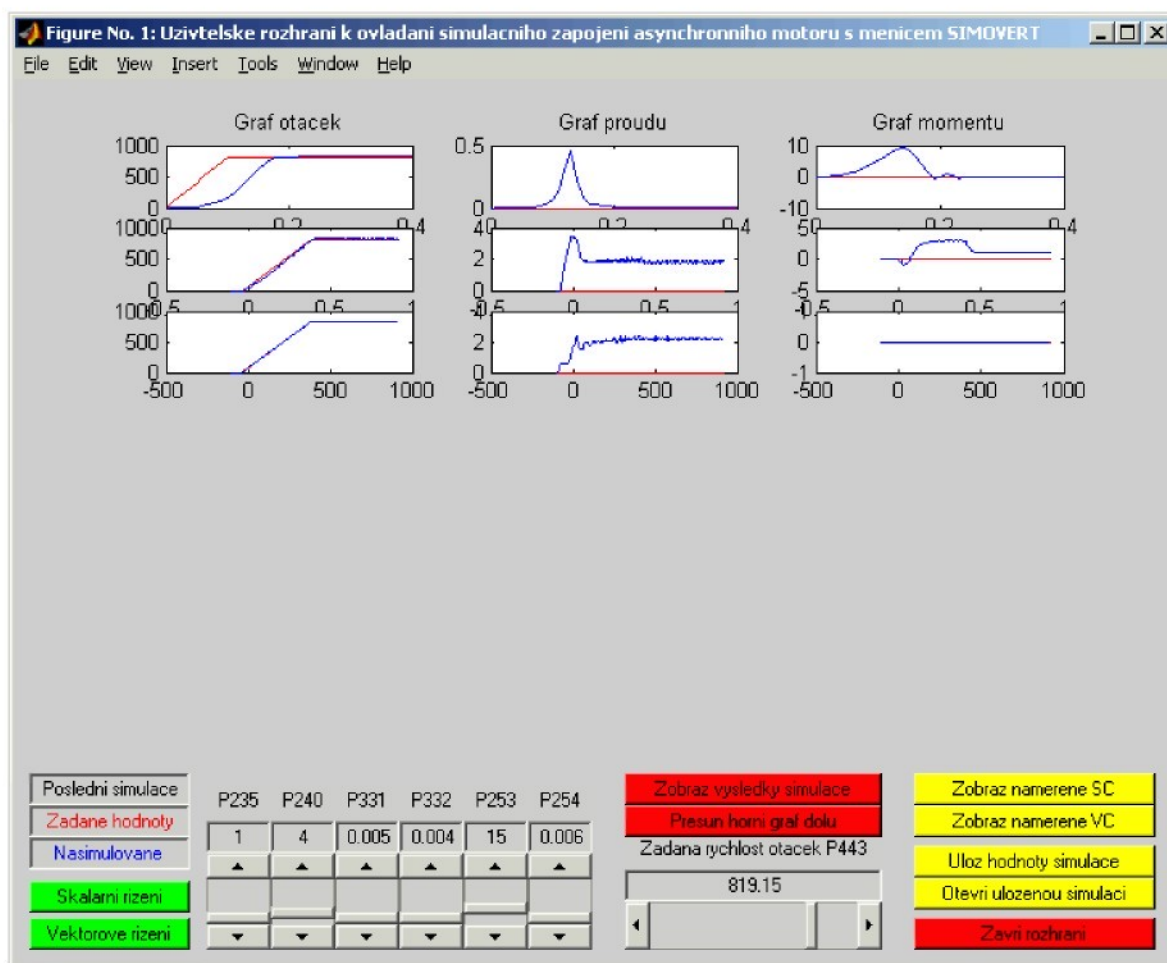
Hodnoty parametrů nastavené automaticky při spuštění (viz. obr. 5-1.) nejsou optimální. Byly vybrány tak, aby umožňovaly spustit simulaci kteréhokoliv módu řízení žádaných otáček s pokud možno nejlepšími výsledky pro každou hodnotu otáček v rozmezí 100 až 1000 z minutu a pro každý mód řízení P100.

Změny parametrů při hledání optimální kombinace pro jednotlivé průběhy grafické rozhraní výrazně usnadňuje. To se týká zejména žádaných otáček a parametrů PI regulátorů umístěných uvnitř struktury simulačních programů. Pokud je třeba měnit jiné parametry, je třeba zasáhnout přímo do struktury simulačních programů měniče.

5.2. Vizualizace průběhů veličin pomocí GUI

Nasimulované hodnoty lze po skončení simulace zobrazit v grafickém rozhraní. Stisknutím červeného tlačítka „Zobraz výsledky simulace“. Tlačítkem „Posun“ je možno předešlou hodnotu posunout do spodního grafu a porovnat s některou následující. Na jednom rozhraní je možno najednou porovnat až tři průběhy simulací (resp. měření).

Žádané hodnoty jsou značeny červeně a simulované nebo naměřené průběhy modře. Přestože bývá v technické praxi běžnější červené označování výstražných, skutečných apod. hodnot, modrá je v těchto grafech přece jen zřetelnější, tudíž byla použita pro veličinu o které předpokládáme, že nebudeme znát její průběh.



Obr.5.2-1 GUI s hodnotami otáček, proudů a grafů prožádaných 1000 ot/min a různé mody řízení

Žlutými tlačítky můžeme zobrazovat nasimulované či naměřené hodnoty. Přitom je třeba dbát, abychom vybrali každý druh souboru (naměřený skalární, naměřený vektorový, nasimulovaný obecně) příslušným tlačítkem nebo se zobrazí jiné průběhy. Vedle problémů zmíněných v kapitole 3.2. je program nastaven na otevření adresářů s naměřenými průběhy vektorového a skalárního řízení.

V případě že nově instalujeme programy DP, tak je potřeba v programech:

- Vyber_SC.m
- Vyber_VC.m

změnit přístupové cesty (na konci programu), které umožňují nastavit potřebné adresáře s naměřenými průběhy.

5.3. Ukládání souborů

Žlutým tlačítkem „Ulož hodnoty simulace“ můžeme ukládat simulace jako soubor „simulace.txt“. Spolu s uložením textového souboru „Data.txt“ se uloží také matice nasimulovaných hodnot parametrů jako textový soubor „simovs.txt“, který umožňuje využít nasimulovaných parametrů v reálném měniči prostřednictvím programu Simovis. Avšak pouze vizuálním čtením hodnot při zadávání do skutečného měniče. Před každým

dalším uložením je ovšem vhodné předposledně uložené soubory přejmenovat nebo se přemazou.

5.4. Handle Graphics

Grafické uživatelské rozhraní GUI bylo celé vytvořené pomocí programového prostředí Handle Graphics. To tvoří jakousi grafickou nadstavbu Matlabu. Přestože všeobecně rozšířený Matlab obsahuje Handle Graphics již od čtvrté verze, tak v českojazyčné literatuře se tomuto software věnuje poměrně málo pozornosti. Jako informační zdroj jsem vesměs použil anglickojazyčné internetové články, konkrétně [11]. Pouze některé teoretické informace k použití Handle Graphics byly dodatečně napsány podle lit. [5], [6], [7], [8]. Vzhledem k důležitosti Handle Graphics pro tvorbu GUI jsou v DP uvedeny o tomto softwarovém prostředí některé podrobnější informace.

Systém Handle Graphics umožňuje nastavování různých vlastností grafických objektů pomocí standardních prvků Windows (Buttons, Labels, Edits, Sliders,...) až tvorbu kompletního grafického uživatelského rozhraní. Lze používat standardní prvky Windows jako jsou menu, roletové menu, list box, checkbox, pushbutton, edit text, radiobutton, slider, atd. Pojmem Handle uvažujeme reálné číslo přidělené každému grafickému objektu při jeho vytvoření.

Jako tlačítek GUI vykonávajících určitou funkci je v DP použito pushbuttonů a k vyjádření výsledku a nebo pro popisky edit textů, grafů případně labelů. Jde tedy vlastně o objektově orientované programování používané například v jazycích Pascal (objektově orientované prostředí Delphi) nebo C++, od kterých se však Matlab v některých detailech liší. Původní grafická rozhraní k zobrazení výsledků simulací skalárního řízení stejného elektropohonu bylo ostatně vytvářena pomocí Delphi. Konkrétně jde o literaturu [9].

GUI mezi uživatelem a aplikací podřízeným kódem umožňuje uživateli obsluhovat aplikace prakticky bez znalosti příkazů potřebných při práci s překladovou řádkou Matlabu. Je to sice poměrně jednoduché, dokonce se uvádí, jistě s nadsázkou, že k použití Matlabu stačí půlhodinový kurz, ale v technických aplikacích, k jakým patří i řízení elektrických pohonů, je mnohem praktičtější klikání myši na popsané ikony než psaní, případně dokonce dodatečné změny posloupnosti nějakých, byť třeba sebejednodušších a často pochopitelně ne zcela přehledných příkazů v m-souborech.

Alespoň v krátkosti je tu uveden stručný popis nejčastěji používaných grafických funkcí v tab. 5.1-1 a jejich vlastností (properties) na příkladu tlačítka k uzavření GUI:

```
% uzavření grafického uživatelského rozhraní
zavri_pbt = uicontrol('Style','pushbutton','Position',[10 10 100 20], 'String','Zavri rozhraní', 'Callback','Close');
```

Asi nejčastěji používaným příkazem je `uicontrol`, kterým vytvoříme komponentu uživatelského rozhraní UI. První použití příkazu `uicontrol` zároveň vytvoří GUI v podobě grafického okna „Figure“. Toto grafické okno je možno samozřejmě vyvolat samotné příkazem `figure`. Tím zadáme velikost grafického okna včetně názvu GUI. V případě, že je příkaz `uicontrol` použit dále, tak už nevytváří nové grafické okno, ale jen příslušnou novou komponentu která je součástí prvního grafického okna. To je, pokud není uvedeno jinak, rodičovská komponenta (*parent*) nového objektu. Podle toho jakou nastavíme hodnotu (*value*) vlastnosti (*properties*) *style* tak je nově utvořená komponenta obvykle buď

posuvník, edit, button atp. Osu, přímku nebo často používaný popisek je možné vytvořit příkazy *axes*, *line*, *plot*.

Vlastnosti *property* stejně jako jejich hodnoty *property value*, kromě proměnných, zadáváme do příkazů v apostrofech. Jejich stručný přehled je v tab. 5.4-1.

Vlastnost (<i>property</i>)	Funkce
Enable	Určuje, zda komponenta bude či nebude v GUR aktivní
Visible	Určuje zda komponenta je <i>on</i> či není <i>off</i> viditelná
Tooltipstring	Zadání popiskového testu viditelného jen při najetí myši na objekt
ForeColor	Barva písma v komponenty <i>grey, red, blue, green...</i>
DefaultColor	Barva komponenty
Position	Umístění a velikost komponenty
Parent	Číslo <i>handle</i> nebo název objektu nadřazeného komponentě
String	Nadpis komponenty uvádějící co má vykonávat po aktivaci
Style	Konkrétní typ komponenty <i>pushbutton, text, edit...</i>
Callback	Název (nebo jiné určení) funkce kterou má komponenta vykonat po aktivaci
Min	Minimální hodnota na kterou lze objekt nastavit
Max	Maximální hodnota na kterou lze objekt nastavit
Value	Hodnota objektu na kterou je nastaven

Tab.5.4-1 Seznam a význam nejčastějších položek komponent použitých v DP

Poměrně běžné jsou příkazy *get* a *set* umožňující najít, nebo změnit hodnotu konkrétních vlastností. Některé proměnné jsou z GUI zadávány jako znakové řetězce. Aby s nimi bylo možno provádět numerické operace použijeme funkci *str2double*.

Handle Graphics umožňuje spouštět vedle pracovního grafického rozhraní další objekty, jako dialogová okna (funkce *inputdlg*) popřípadě nová rozhraní (funkce *figure*). V DP jsou takto vizualizovány pouze simulační schémata a výběrová okna uložených hodnot průběhů (funkce *uigetfile*). Ostatní činnosti vykonávané grafickým rozhraním probíhají kvůli přehlednosti bez vědomí uživatele.

6. Závěr

V diplomové práci byly vytvořeny programové modely umožňující simulovat zapojení asynchronního motoru vektorově a skalárně řízeného frekvenčním měničem.

Dosud byly na fakultě mechatroniky TUL vytvářeny převážně modely umožňující simulovat skalární řízení. Vytvoření simulačních modelů vektorového řízení asynchronního motoru představuje asi nejvýznamnější přínos DP. Jedná se o strukturu regulace otáček vektorovým řízením v systému orientovaných souřadnic využívající proudového modelu asynchronního motoru k určování řídicích veličin. Tato regulační struktura nejvíce odpovídá struktuře frekvenčního měniče SIMOVERT, tak jak je uvedena v manuálech firmy Siemens.

Oproti skalárnímu řízení umožňuje vektorové zejména rychlejší reakci na dynamické změny zatížení, ale také někdy dochází během simulací k nežádoucím zákrmitům v důsledku složitější struktury více závislé na přesnosti a rychlosti čidel a regulátorů. Tento problém se vyskytoval jak během měření, tak během simulace a jeho odstranění je možným námětem pro další práci, kterou může významně usnadnit právě simulační schéma v této DP.

Dalším významným přínosem je vytvoření grafického uživatelského rozhraní umožňujícího ovládat simulační schémata a vizualizovat nasimulované, popřípadě naměřené průběhy. S jeho pomocí je také možno zadávat nejdůležitější parametry (otáčky, složky PI regulátorů) bez zásahů do struktury programů, což výrazně urychluje simulace.

Na základě simulačních programů byla také sestrojena laboratorní úloha umožňující měření na elektropohonu na katedře elektrotechniky KEL.

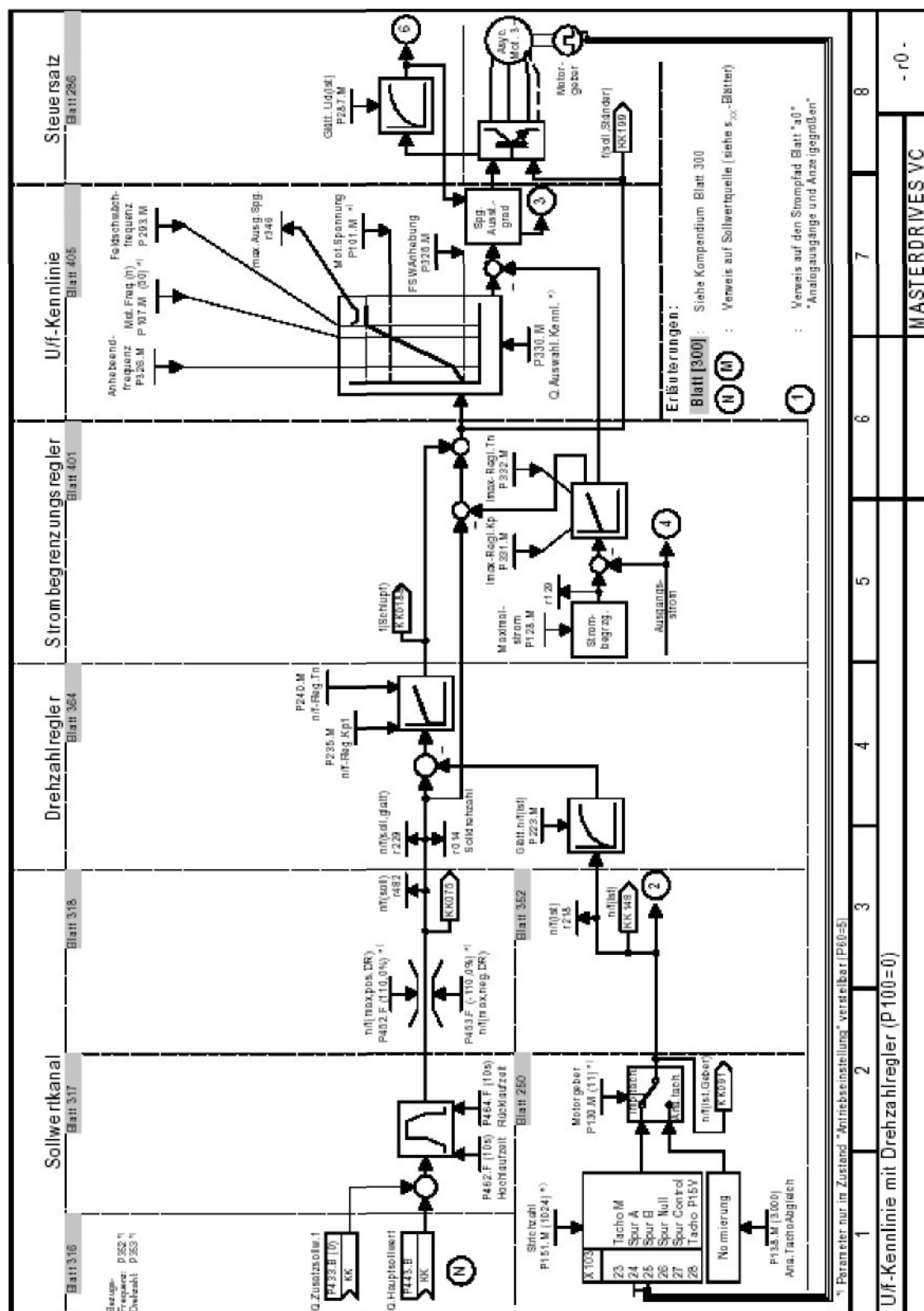
7. Seznam použité literatury

- [1] Konečná, E., Richter, A.: Výkonová elektronika – učební texty. TU Liberec 1998
- [2] Konečná, E., Richter, A.: Elektrické stroje – učební texty. TU Liberec 2000
- [3] Pavelka, J., Čeřovský, Z., Javůrek, J.: Elektrické pohony. ČVUT, Praha 2001
- [4] Neborák, I.: Modelování a simulace elektrických regulovaných pohonů (sborník z konference), Ostrava 2002
- [5] Zaplatílek, K., Doňar, B.: Matlab pro začátečníky, nakl. BEN Praha 2003
- [6] Zaplatílek, K., Doňar, B.: Matlab – tvorba uživatelských aplikací, nakl. BEN Praha 2004
- [7] Dušek, F.: Matlab a Simulink – úvod do používání, Univerzita Pardubice 2002
- [8] Endler, P.: Simulace provozních stavů asynchronního motoru, TU Liberec 2002
- [9] Tesař, M.: Řízení elektrického pohonu s měničem SIMOVERT nadřazeným počítačem, TU Liberec 2002
- [10] SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control – návody k obsluze a údržbě, SIEMENS.
- [11] http://www.it.cas.cz/manual/matlab5/techdoc/newfeat/hg_gui52features.html
- [12] Sedláček, M., Šmíd, R.: Matlab v měření, ČVUT, Praha 2004

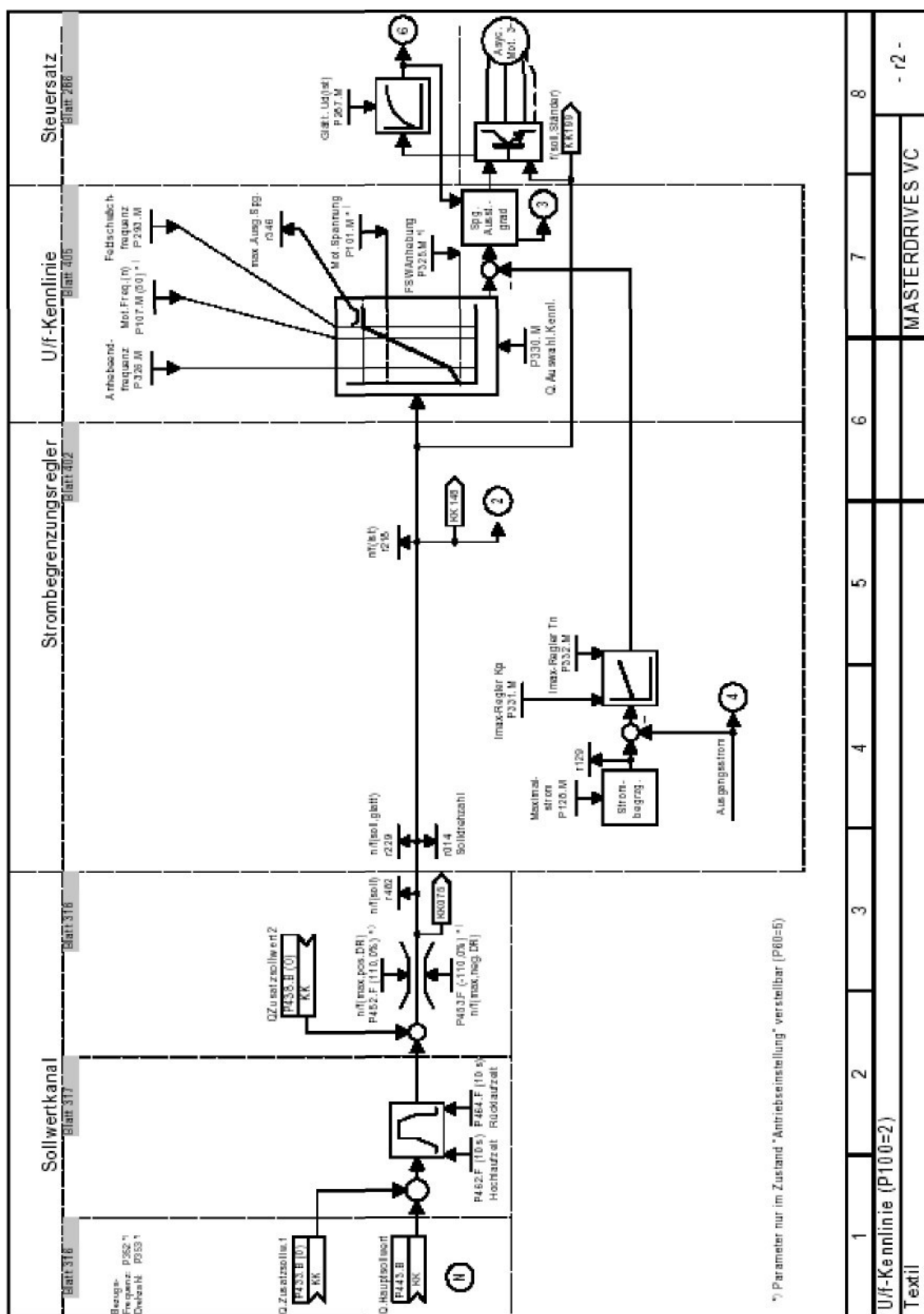
8. Přílohy

1. Softwarově podporované struktury řízení a regulace
2. Podrobný strukturní diagram parametrování měniče výběrem pohonu P060=5
3. Úloha měření a simulace průběhů veličin zapojení asynchronního motoru s měničem SIMOVERT

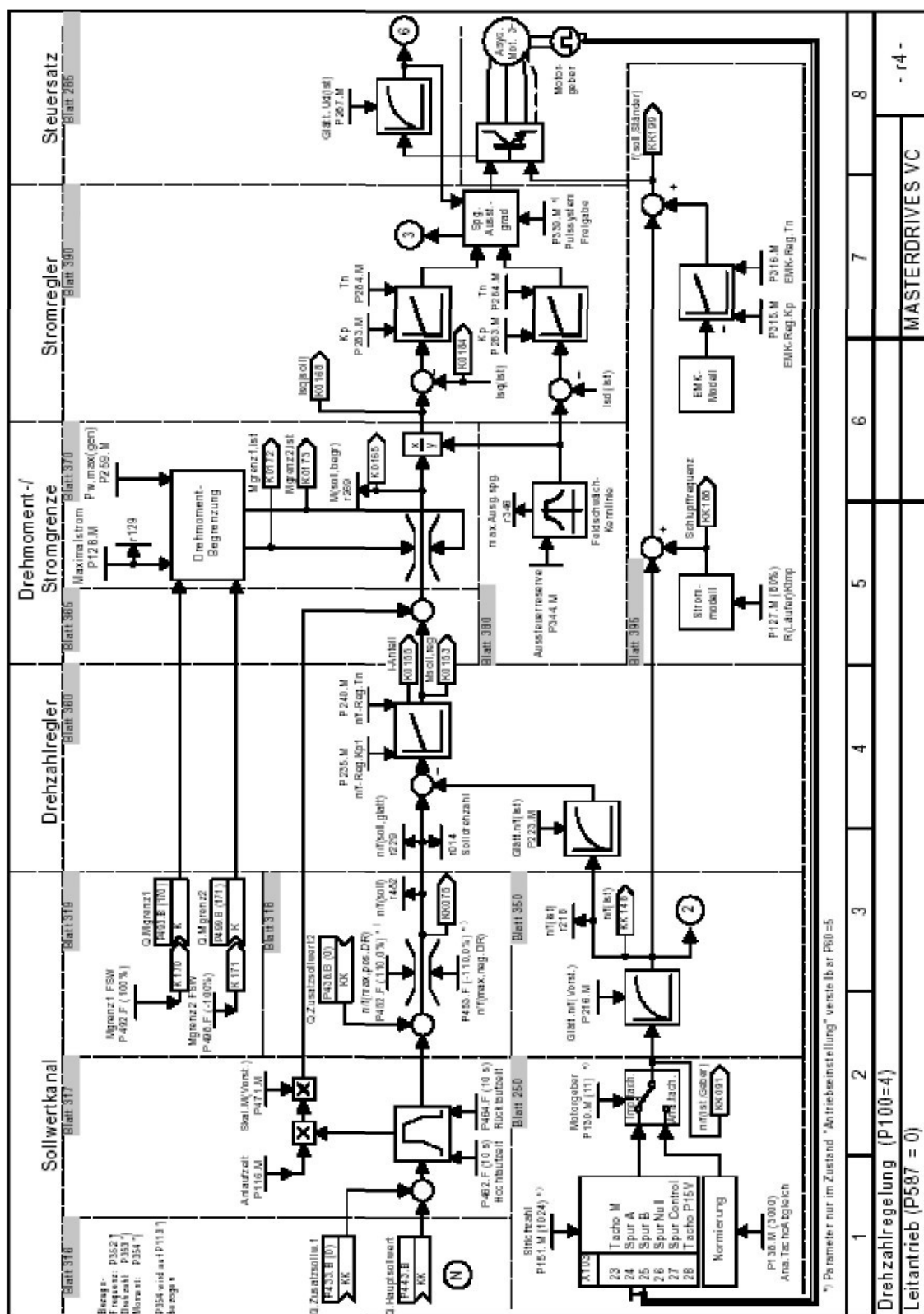
Příloha č.1. Softwarově podporované struktury řízení a regulace



Obr.1. U/f charakteristika s otáčkovým regulátorem $P100=0$

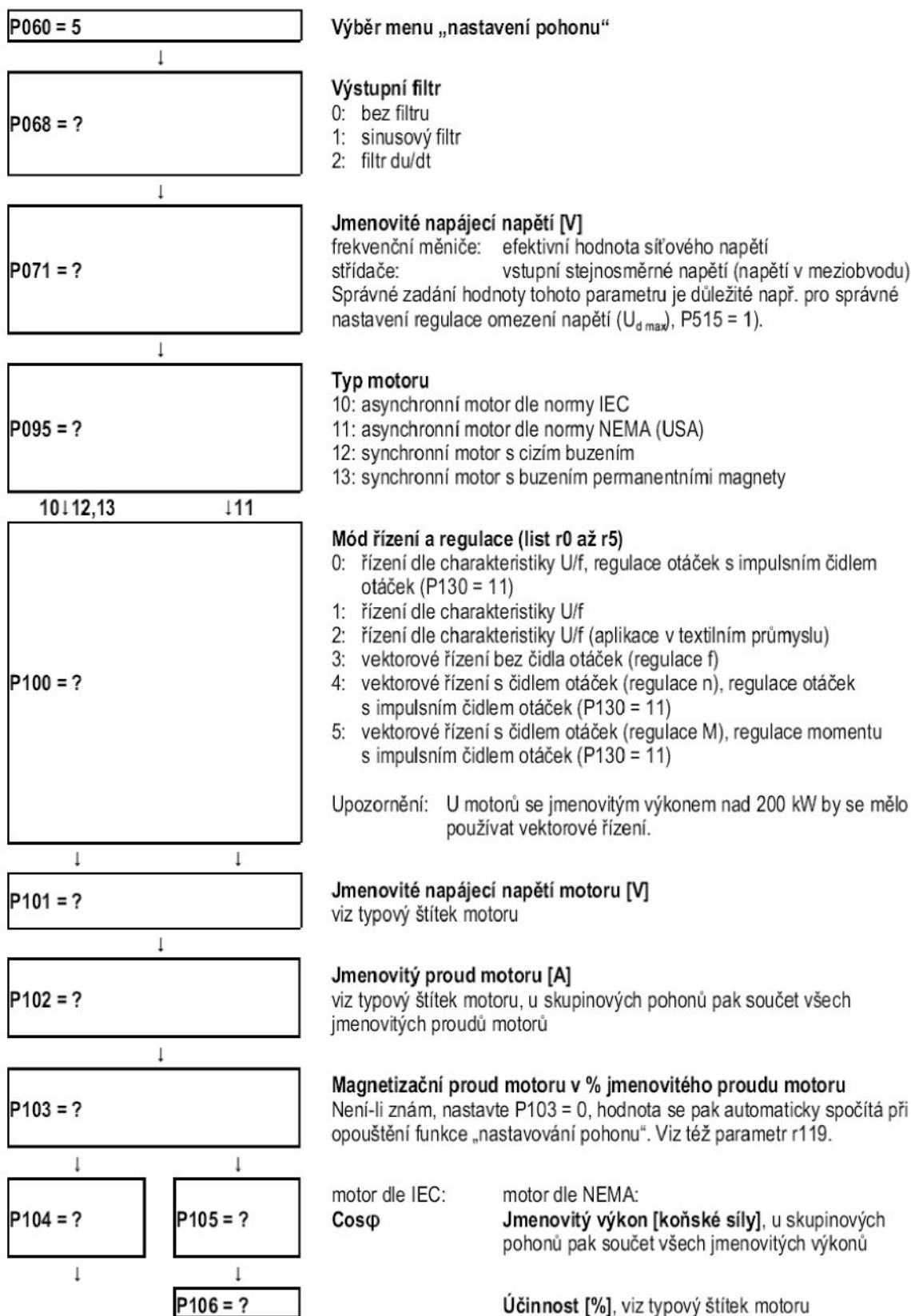


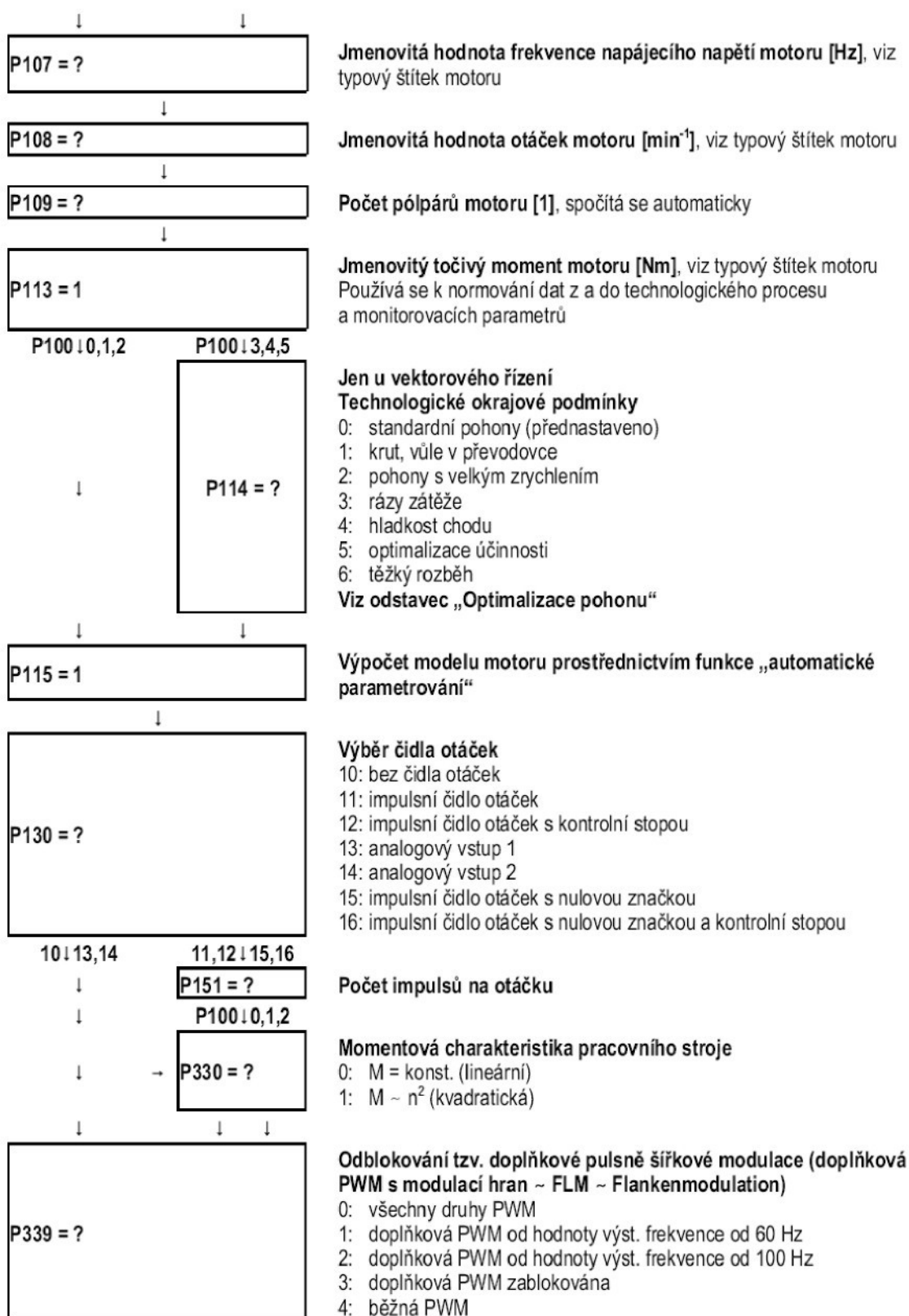
Obr.3. U/f charakteristika pro textilni aplikace P100=2



Obr.5. Vektorové řízení se zpětnou otáčkovou vazbou P100=4

Příloha č.2. Podrobný strukturní diagram parametrování měniče výběrem pohonu P060 = 5.





↓

P340 = ?

Hodnota modulační frekvence [kHz]

Hodnota modulační frekvence při základním režimu PWM - asynchronní pulsně šířkové modulaci s konstantní nosnou frekvencí.

Upozornění: Správné nastavení hodnoty modulační frekvence závisí na mnoha okolnostech, též na typu měniče a motoru.

Pozor: Při zvýšení hodnoty modulační frekvence se může zmenšit hodnota maximálního proudu ~ efektivní hodnota základní harmonické proudu, která je požadovanou hodnotou pro omezení proudu, tomuto jevu se též někdy říká derating. Viz též „Technické údaje“

↓

P350 = ?

Vztažná hodnota pro všechny proudy [A]

Normovací vztažná hodnota pro omezení proudu a pro všechny skutečné a požadované hodnoty všech proudů, se kterými se v měniči počítá.

↓

P351 = ?

Vztažná hodnota pro všechna napětí [V]

Normovací vztažná hodnota pro omezení napětí a pro všechny skutečné a požadované hodnoty všech napětí, se kterými se v měniči počítá.

↓

P352 = ?

Vztažná hodnota pro všechny frekvence [Hz]

Normovací vztažná hodnota pro omezení frekvence a pro všechny skutečné a požadované hodnoty všech frekvencí, se kterými se v měniči počítá.

Upozornění: Hodnota parametru P353 se přizpůsobuje automaticky.

↓

P353 = ?

Vztažná hodnota pro všechny otáčky [min⁻¹]

Normovací vztažná hodnota pro omezení otáček a pro všechny skutečné a požadované hodnoty všech otáček, se kterými se v měniči počítá.

Upozornění: Hodnota parametru P352 se přizpůsobuje automaticky.

↓

P354 = ?

Vztažná hodnota pro všechny točivé momenty [Nm]

Normovací vztažná hodnota pro omezení točivého momentu a pro všechny skutečné a požadované hodnoty všech točivých momentů, se kterými se v měniči počítá.

↓

P357 = ?

Vzorkovací doba T0 [ms]

Vzorkovací doba T0 určuje četnost výpočtů a vyhodnocování. Souvisí prakticky se všemi funkcemi měniče. Vzorkovací doby T1 až T9 jsou násobky doby T0.

Upozornění: Velmi krátká vzorkovací doba T0 při současné aktivaci více funkčních bloků může vést k výpočetnímu přetížení mikroprocesoru(ů).

↓

Požaduje se tepelná ochrana motoru?

Požaduje se v zařízení tepelná ochrana motoru dle norem UL?

Teplota motoru se počítá z proudu motoru (musí se ale přednastavit „ochrana proti přetížení motoru dle normy UL“).

↓ ne ↓ ano

↓	P380 = ?	Teplota motoru, při které se objeví výstražné hlášení A023 „Teplota motoru je příliš velká“
↓	↓	
↓	P381 = ?	Teplota motoru, při které se objeví poruchové hlášení F023 „Povolená teplota motoru překročena“
↓	↓	
↓	P382 = ?	Typ chlazení motoru 0: vlastní chlazení 1: cizí chlazení
↓	↓	
↓	P383 = ?	Tepelná konstanta motoru [s]
↓	↓	
P384.02 = 0	P384.02 = ?	Zatěžování motoru v rozsahu 1 až 300%
↓		
P452 = ?		Maximální hodnota frekvence napájecího napětí, směr otáčení magnetického pole doprava v [%] hodnoty parametru P352 (vztažná frekvence), popř. P353 (vztažné otáčky)
↓		
P453 = ?		Maximální hodnota frekvence napájecího napětí, směr otáčení magnetického pole doleva v [%] hodnoty parametru P352 (vztažná frekvence), popř. P353 (vztažné otáčky)
↓		
P060 = 1		Zpět k menu parametrů Konec rychlého parametrování Upozornění: Při opouštění menu „nastavování pohonu“ se uskutečňuje kontrola zadaných hodnot na korektní zadání. Neplatné (nesmyslné) hodnoty parametrů vedou k výskytu poruchového hlášení. V parametru r949 (upřesnění poruchy) jsou uvedeny špatně nastavené parametry.
↓		
P128 = ?		Maximální výstupní proud [A]
↓		
P462 = ?		Doba nárůstu frekvence výstupního napětí z nuly na hodnotu vztažné frekvence (P352)
↓		
P463 = ?		Jednotka doby nárůstu... (P462) 0: sekundy 1: minuty 2: hodiny
↓		
P464 = ?		Doba poklesu frekvence výstupního napětí z hodnoty vztažné frekvence (P352) na nulu
↓		

P465 = ?

Jednotka doby poklesu...(P464)

0: sekundy
1: minuty
2: hodiny

Používá se sinusový filtr (P068 = 1) nebo synchronní motor?

ne ↓

↓ ano

P115 = 2

Výpočet modelu motoru prostřednictvím funkce „identifikace motoru v klidu“

Upozornění: Střídač je odblokován, motorem protéká proud a hřídel motoru se může pohnout! Objeví se hlášení o stavu měniče (výstražné hlášení A078 „následuje měření za klidu motoru“) a měnič se musí poté do 20 sekund zapnout.

Používá se analogové tachodynamo?

ne ↓

↓ ano

Normování
tachodynamu

Používá se analogové tachodynamo?

Normování tachodynamu

Tachodynamo je připojeno k jednotce ATI: viz „Návod k obsluze a údržbě“ jednotky ATI.

Tachodynamo je připojeno ke svorkovnici: viz příslušná bloková schémata.

Vektorové řízení, regulace n, f, M?
(P100 = 3, 4, 5)

ne ↓

↓ ano

P115 = 4

Výpočet modelu motoru prostřednictvím funkce „měření při běhu naprázdno“

Upozornění: Střídač je odblokován, motorem protéká proud a hřídel motoru se točí. Po stisku tlačítka „P“ se objeví hlášení o stavu měniče (výstražné hlášení A080) a měnič se musí poté do 20 sekund zapnout.

Čekání

Čekajte, dokud se neobjeví hlášení „připraven k zapnutí“ (°009)

Objeví-li se poruchové nebo výstražné hlášení, viz kapitolu „Poruchová a výstražná hlášení“.

P536 = ?

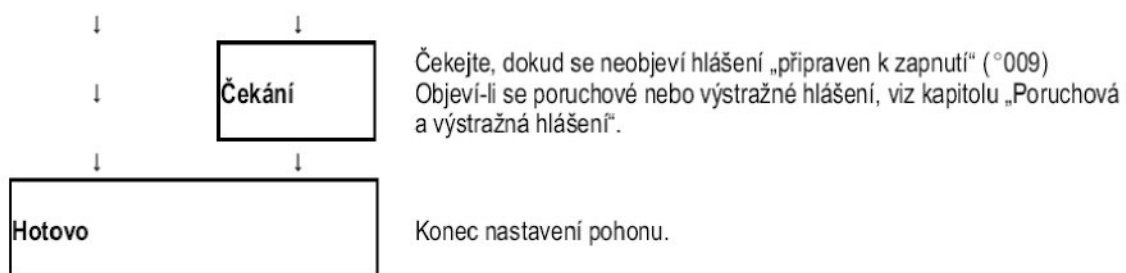
Dynamika regulačního obvodu otáček [%]

Hodnota tohoto parametru je důležitá k zdárnému provedení optimalizace regulátoru.

P115 = 5

Výpočet modelu motoru prostřednictvím funkce „optimalizace regulátoru“

Upozornění: Střídač je odblokován, motorem protéká proud a hřídel motoru se točí. Po stisku tlačítka „P“ se objeví hlášení o stavu měniče (výstražné hlášení A080) a měnič se musí poté do 20 sekund zapnout.



Příloha č.3. Úloha měření a simulace průběhů veličin zapojení asynchronního motoru s měničem SIMOVERT.

Úkol měření:

Změřte průběhy reálných veličin (otáčkové, proudové a momentové charakteristiky) laboratorního pohonu firmy Siemens. Poté použijte toolboxy programu „Simulace pohonu“ k nasimulování průběhů těch samých veličin. Oba průběhy, naměřené i nasimulované porovnejte.

Součásti laboratorního elektropohonu Siemens:

3 fázový asynchronní motor 1LA7106-6AA10-Z

Stejnoseměrný motor GL5104-0EB20-6VV1-Z s cizím buzením

Frekvenční měnič SIMOVERT VC 6SE 7016-1E20

Řízený usměrňovač Simoreg 6RA 2413-6DV62-0

Brzdová jednotka Breaking Unit 6 SE701-OES87-2DAO

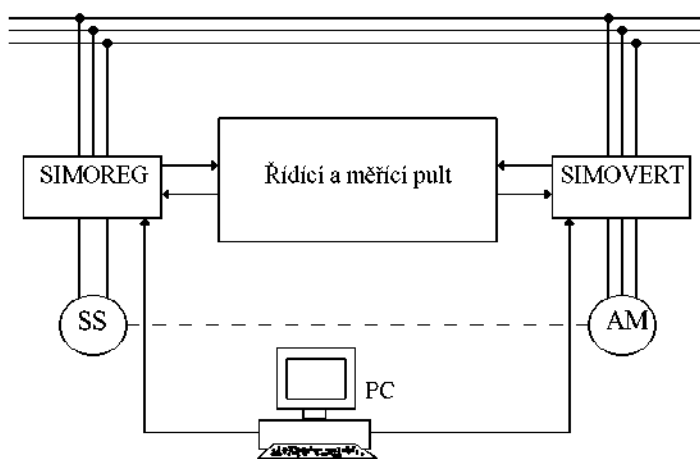
Snímač otáček asynchronního motoru 2CW1174-8RF14-1

Snímač otáček stejnosměrného motoru P0G 9 D 1024

Ventilátor SS motoru

Zapojení je na obr.1

Měřicí zařízení:



Obr.1. Blokové schéma elektropohonu

Měřený elektropohon je tvořen asynchronním a stejnosměrným motorem, které jsou spojeny mechanickou hřídelí. Měříme průběh veličin asynchronního motoru řízeného frekvenčním měničem SIMOVERT. Stejnoseměrný motor ovládaný usměrňovačem Simoreg, slouží jako zdroj zátěžného momentu. Měniče k řízení motorů ovládáme pomocí počítače s nainstalovaným programem Simovis.

Tímto programem lze nastavovat některé z parametrů (vždy označené velkým písmenem!) frekvenčního měniče seřazených do tabulky.

Postup měření na elektropohonu:

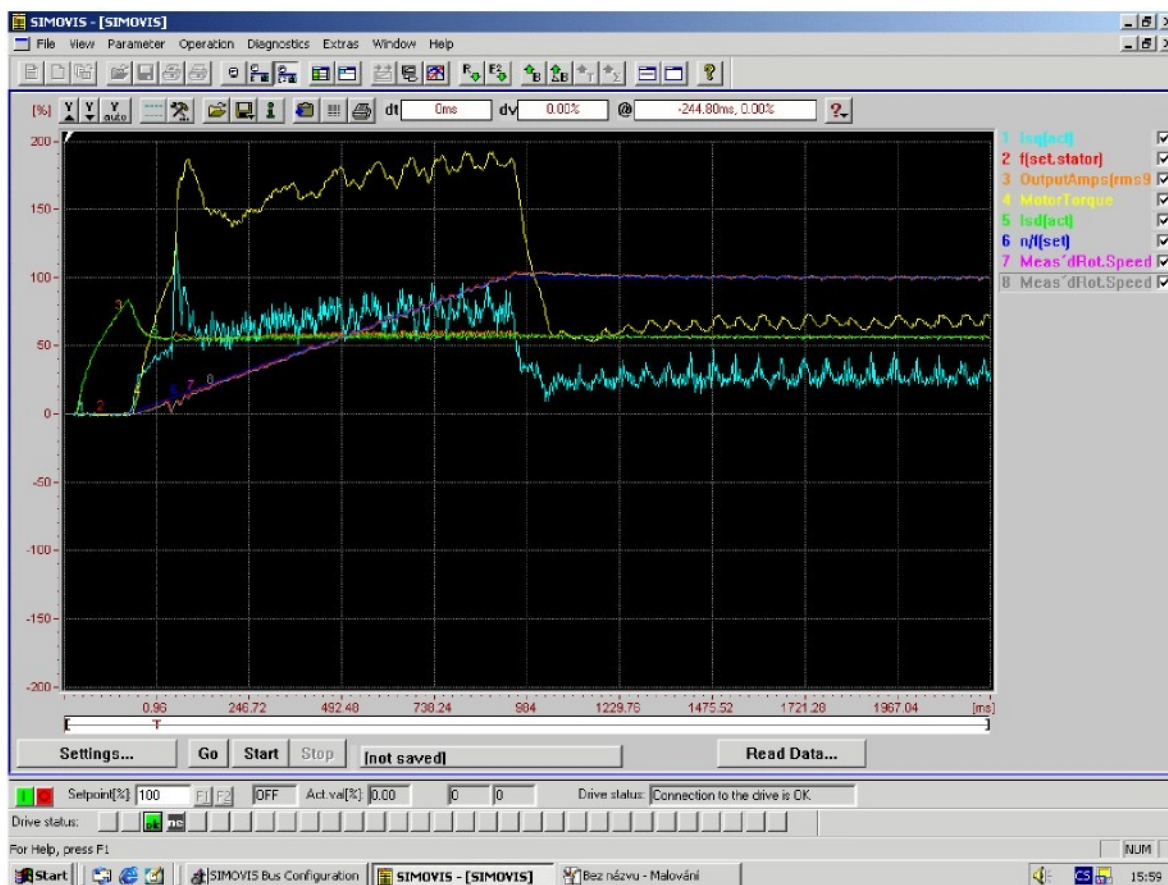
- 1) Zapněte počítač i frekvenční měnič SIMOVERT a řízený usměrňovač Simoreg
- 2) Otevřete program Simovis ikonou „Simovis“
- 3) Otevřete soubor nastavených parametrů:
- 4) Nastavte parametr P060 na hodnotu 5 nastavení pohonu
- 5) Nastavte parametr P100 na hodnotu 0, t.j. skalární řízení s čidlem otáček
- 6) Pomocí parametru P115 na hodnotě 7 nastavte optimální parametry PI regulátorů v měniči.
Tyto hodnoty můžete měnit odblokováním parametru P115 na původní hodnotu 5. Ideálně zregulovaný průběh by měl být hladký a bez kmitů.
- 7) Pomocí ikony „Trace“ otevřete grafické okno pro sledování měřených veličin.
- 8) Ikonou „Settings...“ vyberte jednotlivé konektory jejichž signály chceme zobrazit.
Konkrétně jde o tyto signály uvedené v tab.1.

konektor	Signál	Veličina	Význam
KK0075	n/f(set)	Otáčky	Skutečné otáčky
KK0199	f(set,stator)	Otáčky	Žádaná hodnota frekvence na vstupu střídače
K0021	OutputVolts	Napětí	Výstupní napětí
K0242	Output Amps(rms9)	Proud	Výstupní proud – efektivní hodnota
K0024	Motor Torque	Moment	Moment motoru po vyhlazení se zpožděním
K0241	Torque(act)	Moment	Skutečný moment
K0184	Isq(act)	Proud	Momentotvorná složka proudu
KK0091	Meas'dRot.Speed	Otáčky	Signál z IRC čidla bez vyhlazení

Tab.1. Pořadí signálů vybraných k měření

Je nutné dodržet uvedené pořadí těchto signálů kvůli ukládání a vizualizaci!

- 9) Pomocí základního okna Simovisu nastavte otáčky a moment stejnosměrného motoru
- 10) V měřicím okně „Trace“ zapněte měření ikonou „Load“ a spusťte elektropohon ikonou „Input“. Ikonou „Output“ později vypneme pohyb pohonu a necháme systém načíst všechny zvolené průběhy. Mezitím na hlavním panelu odpojíme vypínačem stejnosměrný motor.
- 11) Načtené průběhy uložte do adresáře „Simulace pohonu“ jako textovou matici.
- 12) Uzavřete všechna grafická okna programu Simovis a vypněte elektropohon.



Obr.2. Grafické okno „Trace“ Simovisu s ukázkou kompletního průběhu naměřených veličin (1000 ot/min)

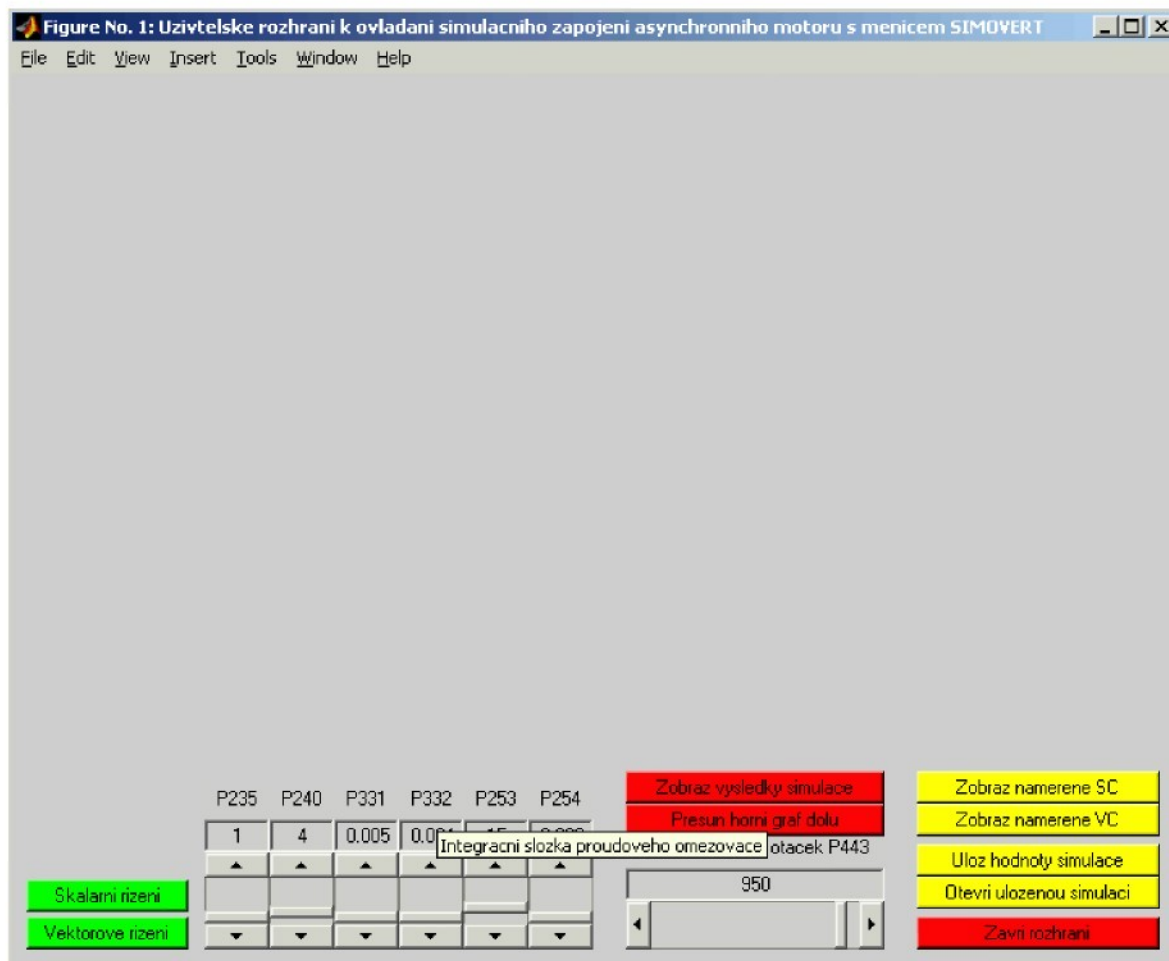
Postup simulace elektropohonu:

- 1) Otevřete program Matlab (Ikona „Matlab12“)
- 2) Nastavte adresář „Simulace pohonu“ (cd c:/matlabr12/.../work/Simulace pohonu) a otevřete soubor „Zacni_GUI.m“
- 3) Spustěte program (Debug → Run) a otevřete grafické uživatelské rozhraní
- 4) Pomocí šedých posuvníků - sliderů nastavte požadované otáčky. Můžete také změnit hodnoty PI složek regulátorů. Název těchto parametrů zjistíme najetím myši na ikonu.
- 5) Pro nastavenou rychlost otáček vyberte simulační schéma. V případě naší úlohy zelené tlačítko „Skalarni rizeni“.
- 6) V simulačním schématu v prostředí Matlab SIMULINK nastavte hodnotu ikon „Zapojen regulator n“ rovnu 1. Tím aktivujeme regulátor otáček.
- 7) Spustěte simulaci ikonou „Run“
- 8) Po skončení simulace zobrazte v grafickém rozhraní její výsledek ikonou „Zobraz vysledky simulace“ (horní červená ikona). Žlutou ikonou „Uloz hodnoty simulace“ uložte hodnotu nasimulovaného průběhu jako textovou matici „simulace.txt“.

Pokud chceme tyto hodnoty archivovat tak soubor „Simulace.txt přejmenujeme, nebo se každým následujícím uložením soubor přemaže!

- 9) Přesuňte nasimulované hodnoty červenou ikonou „Presun horni graf dolu“.
- 10) Žlutou ikonou „Zobraz namerene SC“ otevřete naměřený průběh veličin skalárního řízení (Skalar Control).

- 11) Oba průběhy otáček, proudů a momentů (nasimulovaný i naměřený) porovnejte. Pokud neodpovídají, tak změňte PI parametry regulátorů a simulaci spustit znovu. Podobně lze porovnávat měření a simulaci vektorového řízení VC.



Obr.3. Grafické uživatelské rozhraní – ukázka po spuštění

Parametry regulátorů lze zjistit najetím myši na ikonu příslušného posuvníku (tzv. funkce tooltipstring) popřípadě jsou uvedené v tab.2.

Označení parametru	Význam parametru
P235	P složka regulátoru otáček
P253	Kp zesílení proudových regulátorů
P254	Tn časová konstanta proudových regulátorů VC
P240	I složka regulátoru otáček
P331	P složka proudového omezovače SC
P332	I složka proudového omezovače SC
P443	Žádaná hodnota otáček

Tab.2. Označení parametrů měnitelných z grafického rozhraní