



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

EXPERIMENTÁLNÍ PRACOVISTĚ ŘÍZENÉHO POHONU S VYSOKOU DYNAMIKOU

EXPERIMENTAL WORKPLACE OF CONTROLLED DRIVE WITH HIGH DYNAMICS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV ROZKOŠNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK NĚMEC, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Rozkošný

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Experimentální pracoviště řízeného pohonu s vysokou dynamikou

v anglickém jazyce:

Experimental workplace of controlled drive with high dynamics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro zkvalitnění výuky v oboru automatizace je žádoucí vybudovat ukázkou pohonu s vysokou dynamikou řízení rychlosti otáčení a polohy. Základem je měnič frekvence Sinamics S120 a synchronní servomotor 1FK7 Compact s výkonem 0.82 kW.

Cíle diplomové práce:

1. Seznámit se vlastnostmi daného měniče frekvence a motoru.
2. Navrhnout koncepci a funkce experimentálního pracoviště s řízením pohonu, včetně dalšího potřebného vybavení.
3. Realizovat laboratorní přípravek. V případě potřeby zpracovat související uživatelské programové vybavení pro řízení experimentů.
4. Zpracovat příklady laboratorních experimentů, vhodných k výuce ve formě ukázek ve cvičeních.

Seznam odborné literatury:

[1] Technická dokumentace fy Siemens k měniči Sinamics S120 a servomotoru 1FK7. Dostupnost přes internet.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá základním principem frekvenčního měniče a jeho konstrukcí. V další části práce jsou rozebrány základní vlastnosti a parametry použitého vybavení. Hlavní částí je zkoumání dynamických vlastností asynchronního elektromotoru řízeného frekvenčním měničem pomocí prostředí STARTER. Výsledky jednotlivých experimentů jsou porovnány a analyzovány.

Abstract

My diploma thesis deals with the basic principle of the frequency inverter and his construnction. In the next section are analyze the basic properties and characteristics of the using equipment. The main part of this thesis is to investigate the dynamic properties of asynchronous electric motor controlled by a frequency inverter using STARTER. The results of experiments are compared and analyzed.

Klíčová slova

Frekvenční měnič, motor, přechodová charakteristika, frekvenční charakteristika, amplituda, setrvačnick

Keywords

Frequency converter, motor, the step response, frequency response, amplitude, flywheel

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: „Experimentální pracoviště řízení pohonu s vysokou dynamikou“, vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeňka Němce, CSc., na základě dostupné literatury a dostupných informačních zdrojů, které jsem všechny odcitoval v seznamu použité literatury.

V Brně dne

podpis.....

Bibliografická citace mé práce:

ROZKOŠNÝ, M. *Experimentální pracoviště pohonu s vysokou dynamikou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 51s. Vedoucí diplomové doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Němcovi, CSc., za odborné vedení, ochotné poskytnutí cenných rad a zkušeností při vypracování mé diplomové práce

Obsah

1	Úvod.....	13
2	Frekvenční měnič.....	15
2.1	Princip frekvenčního měniče.....	15
2.2	Konstrukce frekvenčního měniče.....	15
2.2.1	Usměrňovač.....	15
2.2.2	Meziobvod stejnosměrného napětí.....	15
2.2.3	Měnič.....	15
2.2.4	Řízení/regulace.....	16
2.3	Využití frekvenčního měniče.....	17
3	Siemens Sinamics S120.....	19
3.1	Siemens Sinamics Control Unit 310 PN.....	20
3.1.1	Technické parametry.....	23
3.2	Siemens Sinamics Power Module 340.....	24
3.2.1	Charakteristiky.....	24
3.2.2	Technické parametry.....	27
3.3	Siemens synchronní servomotor.....	28
3.3.1	Charakteristiky.....	28
3.3.2	Technické parametry.....	30
4	Prostředí STARTER.....	31
4.1	Úvod.....	31
4.2	Uvedení do provozu a diagnostika.....	32
4.3	Funkční bloky.....	32
4.4	Bloková schémata.....	33
5	Realizace experimentálního pracoviště.....	35
5.1	Moment setrvačnosti.....	36

6	Laboratorní experimenty	37
6.1	Vliv momentu setrvačnosti.....	37
6.2	Vliv velikosti změn	41
6.3	Fázový posun a amplituda.....	45
7	Laboratorní úloha.....	47
	Řízený pohon s asynchronním motorem a frekvenčním měničem	47
7.1	Pomůcky.....	47
7.2	Úvod	47
7.3	Připojení motoru k PC a načtení měniče	47
7.4	Řízení rychlosti otáčení	47
7.5	Tabulka měření.....	48
7.6	Kontrolní otázky.....	48
8	Závěr	49
	Literatura.....	51

1 Úvod

V této práci se budu zabývat dynamickými vlastnostmi asynchronního elektromotoru 1FK7 od firmy Siemens s.r.o., který bude napájen z frekvenčního měniče Sinamics S120 od téže firmy. Frekvenční měnič je obsluhován z osobního počítače pomocí prostředí STARTER, které je navrženo pro uvádění pohonů do provozu a jejich kompletní monitoring.

V první části této práce se budu věnovat frekvenčnímu měniči, jehož základním principem je usměrnění napájecího napětí a z něj je vytvořena nová trojfázová síť. Frekvenční měnič je dnes velmi rozšířeným doplňkem pro řízení a regulaci pohonů. Díky jeho vlastnostem jsme schopni plynule regulovat rychlost otáčení a točivý moment asynchronního elektromotoru, u nichž je rychlost otáčení závislá na frekvenci elektrického napětí napájení a tudíž ji nelze nijak jinak regulovat.

Dále se budu zabývat frekvenčním měničem Sinamics S120, jeho základním rozdělením, základními vlastnostmi a parametry díky kterým je schopen zvládnout dynamicky náročné aplikace v oblasti přesného řízení pohonu v jedné, či více osách a možnosti jeho využití. V další části se budu zabývat konstrukcí a parametry zkoumaného asynchronního elektromotoru, který vyniká svou vysokou dynamikou a vysokou přetížitelností, jehož součástí je i inkrementální kodér, který je s měničem propojen přes rozhraní DRIVE-CLiQ.

Dále bude popsáno softwarové prostředí STARTER, které je vybaveno kvalitními monitorovacími funkcemi jako je generátor signálu a osciloskop, díky nimž umožňuje jednoznačnou diagnostiku daného pohonu.

Další část se bude zabývat samotnou realizací pracoviště a laboratorními experimenty zkoumající vlivy změn dynamických vlastností motoru při různých zatíženích, různých frekvencích a rychlostech otáčení rotoru.

Na závěr bude vypracována laboratorní úloha pro ukázkou pohonu s vysokou dynamikou řízení rychlosti otáčení a polohy vhodné pro výuku v oboru automatizace.

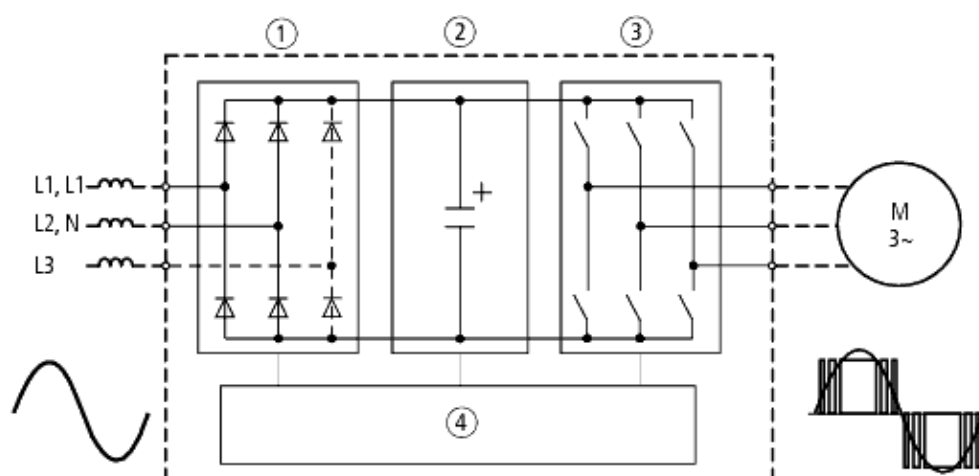
2 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je elektrické zařízení, které slouží k přeměně kmitočtu elektrického napětí.

2.1 Princip frekvenčního měniče

Frekvenční měnič usměrňuje napájecí napětí sítě na stejnosměrné. Z tohoto stejnosměrného napětí vytváří novou trojfázovou síť s proměnlivou frekvencí a proměnlivým napětím, kterou je poháněn trojfázový asynchronní elektromotor [1].

2.2 Konstrukce frekvenčního měniče



Obr. 2.1 Schéma frekvenčního měniče: 1) usměrňovač, 2) meziobvod stejnosměrného napětí, 3) měnič, 4) řízení/regulace [2]

2.2.1 Usměrňovač

Může být napájen z jednofázové i trojfázové sítě. Toto střídavé napájecí napětí přeměňuje na stejnosměrné pulzující napětí. Může být tvořen pouze diodovým můstkem (neřízený usměrňovač), nebo pomocí tyristorů či tranzistorů (řízený usměrňovač) [2].

2.2.2 Meziobvod stejnosměrného napětí

Hlavním úkolem je stabilizovat usměrněné napětí, které má na výstupu usměrňovače zvlněný průběh. Nejjednodušším filtrem k vyhlazení napětí je použití kondenzátoru, který je paralelně připojený k zátěžovému obvodu. Dalším úkolem meziobvodu je ochrana měniče proti přepětí vygenerovanému elektromotorem v generátorovém režimu (brzdění a doběh elektromotoru) [3].

2.2.3 Měnič

Je to výkonový prvek spjatý s řízeným asynchronním elektromotorem. Nejčastěji se používá napěťový střídač se stejnosměrným meziobvodem, který elektromotor napájí okamžitou hodnotou fázového napětí podle řídicího algoritmu [3].

2.2.4 Řízení/regulace

Přijímá signály z usměrňovače, meziobvodu a měniče, které v reálném čase pomocí řídicího algoritmu vyhodnotí a podle nich otevírá a zavírá polovodičové spínače. Řízení se rozděluje na dva základní režimy, a to s otevřenou nebo uzavřenou smyčkou [4].

Řízení s otevřenou smyčkou

Tento režim je nejjednodušším způsobem řízení asynchronního motoru. Požadované rychlosti motoru se dosahuje změnou napětí a kmitočtu metodou známou jako řízení podle křivky U/f (skalární režim). Velkou nevýhodou řízení s otevřenou smyčkou je velká nepřesnost a malý točivý moment při nízkých rychlostech.



Obr. 2.2 Schéma řízení s otevřenou smyčkou

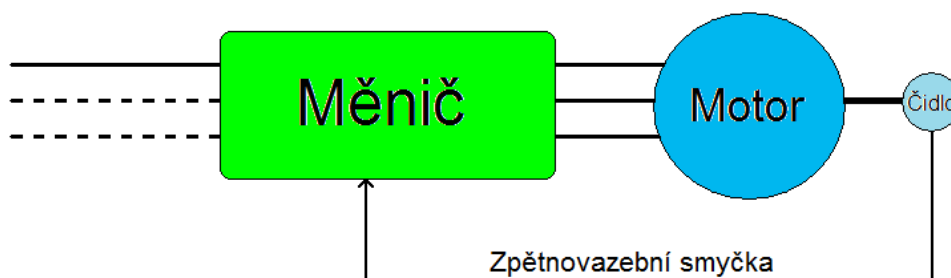
Velkého zlepšení výkonu a přesnosti bylo dosaženo použitím technologií vektorového řízení s otevřenou smyčkou a přímého řízení točivého momentu, které pracují s náhradním modelem motoru v reálném čase a tím kompenzují faktory ovlivňující rychlost a točivý moment na hřídeli. Avšak při nízkých otáčkách jsou vlastnosti pro některé aplikace nedostačující. V současné době se objevila nová metoda řízení využívající regulace motorového toku, která poskytuje větší dynamiku a zlepšenou stabilitu.

Řízení s otevřenou smyčkou se používá v případech, kdy se motor nezatěžuje při nulové nebo nízké rychlosti a není kladen požadavek na přesnost točivého momentu a rychlosti. Mezi typické využití patří:

- čerpadla
- ventilátory
- dopravníky
- mísicí stroje
- odstředivky

Řízení s uzavřenou smyčkou

Při řízení s uzavřenou smyčkou je použita zpětná vazba, která je realizována pomocí čidel snímající rychlost a polohu hřídele elektromotoru.



Obr. 2.3 Schéma řízení s uzavřenou smyčkou

Výhodou použití zpětné vazby je stabilní a přesné řízení rychlosti i točivého momentu s vysokou dynamikou a to z klidového stavu až po maximální rychlost motoru. Mezi typické využití patří:

- jeřáby a zvedáky
- výtahy
- navíjení
- manipulace s materiálem
- testování v automobilovém průmyslu
- protlačování

2.3 Využití frekvenčního měniče

Frekvenční měnič se nejčastěji využívá k ovládání a regulaci asynchronního motoru, který je nejběžnějším motorem používaným v průmyslu. Výhodou těchto motorů je jejich robustnost, nenáročnost na drážbu a snadná výroba. Při připojení motoru k síti dojde k jeho rychlému rozběhu a potom se otáčí konstantní rychlostí, která je závislá na kmitočtu elektrického napájení. U některých aplikací lze akceptovat konstantní rychlost, popřípadě ji upravit vhodnou převodovkou. V ostatních případech však představuje prudké zrychlení, nebrzděné zpomalení, nemožnost upravení točivého momentu a rychlosti vážný problém. Řešením tohoto problému je použití frekvenčního měniče [4].

Použitím frekvenčního měniče lze dosáhnout efektivnějšího provozu motorů, které spotřebují až o 20% méně energie. Přitom měnič odebírá ze sítě pouze činný výkon ($\cos \varphi \sim 1$), jalový výkon dodává meziobvod stejnosměrného napětí. Jelikož motory spotřebují až dvě třetiny elektrické energie, měniče tvoří klíčovou složku programu na snížení emisí vypouštěných elektrárnami do ovzduší [1].

3 Siemens Sinamics S120

Je to frekvenční měnič určený pro dynamicky náročné aplikace v oblasti přesného řízení rychlosti, momentu pohonu i polohování v jedné (AC/AC) či více (DC/AC) osách. Všechny měniče SINAMICS S120 se skládají ze tří komponent a to řídicí jednotky (Control Unit), motorového modulu (Engine Module) a napájecího modulu (Power Module). U jednoosých měničů (AC/AC) je napájecí a motorový modul sloučen. Díky širokému rozsahu výkonů a to od 120 W až po 4,5 MW.



Obr. 3.1 Řídicí jednotka a výkonová část pro jednoosé aplikace [6]

Řídicí jednotka umožňuje řízení více pohonů v režimech U/f, servo i vektor a disponuje bezpečnostními funkcemi vhodnými pro strojní aplikace. Veškerá inteligence frekvenčního měniče je soustředěna do řídicí jednotky a motorový modul je jen výkonový díl řízený z této jednotky. Komunikace mezi bloky zajišťuje proprietární sběrnice DRIVE-CLiQ.

Řídicí jednotky jsou vybaveny rozhraními pro nadřazený systém, s nímž mohou komunikovat velmi rychlým a především časově přesným protokolem. Prostřednictvím sítí Profibus DP nebo Profinet lze frekvenční měniče propojovat navzájem a s různými řídicími systémy [5].

Hlavní výhody:

- Univerzální použití v dynamicky náročných jednoosých i víceosých aplikacích.
- Flexibilita daná modulární výstavbou.
- Široké výkonové spektrum.
- Jednoduché polohování přímo v měniči.
- Bohatá nabídka bezpečnostních funkcí.
- Několik variant chlazení.

3.1 Siemens Sinamics Control Unit 310 PN

CU310 PN je řídicí jednotka určená pro komunikaci a kontrolu napájecího modulu. V kombinaci s napájecím modulem a kartou CompactFlash vytváří silný jednoosý pohon. Komunikaci s nadřazeným systémem zajišťuje PROFINET IO[7].

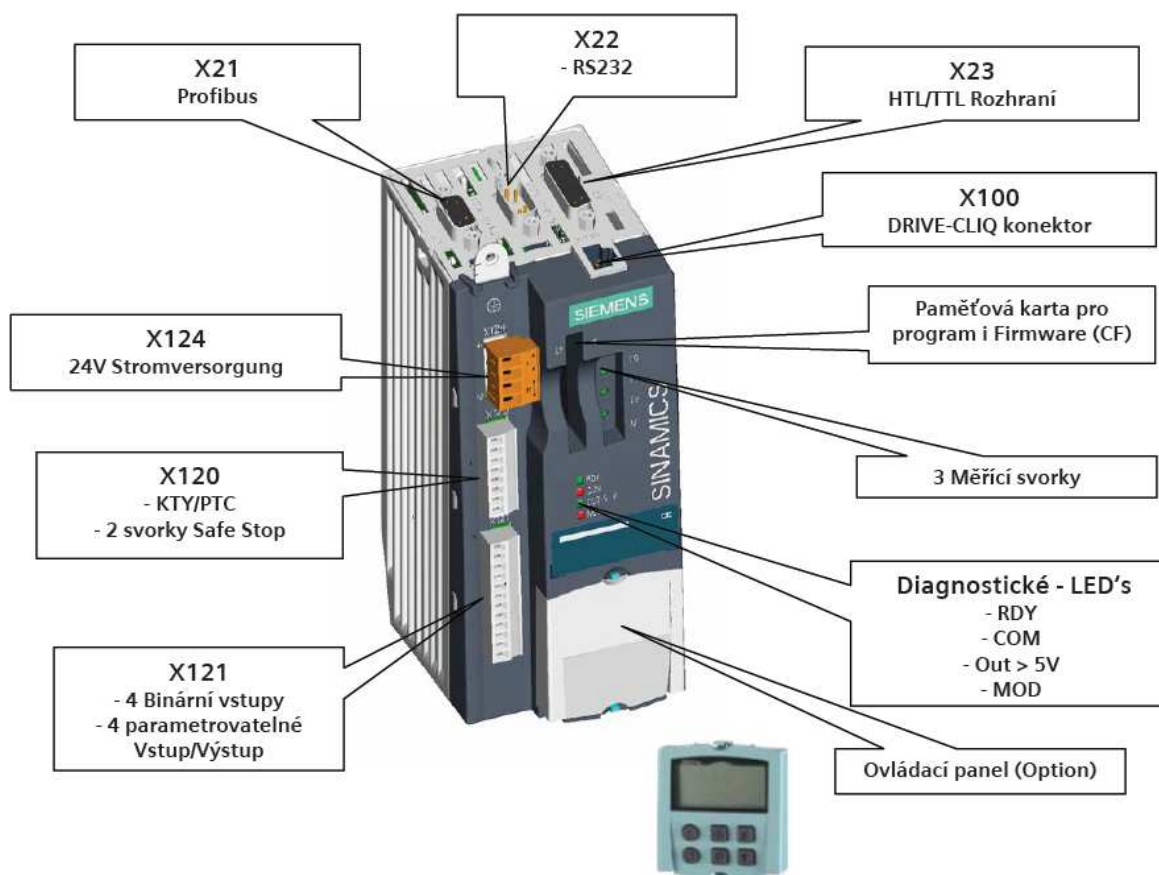
CU310 PN má jako standardní rozhraní:

- 1x DRIVE-CLiQ zásuvka pro komunikaci s jinými DRIVE-CLiQ zařízeními (snímače, svorkovnicové moduly, ...)
 - 1x rozhraní pro BOP20 (základní ovládací panel)
 - 1x PROFINET rozhraní
 - 1x Vyhodnocení snímače
- Následující signály snímačů mohou být hodnoceny:
- Inkrementálního čidla TTL / HTL
 - SSI bez inkrementálních signálů
- 4x parametrizovatelné digitální vstupy
 - 4x obousměrné digitální vstupy / výstupy
 - 1x sériový port RS232
 - 1x slot pro kartu CompactFlash, pro uložení firmware a parametrů
 - 1x napájecí konektor 24V DC
 - 1x teplotní čidlo (KTY84-130 nebo PTC)
 - 1 PE / zemnicí vodič připojení

Stav řídicí jednotky je indikován pomocí barevných LED diod. Základní ovládací panel (BOP20) může být připevněn přímo na ovládací jednotce CU310 PN pro diagnostické účely. Vzhledem k tomu jsou firmware a nastavení parametrů uloženy na plug-in kartu CompactFlash, díky tomu může řídicí jednotka provádět změny bez potřeby softwarových nástrojů.

Nastavení parametrů lze změnit pomocí BOP20 základního ovládacího panelu. BOP20 panel může být připevněn k ovládací jednotce během provozu pro diagnostické účely.

CU310 PN řídí výkonové moduly v BlockSize formátu přes PM-IF rozhraní. V tomto případě se mohou ostatní DRIVE-CLiQ komponenty, jako jsou snímače, nebo svorkovnicové moduly připojit k DRIVE-CLiQ zásuvce přímo na jednotce [7].



Obr. 3.2 Vstupy a výstupy Control Unit 310 PN [7]

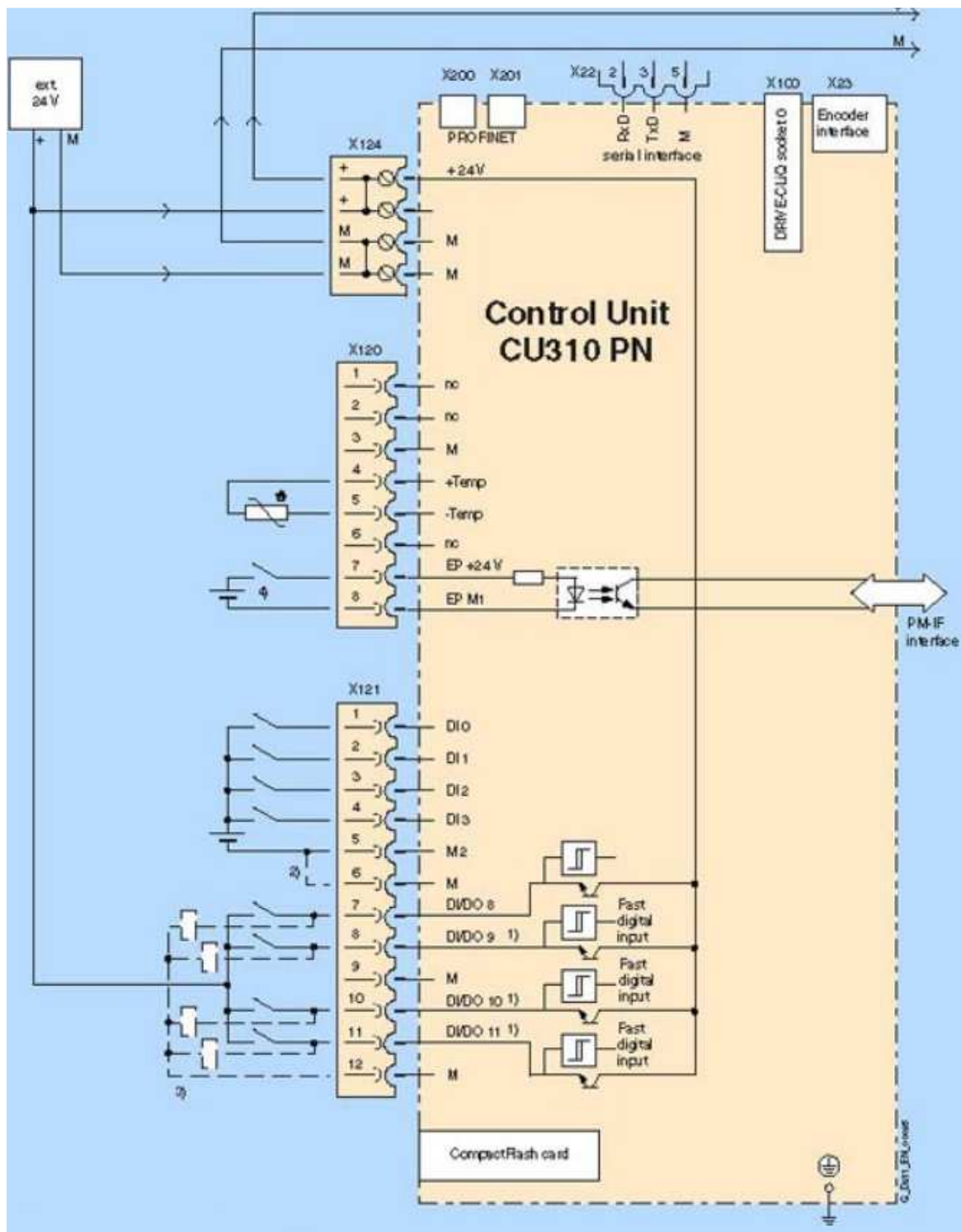
CU310 PN a další související komponenty jsou uváděny do provozu a diagnostikovány pomocí software STARTER. CU310 PN vyžaduje kartu CompactFlash s firmwarem verze 2.4 nebo vyšší.

CU310 PN komunikuje s nadřazeným řídicím systémem pomocí PROFINET IO a Profidrive V4 profil.

SINAMICS S120 pohonný systém spolu s CU310 PN přebírá funkci zařízení PROFINET IO a může provádět následující funkce:

- PROFINET IO zařízení
- 100 Mbit / s full duplex
- Podpora v reálném čase třídy PROFINET IO:
 - o RT (Real-Time)
 - o IRT (Izochronní Real-Time)
- Standardní port TCP / IP komunikace pro inženýrské procesy s využitím provozu STARTER
- Integrovaný 2portový switch s dvěma zásuvky RJ45 na základě ERTEC ASIC Optimální topologie (linie, hvězda, strom), proto může být nakonfigurován bez dalších externích spínačů.

Externí napájení 24 V lze připojit k CU310 pro napájení řídicí jednotky, pokud je přichází napájení výkonového modulu bez napětí [7].



Obr. 3.3 Control Unit 310 PN – vstupy/výstupy [7]

3.1.1 Technické parametry

CU310 PN Control Unit			
Max. zátěž (24V DC)	0,4A pro CU310 PN + 0,5A pro PM340	Zpoždění	150 ms
Max. průřez vodičů	2,5 mm ²	Max. průřez vodičů	0,5 mm ²
Max. Jištění	20 A	Snímače	Inkrementální čidla TTL/HTL SSI bez inkrementálních signálů
Digitální vstupy	Dle IEC 61131-2 typ 1 4x vstup 4x obousměrný vstup/výstup	Napájení snímače	24 V DC / 0,35 5 V DC / 0,35
Napětí	-3 až +30 V	Max. kmitočet enkodéru	300 Hz
Nízká úroveň	-3 až +5 V	Max. délka kabelu	
Vysoká úroveň	15 až 30 V	TTL	100 m - bipolární signály
Odběr proudu (24 V DC)	10 mA	HTL	100 m - unipolární signály 300 m - bipolární signály
Zpoždění digitálních vstupů		SSI	100 m
L => H	50 ms	Ztrátový výkon	<20 W
H => L	100 ms	Připojení PE	Šroub M5
Zpoždění vysokorychlostních digitálních vstupů		Rozměry	
L => H	5 ms	Šířka	73 mm
H => L	50 ms	Výška	183,2 mm
Max. průřez vodičů	0,5 mm ²	Hloubka	89,6 mm
Digitální výstupy	4x obousměrný vstup/výstup	Hmotnost	0,95 Kg
Napětí	24 V DC	Schválení	cULus (Číslo souboru: E154110)
Max. zatěžovací proud	500 mA		

3.2 Siemens Sinamics Power Module 340

V PM340 ve formátu BlockSize jsou jako standardní funkce připojení a rozhraní:

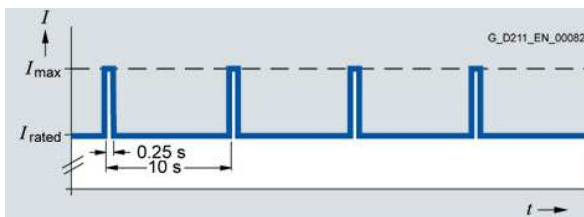
- PM - IF rozhraní pro spojení napájecího modulu PM340 a CU310/SIMOTION D410 řízení nebo adaptéru řídicí jednotky. Napájecí modul napájí i řídicí jednotku CU310/SIMOTION D410 pomocí integrovaného napájení.
- Svorky DCP/R1 a R2 pro připojení externího brzdového odporu.
- Šroubové svorky pro spojení s motorem.
- Řídicí obvod pro bezpečnostní brzdové relé k ovládání přídržné brzdy.

Napájecí modul bez integrovaného síťového filtru je určen pro připojení k uzemněné (TN, TT) i neuzemněné (IT) soustavě. S integrovaným síťovým filtrem je vhodný pouze pro připojení k systému TN.

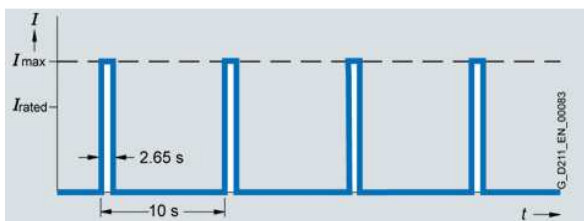
Při využití integrované brzdné jednotky, musí být sledována teplota externího brzdového odporu k zajištění ochrany před tepelným přetížením [7].

3.2.1 Charakteristiky

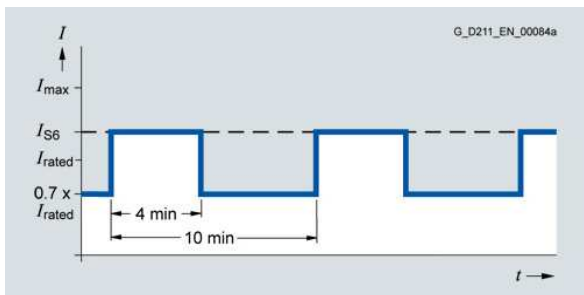
3.2.1.1 Přetížitelnost



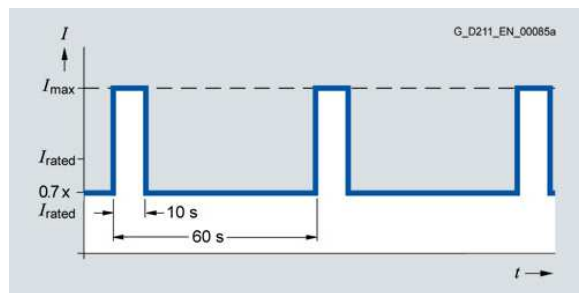
Zatěžovací cyklus s předchozí zátěží



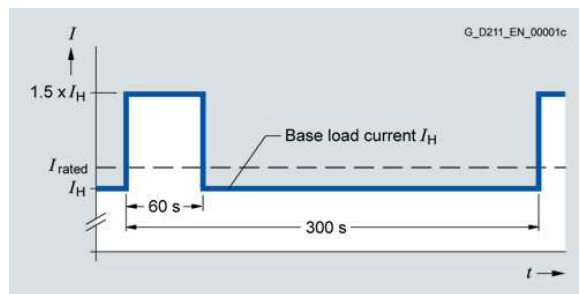
Zatěžovací cyklus bez předchozího zatížení



S6 zatěžovací cyklus s předchozí dobou zatížení 600 s



S6 zatěžovací cyklus s předchozí dobou zatížení 60 s



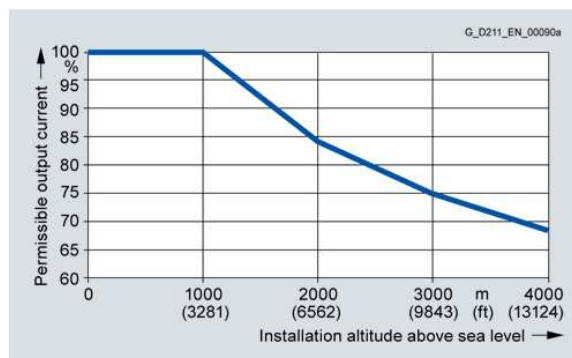
Zatěžovací cyklus s 60 s přetížením a dobou zatížení cyklu 300 s

3.2.1.2 Snížení jmenovitých charakteristik

- Velikost rámu FSA FSE



Výstupní proud v závislosti na pulzním f

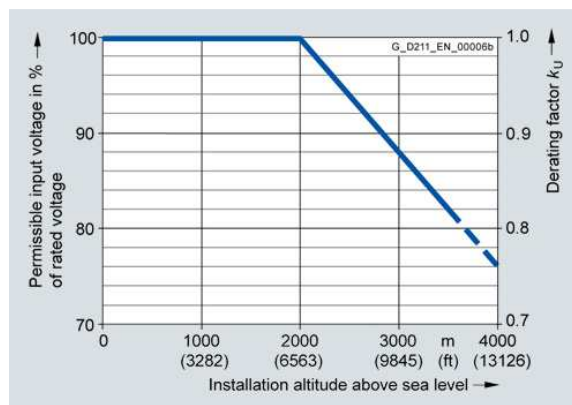


Výstupní proud závisí na nadmořské výšce

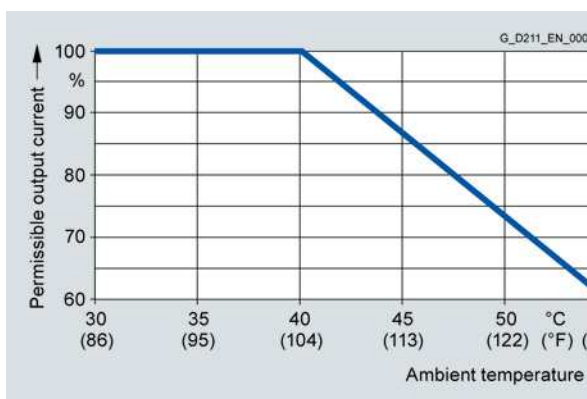
- Velikost rámu FSF



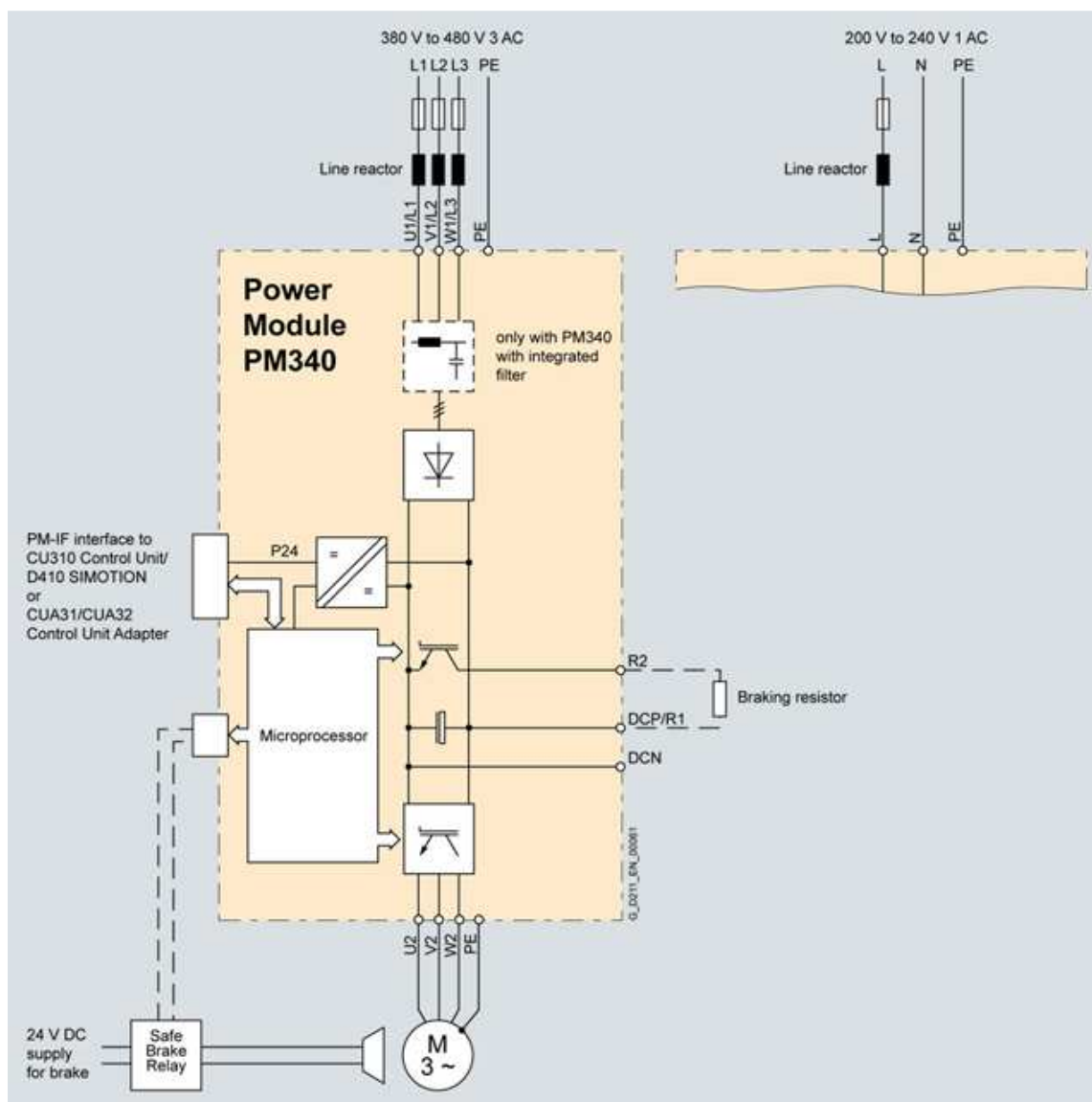
Výstupní proud v závislosti na pulzních f



Snížení výkonu v závislosti na nadmořské výšce



Výstupní proud v závislosti na okolní teplotě



Obr. 3.4 Power Module 340 – příklad zapojení [7]

Mnoho součástí systému PM 340 je navrženo jako základní, tj. komponenty jsou umístěny na základní desce a napájecí modul před nimi v prostorově úspornou konstrukcí. Nohou být namontovány maximálně dvě základní složky před sebe.

PM 340 je vybaven síťovým filtrem, síťovou tlumivkou i brzdovým odporem [7].

3.2.2 Technické parametry

Power Module 340		PM340 Power Modules ve formátu BLOKU 6SL3210-1SB14-0AA0	
Napájení	200 - 240V AC 1±10% (-15% <1 min)	Výstupní proud	
Frekvence	47 – 63 Hz	Jmenovitý proud I_n	3,9 A
Účinník (při jmenovitém výkonu)		Max. proud I_{max}	7,8 A
Základní účinník ($\cos \varphi_1$)	> 0,96	Výkon	750 W
Celkem (λ)	0,45 – 0,70	Ztrátový výkon	11 W
Kategorie přepětí podle EN 60664-1	Třída III	Jmenovitá pulzní frekvence	4 kHz
Změna frekvence meziobvodu	1x každých 30s	Požadavek chlazení vzduchem	0,005 m ³ /s
Napětí meziobvodu	1,35x napájení	Hladina hluku	<45 dB
Výstupní frekvence		Hodnota brzdného R	≥180 Ω
Ovládání typu Servo	0 – 650 Hz	Svorkovnice L, N	Šroubové, 1,0 – 2,5 mm ²
Ovládání typu Vektor	0 – 300 Hz	Připojení PE	Šroub M4
Ovládání typu V/f	0 – 600 Hz	Svorkovnice motoru U2 V2,W2	Šroubové, 1,0 – 2,5 mm ²
Napájení elektroniky	24V DC -15/20%	Max. délka kabelu motoru (bez externích možností)	
Odrušení		Síněný	50 (164) m
Standardní	Bez odrušení	Nestíněný	75 (246) m
S integrovaným filtrem	Kategorie C2 EN 61800-3	Krytí	IP 20
Okolní podmínky		Rozměry	
Způsob chlazení	Vzduchové, pomocí integrovaného ventilátoru	Šířka	73 mm
Přípustná okolní teplota	0 - 40 °C - bez omezení 41 - 55 °C - odlehčení charakteristiky	Výška	173 mm
		Hloubka (s CU310)	145 (234,6) mm

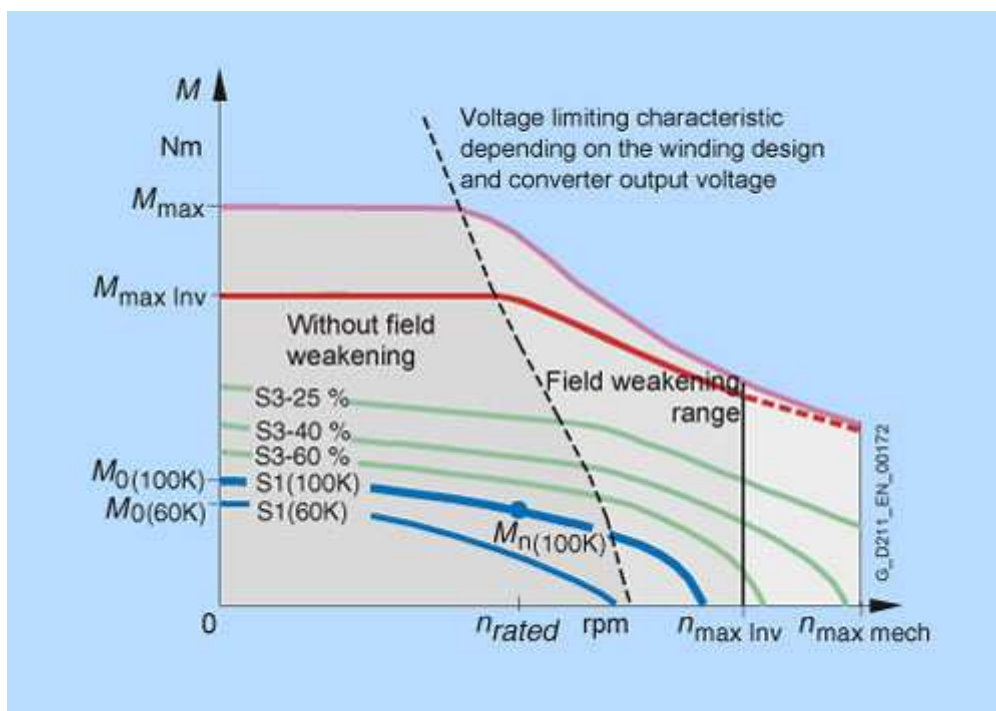
3.3 Siemens synchronní servomotor



Obr. 3.5 Synchronní servomotor [7]

1FK7 jsou velmi kompaktní synchronní motory, s permanentními magnety. K dispozici je řada převodovek a snímačů, široký sortiment možností však neznamená, že jsou motory optimálně přizpůsobitelné ke každé aplikaci. V závislosti na aplikaci lze zvolit integrovaný systém snímačů polohy a rychlosti. Motory jsou chlazeny vzduchem a mají vysokou přetížitelnost [7].

3.3.1 Charakteristiky

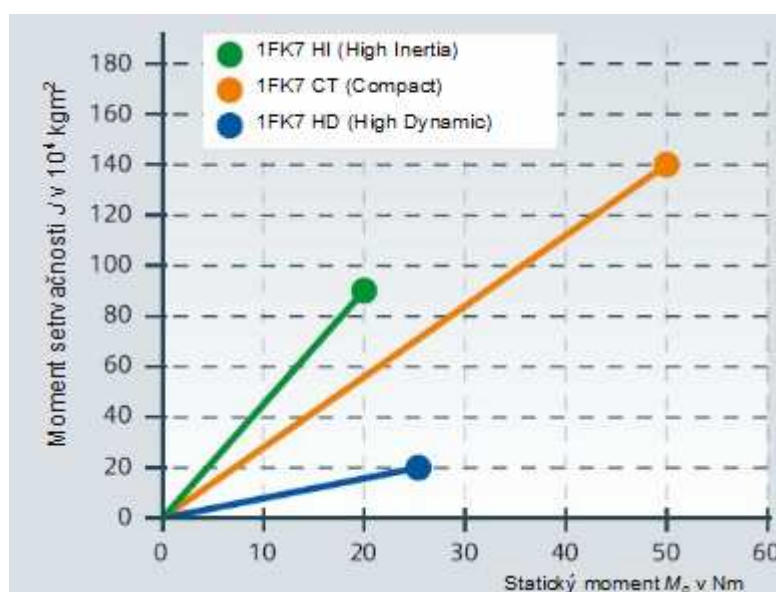


Charakteristika točivého momentu synchronního motoru v závislosti na otáčkách rotoru [7].

Motory 1FK7 High Dynamic jsou kromě své vysoké přetížitelnosti charakterizovány nízkým setrvačným momentem. Z tohoto důvodu dosahují mimořádně vysokého zrychlení. Motory 1FK7 HD jsou obzvláště vhodné pro aplikace s velmi krátkými dobami cyklu, např. v obalových strojích. Typová řada zahrnuje 11 typů s rozsahem točivého momentu od 1,3 do 28 Nm a se jmenovitými otáčkami do 6000 ot/min [8].

Motory 1FK7 jsou k dispozici s inkrementálními a absolutními kodéry. Zatímco tento kodér může být pomocí rozhraní DRIVE-CLiQ připojen k systémům pohonů SINAMICS S120 a SINAMICS S110, jsou motory k dispozici také s otevřeným rozhraním pro kodér, což umožňuje provoz s jinými měniči pro servomechanismy [8].

Speciálně harmonizované výkonové součástky, desky s elektronikou a schopnost integrace motorů prostřednictvím systémového rozhraní DRIVE CLiQ zaručují rychlé a snadné uvádění do provozu a bezproblémový provoz. Odbuzovací funkce rozšiřuje rozsah užitečných otáček motorů. Předem připravený signál MOTION-CONNECT a silové kabely nabízejí snadnou a spolehlivou metodu pro propojení komponent [8].



Obr. 3.6 Sématický diagram [8]

3.3.2 Technické parametry

Synchronní servomotor (1FK7042 - 5AF21 - 1UG0)			
Typ motoru	Synchronní s permanentními magnety	Hladina akustického tlaku L_{pA} (1 m) v souladu s EN ISO 1680, Max.	55 dB
Materiál magnetu	Magnet vzácných zemin	Vestavěný systém snímačů pro motory <u>bez</u> DRIVE-CLiQ rozhraní	Inkrementálního čidla sin / cos $1V_{pp}$ 2048 S / R Absolutní enkodér, multi-turn s rozhraní EnDat (Rozsah posuvu 4096 otáček) 2048 S / R Multi-pólový resolver (počet pólových párů odpovídá počtu pólových dvojic motoru) 2pólový resolver
Chlazení	Přirozené chlazení vzduchem		
Sledování teploty	KTY 84 Snímač teploty vinutí statoru	Vestavěný systém snímačů pro motory <u>s</u> DRIVE-CLiQ rozhraní	22 bit inkrementální snímač (2048 S / R vnitřní) Absolutní enkodér jednootáčkový + 12 bit multi-turn (Rozsah posuvu 4096 otáček) 22 bit single-turn (2048 S / R vnitřní) 15 bit resolver
Izolace vinutí statoru	Teplotní třída 155 (F) pro oteplení vinutí $\Delta T=100$ K při okolní teplotě 40 °C		
Druh konstrukce v souladu s EN 60034-7 (IEC 60034-7)	IM B5 (IM V1, IM V3)		
Stupeň krytí podle EN 60034-5	IP 64	Vestavěný systém snímačů pro motory <u>s</u> DRIVE-CLiQ rozhraní	22 bit inkrementální snímač (2048 S / R vnitřní) Inkrementální enkodér jednootáčkový + 12 bit multi-turn (Rozsah posuvu 4096 otáček) 22 bit single-turn (2048 S / R vnitřní) 15 bit resolver
Hřídele na straně pohonu podle DIN 748-3	Plain hřídel		
Hřídele a příruby Přesnost podle DIN 42955	Tolerance N		
Velikost vibrací podle normy EN 60034-14	Stupeň je udržována až do jmenovitých otáček	Spojení	Konektory pro signály a napájení lze otočit o 270 °

4 Prostředí STARTER

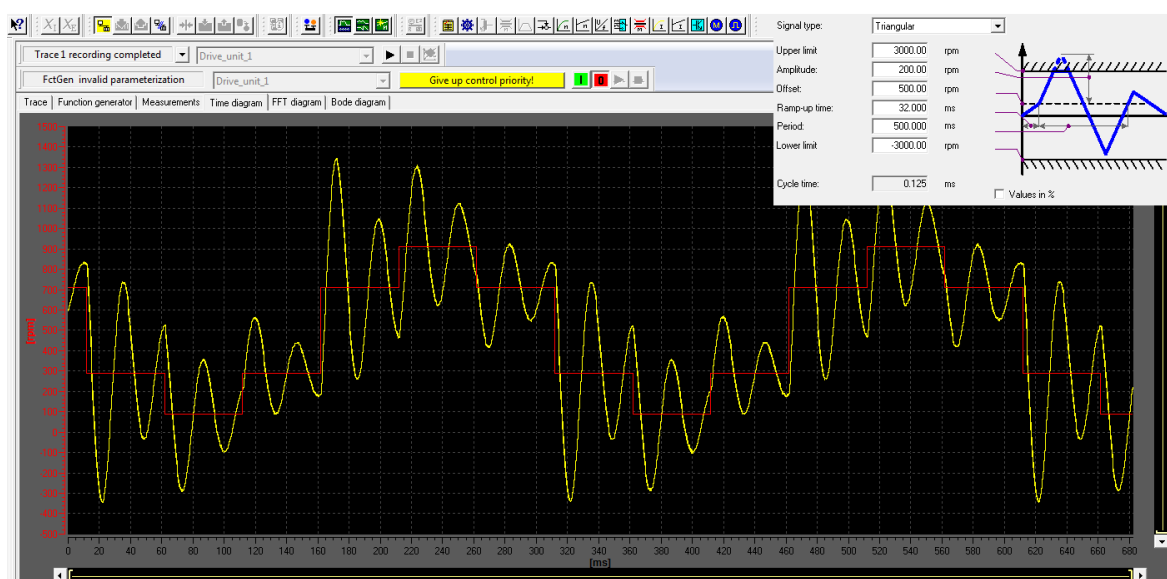
4.1 Úvod

STARTER je nástroj k parametrizování a monitorování všech pohonů rodiny Micromaster a Sinamics. Program umožňuje uvádění pohonů do provozu a jejich kompletní monitoring. Většinu věcí lze velmi přehledně monitorovat a měnit v grafické podobě. Všechny funkce lze měnit pomocí takzvaných expert listů zobrazené na obr. 4.1.

Expert list										
	Param...	Dat:	Parameter text	Online value SERVO_02		Unit	Modifiable to	Access level	Minimum	Maximum
	All	A	All	All	All		All	All	All	All
393	p1422[0]	D	Speed setpoint filter 2 time constant	0.00		ms	Operation	3	0	5000
394	p1423[0]	D	Speed setpoint filter 2 denominator natural frequency	2000.0		Hz	Operation	3	0.5	16000
395	p1424[0]	D	Speed setpoint filter 2 denominator damping	0.700			Operation	3	0.001	10
396	p1425[0]	D	Speed setpoint filter 2 numerator natural frequency	2000.0		Hz	Operation	3	0.5	16000
397	p1426[0]	D	Speed setpoint filter 2 numerator damping	0.700			Operation	3	0	10
398	p1428[0]	D	Speed pre-control balancing dead time	0.0			Operation	3	0	2
399	p1429[0]	D	Speed pre-control balancing time constant	0.00		ms	Operation	3	0	10000
400	p1430[0]	C	CI: Speed pre-control	0			Ready to run	3		
401	r1432	CO	Speed pre-control after symmetrizing	0.00		rpm		3		
402	p1433[0]	D	Speed controller reference model natural frequency	0.0		Hz	Operation	3	0	8000
403	p1434[0]	D	Speed controller reference model damping	1.000			Operation	3	0	5
404	p1435[0]	D	Speed controller reference model dead time	0.00			Operation	2	0	2
405	r1436	CO	Speed controller reference model speed setpoint output	0.00		rpm		3		
406	r1438	CO	Speed controller, speed setpoint	0.00		rpm		3		
407	r1439		Speed setpoint, I component	0.00		rpm		3		
408	p1441[0]	D	Actual speed smoothing time	5.00		ms	Operation	3	0	50
409	r1444		Speed controller, speed setpoint steady-state (static)	0.000		rpm		3		
410	r1454	CO	Speed controller system deviation I component	-0.01		rpm		3		
411	p1455[0]	C	CI: Speed controller P gain adaptation signal	0			Ready to run	3		
412	p1456[0]	D	Speed controller P gain adaptation lower starting point	0.00		%	Operation	3	0	400
413	p1457[0]	D	Speed controller P gain adaptation upper starting point	0.00		%	Operation	3	0	400
414	p1458[0]	D	Adaptation factor, lower	100.0		%	Operation	3	0	200000
415	p1459[0]	D	Adaptation factor, upper	100.0		%	Operation	3	0	200000
416	p1460[0]	D	Speed controller P gain adaptation speed, lower	0.089		Nm.	Operation	2	0	999999
417	p1461[0]	D	Speed controller Kp adaptation speed, upper scaling	95.2		%	Operation	3	0	200000
418	p1462[0]	D	Speed controller integral time adaptation speed lower	10.00		ms	Operation	2	0	100000
419	p1463[0]	D	Speed controller Tn adaptation speed, upper scaling	400.0		%	Operation	3	0	200000
420	p1464[0]	D	Speed controller adaptation speed, lower	4284.50		rpm	Operation	3	0	210000
421	p1465[0]	D	Speed controller adaptation speed, upper	17138.00		rpm	Operation	3	0	210000
422	p1466[0]	C	CI: Speed controller P-gain scaling	100%			Ready to run	3		
423	r1468		Speed controller P-gain effective	0.089		Nm.		3		
424	r1469		Speed controller integral time effective	10.0		ms		3		
425	p1470[0]	D	Speed controller encoderless operation P-gain	0.022		Nm.	Operation	2	0	999999
426	p1472[0]	D	Speed controller encoderless operation integral time	140.0		ms	Operation	2	0	100000
427	p1476[0]	C	RI: Speed controller hold inverter	0			Ready to run	3		

Obr. 4.1 Zobrazení expert listů ve STARTERu

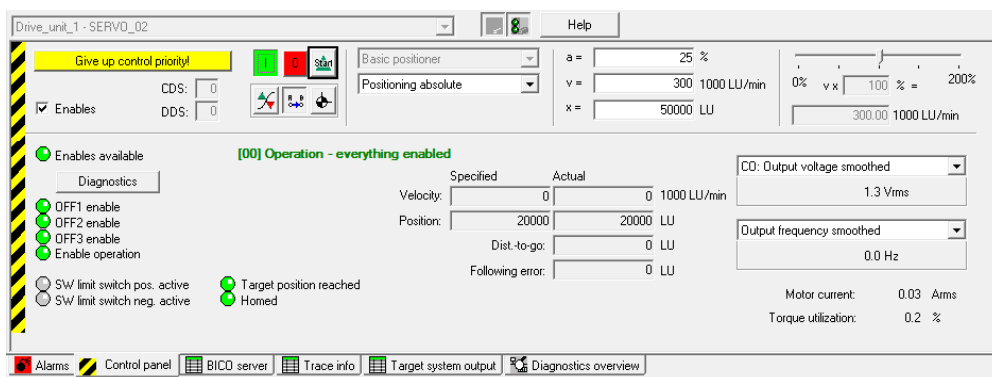
Předností tohoto programu jsou velmi kvalitní monitorovací funkce, jako je například funkce generátoru a osciloskopu, který je zobrazen na obr. 4.2. Součástí je též funkce importu šítkových dat z motorů a natažení aktuální konfigurace podle skutečného stavu hardwaru, tím se urychluje nastavení parametrů a výrazně se snižují provozní náklady [9].



Obr. 4.2 Osciloskop a generátor signálu ve STARTERu

4.2 Uvedení do provozu a diagnostika

Integrované testovací funkce podporují optimální nastavení pohonů a grafická znázornění průběhů veličin umožňují jednoznačnou diagnostiku a rychlou orientaci uživatele. V režimu, kdy je pohon odpojen od řízení nadřazeným řídícím systémem, má uživatel za předpokladu nastavení určitých oprávnění možnost jej ovládat na vlastní zodpovědnost podle potřeby, a odhalit tak stavy, k nimž v automatickém provozu dochází pouze sporadicky. Skutečné a požadované hodnoty lze sledovat a zobrazovat na osciloskopu [10].



Obr. 4.3 Režim manuálního ovládání motoru

4.3 Funkční bloky

STARTER umožňuje kompletně řešit celá zadání vhodným nastavením programu tzv. tabulka (Traversing Block). Program zvládá všechny pohyby, nahazování výstupů informujících o dokončení kroku, podmíněné čekání na externí signál znamenající pokračování v programu [11].

Všechny úkony jsou prováděny kompletně v pohonu, kde je jednoduchá a jasná parametrizace. Odpadá nutnost komplexního programování v PLC. Není třeba komunikace cílových a aktuálních hodnot nebo komunikace přímo mezi měničem a panelem. I za přítomnosti PLC může být pohon uveden do provozu i když není naprogramován zbytek stroje [11].

Program traversing blocks

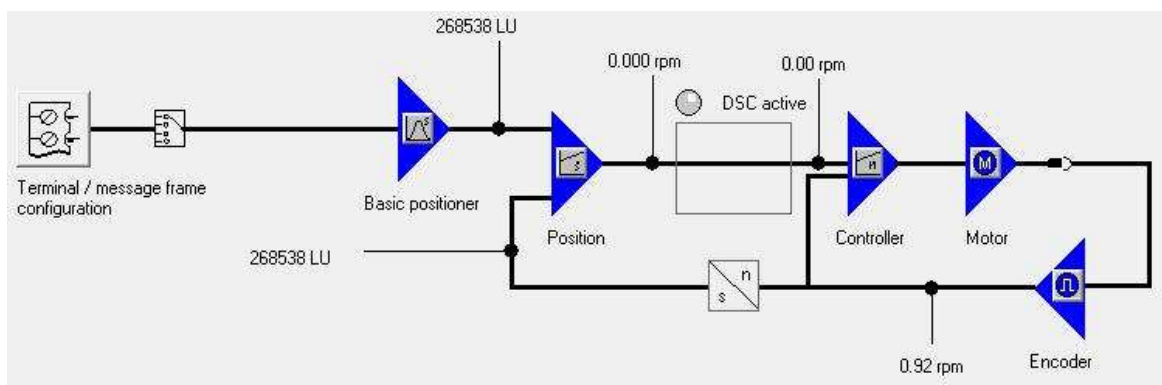
Maximum number of blocks: 16

Index	No.	Job	Parameter	Mode	Position	Velocity	Acceleration	Deceleration	Advance	Hide
1	0	POSITIONING	0	RELATIVE (1)	-5000	300	100	100	CONTINUE_METH_STO	
2	1	WAITING	2000	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	CONTINUE_METH_STO	
3	2	POSITIONING	0	RELATIVE (1)	2500	300	100	100	CONTINUE_METH_STO	
4	3	WAITING	2000	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	CONTINUE_METH_STO	
5	4	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	300	100	100	100	CONTINUE_METH_STO	
6	5	WAITING	2000	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	CONTINUE_METH_STO	
7	6	STOP	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	CONTINUE_METH_STO	
8	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
9	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
10	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
11	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
12	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
13	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
14	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
15	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	
16	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	600	100	100	100	END (0)	

Obr. 4.4 Příklad programování funkčních bloků

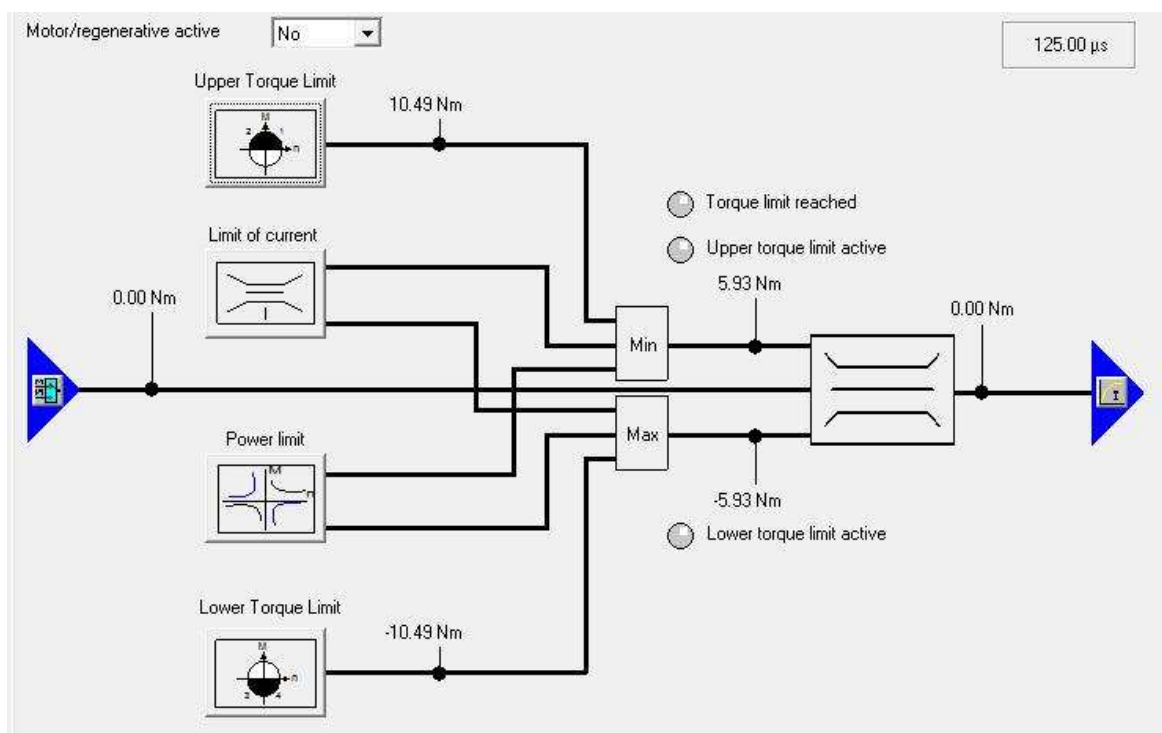
4.4 Bloková schémata

Ve STARTERu lze zobrazit blokové schéma připojeného zařízení s popisem jednotlivých komponent a jejich aktuálními veličinami.



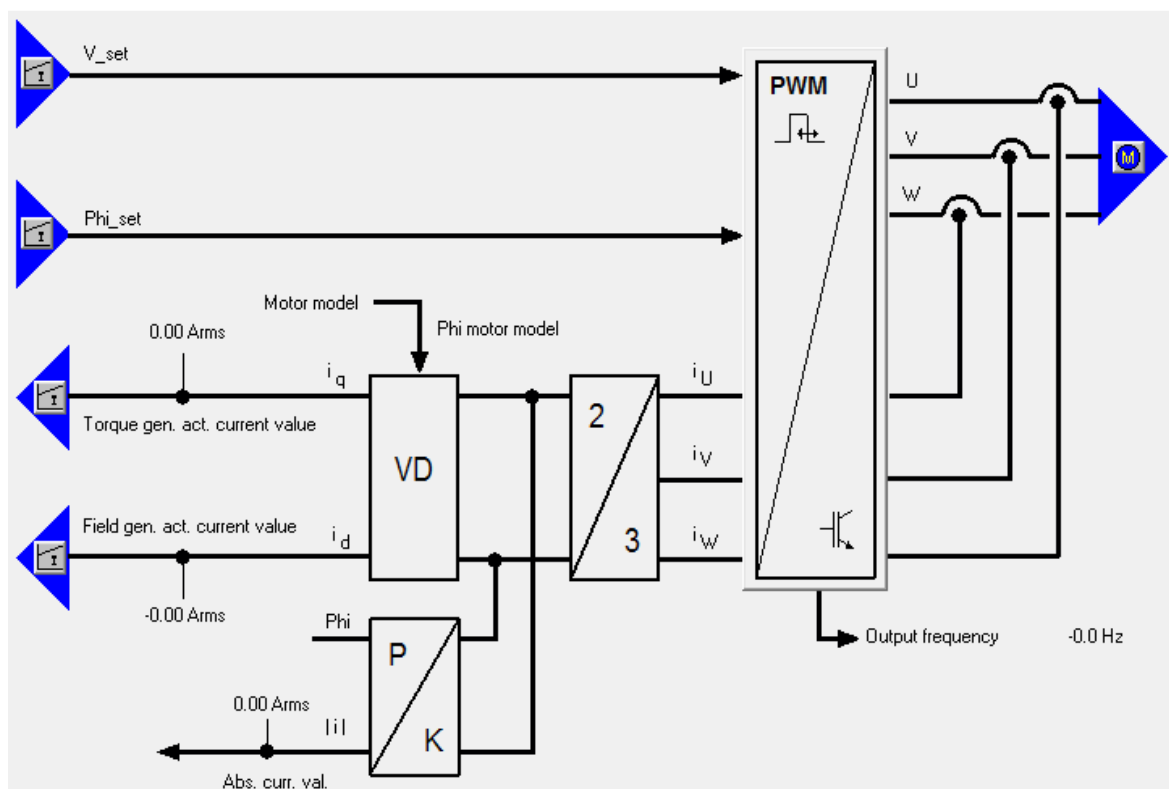
Obr. 4.5 Základní schéma frekvenčního měniče s motorem

Jednotlivé bloky lze otevřít a manuálně upravit jejich výrobní nastavení. Jedním z možností je nastavení maximálního točivého momentu a maximálního proudu, při kterých se zařízení odpojí, aby nedošlo k jeho poškození.



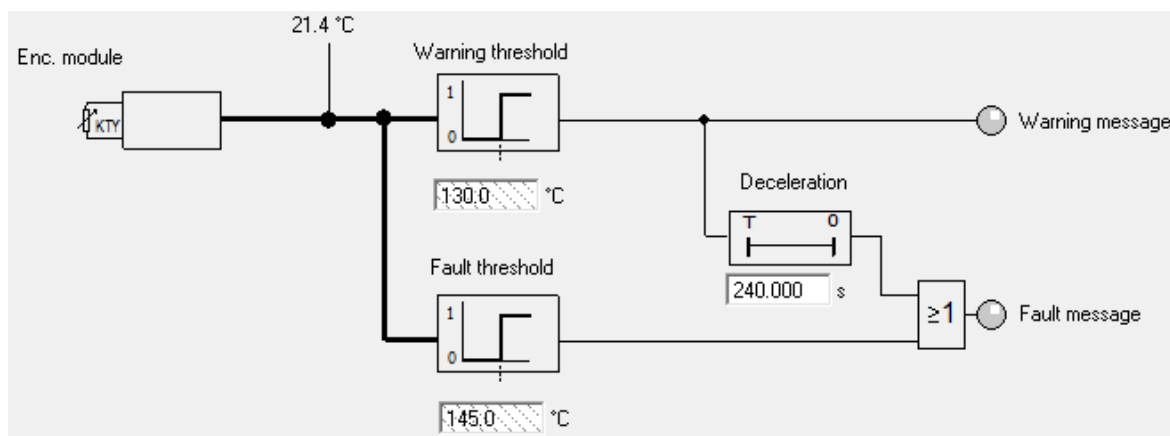
Obr. 4.6 Omezení točivého momentu a proudu

Dalším zajímavým blokem je vnitřní schéma napájecího modulu, u kterého lze odečítat vstupní a výstupní signály, a tak případně upravit příslušné nastavení jednotlivých komponent a docílit tím požadovaných paracetů.



Obr. 4.7 Vnitřní zapojení napájecího modulu

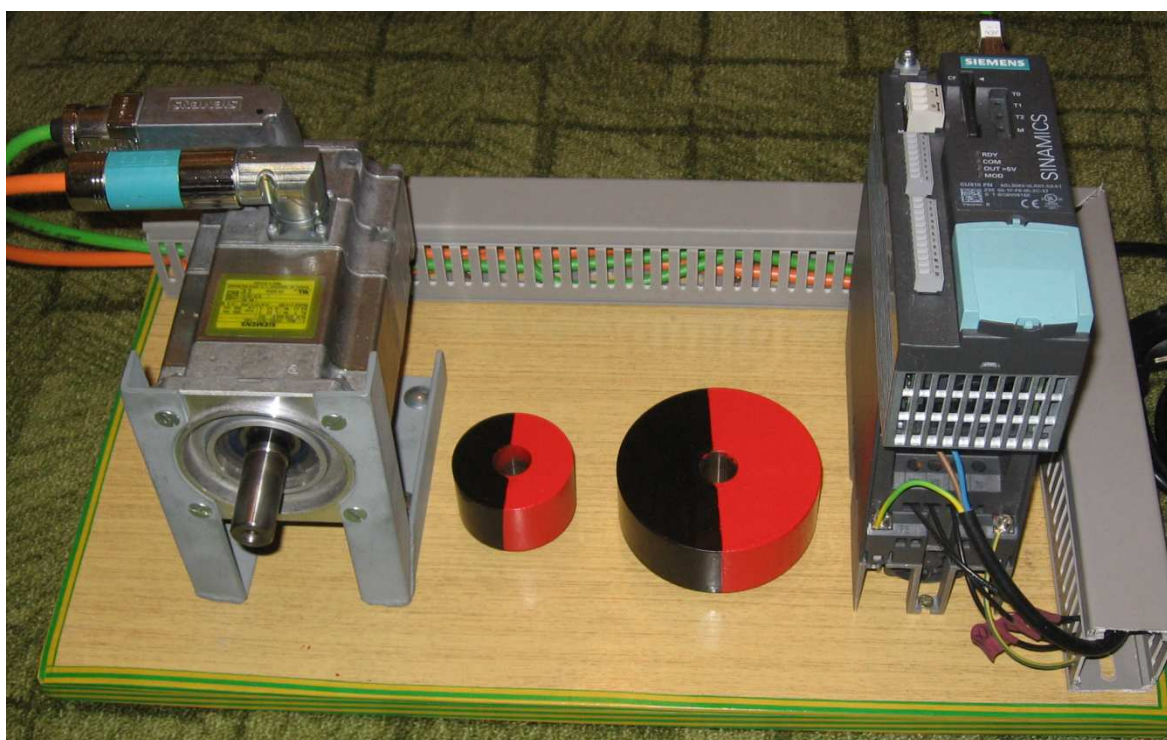
Jedním z nezbytných požadavků je tepelná ochrana motorů proti přehřátí. Ve STARTERu lze nastavit teplotu pro varování a poruchu.



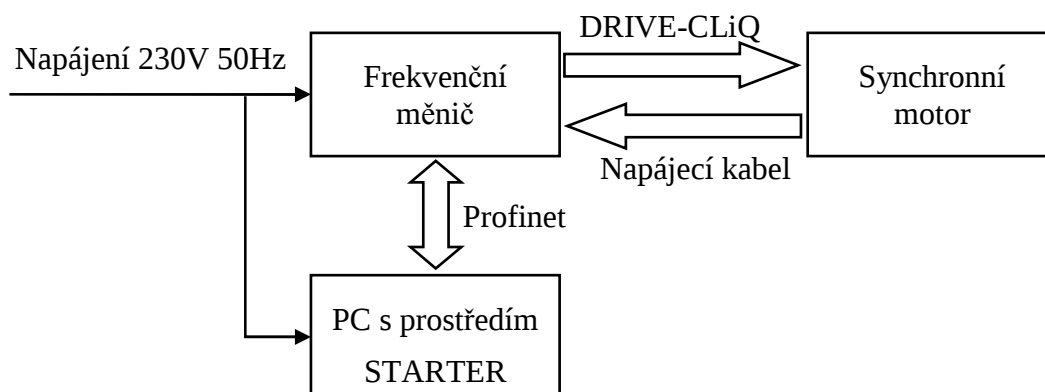
Obr. 4.8 Nastavení teplot

5 Realizace experimentálního pracoviště

Laboratorní pracoviště jsem realizoval frekvenčním měničem Sinamics S120 od firmy Siemens a synchronním servomotorem 1FK7 od téže firmy. Tyto komponenty jsem připevnil na dřevěnou desku s gumovými nožičkami, díky kterým je částečně utlumen přenos vibrací od motoru. Motor je vybaven přírubou pro připevnění k převodovce, tudíž bylo nutné vyrobit konstrukci pro jeho uchycení k této desce. Pro simulaci zatížení motoru jsem zhotovil setrvačníky s různým momentem setrvačnosti. K řízení pohonu jsem použil software Sinamics STARTER, který nabízí všechny komponenty pro řízení a odečítání hodnot potřebné k ukázce vlastností pohonu.



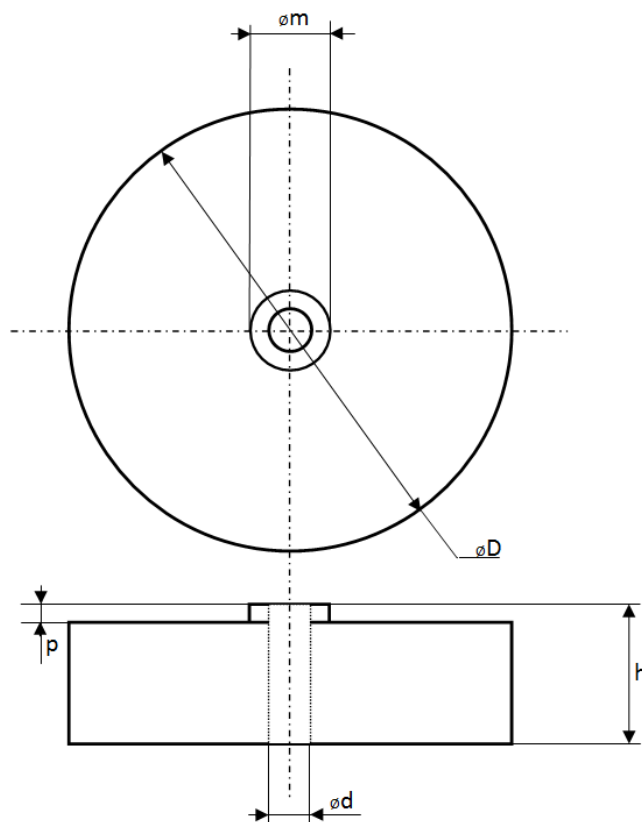
Obr. 4.1 Experimentální pracoviště



Obr. 4.2 Schéma experimentálního pracoviště

5.1 Moment setrvačnosti

Motor 1FK7 má nízký moment setrvačnosti a to $0,03 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Aby bylo možné simulovat zatížení motoru, které lze znovu nastavit ve stejné velikosti, bylo nutné zhotovit dvojici setrvačnicků o momentu setrvačnosti $1,50 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$ což je padesátinásobek momentu setrvačnosti samotného rotoru a $11,36 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$ který je 370ti násobkem momentu setrvačnosti rotoru. Tyto setrvačnický lze snadno nasunout na hřídel motoru a zajistit je pomoci šroubu.



Obr. 4.3 Náskres setrvačnicků

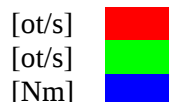
Malý setrvačnick		Velký setrvačnick	
øD	60 mm	øD	100 mm
ød	19 mm	ød	19 mm
øm	35 mm	øm	35 mm
h	44 mm	h	44 mm
p	8 mm	p	8 mm

6 Laboratorní experimenty

Měření dynamických vlastností motoru jsem uskutečnil za pomoci generátoru signálu, kde jsem simuloval různé stavy zatížení. Pro odečtení naměřených hodnot jsem využil funkce osciloskopu s možností měření více signálů.

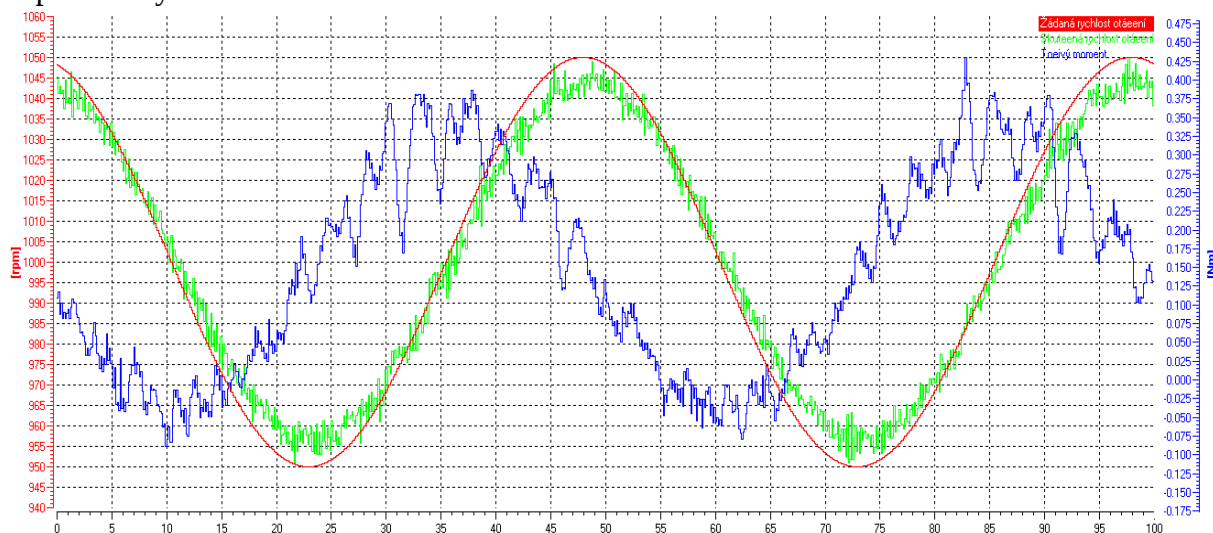
Na osciloskopu jsem odečítal tyto hodnoty:

- Žádaná hodnota rychlosti otáčení [ot/s]
- Měřená hodnota rychlosti otáčení [ot/s]
- Měřená hodnota krouticího momentu [Nm]

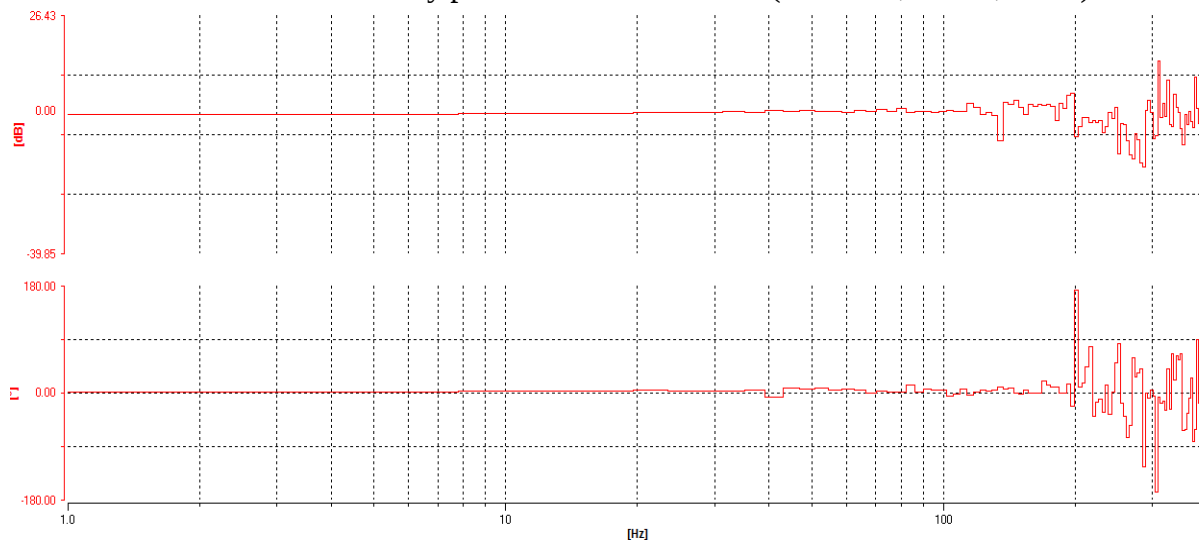


6.1 Vliv momentu setrvačnosti

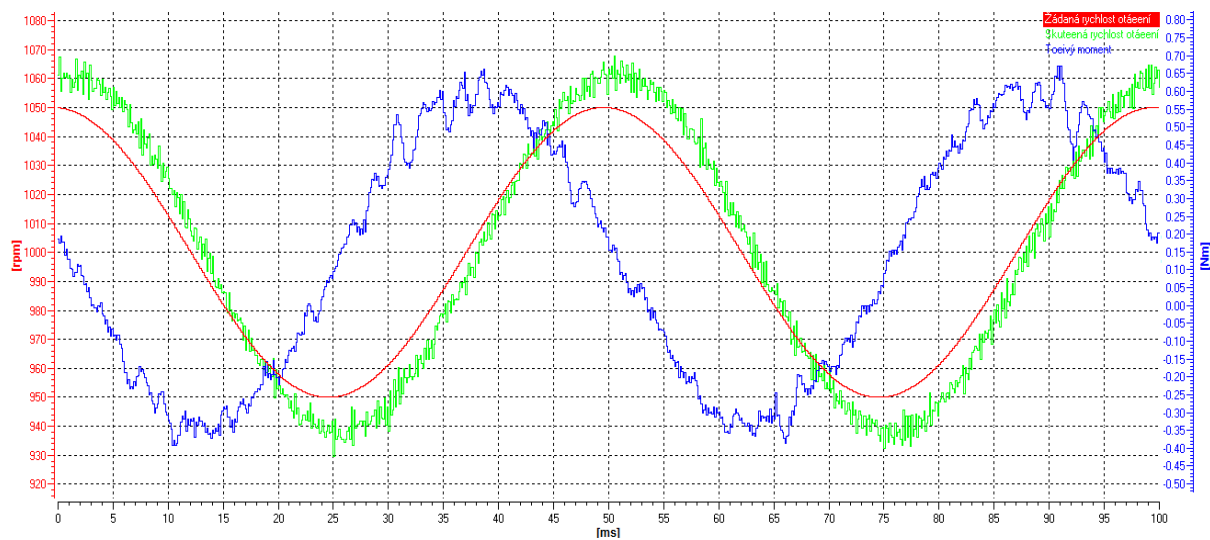
Jako první je zkoumám vliv změny momentu setrvačnosti při stejných parametrech rychlosti otáčení, velikosti změn rychlosti otáčení a frekvence s jakou mají být změny prováděny.



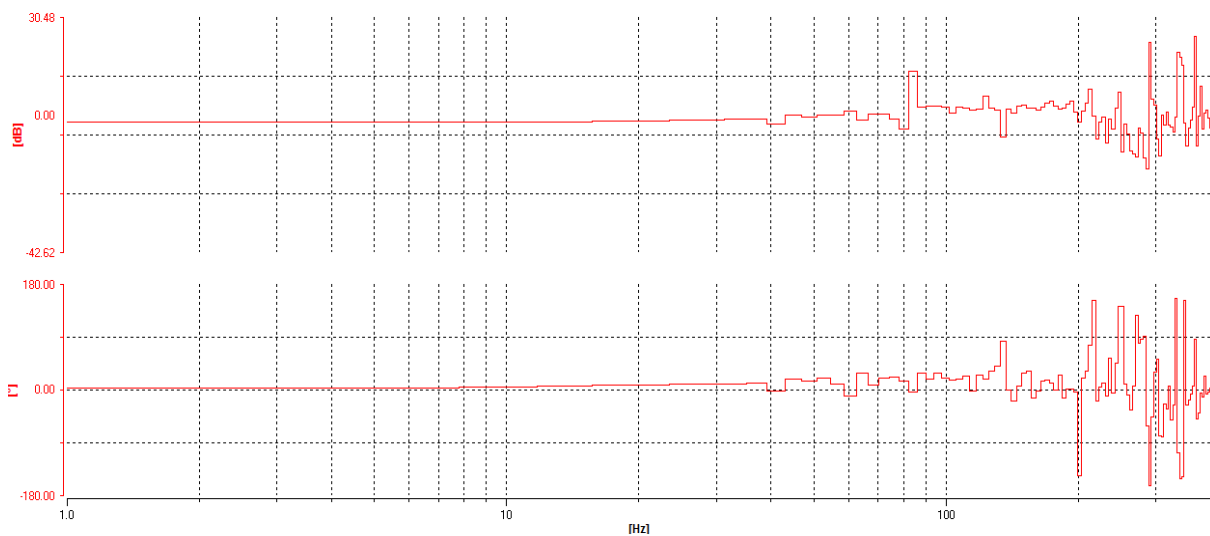
Obr. 5.1 Sinusový průběh bez setrvačnicku (1 000ot/s, +/-5%, 20Hz)



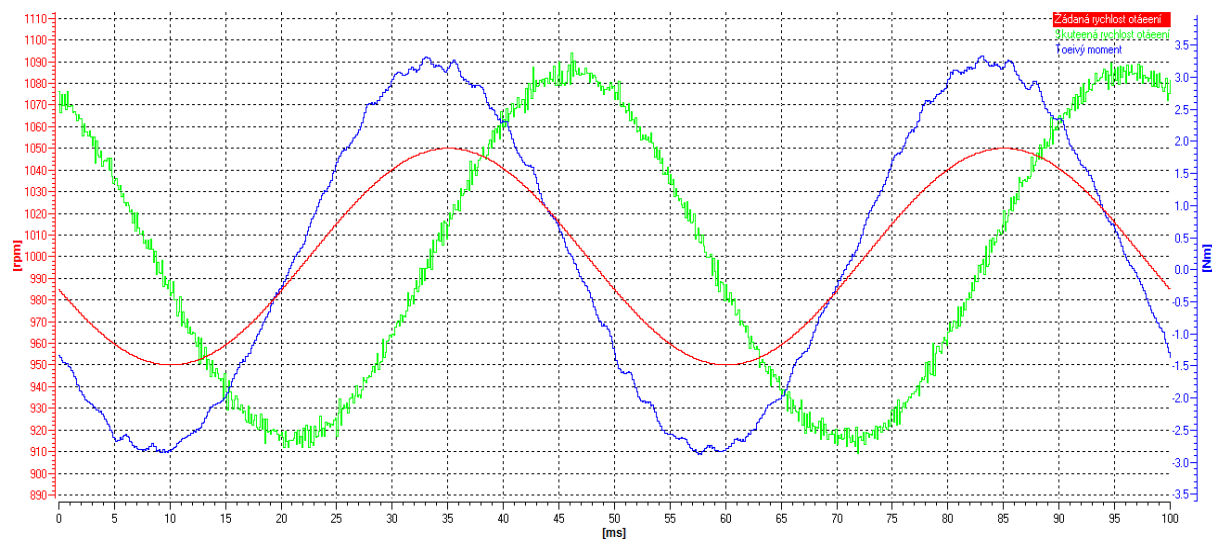
Obr. 5.2 Frekvenční charakteristika bez setrvačnicku



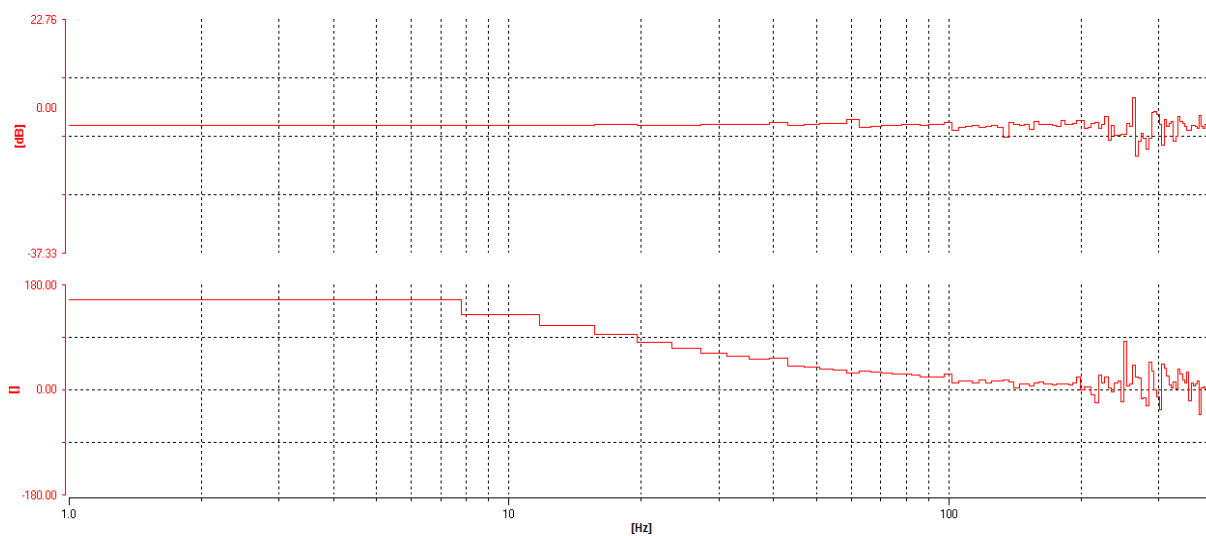
Obr. 5.3 Sinusový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-5%, 20Hz)



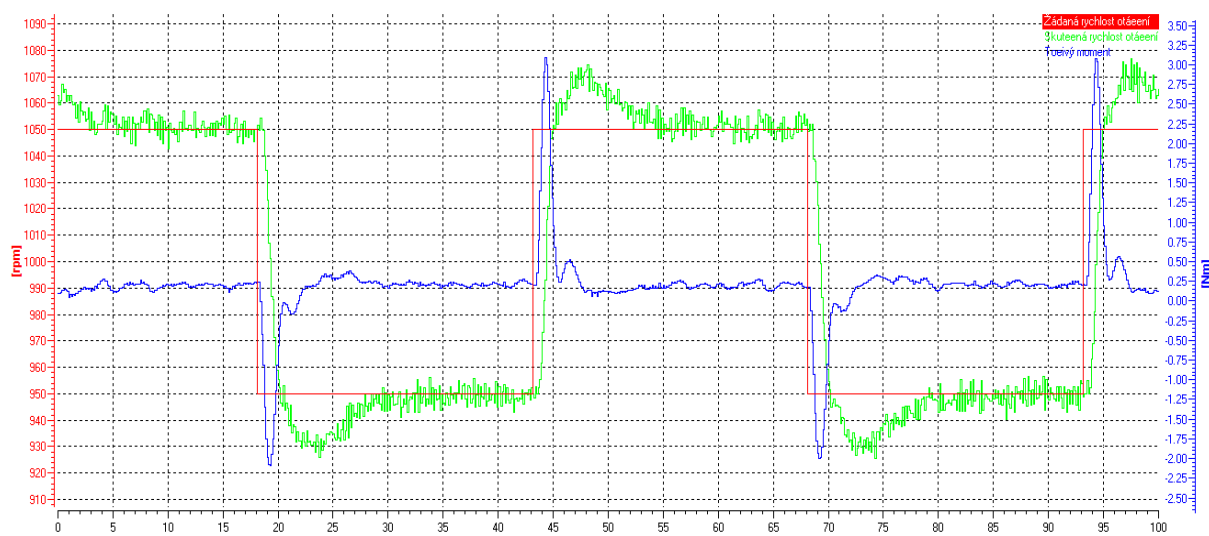
Obr. 5.4 Frekvenční charakteristika s malým setrvačником



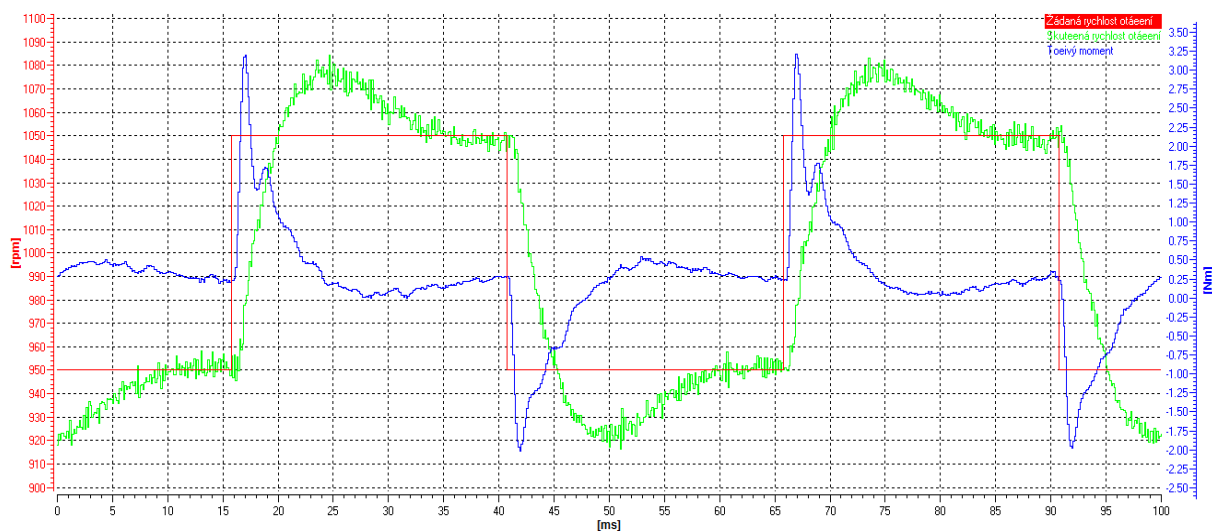
Obr. 5.5 Sinusový průběh s velkým setrvačníkem (1 000ot/s, $\pm 5\%$, 20Hz)



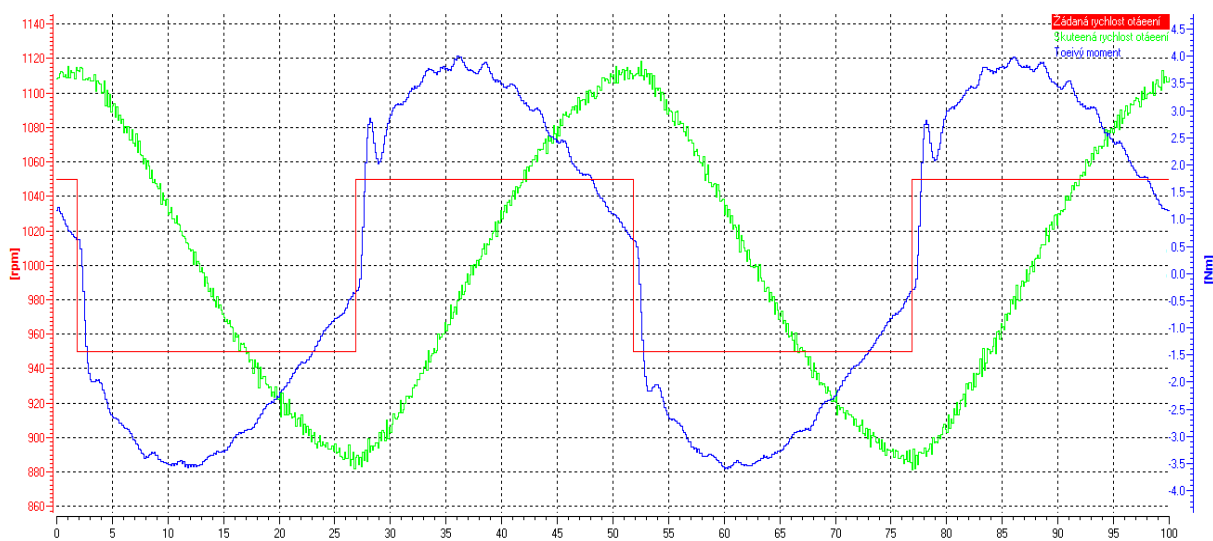
Obr. 5.6 Frekvenční charakteristika s velkým setrvačníkem



Obr. 5.7 Obdélíkový průběh **bez setrvačníku** (1 000ot/s, +/-5%, 20Hz)



Obr. 5.8 Obdélíkový průběh s **malým setrvačníkem** (1 000ot/s, +/-5%, 20Hz)



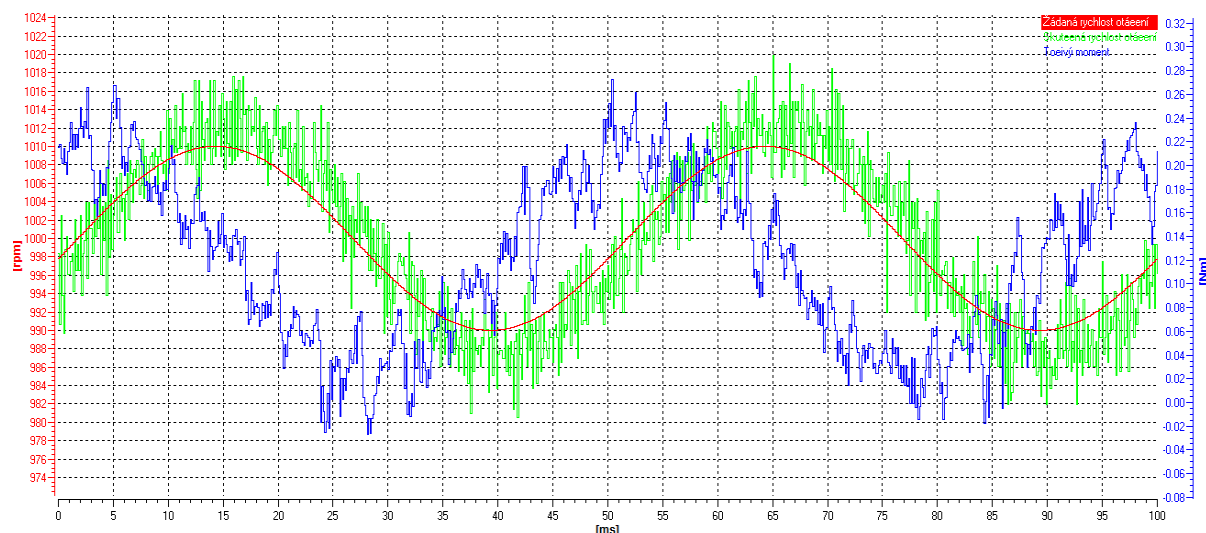
Obr. 5.9 Obdélíkový průběh s **velkým setrvačníkem** (1 000ot/s, +/-5%, 20Hz)

Samotný motor disponuje vysokou dynamikou vyplývající z měření bez setrvačníku, kde je patrná rychlost reakce na požadované změny s výborným poměrem výstupní amplitudy ke vstupní a minimálním fázovým posunem u sinusových průběhů a překmitem u obdélníkových průběhů. Při použití malého setrvačníku, který je padesátinásobkem momentu setrvačnosti samotného rotoru se dynamické vlastnosti motoru zhoršili jen nepatrně. Velké rozdíly požadovaných a měřených hodnot nastaly až při použití velkého setrvačníku, který je 370-ti násobkem momentu setrvačnosti rotoru.

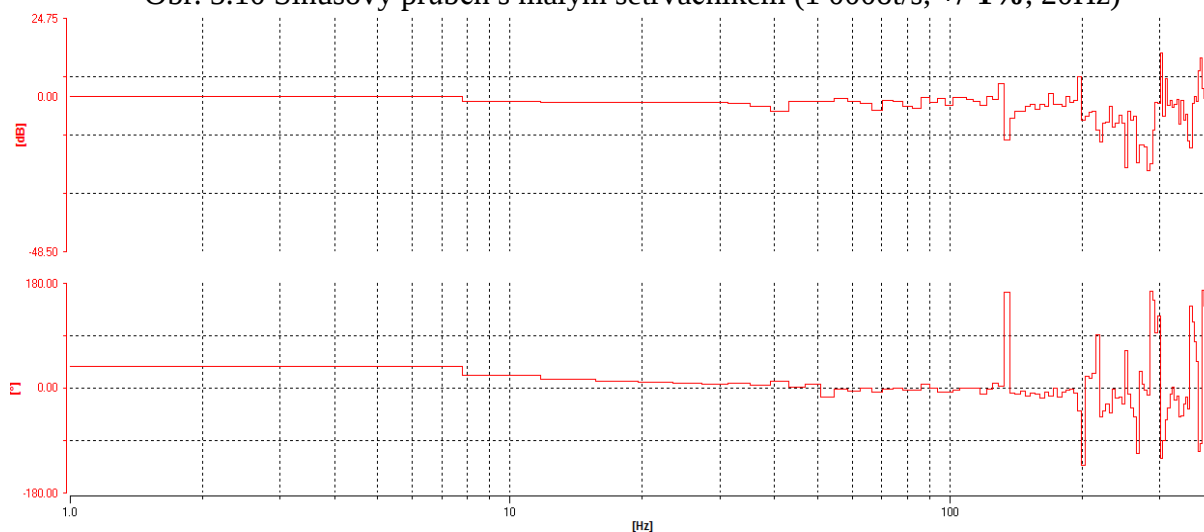
6.2 Vliv velikosti změn

Jako další jsem zkoumal vliv velikosti změn žádaných otáček při stejné zátěži a frekvenci změn.

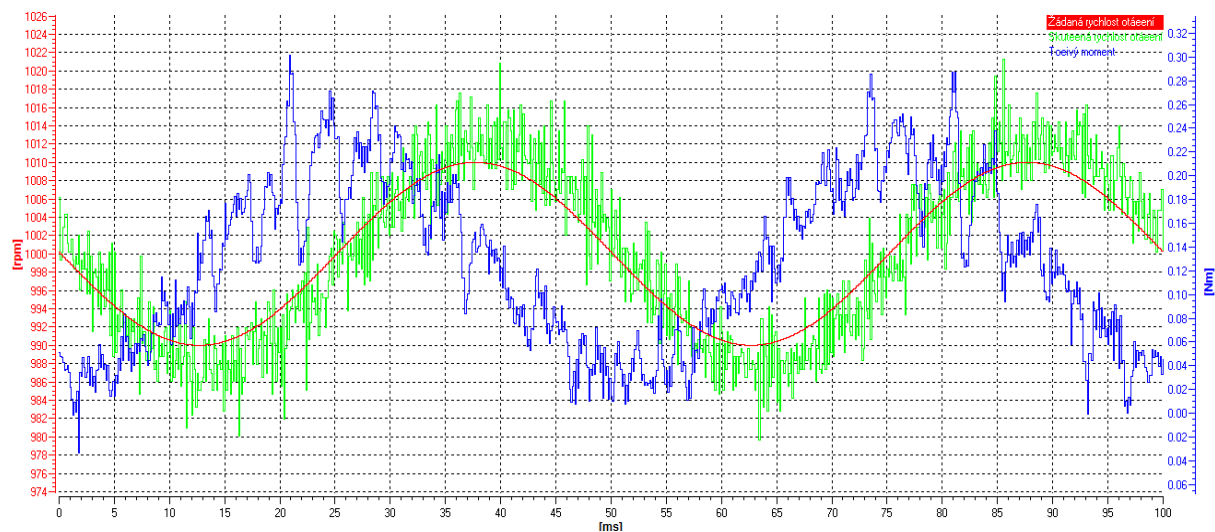
Z předchozího měření vyplývá, že motor dosahuje dobré dynamiky i s malým setrvačníkem. Oproti tomu s velkým setrvačníkem jsou měřené hodnoty neuspokojivé. Proto jsem pro další měření použil pouze malý setrvačník.



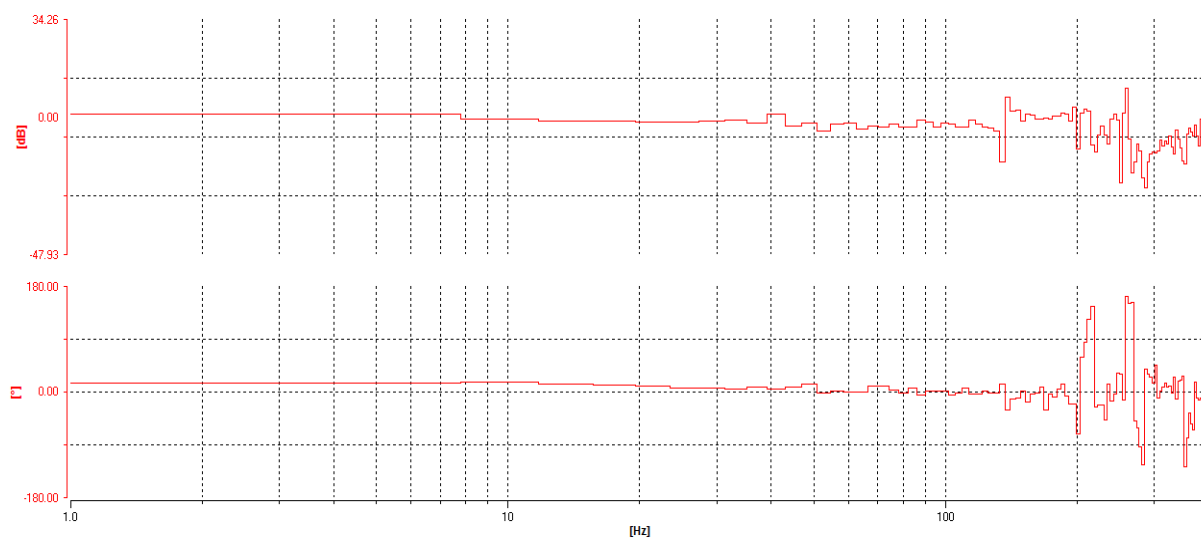
Obr. 5.10 Sinusový průběh s malým setrvačníkem (1 000ot/s, +/-1%, 20Hz)



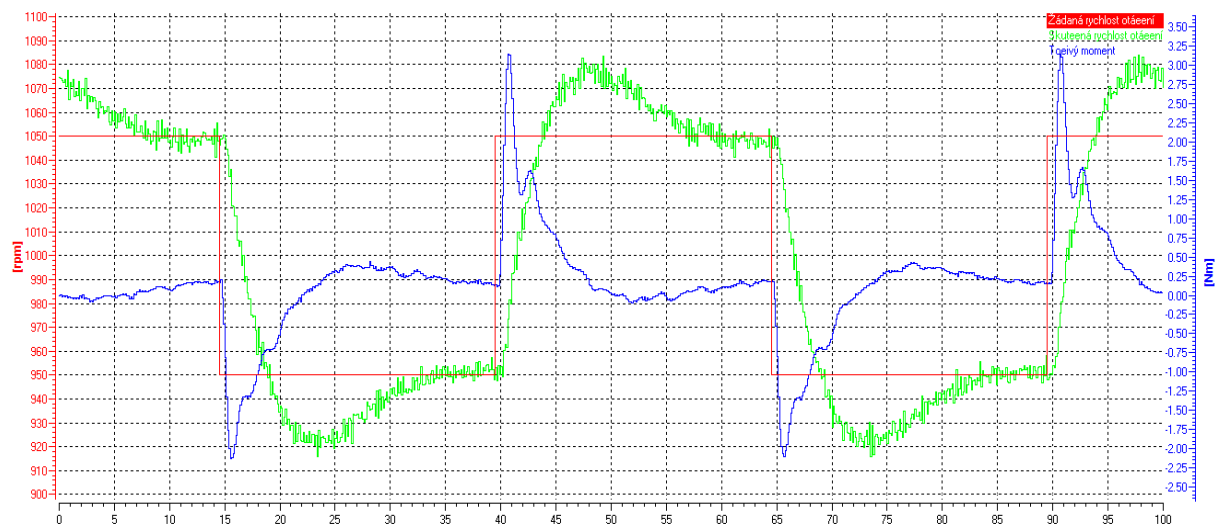
Obr. 5.11 Frekvenční charakteristika s malou změnou



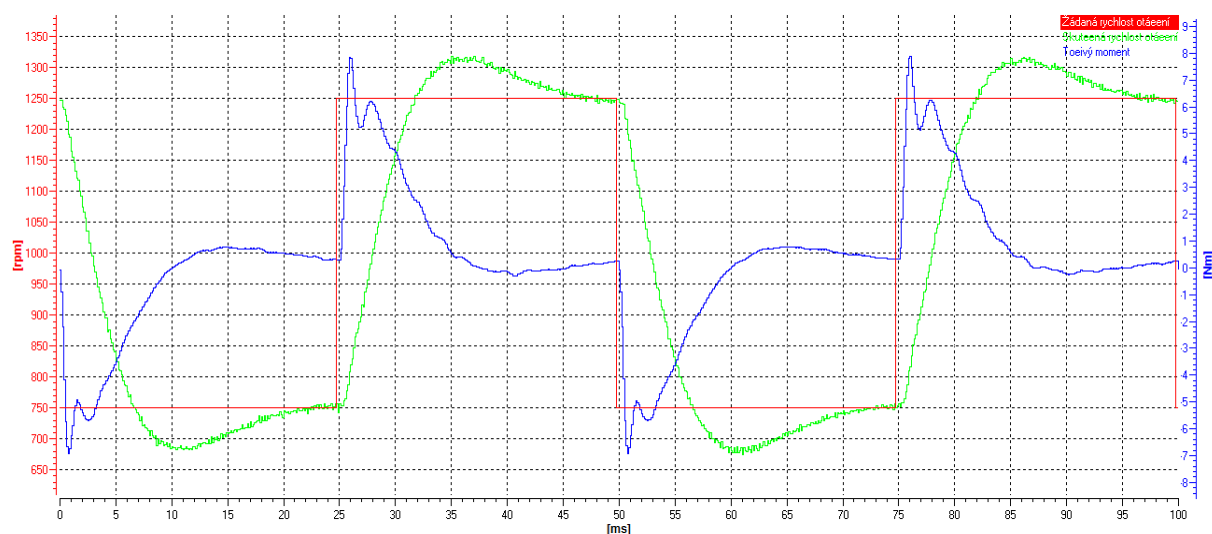
Obr. 5.12 Sinusový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-25%, 20Hz)



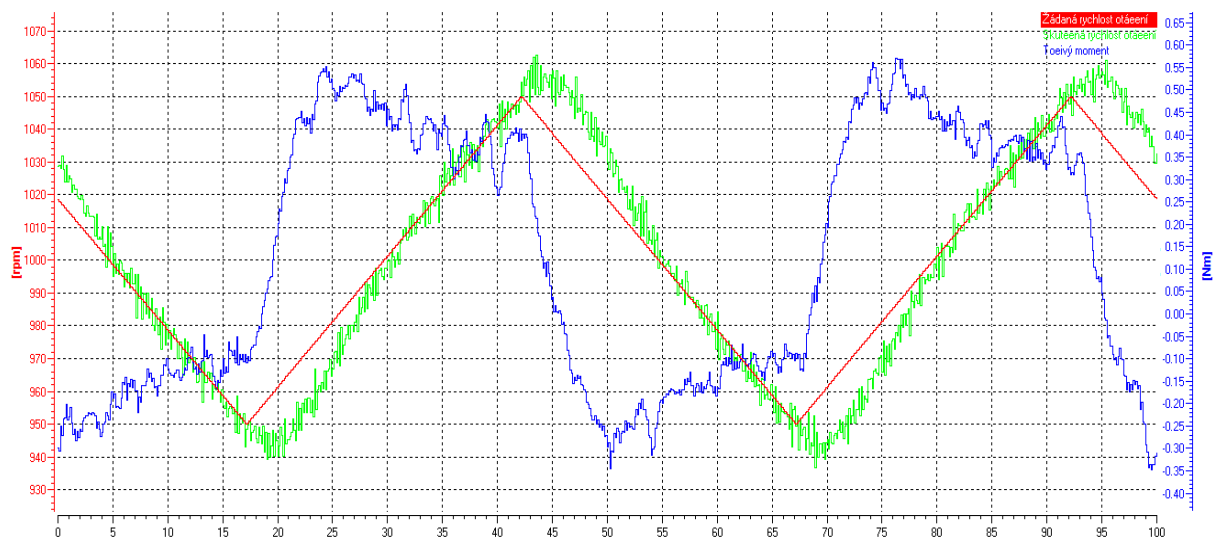
Obr. 5.13 Frekvenční charakteristika s velkou změnou



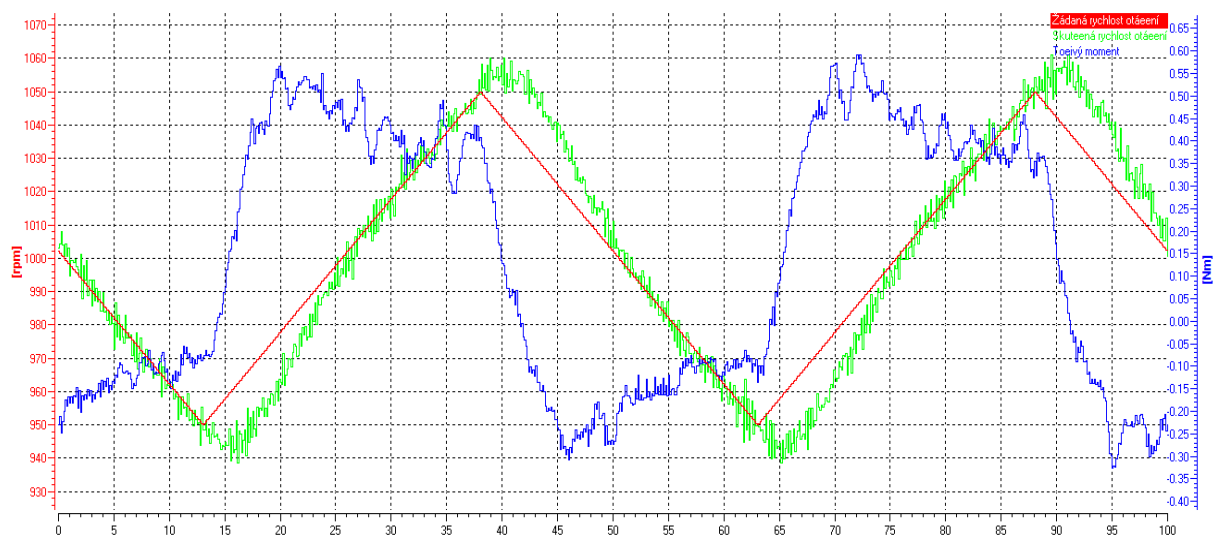
Obr. 5.14 Obdélníkový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-1%, 20Hz)



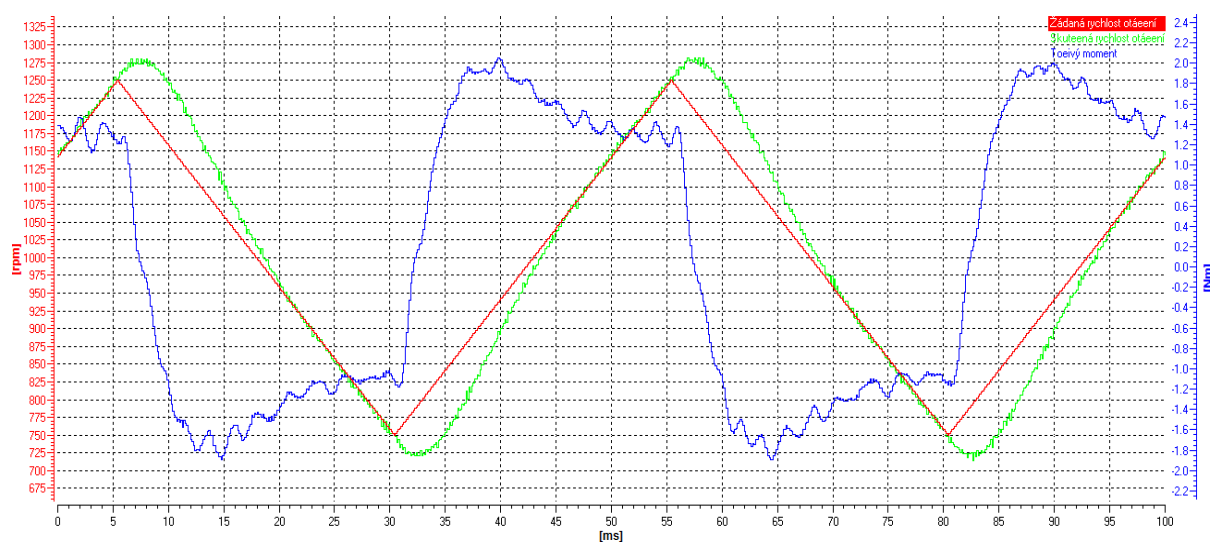
Obr. 5.15 Obdélníkový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-25%, 20Hz)



Obr. 5.16 Trojúhelníkový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-1%, 20Hz)



Obr. 5.17 Trojúhelníkový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-5%, 20Hz)



Obr. 5.18 Trojúhelníkový průběh s malým setrvačником (1 000ot/s, +/-25%, 20Hz)

Naměřené hodnoty pro sinusový a obdélníkový průběh se změnami 5% jsou uvedeny při měření vlivu změny momentu setrvačnosti, proto nebyly znovu uvedeny.

I při použití malého setrvačnicku motor rychle reaguje na požadované změny rychlosti otáčení a to jak s malou 1% tak i velkou 25% změnou od střední rychlosti otáčení.

Z grafů lze odečíst, že krouticí moment je maximální při největší změně otáček a s postupným vyrovnáním požadované a aktuální rychlosti otáčení klesá.

6.3 Fázový posun a amplituda

V této části mé práce jsem měřil poměr výstupní amplitudy ke vstupní a jejich vzájemný fázový posun pro sinusový signál. Kvůli četnosti měření jsem odečtená data zapsal do následující tabulky.

Rychlost otáčení									
1 000 ot/s					2 000 ot/s				
Frekvence	Změna	Zátěž	Poměr amplitud [-]	Fázový posun [°]	Frekvence	Změna	Zátěž	Poměr amplitud [-]	Fázový posun [°]
10Hz	1%	bez setr.	1,00	0,0	10Hz	1%	bez setr.	1,00	0,0
		malý setr.	1,00	0,0			malý setr.	1,10	0,0
		velký setr.	0,60	7,2			velký setr.	1,50	10,8
	5%	bez setr.	1,04	0,0		5%	bez setr.	1,04	0,0
		malý setr.	1,06	1,8			malý setr.	1,08	1,8
		velký setr.	1,40	10,8			velký setr.	1,44	9,0
	25%	bez setr.	1,02	0,0		25%	bez setr.	1,02	0,0
		malý setr.	1,06	1,8			malý setr.	1,06	1,8
		velký setr.	0,98	12,6			velký setr.	-	-
20Hz	1%	bez setr.	1,10	0,0	20Hz	1%	bez setr.	1,10	0,0
		malý setr.	1,30	7,2			malý setr.	1,20	7,2
		velký setr.	1,60	79,2			velký setr.	1,90	72,0
	5%	bez setr.	1,10	3,6		5%	bez setr.	1,10	3,6
		malý setr.	1,20	10,8			malý setr.	1,24	14,4
		velký setr.	1,70	86,4			velký setr.	1,68	79,2
	25%	bez setr.	1,10	7,2		25%	bez setr.	1,10	7,2
		malý setr.	1,22	10,8			malý setr.	1,22	14,4
		velký setr.	0,96	90,0			velký setr.	-	-
50Hz	1%	bez setr.	1,30	27,0	50Hz	1%	bez setr.	1,40	27,0
		malý setr.	1,30	63,0			malý setr.	1,30	63,0
		velký setr.	0,30	126,0			velký setr.	0,40	135,0
	5%	bez setr.	1,24	27,0		5%	bez setr.	1,22	27,0
		malý setr.	1,24	63,0			malý setr.	1,50	54,0
		velký setr.	0,30	126,0			velký setr.	0,30	127,0
	25%	bez setr.	1,22	7,2		25%	bez setr.	1,24	27,0
		malý setr.	1,20	54,0			malý setr.	1,18	54,0
		velký setr.	0,24	108,0			velký setr.	0,24	108,0

Při pokusu se mi nepodařilo změřit hodnoty při 2 000 ot/s se změnou 25% při frekvenci 10 a 20Hz pro velký setrvačnick, důvodem je překročení proudového omezení, které chrání jak motor, tak samotný frekvenční měnič.

Z naměřených hodnot poměru amplitud a fázového posunu lze usoudit že, motor zvládá malou i střední zátěž a to bez ohledu s jakou frekvencí a velikostí jsou prováděny změny rychlosti otáčení. Oproti tomu je patrné, že při velkém zatížení motoru se nelze spolehnout na dosažení požadovaných hodnot v přípustných mezích.

Předchozí měření byly prováděny v pracovní oblasti rychlosti otáčení motoru, jehož jmenovité otáčky jsou 3 000 ot/s, proto jsem další experiment zaměřil na oblast nižších otáček, a to 200 ot/s a 500 ot/s u nichž je omezena velikost krouticího momentu. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky.

Rychlost otáčení									
200 ot/s					500 ot/s				
Frekvence	Změna	Zátěž	Poměr amplitud [-]	Fázový posun [°]	Frekvence	Změna	Zátěž	Poměr amplitud [-]	Fázový posun [°]
10Hz	1%	malý setr.	1,00	0,0	10Hz	1%	malý setr.	1,00	0,0
	5%	malý setr.	1,00	0,0		5%	malý setr.	1,00	0,0
	25%	malý setr.	1,20	0,0		25%	malý setr.	1,10	3,6
20Hz	1%	malý setr.	1,24	7,2	20Hz	1%	malý setr.	1,40	7,2
	5%	malý setr.	1,20	7,2		5%	malý setr.	1,20	14,4
	25%	malý setr.	1,24	14,4		25%	malý setr.	1,12	14,4
50Hz	1%	malý setr.	1,20	54,0	50Hz	1%	malý setr.	1,40	54,0
	5%	malý setr.	1,30	54,0		5%	malý setr.	1,24	54,0
	25%	malý setr.	1,22	54,0		25%	malý setr.	1,22	54,0

Bez použití setrvačníku vykazuje motor výborné dynamické výsledky v celé škále rychlosti otáčení, frekvence rychlosti změn a velikosti změny rychlosti otáčení. Oproti tomu jsou dynamické vlastnosti s velkou zátěží již od malých rychlostních změn neuspokojivé, a proto jsem další měření provedl pouze s malou zátěží.

V tabulce s naměřenými hodnotami pro nízké otáčky je vidět, že motor zvládá nízkou frekvenci změn rychlosti otáčení, ale již při střední frekvenci se začíná zvětšovat fázový posun mezi výstupní a vstupní hodnotou rychlosti otáčení.

7 Laboratorní úloha

Řízený pohon s asynchronním motorem a frekvenčním měničem

7.1 Pomůcky

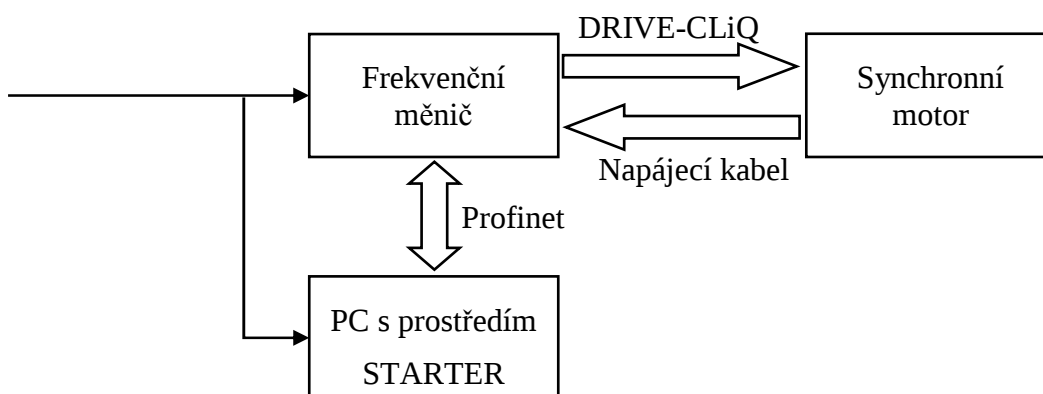
- asynchronní motor 1FK7
- frekvenční měnič Sinamics S120
- PC s prostředím STARTER

7.2 Úvod

Laboratorní úloha je ukázkou řízení pohonu s vysokou dynamikou, a jejím cílem je seznámit se s některými jeho provozními stavy a vlastnostmi. Motor je napájen z frekvenčního měniče, díky kterému lze plynule regulovat otáčky motoru a jeho krouticí moment. STARTER disponuje funkcí generátoru funkcí vhodného ke zkoumání vlivu velikostí změn rychlosti otáčení a při dané frekvenci. Generátor nabízí všechny typy průběhu s možností nastavení všech potřebných parametrů, jako je například střední hodnota otáček, amplituda, perioda, rozběhová a brzdná rampa a samozřejmě je maximální a minimální hodnota rychlosti otáčení. Další vlastností STARTERu je kontrolní panel kde lze motor spustit s nastavenou rychlosti otáčení nebo jej natáčet do zadané polohy s definovanou rychlostí.

7.3 Připojení motoru k PC a načtení měniče

Zařízení propojíme dle schématu



Po zapnutí STARTERu si otevřeme existující projekt v offline režimu. Pomocí tlačítka "Accessible nodes" vyhledáme připojený měnič a po jeho nalezení se pomocí tlačítka "Connect to selected target devices" přepneme do online režimu.

7.4 Řízení rychlosti otáčení

Na horním panelu zvolíme funkci generátoru "Device trace function generator" kde v první záložce nastavíme, které signály chceme sledovat. Žádané hodnotě rychlosti otáčení odpovídá parametr r62 a měřené hodnotě rychlosti otáčení odpovídá parametr r61. Pro měření krouticího momentu je třeba měřit parametr r80.

V záložce “Function generator” zvolíme požadovaný průběh a nastavíme jeho parametry. Pomocí tlačítka “Assume control priority!” se měnič odpojí od řízení a můžeme jej ovládat ze STARTERu. Po spuštění měniče a následném spuštění generátoru se motor roztočí podle požadovaných parametrů. Na horní liště můžeme pustit nahrávání signálů do časového diagramu, jehož časová základna se nastavuje v první záložce.

Postupně odzkoušejte, jak motor reaguje na velikosti změn rychlosti otáčení při nízké a vysoké frekvenci. Porovnejte jaký je překmit u obdélníkového průběhu a fázový posun u sinusového průběhu. Vyzkoušejte celou škálu rychlosti otáček motoru. Porovnejte, jak se změní dynamika motoru při jeho zatížení malým a posléze velkým setrvačníkem.

7.5 Tabulka měření

Rychlost otáčení									
200 ot/s					1 000 ot/s				
Frekvence	Změna	Zátěž	Poměr amplitud [-]	Fázový posun [°]	Frekvence	Změna	Zátěž	Poměr amplitud [-]	Fázový posun [°]
10Hz	1%	bez setr.			10Hz	1%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
	5%	bez setr.				5%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
	25%	bez setr.				25%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
20Hz	1%	bez setr.			20Hz	1%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
	5%	bez setr.				5%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
	25%	bez setr.				25%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
50Hz	1%	bez setr.			50Hz	1%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
	5%	bez setr.				5%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		
	25%	bez setr.				25%	bez setr.		
		malý setr.					malý setr.		
		velký setr.					velký setr.		

7.6 Kontrolní otázky

Který parametr nejvíce ovlivňuje dynamiku motoru.

Je možné tento nedostatek nějak eliminovat.

Pro jaké aplikace je vhodné řízení pohonu pomocí frekvenčního měniče.

8 Závěr

Práce se zabývá zkoumáním dynamických vlastností asynchronního elektromotoru 1FK7 od firmy Siemens s.r.o., který byl napájen z frekvenčního měniče Sinamics S120 a obsluhován pomocí prostředí STARTER.

Na začátku práce je krátký úvod do principu a konstrukce frekvenčního měniče včetně schémata zapojení. V další části jsem se seznámil s vlastnostmi daného frekvenčního měniče a synchronním elektromotorem o výkonu 0,82 kW.

Pro realizaci laboratorního pracoviště jsem využil dřevěné desky, na kterou jsem komponenty připevnil. Pro simulaci zátěže motoru jsem zhotovil dvojici setrvačníků s momentem setrvačnosti $1,50 \cdot 10^{-3}$ a $11,36 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$ přičemž samotný rotor má moment setrvačnosti pouhých $0,03 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Pro řízení experimentů jsem zvolil prostředí STARTER od firmy Siemens s.r.o., které je určeno pro parametrizování a monitorování pohonů. STARTER disponuje kvalitními monitorovacími funkcemi a proto nebylo nutné zpracovávat další uživatelské programové vybavení pro řízení experimentu.

Prostředí STARTER disponuje funkcí vytváření frekvenčních charakteristik z naměřených hodnot. Tato funkce by určitě našla využití, ale její výsledky je třeba brát s velkou rezervou. Jejich výpočet je velmi složitý a je ovlivněn předchozím měřením charakteristik. Dále u této funkce není možné přednastavit frekvenční rozsah, pro který má být vypočítána.

Při měření dynamických vlastností motoru bylo dosaženo výborných výsledků. Při zkoumání vlivu momentu setrvačnosti dosahoval motor požadovaných hodnot bez větších odchylek i při středním zatížení. Nežádoucí výsledky se objevili až při velkém zatížení motoru, kdy již nebyl schopen reagovat na požadované změny s dostatečnou dynamikou. Pro odstranění tohoto problému je vhodné zvolit vhodný motor úměrný k potřebné zátěži, motory se vyrábí s rozsahem krouticího momentu od 0,18 - 48 Nm. Při zkoumání vlivu velikostí změn rychlosti otáčení a vlivu rychlosti změn rychlosti otáčení jsem dosáhl hodnot, které potvrzují tvrzení, že motor 1FK7 je z řady s vysokou dynamikou.

Literatura

- [1] EATON, Elektronické spouštěče motorů a pohony [online] 2009 [cit. 2013-01-20]
Dostupné z < <http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives079.html> >
- [2] Ing. ROHAL, M. Pohonná technika [online], 2007-2013 [cit. 2013-01-20] Dostupné z:
<<http://www.pohonnatechnika.cz/>>
- [3] KADANÍK, P. Řízení asynchronního motoru bez použití snímače rychlosti [online]
Praha 2004 [cit. 2013-02-22] Dostupné z: <<http://pohony.kadanik.cz/>>
- [4] Emerson Electric Co, Střídavé měniče [online], 2013 [cit. 2013-02-26] Dostupné z:
<http://www.controltechniques.cz/produkty/st%C5%99%C3%ADdav%C3%A9_m%C4%9Bni%C4%8De.aspx>
- [5] Sinamics drives [online] 2011, [cit. 2013-04-20] Dostupné z:
<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/menice/_prospekty/brochure_sinamics_drives_2011_cz.pdf>
- [6] Modulární systémy pohonů pro jedno i více osé aplikace [online] Dostupné z:
<[http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/34295_SinamicsS120\\$Overview\\$CZ.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/34295_SinamicsS120$Overview$CZ.pdf)>
- [7] NOKTA Industrial [online] 2009, [cit. 2013-04-28] Dostupné z:
< <http://www.noktaendustriyel.com/eng/ProductDetails.html?MLFB=6SL3040-0LA01-0AA1&PageNo=B&PageName=Overview>>
- [8] Siemens s.r.o AG [online] 2011, [cit. 2013-05-21] Dostupné z:
<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/motory/servomotor/synchronni_servomotory/1fk7/brochure_1fk7_2010_cz.pdf>
- [9] Siemens s.r.o [online] 2013, [cit. 2013-04-28] Dostupné z:
< <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/?vw=0&ctxnh=f676a667ce&ctxp=home>>
- [10] FCC Public s.r.o [online] 2013, [cit. 2013-04-29] Dostupné z
<<http://www.odbornecasopisy.cz/?cil=home>>
- [11] Siemens s.r.o [online] 2013, [cit. 2013-05-02] Dostupné z
<[http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/58680_TIA\\$cerven\\$2010\\$07\\$malý\\$stroj\\$bez\\$PLC.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/58680_TIA$cerven$2010$07$malý$stroj$bez$PLC.pdf)>