

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

ŘÍZENÍ JEDNOÚČELOVÉHO OBRÁBĚCÍHO STROJE

CONTROL OF SPECIAL PURPOSE MACHINE TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAROSLAV PLOCEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL HOUŠKA, Ph.D

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jaroslav Plocek

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:

Řízení jednoúčelového obráběcího stroje

v anglickém jazyce:

Control of special purpose machine tool

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá návrhem jednoúčelového obráběcího stroje pro velkosériovou výrobu. Důležitou částí návrhu řízení je řešení problematiky bezpečnosti řídicího systému stroje a s ní spojená volba vhodných komponent.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s problematikou řízení jednoúčelových strojů.
2. Navrhněte strukturu řídicího systému jednoúčelového obráběcího stroje.
3. Řešte problematiku bezpečnosti řídicího systému a stroje, proveďte volbu vhodných komponent.
4. Navržený systém jednoúčelového obráběcího stroje realizujte.
5. Proveďte ověření funkcionality realizovaného stroje, zhodnoťte přínosy.

Seznam odborné literatury:

- [1] SHELL, Richard L a Ernest L HALL. Handbook of industrial automation. New York: M. Dekker, c2000, xii, 900 p. ISBN 0-8247-0373-1.
- [2] BLACK, Rex a Ernest L HALL. Managing the testing process: practical tools and techniques for managing hardware and software testing. 2nd ed. New York: Wiley, c2002, xxvii, 500 p. ISBN 04-712-2398-0.
- [3] HAYES, By Linda G. a Ernest L HALL. The automated testing handbook: practical tools and techniques for managing hardware and software testing. 2nd ed. Richardson, TX: Software Testing Institute, 2004, xxvii, 500 p. ISBN 09-707-4650-4.
- [4] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors, 2004, Springer-Verlag, ISBN 0-378-00750-4.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 26.11.2014

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V této diplomové práci je zpracován návrh řídicího systému jednoúčelového obráběcího stroje. V úvodní části je provedena analýza dvou možných variant řídicího systému a jejich porovnání, a to CNC řídicího systému Sinumerik a systému určeného pro řízení výrobních strojů Simotion. Dále je již řešena pouze varianta s řídicím systémem Simotion, je zde popsána hardwarová konfigurace systému, výběr jednotlivých komponentů a částečně realizace softwarové části. V další části se práce zabývá problematikou bezpečnosti realizovaného řídicího systému a celého stroje. Jsou zde popsány požadavky na bezpečnost strojních zařízení vycházející z harmonizovaných evropských norem a jejich konkrétní aplikace při návrhu bezpečnostních funkcí a obvodů řešeného obráběcího stroje.

ABSTRACT

The master thesis treats the design of control system of special purpose machine tool. The first part analyzes and compares two possible variants of control system which use either a CNC control system Sinumerik or motion control system Simotion. Only the variant with the Simotion control system is subsequently examined in detail: its hardware configuration, the selection of components and partly also the software solution. The thesis further deals with the safety of the realized control system and of the whole machine. There are described general safety requirements of machinery based on harmonized European standards and their specific application in the design of safety functions and the safety circuits of solved machine tool.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obráběcí stroj, řídicí systém, řízení pohybu, servopohon, bezpečnost strojních zařízení, posouzení rizika, snížení rizika, úroveň bezpečnosti, bezpečnostní obvody, bezpečnostní funkce, požadavky na bezpečnost elektrických pohonů.

KEYWORDS

Machine tool, control system, motion control, servo drive, safety of machinery, risk assessment, risk reduction, safety performance level, safety circuits, safety functions, safety requirements of electrical drives.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že předkládaná diplomová práce je mojí původní autorskou prací, kterou jsem vypracoval pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně 29. 5. 2015

Bc. Jaroslav Plocek

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLOCEK, J. *Řízení jednoúčelového obráběcího stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D. za odbornou pomoc, kterou mi poskytl v průběhu psaní této diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	5
Prohlášení o originalitě	6
Poděkování	7
1 Úvod	11
2 Návrh struktury řídicího systému stroje	13
2.1 Základní informace o stroji	13
2.1.1 Popis stroje a jeho použití	13
2.1.2 Funkční části stroje	14
2.2 Elektrické pohony stroje	15
2.2.1 Vztahy pro dimenzování a výběr motorů	15
2.2.2 Motor včetně obrobku	15
2.2.3 Motory včetně nástrojů	16
2.2.4 Motory lineárních os	16
2.2.5 Výkonová část pohonů	17
2.2.6 DRIVE-CLiQ	18
2.2.7 Modul SME120	18
2.3 Varianty řídicího systému	19
2.3.1 CNC řídicí systém Sinumerik	19
2.3.2 Řídicí systém Simotion	19
2.3.3 Porovnání řídicích systémů	20
2.4 Řídicí systém na platformě Simotion D435	22
2.4.1 Řídicí jednotka Simotion D435	22
2.4.2 Řízení v reálném čase	22
2.4.3 Technologické objekty v řídicím systému Simotion	22
2.4.4 Způsob zpracování programu řídicím systémem Simotion	23
2.4.5 Komunikace mezi D435 a pohony	24
2.4.6 Hardwarová konfigurace řídicího systému	25
2.5 Ovládání a vizualizace	26
2.5.1 HMI operátorský panel	26
3 Realizace softwarové části řídicího systému	27
3.1 Softwarová realizace základních funkcí stroje	27
3.1.1 Pracovní režimy stroje	27
3.1.2 Určení souřadnicového systému stroje	27
3.2 Obráběcí program a jeho zpracování	28
3.2.1 Struktura obráběcího programu	28
3.2.2 Přepočet polohovacích úloh do absolutního souřadnicového systému stroje	30
3.2.3 Interpret obráběcího programu	31
3.3 Řešení rozhraní člověk-stroj	33
3.3.1 Softwarové řešení panelu MP377	33

4	Požadavky na bezpečnost strojních zařízení	35
4.1	Posouzení rizik strojních zařízení	35
4.1.1	Postup posouzení rizik a jejich snížení	35
4.1.2	Vymezení bezpečnostních funkcí	36
4.2	Určení požadované úrovně bezpečnosti	36
4.2.1	Požadavky na bezpečnostní části ovládacích systémů podle ČSN EN 13849-1	36
4.3	Požadavky na elektrickou část strojů a provedení bezpečnostních funkcí	38
4.3.1	Požadavky na elektrická zařízení strojů podle ČSN EN 60204-1	38
4.3.2	Požadavky na bezpečnost elektrických pohonů podle ČSN EN 61800-5-2	39
5	Realizace bezpečnosti stroje	41
5.1	Stanovení požadavků na bezpečnost realizovaného stroje	41
5.1.1	Posouzení rizik způsobených strojem a návrh opatření k jejich snížení	41
5.1.2	Určení požadované úrovně bezpečnosti stroje	41
5.1.3	Definování bezpečnostních funkcí stroje	43
5.1.4	Návrh architektury bezpečnostních obvodů a výběr komponent	43
5.2	Realizace bezpečnostních obvodů	45
5.2.1	Koncepce bezpečnostních obvodů	45
5.2.2	Realizace logické části bezpečnostních obvodů	46
5.2.3	Konfigurace bezpečnostního modulu PNOZmm0p	49
5.3	Realizace bezpečnostních funkcí v elektrických pohonech	51
5.3.1	Integrovaná bezpečnost v pohonech Sinamics S120	51
5.3.2	Rozšiřující bezpečnostní modul TM54F	52
5.3.3	Nastavení bezpečnostních funkcí pohonů	53
5.3.4	Rozšíření telegramu o „Safety-Datablock“	57
5.3.5	Akceptační test bezpečnostních funkcí pohonů	57
5.4	Realizace bezpečnostních funkcí v pneumatickém a hydraulickém systému	59
5.4.1	Pneumatický systém	59
5.4.2	Hydraulický systém	60
6	Závěr	63
7	Seznam použité literatury	65

1 ÚVOD

Předmětem této diplomové práce je návrh a realizace řídicího systému jednoúčelového obráběcího stroje v rámci projektu, který řeší modernizaci několika již používaných strojů a současně rozšíření výrobních kapacit výrobou strojů nových. Jedná se o několik variant speciálních obráběcích strojů pro hromadnou výrobu rotačních dílů menších průměrů. Na těchto strojích se provádí speciální typ obrábění, kdy obrobek rotuje podél své osy a je obráběn pomocí rotujícího tvarového frézovacího nástroje. Dále je na těchto strojích možné provádět další typy obráběcích operací, jako je soustružení, vrtání a částečně frézování.

V této práci navazuji na svoji bakalářskou práci, ve které jsem řešil návrh dvouosého křížového stolu určeného pro tento typ stroje a podrobně jsem se v ní zabýval výpočtem a dimenzováním elektrických pohonů a popisem struktury jejich regulačních obvodů včetně jejich syntézy. V této diplomové práci je problematika elektrických pohonů pouze stručně rozšířena o zbývající rotační elektrické osy stroje a dále jsou zde pohony řešeny zejména z pohledu jejich nadřazeného řízení, ve kterém jsou realizovány mimo jiné i polohovací a synchronizační úlohy a z pohledu jejich bezpečnosti.

V úvodu práce se zabývám volbou vhodné platformy řídicího systému s ohledem na specifické požadavky pro konkrétní typovou variantu stroje, zejména z hlediska zpracovávaného sortimentu a jeho šíře, univerzálnosti použití stroje ve výrobě, požadavků na obsluhu a v neposlední řadě také z hlediska pořizovacích nákladů. Zejména z důvodu vyšší pořizovací ceny řídicího systému na platformě CNC se hledalo alternativní řešení. Z tohoto důvodu byla vedle CNC řídicího systému Sinumerik aplikována ekonomicky výhodnější varianta s částečně omezenou funkcionalitou na platformě řídicího systému Simotion. V další části práce se zabývám pouze řešením varianty s řídicím systémem Simotion, návrhem jeho struktury, výběrem komponentů a realizací jeho softwarové části.

Podstatnou část zadání diplomové práce tvoří problematika bezpečnosti strojních zařízení a řešení bezpečnosti řídicího systému a stroje jako celku. Povinností výrobce každého strojního zařízení je prokázat, že splnil požadavky harmonizovaných norem, přičemž platí předpoklad shody. Realizovaný stroj, včetně jeho řídicího systému, musí tedy vyhovět legislativním požadavkům tak, aby na něj mohlo být vystaveno ES prohlášení o shodě a mohl být označen značkou CE. Z tohoto důvodu jsem jednu kapitolu věnoval seznámení se s platnými technickými normami a požadavky, a z nich vyplývajícími postupy při posuzování bezpečnosti strojních zařízení a při návrhu bezpečnostních opatření.

V následující části je již popsána jejich konkrétní aplikace na řešený stroj. Při ní se vychází z provedené analýzy rizik. Na jejím základě je určena požadovaná úroveň bezpečnosti stroje a navržena architektura bezpečnostních obvodů s výběrem vhodných komponentů. Pro určení požadované úrovně bezpečnosti jsou v současné době platné normy ČSN EN 62061 a ČSN EN ISO 13849-1, přičemž obě připouštějí použití programovatelné elektroniky v bezpečnostních aplikacích. Z tohoto důvodu jsem se v této části zaměřil na jejich použití jak v logické části bezpečnostních obvodů, tak v elektrických regulovaných pohonech s integrovanými bezpečnostními funkcemi.

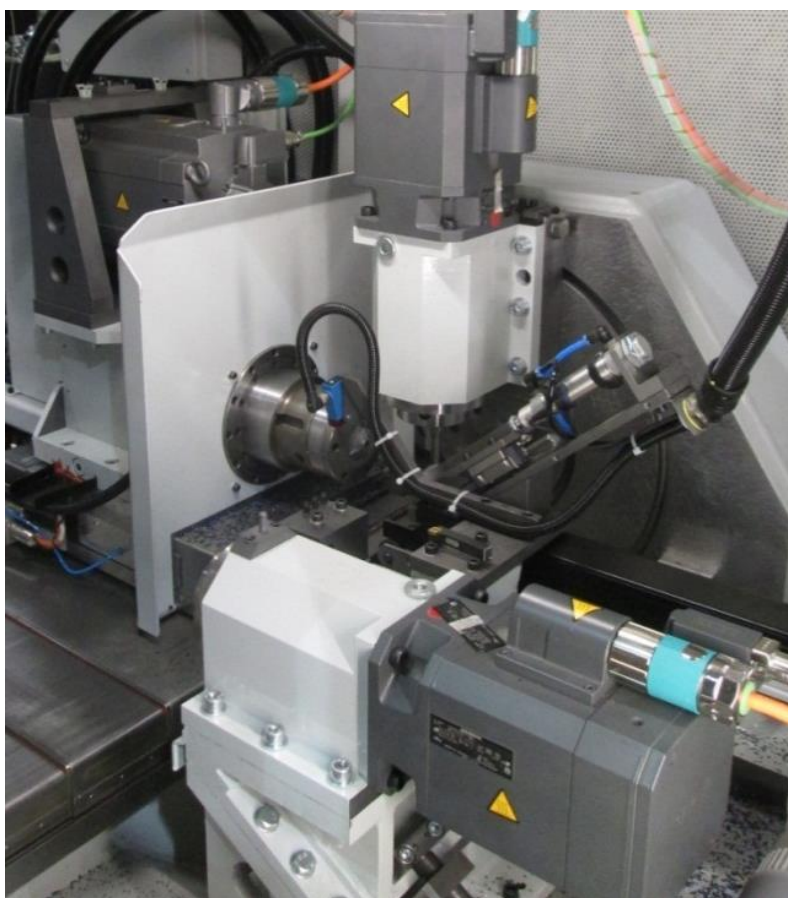
2 NÁVRH STRUKTURY ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STROJE

2.1 Základní informace o stroji

2.1.1 Popis stroje a jeho použití

Řešený stroj je určen pro suché třískové obrábění různých typů profilů utahovacího nářadí v hromadné výrobě. Jako polotovary se používají ocelové přířezy v délkách v rozmezí od 25 do 300mm kruhového nebo šestihranného profilu o různých průměrech, standardně od 3 do 12mm. Umožňuje provádět obráběcí operace soustružení, vrtání a zejména obrábění profilů, při kterém frézování probíhá do rotujícího obrobku a vřeten obrobku je synchronizováno vůči vřetenu frézovacího nástroje. Synchronizace obou vřeten probíhá v režimu master-slave, přičemž nástroj (slave) sleduje úhlovou rychlost a případně i polohu obrobku (master), pokud je vyžadována orientace tvaru obráběného profilu vůči obrobku. Tvar vyrobeného profilu je dán poměrem otáček mezi vřetenem obrobku a vřetenem frézovacího nástroje, tvarem řezných destiček, typem frézovacího nástroje a jeho orientací vůči obrobku.

Pracovní cyklus stroje probíhá v plně automatickém režimu a činnost obsluhy je během automatického provozu redukována pouze na doplňování polotovarů do zásobníku, odebírání hotových kusů a jejich kontroly bez přerušení chodu stroje. Seřízení stroje na jiný typ výrobku musí být jednoduché a rychlé, spočívá ve výměně potřebných nástrojů a upínací kleštiny, nastavení zásobníku a nabíjecího systému na jiný rozměr polotovaru a volby obráběcího programu, který již obsahuje všechny technologické parametry. Seřízení na přesné rozměry se provede při rozjíždění výroby pomocí korekcí nástrojů.



Obr. 2-1 Pohled do pracovního prostoru stroje

Stroj je navržen tak, aby byl strojní čas maximálně využit k obrábění a veškeré vedlejší funkce stroje spojené zejména s výměnou obrobku probíhaly pokud možno paralelně s obráběcími operacemi. Polotovary obrobků jsou rozřazeny a případně orientovány buď ve vibračním kruhovém zásobníku, nebo v hřebenovém podavači podle typu zpracovávaného obrobku a poté přivedeny do nabíjecího systému stroje. Takto přivedený polotovar je po ukončení obráběcích operací a odstranění předcházejícího obrobeného kusu upnut a připraven k obrábění, které probíhá postupně na jednotlivých nástrojích.

2.1.2 Funkční části stroje

Základ stroje tvoří jednotka hlavního vřetene obrobku, která je umístěna na dvouosém křížovém stole. Vřeteno obrobku je osazeno upínacím systémem s výměnnými kleštinami sloužícími k upnutí obrobku. Ze zadní strany bloku vřetene obrobku je namontován nabíjecí systém, který slouží k automatické výměně obrobku v upínací kleštině během pracovního cyklu.

Dvouosý křížový stůl se skládá ze dvou lineárních os svírajících navzájem úhel 90°. Dolní osa, kolmá na osu vřetene obrobku je označena X. Horní osa, označená Z, je namontovaná na pohyblivé desce spodní osy a jdoucí ve směru osy vřetene obrobku. Pohon obou os je realizován přímými lineárními motory. Sekundární díl pohonu sestávající z řady permanentních magnetů je umístěn na základové desce osy mezi dvěma kolejnicemi lineárního vedení a primární díl je přišroubován k horní pohyblivé desce osy. Každá osa je vybavena přímým odměřováním polohy a parkovací brzdou. Krytování je provedeno pomocí kovových teleskopických krytů doplněných o stírací a těsnící prvky.

Vřeteno frézovacího nástroje, které je během obrábění synchronizováno vůči vřetení obrobku je uloženo na otočném čepu a může být provozováno jak ve vertikální, tak i v horizontální poloze v závislosti na požadovaném typu profilu obrobku a typu obráběcího nástroje.

Volitelně může být stroj vybaven druhým vřetenem pro upnutí nástroje, které je umístěno v horizontální poloze a slouží k upnutí rotační soustružící hlavy pro obrábění válcových částí obrobků nebo k upnutí vrtacích nástrojů pro vrtání děr v ose obrobku.

Dále je stroj vybaven nožovou hlavou k upnutí soustružícího nože. Může být buď v pevném provedení pro upnutí jednoho nože, nebo v provedení jako pohyblivý zásobník nástrojů, do kterého lze upnout dva nebo i více nástrojů a během pracovního cyklu provádět jejich automatickou výměnu. Pohyblivá upínací hlava je umístěna na vertikálním vedení poháněném hydraulickým pohonem napájeným z hydraulického agregátu nebo alternativně rotačním servopohonem přes kuličkový šroub.

Upínací systém obrobku integrovaný do vřetene je ovládaný hydraulicky. Pohyb upínacího mechanismu kleštiny je realizován pomocí průchozího rotačního hydraulického válce. Upínací válec je ovládán proporčním ventilem regulujícím průtok oleje z důvodu nutnosti poměrně přesného polohování upínací kleštiny při výměně obrobku, kdy se mění poloha otevření kleštiny při vybíjení obrobeného kusu a při nabíjení kusu neobrobeného. Upínací síla se nastavuje pomocí tlakového redukčního ventilu. Hydraulický agregát je osazen přímo řízeným lamelovým čerpadlem doplněným o tlakový omezovací ventil, filtr hydraulického oleje a vzduchový chladič.

Nabíjecí systém je realizován pomocí pneumaticky ovládaných pohyblivých mechanismů. Pneumatický systém se na vstupu osazen jednotkou úpravy vzduchu složené z uzavíracího ventilu, regulačního ventilu tlaku, filtru vzduchu a bezpečnostního odvětrávacího ventilu s pomalým nárůstem tlaku. Dále jsou součástí pneumatického systému ventilový blok složený z ventilů ovládajících jednotlivé funkce a samotné pneumatické pohony.

Celý pracovní prostor je zcela zakrytý odhlučňovací kabinou. Přístupný je pomocí čtyř otvíratelných krytů, které jsou během automatického provozu stroje zajištěny proti otevření.

2.2 Elektrické pohony stroje

Výpočtu, výběru a nastavení pohonů jsem se podrobně věnoval v bakalářské práci a proto se budu této problematice věnovat pouze okrajově. Při výpočtech jsem vycházel z [1] a využil jsem konfigurační nástroj *Sizer* od firmy Siemens.

2.2.1 Vztahy pro dimenzování a výběr motorů

V aplikacích s přerušovaným chodem a proměnlivou zátěží se vychází z průběhu zatěžovacího cyklu a pohybové rovnice elektrického motoru pro rotační pohyb

$$M - M_z = M_d = \frac{d}{dt}(J\omega) \quad (2.1)$$

ve které M vyjadřuje hnací moment v [Nm], M_z zátěžový moment, M_d dynamický moment, J vyjadřuje moment setrvačnosti soustavy v [kgm²] a ω úhlovou rychlost v [rads⁻¹]. Ekvivalentně pro lineární motory platí pohybová rovnice pro translační pohyb

$$F - F_z = F_d = m.a \quad (2.2)$$

kde F vyjadřuje hnací sílu [N], F_z zátěžovou sílu, F_d dynamickou sílu, m hmotnost zátěže [kg] a a zrychlení v [ms⁻²]. Z těchto vztahů se na základě zatěžovacích diagramů určí špičkové zatížení motorů. V případě proměnlivého zatížení se metodou ekvivalentního momentu vypočítá ekvivalentní zatížení motorů. Pro rotační motory podle vztahu

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \quad (2.3)$$

a pro lineární motory

$$F_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \quad (2.4)$$

Jmenovité hodnoty zvoleného motoru musí být vyšší než vypočtené ekvivalentní hodnoty a zároveň musí vyhovět i z hlediska špičkové přetížitelnosti [1].

2.2.2 Motor vřetene obrobku

Motor je spojen s rotačními částmi vřetene ozubeným řemenem, převodový poměr mezi hřídelí motoru a vřetenem je 1:1. Moment setrvačnosti rotujících částí vřetene obrobku je 0,111938kgm². Při výpočtu motoru byl zohledněn i zátěžový moment během obrábění.

Motor má pracovat v režimu přerušovaného chodu se změnou rychlosti během pracovního cyklu. Požadavek na maximální pracovní otáčky vřetene obrobku vychází z požadavku na otáčky během soustružení a jsou dány hodnotou 4000min⁻¹.

Navržen byl synchronní servomotor s permanentními magnety od firmy Siemens typové řady 1FT7105. Zvolený motor, který má jmenovité otáčky nižší než požadované, dosáhne těchto otáček v režimu odbuzení, při němž ale již klesá hnací moment na hřídeli motoru.

Motor je osazen parkovací brzdou a inkrementálním snímačem polohy s analogovým výstupním signálem sin/cos 1Vpp s integrovaným rozhraním sběrnice DRIVE-CLiQ spojeným s hřídelí motoru.

Tab. 2-1 Parametry motoru vřetene obrobku

Špičkový moment vypočítaný	29,34Nm
Ekvivalentní moment vypočítaný	21,39Nm
Typ motoru	1FT7105-5AF70-1DH4
Špičkový moment motoru	200Nm
Jmenovitý moment motoru	28Nm
Jmenovitý proud motoru	15A
Jmenovité otáčky motoru	3000min ⁻¹

2.2.3 Motory vřeten nástrojů

Obě vřetena sloužící pro upnutí nástrojů jsou vybavena stejným typem motoru. Moment setrvačnosti rotujících částí je 0,011029kgm². Motor je s hřídelí vřetene spojen přímo svěrným spojem a bude opět pracovat v režimu přerušovaného chodu se změnou rychlosti během pracovního cyklu. Maximální požadované pracovní otáčky jsou 6000min⁻¹, přičemž zvolený synchronní servomotor typové řady 1FT6082 může dosáhnout maximálních otáček 7000min⁻¹ v režimu odbuzení. Motory jsou osazeny jednopólovým resolverem s integrovaným rozhraním sběrnice DRIVE-CLiQ. Resolver byl zvolen z důvodu vyšší odolnosti vůči vibracím, které se na snímač přenášely při obrábění.

Tab. 2-2 Parametry motorů vřeten nástrojů

Špičkový moment vypočítaný	11,55Nm
Ekvivalentní moment vypočítaný	5,2Nm
Typ motoru	1FT6082-8AK71-4PG1
Špičkový moment motoru	42Nm
Jmenovitý moment motoru	5,5Nm
Jmenovitý proud motoru	9,1A
Jmenovité otáčky motoru	6000min ⁻¹

2.2.4 Motory lineárních os

Pohon lineárních os křížového stolu je realizován přímými lineárními motory. Hmotnost zátěže osy X je přibližně 430kg, požadovaná maximální rychlost 1ms⁻¹, požadované dosažitelné zrychlení 5ms⁻². Obě osy jsou osazeny pneumatickou brzdou řízenou přímo z motorového modulu měniče.

Tab. 2-3 Parametry lineárních motorů

Špičková síla vypočítaná	2150N
Ekvivalentní síla vypočítaná	783N
Typ motoru	LMF42
Špičková síla motoru	3700N
Jmenovitá síla motoru	1230N
Jmenovitý proud motoru	6,3A

Použity jsou lineární motory Hiwin LMF42 vybavené snímačem teploty vinutí KTY. Komutace motoru je řízena na základě signálu z Hallovy sondy, jimiž jsou tyto motory vybaveny. Pro přímé odměřování polohy jsou použity indukční inkrementální snímače AMO LMK 101.3 s analogovým výstupním signálem sin/cos 1Vpp. Odměřovací pásek je ocelový s periodou 1mm a třídou přesnosti ±5μm/m. Výstupní perioda snímače o délce 40μm je realizována pomocí integrované elektroniky ve snímáči hlavičce. Tento typ odměřování nahradil původně používané magnetické odměřování z důvodu vyšší přesnosti a větší odolnosti vůči magnetickému poli primárního dílu motoru.

Signály Hallovy sondy, snímače teploty vinutí a snímače polohy je přiveden na modul SME120, který je digitalizuje a po sběrnici DRIVE-CLiQ předává na řídicí jednotku.

2.2.5 Výkonová část pohonů

V této aplikaci, která obsahuje 5 elektrických pohonů, je použit systém Sinamics S120 od firmy Siemens. Jedná se o modulární systém, určený pro víceosé aplikace. Stejnosemné napětí meziobvodu je vytvářeno v napájecím modulu (Line modul). Ten obsahuje tyristorový usměrňovač, který ze střídavého napětí sítě vytváří stejnosměrné napětí meziobvodu vyhlazované kondenzátory. Na stejnosměrný meziobvod jsou připojeny motorové moduly jednotlivých os, které přeměňují stejnosměrné napětí na třífázový točivý systém s proměnlivou hodnotou výstupního napětí a s proměnlivou hodnotou výstupní frekvence na principu pulzní šířkové modulace (PWM).[7]

Pohony Sinamics S120 jsou být vybaveny vlastní řídicí jednotkou (CU), která může být buď samostatná, komunikující s nadřazeným PLC po sběrnici Profibus nebo bývá zaintegrována do nadřazených řídicích systémů Simotion nebo CNC systému Sinumerik, což je případ i této aplikace.

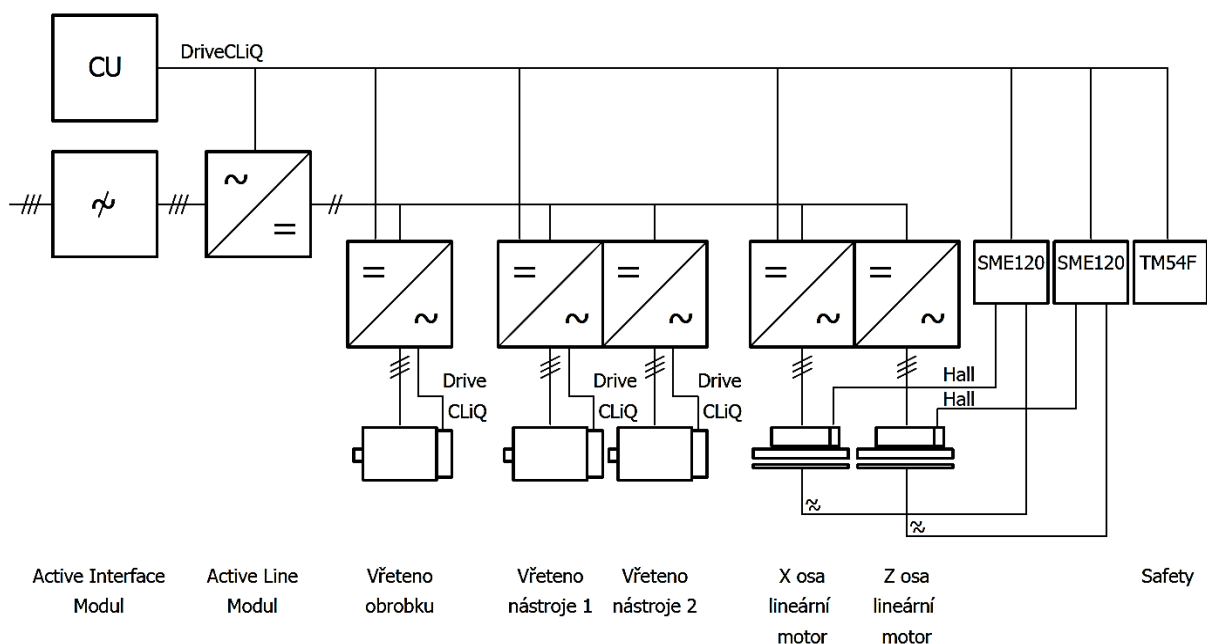
V této části uvedu pouze popis výsledné konfigurace výkonové části sestavy pohonů s technickými parametry jednotlivých modulů.

Motorové moduly pro napětíovou úroveň 400V jsou vyráběny v provedení pro napájení jednoho motoru (single motor module) nebo ve dvojitém provedení pro napájení dvou motorů (double motor module), která je cenově výhodnější. Dvojité moduly jsou vyráběny ve variantách 2x1,7A, 2x3A, 2x5A, 2x9A a 2x18A.

Tab. 2-4 Konfigurace motorových modulů sestavy pohonů

Motor	I_E	I_N	Motorový modul	I_{MM}
Vřeteno obrobku	11,5A	15A	6SL3120-1TE21-8AA3	18A
Vřeteno nástroje 1 (fréza)	8,6A	9,1A	6SL3120-2TE21-8AA3	18A
Vřeteno nástroje 2 (soustružicí hlava)	8,6A	9,1A		18A
Osa X	4,0A	6,3A	6SL3120-2TE21-0AA3	9A
Osa Z	4,0A	6,3A		9A

V Tab. 2-4 jsou uvedeny vypočítané ekvivalentní proudy I_E , vycházející ze zátěžového diagramu pracovního cyklu pro jednotlivé pohony, dále jmenovité proudy použitých motorů I_N , zvolené motorové moduly a jejich jmenovité proudy I_{MM} .



Obr. 2-2 Blokové schéma sestavy pohonů Sinamics S120

Sestava motorových modulů je napájena ze společného stejnosměrného meziobvodu, vytvářeného jedním síťovým modulem, který je nutné dimenzovat s ohledem na odebíraný proud všemi motorovými moduly. Výběr napájecího modulu vychází ze znalosti průběhu proudového zatížení všech připojených motorových modulů a z nich je jejich součtem vypočítán průběh proudového zatížení celé sestavy. K němu jsou ještě přičteny ztráty vzniklé na motorových modulech. Výsledný průběh určuje hodnoty ekvivalentního a špičkového proudového zatížení napájecího modulu, na jejichž základě byl vybrán napájecí modul Active Line se jmenovitým výkonem 16kW s typovým označením 6SL3137-7TE21-6AA3. Tento modul umožňuje rekuperaci a regulaci napětí meziobvodu.

Napájecí modul je nutné připojit na síť přes Active Interface modul, ve kterém je integrován síťový filtr a síťová tlumivka. Active Interface modul filtruje z pulzně-šířkově modulovaného napětí napájecího modulu harmonické vyššího řádu a zajišťuje na síťové straně téměř sinusový odběr proudu a minimální zpětné účinky na síť. [7] Typové označení zvoleného Active Interface modulu je 6SL3100-0BE21-6AB0.

2.2.6 DRIVE-CLiQ

DRIVE-CLiQ je systémové rozhraní firmy Siemens otevřené i pro další výrobce, založené na 100Mbit/s Ethernetu. Rozhraní je určeno k vnitřnímu propojení jednotlivých komponent v rámci pohonů Sinamics. Je navrženo tak, aby byly vyloučeny ztráty paketů a kolize při přenosu dat až na vzdálenost 100m. Komunikační protokol umožňuje vysokorychlostní cyklickou isochronní komunikaci peer-to-peer mezi řídicí jednotkou, která vystupuje jako jediný master, a ostatními komponenty pohonu připojenými na sběrnici. Tím je umožněna i výměna dat v rámci regulačních obvodů v taktu 125μs. V periferních modulech jsou integrovány funkční součásti, které slouží k jejich řízení a diagnostice. Periferní moduly obsahují data umožňující jejich identifikaci.[20]

Motorové moduly a napájecí díly jsou výkonové prvky obsahující vlastní inteligenci, které si vyměňují data s řídicí jednotkou ve formě normovaných žádaných a aktuálních hodnot. Regulace probíhá na úrovni proudové a otáčkové regulační smyčky v servo i vektorovém řízení. Motory vybavené DRIVE-CLiQ rozhraním umožňují nejen zprostředkování informace o aktuální poloze, ale i informace o teplotě a všechny parametry motoru. Dále je k dispozici řada senzorových modulů, umožňujících připojení motorů se standardním enkodérem bez rozhraní DRIVE-CLiQ. Terminálové moduly umožňují rozšíření vstupních a výstupních svorek řídicí jednotky.

Sběrnice umožňuje různé způsoby propojení a automatické rozpoznání topologie po zapnutí napájení. Výjimku tvoří kruhová topologie a dvojnásobné propojení komponentů, které není možné. Periferní moduly jsou vybaveny huby, což umožňuje jejich přímé propojení bez použití dalších síťových komponentů. K propojení se používají obvyklé konektory RJ45 v krytí IP67, doplněné o napájecí napětí 24V pro napájení senzorů. Kabely musí splňovat požadavky na nasazení v průmyslových aplikacích, mezi něž patří stínění, poloměr ohybu, provedení do vlečných řetězů, odolnost vůči chemikáliím a podobně. [20]

2.2.7 Modul SME120

Vyhodnocovací modul SME120 zpracovává analogové signály lineárních pohonů, které po digitalizaci předává po sběrnici DRIVE-CLiQ řídicí jednotce. Tento modul má tři analogová rozhraní, a to pro připojení inkrementálního snímače polohy sin/cos 1Vpp, až tří teplotních senzorů KTY/PTC a Hallova snímače pro řízení komutace.

Signál inkrementálního snímače polohy je schopen vyhodnocovat až do frekvence 500kHz. Získaná diskrétní hodnota signálu je přepočítána na aktuální rychlost a aktuální polohu rotoru. jemné rozlišení v rámci jedné periody signálu standardně 11bitů, což představuje její rozdělení na 2048 dílků. Výsledná informace o poloze má pak 32bitů, přičemž dělení periody je obsaženo v dolních bitech. [8]

2.3 Varianty řídicího systému

V této kapitole jsou popsány varianty řídicího systému pro řešenou aplikaci. Stroje tohoto typu byly zrealizovány ve variantách se dvěma řídicími systémy, a to s CNC systémem Sinumerik a s motion control systémem Simotion. Jejich výběr vychází ze zadání a specifických požadavků na konkrétní stroj. Charakteristika a porovnání obou systémů, včetně určení kritérií pro jejich výběr, je předmětem této části práce.

2.3.1 CNC řídicí systém Sinumerik

Řídicí systém Sinumerik 840D sl je primárně určen pro řízení i velmi rozsáhlých obráběcích strojů vyžadujících složité interpolace více os. Jedná se o modulární CNC řídicí systém s integrovaným systémem pohonů Sinamics S120 a integrovaným PLC Simatic S7-300. Základní jednotka NCU 710.3 umožňuje řízení až 6 os. Pro větší počty řízených os jsou k dispozici výkonnější řídicí jednotky NCU 720.3 a NCU 730.3 nebo rozšiřující jednotky NX 10/15. Protože se jedná o velmi rozsáhlý řídicí systém s řadou hardwarových platforem a mnoha přídatnými technologickými funkcionalitami, tak zde zmíním pouze jeho konfiguraci ve variantě řídicího systému k řešenému stroji se základní řídicí jednotkou NCU 710.3PN.

V jedné NCU (Numerical Control Unit) jsou spojeny NC, PLC, HMI, regulační a komunikační funkce. Jsou zde dále uloženy parametry s kompletní konfigurací CNC stroje, informace o souřadnicovém systému stroje, vzájemné přiřazení geometrických a strojních os, jejich přiřazení do provozních skupin (BAG) a kanálů. Je zde obsažen management NC programů, nástrojů a nulových bodů stroje. NC programy se dělí do skupin podle jejich použití na hlavní programy, podprogramy, programy jednotlivých obrobků, uživatelské cykly a další specifické programy vytvořené výrobcem stroje. Dále jsou zde obsaženy diagnostické a optimalizační nástroje a nástroje určené pro uvádění stroje do provozu. [13]

Zpracování NC programu se provádí částí NCK. Příkazy NC programu jsou načítány do mezipaměti a následně zpracovávány. NC část obsahuje interpolátor a polohové regulátory jednotlivých os, jejichž výstup je ve formě žádané polohy a rychlosti předáván přes interní sběrnici Profibus na řídicí jednotku pohonů CU. V opačném směru je z pohonů na NCK předávána informace o aktuální poloze os.

Logické řízení stroje je realizováno v integrovaném PLC řady Simatic S7-300 s řídicí jednotkou CPU317F-3PN/DP. Jak již vyplývá z označení, jedná se o bezpečnostní PLC a připojení karet vstupů, výstupů a případně dalších komponent je možné realizovat pomocí sběrnic Profinet nebo Profibus. Komunikace s NCK řízením je realizována obousměrně přes vyhrazené datové bloky. V PLC části je nutné zpracovat uvolňovací a blokovací signály a signály z ovládacích panelů, které jsou zprostředkovány NCK řízením právě přes tyto datové bloky. Dále jsou v této části řešeny vedlejší funkce stroje včetně pomocných funkcí volaných z NCK, mezi něž patří M, T, D, S, H a F funkce, zpracování diagnostických funkcí a aktivace chybových a varovných hlášení do NCK. [13]

Rozhraní člověk-stroj (HMI) je řešeno pomocí operačního panelu, který ve spojení s TCU (Thin Client Unit) umožňuje prostorové oddělení ovládacího panelu od jednotky NCU. TCU je konfigurováno jako DHCP klient a přebírá přednostně IP adresu DHCP serveru, kterým je v tomto případě NCU. Operační panely jsou k dispozici v několika verzích lišících se zástavbovými rozměry, velikostí a typem displeje a počtem kláves. Mezi další ovládací komponenty systému Sinumerik patří tlačítkové ovládací panely MCP, obsahující standardní klávesy pro ovládání funkcí stroje, a to ve variantě pro soustruh nebo frézku. [12] V této aplikaci je nasazen operační panel OP 012 v kombinaci s TCU a s ovládacím panelem MCP 483PN.

2.3.2 Řídicí systém Simotion

Simotion je řídicí systém navržený především pro řízení výrobních strojů, vyžadujících z hlediska jejich funkce řízení pohybů elektrických nebo hydraulických servopohonů. Systém se skládá ze tří hlavních, vzájemně propojených částí. Část logického řízení obsahuje integrované PLC. Motion control část umožňuje polohování různých typů kinematických mechanismů, různé typy vzájemných synchronizací pohonů a různé typy řízení pohonů, například momentové řízení. V rámci

paketu integrovaných technologických funkcí lze realizovat regulační úlohy, jako je například regulace tlaku nebo teploty. [16]

Pro práci s řídicím systémem Simotion se používá inženýrský software Scout, který umožňuje programování v několika graficky orientovaných jazycích, jako je MCC (Motion Control Charts) ve formě vývojových diagramů, LAD a FBD (kontaktní a funkční diagramy), DCC (Drive Control Chart) nebo textově orientovaný jazyk ST (Structured Text) vycházející z jazyka Pascal. Dále tento inženýrský software obsahuje nástroje pro kompletní parametrizaci pohonů, diagnostické a podpůrné nástroje pro uvádění do provozu. Z tohoto hlediska se jedná o rozšířený nástroj pro parametrizaci a uvádění do provozu pohonů Sinamics s názvem Starter.

Interní reprezentace strojních částí, mezi něž patří například elektrická, hydraulická, případně i virtuální osa, vačka, externí snímač, měřící nebo teplotní kanál, je založena na technologických objektech (TO). Komunikace s řídicí jednotkou pohonů Sinamics probíhá po isochronním Profibusu nebo Profinetu. Každému objektu na úrovni pohonů je přiřazen technologický objekt na úrovni řídicího systému a komunikují spolu pomocí standardizovaných telegramů. [16]

Řídicí systém Simotion je k dispozici na třech hardwarových platformách a v několika výkonových kategoriích, od kterých závisí maximální počet připojitelných os.

Simotion C je modulární provedení na platformě Simatic S7-300, jejímiž vstupními a výstupními moduly může být dále rozšiřován. Na tento systém mohou být přímo připojeny 4 osy přes analogové rozhraní a další pohony přes isochronní sběrnice Profibus DP, alternativně Profinet. [16]

Simotion D je provedení řídicího systému v designu pohonů Sinamics S120, který má v sobě již integrovanou řídicí jednotku pohonů (CU) propojenou interním isochronním Profibusem. K dispozici je v několika výkonových kategoriích od nejnižší D410 pro jednoosou aplikaci, přes D425 umožňující připojení maximálně 16 os, D435 pro maximálně 32 os, D445 až do 64 os až po nejvýkonnější systém v druhé generaci D455-2, který teoreticky zvládne až 128 os. Počty os se ale snižují v závislosti na zvolené délce interpolačního taktu a počtu a složitosti technologických funkcí. [16]

Simotion P je řídicí systém na bázi průmyslového PC s rozšířením řízení v reálném čase pro Simotion. Systém umožňuje ještě současné zpracování dalších PC aplikací, což se využívá zejména pro HMI (Human Machine Interface) aplikace. Pro řízení periférií se využívá integrované Profinet rozhraní. [16]

2.3.3 Porovnání řídicích systémů

Řešený typ obráběcího stroje byl již realizován ve více variantách s oběma řídicími systémy. Při volbě řídicího systému je třeba brát zřetel na požadavky pro konkrétní stroj a oblast jeho nasazení. Pro obráběcí stroje je určený řídicí systém Sinumerik, který je pro danou aplikaci použitelný bez jakéhokoli omezení. Jeho výhodou je, že se jedná o univerzální řídicí systém s širokým rozsahem použití a řadou rozšiřujících funkcí, které jsou v něm již integrované, včetně vyřešeného operátorského rozhraní s editorem NC programů, správou nástrojů, systémových a uživatelských dat a jejich archivací. Pro výrobce stroje zbývá naprogramovat pouze specifickou PLC část a nakonfigurovat systém na daný obráběcí stroj pomocí parametrů. Limitujícím faktorem při volbě tohoto systému pro danou aplikaci je pouze jeho cena, která je dána jednak hardwarem a jednak nutností zakoupení licencí na různé rozšiřující funkcionality. Například v základní verzi je licencované jedno vřetenno a licence na každé další vřetenno je nutné dokoupit.

Tab. 2-5 Ceny komponentů CNC systému Sinumerik

Sinumerik 840D sl – NCU 710.3PN	107000,-
CNC software + licence 2 vřetenno, synchronizace, multiple mode	179000,-
Sinumerik operační panel OP 012	55000,-
Sinumerik TCU 20.2	24000,-
Sinumerik tlačítkový panel MCP 483PN	40000,-
Celkem Sinumerik 840D sl	405000,-

Tab. 2-6 Ceny komponentů řídicího systému Simotion

Řídicí jednotka Simotion D435	77000,-
Firmware + multiaxis licence	39000,-
Operační panel MP377 key 12"	87000,-
Celkem Simotion D435	203000,-

Právě z důvodu snížení ceny byla realizována varianta řídicího systému na platformě Simotion. Oproti řídicímu systému Sinumerik musí být všechny funkce naprogramovány výrobcem stroje, čímž je dáno jeho omezené použití pro řízení obráběcích strojů. Nižší pořizovací náklady hardwaru jsou vykoupeny zvýšenou časovou náročností a tím pádem vyššími náklady na tvorbu programu včetně vizualizace pro operátorský panel MP377, pro který bylo nutné mimo jiné vytvořit editor obráběcího programu a management obráběcích programů a nástrojů včetně možnosti jejich archivace. V rámci řídicího systému Simotion se řešil zejména interpret obráběcího programu, synchronizační akce pohonů, přepočítání polohovacích úloh do absolutního souřadného systému stroje včetně započítání korekcí opotřebení obráběcích nástrojů, pomocné funkce automatické výměny obrobku, provozní režimy stroje a diagnostické funkce.

Zejména dosažení uživatelského komfortu ovládacího panelu srovnatelného se systémem Sinumerik je v daném časovém rámci a s použitelným hardwarem ovládacích panelů nerealizovatelné. Z tohoto důvodu je tento systém vhodné použít na ty stroje, u nichž se předpokládá opakovaná hromadná výroba dílů omezeného sortimentu bez nutnosti časté editace a odlaďování obráběcích programů.

V tomto případě, kdy se nejedná o realizaci jediného stroje, ale o opakovanou realizaci několika exemplářů je investice do vyššího podílu programátorské práce a volba uvedeného řešení opodstatněná. Ceny uvedené v tabulkách jsou pouze orientační a vycházejí z listovních cen.



Obr. 2-3 Sestava řídicího systému Simotion D435 a pohonů Sinamics S120

2.4 Řídicí systém na platformě Simotion D435

2.4.1 Řídicí jednotka Simotion D435

V další části práce se budu zabývat řešením řídicího systému stroje na platformě Simotion, pro který byla zvolena řídicí jednotka D435. Jedná se o jednotku střední výkonnostní třídy pro řízení náročnějších aplikací v designovém provedení pro integraci do sestavy pohonů Sinamics S120. Z tohoto důvodu je v ní přímo integrovaná jednotka řízení pohonů CU320, která umožňuje řízení až 6 os v servo režimu, propojenou s řídicí jednotkou pomocí interní sběrnice Profibus DP, komunikující v reálném čase. Komunikace CU320 s dalšími moduly sestavy pohonů probíhá prostřednictvím sběrnice DRIVE-CLiQ a jednotka D435 obsahuje čtyři DRIVE-CLiQ rozhraní. Funkcionalita systému je dodávána na CF kartě, která obsahuje jednak Simotion runtime software a jednak firmware pohonů Sinamics S120 s jejich implementovanými funkcemi. [15]

Dále jednotka D435 obsahuje standardně dvě rozhraní Profibus DP, přičemž jedno z nich lze překonfigurovat na komunikaci MPI, dále dvě Ethernetová rozhraní s přenosovými rychlostmi 10/100Mb/s, která lze využít k připojení programovacího PC, vizualizace nebo k připojení nadřazeného informačního systému. Integrovaný Webservice umožňuje využití diagnostických funkcí pouze pomocí standardního Webového prohlížeče bez nutnosti použití licencovaného vývojového prostředí. [15]

K dispozici je přímo na jednotce 8 digitálních vstupů a 8 digitálních výstupů pro řídicí jednotku pohonů CU320 a z PLC části řídicího systému Simotion lze na ně přistupovat pomocí telegramů sběrnice Profibus DP. Tyto vstupy a výstupy jsou v této aplikaci využity k ovládání stykače napájení výkonové části pohonů a k připojení limitních spínačů lineárních os a externích referenčních signálů sloužících ke zreferování inkrementálních odměřovacích systémů jednotlivých pohonů. Lze je také použít jako rychlé měřicí vstupy nebo výstupy technologických vaček.

Řídicí jednotka obsahuje volný slot, do kterého lze vložit modul dalších rozšiřujících digitálních a analogových vstupů a výstupů TB30 nebo komunikační modul CBE30 umožňující vytvořit komunikační sběrnici Profinet IO obsahující čtyřportový switch a komunikující v reálném čase rychlostí 100Mb/s. [15]

2.4.2 Řízení v reálném čase

Řídicí systém zpracovává úkoly (tasky) v pravidelných, předem stanovených intervalech. Nejkratší interval, kterého je možno dosáhnout je Bus-takt a odvíjí se od isochronní komunikace sběrnic Profibus (DP-takt) nebo Profinet (PN-takt). Tento interval určuje, v jakých časových rozestupech probíhá výměna dat po sběrnici a slouží jako základ pro nastavení dalších řídicích intervalů. Pro komunikaci s integrovanou řídicí jednotkou pohonů po vnitřní sběrnici Profibus je jeho hodnota 2ms.

Pro řízení pohonů v polohové regulační smyčce, komunikaci s pohony a periferiemi se používá Servo-takt, jenž lze již konfigurovat v násobcích Bus-taktu a zpravidla se ponechává přednastavený interval 2ms. [14]

K výpočtu žádaných hodnot softwarového interpolátoru se používá IPO-takt a zadává se v násobcích Servo-taktu a zpravidla se ponechává v poměru 1:1. Pro technologické objekty s nižší prioritou zpracování lze použít IPO2-takt, kterému lze interval nastavit opět v násobcích Servo-taktu a tím docílit odlehčení systému. [14]

2.4.3 Technologické objekty v řídicím systému Simotion

Runtime řídicího systému Simotion je objektově orientovaný a pracuje s technologickými objekty, které reprezentují instance tříd různých typů technologických zařízení. V technologických objektech je integrována veškerá funkčnost nutná k řízení daného typu technologie. Například technologický objekt osy obsahuje organizaci komunikace s pohonem, zpracování signálu odměřovacího systému, polohový regulátor, interpolátor a další funkce pro polohovací úkoly. [14]

Technologické objekty se v rámci projektu zakládají pomocí softwaru Scout a konfiguruji se pomocí parametrů. Po nahrání běží automaticky v jádru runtime systému. Z uživatelského programu

se k nim přistupuje prostřednictvím povelů, což je v podstatě volání funkcí, které představují řídicí procedury daného objektu, a technologické objekty je zpracovávají a vrací odpovídající stavové informace. Datové struktury objektu představují parametry, k nimž je možné přistupovat z uživatelského programu. [14]

Mezi typy technologických objektů spojených s fyzickým objektem patří například:

- TO osa napojená s pohonem a snímačem.
- TO externí snímač napojený pouze na odměřovací systém.
- TO výstupní vačka napojená na binární výstup.
- TO sonda napojená na měřicí vstup.

Dále mohou existovat objekty sloužící ke zpracování technologických dat:

- TO synchronizace pro synchronizaci pohybu mezi dvěma osami nebo osou a signálem odměřovacího systému.
- TO dráhy (Path object) k synchronizaci pohybu více os po trajektorii dráhy v rovině nebo prostoru.
- TO křivkové vačky k programování vzájemné dráhové závislosti mezi master a slave osou.
- Další technologické objekty sloužící ke zpracování dat, jako například součtové bloky, matematické formule a regulátory.

Typy technologických objektů (třídy) jsou k dispozici v rámci různých technologických paketů *CAM*, *PATH*, *CAM_ext*, *DCC* a *TControl*. [14]

2.4.4 Způsob zpracování programu řídicím systémem Simotion

Runtime řídicího systému Simotion je založen na multitaskingovém zpracování programu. Základ tvoří, stejně jako u všech PLC automatů, cyklické zpracování programu, kdy z cyklicky zpracovávaného bloku (Background task) jsou spouštěny další programové bloky. Kromě cyklického zpracování programu existuje ještě celá řada dalších způsobů spouštění programových bloků včetně událostního a časového přerušení.

Speciálně pro vykonávání sekvencí pohybů jsou určeny takzvané Motion tasky, které běží nezávisle na cyklickém zpracování programu a mohou být spouštěny, pozastavovány nebo ukončovány z jiných programových bloků, ať již z cyklického programu nebo na základě programu vyvolaného jiným způsobem. [14]

U použitého systému D435 je k dispozici až pět nezávislých časově vyvolaných přerušení (Time interrupt tasks), kdy je každému přerušení možné nastavit jeho časový interval. [14]

Pro synchronizační úlohy s vysokou prioritou zpracování jsou k dispozici synchronizační tasky (Synchronous tasks) vyvolávané synchronně v taktu hodin polohového regulátoru (Servo synchronous task) nebo v interpolačním taktu (IPO synchronous task nebo IPO2 synchronous task).

Systémově vyvolané přerušení (System interrupt task) může být vyvoláno při chybách zpracování programu, výpadku periferních modulů, překročení časového limitu cyklického zpracování programu a technologických alarmech. Zpracováním systémově vyvolaného přerušení se lze vyhnout přechodu systému do STOP stavu. [14]

Uživatelsky definovaná přerušení (User interrupt tasks) je možné definovat na základě uživatelsky definovaných akcí, například na základě změny stavu vstupu. K dispozici jsou dvě uživatelská přerušení. [14]

Poslední skupinou jsou tasky vyvolávané při přechodu systému ze stavu STOP do stavu RUN (Start up task) nebo naopak při přechodu ze stavu RUN do stavu STOP (Shut down task). [14]

2.4.5 Komunikace mezi D435 a pohony

Komunikace mezi řídicí jednotkou pohonů CU320 a jednotkou D435 probíhá po interní sběrnici Profibus ve specifikaci DP-V2, která zaručuje přesné časové rozestupy komunikačního cyklu, na který jsou pohony synchronizovány. K tomuto účelu vyšle master na začátku každého cyklu všem účastníkům speciální synchronizační telegram, kteří jej přijmou ve stejný okamžik a synchronizují svoje interní časovače na takt sběrnice. Tím je zajištěno, že data jsou přijata vždy se stejně definovaným zpožděním. Mezi jednotlivými synchronizačními telegramy probíhá cyklická komunikace mezi účastníky. Ve zbývajícím čase je vymezen prostor pro acyklickou komunikaci, která se využívá například pro přenos parametrů, které nejsou součástí cyklických telegramů nebo pro komunikaci s programovacím PC při uvádění do provozu.[2]

Další vlastností specifikace DP-V2 je možnost křížové komunikace mezi slavy, aniž by byla zprostředkována prostřednictvím mastera, což se využívá v případech, kdy se má jeden pohon synchronizovat s jiným pohonem. Princip je takový, že slave vyšle ve svém odpovědním telegramu data určená jinému slavu, a protože všechny slavy trvale naslouchají komunikaci na sběrnici, může dotčený slave data přijmout. [2]

Cyklická komunikace probíhá pomocí profilu PROFIdrive, což je standardizovaný profil dle IEC 61800-7 určený k ovládání pohonů na sběrnici Profibus a Profinet. PROFIdrive vytváří každému pohonu model složený ze soustavy parametrů uspořádaných do logických modulů s deklarovanými vstupními a výstupními parametry, jejichž prostřednictvím je komunikace realizována. Tyto parametry jsou pak součástí standardizovaných nebo výrobcem definovaných komunikačních telegramů. Je možné i uživatelské rozšíření těchto telegramů nebo si uživatel může definovat telegramy vlastní.

Pro komunikaci D435 s jednotlivými osami je v aplikaci využit Siemens telegram 105, pro komunikaci s řídicí jednotkou pohonů je použit rozšířený Siemens telegram 390 a pro komunikaci s napájecím modulem Siemens telegram 370.

Siemens telegram 105 je telegram používaný řídicím systémem Simotion pro řízení pohonu v servorežimu (DSC, Drive Servo Control) bez druhého externího enkodéru. Jeho délka je 10 slov (WORDů) v obou směrech. Struktura telegramu 105 je znázorněna v následujících tabulkách.

Tab. 2-7 Siemens telegram 105 ve směru do pohonu

PZD	Délka[Word]	Popis
STW1	1	Řídicí slovo 1
NSOLL B	2	Žádaná hodnota rychlosti 32bit
STW2	1	Řídicí slovo 2
MOMRED	1	Redukce momentu
G1_STW	1	Enkodér 1 řídicí slovo
XERR	2	Polohová odchylka
KPC	2	Zesílení polohového regulátoru

Řídicí slovo STW1 obsahuje zapínací a uvolňovací signály pohonu, potvrzení poruchy a signály pro volbu typu řízení pohonu. Řídicí slovo STW2 obsahuje signály pro volbu sady parametrů pohonu (DDS, Drive Data Set) a signály identifikující funkci cyklické komunikace z mastera do pohonu (Master sign of life). Ve slově G1_STW jsou přenášeny řídicí signály na snímač polohy.

Tab. 2-8 Siemens telegram 105 ve směru z pohonu

PZD	Délka[Word]	Popis
ZSW1	1	Stavové slovo 1
NIST B	2	Skutečná rychlost 32bit
ZSW2	1	Stavové slovo 2
MELDW	1	Slovo hlášení
G1_ZSW	1	Enkodér 1 stavové slovo
G1_IST1	2	Enkodér 1 aktuální poloha 1
G1_IST2	2	Enkodér 1 aktuální poloha 2

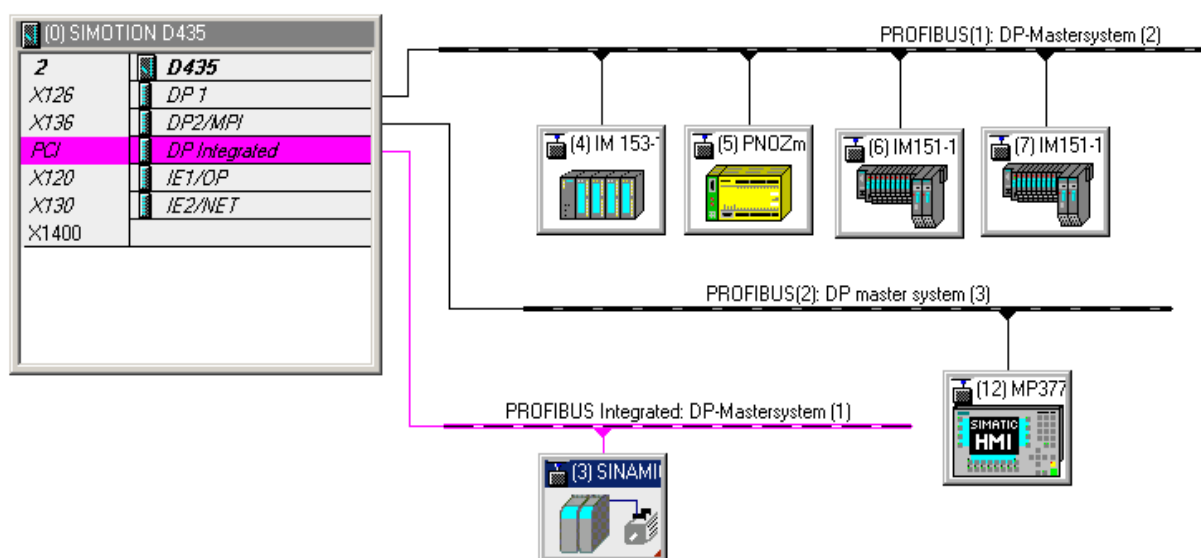
Telegram 105 ve směru z pohonu obsahuje ve stavovém slově ZSW1 signály o stavu pohonu. Tyto signály v podstatě slouží jako zpětná vazba k signálům řídicího slova STW1 nebo s nimi jinak souvisí. Totéž lze říci i o stavovém slově ZSW2, ve kterém pohon vysílá informaci o aktuální zvolené sadě parametrů a signály pro identifikaci cyklické komunikace ve směru z pohonu, které se využívají k synchronizačním operacím. Ve slově hlášení MELDW jsou přenášeny binární diagnostické signály o stavu pohonu. Informace o aktuální poloze je přenášena ve dvou dvojitých slovech G1_IST 1 a G1_IST2, přičemž v prvním je informace o poloze reprezentovaná v binárním formátu řazená zleva od nejvyššího bitu a ve druhém je zrcadlově otočená a řazená zprava od nejnižšího bitu. V G1_IST2 je navíc v případě poruchy snímače místo polohy přenášen kód chyby. [11]

Telegram 390 pro komunikaci s řídicí jednotkou má délku 2 slova v obou směrech. První slovo obsahuje vždy řídicí, respektive stavové signály a ve druhé slova přenáší signály ze vstupů a výstupů řídicí jednotky pohonů CU320. [11]

Telegram 370 přenáší řídicí a stavové signály o délce jednoho slova mezi napájecím modulem a D435 obsahující v řídicím slově uvolňovací signály a signál pro ovládání napájecího stykače a ve stavovém slově k nim odpovídající stavové signály. [11]

2.4.6 Hardwarová konfigurace řídicího systému

Komunikace s dalšími zařízeními v rámci řídicího systému je realizována pomocí sběrnice Profibus DP, která umožňuje rychlé a časově kritické datové přenosy. Rychlost komunikace je nastavena na 1,5Mb/s a je možné ji zvýšit až na 12Mb/s. Komunikace na sběrnici Profibus pracuje na principu master-slave, přičemž je přípustný jeden master v rámci jedné sítě. Obě rozhraní jednotky D435(X126 a X136) jsou nakonfigurována jako DP master a vytvářejí dvě samostatné sítě.



2-4 Hardwarová konfigurace řídicího systému stroje

Ve funkci DP slavů vystupují decentrální periferní jednotky vstupů a výstupů ET200M a ET200S. V hlavním rozvaděči umístěná decentrální jednotka ET200M s komunikačním modulem IM153-1, sloužící pro připojení ovládacích, signalizačních a spínacích výkonových prvků a signálů o stavech jističích prvků. Na sběrnici je také připojen bezpečnostní konfigurovatelný modulu PNOZmm0c, rozšířený pro tento účel o komunikační modul mm3pDP. Pro úplnost je třeba zmínit, že jsou přenášeny pouze ovládací a diagnostické signály mezi PLC a bezpečnostním modulem, nikoliv signály vykonávající bezpečnostní funkce.

Digitální a analogové vstupní a výstupní signály ze snímačů a ovládací signály akčních členů jsou realizovány pomocí decentrálních periférií ET200S s komunikačním modulem IM151-1, umístěných co nejbližší k dané technologii.

Komunikaci mezi PLC a HMI, které v tomto případě představuje operační panel MP377 je možné realizovat několika způsoby. Jedním z nich je ten, že panel je nakonfigurován jako slave na síti Profibus DP. Pro vizualizaci je přenášeno větší množství dat, proto je pro tento účel použita samostatná síť Profibus, aby nebyl omezen přenos dat mezi D435 a ostatními slavy. Přenos dat pro vizualizaci není časově kritický, komunikaci s D435 lze realizovat také přes rozhraní MPI, případně lze ještě využít Ethernetové rozhraní (X120 nebo X130).

2.5 Ovládání a vizualizace

2.5.1 HMI operátorský panel

Jako rozhraní člověk-stroj (HMI) je použit multipanel MP377 12" Key od firmy Siemens. Jedná se o operační panel s 12" TFT displejem a klávesovým ovládáním, uživatelskou pamětí 12MB rozšiřitelnou pomocí MMC nebo CF karty a s operačním systémem Windows CE 5.0. Panel disponuje rozhraním RS422/RS485 využitelným pro připojení na sběrnici Profibus nebo MPI komunikaci s PLC, dvěma Ethernet rozhraními a dvěma USB porty pro připojení periferních zařízení.



Obr. 2-5 Multipanel Siemens MP377 12" Key

Při výběru operátorského panelu bylo třeba zohlednit několik aspektů. Nejdůležitějším byla velikost paměti vyhrazené pro receptury a výkon. Součástí vizualizace je i editor obráběcího programu. Obráběcí programy jsou uloženy na integrovaný flash disk nebo je lze ukládat na externí paměťová média. Pouze zvolený program se přenáší do integrovaného PLC řídicího systému Simotion. Z tohoto důvodu byla zvolena nejvýkonnější řada multipanelů MP377.

Při rozhodování, zda použít variantu s dotykovou obrazovkou nebo variantu s tlačítky bylo nutné zohlednit vlastní podobu aplikace, kdy se předpokládalo časté zadávání numerických hodnot různých proměnných, například při editaci programu nebo při zadávání korekcí opotřebení nástrojů. Z tohoto důvodu byla zvolena tlačítková varianta, která obsahuje 36 konfigurovatelných tlačítek (softkey) a redukovanou alfanumerickou klávesnici.

3 REALIZACE SOFTWARE ČÁSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

V této části práce je naznačeno řešení softwarové části řídicího systému obráběcího stroje na platformě Simotion. Jsou zde uvedeny pouze vybrané dílčí části řešení a jsou prezentovány ve zjednodušené formě. Nejedná se o ucelený popis celého řešení, ale pouze o naznačení způsobu, jak je řešení provedeno.

3.1 *Softwarová realizace základních funkcí stroje*

3.1.1 Pracovní režimy stroje

Volba pracovních režimů stroje je prováděna z operátorského panelu, kdy jeho konfigurovatelným tlačítkům jsou přiřazeny binární proměnné (Tagy) v řídicím systému Simotion. Programová funkce vyhodnocující jejich stav a realizující přepínání pracovních režimů je vyvolávána cyklicky z Background tasku. Stroj disponuje následujícími pracovními režimy:

AUTO – provoz stroje v automatickém cyklu.

STEP – krokování automatického cyklu.

HOME – zreferování elektrických os a najetí výchozích poloh všech akčních prvků.

MAN – ruční ovládání jednotlivých funkcí stroje.

JOG – ruční pojezd os, zvolená osa vykonává pohyb při stisknutí ovládacím prvku.

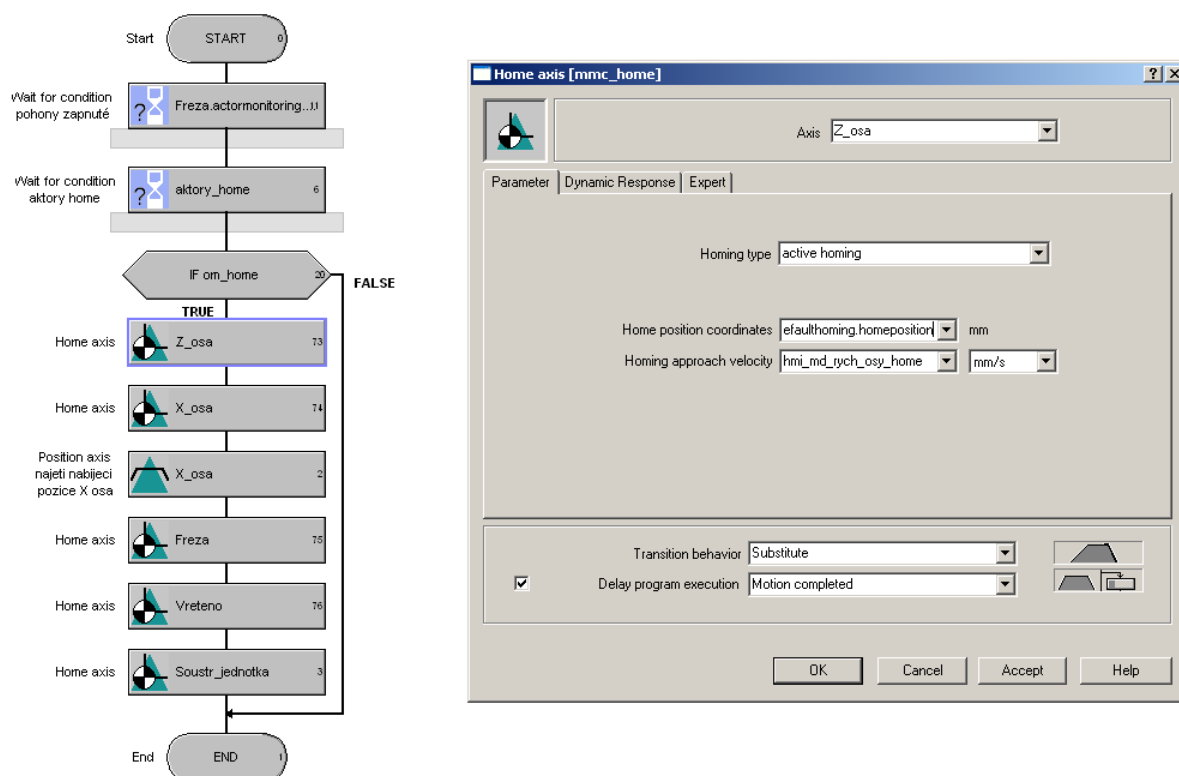
JOG INC – ruční pojezd os, zvolená osa vykoná pohyb o definovaný inkrement při stisku ovládacího prvku.

3.1.2 Určení souřadnicového systému stroje

Veškeré polohovací úlohy, určení nulových bodů nástrojů i nabíjecího systému jsou vždy vztaženy k absolutnímu souřadnému systému stroje tvořenému rovinou os X a Z. Protože na obou osách je použito inkrementální odměřování polohy, je nutné zajistit zreferování os po zapnutí napájení a ztrátě informace o poloze. Pro najetí referenčních bodů je vytvořen samostatný MCC (Motion Control Chart) s názvem *mcc_home*. U lineárních os je pořadí najíždění referenčních bodů a samotné referenční body voleny tak, aby nemohlo dojít ke kolizi v rámci pracovního prostoru stroje.

Způsob najíždění referenčních bodů je definován v parametrech jednotlivých os. Pro lineární osy je nastaven aktivní režim najíždění referenčního bodu. Osa se dá do pohybu definovaným směrem a rychlostí, dokud nenajede na externí referenční vačku. V případě, že je dříve dosažen limitní spínač vymezující pracovní prostor osy, dojde ke změně směru a osa pokračuje v pohybu opačným směrem. Při dosažení externí referenční vačky dojde k redukci rychlosti a změně směru pohybu osy, dokud není dosažena nulová značka enkodéru. V této pozici je nastavena aktuální poloha osy na hodnotu obsaženou v parametru *userdefault.homing.homeposition* pro danou osu. V případě rotačních os vřeten se najíždí přímo nulová značka enkodéru, která je jediná v rozsahu jedné otáčky.

Počátek souřadného systému stroje tvořeného lineárními osami X a Z je dán bodem [0,0], kdy je vřeteno obrobku najeté svým nulovým bodem na nulový bod vřetene frézovacího nástroje. Od tohoto bodu se odvíjí vzdálenosti nulových bodů upínacích prvků dalších nástrojů a nabíjecího systému v rámci pracovního prostoru stroje, které jsou uloženy remanentních proměnných, ze kterých jsou při inicializaci systému načítány.



Obr. 3-1 Ukázka Motion Control Chartu mcc_home pro najetí referenčních bodů

3.2 Obráběcí program a jeho zpracování

3.2.1 Struktura obráběcího programu

Jak již bylo zmíněno, obráběcí programy jsou editovány a archivovány v operátorském panelu a pouze aktuální program je přenesen do řídicího systému. Obráběcí program má podobu struktury *actProgram* znázorněné na Obr. 3-2. Hodnoty jejich proměnných jsou naplněny hodnotami zvoleného obráběcího programu z operátorského panelu.

První část struktury s názvem *ProgramHead*, která představuje hlavičku obráběcího programu, jsou uvedeny definice použitých obráběcích nástrojů a délka vysunutí obrobku z upínací kleštiny. Definice obráběcích nástrojů představují rozměry nástrojů vztahených k nulovým bodům jejich upínacích elementů a spolu s rozměrem vysunutí obrobku určují posunutý nulový bod, ke kterému se vztahují délkové údaje jednotlivých obráběcích operací.

Stav vřetene obrobku a vřeten pohánějících nástroje během výměny obrobku je definován proměnnými ve struktuře *RotAxisLoading*, která je typu *SetRotationAxis*. Tento typ struktury je použit i pro definici stavu rotačních os během obráběcích operací, kdy pro každou obráběcí operaci je definován stav rotačních os a tento je platný po celou dobu jedné obráběcí operace. Typ synchronizace je dán proměnou *GearType*, pomocí níž je možné zvolit, zda a jak má být vřeteno obrobku synchronizováno s vřetenem frézovacího nástroje.:

- Synchronizace vypnutá a vřetena rotují zadanými rychlostmi.
- Vřeteno obrobku polohuje na zadanou pozici a drží ji během obrábění, vřetena nástrojů rotují zadanými rychlostmi.
- Vřeteno frézy je synchronizováno vůči vřetení obrobku v zadaném poměru a úhlu posunutí vůči jeho aktuální poloze.
- Synchronizace vřetene obrobku a vřetene frézy je ještě korigována v závislosti na změně polohy Z osy.

```

TYPE
  ToolDef      :STRUCT
    Workpiece_Z_size:REAL;
    T1_X_size      :REAL;  //freza vertikálne, rozmer X
    T1_Z_size      :REAL;  //freza vertikálne, rozmer Z
    T2_X_size      :REAL;  //freza horizontálne, rozmer X
    T2_Z_size      :REAL;  //freza horizontálne, rozmer Z
    T3_X_size      :REAL;  //soustruzici hlava, vrtak, rozmer X
    T3_Z_size      :REAL;  //soustruzici hlava, vrtak, rozmer Z
    T4_X_size      :REAL;  //soustruzici nuz, rozmer X
    T4_Z_size      :REAL;  //soustruzici nuz, rozmer Z
  END_STRUCT;

  SetRotationAxis : STRUCT
    GearType      :BYTE;  //typ synchronizace
    RatioMaster    :INT;   //prevod master
    RatioSlave     :INT;   //prevod slave
    OffsetGear     :INT;   //posuv x10 (na 1 desetinné místo)
    CompZstroke    :INT;   //kompenzace na změnu Z osy [°/mm]
    MainSpindle_rmp :INT;  //otáčky vřeteno
    T1_T2_rmp      :INT;   //otáčky freza
    T3_rmp         :INT;   //otáčky T3
  END_STRUCT;

  PathStep : STRUCT
    StepType      :BYTE;  //typ interpolace
    Xpos          :REAL;  //koncová pozice X
    Zpos          :REAL;  //koncová pozice Z
    Param_1       :INT;   //radius, úhel, zpoždění
    Speed         :INT;   //obráběcí rychlost
    Param_2       :BYTE;  //navazání dalšího kroku
  END_STRUCT;

  Operation : STRUCT
    ToolNr        :BYTE;  //0-konec, 1-T1, 2-T2, 3-T3, 4-T4
    StartPosX     :REAL;  //vychozí pozice X
    StartPosZ     :REAL;  //vychozí pozice Z
    M0step        :ARRAY [1..NumberOfStep] OF PathStep;
  END_STRUCT

  MachiningOperation: STRUCT
    RotAxisOper   :SetRotationAxis;
    Operation      :Operation;
  END_STRUCT

  Recipe: STRUCT
    ProgramHead    :ToolDef;
    RotAxisLoading :SetRotationAxis;
    ProgramOperation :ARRAY [1..NumberOfOperation] OF MachiningOperation;
  END_STRUCT
END_TYPE

VAR_GLOBAL RETAIN
  actProgram :Recipe;
END VAR

```

Obr. 3-2 Struktura obráběcího programu

Samotný obráběcí program je rozdělen na obráběcí operace, kdy se jedna celá operace odehrává na jediném obráběcím nástroji. Obráběcí program je obsažen v poli struktur *ProgramOperation*, kde každá struktura představuje jednu obráběcí operaci a obsahuje definici stavu rotačních os, přiřazení obráběcího nástroje jako podmínku pro pokračování obráběcího programu, počáteční pozici a následující jednotlivé kroky obráběcího programu struktury *PathStep*.

Proměnnou *StepType* je určen typ vykonávaného programového kroku. Je jí hodnota této proměnné nulová, znamená to ukončení obráběcí operace a pokračování další obráběcí operací, případně ukončení obráběcího programu, pokud žádná další obráběcí operace nenásleduje. Dále je možno pomocí této proměnné určit typ daného obráběcího kroku:

- Lineární interpolace os X a Z (pohyb po přímce) určená buď koncovými body X a Z nebo jedním bodem a úhlem svírajícím danou osou. Zadání koncových poloh je možné buď relativně, nebo absolutně vztažené k posunutému nulovému bodu obrobku.
- Kruhová interpolace os X a Z (pohyb po kružnici) po nebo proti směru hodinových ručiček, zadané koncovými body a poloměrem. Zadání je možné jak relativně, tak i absolutně vůči posunutému nulovému bodu obrobku.
- Zpoždění mezi dvěma programovými kroky zadávané v sekundách.

Pro každý krok je určena rychlost pohybu proměnnou *Speed* a pomocí proměnné *Param2* je možné určit způsob navázání dalšího kroku, a to buď jako plynulý přechod bez zastavení nebo započetí interpolace v dalším kroku až po dosažení cílové polohy a ukončení interpolace kroku předcházejícího. Tento parametr má vliv na tvar kontury přechodu mezi dvěma kroky programu.

3.2.2 Přepočítání polohovacích úloh do absolutního souřadnicového systému stroje

Zadávání koncových poloh pro polohovací úlohy je vztaženo k absolutnímu souřadnému systému stroje. Při relativním zadávání koncových poloh kroků obráběcího programu je výpočet koncové polohy v jednotlivých osách jednoduchý, vezme se aktuální poloha dané osy a k ní se přičte požadovaný přírůstek, a to buď zadaný, nebo vypočtený ze zadaných parametrů interpolace. Pouze je nutné kontrolovat, zda koncová poloha není mimo pracovní prostor osy a nezasahuje do některého definovaného kolizního prostoru.

V případě rozměrových hodnot v ose X je nutné hodnotu koncové polohy dělit dvěma, protože se jedná o rotační obrábění a hodnoty jsou zadávány z výkresové dokumentace obrobku, kde jsou rozměry vztaženy k průměru obrobku.

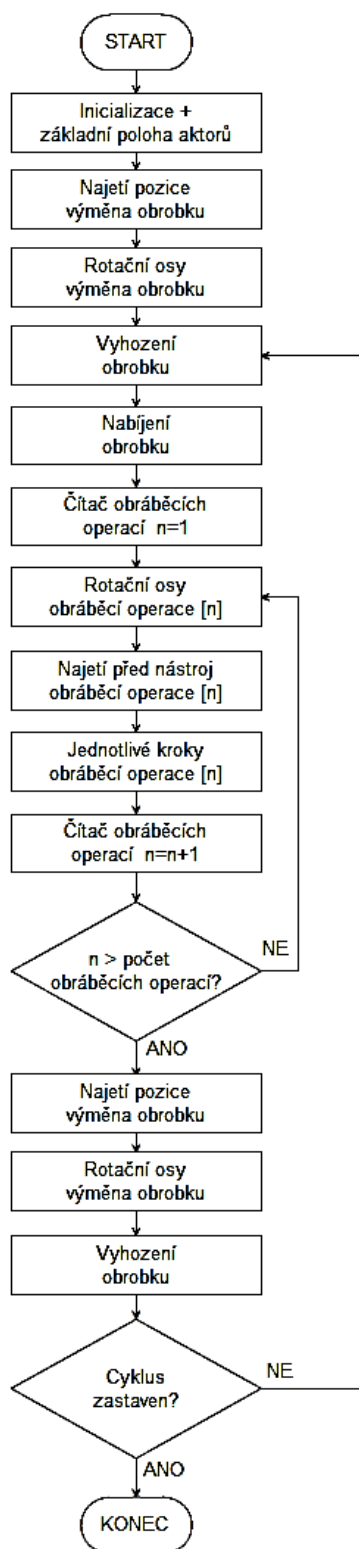
Při zadávání koncových poloh vztažených k nulovému bodu obrobku se koncové polohy v absolutním souřadném systému stroje vypočítají z následujících délkových údajů pro každou osu zvlášť:

- Zadaná vzdálenost nulového bodu zvoleného nástroje od nulového bodu absolutního souřadného systému stroje.
- Rozměr zvoleného nástroje v dané ose určený v hlavičce obráběcího programu (struktura *ProgramHead*).
- Pro Z osu je třeba zohlednit vzdálenost vysunutí obrobku z upínací kleštiny (proměnná *Workpiece_Z_Size*).
- Koncová poloha kroku obráběcího programu, pro osu X se bere poloviční hodnota.
- Hodnota korekce opotřebení nástroje pro danou osu, opět pro osu X poloviční hodnota.

Stejným způsobem se vypočítávají hodnoty počátku každé obráběcí operace a pozice pro automatickou výměnu obrobku. Do těchto pozic se vřeteno obrobku přemísťuje z poslední pozice předcházející obráběcí operace rychlostí zadanou v globálních parametrech jako rychloposuv.

3.2.3 Interpret obráběcího programu

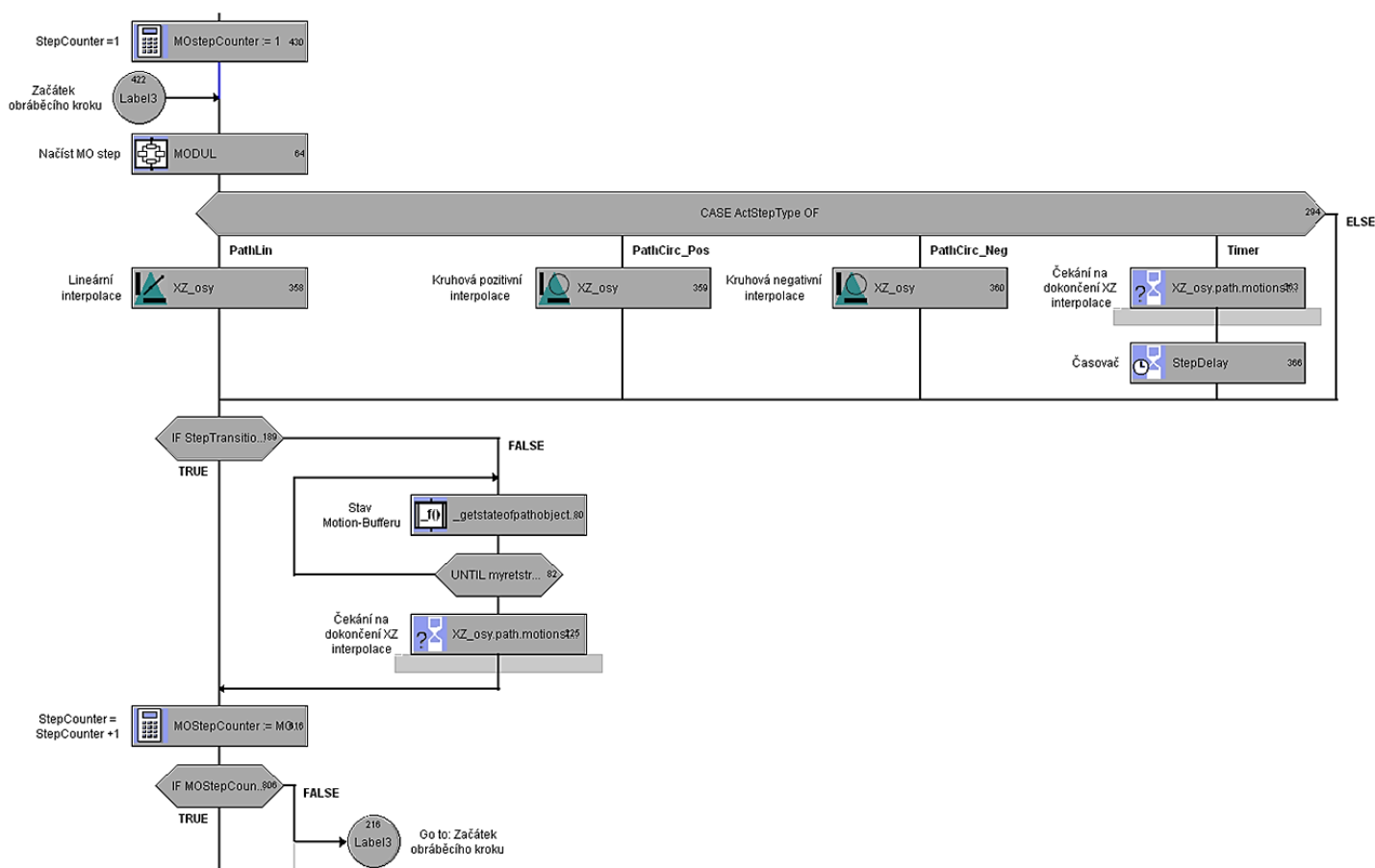
Na Obr. 3-3 je vývojový diagram, který znázorňuje princip řešení interpretu obráběcího programu pro provoz stroje v automatickém režimu, během kterého je provedeno kompletní obrobení dílu včetně jeho automatické výměny.



Obr. 3-3 Princip zpracování obráběcího programu

Základ programové funkce tvoří tři vnořené programové cykly. První z nich je automatický cyklus zpracování jednoho dílu včetně jeho automatické výměny. Tento cyklus, který je typu *do-while*, je opakovaně zpracováván do té doby, dokud není splněna podmínka zastavení automatického cyklu. Tento cyklus v sobě obsahuje cyklus jedné obráběcí operace, pro který je v programu použita řídicí struktura typu *for*. Průchod tímto cyklem je proveden tolikrát, kolik obráběcích operací má zpracováváný obráběcí program. Hodnota řídicí proměnné *n* slouží jako čítač průchodů tímto cyklem a zároveň je použita k indexování při načítání hodnot aktuální obráběcí operace ze struktury zadaných dat obráběcího programu *actProgram*, konkrétně z pole struktur *ProgramOperation*.

Do cyklu obráběcí operace je ještě vnořený další cyklus pro zpracování jednotlivých kroků dané obráběcí operace, jehož princip je patrný z Obr. 3-4, na kterém je ukázka zjednodušené verze programu v jazyce MCC. Hodnota řídicí proměnné cyklu se obdobně jako v předcházejícím případě využívá pro načítání hodnot jednotlivých obráběcích kroků, tentokrát z pole *MOstep*.



Obr. 3-4 Princip cyklu obráběcího kroku v jazyce MCC

Jednotlivé programové kroky jsou při průchodu cyklem načítány a ukládány do takzvaného *motion-bufferu*, což je paměťová struktura typu fronta. Jednotlivé kroky jsou z ní z druhé strany postupně vybírány a zpracovávány. Důvodem je možnost ovlivnit začátek zpracování dalšího kroku. Po načtení kroku do fronty je proveden dotaz na způsob navázání kroku následujícího. Pokud je zvoleno okamžité navázání bez přerušení, pokračuje se ihned ve zpracování programu a načtení dalšího kroku. Programové kroky jsou z fronty vyjímány nezávisle na běhu v programu a zpracovávány, což umožní plynulé navázání dalšího kroku bez přerušení pohybu. V opačném případě, kdy se má čekat na ukončení vykonávané funkce daného kroku, se čeká na vyprázdnění fronty a dosažení klidového stavu interpolujících os.

3.3 Řešení rozhraní člověk-stroj

Ovládací rozhraní mezi strojem a jeho obsluhou je řešeno tlačítkovým multipanelem MP377. Při řešení této aplikace byl uplatněn princip oddělené části řízení procesu a jeho vizualizace. To znamená, že například kompletní editace a správa obráběcích programů je řešena na úrovni operátorského panelu nezávisle na řídicím systému stroje. Zvolený program je zpracováván řídicím systémem stroje až po jeho přenesení do připravené paměťové oblasti řídicího systému. Tato koncepce umožňuje eventuální použití i jiných vizualizačních prostředků, například na bázi panelového PC nebo jiného typu panelu, aniž by bylo nutné provádět výrazné změny v softwaru řídicího systému.

3.3.1 Softwarové řešení panelu MP377

Pro tvorbu vizualizačního softwaru panelů řady MP xx7 se používá prostředí WinnCC flexible, které umožňuje grafické programování aplikace za použití připravených objektů. V tomto prostředí jsou vytvořeny jednotlivé obrazovky s jejich ovládacími a zobrazovacími prvky. V rámci softwarového řešení operátorského panelu byla kromě standardních funkcí, mezi které patří obrazovky pro vizualizaci provozních stavů stroje a jeho ovládání, diagnostické obrazovky s chybovými hlášeními a jejich archivací, řešena také část editoru obráběcího programu a správa obráběcích programů včetně možnosti jejich archivace na externí paměťová zařízení. K tomu byly využity skripty v jazyce Visual Basic, jejichž použití prostředí WinCC flexible umožňuje.

Aby bylo zabráněno neoprávněným změnám parametrů stroje a obráběcích programů, jsou v rámci projektu stanoveny skupiny uživatelů s různými úrovněmi přístupů a k nim definované uživatelské účty. Tyto účty lze spravovat přímo z panelu uživatelem s administrátorskými právy. Prostedí WinnCC flexible také umožňuje tvorbu vícejazyčných projektů s možností volby jazyka rovněž přímo z panelu.

Nový artikl							Nahrát do řídicího systému																																																																						
Uložit artikl	Obráběcí operace 1: Volba nástroje obr.operace konec programu						Načíst z řídicího systému																																																																						
Uložit artikl jako	Počáteční pozice X před nástrojem 0000,000 mm Počáteční pozice Z před nástrojem 0000,000 mm																																																																												
Smazat artikl	Rotační osy: Synchronizace M-S OFF Otáčky fréza 00000 ot/min Převod Master - fréza 00 - Otáčky vřeteno 00000 ot/min Převod Slave - vřeteno 00 - Otáčky T1 00000 ot/min Offset/pozice vřeteno 000,0 ° Otáčky T2 00000 ot/min Kompenzace Z linear 000,00 P/mm																																																																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kroky:</th> <th>Typ</th> <th>X osa</th> <th>Z osa</th> <th>U / R / Č</th> <th>Rychlost</th> <th>Návaznost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Krok 1</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 2</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 3</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 4</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 5</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 6</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 7</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 8</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> <tr> <td>Krok 9</td> <td>konec/neaktivní</td> <td>0000,000</td> <td>0000,000</td> <td>000,0</td> <td>0000,0</td> <td>stop</td> </tr> </tbody> </table>						Kroky:	Typ	X osa	Z osa	U / R / Č	Rychlost	Návaznost	Krok 1	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 2	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 3	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 4	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 5	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 6	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 7	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 8	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	Krok 9	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop	List zpět
Kroky:	Typ	X osa	Z osa	U / R / Č	Rychlost	Návaznost																																																																							
Krok 1	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 2	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 3	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 4	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 5	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 6	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 7	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 8	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Krok 9	konec/neaktivní	0000,000	0000,000	000,0	0000,0	stop																																																																							
Archivace							- 1 krok																																																																						
Tisk artiklu							+ 1 krok																																																																						
							List vpřed																																																																						
	Hlavička definice nástrojů	Nabíjení rotační osy	Obráběcí operace 1	Obráběcí operace 2	Obráběcí operace 3	Obráběcí operace 4	Zpět do hlavního menu																																																																						

Obr. 3-5 Ukázka obrazovky editace obráběcího kroku v prostředí WinnCC flexible

4 POŽADAVKY NA BEZPEČNOST STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ

Každý výrobce, který uvádí stroj na trh v zemích EU je povinen prokázat, že splnil požadavky harmonizovaných norem. Dokladem o posouzení shody je vystavení prohlášení o shodě a označení stroje značkou CE. Celý proces začíná již ve fázi návrhu strojního zařízení posouzením jeho rizik, na jejichž základě se provede návrh bezpečnostních opatření, která vedou ke snížení rizika. Zbytková rizika, jež nelze odstranit bezpečnostními opatřeními musí být uvedena v dokumentaci strojního zařízení a uživatel musí být s nimi seznámen. Před uvedením do provozu musí být provedena validace strojního zařízení buď samotným výrobcem, nebo nezávislou organizací a vystaveno prohlášení o shodě. Každý krok musí být podrobně dokumentován.

V této části uvedu přehled technických norem a z nich vyplývajících požadavků a postupů, které je třeba dodržet a zohlednit při návrhu každého ovládacího systému jakékoliv strojní technologie z hlediska dodržení požadavků na bezpečnost.

4.1 *Posouzení rizik strojních zařízení*

4.1.1 Postup posouzení rizik a jejich snížení

Postup posouzení rizik strojních zařízení a jejich snižování je dán normou ČSN EN ISO 12100. Cílem musí být návrh takového strojního zařízení, které je bezpečné a jehož zbytkové riziko je přijatelné. Návrh bezpečného stroje začíná stanovením jeho funkcí a identifikací nebezpečí, které stroj přináší. Pro každé riziko je nutné provést jeho odhad a zhodnocení a navrhnout opatření k jeho snížení. Snižování rizik se provádí pomocí vhodných ochranných opatření. Pokud byla rizika patřičně snížena až na úroveň akceptovatelného rizika, lze považovat navrhovaný stroj za bezpečný. Norma také uvádí návod na dokumentaci a ověřování procesu posouzení a snížení rizika.[19]

Postup snížení rizika se dle ČSN EN ISO 12100 dělí do tří kroků a je nutné jej aplikovat na každé nebezpečí vyžadující snížení rizika.[19]

1. *Opatření zabudovaná v konstrukci*

První krok s nejvyšší prioritou představuje integrace bezpečnosti do konstrukce stroje. Opatření jsou dosažena vyloučením nebezpečí nebo snížením rizik vhodnou volbou konstrukčních vlastností samotného stroje a/nebo vzájemným působením mezi ohroženými osobami a strojem. Tato bezpečnostní opatření zůstávají vždy účinná a nehrozí riziko selhání nebo vyřazování bezpečnostních ochranných. [3] Mezi příklady těchto opatření lze zařadit vyvarování se ostrých hran a střížných míst, eliminace rizika úrazu elektrickým, zastavení stroje v případě nouze a podobně.

2. *Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana*

V této části se řeší technické ochranné prostředky v případech, kdy nebezpečí nelze eliminovat konstrukcí stroje. Každé nebezpečí musí být omezeno bezpečnostní funkcí, která může být vykonávána bezpečnostním systémem. Jedná se zejména o ochranné krytování nebezpečných míst a zabránění přístupu k nebezpečným částem stroje během provozu. Mohou být použita další doplňková opatření zahrnující další zařízení. [3] Jako příklad bezpečnostní funkce s bezpečnostním systémem lze uvést krytování s bezpečnostními spínači, kdy po otevření krytů dojde k okamžitému zastavení stroje.

Každý bezpečnostní systém lze rozdělit na tři základní subsystémy, a to na vstupní subsystém, subsystém vyhodnocení a výstupní subsystém.

Vstupní subsystém je tvořen prvky detekce, například spínači polohy krytů, kdy je vyhodnocován stav krytování nebezpečných částí, dále to mohou být prostředky detekce přítomnosti osob, jako jsou například světelné závory, prostorové skenery nebo nášlapné rohože.

Subsystém vyhodnocení obsahuje prvky logického řešení a je tvořen zpravidla pomocí bezpečnostních modulů nebo relé a u složitějších systémů bezpečnostními programovatelnými automaty.

Výstupní subsystém realizuje reakci bezpečnostního systému na nebezpečný stav. Mezi tyto subsystémy lze zařadit spínací výkonové prvky, které odpojí přívody energie k akčnímu členu. Mohou to být stykače, frekvenční měniče s bezpečnostními funkcemi nebo ventily v případě tekutinových pohonů.

3. Informace pro uživatele

Uživatel musí být varován před zbytkovými riziky, které nebylo možné odstranit pomocí předcházejících dvou kroků. Tyto informace však nenahrazují opatření zabudovaná v konstrukci a bezpečnostní ochrany. Tyto informace se sestávají z komunikačních prostředků, jako jsou například texty, značky, signály, symboly a to jak přímo na stroji nebo v návodu k obsluze nebo pracovním postupu. Dále mezi tato opatření lze zařadit povinnost používání ochranných pracovních pomůcek. [3]

4.1.2 Vymezení bezpečnostních funkcí

Pro návrh každé bezpečnostní funkce by měl platit následující postup:

- vymezení bezpečnostní funkce
- určení požadované úrovně bezpečnosti
- návrh bezpečnostní funkce
- určení dosažené úrovně bezpečnosti
- realizace a testování

V rámci vymezení bezpečnostní funkce je nutné definovat nebezpečí, které je třeba eliminovat, dále okruh dotčených osob a provozní režimy stroje, během kterých má být nebezpečná funkce eliminována. Dále je třeba definovat požadavky na bezpečnostní funkci, ke kterým patří například způsob reakce na chybové stavy, vlastní reakční doba a počet operací elektrických a mechanických komponentů za určité časové období. [19]

4.2 Určení požadované úrovně bezpečnosti

Určení požadované úrovně bezpečnosti závisí na závažnosti možného zranění, délce trvání a četnosti výskytu nebezpečného stavu a možnosti se mu vyvarovat. Pro určení požadované úrovně bezpečnosti platí normy ČSN EN 62061 a ČSN EN ISO 13849-1.

Při ověřování návrhu platí zásada, že nejnižší dosažená úroveň subsystému určuje bezpečnostní úroveň celého systému. [19]

4.2.1 Požadavky na bezpečnostní části ovládacích systémů podle ČSN EN 13849-1

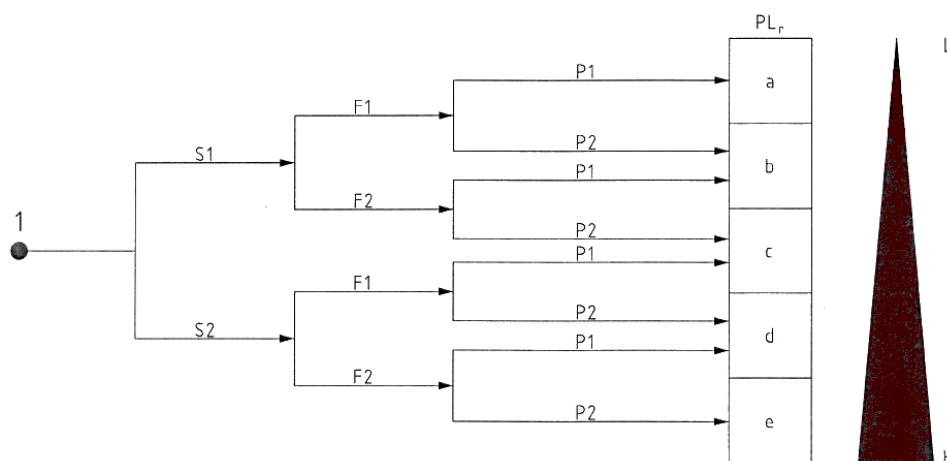
V této normě jsou uvedeny bezpečnostní požadavky pro zásady konstrukce bezpečnostních částí ovládacích systémů. Je platná bez ohledu na druh používané technologie a energie pro všechny druhy strojních zařízení. K určení schopnosti bezpečnostních částí ovládacích systémů k vykonání bezpečnostní funkce se používá přiřazení úrovně vlastností *PL* (*Performance Level*). Tato úroveň se určuje na základě pravděpodobnosti vzniku nebezpečné poruchy za hodinu (*PFH*). [4]

Tab. 4-1 Úrovně vlastností (*PL*) [4]

<i>PL</i>	<i>Průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu - (PFH) 1/h</i>
a	$\geq 10^{-5}$ až $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \cdot 10^{-6}$ až $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ až $< 3 \cdot 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ až $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ až $< 10^{-7}$

Pro každou zvolenou bezpečnostní funkci vykonávanou bezpečnostními částmi ovládacího systému musí být určena požadovaná úroveň vlastností PL_r . Postup je popsán v příloze A grafem rizika pro určení požadované úrovně vlastností PL_r . Výsledná požadovaná úroveň vlastností PL_r je dána volbou parametrů rizika S , F a P :

- *Závažnost zranění S*
 - $S1$ – lehké zranění obvykle s přechodnými následky
 - $S2$ – závažné zranění obvykle s trvalými následky
- *Četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí F*
 - $F1$ – řídká až málo častá a/nebo doba vystavení je krátká
 - $F2$ – častá až nepřetržitá a/nebo doba vystavení je dlouhá
- *Možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody P*
 - $P1$ – možné za určitých podmínek
 - $P2$ – sotva možné



Obr. 4-1 Graf rizika pro určení požadované úrovně vlastností (PL_r) [4]

Významný vliv na dosažení požadované úrovně vlastností PL_r má architektura bezpečnostní části ovládacího systému a volba jeho komponent. Architektury bezpečnostních částí jsou v této normě rozděleny do pěti kategorií, pro které jsou stanovena typická provedení ve formě blokových schémat. Každá bezpečnostní část ovládacího systému musí odpovídat požadavkům relevantní kategorie.

Kategorie B – je základní kategorie, kdy bezpečnostní části ovládacího systému musí splňovat minimální požadavky norem a základní bezpečnostní zásady. Výskyt závady může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce. Systémy kategorie B nemají žádné diagnostické pokrytí a maximální dosažitelná úroveň vlastností $PL = b$. [4]

Kategorie 1 – pro kategorii 1 musí být splněny stejné požadavky jako pro kategorii B a pro návrh a realizaci bezpečnostních obvodů musí být použity osvědčené součásti a osvědčené bezpečnostní zásady. Výskyt chyby může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce, ale pravděpodobnost výskytu je nižší než u kategorie B. Maximální dosažitelná úroveň vlastností $PL = c$. [4]

Kategorie 2 – bezpečnostní části ovládacího systému musí být navrženy tak, aby jejich funkce byla kontrolována v pravidelných intervalech a normou definovaných situacích. Výskyt závady může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce mezi kontrolami a ztráta bezpečnostní funkce musí být kontrolou detekována. Pro kategorii 2 se používá jednoboká zapojení bezpečnostních obvodů a logická část bezpečnostního obvodu vyhodnocuje zpětnou vazbu výstupních prvků. Detekovaná porucha nedovolí opětovné sepnutí výstupního prvku (například stykače, který musí mít nucené vedení kontaktů). Maximální dosažitelná úroveň vlastností $PL = d$. [4]

Kategorie 3 – výskyt jednotlivé závady nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce. Ne všechny závady jsou detekovány a nahromadění nedetekovaných závad může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce. V případě kategorie 3 se používá dvoukanálové zapojení vstupních, vyhodnocovacích a výstupních členů bezpečnostních obvodů. Logická část není schopna detekovat příčný zkrat mezi oběma vstupními kanály. [4]

Kategorie 4 – bezpečnostní funkce se vždy vykonávají a nahromadění nedetekovaných závad nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce. Používá se dvoukanálové zapojení s různou polaritou vstupních členů bezpečnostního obvodu, čímž je možné detekovat příčný zkrat mezi oběma vstupními kanály. Dále je požadována detekce příčného zkratu potvrzovacího tlačítka, což je zajištěno u logických modulů reakcí na jeho sestupnou hranu. Jedině pro kategorii 4 je dosažitelná úroveň vlastností $PL = e$. [4]

Výsledná úroveň vlastností PL závisí na kategorii, střední době do nebezpečné poruchy ($MTTF_d$) každého kanálu a průměrném diagnostickém pokrytí (DC_{avg}), které vyjadřuje schopnost za provozu nebo při periodickém testování odhalit poruchu kanálu. [4]

4.3 Požadavky na elektrickou část strojů a provedení bezpečnostních funkcí

4.3.1 Požadavky na elektrická zařízení strojů podle ČSN EN 60204-1

Bezpečnostní funkce u strojních zařízení musí splňovat požadavky normy ČSN EN 60204-1, která definuje požadavky na elektrická zařízení strojů. Norma určuje způsob provedení elektrického zařízení stroje, mimo jiné požadavky na provedení silových, pomocných a ovládacích obvodů, provedení a umístění ovládacích a signalizačních prvků a také požadavky na provedení bezpečnostních obvodů a funkcí stroje. [5]

V této normě jsou definovány požadavky na typické bezpečnostní funkce:

- nouzového vypnutí
- nouzového zastavení
- blokování nebezpečných pohybů v závislosti na stavu ochranných krytů nebo stavu signálů z bezpečnostních optoelektrických zařízení
- zábrana nechtěnému rozběhu

Dále lze realizovat složitější bezpečnostní funkce:

- omezení pohybu na bezpečnou rychlost
- blokování pohybu v závislosti na okamžitém stavu
- vymezení mezních poloh
- řízené zastavení

Norma ČSN EN 60204-1 rozlišuje tři kategorie zastavení:

- *Kategorie 0* – neřízené zastavení pohybů okamžitým odpojením přívodů energie do pohonů stroje.
- *Kategorie 1* – řízené zastavení pohybů stroje, přívod energie je přerušen až po dosažení klidového stavu.
- *Kategorie 2* – řízené zastavení pohybů stroje, přívod energie není přerušen ani po dosažení klidového stavu.

Podle normy ČSN EN 60204-1 je povolena realizace bezpečnostních funkcí použitím programovatelných řídicích systémů a použití průmyslových komunikačních sběrnic, pokud odpovídají normám ČSN EN ISO 13849-1 nebo ČSN EN 62061. [5]

4.3.2 Požadavky na bezpečnost elektrických pohonů podle ČSN EN 61800-5-2

Pokud se v bezpečnostních aplikacích použijí elektrické výkonové pohony s nastavitelnou rychlostí, musí splňovat požadavky na funkční bezpečnost, které jsou definovány v normě ČSN EN 61800-5-2. Tato norma specifikuje požadavky a uvádí doporučení pro návrh, vývoj, integraci a validaci těchto systémů.

V této normě jsou uvedeny bezpečnostní funkce, které mohou být výrobcem zaintegrovány v elektrických výkonových pohonech. Bezpečnostní funkce se rozlišují na funkce pro bezpečné zastavení, bezpečné monitorování pohybu, bezpečné monitorování polohy a další funkce, jako je například ovládání mechanické brzdy nebo monitorování teploty motoru. Zde jsou uvedeny základní funkce popsané touto normou:

STO (Safe Torque Off) – Bezpečné vypnutí točivého momentu. Motor není připojen na napájení, které může způsobit jeho otáčení nebo pohyb. Výkonový prvek neposkytuje motoru energii, která může generovat točivý moment nebo sílu v případě lineárního motoru. Tato bezpečnostní funkce odpovídá neřízenému zastavení kategorie 0 podle normy ČSN EN 60204-1 a lze ji použít v případě požadavku na vypnutí napájení pro zabránění neočekávaného rozběhu. V určitých případech mohou být vyžadována další opatření, jako je například použití mechanické brzdy. [6]

SSI (Safe Stop 1) – Bezpečné zastavení 1. Pohon zahájí zpomalování motoru a po dosažení rychlosti pod specifikovanou mez v případě řízeného nebo monitorovaného zpomalování, nebo po uplynutí specifického časového zpoždění v případě neřízeného a nemonitorovaného zpomalování zahájí funkci STO. Tato bezpečnostní funkce odpovídá řízenému zastavení kategorie 1 podle normy ČSN EN 60204-1. [6]

SS2 (Safe Stop 2) – Bezpečné zastavení 2. Pohon zahájí zpomalování motoru a po dosažení rychlosti pod specifikovanou mez v případě řízeného nebo monitorovaného zpomalování, nebo po uplynutí specifického časového zpoždění v případě neřízeného a nemonitorovaného zpomalování zahájí funkci SOS. Tato bezpečnostní funkce odpovídá řízenému zastavení kategorie 2 podle normy ČSN EN 60204-1. [6]

SOS (Safe Operating Stop) – Bezpečné provozní zastavení. Funkce SOS zabraňuje, aby se poloha motoru neodchýlila více než o definovanou velikost odchylky od zastavené polohy. Výkonový díl zajišťuje energii pro motor umožňující mu klást odpor vnějším silám. Provedení funkce není založeno na použití mechanické brzdy. [6]

SLS (Safely-Limited Speed) – Bezpečně omezená rychlost. Funkce SLS zabraňuje, aby rychlost motoru nepřekročila specifikovanou mez. [6]

SSM (Safe Speed Monitor) – Monitor bezpečné rychlosti. Funkce SSM zajišťuje bezpečný výstupní signál pro indikaci, zda rychlost motoru nepřesáhla specifikovanou mez. [6]

SBC (Safe Brake Control) – Bezpečné ovládání brzdy. Funkce SBC zajišťuje bezpečný výstupní signál pro ovládání externí brzdy. [6]

SDI (Safe Direction) – Bezpečný směr, tato funkce umožňuje pohyb pouze jedním bezpečným směrem. [6]

SLP (Safely-Limited Position) – Bezpečně omezená poloha. Funkce SLP zabraňuje překročení limitních hodnot polohy. [6]

Elektrické regulované pohony musí splňovat požadavky podle jednotlivých kategorií bezpečnostních systémů podle ČSN EN ISO 13849-1. Z nich vyplývá pro vyšší kategorie nutnost realizace bezpečnostních funkcí redundantním dvoukanálovým způsobem, a to jak vnějším zapojením vstupních a výstupních signálů, tak i vnitřním provedením řídicího a výkonového dílu pohonu. Systém musí zahrnovat ochranu proti neoprávněným modifikacím softwaru, hardwaru a konfigurace pohonu. [6]

Norma ČSN EN 61800-5-2 vyžaduje zkoušku bezpečnostních funkcí po uvedení do provozu nebo po jejich modifikaci. Tato zkouška musí být dokumentována a součástí této dokumentace musí být:

- Popis aplikace.
- Popis součástí souvisejících s bezpečností (včetně verze softwaru).
- Seznamy použitých bezpečnostních funkcí.
- Výsledky každé zkoušky těchto bezpečnostních funkcí.
- Seznam všech parametrů souvisejících s bezpečností a jejich hodnoty.
- Kontrolní součty, data zkoušek a potvrzení osobami provádějící zkoušku. [6]

5 REALIZACE BEZPEČNOSTI STROJE

5.1 Stanovení požadavků na bezpečnost realizovaného stroje

5.1.1 Posouzení rizik způsobených strojem a návrh opatření k jejich snížení

Jako první krok návrhu bezpečnostních funkcí stroje je provedení posouzení rizik a návrh opatření na jejich snížení podle ČSN EN ISO 12100. V rámci procesu posouzení rizik se posuzují nebezpečí vznikající:

- od pohyblivých mechanických částí
- nebezpečí úrazu elektrickým proudem
- nebezpečí vznikající od tepelných zdrojů
- nebezpečí vytvářená hlukem
- nebezpečí vznikající zářením
- nebezpečí požáru, výbuchu
- nebezpečí vznikající zanedbáním ergonomických zásad při návrhu strojního zařízení
- nebezpečí neočekávaného spuštění, přjetí nebo překročení rychlosti
- nemožnost zastavení stroje
- porucha dodávky energií
- nebezpečí vzniklá chybou montáže

V této aplikaci se jedná o jednoúčelový obráběcí stroj určený k třískovému obrábění kovových dílů. Posouzení rizik bylo provedeno expertem v oboru bezpečnosti strojních zařízení a v této podkapitole jsou uvedeny nejdůležitější body tohoto posouzení.

V pracovním prostoru stroje jsou umístěna rotační vřetena, v nichž jsou upnuty nástroje a obrobek. Jedno vřeteno je umístěné na dvouosém křížovém stole poháněném lineárními motory, které se pohybují nebezpečnou rychlostí. Dále je v pracovním prostoru umístěna hydraulicky ovládaná kleština upínání obrobku a pneumatické pohony sloužící k pomocným funkcím při automatické výměně obrobku. Tyto pohyblivé části, zvláště vřetena a lineární posuvy vytvářejí riziko vážného zranění osob zachycením, zmáčknutím nebo navinutím, dále existuje nebezpečí zranění od odlétávajících třísek, zranění od uvolněných částí chybou montáže nebo závady. Dále bylo identifikováno riziko nebezpečí popálení a ohrožení obsluhy stroje hlukem.

Jako ochranné opatření bylo navrženo kompletní uzavření pracovního prostoru stroje pomocí odhlučněné kabiny opatřené pohyblivými kryty. Poloha krytů je detekována a kryty je možné v uzavřené poloze zajistit elektromagnetickým zámkem. Tímto opatřením je úroveň rizika podstatně snížena až na úroveň akceptovatelného rizika, které vzniká v servisním režimu, kdy je nutné pohybovat částmi stroje redukovanou rychlostí při otevřených krytech. Na zbytková rizika upozornují výstražné štítky umístěné na vstupech do pracovního prostoru stroje.

Nebezpečí úrazu elektrickým proudem a při poruše a obnovení dodávky energií se minimalizují provedením elektrické části stroje podle normy ČSN EN 60204-1. Jedná se zejména o krytí živých částí, provedení ochranného pospojování vodivých částí a zapojením ovládacích obvodů tak, aby nemohlo dojít k samovolnému spuštění stroje při obnovení dodávky energií.

5.1.2 Určení požadované úrovně bezpečnosti stroje

Pro návrh bezpečnostních obvodů a volbu komponentů má zásadní význam určení požadované úrovně vlastností PL_r , a z ní vyplývající kategorie použitých bezpečnostních prvků a architektura bezpečnostních obvodů podle normy ČSN EN ISO 13849-1. V dané aplikaci byla identifikována rizika, která vytvářejí elektrické pohony rotačních vřeten a os lineárních pohonů křížového stolu a dále pneumatické a hydraulické prvky. Pro každý zdroj energie a tím pádem i nebezpečí se provede odhad

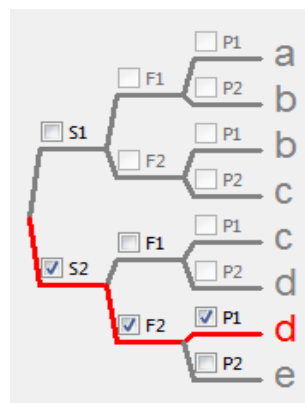
volby požadované úrovně vlastností PL_r , samostatně, z čehož vyplynou požadavky na kategorii bezpečnostních funkcí elektrických pohonů, pneumatických a hydraulických obvodů.

PL_r elektrických pohonů

Pro systém elektrických pohonů vychází odhad PL_r z nebezpečí pocházejících od rotujících vřeten a od posuvových os pohybujících se nebezpečnou rychlostí, které mohou způsobit závažné zranění. Přiřazení parametrů rizik:

S – závažnost zranění	S2	závažné, trvalé následky
F – četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí	F2	vyšší než 1 za hodinu
P – možnost vyloučení nebezpečí	P1	kryty, signalizace provozních stavů, volba pracovních režimů

Výsledná požadovaná úroveň vlastností $PL_r = d$.



Obr. 5-1 Požadovaná úroveň vlastností PL_r pro elektrické pohony.

PL_r pneumatických obvodů

Pneumatické prvky jsou použity pro pomocné funkce automatické výměny obrobku, použity jsou pneumatické válce do průměru 20mm, pracovní tlak je do 0,6MPa. Míra závažnosti možného zranění způsobeného pneumatickými prvky je nižší a lze jí přiřadit parametr S1. Přiřazení parametrů rizik:

S – závažnost zranění	S1	lehké, přechodné následky
F – četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí	F2	vyšší než 1 za hodinu
P – možnost vyloučení nebezpečí	P1	kryty, signalizace provozních stavů, volba pracovních režimů

Výsledná požadovaná úroveň vlastností $PL_r = b$.

PL_r hydraulických obvodů

Hydraulický agregát je zdrojem energie pro upínací systém obrobku. Jedná se o kleštinu, jejíž upínací mechanismus je zabudován do vřetene a přístupné části upínacího systému svojí konstrukcí minimalizují riziko poranění. Upínání obrobku musí být funkční i při otevřených krytech, aby bylo umožněno ruční založení obrobku, na existující zbytkové riziko je nutné upozornit v návodu k obsluze a výstražným piktogramem na vstupu do pracovního prostoru stroje. Přiřazení parametrů rizik:

S – závažnost zranění	S1	lehké, přechodné následky
F – četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí	F2	vyšší než 1 za hodinu
P – možnost vyloučení nebezpečí	P1	kryty, signalizace provozních stavů, volba pracovních režimů

Výsledná požadovaná úroveň vlastností $PL_r = b$.

5.1.3 Definování bezpečnostních funkcí stroje

Dalším krokem v návrhu bezpečnostních obvodů je definování jednotlivých bezpečnostních funkcí a reakcí stroje na aktivaci těchto funkcí. Požadavky na provedení těchto bezpečnostních funkcí vychází z ČSN EN 60204-1. Pro tuto aplikaci byly definovány následující bezpečnostní funkce:

Nouzové zastavení

Funkce nouzového zastavení se aktivuje pomocí červených hříbových tlačítek na žlutém podkladu rozmístěných tak, aby vždy nejméně jedno bylo v dosahu obsluhy stroje. Aktivace této funkce vyvolá řízené zastavení pohybů stroje kategorie 1, kdy dojde po dosažení klidového stavu k odpojení přívodů energií, a to u všech typů poháněných mechanismů (elektrických, pneumatických i hydraulických). V případě mechanismů, u kterých po odpojení přívodu energie hrozí pád vlastního mechanismu nebo neseného břemene je nutné vyvolat řízené zastavení kategorie 1 a po dosažení klidového stavu zajistit mechanismus proti samovolnému pohybu pomocí parkovací brzdy. Samotná deaktivace funkce nouzového zastavení nesmí způsobit vykonání nebezpečných pohybů stroje, ale je vždy vyžadováno potvrzení obsluhou.

Ochranné kryty

Pracovní prostor stroje je kompletně uzavřen kabinou, která je vybavena pohyblivými kryty umožňující vstup do pracovního prostoru stroje. Pohyblivé kryty jsou osazeny bezpečnostními spínači, které detekují jejich polohu. Bezpečnostní spínače krytů jsou opatřeny elektromagnetickým zámekem, který zabrání otevření krytu během provozu stroje. Odemčení krytů je povoleno až po dosažení klidového stavu stroje. Umožnění pohybů stroje je podmíněno uzavřenými a uzamčenými kryty, jinak je aktivní funkce řízeného zastavení kategorie 1 nebo 2 podle typu a funkce pohyblivého mechanismu. Výjimku tvoří možnost pohybů strojních částí v seřizovacím režimu a hydraulicky ovládaná kleština upínání obrobku, kterou je nutné ovládat i při otevřených krytech.

Seřizovací režim umožňující pohyby strojních částí bezpečnou rychlostí

Z důvodu seřízení stroje je nutné pohybovat některými strojními částmi i při otevřených krytech. Z tohoto důvodu jsou bezpečnostní ovládací obvody rozšířeny o volič seřizovacího režimu a souhlasové tlačítko. Volič seřizovacího režimu je ovládaný klíčkem z důvodu omezení této funkce pouze na oprávněné osoby. Souhlasové tlačítko má sepnuté kontakty pouze ve středové poloze, v uvolněné poloze a v poloze úplného zamáčknutí jsou kontakty rozepnuté, přičemž při přechodu z polohy úplného zmáčknutí do středové polohy nesmí dojít k sepnutí kontaktů. Při zvoleném seřizovacím režimu a při aktivovaném potvrzovacím tlačítku se umožní manuální ovládání jednotlivých pohybů. V případě elektrických pohonů je rychlost pohybu omezena na definovanou bezpečnou rychlost. Při uvolnění nebo úplném promáčknutí potvrzovacího tlačítka nebo při překročení bezpečné rychlosti elektrických pohonů musí dojít k okamžitému zastavení pohybu. Dále musí být zajištěna indikace zvoleného pracovního režimu.

Nouzové vypnutí

Funkce nouzového vypnutí zajišťuje ochranu před nebezpečným dotykem živých elektrických částí, nelze ji zaměňovat s funkcí nouzového zastavení. Tato funkce je realizována hlavním vypínačem, který odpojí přívod elektrické energie do stroje a poté dojde k neřízenému zastavení kategorie 0. Barva ovládacího prvku musí být červená a barva jeho okolí žlutá.

5.1.4 Návrh architektury bezpečnostních obvodů a výběr komponent

Při návrhu bezpečnostních obvodů a výběru komponent se vychází z ČSN EN ISO 13849-1. Dosažená úroveň vlastností PL je dána pravděpodobností vzniku nebezpečné poruchy za hodinu PFH , kterou ovlivní jednak výběr použitých komponentů a jednak architektura bezpečnostních obvodů.

Podle ČSN EN ISO 13849-1 je nutné určit střední dobu do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ a průměrné diagnostické pokrytí DC_{avg} jednotlivých komponentů a poté vypočítat tyto parametry pro celý subsystém. Na základě určení těchto parametrů a požadované úrovně vlastností PL_r pro jednotlivé bezpečnostní funkce lze určit požadovanou kategorii architektury bezpečnostních obvodů. V praxi je

možné využít softwarový nástroj *SISTEMA*, který je podporován organizací *IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung)* a je volně k dispozici. Pomocí tohoto nástroje je možné modelovat architektury bezpečnostních ovládacích obvodů s využitím knihoven bezpečnostních komponentů různých výrobců s již určenými parametry střední doby do nebezpečné poruchy $MTTF_d$, diagnostického pokrytí DC_{avg} nebo pravděpodobnosti vzniku nebezpečné chyby za hodinu PFH pro konkrétní prvky. Dále umožňuje kompletní dokumentaci celého postupu návrhu a ověření bezpečnostních obvodů.

Pomocí tohoto softwarového nástroje byl proveden návrh bezpečnostních obvodů a ověřen výběr jejich komponentů. Současně bylo ověřeno dosažení požadované úrovně vlastností PL_r pro všechny subsystémy bezpečnostních obvodů.

V návrhu bezpečnostních obvodů se počítá s využitím konfigurovatelného modulu PNOZmulti výrobce PILZ pro logickou část všech bezpečnostních funkcí, který vyhodnocuje stav vstupních obvodů. Z tohoto důvodu musí vstupní a logická část bezpečnostního systému dosáhnout takové požadované úrovně vlastností, jaká je určena pro tu část bezpečnostních obvodů, pro kterou jsou určeny nejprísnější požadavky. To je v tomto případě subsystém elektrických pohonů, pro který je vyžadována požadovaná úroveň vlastností $PL_r = d$. Pro tyto subsystémy je nutné použít architekturu bezpečnostních obvodů a komponenty splňující minimálně požadavky kategorie 3.

Status	Type	Name	PL	PFH [1/h]	CCF score	DCavg [%]	MTTFd [a]	Category
✓	SB	Emergency Stop, 2 contacts	e	2,47E-8	65 (fulfilled)	99 (High)	100 (High)	4
✓	SB	Bezpečnostní spínače krytů	e	5,13E-8	65 (fulfilled)	99 (High)	52,08 (High)	3
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Logic function ...	e	1,54E-9	not relevant	not relevant	not relevant	4
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Logic function ...	e	1,54E-9	not relevant	not relevant	not relevant	4
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Output Single-...	d	8,9E-10	not relevant	not relevant	not relevant	2
✓	SB	286: NCU 710.2, (6FC5371-0AA10-0AA2), SINUMERIK, Safety Integrated # N...	d	6,6E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	249: Control Unit CU320, (6ESL3040-0MA00-0AA1) # Control Unit CU320, (6...	d	1E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	268: Terminal Module TM54F, (6ESL3055-0AA00-3BA0) # Terminal Module T...	d	3,8E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	254: Double Motor Module Bauform Booksize, (6ESL312x-2TExx-xAx3), 2-Ac...	d	2E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	254: Double Motor Module Bauform Booksize, (6ESL312x-2TExx-xAx3), 2-Ac...	d	2E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	265: Single Motor Module Bauform Booksize, (6ESL312x-1xExx-xAx3), mit SB...	d	1,4E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	263: Sensor Module SMC/E 20/25/120/125, 1-Gebersystem sin/cos, (6ESL305...	d	2,6E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	263: Sensor Module SMC/E 20/25/120/125, 1-Gebersystem sin/cos, (6ESL305...	d	2,6E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	261: Motor mit DRIVE-CLiQ Schnittstelle, 1-Gebersystem sin/cos # Motor ...	d	2,6E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	261: Motor mit DRIVE-CLiQ Schnittstelle, 1-Gebersystem sin/cos # Motor ...	d	2,6E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3
✓	SB	261: Motor mit DRIVE-CLiQ Schnittstelle, 1-Gebersystem sin/cos # Motor ...	d	2,6E-8	not relevant	not relevant	not relevant	3

Obr. 5-2 Vyhodnocení dosažené úrovně bezpečnosti bezpečnostních funkcí pro systém elektrických pohonů v softwaru *SISTEMA*.

Pro pneumatické a hydraulické obvody je vyžadována požadovaná úroveň vlastností $PL_r = b$. Vstupní a logická část bezpečnostních obvodů je společná s bezpečnostními obvody elektrických pohonů v provedení splňující požadavky kategorie 3 a pro výstupní část hydraulických a pneumatických systémů je dostatečné provedení podle kategorie 1. Takto navržená architektura dosáhne úrovně vlastností $PL = c$.

Status	Type	Name	PL	PFH [1/h]	CCF score	DCavg [%]	MTTFd [a]	Category
✓	SB	Emergency Stop, 2 contacts	e	2,47E-8	65 (fulfilled)	99 (High)	100 (High)	4
✓	SB	Bezpečnostní spínače krytů	e	5,13E-8	65 (fulfilled)	99 (High)	52,08 (High)	3
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Logic function ...	e	1,54E-9	not relevant	not relevant	not relevant	4
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Output Single-...	d	8,9E-10	not relevant	not relevant	not relevant	2
✓	SB	Redundant contactors TESYS	e	2,47E-8	75 (fulfilled)	99 (High)	100 (High)	4
✓	SB	Pneumatický systém	c	1,14E-6	not relevant	not relevant	100 (High)	1

Obr. 5-3 Vyhodnocení dosažené úrovně bezpečnosti bezpečnostních funkcí pro pneumatický systém v softwaru *SISTEMA*.

Status	Type	Name	PL	PFH [1/h]	CCF score	DCavg [%]	MTTFd [a]	Category
✓	SB	Emergency Stop, 2 contacts	e	2,47E-8	65 (fulfilled)	99 (High)	100 (High)	4
✓	SB	Bezpečnostní spínače krytů	e	5,13E-8	65 (fulfilled)	99 (High)	52,08 (High)	3
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Logic function ...	e	1,54E-9	not relevant	not relevant	not relevant	4
✓	SB	PNOZmulti Mini - base units/PNOZ mm0.1p 772001 V1.1 - Output Single-...	d	8,9E-10	not relevant	not relevant	not relevant	2
✓	SB	Redundant contactors TESYS	e	2,47E-8	75 (fulfilled)	99 (High)	100 (High)	4
✓	SB	Hydraulický agregát	c	1,14E-6	not relevant	not relevant	100 (High)	1

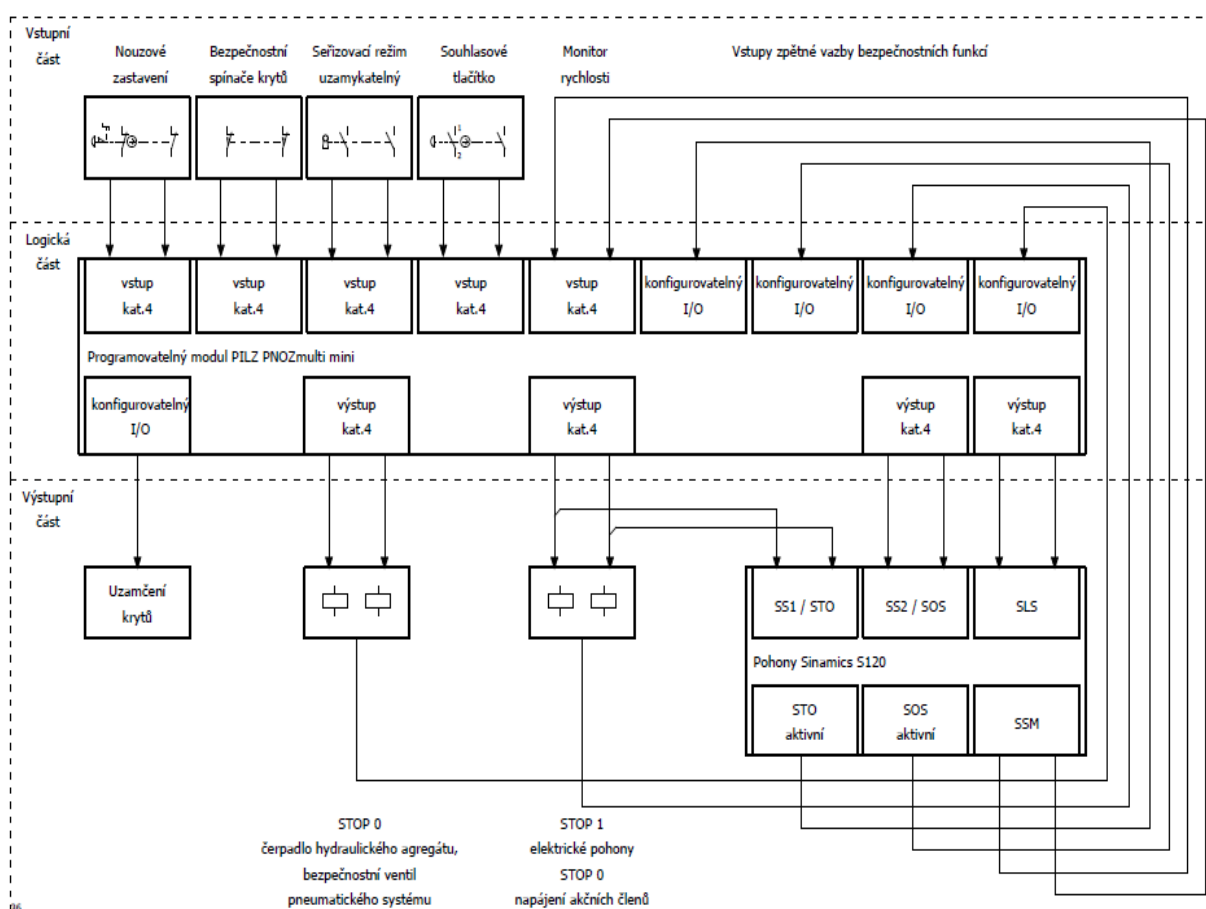
Obr. 5-4 Výhodnocení dosažené úrovně bezpečnosti bezpečnostních funkcí pro hydraulický systém v softwaru SISTEMA.

5.2 Realizace bezpečnostních obvodů

5.2.1 Koncepte bezpečnostních obvodů

Dvoukanálové vstupní obvody jsou napájeny z konfigurovatelného bezpečnostního modulu přes testovací výstupy tak, že je zajištěna detekce příčného zkratu mezi kanály a zapojení v tomto provedení splňuje požadavky kategorie 4. Tlačítka nouzového zastavení zapojená v sérii tvoří jeden bezpečnostní vstupní obvod, stejně jako sériově zapojené bezpečnostní spínače detekující stav pohyblivých krytů pracovního prostoru stroje. Obvod bezpečnostních spínačů krytů je uzavřen, pokud jsou kryty uzavřené a uzamčené.

Při použití sériového zapojení prvků vstupních obvodů je třeba zohlednit skutečnost, že při sériovém zapojení více prvků klesá dosažená úroveň vlastností PL bezpečnostního obvodu. Tabulka 11 normy ČSN EN ISO 13849-1 uvádí počty sériově zapojených prvků a dosaženou úroveň vlastností. V případě dosažené úrovně vlastností $PL = e$ a $PL = d$ klesá dosažená úroveň vždy o jeden stupeň při sériovém zapojení více než tří prvků.



Obr. 5-5 Blokové schéma architektury bezpečnostních obvodů

Pro spínání výkonových prvků se použijí stykače a pomocná relé s nuceným vedením kontaktů, zapojené na výstupy bezpečnostního modulu. Aby byly splněny požadavky na dosažení minimální požadované úrovně vlastností $PL_r = d$, je nutné použít dvoukanálového zapojení a využít sériového zapojení rozpinacích kontaktů na vstupy bezpečnostního modulu z důvodu detekce poruchy těchto prvků.

Bezpečnostní funkce pohonů jsou aktivovány pomocí dvoukanálových vstupů kategorie 3 na bezpečnostním modulu TM54F, který je nutný v případě využití rozšířených bezpečnostních funkcí systému pohonů Sinamics S120. Zpětná vazba o stavu jednotlivých bezpečnostních funkcí pohonů je přivedena na vstupy bezpečnostního modulu, kde je vyhodnocován jejich stav a využívá se mimo jiné pro vyhodnocení klidového stavu pohonů a uvolnění vstupu do pracovního prostoru stroje odemčením krytů.

5.2.2 Realizace logické části bezpečnostních obvodů

Logická část bezpečnostních obvodů je realizována pomocí bezpečnostního konfigurovatelného modulu PILZ PNOZmulti Mini. Tyto moduly jsou určeny pro nasazení v aplikacích, kde je nutné monitorovat více bezpečnostních funkcí. Jedná se o modulární systém, který umožňuje připojení rozšiřujících vstupně-výstupních nebo komunikačních modulů k základní jednotce. Z levé strany umožňuje připojení až 4 vstupně-výstupních nebo komunikačních modulů a z pravé strany jednoho reléového rozšiřujícího modulu PNOZsigma.

Základem bezpečnostního modulu je dvoukanálová struktura hardwaru obsahující různé, nezávisle pracující procesory. Každý procesor má svůj vlastní vstupní a výstupní registr. Data jsou paralelně zpracovávána a obsahy výstupních registrů jsou navzájem porovnávány. Při shodě je provedena požadovaná reakce, v opačném případě se uvedou výstupy do bezpečného stavu. Činnost procesorů je vzájemně synchronizována, protože pracují různými rychlostmi. Tímto je zaručena vysoká odolnost vůči chybám a logická část modulu splňuje požadavky na úroveň vlastností $PL = e$. [17]



Obr. 5-6 Konfigurovatelný bezpečnostní modul PILZ PNOZmm0p s rozšiřujícím komunikačním modulem PNOZ mmc3p pro sběrnici Profibus DP

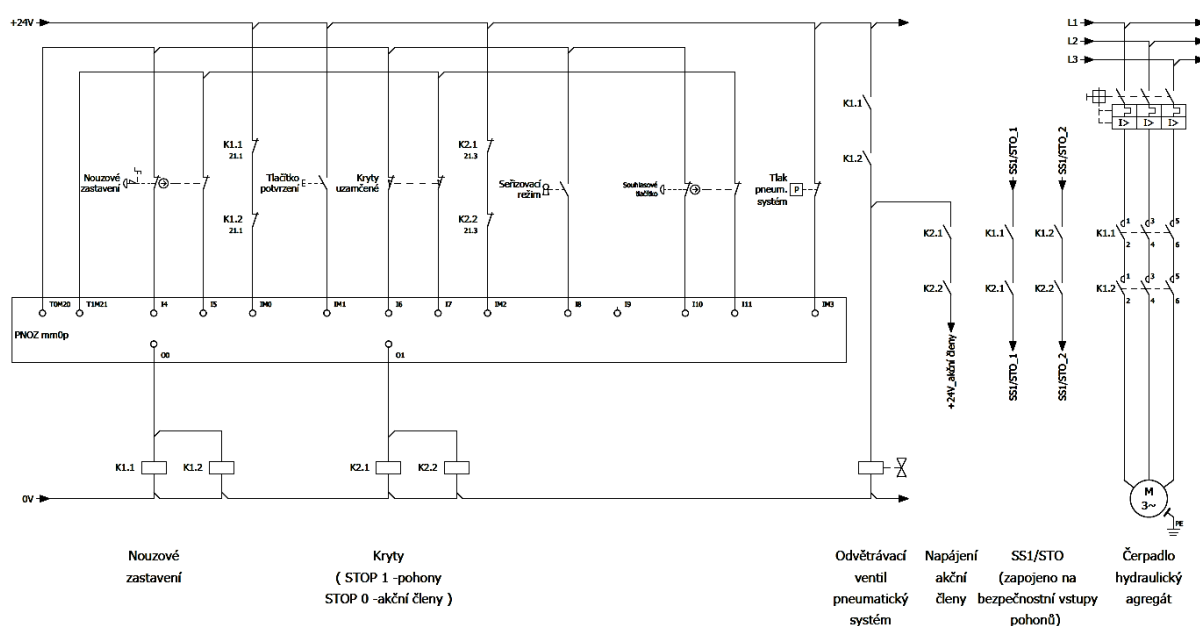
Základní jednotka PNOZmm0p je vybavena LED displejem umožňující zobrazení systémových informací a uživatelských hlášení, 4 polovodičovými bezpečnostními výstupy splňující úroveň vlastností až $PL = e$ podle typu použití, 12 vstupy pro připojení signálů bezpečnostních funkcí, 8 konfigurovatelnými vstupy/pomocnými výstupy a 4 konfigurovatelnými výstupy použitelnými jako

pomocné výstupy nebo výstupy testovacích impulsů pro napájení bezpečnostních vstupů. Detekce příčného zkratu mezi jednotlivými kanály je zajištěna jak u bezpečnostních výstupů, tak u vstupů, pokud jsou napájeny z testovacích výstupů. [17]

Tab. 5-1 Bezpečnostně-relevantní technická data modulu PNOZmm0p [17]

	EN ISO 13849-1 <i>PL</i>	EN IEC 62061 <i>SIL CL</i>	<i>PFH</i> [1/h]	EN ISO 13849-1 <i>T_M</i>
<i>Logika</i>				
CPU	PL e (kat. 4)	SIL CL3	$1,54 \cdot 10^{-9}$	20
<i>Vstupy</i>				
jednokanálově	PL d (kat. 2)	SIL CL2	$3,95 \cdot 10^{-9}$	20
dvoukanálově	PL e (kat. 4)	SIL CL3	$4,61 \cdot 10^{-10}$	20
světelné závory	PL e (kat. 4)	SIL CL3	$3,95 \cdot 10^{-10}$	20
<i>Polovodičové výstupy</i>				
jednokanálově s rozšířenou detekcí	PL e (kat. 4)	SIL CL3	$7,65 \cdot 10^{-10}$	20
jednokanálově	PL d (kat. 2)	SIL CL3	$8,90 \cdot 10^{-10}$	20
dvoukanálově	PL e (kat. 4)	SIL CL3	$7,86 \cdot 10^{-10}$	20

Zapojení bezpečnostních výstupů je možné jak v jednokanálovém nebo v dvoukanálovém provedení. Při zapojení výstupu v jednokanálovém provedení odpovídající kategorii 2 je dosažena úroveň vlastností *PL* = d. V konfiguračním nástroji je možné zvolit rozšířenou detekci chyby jednokanálového výstupu, potom lze na jeden výstup připojit dva výkonové spínací prvky a kontrolovat jejich funkci sériovým zapojením jejich rozpínacích kontaktů na vstup modulu. V tomto případě splňuje jednokanálové zapojení výstupu úroveň vlastností *PL* = e.



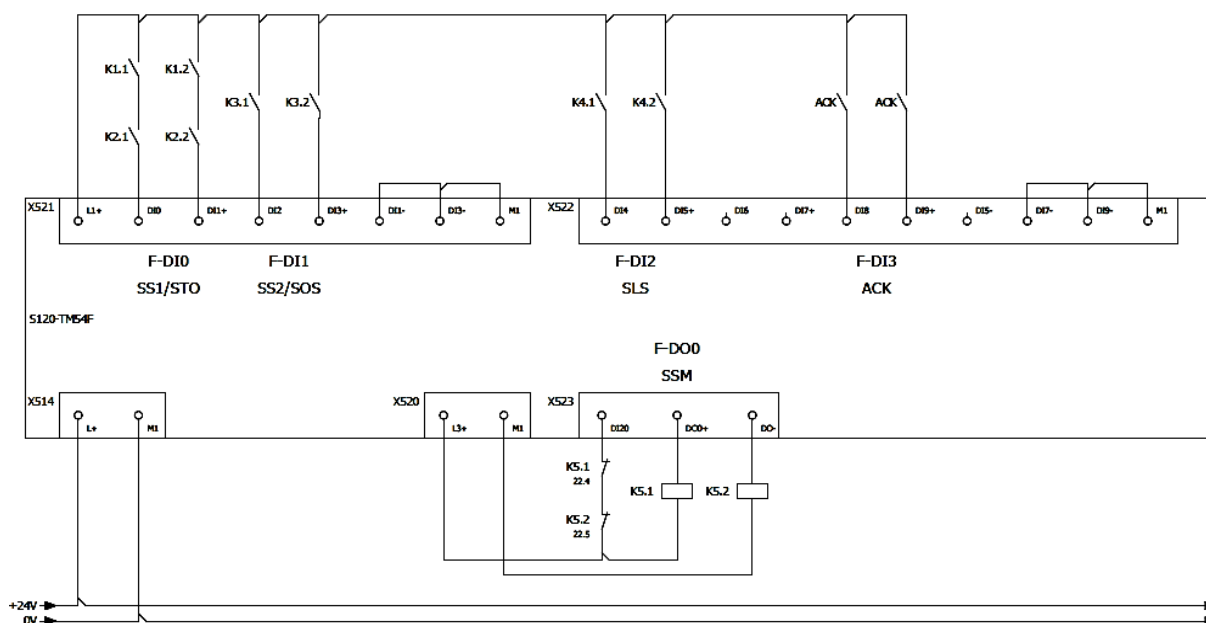
Obr. 5-7 Schematické zapojení části bezpečnostních obvodů s modulem PNOZmm0p

Na Obr. 5-7 je zapojení bezpečnostního modulu, schematicky je zde znázorněno zapojení vstupních obvodů a dvou výstupů s rozšířenou detekcí chyby a paralelním zapojením stykačů s nuceným vedením kontaktů. Jejich funkce je kontrolována zapojením jejich rozpínacích kontaktů na vstupy IM0 a IM1. Stykače K1.1 a K1.2 jsou zapojené na výstup O0, na který je nakonfigurována reakce na bezpečnostní funkci nouzového zastavení. Opětovné sepnutí stykačů je možné až deaktivaci funkce a po stisku potvrzovacího tlačítka. Na výstup O1 a na něj zapojené stykače K2. 1 a K2. 2 je nakonfigurována reakce na stav krytů pracovního prostoru stroje. Tento výstup je aktivní v případě, že jsou kryty uzavřené a uzamčené nebo v případě zvoleného seřizovacího režimu a sepnutého souhlasového tlačítka na mobilním panelu.

Pro elektrické pohony znamená aktivace funkcí nouzového zastavení a bezpečnostních krytů vykonání zastavení kategorie 1. Toho je dosaženo dvoukanálovým sériovým zapojením kontaktů na svorky bezpečnostního modulu pohonů TM54F, pomocí kterých se vyvolá funkce *SSI/STO*.

Aktivace funkce nouzového zastavení dále způsobí odpojení přívodu energie pro čerpadlo hydraulického agregátu pomocí dvoukanálového zapojení stykačů K1.1 a K1.2 a odvětrávacího ventilu na jednotce umístěné v přívodu stlačeného vzduchu pneumatického systému. Tím dojde k odpojení od zdrojů energií obou systémů. Do těchto obvodů nejsou zapojeny kontakty stykačů K2. 1 a K2. 2, vyhodnocující funkci bezpečnostních krytů, protože není žádoucí, aby byly oba tyto systémy při každém otevření krytů odpojeny od zdrojů energií a odtlakovány. Kontakty stykačů K2. 1 a K2. 2 jsou ale zapojeny v napájecí části pro akční členy, takže je zabráněno sepnutí ventilů a tím vykonání nebezpečných pohybů.

Ve schématu na Obr. 5-8 nezakreslené výstupy O2 a O3 modulu PNOZmm0p jsou využity pro aktivaci bezpečnostních funkcí elektrických pohonů *SS2/SOS* (relé K3.1 a K3.2) a *SLS* (relé K4.1 a K4.2). Princip zapojení výstupů je shodný, na výstup s rozšířenou detekcí chyby modulu PNOZmm0p jsou zapojeny dvě relé s nuceným vedením kontaktů a zpětná vazba tvořená sériovým zapojením rozpínacích kontaktů je přivedena na vstup modulu. Na straně pohonů jsou tyto funkce aktivovány přes dvoukanálové bezpečnostní vstupy modulu TM54F, jak je znázorněno na Obr. 5-8. Bezpečnostní funkce pohonů jsou aktivovány v případě úrovně signálu logická 0 na bezpečnostních vstupech modulu TM54F, přičemž pokud je například pro jeden pohon aktivní funkce *SSI/STO* a současně *SLS*, potom má funkce *SSI/STO* vyšší prioritu. Na vstup F-DI3 je přiveden signál potvrzení chyby bezpečnostních funkcí pohonů, který musí být realizován přes bezpečnostní vstup.

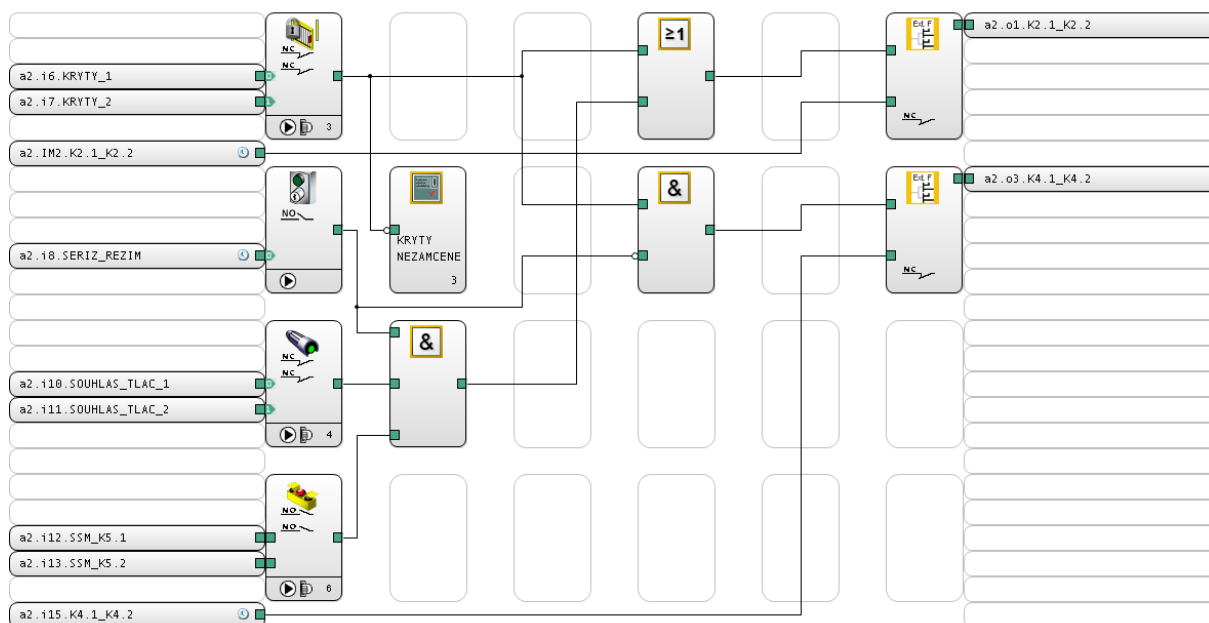


Obr. 5-8 Schematické zapojení rozšiřujícího modulu bezpečnostních funkcí pohonů TM54F

sepnutí jistícího prvku a ručním potvrzení přes vstup „Set“. Tím se zabrání rozběhu čerpadla ihned po obnovení funkce jistícího prvku.

Oba bloky jsou přes logický blok AND přivedeny na blok polovodičového výstupu O0. Tento výstup je konfigurován jako jednobáňový výstup s rozšířenou detekcí, z toho důvodu vyžaduje zpětnou vazbu o stavu spínacích prvků. V tomto případě je využit i tlakový spínač pneumatického systému pro kontrolu funkce odvětrávacího ventilu, čímž se dosáhne u pneumatického systému zapojení podle kategorie 2. Ve výstupním bloku lze nastavit požadovanou dobu reakce zpětné vazby v rozsahu 50 až 3000ms odděleně pro případ sepnutí i rozepnutí výstupu. Tyto časy je třeba nastavit s ohledem na zpožděnou reakci tlakového spínače pneumatického systému.

Informace o stavu jednotlivých funkcí, případně bloků lze zobrazovat na čelním panelu modulu pomocí diagnostického bloku zobrazení hlášení, nebo přenášet přes komunikační modul po sběrnici Profibus do PLC. Telegram komunikačního modulu PNOZmmc3p umožňuje přenášet 24 vstupních a 24 výstupních binárních signálů.



Obr. 5-10 Konfigurace funkcí ochranných krytů a pohybu bezpečnou rychlostí

Obr. 5-10 představuje konfiguraci polovodičových výstupů O1 a O3 reagujících na stav ochranných krytů a podmínek aktivace funkce pohybu bezpečnou rychlostí. Oba výstupní bloky jsou opět konfigurovány jako jednobáňové s rozšířenou detekcí a vyhodnocují zpětnou vazbu spínacích prvků, které jsou na ně připojeny. Výstup O1 a na něj připojené stykače K2. 1 a K2. 2 jsou sepnuté v případě uzavřených a uzamčených krytů nebo v případě splněných podmínek pro pohyb bezpečnou rychlostí. Stav krytů je vyhodnocován pomocí funkčního bloku bezpečnostního krytu se zámek, který je opět nakonfigurován jako dvoubáňový se vstupy napájenými přes testovací výstupy a automatickým potvrzením.

Podmínky pro pohyb bezpečnou rychlostí jsou vyhodnoceny přes logický blok AND, na který jsou zapojeny tři funkční bloky. Funkční blok uzamykatelného spínače vyhodnocuje, zda je zvolen seřizovací režim pomocí přepínače ovládaného klíčkem, pro vyhodnocení stavu souhlasového spínače je použit k tomu určený funkční blok, který je opět nakonfigurován jako dvoubáňový s napájením přes výstupy testovacích impulsů a s automatickým potvrzením. Pro vyhodnocení signálu monitoru bezpečné rychlosti elektrických pohonů SSM je použit blok dvouručního ovládání, který jako jediný umožňuje nakonfigurovat vyhodnocení dvoubáňových spínacích kontaktů K5.1 a K5.2 zapojených přes testovací výstupy.

Aktivace funkce pohybu bezpečnou rychlostí SLS je realizována pomocí výstupu O3 a na něj připojených stykačů K4.1 a K4.2. Funkce je aktivní, pokud je na bezpečnostních vstupech modulu pohonů TM54F úroveň signálu logická 0. Z tohoto důvodu je použit signál uzamčených krytů a

negace signálu volby seřizovacího režimu přes blok AND pro aktivaci sepnutí výstupu O3. Takto provedená logika zapojení aktivuje funkci *SLS* vždy při neuzamčených krytech nebo při zvoleném seřizovacím režimu. Pokud ovšem nejsou splněny podmínky pro pohyb při otevřených krytech, je aktivní také funkce zastavení kategorie 1 (pro pohony SS1/STO) přes výstup O1 a jakýkoliv pohyb pohonů je znemožněn.

5.3 Realizace bezpečnostních funkcí v elektrických pohonech

5.3.1 Integrovaná bezpečnost v pohonech Sinamics S120

Pohony Sinamics S120 disponují integrovanými bezpečnostními funkcemi (*Safety Integrated*), které odpovídají ČSN EN 61800-5-2. Všechny integrované bezpečnostní funkce dosahují úrovně vlastností *PL* = d podle normy ČSN EN ISO 13849-1 a SIL CL2 podle normy ČSN EN 62061. Architektura zapojení bezpečnostních obvodů splňuje požadavky kategorie 3 podle ČSN EN ISO 13849-1. [9]

Standardně jsou pohony Sinamics S120 vybaveny základními bezpečnostními funkcemi:

- *STO (Safe Torque Off)* – bezpečné vypnutí točivého momentu
- *SSI (Safe Stop I)* – bezpečné zastavení 1
- *SBC (Safe Brake Control)* – bezpečné ovládání brzdy

Tyto funkce nejsou podmíněny licencí a jejich použití není závislé na přítomnosti nebo typu snímače pohonu. Aktivace základních funkcí je realizována dvoukanálově přes svorkovnici řídicí jednotky a motorového modulu.

Rozšiřující bezpečnostní funkce jsou již podmíněny licencí a u funkcí, které vyžadují bezpečné vyhodnocení polohy, musí být pohon vybaven vyhovujícím snímačem. Mezi rozšířené bezpečnostní funkce patří všechny základní bezpečnostní funkce a dále:

- *SS2 (Safe Stop 2)* – bezpečné zastavení 2
- *SOS (Safe Operating Stop)* – bezpečné provozní zastavení
- *SLS (Safely-Limited Speed)* – bezpečně omezená rychlost.
- *SSM (Safe Speed Monitor)* – monitor bezpečné rychlosti.
- *SDI (Safe Direction)* – bezpečný směr
- *SLP (Safely-Limited Position)* – bezpečně limitovaná pozice

Architektura provedení hardwaru bezpečnostních funkcí v pohonech Sinamics S120 je založena na principu dvou kanálů, kdy každý kanál má svůj vlastní procesor a zpracování probíhá paralelně, běh obou kanálů je synchronizován a mezivýsledky jednotlivých operací jsou vzájemně porovnávány.

Bezpečnostní funkce integrované v pohonech Sinamics S120 se konfiguruje na úrovni jednotlivých os a objektů (*Drive Object*) pomocí parametrů, kterých nastavení lze využít parametrizační software Scout/Starter. Parametry, týkající se bezpečnosti jsou zdvojené a po provedení jejich nastavení v jedné sadě parametrů je nutné zkopírovat tyto hodnoty do druhé sady, přičemž jedna sada parametrů je vždy pro příslušný motorový modul a druhá sada pro řídicí jednotku pohonů. Změna těchto parametrů je chráněna heslem.

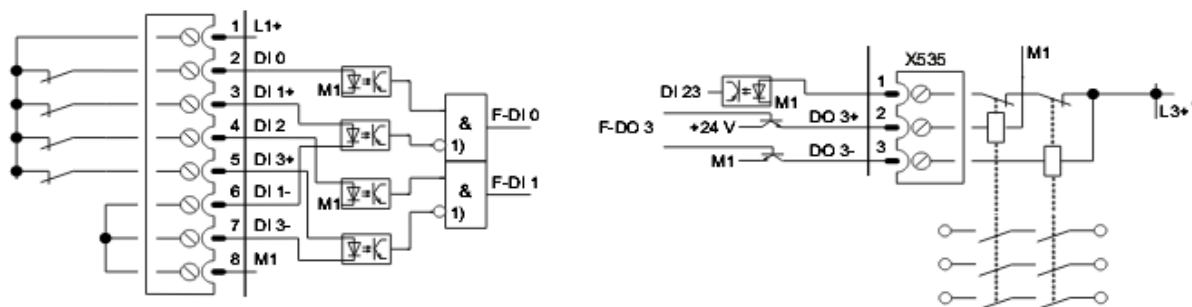
Aktivace bezpečnostních funkcí je možná buď přes rozšiřující bezpečnostní modul TM54F nebo po sběrnici Profibus nebo Profinet pomocí komunikačních protokolů PROFI-safe. [9]

Při použití rozšířených bezpečnostních funkcí v pohonech Sinamics S120 je třeba brát ohled na omezení počtu os, pro osy řízené v režimu servo platí omezení na 6 os při standardních nastaveních vzorkovacích časů (12ms pro vzorkovací periodu bezpečnostních funkcí a 125μs pro vzorkovací periodu proudové regulační smyčky). Počet os s vektorovým řízením je omezen také na 6 při 12ms vzorkovací periodě bezpečnostních funkcí a 500μs vzorkovací periodě proudové regulační smyčky.

Počet os řízených v režimu U/f při použití modulu TM54F je omezen také na 6 os, v případě použití komunikačních sběrnic s protokolem PROFIsafe je počet os omezen na 11 os. [9]

5.3.2 Rozšiřující bezpečnostní modul TM54F

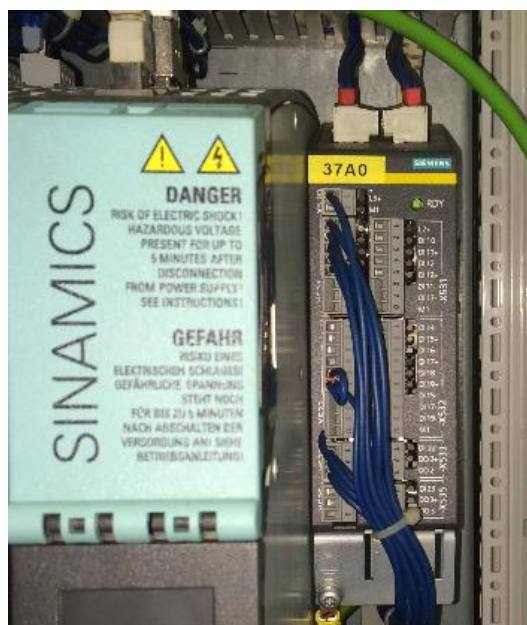
TM54F je rozšiřující modul pro ovládání bezpečnostních funkcí na úrovni pohonů. S řídicí jednotkou pohonů je propojen sběrnicí DRIVE-CLiQ, propojení musí být realizováno přímo na konektor řídicí jednotky. Tento modul obsahuje 4 dvoukanálové bezpečnostní výstupy, 10 dvoukanálových bezpečnostních vstupů a 4 digitální vstupy pro zpětnou vazbu funkce bezpečnostního výstupu.



Obr. 5-11 Princip zapojení bezpečnostních vstupů a výstupů modulu TM54F[10]

Bezpečnostní výstup je proveden tak, že jeden kanál spíná +24V a druhý kanál 0V, na kontrolní vstup se připojují sériově zapojené rozpínací kontakty spínacích prvků obou kanálů. Proudová zatížitelnost každého výstupu je 0,5A.

Bezpečnostní digitální vstupy spínají na stejném potenciálu +24V, přičemž na první kanál se připojuje vždy rozpínací kontakt, druhý kanál lze volitelně nakonfigurovat buď na spínací, nebo rozpínací kontakt. [10]



Obr. 5-12 Bezpečnostní modul TM54F (vpravo) pohonů Sinamics S120

V rámci nastavení bezpečnostních funkcí modulu TM54F se nastavují parametry bezpečnostních vstupů a výstupů, definuje se přiřazení bezpečnostních funkcí pohonům a nastavují se parametry vztahující se k samotnému modulu TM54F.

U bezpečnostních vstupů je možné nastavit typ kontaktu druhého kanálu pro každý bezpečnostní vstup, přednostně je nastaven rozpínací kontakt.

V rámci přiřazení bezpečnostních funkcí pohonům je možné přidělit každý pohon do jedné ze čtyř skupin a pro tuto skupinu poté přiřadit jednotlivým bezpečnostním funkcím konkrétní bezpečnostní vstupy. Tím se dosáhne stejné reakce jednotlivých pohonů v rámci skupiny a různých reakcí skupin pohonů na změny stavů bezpečnostních vstupů. Případně je možné definovat signalizaci dosažení bezpečného stavu pohonů dané skupiny. [10]

Bezpečnostním výstupům lze přiřadit zdroje signálu přes interní člen AND, na jehož vstupy lze přivést signály o stavu bezpečnostních funkcí pohonů nebo celých skupin.

Dále lze v rámci konfigurace nastavit časový interval kontroly kanálů bezpečnostních vstupů na rozdíl stavů logických signálů. V rámci tohoto časového intervalu musí být dosažena stejná hodnota signálu na obou kanálech. V dalším parametru se nastavuje vzorkovací perioda bezpečnostního modulu TM54F. [10]

V případě výskytu interní chyby modulu nebo dosažení některé z limitních hodnot je aktivován bezpečnostní alarm a tento alarm musí být potvrzen bezpečným způsobem. V rámci konfigurace modulu TM54F je nutné přiřadit této funkci buď jeden z bezpečných vstupů, nebo nastavit potvrzení chyby automaticky. [10]

Bezpečnostní vstupy a výstupy musejí být testovány v definovaných časových intervalech, modul TM54F obsahuje funkční blok, který provede jejich otestování (*Test Stop*). Test stop se aktivuje náběžnou hranou na zdroji signálu, který se této funkci přiřadí v rámci konfigurace. Za tento zdroj signálu nesmí být zvolen bezpečnostní vstup modulu TM54F, naopak to může být binární vstup řídicí jednotky nebo interní signál nakonfigurovaný přes takzvané BICO propojení. Tímto signálem může být také binární signál z telegramu z nadřazeného řídicího systému. Aby bylo zajištěno pravidelné provedení této testovací funkce, je vždy při jejím provedení spuštěn časovač, jehož hodnota se také nastavuje v konfiguračních parametrech a je přednastavena na 8 hodin. Aby byly splněny požadavky normy ČSN EN ISO 13849-1, musí být tento test proveden minimálně po 9000 hodinách, to znamená jedenkrát za rok. Po uplynutí časového intervalu je aktivováno alarmové hlášení o nutnosti jejího provedení, které ovšem nezpůsobí zastavení provozu stroje a má obsluhu stroje pouze upozornit na to, aby byla tato testovací funkce provedena při nejbližší příležitosti. Aktivaci testovací funkce lze také realizovat automaticky vyvoláním z nadřazeného řídicího systému. V parametrech modulu TM54F lze určit bezpečnostní vstupy a výstupy, které mají být testovány. Ty výstupy, které nejsou testovány, jsou během testu odpojeny. Ze vstupů mohou být testovány pouze ty, které jsou napájeny přes L1+ a L2+. [10]

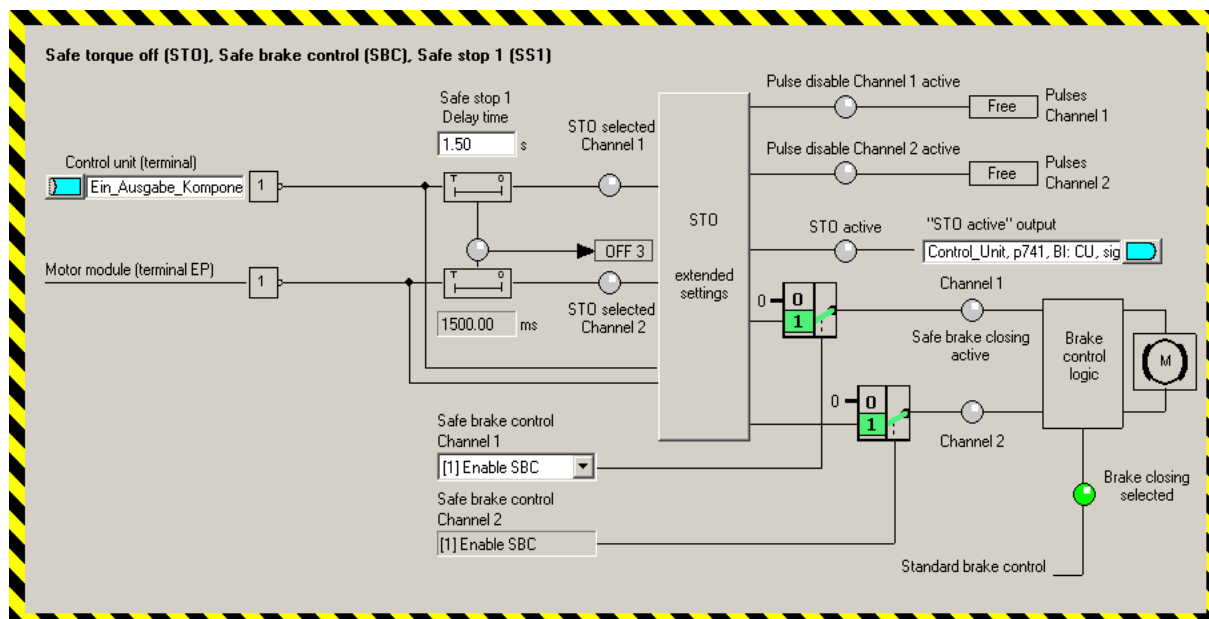
5.3.3 Nastavení bezpečnostních funkcí pohonů

V následující části je uveden popis a nastavení základních a rozšiřujících bezpečnostních funkcí v pohonech Sinamics S120. Tyto bezpečnostní funkce jsou specifické pro každý pohon, z čehož vyplývá, že nastavení jednotlivých bezpečnostních funkcí se musí provést pro každou osu zvlášť. Při použití rozšířených bezpečnostních funkcí se rozlišuje, zda se jedná o bezpečnostní funkce pohonu se zpětnovazebním snímačem nebo bez něj. Bezpečnostní funkce se snímačem jsou podmíněny typem snímače, který je použit pro vyhodnocení zpětné vazby v polohové a rychlostní smyčce. Například inkrementální snímač se dvěma sinusovými signály $\sin/\cos 1V_{pp}$ lze použít, protože dává spojitý signál, naproti tomu snímače s pravoúhlým digitálním signálem TTL nebo HTL lze použít pouze za předpokladu, že budou použity snímače dva. Resolver není považován za bezpečnostní snímač.

Při konfiguraci bezpečnostních funkcí popsané v této podkapitole jsem čerpal z dokumentace výrobce pohonů [10] a konfigurace je provedena pomocí softwarového nástroje Scout/Starter.

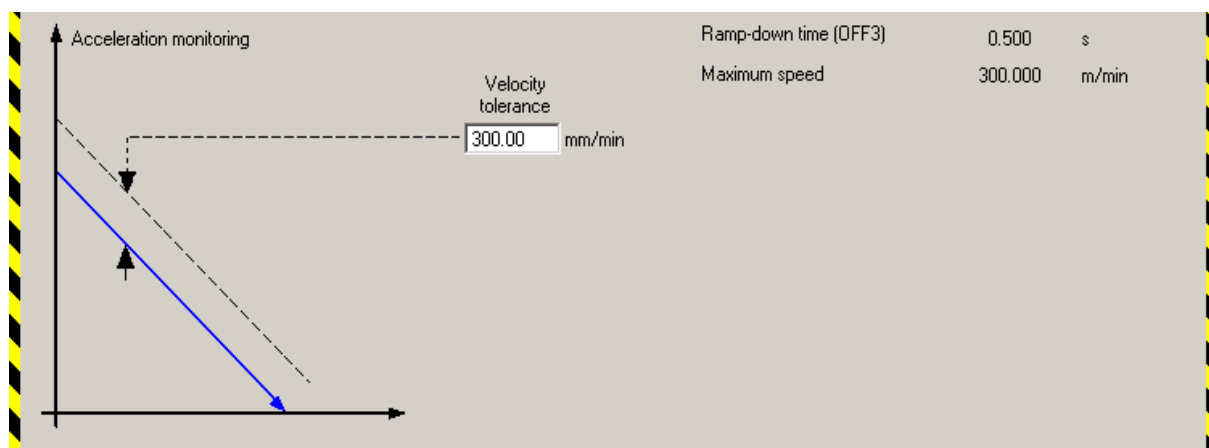
STO (Safe Torque Off) je funkce, která zaručí bezpečné oddělení motoru od přívodu energie. Při aktivaci této funkce je zajištěno dvoukanálové blokování výstupních spínacích prvků a tím pádem je zaručeno, že nemůže dojít k rozběhu pohonu. V případě os, které se mohou po odpojení od zdroje energie uvést do pohybu, je nutné ještě aktivovat parkovací brzdu pomocí bezpečnostní funkce *SBC*. Uvolnění funkce *STO* se konfiguruje pomocí parametrů p9601 a p9801. Opětovné uvolnění a rozběh pohonu se realizuje pomocí signálu *OFF1*, kdy při sestupné hraně signálu dojde k zrušení blokování

rozběhu a při náběžné hraně je dojde k zapnutí pohonu. Informace o stavu funkce *STO* je dostupná pomocí signálu *STO active* a lze ji nakonfigurovat v parametrech p9772, p9872, p9773 a p9774.



Obr. 5-13 Okno konfigurace funkcí STO, SS1 a SBC v prostředí Scout/Starter

SS1 (Safe Stop 1), tato funkce realizuje řízené zastavení kategorie 1 dle ČSN EN 60204-1. Pohon brzdí po rampě nastavené pro zastavení OFF3 v parametru p1135 a po uplynutí zpoždění nastaveném v parametrech p9356 a p9556 nebo po dosažení rychlosti nastavené v parametrech p9360 a p9560 přejde do stavu *STO*. Z tohoto důvodu, pokud má být realizováno zastavení kategorie 1, je nutné nastavit časové zpoždění do přepnutí na *STO* dostatečně dlouhé, aby se stihlo zastavení pohonu v rámci tohoto intervalu.



Obr. 5-14 Nastavení brzdne rampy (SAM) bezpečnostní funkce SS1 v prostředí Scout/Starter

Pokud je funkce *SS1* konfigurována v rámci rozšířených bezpečnostních funkcí, potom je během fáze brzdění aktivována ještě bezpečnostní funkce *SAM (Safe Acceleration Monitor)*. Tato funkce je součástí bezpečnostních funkcí *SS1* a *SS2* a nemůže být samostatně aktivována. Při aktivaci *SAM* je kontrolována hodnota aktuální rychlosti vůči zadané brzdne rampě a při překročení povoleného tolerančního pásma je vykonáno zastavení pohonu STOP A, a současně je aktivováno bezpečnostní alarmové hlášení. Při zastavení STOP A je aktivována bezpečnostní funkce *STO* a případně *SBC*.

SBC (Safe Brake Control) je součástí základních bezpečnostních funkcí pohonů Sinamics S120, slouží k ovládání parkovací brzdy pohonu, která je v případě odpojení od napájecího napětí zabrzděná. Signál k otevření nebo sevření brzdy je předán z řídicí jednotky na motorový modul po sběrnici DRIVE-CLiQ. Motorový modul musí být vybaven dodatečným modulem pro bezpečné ovládání brzdy (*Safe Brake Relay*), který je ve dvoukanálovém provedení. Tento modul není schopen rozeznat mechanický defekt brzdy. Přerušení vodiče nebo zkrat na vinutí rozezná až při změně stavu. Pro testování brzdy na mechanické defekty je určena bezpečnostní funkce *SBT (Safe Brake Test)*.

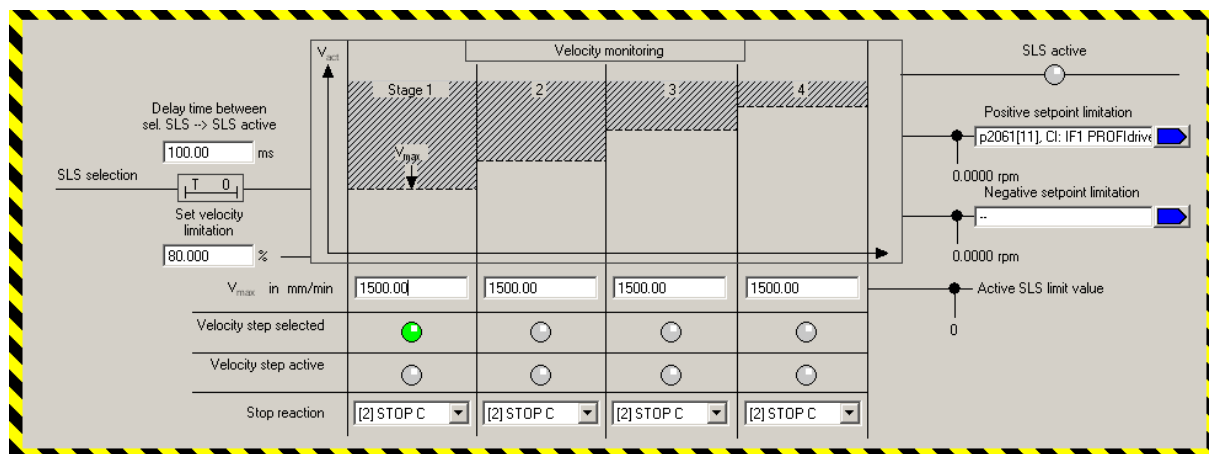
Uvolnění této funkce se provádí přes parametry p9602 a p9802. V principu je brzda řízena z řídicí jednotky pohonů (CU) a motorový modul přebírá kontrolní funkci a zajišťuje, že v případě výskytu závady nebo chyby řídicí jednotky nebo motorového modulu přeruší napájení brzdy.

SS2 (Safe Stop 2) slouží k bezpečnému zastavení motoru po rampě zastavení OFF3, ale na rozdíl od funkce *SS1* přechází do stavu *SOS*. Opět je nutné nastavit dobu trvání této funkce v parametrech p9352 a p9552. Její hodnota musí být nastavena dostatečně dlouhá, aby pohon stihl dosáhnout klidového stavu, protože po přepnutí do stavu *SOS* nesmí být aktuální rychlost vyšší než hodnota tolerancí klidového stavu. Stejně jako u funkce *SS1* je během zastavování aktivní funkce *SAM*.

SOS (Safe Operated Stop) je funkce, která slouží k bezpečné kontrole klidového stavu pohonu, tato funkce je použitelná pouze se snímačem polohy ve zpětné vazbě. Klidový stav pohonu je definován tolerančním oknem zadaným v parametrech p9330 a p9530 a porovnáván s aktuální polohou v momentě aktivace této funkce. Při porušení tohoto tolerančního okna následuje reakce STOP B, při němž je aktivována funkce *SS1* s následným přechodem na STOP A s aktivovanou bezpečnostní funkcí *STO*.

Bezpečnostní funkce *SS2/SOS* se využívá k řízenému zastavení pohonu, přičemž po dosažení klidového stavu není motor odpojen od zdroje energie vytvářející točivý moment a ten drží motor v poloze. Používá se také ke kontrole klidového stavu skupinově koordinovaných pohonů. Jako příklad využití lze uvést krokování automatického cyklu, kdy je nutné mezi jednotlivými kroky otevřít kryty a vstoupit do pracovního prostoru stroje. Otevření krytů je podmíněno tím, že se motory nacházejí v klidovém stavu a tento klidový stav je monitorován bezpečnostní funkcí *SOS*. Pohony po tuto dobu drží polohu a po uzavření krytů je možné pokračovat v přerušném cyklu.

SLS (Safely-Limited Speed) zabraňuje nežádoucím vysokým rychlostem pohonu v obou směrech. V principu je kontrolována aktuální rychlost pohonu a porovnávána s limitní hodnotou maximální rychlosti a zabraňuje překročení této limitní hodnoty. Limitní hodnoty rychlosti se stanovují na základě analýzy rizik, v daném případě byly stanoveny pro lineární osy na 25mm s^{-1} a pro rotační vřetena 60min^{-1} . Mohou být uloženy až 4 limitní hodnoty, k čemuž jsou k dispozici parametry p9331[0-3] a p9531[0-3]. Tyto hodnoty lze i během aktivní funkce *SLS* přepínat pomocí binárního kódování dvou bezpečnostních vstupů. V případě použití protokolu PROFIsafe lze limitní hodnotu variabilně měnit.

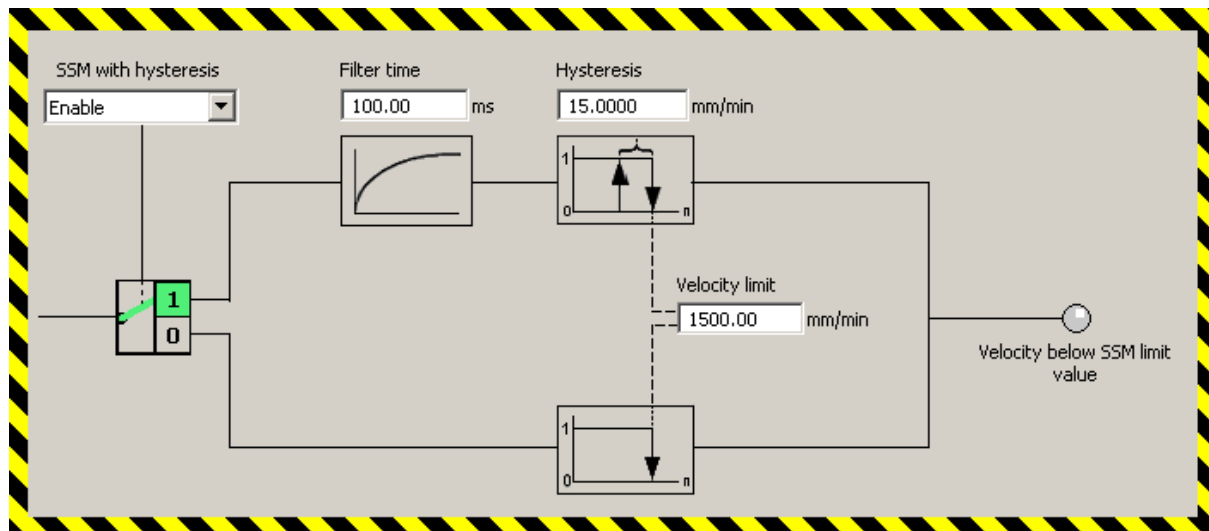


Obr. 5-15 Nastavení bezpečnostní funkce SLS v prostředí Scout/Starter

V případě pohonů řady Sinamics S120 je tato funkce monitorovací. To znamená, že automaticky nezredukuje rychlost pohonu při aktivaci této funkce, ale po aktivaci počká definovaný čas v parametrech p9351 a p9551 a pak se spustí monitoring rychlosti. Pokud po uplynutí této doby rychlost pohonu přesáhne aktuální limitní hodnotu, vyvolá se zastavení pohonu. Způsob zastavení lze nastavit v parametrech p9363 a p9563 a lze zvolit reakce odpovídající bezpečnostním funkcím *STO*, *SSI*, *SS2* nebo *SOS*. Z tohoto důvodu je nutné ošetřit, aby v případě aktivní funkce *SLS* nebyla pohonu zadána žádaná hodnota rychlosti vyšší než je zvolená limitní hodnota. V případě přepnutí na vyšší limitní hodnotu než je aktuální rychlost, je funkce *SLS* aktivní okamžitě.

Funkci *SLS* lze použít i pro skupinově koordinované pohony, například v případě pohybů po trajektoriích složených z interpolace několika os.

SSM (Safe Speed Monitor) slouží k bezpečné signalizaci stavu, kdy hodnota aktuální rychlosti je nižší než limitní hodnota. Tato funkce nezasahuje do regulačního procesu pohonu. Výstupem je bezpečný dvoukanálový signál přivedený na svorky bezpečnostních výstupů, které jsou sepnuty v případě, že rychlost se nachází pod limitní hodnotou zadanou v parametrech p9346 a p9546. Limitní hodnota je platná pro oba směry pohybu, v případě, že je zadána nulová hodnota, je funkce neaktivní. Podmínkou je uvolnění této funkce v parametrech p9301 a p9501.



Obr. 5-16 Nastavení bezpečnostní funkce SSM v prostředí Scout/Starter

V případě požadavku, aby *SSM* byla aktivní monitorovací funkcí, je nutné uvolnit funkci hystereze a proporcionálního filtru se zpožděním 1. řádu v parametrech p9301.16 a p9501.16. Velikost hystereze se nastavuje v parametrech p9347 a p9547 a její hodnota musí být nejvýše polovina limitní hodnoty rychlosti v parametrech p9346 a p9546. Nastavením časové hodnoty filtru v parametrech p9345 a p9545 se dosáhne vyhlazení výstupního signálu.

Pro úplnost zde ještě uvedu další bezpečnostní funkce, které sice nejsou použity v řešené aplikaci, ale jsou součástí bezpečnostních funkcí pohonů řady Sinamics S120.

SBR (Safe Brake Ramp) je funkce sloužící k bezpečné kontrole brzdné rampy. Je součástí funkce *SDI (Safe Direction)* a funkcí *SSI* a *SLS* v případě použití pohonu bez zpětnovazebního snímače. Po aktivaci funkcí *SSI* nebo *SLS* s použitím omezení žádané rychlosti je vyvoláno zastavení OFF3 a po uplynutí nastavitelné časové prodlevy je aktivována funkce *SBR*. V případě *SSI* do dosažení hodnoty rychlosti, při které přejde pohon do stavu *STO* a v případě *SLS* do dosažení limitní hodnoty rychlosti dalšího stupně. Strmost rampy se nastavuje pomocí parametrů referenční rychlosti (p9381 a p9581) a času zpomalení (p9383 a p9583). Reakce pohonu na překročení nastavené brzdné rampy je vykonání zastavení pohonu STOP A a současně dojde k aktivaci bezpečnostního alarmového hlášení.

SDI (Safe Direction) umožňuje bezpečnou kontrolu směru pohybu motoru. Pokud je tato funkce aktivní, je umožněn pohyb pouze jedním bezpečným směrem. Bezprostředně po aktivaci této funkce následuje časová prodleva, během které je možné provést opatření, aby se pohon pohyboval pouze bezpečným směrem. Po uplynutí této prodlevy je funkce *SDI* aktivní a při porušení bezpečného směru následuje zastavení, jehož typ lze nastavit v parametrech p9366 a p9566. Bezpečný směr je určen pomocí signálů *SDI +* a *SDI -*, v parametrech p10030[0-3] a p10031[0-3] lze k nim přiřadit jejich zdroje signálů, což mohou být bezpečnostní vstupy nebo signály z telegramu PROFIsafe. Při aktivaci *SDI* lze nastavit absolutní omezení žádané rychlosti pohybu. Při volbě pozitivního bezpečného směru je hodnota omezení žádané rychlosti v negativním směru nulová a naopak.

SLP (Safely-Limited Position) zabráňuje překročení limitních hodnot polohy. Slouží k bezpečné kontrole polohy osy v rámci dvojice povolených prostorů vymezených limitními hodnotami definovanými v parametrech p9334 a p9534 pro jeden prostor a p9335 a p9535 pro druhý prostor. Volba prostoru s aktivací funkce *SLP* se provádí prostřednictvím bezpečného signálu. Při vyjetí mimo vymezený prostor následuje bezpečné zastavení pohonu, jehož typ lze nastavit v parametrech p9362 a p9562. Předpokladem pro použití této funkce je, aby byl pohon vybaven jedním nebo dvěma bezpečnými snímači polohy a bylo provedeno jejich bezpečné zreferování.

Tato funkce se využívá například v aplikacích s manipulátory, kdy je nutný vstup obsluhy do pracovního prostoru během automatického cyklu, aniž by bylo možné jeho přerušování. Jedná se zejména o ruční zakládání a vyjímání výrobků v době, kdy manipulátor obsluhuje jinou část technologie.

5.3.4 Rozšíření telegramu o „Safety-Datablock“

Při použití rozšířených bezpečnostních funkcí s modulem TM54F je nutné provést rozšíření PROFIdrive telegramu mezi řídicí jednotkou pohonů CU a nadřazeným systémem Simotion. Každý pohon v sestavě komunikuje s nadřazeným systémem pomocí svého vlastního telegramu. V případě této aplikace jsou použity telegramy 105, rozšířené o Safety-Datablock o délce 3 slov (WORD) ve směru z pohonu do řídicího systému Simotion. Nejedná se o bezpečnostní signály. V prvním stavovém slově (Safety Status Word) jsou přenášeny informace o stavu jednotlivých bezpečnostních funkcí a v následujících dvou slovech jsou přenášeny hodnoty aktivního omezení rychlosti při volbě bezpečnostní funkce *SLS*.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Int. Event	Rezervováno	Rezervováno	Rezervováno	Rezervováno	Rezervováno	Rezervováno	Rezervováno	SSM aktivní	Rezervováno	Rezervováno	SLS aktivní	SOS aktivní	SS2 aktivní	SS1 aktivní	STO aktivní
r 2139.5								r 9722.15			r 9720.4	r 9722.11	r 9722.2	r 9722.1	r 9722.0

Obr. 5-17 Stavové slovo rozšířené části telegramu

5.3.5 Akceptační test bezpečnostních funkcí pohonů

Po dokončení konfigurace bezpečnostních funkcí pohonů je nutné provést ověření jejich konfigurace a odzkoušení. Tento požadavek je dán normou ČSN EN 61800-5-2, konkrétně v článku 7.1. Části, které musí obsahovat protokol o provedené zkoušce jsou uvedeny v kapitole 4.3.2.

Při použití bezpečnostních funkcí v pohonech Sinamics S120 je tento požadavek splněn provedením akceptačního testu, který slouží k přezkoušení bezpečnostních funkcí, ověření jejich korektního nastavení a jeho provedením je možné odhalit eventuální chyby jejich parametrizace. Softwarový nástroj Scout/Starter umožňuje provedení akceptačního testu pomocí skriptu, který

provede krok po kroku testem všech použitých bezpečnostních funkcí a jehož výstupem je protokol o provedených zkouškách obsahující všechny náležitosti uvedené v normě ČSN EN 61800-5-2.

Po spuštění skriptu a vyplnění hlavičky se vygeneruje dokument ve formátu xls, do kterého jsou již automaticky přeneseny údaje o hardwarové konfiguraci pohonů včetně verzí firmwarů, hodnoty bezpečnostně relevantních parametrů všech pohonů, kontrolní součty a vygenerují se tabulky testů všech aktivních bezpečnostních funkcí. Do těchto tabulek se během provádění testů přenášejí výsledky jednotlivých fází testů bezpečnostních funkcí a v případě rozšířených bezpečnostních funkcí i záznamy z jednotlivých měření. Po ukončení testu musí být protokol vytištěn, podepsán a archivován jako doklad o provedených zkouškách v rámci procesu posouzení shody.

X_osa		
Acceptance test for Safe Stop 1, time controlled (SS1) only FW2.6.1		
Table: "Safe Stop 1" function (SS1)		
No.	Description	Status
Note:		
The acceptance test must be individually conducted for each configured control.		
The control can be realized via terminals or via PROFIsafe.		
1.	Initial state	
	• Drive in "Ready" state (p0010 = 0)	OK
	• STO function enabled (on-board terminals p9601.0 = 1)	OK
	• Enable SS1 function (p9652 > 0)	OK
	• No Safety faults and alarms (r0945[0...7], r2122[0...7]); see note "non-critical alarms" in section Acceptance tests".	OK
	• r9773.0 = r9773.1 = 0 (STO deselected and inactive – drive)	OK
	• r9773.2 = 0 (SS1 inactive – drive)	OK
	• r9774.0 = r9774.1 = 0 (STO deselected and inactive - group); only relevant for grouping	OK
	• r9774.2 = 0 (SS1 inactive - group); only relevant for grouping	OK
2.	Run the drive.	
	Check whether the correct drive is operational.	OK
	Select SS1 when you issue the traversing command and check the following:	
	• The drive is braked along the OFF3 ramp (p1135).	OK
	Before the SS1 delay time (p9652, p9852) expires, the following applies:	
	• r9773.0 = r9773.1 = 0 (STO deselected and inactive – drive)	OK
	• r9773.2 = 1 (SS1 active – drive)	OK
	• r9774.0 = r9774.1 = 0 (STO deselected and inactive - group); only relevant for grouping	OK
	• r9774.2 = 1 (SS1 active - group); only relevant for grouping	OK
	STO is initiated after the SS1 delay time expires (p9652, p9852).	
	• No safety faults and alarms (r0945[0..7], r2122[0..7])	OK
	• r9773.0 = r9773.1 = 1 (STO selected and active – drive)	OK
	• r9773.2 = 0 (SS1 active – drive)	OK
	• r9774.0 = r9774.1 = 1 (STO selected and active - group); only relevant for grouping	OK
	• r9774.2 = 1 (SS1 active - group); only relevant for grouping	OK
3.	Canceling SS1	
	• No safety faults and alarms (r0945[0..7], r2122[0..7])	OK
	• r9773.0 = r9773.1 = 0 (STO deselected and inactive – drive)	OK
	• r9773.2 = 0 (SS1 inactive – drive)	OK
	• r9774.0 = r9774.1 = 0 (STO deselected and inactive - group); only relevant for grouping	OK
	• r9774.2 = 0 (SS1 inactive - group); only relevant for grouping	OK
4.	Acknowledge "switch-on inhibit" and run the drive.	
	Ensure that the correct drive is running.	OK

Obr. 5-18 Příklad protokolu testu bezpečnostní funkce SS1

5.4 Realizace bezpečnostních funkcí v pneumatickém a hydraulickém systému

Požadavky na vykonání bezpečnostních funkcí je nutné zohlednit i při návrhu pneumatických a hydraulických obvodů. Z provedeného posouzení rizik a následného určení požadované úrovně vlastností vyplynulo, že pro oba systémy je dostatečná požadovaná úroveň vlastností $PL_r = b$. Předpokladem pro dosažení této úrovně je použití komponentů splňujících požadavky na pravděpodobný výskyt nebezpečné chyby za hodinu. Výběr komponentů a navržená architektura byly ověřeny pomocí nástroje Sistema.

5.4.1 Pneumatický systém

Jak již bylo zmíněno, pro dosažení požadované úrovně vlastností PL_r je důležitý výběr komponentů, ze kterých se mají bezpečnostní obvody skládat. Pro danou aplikaci byly zvoleny komponenty značky Festo, a to nejen z důvodu jejich vysoké technické úrovně, ale i z důvodu rozsáhlé technické podpory. Firma Festo poskytuje v oblasti bezpečnostních aplikací ke svým výrobkům knihovny prvků s bezpečnostními daty použitelnými nástrojem Sistema, což je podmínka pro výběr komponentů použitých v bezpečnostních aplikacích. Dále je k dispozici bezpečnostní manuál [18], ve kterém je uvedena řada vzorových zapojení, které lze využít při návrhu pneumatických obvodů.

Pneumatický systém splňující požadavky úrovně vlastností $PL_r = b$ musí být na přívodu stlačeného vzduchu vybaven odvětrávacím ventilem s pomalým nárůstem tlaku. Při aktivaci funkce nouzového zastavení dojde k vypnutí odvětrávacího ventilu a odtlakování systému. Při opětovném sepnutí ventilu funkce pomalého nárůstu tlaku zamezí případným prudkým pohybům pneumatických pohonů.

Použitím a vyhodnocením zpětné vazby o stavu pneumatického systému lze docílit zvýšení kategorie architektury pneumatického systému dle ČSN EN ISO 13849-1 z kategorie 1 na kategorii 2. Tuto zpětnou vazbu lze zprostředkovat buď pomocí spínače kontrolující polohu šoupěte odvětrávacího ventilu, nebo pomocí tlakového spínače pneumatického systému umístěného za odvětrávacím ventilem. Zpětná vazba je realizována tak, že rozpínací kontakt je zapojen na vstup bezpečnostního logického modulu. Při použití tlakového spínače musí být bezpečnostní modul schopen akceptovat zpoždění způsobené reakční dobou celého řetězce.

Aby bylo možné dosáhnout okamžitého zastavení i u pneumatických pohonů a nedocházelo k jejich propadu v případě, že nejsou umístěny v horizontální poloze, pak je nutné použít elektricky ovládané ventily typu 5/3 s uzavřenou středovou polohou. Pokud není na cívky ventilu přiveden ovládací signál, ventil přepíná do své střední polohy pomocí pružin a ventil je uzavřen. Pneumatický pohon a vedení mezi pohonem a ventilem zůstává pod tlakem.

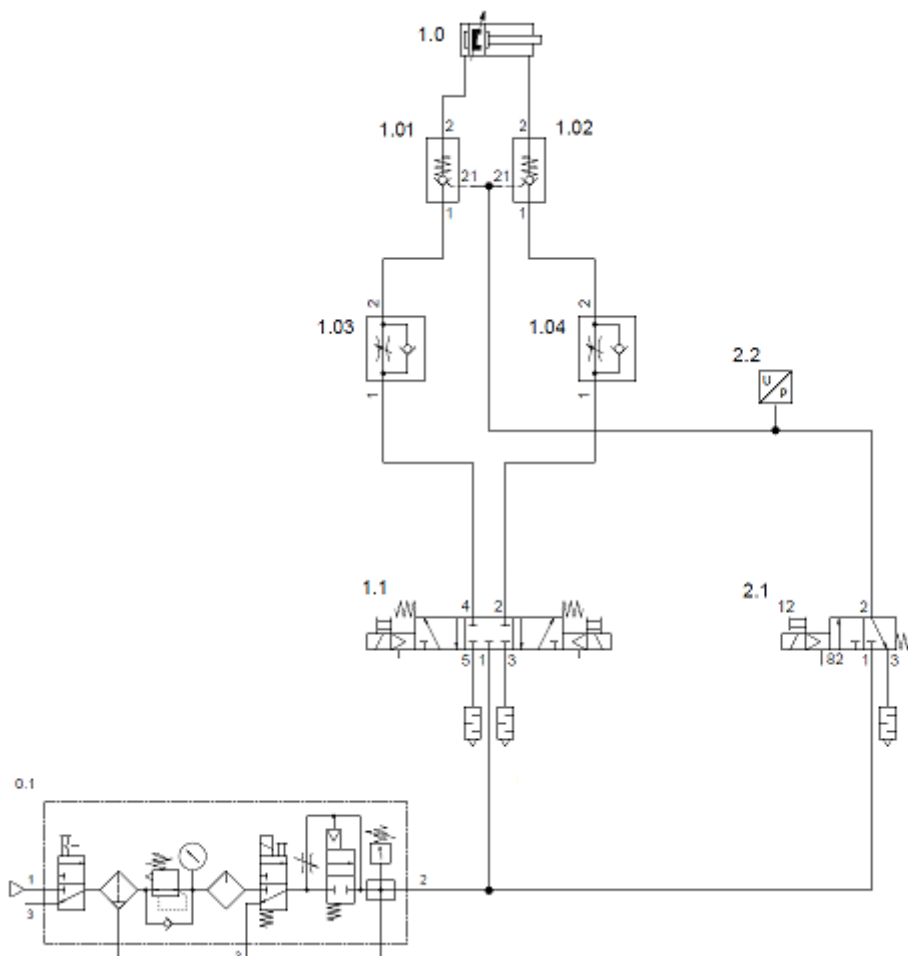
V případě aktivace bezpečnostní funkce nouzového zastavení dojde k odpojení přívodu stlačeného vzduchu a odtlakování systému přes odvětrávací ventil a zároveň je odpojeno napájení všech cívek elektricky ovládaných ventilů. Tímto je dosaženo okamžitého zastavení pneumatického pohonu.

Při aktivaci dalších bezpečnostních funkcí, které souvisí se stavem ochranných krytů nebo seřizovacím režimem zůstává odvětrávací ventil sepnutý a pneumatický systém pod tlakem, a to z důvodu, aby nebyl systém odtlakován při každém otevření krytů. Bezpečnostní funkce jsou realizovány odpojením napájení pro cívky elektricky ovládaných ventilů příslušných pohonů, které se poté navrátí do uzavřené středové polohy. Tím dojde opět k zastavení pohybu pohonu.

Pokud by však byly použity mechanismy poháněné pneumatickými pohony, u nichž by byla na základě rizikové analýzy vyžadována vyšší požadovaná úroveň vlastností PL_r , potom by bylo nutné provést zapojení pneumatických obvodů s dvoukanálovou architekturou odpovídající kategorii 3.

Příklad řešení takového pneumatického obvodu s dosaženou úrovní vlastností $PL = d$, je znázorněn na Obr. 5-19. V tomto zapojení je na přívodu stlačeného vzduchu instalována kombinovaná jednotka úpravy vzduchu označená 0.1, obsahující odvětrávací ventil a ventil zajišťující pomalý nárůst tlaku po opětovném sepnutí. Tato jednotka je ještě doplněna o tlakový spínač s přepínacím kontaktem. Architektura obvodu pneumatického pohonu 1.0 je dvoukanálová. Jeden kanál tvořen ventilem 1.1, který je typu 5/3 s uzavřenou středovou polohou. Druhý kanál je tvořen pneumaticky ovládanými zpětnými ventily 1.01 a 1.02 montovanými přímo na pneumatický pohon, které jsou ovládané ventilem 2.1. V případě odpojení ovládacího vzduchu pro tyto zpětné ventily dojde k jejich uzavření a

okamžitému zastavení pohybu pohonu. Funkce ventilu 2.1 je monitorována snímačem tlaku 2.2 a vyhodnocována v logické části bezpečnostních obvodů.[18]



Obr. 5-19 Zapojení pneumatického pohonu odpovídající úrovni vlastností PL=d a kategorii 3

5.4.2 Hydraulický systém

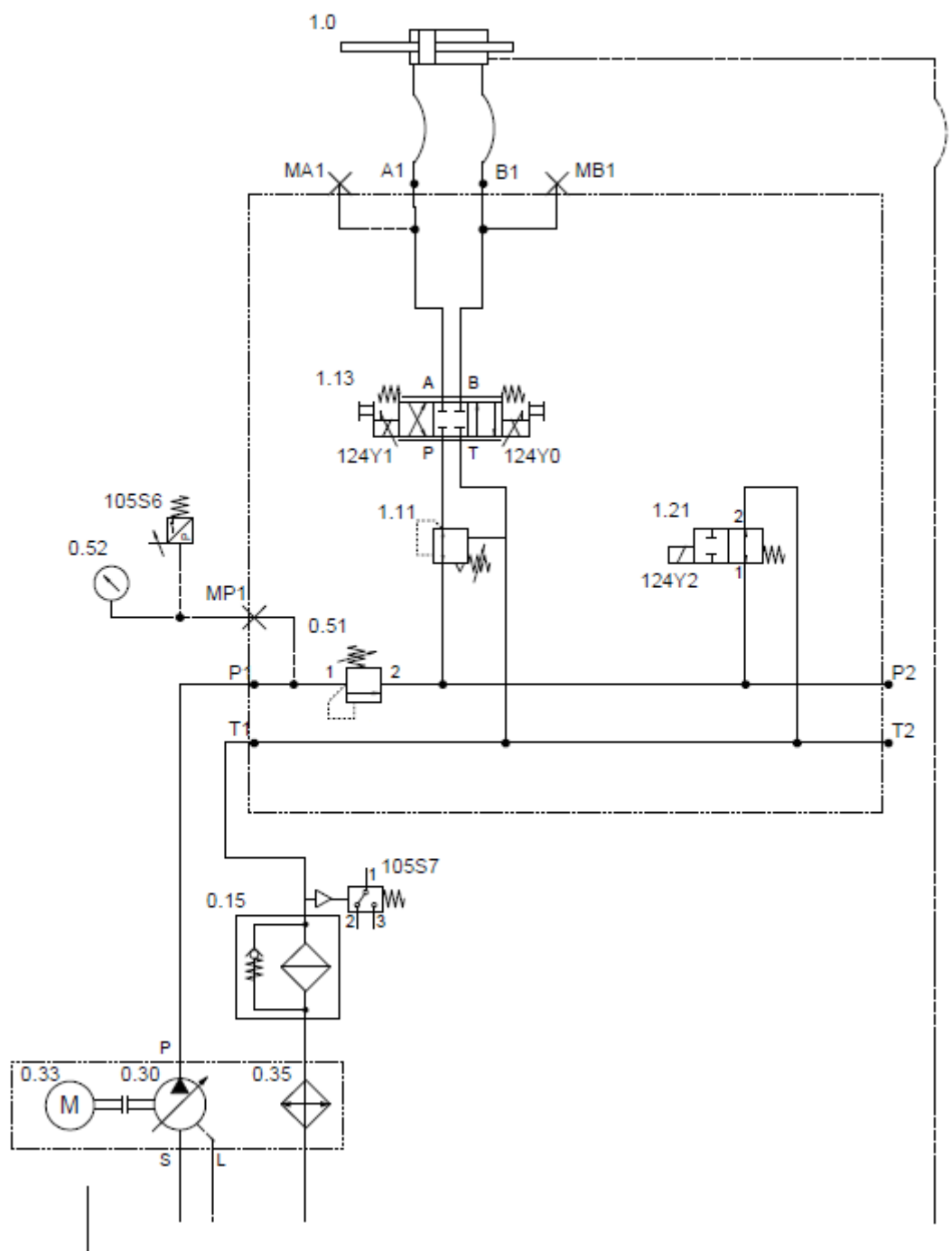
Hydraulický systém slouží k ovládání upínacího mechanismu obrobku, konkrétně se jedná o ovládání kleštiny upnutí obrobku umístěné v hlavním vřetení stroje. Schéma zapojení hydraulického obvodu je na Obr. 5-20. Jako zdroj energie je použito přímo řízené lamelové čerpadlo poháněné asynchronním motorem. Pohyb upínacího mechanismu je realizován prostřednictvím rotačního hydraulického válce VNK 102-46 od firmy SMW Autoblok. Tento válec je ovládán směrovým proporcionálním ventilem 1.13 s uzavřenou středovou polohou a se snímáním polohy šoupěte. Na výtlačku čerpadla je zapojen tlakový omezovací ventil 0.51 a ventil sloužící k odtlačování systému 1.21 plnící bezpečnostní funkci. Hydraulický systém je ještě osazen ve větvi upínacího válce redukčním ventilem 1.11 sloužícím k nastavení upínacího tlaku. Na zpětné větvi na vstupu do tanku je ještě zapojen filtr oleje a vzduchový chladič oleje.

Pro určitou část výrobního programu je nutné upínat polotovary v poloautomatickém režimu při otevřených krytech a v tomto případě není možné podmiňovat pohyb volbou seřizovacího režimu a aktivací souhlasového spínače. Na existenci tohoto zbytkového rizika je nutné upozornit v návodu k obsluze a potenciální místo zranění označit výstražným piktogramem. Rovněž je nutné seznámit obsluhu stroje s tímto zbytkovým rizikem.

Bezpečnostní funkce nouzového zastavení je řešena v rámci hydraulického systému tak, aby byla zajištěna redundance ovládacích prvků. Při aktivaci této funkce dojde k odpojení motoru čerpadla hydraulického agregátu přes dvojici stykačů a odtlačování systému přes ventil 1.21. Zároveň dojde

k odpojení napájení cívek proporcionálního ventilu a jeho návratu do středové polohy. Naproti tomu ovládání funkce upínání obrobku jak při uzavřených nebo otevřených krytech je závislá pouze na směrovém proporcionálním ventilu 1.13. Z tohoto důvodu je celková dosažená úroveň vlastností hydraulického systému $PL = c$. Tato dosažená úroveň vlastností však převyšuje požadovanou úroveň vlastností $PL_r = b$ vyplývající z posouzení rizik pro tento subsystém.

Ventily ovlivňující bezpečnostní funkce musí splňovat určité podmínky, mezi něž patří dostatečné překrytí šoupěte, odpružený návrat do středové polohy pomocí dostatečně odolné pružiny a u směrových ventilů je vyžadováno snímání polohy šoupěte. V aplikaci byly použity komponenty od firmy Bosch, ke kterým jsou k dispozici bezpečnostní data a návrh obvodů byl ověřen nástrojem Sistema.



Obr. 5-20 Schéma zapojení hydraulického systému

6 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem popsal návrh a realizaci řídicího systému jednoúčelového obráběcího stroje. Řešení bylo prakticky zrealizováno na několika exemplářích obráběcích strojů, stejně jako alternativní řešení s řídicím systémem Sinumerik, které jsem v této práci také okrajově zmínil. V rámci realizačního týmu jsem řešil projekt elektrické části stroje, návrh a nastavení pohonů a tvorbu programu pro řídicí systém Simotion.

V úvodní části práce se zabývám porovnáním možných variant řešení, výběrem komponentů a hardwarovou konfigurací systému. V části věnované softwarovému řešení jsem uvedl některé dílčí části programu, zejména je zde naznačen způsob řešení interpretu obráběcího programu. Popsal jsem jeho strukturu, význam některých příkazů, způsob jeho zpracování v automatickém cyklu a realizaci polohovacích úloh převedených do souřadného systému stroje.

V praxi byla ověřena funkčnost obou variant řešení a byly potvrzeny argumenty pro jejich volbu. Nespornou výhodou řešení s řídicím systémem Simotion je jeho nižší cena oproti řešení na platformě CNC řídicího systému. Jeho nasazení se zejména osvědčilo v hromadné výrobě při více než deseti tisícových výrobních dávkách a časech potřebných na výrobu jednoho kusu často kratších jak 10s. Díky poměrně jednoduché možnosti naprogramovat elektronické vačky lineárních os křížového stolu, které jsou využívány k řízení pomocných funkcí paralelně s přejezdy v závislosti na jejich okamžité poloze, bylo dosaženo i zkrácení výrobních časů o 5 až 10%, což při výše zmíněných výrobních dávkách přináší další finanční efekt.

K již zmíněným nevýhodám tohoto řešení patří a omezený počet funkcí řídicího systému nižší uživatelský komfort jeho ovládacího rozhraní a vizualizace. Toto je dáno skutečností, že v rámci řídicího systému Sinumerik jsou tyto funkce již hotové a v případě kombinace řídicího systému Simotion s panelem MP377 bylo nutné vše naprogramovat. Z této skutečnosti vyplývají určitá omezení na složitost obrobku a editoru obráběcích programů. Zde je nutné ovšem podotknout, že cílem řešení nebylo nahradit CNC systém se všemi jeho možnostmi, ale pokusit se najít alternativní řešení řízení atypického obráběcího stroje určeného k obrábění poměrně jednoduchých součástí a pro který zůstane velká část možností CNC systému této třídy nevyužita.

Značnou pozornost jsem v této práci věnoval otázce realizace bezpečnosti stroje. Návrh bezpečnostních funkcí a obvodů je proveden tak, aby byl v souladu s evropskou legislativou. Je zde popsán způsob určení požadované úrovně bezpečnosti stroje a na ni navazující návrh architektury bezpečnostních obvodů. Logická část bezpečnostních obvodů je realizována pomocí softwarově konfigurovatelného bezpečnostního modulu, jehož popisu a konfiguraci jsem se věnoval poměrně podrobně, stejně jako využití a konfiguraci integrovaných bezpečnostních funkcí v regulovaných elektrických pohonech. Posouzení rizik a z něj vyplývající určení požadované úrovně bezpečnosti bylo provedeno pro každý zdroj rizika samostatně, což se projevilo odlišnou požadovanou úrovní bezpečnosti obvodů elektrických pohonů, kde jsou požadavky vzhledem k potenciálním rizikům nejprísnější a naproti nim řešení pneumatických a hydraulických obvodů s nižšími požadavky na úroveň bezpečnosti doplněné o ukázkou možností jejího zvýšení.

Zde popsané postupy řešení bezpečnostních funkcí mohou sloužit jako ukázka praktické aplikace legislativních požadavků a použitých norem, přičemž je nutné vždy ještě zohlednit konkrétní požadavky na určitý typ strojních zařízení. Správnost uvedeného postupu byla ověřena v rámci procesu posouzení shody každého realizovaného stroje zakončeném vystavením „ES prohlášení o shodě“ a označením stroje značkou CE.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÁČNÝ, Josef. *Elektrické pohony*. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [2] WEIDAUER, Jens. *Elektrische Antriebstechnik*. Berlin und München : Siemens AG, 2008. ISBN 978-3-89578-308-1.
- [3] ČSN EN ISO 12100: 2011. Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [4] ČSN EN ISO 13849-1: 2007. Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 60204-1: 2007. Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] ČSN EN 61800-5-2: 2008. Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 5-2: Bezpečnostní požadavky – Funkční. Český normalizační institut, 2008.
- [7] *SINAMICS - Low Voltage Projektierungshandbuch*. Version 6.0 - Juni 2010 : Siemens AG, 2010.
- [8] *Sinamics S120 Booksize Power Units Manual*. Siemens AG, 01/2012.
- [9] *Sinamics S120 Safety Integrated Function Manual*. Siemens AG, 01/2012.
- [10] *Sinamics S120 Control Units and additional system components*. Siemens AG, 01/2012
- [11] *Sinamics S120/150 List Manual*. Siemens AG, 01/2011.
- [12] *Sinumerik 840D sl/840Di sl Operator Components and Networking*. Siemens AG, 03/2010.
- [13] *Sinumerik 840D sl, Sinamics S120 Guidelines for machine configuration*. Siemens AG, 10/2009.
- [14] *Simotion Runtime Basisfunktionen Funktionshandbuch*: Siemens AG, 02/2012
- [15] *Simotion D4x5 Manual*: Siemens AG, 02/2012
- [16] *Školení SIMOTION*: Simex Control, s.r.o. Vsetín, 06/2007.
- [17] *PNOZmm0p: Bedienungsanleitung*. PILZ GmbH & Co KG, 2011. 1001274-DE-04, 2011-10.
- [18] *Safety engineering guidelines: Pneumatic and electric solutions*. Festo, 03/2013
- [19] KVÁČ, J. Bezpečnost strojních zařízení a Safety Evaluation Tool. In *Cyklus seminářů TIA na dosah, Siemens, září 2010* [online]. 2010 [cit. 2014-07-10]. Dostupný na [www: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Pages/archiv2010.aspx](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Pages/archiv2010.aspx)
- [20] HEINEMANN, Gerhard; Müller, Andreas: Antriebsplattform. *A&D KOMPENDIUM 2005/2006*, p111-114. [online]. 2006 [cit. 13. října 2014]. Dostupné na http://www.aud24.net/pi/index.php?StoryID=1170&p=mJ3rC2nsGxWFBanjU.jGmQF3Ccl_ExJkcClnMfiMg3pRUO0RLjeEtTqn_g.G@7ABhBka-RnmMeuMx9qERG9V9fgBb8pccYFCd-.TUExpAOBf7WzQ_i3Gw.AFnetBb8y