



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Univerzální laboratorní PLC úloha se zaměřením na Safety technologii

Bakalářská práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

B0714A270001 Mechatronika

Jan Hrnčíř

Ing. Martin Diblík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





Zadání bakalářské práce

Univerzální laboratorní PLC úloha se zaměřením na Safety technologii

Jméno a příjmení: Jan Hrnčíř
Osobní číslo: M19000079
Studijní program: B0714A270001 Mechatronika
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: 2021/2022

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte koncepci laboratorní úlohy s PLC technikou BR-Automation, seznamte se s mechanickým uspořádáním, elektroinstalací a jednotlivými automatizačními prvky.
2. Na základě zjištěných informací realizujte dvě identické úlohy. Sestavte mechanický rám, osadte automatizační komponenty, realizujte jejich elektrické propojení.
3. Ve vývojovém prostředí BR Automation Studio navrhnete a realizujete program pro PLC automat. Software by měl demonstrovat základní funkcionality použitých automatizačních prvků.
4. V programu se zaměřte na názorné ukázky použití prvků používaných k zajištění funkční bezpečnosti průmyslových automatizačních systémů.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
30–40 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] JOHN, Karl-Heinz a Michael TIEGELKAMP. IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, decision-making aids. Second edition. Berlin : New York: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-12014-5
- [2] ROCKWELL AUTOMATION, INC. Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení. Zásady, normy, implementace (Revize 5 řady publikací Safebook). B.m.: Rockwell Automation, Inc., 2016. Strojní vybavení – safebook 5.
- [3] EUCHNER GMBH. SAFETYBOOK. An Introduction to Safety Engineering. 4th edition. B.m.: Euchner GmbH., 2018.
- [4] BR-AUTOMATION. Training materials.
- [5] MARTINÁSKOVÁ, Marie, Ladislav ŠMEJKAL, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STROJNÍ FAKULTA. Řízení programovatelnými automaty III: softwarové vybavení. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 978-80-01-02804-9.

Vedoucí práce:

Ing. Martin Diblík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

12. října 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

16. května 2022

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černožorský, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. října 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

20. března 2022

Jan Hrnčíř

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Martinu Diblíkovi Ph.D. za poskytnutí zajímavého tématu na bakalářskou práci, jeho ochotu a pomoc, které se mi při řešení této práce dostalo.

Univerzální laboratorní PLC úloha se zaměřením na Safety technologii

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem softwaru, sloužícího k demonstraci možností univerzální laboratorní úlohy s PLC technikou B&R Automation. Cílem bylo využít bezpečnostní prvky, které jsou součástí úlohy k realizaci pružné bezpečnostní aplikace. Vývoj aplikace probíhal v prostředích Automation Studia a SafeDESIGNERu, které jsou na softwareové rovině nástroji pro práci s technikou B&R. Automation Studio posloužilo k vytvoření standardního programu v jazyce ST, zatímco za pomoci SafeDESIGNERu vznikl bezpečnostní program v jazyce FBD. Vývoj se zakládal na paralelním návrhu a odlaďování programů pro bezpečnostní a standardní PLC, jelikož jedno bez druhého nemůže fungovat. Práce obsahuje mimo jiné funkční návrh programu pro oba PLC automaty, které společně s vizualizací dohromady tvoří bezpečnostní aplikaci, splňující požadované parametry.

Klíčová slova: laboratorní úloha, bezpečnostní aplikace, PLC, B&R, program, ST, FBD

Universal laboratory PLC stand with Safety technology focus

Abstract

This bachelor thesis deals with the development of software used to demonstrate the possibilities of a laboratory PLC stand with B&R components. The goal was to use the security features that are part of this stand to implement a flexible security application. The development took place in Automation Studio and SafeDESIGNER environments, which are software-level tools for working with B&R technology. Automation Studio was used to create a standard program in ST language, while SafeDESIGNER was used to create a safety program in FBD language. The development was based on parallel design and debugging of programs for safety and standard PLCs, as one cannot work without the other. The thesis contains, among other things, a functional program design for both PLCs. The program design, together with the visualization form a safety application that meets the required parameters.

Keywords: laboratory stand, safety application, PLC, B&R, program, ST, FBD

Obsah

Seznam zkratek	10
Seznam obrázků	11
Úvod	12
1 Problematika bezpečnosti strojních zařízení	13
2 Hardware	14
2.1 Řídicí systém	17
2.1.1 Procesor	17
2.1.2 Karta digitálních vstupů	18
2.1.3 Karta digitálních výstupů	18
2.1.4 Karta analogových vstupů	18
2.2 Bezpečnostní řídicí systém	19
2.2.1 Inteligentní programovatelný modul	19
2.2.2 Karta bezpečnostních digitálních výstupů	20
2.3 Pohony a řídicí jednotka	21
2.3.1 Servomotor	21
2.3.2 Řídicí jednotka	21
2.4 Bezpečnostní prvky	23
2.4.1 Tlačítko nouzového zastavení	23
2.4.2 Transpondérový blokovací spínač	23
2.4.3 Transpondérové blokovací zařízení s magnetickým jištěním	24
2.4.4 Světelný závěs	24
2.5 Vizualizace	25
2.5.1 Dotykový operátorský panel	25
2.6 Blokové schéma zapojení	25
2.7 Mechanické uspořádání	26
3 Software standardního PLC	28
3.1 Význam I/O bloku MpAxisBasic	28
3.1.1 Vstupy	28
3.1.2 Výstupy	29
3.2 Popis programu Motion	30
3.3 Popis programu Safety	34

4	Software bezpečnostního PLC	38
4.1	Význam I/O použitých funkčních bloků	38
4.1.1	Vstupy	38
4.1.2	Výstupy	40
4.2	Popis použitých funkčních bloků	41
4.2.1	SF_Equivalent	41
4.2.2	SF_EmergencyStop	42
4.2.3	SF_ESPE	43
4.2.4	SF_GuardLocking	44
4.2.5	SF_GuardMonitoring	45
4.2.6	SF_oS_MOTION_Basic_BR	46
4.3	Popis vlastního programu	48
4.3.1	Tlačítko nouzového zastavení	48
4.3.2	Světelný závěs	50
4.3.3	Blokovací zařízení s jištěním	52
4.3.4	Bezkontaktní blokovací spínač	54
4.3.5	Výběr bezpečnostního módu horního pohonu	55
4.3.6	Výběr bezpečnostního módu dolního pohonu	56
4.3.7	Aktivace bezpečnostní funkce Safe Torque Off	57
4.3.8	Podsvícení resetovacího tlačítka	58
5	Vizualizace	60
5.1	Pohony	61
5.2	Bezpečnostní prvky	61
	Závěr	63
	Použitá literatura	64
	A Přílohy	65

Seznam zkratek

FBD	Function Block Diagram, jazyk funkčních bloků
HMI	Human Machine Interface, rozhraní člověk-stroj
I/O	Input/Output, vstup/výstup
MSR	Monitoring Safety Relay, monitorovací ochranné relé
PL	Performance Level, úroveň vlastností
PLC	Programmable Logic Controller, programovatelný logický automat
SIL	Safety Integrity Level, úroveň integrity bezpečnosti
ST	Structured Text, jeden z jazyků určených k programování PLC
STO	Safe-Torque Off, integrovaná bezpečnostní funkce servopohonů B&R

Seznam obrázků

2.1	Laboratorní přípravek	14
2.2	Ukázka sestavení jednotlivých komponent I/O modulu řady X20 . . .	15
2.3	Řídicí systém	17
2.4	Bezpečnostní řídicí systém	19
2.5	Servomotory	21
2.6	Řídicí jednotka	22
2.7	Tlačítko nouzového zastavení ES11-SC4D8 značky SICK	23
2.8	Transpondérový blokovací spínač STR1-SAFM03P5 značky SICK . .	23
2.9	Transpondérové blokovací zařízení s magnetickým jištěním MLP1- -SMMA0AC značky SICK	24
2.10	Světelný závěs C4MT-01214ABB03BE0 značky SICK (jeden díl) . . .	24
2.11	Operátorský panel 6PPT30.0573-20W	25
2.12	Blokové schéma laboratorního přípravku	26
2.13	Mechanický rám laboratorního přípravku	27
3.1	Funkční blok MpAxisBasic	30
4.1	Funkční blok SF_Equivalent	41
4.2	Funkční blok SF_EmergencyStop	42
4.3	Funkční blok SF_ESPE	43
4.4	Funkční blok SF_GuardLocking	44
4.5	Funkční blok SF_GuardMonitoring	45
4.6	Funkční blok SF_oS_MOTION_Basic_BR	46
4.7	FBD program zajišťující funkci tlačítka nouzového zastavení	49
4.8	FBD program zajišťující funkci světelného závěsu	51
4.9	FBD program zajišťující funkci blokovacího zařízení s jištěním	53
4.10	FBD program zajišťující funkci bezkontaktního blokovacího zařízení .	55
4.11	FBD program pro výběr bezpečnostního módu horního motoru	56
4.12	FBD program pro výběr bezpečnostního módu dolního motoru	57
4.13	FBD program pro ovládání funkce Safe Torque Off	58
4.14	FBD program pro ovládání podsvícení resetovacího tlačítka	59
5.1	Vizualizace	60

Úvod

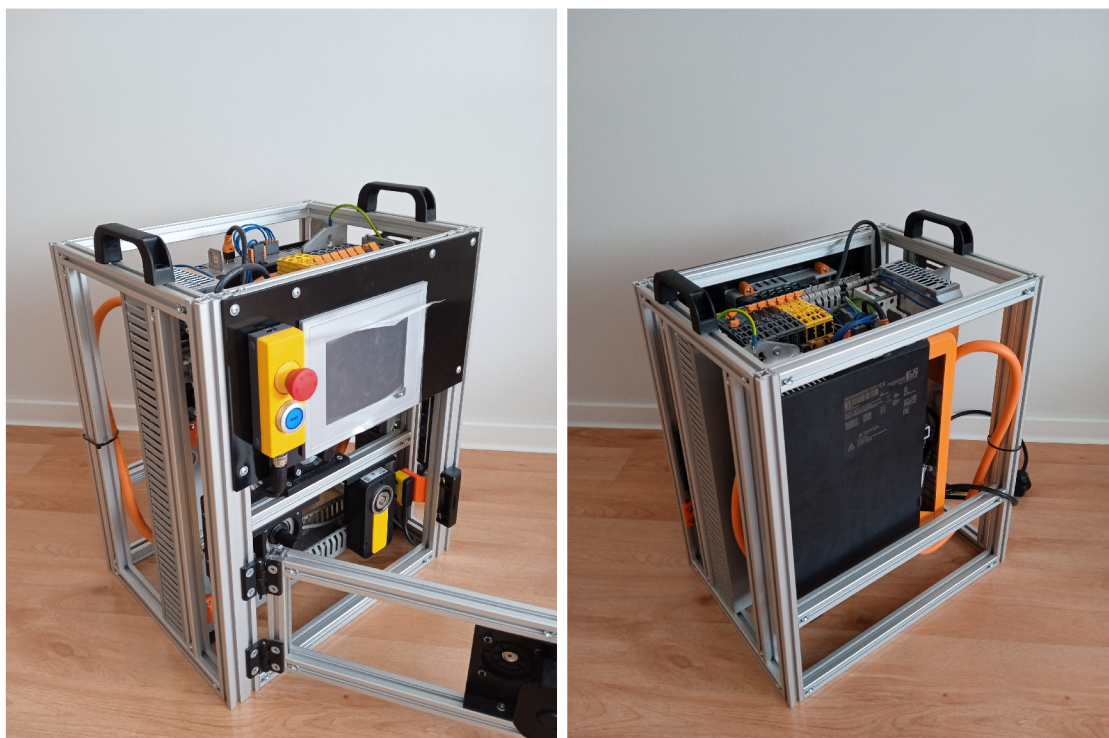
Motivací ke vzniku laboratorních přípravků s automatizačními a safety komponenty je vytvoření výukových pracovišť, na kterých bude možné realizovat široké spektrum PLC úloh. Úlohy mohou být charakteru práce s řídicím systémem, ovládání servopohonů, tvorby vizualizace nebo naprogramování bezpečnostní aplikace. Právě podání představy o tom, jak může vypadat software pro bezpečnostní aplikaci laboratorního přípravku je účelem této bakalářské práce. První kapitola nastiňuje problematiku bezpečnosti strojních zařízení, která je bez pochyb aktuální a je jedním z důvodů vzniku těchto výukových přípravků. Druhá kapitola popisuje hardware, kterým tyto přípravky disponují. Třetí, čtvrtá a pátá kapitola popisují vlastní vytvořený software. Vzniklá výuková pracoviště v budoucnu využije Ústav mechatroniky a technické informatiky FM TUL v rámci výuky předmětů MTI/PRA (programovatelné automaty) a MTI/EPS (elektrické pohony a servomechanismy). Dále by měly vytvářet prostor pro řešení semestrálních a kvalifikačních prací.

1 Problematika bezpečnosti strojních zařízení

Nejdůležitějším požadavkem na každý stroj je zajištění jeho bezpečnosti. Základní bezpečnostní požadavky na strojní zařízení a jejich používání jsou definovány legislativou. Jejich účelem je zajistit, aby byly stroje zkonstruovány a vyrobeny tak, aby bylo možné je používat, seřizovat a udržovat bez ohrožení zdraví a života osob během celé doby jejich životnosti. V ideálním případě by už samotná konstrukce tohoto stroje měla, pokud možno vylučovat všechna nebezpečí. Tam, kde to není možné je třeba použít doplňková ochranná zařízení, jako např. bezpečnostní spínače, světelné závěsy, laserové skenery a podobně. Jejich stav je vyhodnocován logickými zařízeními, která mohou mít podobu monitorovacích ochranných relé (MSR) nebo bezpečnostních PLC. Hlavní výhodou PLC je programovatelnost, a tedy mnohem vyšší flexibilita. K jejich programování je striktně využíván jazyk funkčních bloků (FBD). Ten totiž do značné míry brání programátorovi ve vlastním řešení bezpečnostních aplikací, které by mohlo být zdrojem chyb vedoucích k nebezpečnému chování. Užívané bloky musejí být samozřejmě certifikovány jako bezpečné příslušnou kontrolní autoritou. Logická i ochranná zařízení musí být zvolena a zapojena tak, aby splňovala požadavky na bezpečnostní úroveň systému. Tu lze zjistit po kvantifikaci rizika pomocí norem EN ISO 13849-1 [6] nebo IEC/EN 62061 [7]. V prvním případě je výstupem požadovaná úroveň vlastností PL, v druhém úroveň integrity bezpečnosti SIL. Jakákoli zbytková rizika přetrvávající i po nasazení bezpečnostního řídicího systému je nutno vyloučit osobními ochrannými pomůckami nebo proškolením personálu.

Problematika bezpečnosti strojních zařízení je velice rozsáhlá. Výše uvedený popis podává velmi stručný náhled. Zájemci si mohou bližší informace dohledat například v publikaci *Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení* [1], ze které vychází i tento stručný popis.

2 Hardware



(a) Levá a zadní strana

(b) Přední a levá strana

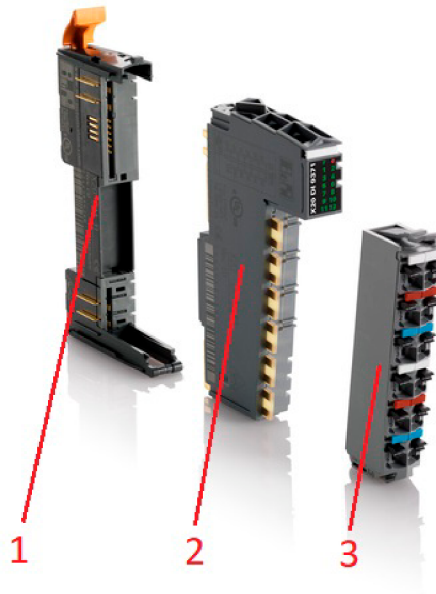
Obrázek 2.1: Laboratorní přípravek

Laboratorní přípravek (Obrázek 2.1) je přenosný kompaktní celek, tvořený automatizačními a bezpečnostními komponenty, které jsou uloženy v rámu o rozměrech $290 \times 450 \times 380$ mm. Jeho hardwareovou konfiguraci lze rozdělit do následujících okruhů.

Řídicí systém – standardní PLC

Řídicí systém tvoří komponenty z řady X20 od výrobce B&R. Základem je PLC automat typu Compact-S CPU. Ten je doplněn o I/O moduly, které jsou společně s napájecím modulem zprava připojeny k tělu vlastního PLC procesoru. Jmenovitě se jedná o moduly digitálních vstupů, digitálních výstupů a analogových vstupů. Každý komponent řídicího systému je zasazen do jemu příslušícího sběrnicového modulu. Ten jej připojuje k interní X2X-link komunikační sběrnici a zároveň je prů-

chozí i pro napájecí napětí 24 VDC. Každý modul je také potřeba osadit vhodným konektorem, který umožňuje připojení vnějších vodičů na jeho piny. Sestavení jednotlivých komponent, demonstrováno na I/O modulu řady X20 lze vidět na obrázku 2.2. Obrázek byl převzat ze stránek výrobce [3].



Obrázek 2.2: Ukázka sestavení jednotlivých komponent I/O modulu řady X20

pozice 1: sběrnice modul
pozice 2: modul elektroniky
pozice 3: konektor

Bezpečnostní řídicí systém – safety PLC

Bezpečnostní technologie je rovněž tvořena komponenty B&R z řady X20, a je tedy stejné koncepce. Roli safety PLC zastává inteligentní programovatelný modul. Ten je doplněn o modul bezpečných digitálních výstupů, který je zprava připojen k tělu vlastního safety PLC. Stejně jako komponenty řídicího systému jsou i bezpečnostní komponenty zasazeny ve sběrnice modulech, které je připojují na X2X-link komunikační sběrnici a zároveň jsou průchozí i pro napájecí napětí 24 VDC. Sběrnice moduly řídicího a bezpečnostního řídicího systému jsou společně propojeny a tvoří tak jeden funkční celek.

Pohony a řídicí jednotka

Každý přípravek disponuje dvěma třífázovými synchronními servomotory. Ty patří do řady kompaktních servomotorů 8LVA výrobce B&R. Řízení pohybu zajišťuje 2osá řídicí jednotka z řady ACOPOS P3 v provedení SafeMOTION, ke které je každý motor připojen jedním hybridním kabelem. Serva lze mimo jiné použít k demonstraci správné funkce ochranným zařízením v rámci bezpečnostní aplikace.

Bezpečnostní prvky

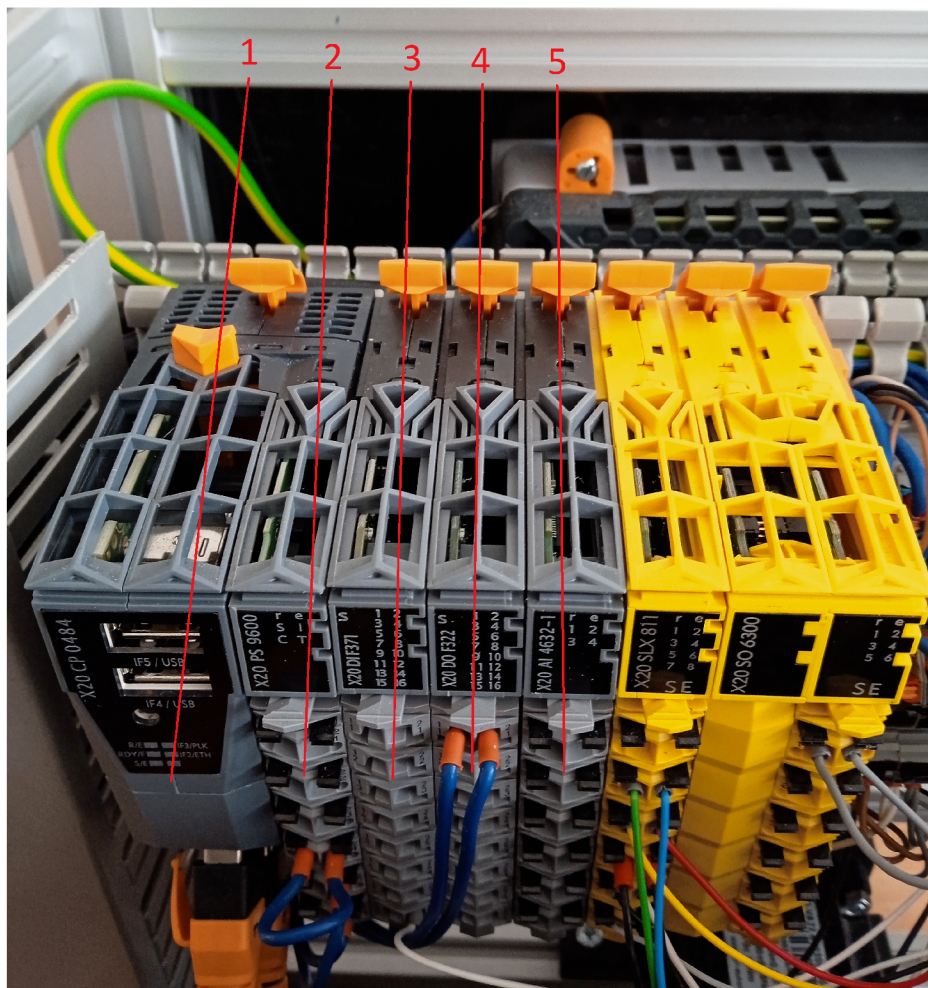
Aby bylo možné zařadit mezi univerzální laboratorní PLC úlohy i jednoduché bezpečnostní aplikace, je každý přípravek osazen 4 bezpečnostními prvky z portfolia značky SICK. Transpondérovým blokovacím spínačem, tlačítkem nouzového zastavení, modulem s magnetickým jištěním a světelným závěsem. První tři z vyjmenovaných spadají do kategorie blokovacích zařízení a poslední do optoelektronických ochranných senzorů. Všechny tyto prvky mají za úkol v případě potřeby vypnout aktivní servomotory nebo zabránit jejich spuštění v případě, že nejsou splněny požadavky pro jejich bezpečný provoz.

Vizualizace

Rozhraní člověk-stroj zajišťuje grafický dotykový panel řady T30 výrobce B&R. V rámci bezpečnostní aplikace slouží k zapínání/vypínání servomotorů a aktivaci/deaktivaci ochranných zařízení.

2.1 Řídicí systém

Blok komponent řídicího systému lze vidět na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Řídicí systém

- pozice 1: PLC procesor X20CP0484
- pozice 2: napájecí modul X20PS9600
- pozice 3: karta digitálních vstupů X20DIF371
- pozice 4: karta digitálních výstupů X20DOF322
- pozice 5: karta analogových vstupů X20AI4632-1

2.1.1 Procesor

Základ řídicího systému tvoří PLC procesor X20CP0484 řady X20 Compact-S. Ten je vybaven procesorem ARM Cortex-A9 s taktem 667 MHz, integrovaným I/O procesorem, 256 MB DDR3 RAM, 64 kB FRAM pro ukládání remanentních proměnných a 2 GB aplikační flash paměti. S POWERLINKem V2, Ethernetem 10/100 Base-T,

dvěma USB porty a rozhraním RS232 nabízí široké komunikační možnosti. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].

2.1.2 Karta digitálních vstupů

Modul digitálních vstupů X20DIF371 disponuje 16 kanály pro zpracování vnějších dvoustavových signálů. Jeho napájecí napětí odpovídá 24 VDC. Vstupní obvod typu sink umožňuje připojení periférií s pozitivní logikou pomocí jednoho vodiče. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].

2.1.3 Karta digitálních výstupů

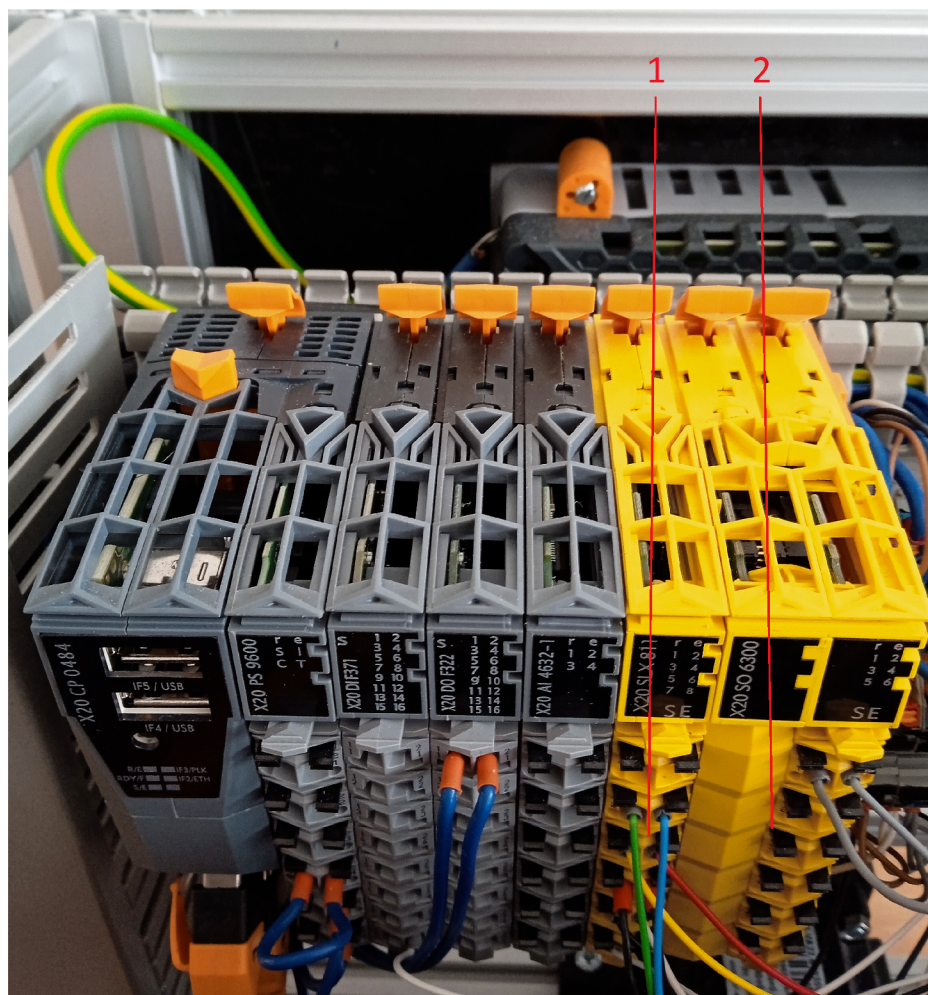
Modul digitálních výstupů X20DOF322 disponuje 16 kanály, kterými míří dvoustavový digitální signál z PLC do technologie. Ty se k výstupům připojují jedním vodičem. Napájecí napětí modulu je 24 VDC a výstupní napětí pro každý kanál činí 24 VDC -15 % / +20 %. Výstupní obvod je typu source, kdy ve stavu „zapnuto“ protéká proud přes spínací prvek z výstupu modulu do zátěže. Jeden výstup modulu lze zatížit proudem 0,5 A, celý modul poté 8 A. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].

2.1.4 Karta analogových vstupů

Modul analogových vstupů X20AI4632-1 disponuje 4 diferenčními vstupy pro zpracování vnějších analogových signálů. Převod spojitého elektrického signálu na diskrétní číselné vyjádření jeho hodnoty zajišťuje 16bitový analogově-digitální převodník. Konverze může probíhat na více vstupech simultánně. Modul dokáže pracovat jak s unipolárními proudovými (rozsah 0 až 22 mA), tak s bipolárními napěťovými signály (rozsah ± 11 V). Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].

2.2 Bezpečnostní řídicí systém

Blok komponent bezpečnostního řídicího systému je vidět na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Bezpečnostní řídicí systém

pozice 1: safety PLC X20SLX811

pozice 2: modul bezpečnostních digitálních výstupů X20SO6300

2.2.1 Inteligentní programovatelný modul

Základ bezpečnostního řídicího systému tvoří inteligentní programovatelný modul X20SLX811. Mezi hlavní výhody použití safety PLC oproti bezpečnostnímu relé patří programovatelnost bezpečnostních funkcí a mnohonásobně vyšší počet vyhodnocovacích vstupů. Dvoukanálové připojení jednoho bezpečnostního prvku vyžaduje právě 2 vstupy, což obvykle odpovídá počtu vstupů bezpečnostního relé. Pro srovnání, X20SLX811 nabízí 8 vyhodnocovacích vstupů s vstupním napětím v rozsahu 24 VDC -15% / $+20\%$ a 4 pulzní výstupy s unikátním pulzním signálem. Mezi

další pro nás zajímavé parametry patří vstupní obvod typu sink, dosažitelná úroveň integrity bezpečnosti SIL3 a dosažitelná úroveň vlastností PL e. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].

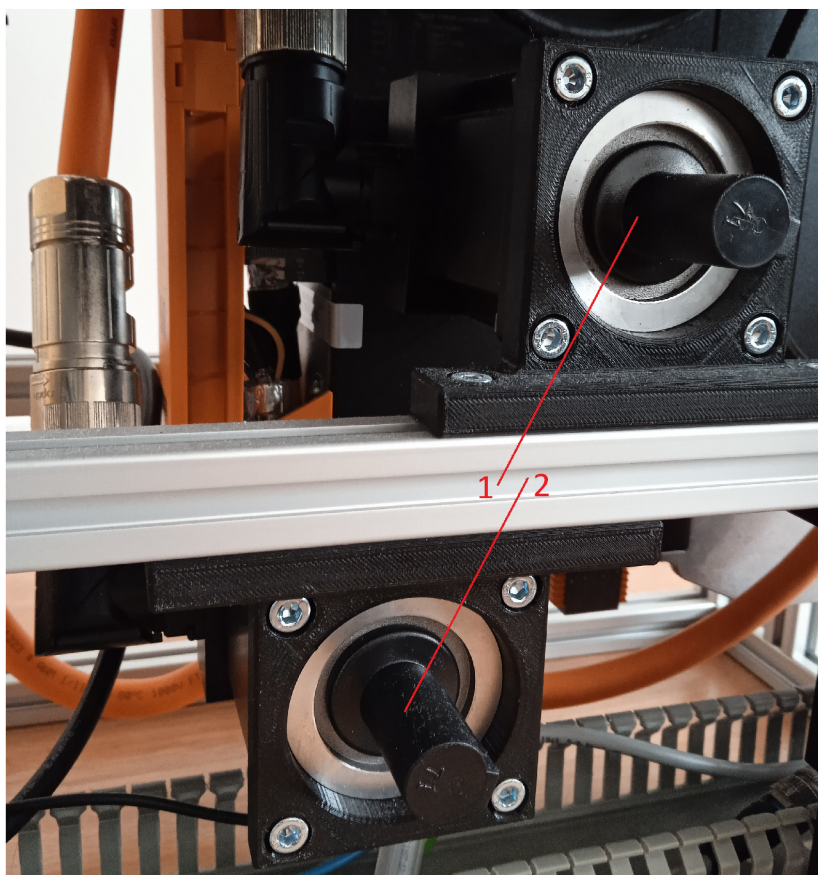
2.2.2 Karta bezpečnostních digitálních výstupů

Modul bezpečnostních digitálních výstupů X20SO6300 disponuje 6 polovodičovými výstupy typu B1, kterými může ovládat aktuátory v rámci bezpečnostních aplikací. Lze dosáhnout úrovně integrity bezpečnosti SIL3 a úrovně bezpečnosti PL e. Napájecí napětí modulu je 24 VDC -15 % / +20 % a jmenovité výstupní napětí pro každý kanál odpovídá 24 VDC. Výstupní obvod je typu source a maximální proudové zatížení jednoho kanálu odpovídá 0,2 A. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].

2.3 Pohony a řídicí jednotka

2.3.1 Servomotor

Třífázový synchronní servomotor 8LVA22.B8030S100-0 (Obrázek 2.5) patří mezi kompaktní motory řady 8LVA. Má čtyři pólové dvojice. Při jmenovitých otáčkách 3000 ot./min vytváří točivý moment 0,68 Nm a výkon na hřídeli odpovídá přibližně 214 W. Moment je přenášen tvarovým stykem díky hřídeli s perem. K řídicí jednotce ACOPOS P3 je v našem případě motor připojen jedním hybridním kabelem. Otočný htec konektor sdružuje výkonové připojení s digitálním EnDat 2.2 enkodérem. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].



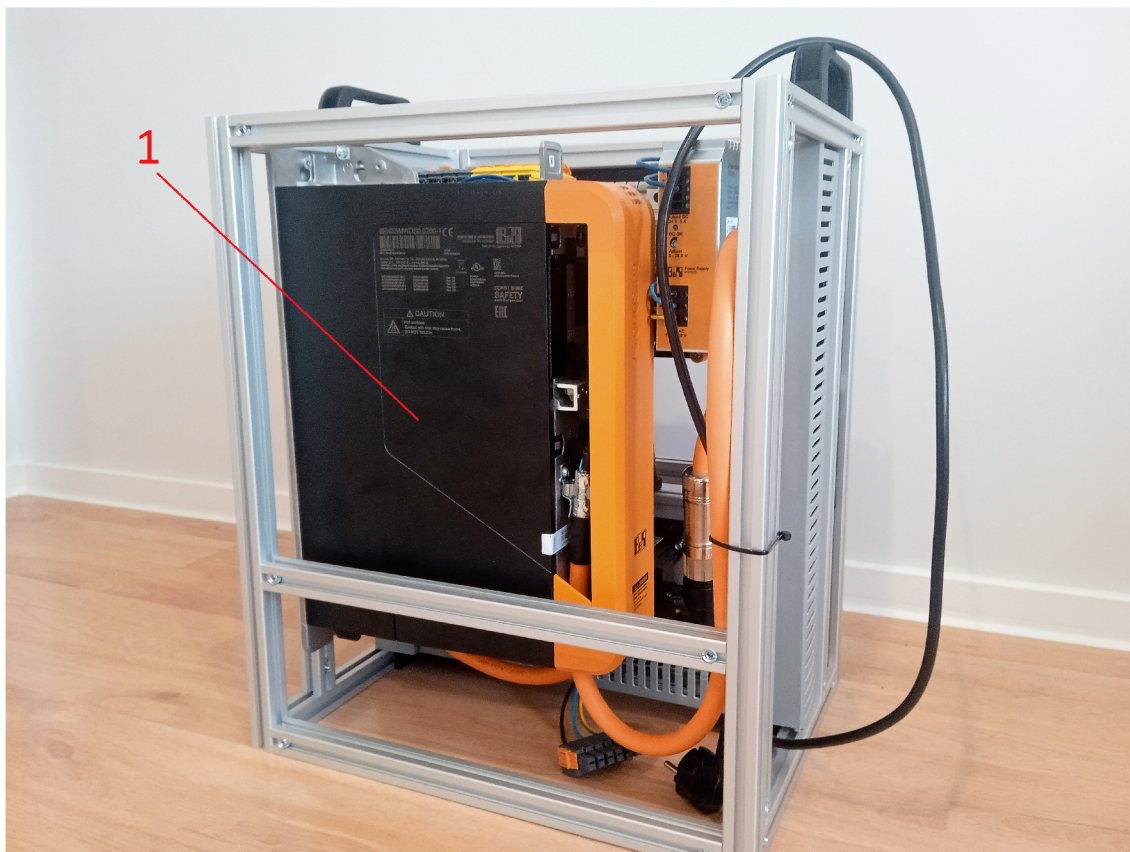
Obrázek 2.5: Servomotory

pozice 1,2: servomotory 8LVA22.B8030S100-0

2.3.2 Řídicí jednotka

Zosý servokontroler 8EI4X5MWDS0.0200-1 řady ACOPOS P3 v provedení Safe-MOTION (Obrázek 2.6). Jednotku lze připojit k soustavám TN-C a TN-C-S buď 1x 110 VAC až 230 VAC \pm 10 % nebo 3x 200 VAC až 230 VAC \pm 10 %. Její vnitřní elektronika je napájena 24 VDC. U jednoho motorového připojení by nemělo dojít

k překročení odebíraného proudu 4,5 A a výkonu 1 kW. Jednotka se k řídicímu systému připojuje rozhraním POWERLINK V2, jelikož disponuje jeho dvouportovým hubem. Motor se připojuje zvlášť enkodér a zvlášť výkonová část společně s brzdou a případně teplotním senzorem. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].



Obrázek 2.6: Řídicí jednotka

pozice 1: servokontroler 8EI4X5MWDS0.0200-1

2.4 Bezpečnostní prvky

2.4.1 Tlačítko nouzového zastavení

Tlačítko nouzového zastavení ES11-SC4D8 (Obrázek 2.7) patří do kategorie blokovacích zařízení, konkrétněji bezpečnostních ovládacích přístrojů. Má za úkol okamžitou deenergetizaci pohonů poté, co dojde k jeho zamáčknutí. Opětovné spuštění je možné po odaretování tohoto tlačítka a potvrzení chyby tlačítkem resetu. Zařízení je dvoukanálového redundantního provedení a nabízí 2 nucené rozpínací kontakty, 1 spínací kontakt (reset) a podsvícené resetovací tlačítko. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [4].



Obrázek 2.7: Tlačítko nouzového zastavení ES11-SC4D8 značky SICK

2.4.2 Transpondérový blokovací spínač

Transpondérový blokovací spínač STR1-SAFM03P5 (Obrázek 2.8) patří do kategorie blokovacích zařízení, konkrétněji bezdotykových blokovacích zařízení. Jeho úkolem je kontrola zavření branky na levé straně přípravku. Skládá se ze senzoru a aktuátoru. Aktuátor je umístěn z vnitřní strany branky tak, aby po jejím zavření skončil v oblasti detekce senzoru, který je namontován na rámu. Zajištěná zapínací a vypínací vzdálenost v našem případě odpovídá 10 mm a 28 mm. Spínač je dvoukanálového provedení a nabízí 2 bezpečnostní výstupy, AUX výstup, 3 aktivní sensorové plochy, 5 směrů ovládání, dosažitelnou úroveň integrity bezpečnosti SIL3 a dosažitelnou úroveň vlastností PL e. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [4].



Obrázek 2.8: Transpondérový blokovací spínač STR1-SAFM03P5 značky SICK

2.4.3 Transpondérové blokovací zařízení s magnetickým jištěním

Magnetický zámek MLP1-SMMA0AC (Obrázek 2.9) patří do kategorie blokovacích zařízení, konkrétněji blokovacích zařízení s jištěním. Jde vlastně o spojení transpondérového blokovacího spínače s elektromagnetem, které kromě monitorování stavu branky také aktivně brání jejímu otevření. Principem blokování je přivedení napětí na elektromagnet senzoru, čímž vznikne zajišťovací síla 500 N. Přídržná síla ve stavu bez napětí odpovídá 25 N. Zámek je dvoukanálového provedení a nabízí dosažitelnou úroveň integrity bezpečnosti SIL3 a dosažitelnou úroveň vlastností PL e. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [4].



Obrázek 2.9: Transpondérové blokovací zařízení s magnetickým jištěním MLP1-SMMA0AC značky SICK

2.4.4 Světelný závěs

Bezpečnostní světelný závěs C4MT-01214ABB03BE0 (Obrázek 2.10) patří do kategorie optoelektronických ochranných zařízení. Je nainstalován tak, aby neumožňoval přístup k hornímu servomotoru, aniž by došlo k přerušení jednoho z paprsků závěsu, což způsobí zastavení servomotoru. Skládá se z vysílače a přijímače, kdy obě části jsou mezi sebou zaměnitelné, jelikož jsou identické a obsahují jak vysílací, tak přijímací jednotku. Závěs nabízí 120 mm vysoké ochranné pole, rozlišení 14 mm, dosah minimálně 4 m, dobu odezvy 14 ms, dosažitelnou úroveň integrity bezpečnosti SIL3 a úroveň vlastností PL e. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [4].

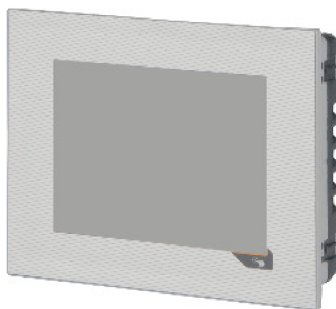


Obrázek 2.10: Světelný závěs C4MT-01214ABB03BE0 značky SICK (jeden díl)

2.5 Vizualizace

2.5.1 Dotykový operátorský panel

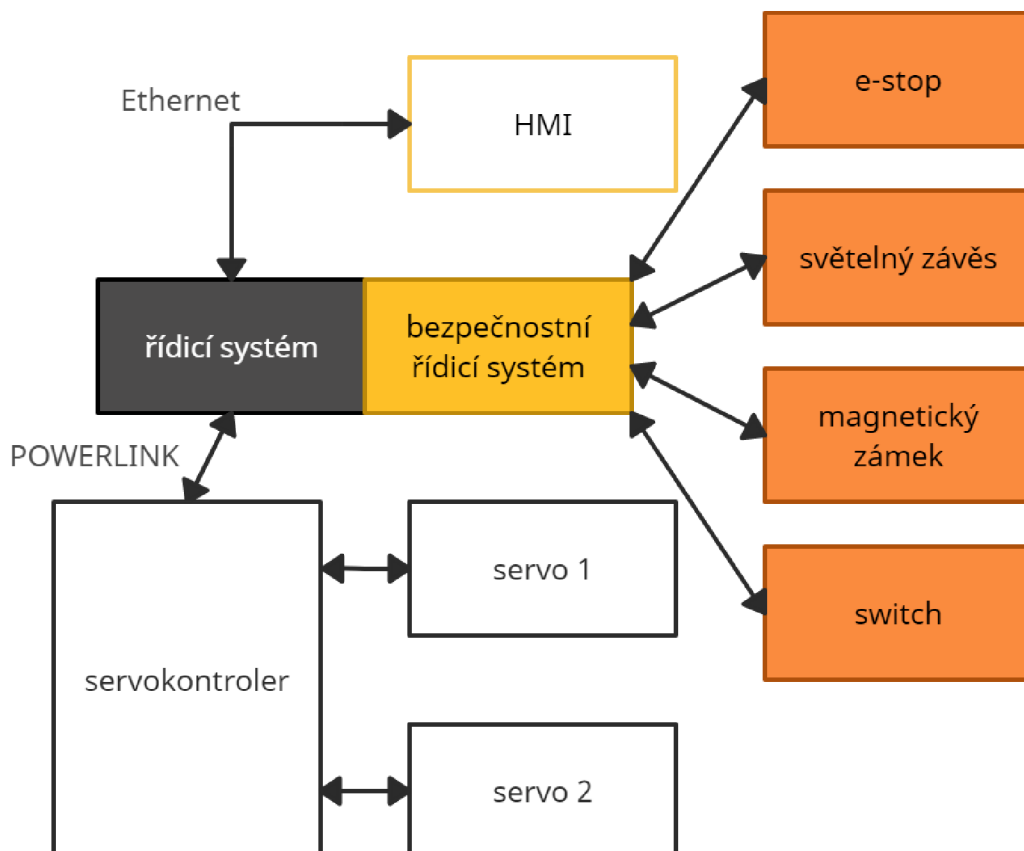
Vizualizaci a obsluhu přípravku zajišťuje operátorský panel 6PPT30.0573-20W (Obrázek 2.11) z řady Power Panel T30. Ten nabízí procesor ARM Cortex A8 s taktem 600 MHz, 512 MB flash paměti, 5,7" displej s landscape formátem, rozlišení 640 × 480 (VGA) a odporový dotykový displej. Dále disponuje dvěma Ethernetovými rozhraními 10/100 Mbit/s s integrovaným switchem a dvěma USB 2.0 porty. Klientský software obsahuje integrovanou servisní stránku, VNC klient a vestavěný webový prohlížeč. Bližší informace lze najít v datasheetu produktu na webových stránkách výrobce [3].



Obrázek 2.11: Operátorský panel 6PPT30.0573-20W

2.6 Blokové schéma zapojení

Řídicí systém a bezpečnostní řídicí systém se skládají z komponent modulární řady X20, díky čemuž vytváří dohromady jeden funkční celek, který kromě řízení zajišťuje i bezpečnostní funkce. K procesoru standardního řídicího systému je Ethernetem připojen operátorský panel a POWERLINKem řídicí jednotka ovládající servomotory. Každé servo je k řídicí jednotce připojeno svým hybridním motorovým kabelem. Prvky zajišťující funkční bezpečnost jsou se safety PLC, případně kartou bezpečnostních výstupů propojeny jim příslušícími kabely. Blokové schéma laboratorního přípravku je vidět na obrázku 2.12.

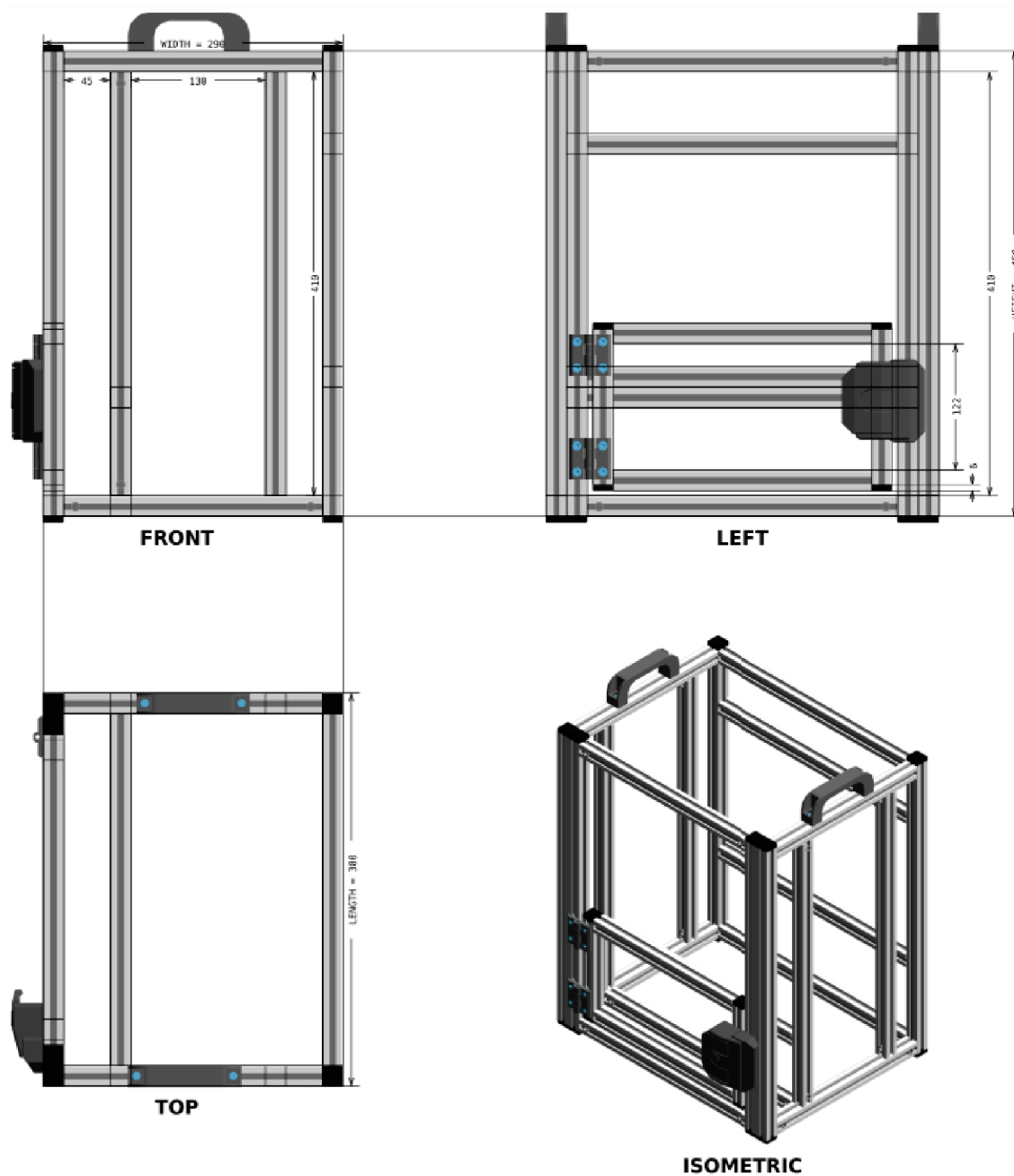


Obrázek 2.12: Blokové schéma laboratorního přípravku

2.7 Mechanické uspořádání

Mechanický rám má rozměry $290 \times 450 \times 380$ mm (šířka \times výška \times hloubka). Je tvořen systémem konstrukčních hliníkových profilů MayTec za použití spojovacích konektorů, jakožto upevňovacích prvků. Profily jsou rozměrů 20×20 mm, s výjimkou těch, tvořících svíslé hrany levé strany kvádrů, jejichž rozměry jsou 20×40 mm. Ve spodní části levé strany rámu se nachází branka o rozměrech 250×162 mm, která se zavírá na západkový zámek a její vnitřek tvoří plexisklo. Horní část levé strany rámu překrývá plastový panel, do kterého byly pomocí laseru vyřezány otvory pro HMI a tlačítko nouzového zastavení. Za tímto panelem lze uvnitř rámu nalézt podélnou vzpěru, ke které je ze strany směřující dovnitř přípravku připevněna DIN lišta s hlavním přívodem, automatizačními komponenty, rozvodem potenciálu 24 VDC atd. Shora a zdola téže vzpěry jsou po celé šíři připevněny elektroinstalační kanály, které navazují z obou stran po příčných vzpěrách až dolů, kde u dna rámu uzavírá poslední kanál pomyslný obdélník. Většina kanálů je spojena s rámem díky úchytným vytvořených technologií 3D tisku. Ve stejné rovině s první podélnou vzpěrou se zhruba ve výšce horního okraje branky nachází ještě druhá. K té jsou zdola

uchyceny příruby pro magnetický zámek a první servomotor, shora poté příruba pro druhý servomotor. Ty byly taktéž vytvořeny technologií 3D tisku. Na vrchu přípravku jsou madla umožňující snadnou manipulaci. Mechanický rám, respektive výstup z návrhového softwaru MayCad, ve kterém byl navržen, je vidět na obrázku 2.13.



Obrázek 2.13: Mechanický rám laboratorního přípravku

3 Software standardního PLC

Software standardního PLC tvoří program **Motion** a program **Safety**. Oba tyto programy jsou vytvořeny v jazyce ST, který popisuje norma ČSN EN 61131-3 [2]. **Motion** umožňuje spouštění a zastavování pohonů, potřebné pro demonstraci správné funkcionality ochranných zařízení. Jinak řečeno, slouží k oživení pohonů, které poté poskytují jednoduchou vizuální kontrolu správnosti programu bezpečnostního PLC. Jádro tohoto programu tvoří dva funkční bloky **MpAxisBasic**, skrývající se pod proměnnými **UpperMotor** a **BottomMotor**. Vedlejší program **Safety** slouží hlavně k vyhodnocování stavu ochranných zařízení standardním PLC, které je potřebné k zobrazování informací o jejich stavu na vizualizaci.

3.1 Význam I/O bloku MpAxisBasic

V této sekci, předcházející popisu samotného programu **Motion** jsou v abecedním pořadí uvedeny použité vstupy a výstupy funkčního bloku **MpAxisBasic** (Obrázek 3.1), společně s popisem jejich významu. Ten by měl stačit k získání povědomí o fungování tohoto bloku a následnému pochopení programu **Motion**.

Jako zdroj informací pro tuto sekci posloužil podpůrný software Automation Help [5], ze kterého je také převzat obrázek 3.1.

3.1.1 Vstupy

Enable

Povolovací vstup datového typu **BOOL**, kterým je funkční blok aktivován. Pokud je nastaven na hodnotu **TRUE**, funkční blok je aktivní a lze s ním pracovat.

ErrorReset

Vstup datového typu **BOOL**, sloužící k vyresetování bloku v případě nastání chybového stavu. Funkční blok je úspěšně vyresetován poté, co detekuje náběžnou hranu na tomto vstupu. Tou dobou už musí být příčina, která tento chybový stav zapříčinila odstraněna.

Home

Pokud funkční blok zaznamená na tomto binárním vstupu náběžnou hranu, ser-vopohon je natočen do výchozí (home) pozice.

MpLink

Vstupní paramater datového typu **McAxisType**, kterým se funkčnímu bloku přiřazuje fyzický pohon, který jím má být ovládán.

MoveVelocity

Nastavením logické hodnoty **TRUE** na binární vstup **MoveVelocity** se pohon roztočí na konstantní rychlost definovanou ve struktuře **MpAxisBasicParType**.

Parameters

Vstup, kterým funkční blok skrze strukturu **MpAxisBasicParType** získává parametry jako rychlost otáčení pohonu, akcelerace, decelerace atd.

Power

Vstupní parametr datového typu **BOOL**, kterým se ovládá buzení pohonu. V případě, že je nastaven na logickou hodnotu **TRUE**, pohon je nabuzen. V opačném případě je odbuzen.

Stop

Vstup datového typu **BOOL**, jehož aktivace přeruší aktuální příkaz k pohybu servopohonu. Zatímco je příkaz **Stop** aktivní, všechny příchozí příkazy způsobí error.

3.1.2 Výstupy

Error

Výstupní parametr datového typu **BOOL** signalizující chybový stav. Ten je přítomen, pokud je výstup nastaven na logickou hodnotu **TRUE**.

Info.ReadyToPowerOn

Výstupní parametr indikující, zda je funkční blok možné ovládat.

IsHomed

Poté, co je servopohon otočen do home pozice, je tento binární výstupní parametr nastaven na logickou hodnotu **TRUE**. V případě, že je otáčen do výchozí pozice opakovaně, parametr **IsHomed** je resetován a znovu nastaven po jejím dosažení.

MoveActive

Výstupní parametr datového typu **BOOL** indikující, zda se pohon otáčí (**TRUE**) nebo je nehybný (**FALSE**).

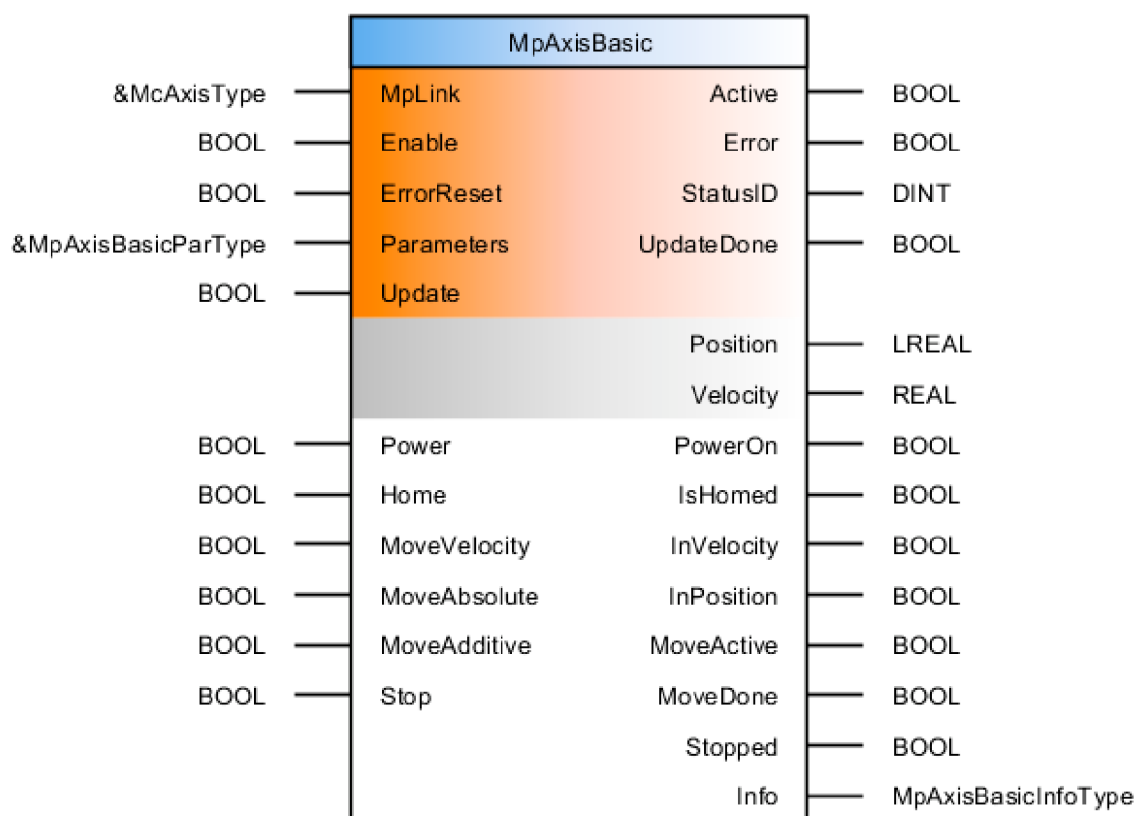
PowerOn

Výstupní parametr datového typu **BOOL** indikující stav buzení pohonu. V případě binární hodnoty **TRUE** je pohon nabuzen. V opačném případě odbuzen.

Stopped

Pokud je příkaz **Stop** aktivní a pohon nehybný, binární výstupní parametr **Stopped**

je nastaven na logickou hodnotu TRUE.



Obrázek 3.1: Funkční blok MpAxisBasic

3.2 Popis programu Motion

Program **Motion** slouží k ovládání dvou servopohonů, kterými laboratorní přípravek disponuje. V rámci jednoduché bezpečnostní aplikace stačí, aby bylo možné servopohony nezávisle na sobě zapínat na konstantní rychlost a vypínat.

Program se skládá ze tří hlavních částí. Inicializační, stavového automatu pro horní motor a stavového automatu pro dolní motor. Na následujících stránkách je kromě inicializační části popsána pouze část programu realizující stavový automat pro horní motor, která je rozdělená do osmi podčástí. Část programu realizující stavový automat pro dolní motor funguje a vypadá identicky, liší se pouze jména proměných.

Inicializační část

```
2  PROGRAM _INIT
3
4      UpperMotor.Enable := TRUE;
5      BottomMotor.Enable := TRUE;
6      AxisParameters.Velocity := 10.0;
7      AxisParameters.Acceleration := 50.0;
8      AxisParameters.Deceleration := 50.0;
9
10 END_PROGRAM
```

V inicializační části programu jsou povolovací vstupy obou funkčních bloků **MpAxisBasic** nastaveny na logickou hodnotu **TRUE**, čímž jsou aktivovány a lze jimi ovládat příslušné servopohony. **UpperMotor** ovládá horní servopohon, zatímco **BottomMotor** ovládá dolní servopohon.

Dále jsou zde nastaveny položky **Velocity**, **Acceleration** a **Deceleration** struktury **MpAxisBasicParType**, která se skrývá pod proměnnou **AxisParameters**. Ta je použita pro vstupní parametr **Parameters** obou funkčních bloků.

První podčást

```
16  UpperMotor.MpLink      := ADR(gAxis_1);
17  UpperMotor.Parameters := ADR(AxisParameters);
18  UpperMotor();
```

V první podčásti stavového automatu pro horní motor je funkčnímu bloku přiřazen fyzický servopohon, který jím bude ovládán, společně s požadovanými parametry na jeho chod. Posledním řádkem je tento funkční blok volán.

Druhá podčást

```
24  IF UpperMotorReady = FALSE AND UpperMotor.Info.ReadyToPowerOn
25  = TRUE THEN
26      UpperMotor.Power := TRUE;
27  IF UpperMotor.PowerOn = TRUE THEN
28      UpperMotor.Home := TRUE;
29  IF UpperMotor.IsHomed = TRUE THEN
30      UpperMotor.Home := FALSE;
31      UpperMotorReady := TRUE;
32  END_IF
33  END_IF
```

Ve druhé podčásti je nejpodstatnější inicializace servopohonu. Tu je nutné provést pouze před jeho prvním spuštěním. Aby byla úspěšně provedena, funkční blok nesmí detekovat error, funkční blok nesmí být zrovna resetován a pohon musí být připravený na přivedení napájení. Pokud jsou tyto podmínky splněny, napájení pohonu je zapnuto, pohon je otočen do home pozice a uživatelská proměnná **UpperMotorReady**

je nastavena na hodnotu TRUE.

Třetí podčást

```
33 | □      ELSIF UpperMotorReady = TRUE AND UMStartButton = FALSE THEN
34 | |      UpperMotor.Stop := TRUE;
35 | |      UpperMotor.MoveVelocity := FALSE;
```

Třetí podčást zajišťuje nehybnost pohonu v případě, že proměnná **UMStartButton** odpovídá logické hodnotě **FALSE** a chod pohonu není vyžadován. Tato proměnná je nastavována jedním z tlačítek na vizualizaci. Vstupní parametr **Stop** funkčního bloku **UpperMotor** je nastaven na hodnotu **TRUE**, čímž je přerušen aktuální příkaz k pohybu pohonu a funkční blok přestává reagovat na příchozí příkazy, respektive dojde k erroru. Následně je vstup **MoveVelocity** nastaven na hodnotu **FALSE**, jelikož pro opětovné roztočení pohonu bude vyžadována nová náběžná hrana na tomto vstupu.

Čtvrtá podčást

```
37 | |      ELSIF (UpperMotorReady = TRUE AND UMStartButton = TRUE) OR
38 | |      (UMStartButton = TRUE AND RecurringStart = TRUE
39 | □      AND AutoReset = TRUE) THEN
40 | |      UpperMotor.Stop := FALSE;
41 | □      IF UpperMotor.Stopped = FALSE THEN
42 | |      UpperMotor.MoveVelocity := TRUE;
43 | |      END_IF
44 | |      END_IF
```

Čtvrtá podčást zajišťuje roztočení pohonu v případě, že je jeho chod žádoucí. Tedy buď v případě, že uživatel nastaví tlačítkem proměnnou **UMStartButton** na hodnotu **TRUE**, nebo je aktivní **AutoReset** (opětovné samospouštění) a proměnná **RecurringStart** nabývá logické hodnoty **TRUE**. **RecurringStart** nese informaci o tom, zda už servopohon někdy běžel, a tedy nebyl spouštěn předtím, než byl po spuštění PLC proveden reset bezpečnostního systému. Bez tohoto ošetření by spouštění v této situaci způsobovalo error. Tlačítko je v podmínce zahrnuto, aby na něj pohon reagoval i v případě aktivního **AutoResetu**.

Pátá podčást

```
45 | □      ELSIF UpperMotor.Error = TRUE AND UMSafetyOK = FALSE THEN
46 | □      IF AutoReset = FALSE THEN
47 | |      UMStartButton := FALSE;
48 | |      END_IF
49 | |      UpperMotor.MoveVelocity := FALSE;
```

Pátá podčást je první z podčástí prováděná poté, co nastane error, a to tehdy, kdy nebezpečná situace ještě trvá. Pokud není aktivní **AutoReset**, dojde k „vycvaknutí“ příslušného tlačítka na vizualizaci, aby toto nemusel vykonávat uživatel manuálně.

Zároveň zde musí být resetována proměnná `MoveVelocity`, aby bylo zajištěno, že k jejímu resetu dojde i v situaci, že je aktivní `AutoReset` a tato proměnná tedy nemůže být vyresetována v části 3.

Šestá podčást

```
50 ┌ ELSIF UpperMotor.Error = TRUE AND UMSafetyOK = TRUE THEN
51 │     UpperMotor.ErrorReset := TRUE;
52 └     UpperMotor.Power := FALSE;
```

Šestá podčást je prováděná poté, co nastal error a nebezpečná situace, která ho způsobila už odezněla. V tom případě je nastaven vstup, kterým se funkční blok resetuje a zároveň je vypnuto napájení osy. Na vstupu `Power` totiž musí funkční blok před opětovným spuštěním pohonu zadaná nastavení novou náběžnou hranu.

Sedmá podčást

```
53 ┌ ELSIF UpperMotor.Error = FALSE AND UpperMotor.ErrorReset = TRUE THEN
54 │     UpperMotor.ErrorReset := FALSE;
55 │     UpperMotor.Power := TRUE;
56 └ END_IF
```

Sedmá podčást je vykonána poté, co funkční blok opustil chybový stav a resetovací vstup je stále nastaven. Vstup `ErrorReset` je tedy nastaven zpět na logickou hodnotu `FALSE` a `Power` je opět nastaven na logickou hodnotu `TRUE`. Po této části je vykonána buď část 3 nebo 4, v závislosti na stavu proměnné `UMStartButton`.

Osmá podčást

```
58 ┌ IF UpperMotor.MoveActive THEN
59 │     UpperMotorState := 'zapnuto';
60 │     RecurringStart := TRUE;
61 └ ELSE
62 │     UpperMotorState := 'vypnuto';
63 └ END_IF
```

Smyslem osmé podčásti je sledovat, zdali se servopohon otáčí, a podle toho nastavovat proměnnou `UpperMotorState`, která je zobrazována v textovém poli na vizualizaci. Zároveň je zde po prvním roztočení nastavena proměnná `RecurringStart` využívaná v části 4.

3.3 Popis programu Safety

Program **Safety** slouží převážně k vyhodnocování stavu jednotlivých ochranných zařízení standardním PLC. Toto vyhodnocení je zobrazováno na vizualizaci v podobě textového zobrazovače a barevné kontrolky. Podrobnější popis všech jeho funkcí (částí) následuje na dalších stránkách.

První část

```
9  IF ES_Rdy = FALSE THEN
10     ESState := 'porucha';
11     ESlight := 0;
12  ELSIF ES_OUT = FALSE THEN
13     ESState := 'NOK';
14     ESlight := 0;
15  ELSIF ES_OUT THEN
16     ESState := 'OK';
17     ESlight := 1;
18  END_IF
```

První část programu slouží k vyhodnocení stavu tlačítka nouzového zastavení. Podle toho se nastaví proměnné **ESState** a **ESlight**, které slouží k indikaci jeho stavu na vizualizaci. **ESState** je proměnná datového typu **STRING[80]** pro textový zobrazovač a **ESlight** je datového typu **INT** pro ovládání barvy kontrolky. V případě, že funkční blok monitorující stav E-Stopu není aktivní, do proměnné **ESState** je uložen text **porucha** a proměnná **ESlight** je nastavena na hodnotu 0, která na vizualizaci odpovídá červené barvě kontrolky. V případě, že výstup ovládající kontrolovaný proces je nastaven na hodnotu **FALSE**, do proměnné **ESState** je uložen text **NOK** a proměnná **ESlight** je nastavena na hodnotu 0. V případě, že výstup ovládající kontrolovaný proces je nastaven na hodnotu **TRUE**, do proměnné **ESState** je uložen text **OK** a proměnná **ESlight** je nastavena na hodnotu 1, která na vizualizaci odpovídá zelené barvě kontrolky.

Druhá část

```
22  IF ESPE_Rdy = FALSE THEN
23      ESPEState := 'porucha';
24      ESPElight := 0;
25  ELSIF ESPE_On AND ESPE_OUT = FALSE THEN
26      ESPEState := 'NOK';
27      ESPElight := 0;
28  ELSIF ESPE_On AND ESPE_OUT = TRUE THEN
29      ESPEState := 'OK';
30      ESPElight := 1;
31  ELSE
32      ESPEState := 'neaktivni';
33      ESPElight := 2;
34  END_IF
35
36  IF ESPE_OUT = TRUE THEN
37      ESPE_OUT2 := TRUE;
38  ELSE
39      ESPE_OUT2 := FALSE;
40  END_IF
```

Druhá část programu slouží k vyhodnocení stavu světelného závěsu. Funguje obdobně jako 1. část. U **ELSIF** podmínek přibyla kontrola toho, že světelný je závěs aktivní, jelikož ho lze deaktivovat, respektive potlačit jeho výstup. Dále přibyl **ELSE**, který je splněn, pokud proměnná **ESPE_On** nabývá logické hodnoty **FALSE** a ochranná funkce světelného závěsu je tedy potlačena. V tom případě je do proměnné **ESPEState** uložen text neaktivní a do proměnné **ESPElight** číslo 2, které odpovídá oranžové barvě kontrolky. Rovněž přibyla binární proměnná **ESPE_OUT2** zrcadlící stav proměnné **ESPE_OUT**. **ESPE_OUT** je nastavována v programu bezpečnostního PLC a posílána do standardního PLC, kde se s ní pracuje. Jelikož v bezpečnostním PLC nelze explicitně využít zpětné vazby, hodnota proměnné **ESPE_OUT** je zkopírována do proměnné **ESPE_OUT2** a posílána zpět do bezpečnostního PLC, kde je vyhodnocována.

Třetí část

```
44 IF GL_Rdy = FALSE THEN
45     GLState := 'porucha';
46     GLlight := 0;
47 ELSIF GL_On AND GL_MagnetState = FALSE THEN
48     GLState := 'uvolneno';
49     GLlight := 0;
50 ELSIF GL_On AND GL_MagnetState = TRUE THEN
51     GLState := 'zajisteno';
52     IF GL_OUT THEN
53         GLlight := 1;
54     ELSE
55         GLlight := 0;
56     END_IF
57 ELSE
58     GLState := 'neaktivni';
59     GLlight := 2;
60     GL_Unlock := FALSE;
61 END_IF
62
63 IF GL_OUT = TRUE THEN
64     GL_OUT2 := TRUE;
65 ELSE
66     GL_OUT2 := FALSE;
67 END_IF
```

Třetí část programu slouží k vyhodnocení stavu blokovacího zařízení s magnetickým jištěním. Program mezi řádky 44 a 67 funguje obdobně jako 2. část, pouze se místo výstupu funkčního bloku, který ovládá kontrolovaný proces vyhodnocuje stav jisticího magnetu. Také se změnila texty ukládané do proměnné sloužící k indikaci stavu tohoto ochranného zařízení na vizualizaci.

Čtvrtá část

```
69 IF BottomMotor.MoveActive THEN
70     IF GL_OUT = FALSE THEN
71         GL_On := FALSE;
72         GL_Unlock := FALSE;
73     ELSE
74         GL_Unlock := FALSE;
75     END_IF
76 END_IF
77
78 IF GL_OUT = FALSE AND GL_MagnetState = TRUE THEN
79     GL_Unlock := FALSE;
80 END_IF
```

Čtvrtá část programu omezuje uživatele v práci s blokovacím zařízením s magnetickým jištěním za účelem správného a intuitivního ovládání. Nejdůležitější je, že zajišťuje, aby bylo možné ochranné zařízení aktivovat pouze, když je spodní motor

nehybný. Bez tohoto ošetření by funkční blok monitorující jeho stav v této situaci vždy detekoval error.

Pátá část

```
84 | IF GM_Rdy = FALSE THEN
85 |     GMState := 'porucha';
86 |     GMLight := 0;
87 | ELSIF GM_On AND GM_OUT = FALSE THEN
88 |     GMState := 'NOK';
89 |     GMLight := 0;
90 | ELSIF GM_On AND GM_OUT = TRUE THEN
91 |     GMState := 'OK';
92 |     GMLight := 1;
93 | ELSE
94 |     GMState := 'neaktivni';
95 |     GMLight := 2;
96 | END_IF
97 |
98 | IF GM_OUT = TRUE THEN
99 |     GM_OUT2 := TRUE;
100 | ELSE
101 |     GM_OUT2 := FALSE;
102 | END_IF
```

Pátá část programu slouží k vyhodnocení stavu bezkontaktního blokovacího spínače. Funguje totožně jako 2. část, pouze názvy proměnných se liší.

Šestá část

```
106 | IF AutoReset = TRUE THEN
107 |     AutoResetState := 'aktivni';
108 | ELSE
109 |     AutoResetState := 'neaktivni';
110 | END_IF
```

Poslední část programu slouží ke kontrole stavu binární proměnné **AutoReset**, která je nastavována příslušným tlačítkem na vizualizaci. Podle jejího stavu je do proměnné **AutoResetState** uložen text **aktivní** nebo **neaktivní**. Ten je zobrazován vedle tlačítka a indikuje, zda je automatické spouštění pohonů po odeznění nebezpečného stavu aktivní nebo ne.

4 Software bezpečnostního PLC

Program pro bezpečnostní PLC značky B&R je vytvářen ve vývojovém prostředí SafeDESIGNER. To umožňuje programovat výhradně v jazyce funkčních bloků, který popisuje norma ČSN EN 61131-3 [2]. Pro pochopení souvislostí a náhled postupů jak pracovat se SafeDESIGNERem je užitečný školicí materiál Working with SafeDESIGNER [9]. Vhodné jsou také školicí materiály Introduction to Integrated Safety [8] a Integrated Safe Motion Control [10], které popisují obecné fungování safety technologie B&R.

Jako zdroj informací pro obecný popis použitých funkčních bloků a jejich vstupů a výstupů posloužil podpůrný software Automation Help V4.10 [5], ze kterého jsou také převzaty obrázky 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 a 4.6.

4.1 Význam I/O použitých funkčních bloků

V této podsekcí, ještě před popisem samotných použitých funkčních bloků jsou v abecedním pořadí uvedeny vstupy a výstupy těchto bloků společně s vysvětlením jejich významu. Důvodem je, že mnoho I/O je společných pro vícero bloků a byly by popisovány opakovaně. Zahrnuty jsou i ty, které se sice u různých funkčních bloků jmenují různě, ale jejich funkce je shodná. Vstupy a výstupy se specifickou funkcí jsou popsány až u konkrétních bloků, které jimi disponují. Důležité také je, že uvedeny a popsány jsou pouze vstupy a výstupy použité ve vlastním programu.

4.1.1 Vstupy

Activate

Povolovací vstup datového typu **BOOL**, kterým se funkční blok aktivuje. Pokud povolovací signál odpovídá hodnotě **FALSE**, blok je deaktivován a všechny binární výstupní proměnné jsou taktéž ve stavu **FALSE**. Pokud povolovací signál odpovídá hodnotě **TRUE**, blok je aktivní a podle svých vstupních a vnitřních proměnných nastavuje výstupní proměnné. Povolovací signál může být proměnná, ale i konstanta.

DiscrepancyTime

Tímto vstupním parametrem disponují funkční bloky, které umožňují připojení dvou řídicích signálů. Slouží k nastavení časového intervalu, v rámci kterého není nonekvivalence (v našem případě) řídicích signálů funkčním blokem vyhodnocena jako error.

Toleranci nonekvivalence je nutné zavést, jelikož bezpečné výstupy ochranných zařízení nikdy nepřepínají naprosto synchronně, ale vždy s jistou prodlevou. Parametr diskrepance se nastavuje konstantou datového typu **TIME**.

Reset

Vstupní parametr sloužící k odblokování bezpečnostního výstupu v případě, že je zablokován po aktivaci funkčního bloku (**S_StartReset = SAFEFALSE**) nebo odeznění nebezpečné situace, která aktivovala ochranné zařízení (**S_AutoReset = SAFEFALSE**). Zároveň slouží v případě, že nastal error, který již odezněl k odchodu z poruchového stavu. Aby byl funkční blok úspěšně vyresetován, musí na tomto vstupu zaznamenat náběžnou hranu. Parametr **Reset** musí být ovládán proměnnou datového typu **BOOL** nebo **SAFEBOOL**.

S_AutoReset

Vstupní parametr **S_AutoReset** definuje chování funkčního bloku poté, co vstupy opětovně nabývají kombinace hodnot umožňující nastavení bezpečnostního výstupu na logickou hodnotu **SAFETRUE**. Pokud je na tento vstup přivedena logická hodnota **SAFETRUE**, výstup není blokován a je na něj opětovně nastavena logická hodnota **SAFETRUE**, aniž by byl vyžadován reset. V opačném případě je výstup zablokován, dokud není reset proveden. Tento parametr může být nastaven na konstantní hodnotu nebo ovládán proměnnou typu **SAFEBOOL**.

S_ChannelA a S_ChannelB

Dvojice signálových vstupů datového typu **SAFEBOOL** určená pro připojení řídicích signálů odpovídajících stavu dvoukanálově zapojeného ochranného zařízení. Každý z bezpečných výstupů tohoto zařízení je zdrojem jednoho řídicího signálu. Oba signály nabývající logické hodnoty **SAFETRUE** značí normální stav ochranného zařízení. Řídicí signály připojené v těchto vstupům mohou být pouze proměnné, nikdy konstanty.

S_ESPE_In

Vstupy datového typu **SAFEBOOL** určené pro připojení řídicího signálu, který odpovídá stavu ochranného zařízení. Pokud řídicí signál nabývá logické hodnoty **TRUE**, ochranné zařízení nebylo aktivováno a není vyžadováno zastavení aktuátorů. V opačném případě nabývá logické hodnoty **SAFEFALSE**. Řídicí signály připojené v těchto vstupům mohou být pouze proměnné, nikdy konstanty.

S_EStopIn

Stejná funkce jako **S_ESPE_In**.

S_GuardMonitoring

V případě vstupu funkčního bloku **SF_GuardLocking** stejná funkce jako **S_ESPE_In**.

S_GuardSwitch1 a S_GuardSwitch2

Stejná funkce jako S_ChannelA a S_ChannelB.

S_StartReset

Vstupní parametr **S_StartReset** definuje chování funkčního bloku po jeho aktivaci. Pokud je na tento vstup přivedena logická hodnota **SAFETRUE**, výstup není po aktivaci zablokován a není vyžadován reset pro nastavení bezpečnostního výstupu ovládacího kontrolovaný proces na hodnotu **SAFETRUE**. Samozřejmě za předpokladu správné kombinace hodnot na ostatních vstupech. Pokud je na vstup **S_StartReset** přivedena logická hodnota **SAFEFALSE**, po aktivaci bloku je nutné provést reset za všech podmínek. Tento parametr může být nastaven na konstantní hodnotu nebo ovládan proměnnou typu **SAFEBOOL**.

4.1.2 Výstupy

Ready

Výstupní parametr datového typu **BOOL** indikující, zda je funkční blok aktivní. Pokud signál přivedený na povolovací vstup **Activate** odpovídá logické hodnotě **TRUE**, hodnota na výstupu **Ready** je taktéž **TRUE**. Pokud signál přivedený na povolovací vstup **Activate** odpovídá logické hodnotě **FALSE**, hodnota na výstupu **Ready** je taktéž **FALSE**.

S_ESPE_Out

Bezpečnostní výstup datového typu **SAFEBOOL**, kterým funkční bloky monitorující stav ochranných zařízení ovládají kontrolovaný proces. Stav těchto výstupů tedy odpovídá výsledku vyhodnocení, zda může být kontrolované strojní zařízení bezpečně provozováno. Pokud nabývají logické hodnoty **SAFETRUE**, ochranné zařízení, resp. funkční blok monitorující jeho stav nebrání provozu tohoto strojního zařízení.

S_EStopOut

Stejná funkce jako **S_ESPE_OUT**.

S_GuardLocked

Stejná funkce jako **S_ESPE_OUT**.

S_GuardMonitoring

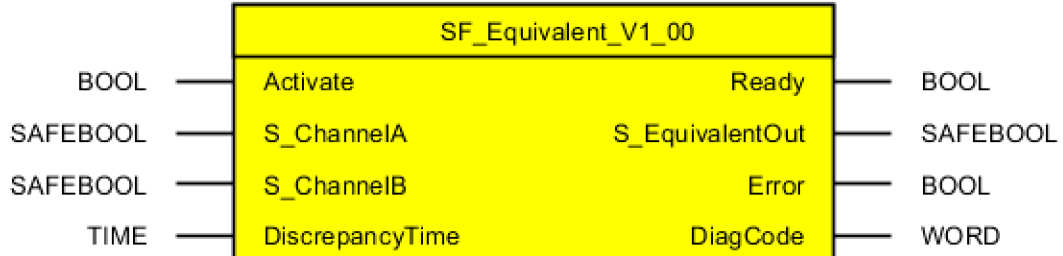
V případě výstupu funkčního bloku **SF_GuardMonitoring** stejná funkce jako **S_ESPE_OUT**.

4.2 Popis použitých funkčních bloků

4.2.1 SF_Equivalent

Funkční blok **SF_Equivalent** (Obrázek 4.1) vyhodnocuje ekvivalenci logických hodnot na signálových vstupech **S_ChannelA** a **S_ChannelB**. Poté co dojde ke změně stavu jednoho z těchto vstupů, čeká po časový interval diskrepance, zda dojde ke stejné změně i na druhém vstupu. Během tohoto intervalu není nonekvivalence vstupů vyhodnocena jako error. Pokud dojde ke změně stavu druhého vstupu, je monitorování ukončeno a výstup **S_EquivalentOut** podávající informaci o výsledku vyhodnocení ekvivalence je nastaven na hodnotu odpovídající té na vstupech. V opačném případě je výstup nastaven na hodnotu **FALSE** a funkční blok nahlásí detekovaný poruchový stav nastavením výstupu **Error** na hodnotu **TRUE**. Aby blok opustil poruchový stav, musejí být oba signálové vstupy **S_ChannelA** a **S_ChannelB** současně ve stavu **FALSE**. Výstup **S_EquivalentOut** je ve stavu **TRUE** když:

- blok je aktivní,
- signálové vstupy **S_ChannelA** a **S_ChannelB** jsou ve stavu **TRUE**
- funkční blok nedetekoval error
- není blokován.



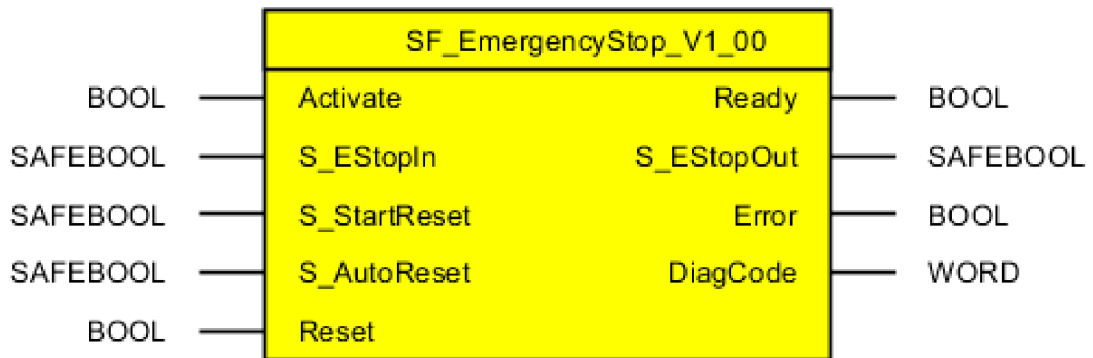
Obrázek 4.1: Funkční blok SF_Equivalent

4.2.2 SF_EmergencyStop

Funkční blok SF_EmergencyStop (Obrázek 4.2) slouží k softwareovému zajištění funkce tlačítka nouzového zastavení. Na vstupu S_EStopIn získává informaci o stavu kontaktů fyzického zařízení, na základě které vyhodnocuje, zda je vyžadována bezpečnostní funkce. Podle toho je nastavován výstup S_EStopOut ovládající kontrolovaný proces. Ten je ve stavu TRUE (není aktivována bezpečnostní funkce) když:

- blok je aktivní,
- na vstupu S_EStopIn je hodnota TRUE,
- funkční blok nedetekoval error,
- není blokován.

Za jakých podmínek bude výstup blokován, a tedy kdy bude potřeba provádět reset udává nastavení vstupních parametrů S_StartReset a S_AutoReset.



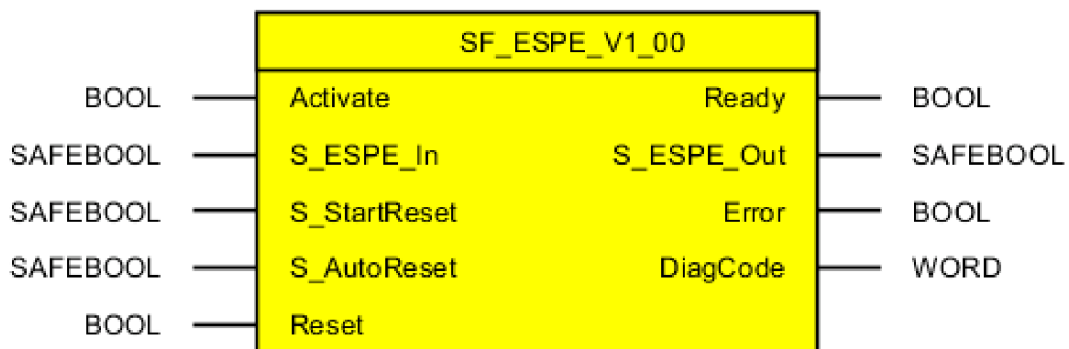
Obrázek 4.2: Funkční blok SF_EmergencyStop

4.2.3 SF_ESPE

Funkční blok SF_ESPE (Obrázek 4.3) slouží k softwareovému zajištění funkce optoelektronického ochranného zařízení. Na vstupu S_ESPE_In získává informaci o stavu jeho bezpečnostních výstupů, tedy zda došlo k narušení ochranného pole. Podle toho je nastavován výstup S_ESPE_Out ovládající kontrolovaný proces. Ten je ve stavu TRUE (není aktivována bezpečnostní funkce) když:

- blok je aktivní,
- na vstupu S_ESPE_In je hodnota TRUE,
- funkční blok nedetekoval error,
- není blokován.

Za jakých podmínek bude výstup blokován, a tedy kdy bude potřeba provádět reset udává nastavení vstupních parametrů S_StartReset a S_AutoReset.



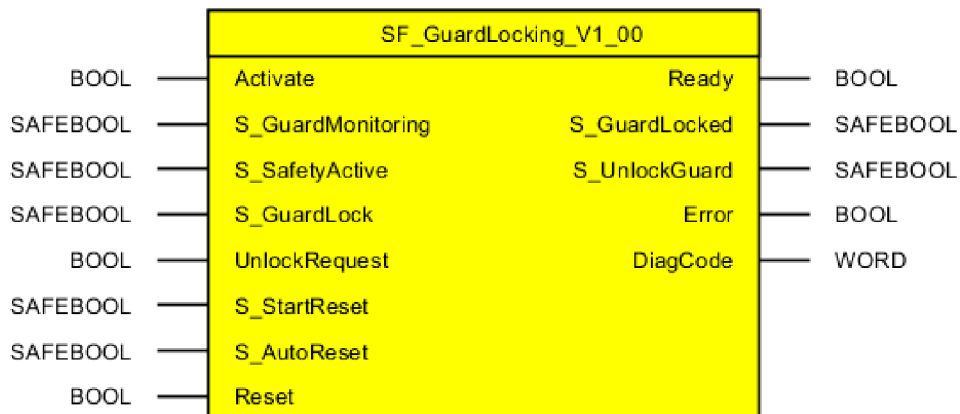
Obrázek 4.3: Funkční blok SF_ESPE

4.2.4 SF_GuardLocking

Funkční blok **SF_GuardLocking** (Obrázek 4.4) slouží k softwareovému zajištění funkce ochranného zařízení určeného k jištění dveří a západek. Stav výstupu **S_GuardLocked** ovládající kontrolovaný proces se odvíjí od stavu vstupů **S_GuardMonitoring**, a **S_GuardLock**. Ve stavu **TRUE** (není aktivována bezpečnostní funkce) je když:

- blok je aktivní,
- vstup **S_GuardMonitoring** je ve stavu **TRUE**,
- vstup **S_GuardLock** je ve stavu **TRUE**
- funkční blok nedetekoval error,
- není blokován.

Za jakých podmínek bude výstup blokován, a tedy kdy bude potřeba provádět reset udává nastavení vstupních parametrů **S_StartReset** a **S_AutoReset**.



Obrázek 4.4: Funkční blok SF_GuardLocking

Specifické I/O bloku SF_GuardLocking

- **S_SafetyActive**
Vstupní parametr datového typu **SAFEBOOL**, skrze který funkční blok získává informaci o stavu chráněného prostoru. Pokud proměnná připojená k tomuto vstupu nabývá logické hodnoty **SAFETRUE**, nebezpečí hrozící v chráněném prostoru již odeznělo. Pokud nabývá logické hodnoty **SAFEFALSE**, nebezpečí v chráněném prostoru stále hrozí.
- **S_GuardLock**
Vstupní parametr datového typu **SAFEBOOL**, skrze který funkční blok získává informaci, zda je ochranné zařízení zajištěno (v našem případě elektromagnetem). Pokud proměnná připojená k tomuto vstupu nabývá logické hodnoty **SAFETRUE**, ochranné zařízení je zajištěno. V opačném případě zajištěné není a vstupní proměnná nabývá logické hodnoty **SAFEFALSE**.

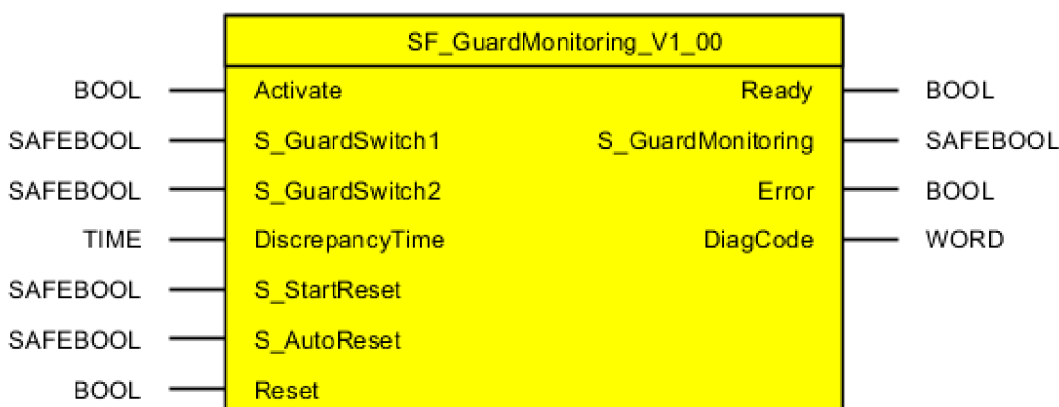
- **UnlockRequest**
Vstupní parametr datového typu **BOOL**, kterým je možné ochranné zařízení odemknout nebo zamknout. V případě, že proměnná připojená na tento vstup nabývá logické hodnoty **TRUE**, bylo vyžádáno odemčení. V opačném případě bylo vyžádáno uzamčení.
- **S_UnlockGuard**
Výstupní signál datového typu **SAFEBOOL**, kterým funkční blok ovládá jištění. Pokud nabývá logické hodnoty **SAFEFALSE** funkční blok zajistil blokovacího zařízení. V opačném případě umožnil odjištění.

4.2.5 SF_GuardMonitoring

Funkční blok **SF_GuardMonitoring** (Obrázek 4.5) slouží k softwareovému zajištění funkce ochranného zařízení pro monitorování dveří a západek. Vstupy **S_GuardSwitch1**, **S_GuardSwitch2** a **DiscrepancyTime** používá k vyhodnocení ekvivalence logických hodnot na bezpečnostních výstupech připojeného monitorovacího zařízení. Má v sobě tedy integrovanou funkci bloku **SF_Equivalent**. Výstup **S_GuardMonitoring** ovládající kontrolovaný proces je ve stavu **TRUE** (není aktivována bezpečnostní funkce) když:

- blok je aktivní,
- signálové vstupy **S_GuardSwitch1** a **S_GuardSwitch2** jsou ve stavu **TRUE**,
- funkční blok nedetekoval error,
- není blokován.

Za jakých podmínek bude výstup blokován, a tedy kdy bude potřeba provádět reset udává nastavení vstupních parametrů **S_StartReset** a **S_AutoReset**.

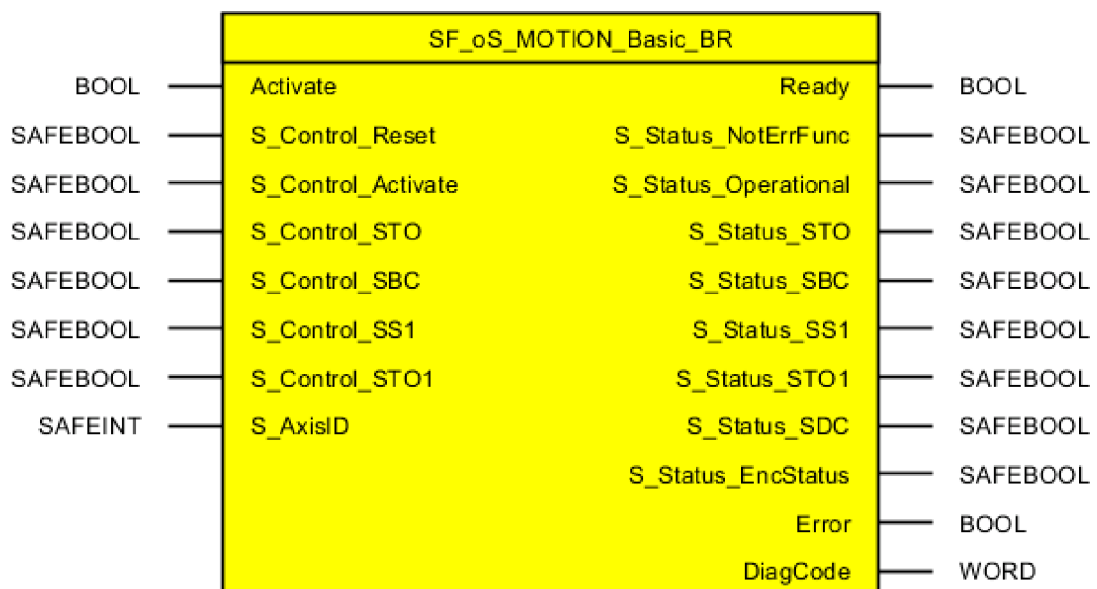


Obrázek 4.5: Funkční blok SF_GuardMonitoring

4.2.6 SF_oS_MOTION_Basic_BR

Funkční blok SF_oS_MOTION_Basic_BR (4.6) slouží k ovládání integrovaných bezpečnostních funkcí pohonu. K tomu jsou určeny vstupy S_Control_STO, S_Control_SBC, S_Control_SS1 a S_Control_STO1. Aby mohl být pohon v chodu, musí být splněny následující podmínky:

- vstup **Activate** je ve stavu **TRUE**,
- vstup **S_Control_Activate** je ve stavu **TRUE**,
- po nastavení výše zmíněných vstupů byla detekována náběžná hrana na vstupu **S_Control_Reset**,
- vstupy **S_Control_STO**, **S_Control_SBC**, **S_Control_SS1** a **S_Control_STO1** jsou ve stavu **TRUE** (nejsou aktivované) nebo nejsou zapojené
- funkční blok nedetekoval error.



Obrázek 4.6: Funkční blok SF_oS_MOTION_Basic_BR

Specifické I/O bloku SF_oS_MOTION_Basic_BR

- **S_Control_Reset**
Slouží k vyresetování funkčního bloku za účelem odstranění erroru poté, co odezněla porucha, která ho způsobila. Stejně jako vstupní parametr **Reset** je i **S_Control_Reset** citlivý na náběžnou hrana. Naopak rozdílem je nutnost ho ovládat proměnnou datového typu **SAFEBOOL**.

- **S_Control_Activate**
Vstupní parametr datového typu **SAFEBOOL**, kterým je aktivován interní stavový automat funkčního bloku. Pokud je na vstup přiveden signál odpovídající logické hodnotě **SAFETRUE**, stavový automat je spuštěn a je možné aktivovat jak pohon, tak jednu z integrovaných bezpečnostních funkcí pohonu. Pokud je na vstup přiveden signál odpovídající logické hodnotě **SAFEFALSE**, stavový automat je ve stavu **IDLE** (nečinný) a pohon není možné spustit. Parametr **S_Control_Activate** lze ovládat proměnnou nebo konstantou.
- **S_Control_STO**
Vstup datového typu **SAFEBOOL**, kterým je aktivována integrovaná bezpečnostní funkce pohonu **Safe Torque Off**. Pokud funkce není vůbec vyžadována, lze tento vstup ponechat nezapojený. Pokud ano, aktivuje se přivedením signálu odpovídajícího logické hodnotě **SAFEFALSE** a může být ovládána proměnnou nebo nastavena na konstantní hodnotu.
- **S_AxisID**
Vstupní parametr datového typu **SAFEINT** sloužící k přiřazení reálného pohonu k funkčnímu bloku, kterým je ovládán.
- **S_Status_STO**
Výstupní parametr datového typu **SAFEBOOL** sloužící k indikaci stavu integrované bezpečnostní funkce **Safe Torque Off**. Jestliže výstup odpovídá logické hodnotě **SAFETRUE**, bezpečnostní funkce je aktivní a pohon byl bezpečně zastaven. Jestliže výstup odpovídá logické hodnotě **SAFEFALSE**, bezpečnostní funkce není aktivní nebo pohon ještě nebyl bezpečně zastaven.

4.3 Popis vlastního programu

4.3.1 Tlačítko nouzového zastavení

K softwareovému zajištění funkce tlačítka nouzového zastavení je použit funkční blok `SF_EmergencyStop`. Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje funkci tlačítka nouzového zastavení lze vidět na obrázku 4.7.

Aktivace

Jelikož je na povolovací vstup `Activate` přiveden statický signál odpovídající logické hodnotě `TRUE`, funkční blok je aktivní celou dobu od spuštění bezpečnostního PLC až do jeho vypnutí. K ověření, že je skutečně aktivní slouží proměnná `ES_Rdy` připojená na výstupní parametr `Ready`. Ta je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního PLC do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Řídicí signál

Řídicí signál, přesněji výsledek vyhodnocení ekvivalence dvojice řídicích signálů `ESDualChannel` je připojen na vstup `S_EStopIn`. Aby bylo možné získat správné vyhodnocení ekvivalence v podobě jedné proměnné, musí být nastaveny následující parametry:

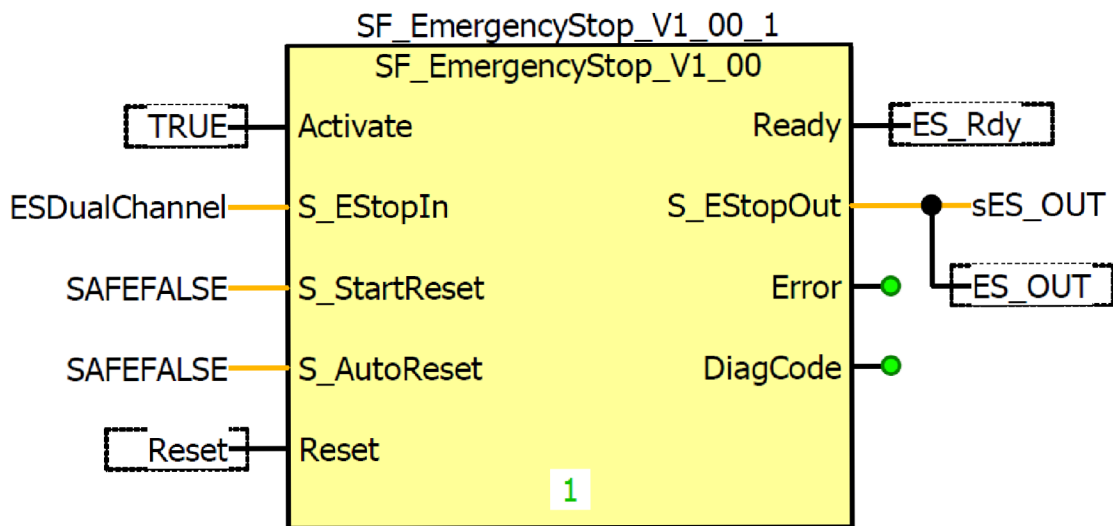
- Jelikož pulzní signály z různých pulzních výstupů bezpečnostního PLC se liší, je nutné nastavit, na kterém vstupu má být očekáván jaký signál. U našeho E-Stopu prochází jedním kanálem signál z pulzního zdroje 3 na bezpečnostní vstup 1 a druhým kanálem signál z pulzního zdroje 4 na bezpečnostní vstup 2.
- Jelikož máme E-Stop se dvěma NC kontakty, oba kontakty by měly být buď sepnuté nebo rozepnuté. `Two-Channel Processing Mode` udávající, jak je vyhodnocen stav ochranného zařízení je tedy nastaven na `Equivalent`.

Signál ovládající bezpečnostní funkci pohonu

Výsledek vyhodnocení stavu ochranného zařízení je z výstupu `S_EStopOut` ukládán do lokální proměnné `sES_OUT` typu `SAFEBOOL` a globální `ES_OUT` typu `BOOL`. `sES_OUT` dále slouží jako jedna z proměnných sloužících k ovládání integrované bezpečnostní funkce `Safe Torque Off` obou pohonů. `ES_OUT` je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Resetování

Na vstupní parametry `S_StartReset` a `S_AutoReset` jsou přivedeny statické signály odpovídající logické hodnotě `SAFEFALSE`. Funkční blok tlačítka nouzového zastavení je tedy nutné resetovat po jeho vlastní aktivaci, i každé aktivaci bezpečnostní funkce spuštěné ochranným zařízením, jehož stav monitoruje. Reset je proveden zmáčknutím resetovacího tlačítka na modulu E-Stopu, které je připojeno k jednomu z digitálních vstupů. Ten nastavuje proměnnou `Reset`, která je přenášena komunikačním kanálem ze standardního do bezpečnostního PLC, kde je připojena k resetovacím vstupům všech bloků.



Obrázek 4.7: FBD program zajišťující funkci tlačítka nouzového zastavení

4.3.2 Světelný závěs

K softwareovému zajištění funkce bezpečnostního světelného závěsu je použit funkční blok **SF_ESPE**. Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje funkci světelného závěsu lze vidět na obrázku 4.8.

Aktivace

SF_ESPE je aktivován přes předřazený funkční blok **SF_Equivalent**, na jehož povolovací vstup **Activate** je přiveden statický signál odpovídající logické hodnotě **TRUE**. Poté, co je **SF_Equivalent** aktivní, je jeho výstupní parametr **Ready** nastaven na hodnotu **TRUE**. Ten je spojený s povolovacím vstupem funkčního bloku **SF_ESPE**, čímž je aktivován. Oba bloky jsou aktivní celou dobu od spuštění bezpečnostního PLC až do jeho vypnutí. K ověření, že je blok **SF_ESPE** skutečně aktivní slouží proměnná **ESPE_Rdy** připojená na výstupní parametr **Ready**. Tato proměnná je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Řídicí signály

Separátní signály **ESPE_OSSD1** a **ESPE_OSSD2** odpovídající stavu jednotlivých bezpečných výstupů světelného závěsu jsou přivedeny na vstupy **S_ChannelA** a **S_ChannelB** bloku **SF_Equivalent**. Teprve výsledek vyhodnocení jejich ekvivalence je z výstupu **S_EquivalentOut** posílán na vstup **ESPE_In** a slouží tedy jako řídicí signál. Jelikož do tohoto ochranného zařízení nejsou posílány žádné pulzy, je bezpečnostní PLC nastaveno, aby na vstupech 3 a 4, ke kterým je ochranné zařízení připojeno žádné pulzy neočekávalo. Místo toho pracuje s logickými hodnotami high a low, které na své polovodičové bezpečnostní výstupy **OSSD1** a **OSSD2** nastavuje světelný závěs.

Signál ovládající bezpečnostní funkci pohonu

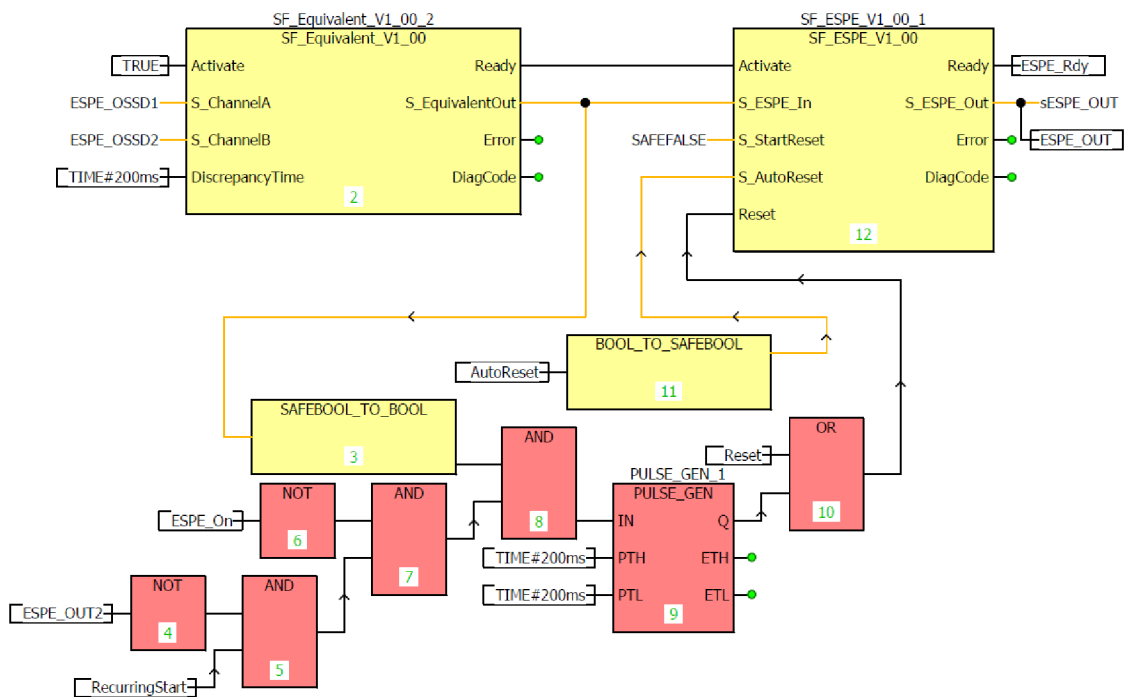
Výsledek vyhodnocení stavu ochranného zařízení je z výstupu **S_ESPE_OUT** ukládán do lokální proměnné **sESPE_OUT** typu **SAFEBOOL** a globální **ESPE_OUT** typu **BOOL**. **sESPE_OUT** dále slouží jako jedna z proměnných sloužících k ovládání integrované bezpečnostní funkce **Safe Torque Off** horního pohonu. **ESPE_OUT** je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Resetování

Na vstupní parametr **S_StartReset** je přiveden statický signál odpovídající logické hodnotě **SAFFALSE**. Funkční blok optoelektronického ochranného zařízení je tedy nutné po jeho vlastní aktivaci vždy resetovat. Vstupní parametr **S_AutoReset** je ovládán proměnnou **AutoReset**, která je nastavována uživatelem a přenášena ze standardního PLC po jednom z komunikačních kanálů do bezpečnostního PLC. Zda bude vyžadován reset funkčního bloku **SF_ESPE** po aktivaci bezpečnostní funkce určuje proměnná **AutoReset**. Narozdíl od tlačítka nouzového zastavení je možné optoelektronické ochranné zařízení deaktivovat, respektive potlačit výstup funkčního bloku

monitorujícího jeho stav. Je tedy vhodné ošetřit, aby když je tento výstup potlačen, nedocházelo ke změně jeho stavu. Pokud by totiž blok vyhodnotil nebezpečnou situaci a výstup ovládací kontrolovaný proces nastavil na logickou hodnotu **SAFEFALSE**, po opětovné aktivaci ochranného zařízení by bylo nesmyslně nutné provádět reset. Proto je v případě, že je ochranné zařízení deaktivované reset prováděn automaticky za následujících podmínek:

- výstup funkčního bloku ovládací kontrolovaný proces je potlačen
- výstup funkčního bloku ovládací kontrolovaný proces odpovídá logické hodnotě **SAFEFALSE**
- ochranné zařízení není ve stavu, kdy by měla být bezpečnostní funkce za normálního stavu aktivní
- funkční blok byl po aktivaci vyresetován



Obrázek 4.8: FBD program zajišťující funkci světelného závěsu

4.3.3 Blokovací zařízení s jištěním

K softwareovému zajištění funkce blokovacího zařízení s jištěním je použit funkční blok `SF_GuardLocking`. Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje funkci blokovacího zařízení s jištěním lze vidět na obrázku 4.9.

Aktivace

Jelikož je na povolovací vstup `Activate` přiveden statický signál odpovídající logické hodnotě `TRUE`, funkční blok je aktivní celou dobu od spuštění bezpečnostního PLC až do jeho vypnutí. K ověření, že je skutečně aktivní slouží proměnná `GL_Rdy` připojená na výstupní parametr `Ready`. Ta je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Řídicí signál

Řídicí signál, přesněji výsledek vyhodnocení ekvivalence dvojice řídicích signálů `GLDualChannel` je připojen na vstup `S_GuardMonitoring`. Aby bylo možné získat správné vyhodnocení ekvivalence v podobě jedné proměnné, musí být nastaveny následující parametry:

- Jelikož do tohoto ochranného zařízení nejsou posílány žádné pulzy, je bezpečnostní PLC nastaveno, aby na vstupech 5 a 6, ke kterým je ochranné zařízení připojeno žádné pulzy neočekávalo. Místo toho pracuje s logickými hodnotami `high` a `low`, které na své polovodičové bezpečnostní výstupy `OSSD1` a `OSSD2` nastavuje bezkontaktní spínač, který je součástí modulu magnetického zámku.
- `Two-Channel Processing Mode` udávající, jak je vyhodnocen stav ochranného zařízení je nastaven na `Equivalent`, jelikož oba bezpečnostní výstupy bezkontaktního spínače přepínají synchronně.

Stav chráněného prostoru

Informaci o stavu chráněného prostoru získává funkční blok na vstupu `S_SafetyActive` prostřednictvím proměnné `MoveActive`. Ta je přenášena ze standardního PLC, kde je součástí funkčního bloku `MpAxisBasic`. Pokud nabývá logické hodnoty `TRUE`, servomotor se točí. Pro funkční blok `SF_GuardLocking` ovšem logická hodnota `SAFETRUE` na vstupu `S_SafetyActive` znamená, že chráněný prostor je bezpečný. Je tedy nutné proměnnou `MoveActive` před připojením na tento vstup znegovat.

Stav jistícího magnetu

Ke vstupu `GuardLocked` je připojena lokální proměnná `GL_MagnetState` nesoucí informaci o fyzickém stavu bezpečného výstupu, kterým je ovládán jistící magnet. Funkční blok tedy získává informaci, zda je blokovací zařízení zajištěno.

Vyžádání uvolnění

Proměnná `GL_Unlock` přivedená na vstup `UnlockGuard` zajišťuje uvolnění jistícího magnetu, pokud je uživatelem vyžádáno. Tato proměnná je vytvořená ve standardním PLC, odkud je přenášena komunikačním kanálem do bezpečnostního PLC. Důvodem je, aby mohla být nastavována pomocí tlačítka na vizualizaci.

Ovládání jištění

Výstupem S_UnlockGuard funkční blok ovládá jističí magnet. Aby bylo blokovací zařízení zajištěno, musí být splněny následující podmínky:

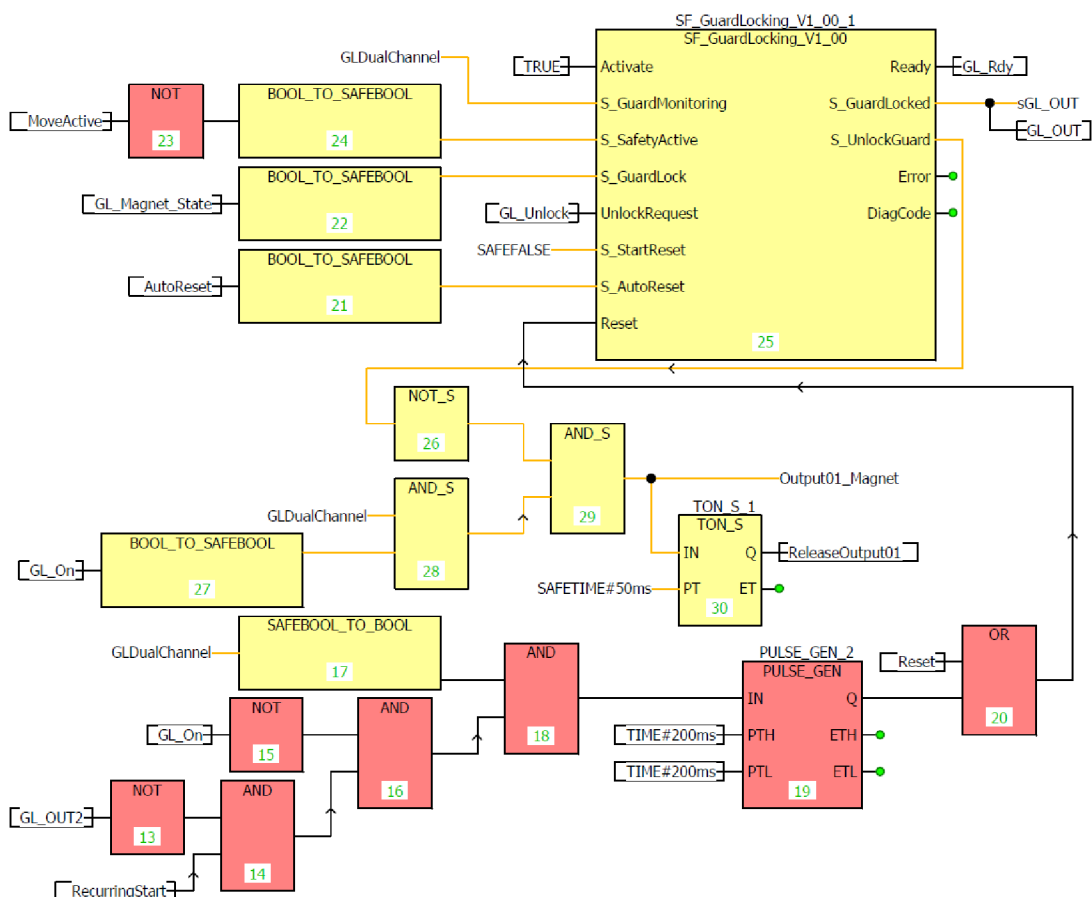
- výstup S_UnlockGuard je ve stavu FALSE
- proměnná GLDualChannel nabývá hodnoty TRUE (dveře jsou zavřené)
- proměnná GL_On nabývá hodnoty TRUE (ochranné zařízení je aktivní)
- alespoň 50ms po nastavení byl výstup uvolněn proměnnou ReleaseOutput01

Signál ovládající bezpečnostní funkci pohonu

Výsledek vyhodnocení stavu ochranného zařízení je z výstupu S_GuardLocked ukládán do lokální proměnné sGL_OUT typu SAFEBOOL a globální GL_OUT typu BOOL. sGL_OUT dále slouží jako jedna z proměnných sloužících k ovládání integrované bezpečnostní funkce Safe Torque Off dolního pohonu. GL_OUT je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Resetování

Resetování funguje identicky jako u světelného závěsu.



Obrázek 4.9: FBD program zajišťující funkci blokovacího zařízení s jištěním

4.3.4 Bezkontaktní blokovací spínač

K softwareovému zajištění funkce bezdotykového blokovacího zařízení pro monitorování dveří je použit funkční blok **SF_GuardMonitoring**. Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje funkci bezkontaktního blokovacího spínače lze vidět na obrázku 4.10.

Aktivace

SF_GuardMonitoring je aktivován přes předřazený funkční blok **SF_Equivalent**, na jehož povolovací vstup **Activate** je přiveden statický signál odpovídající logické hodnotě **TRUE**. Poté, co je **SF_Equivalent** aktivní, je jeho výstupní parametr **Ready** nastaven na hodnotu **TRUE**. Ten je spojený s povolovacím vstupem funkčního bloku **SF_GuardMonitoring**, čímž je aktivován. Oba bloky jsou aktivní celou dobu od spuštění bezpečnostního PLC až do jeho vypnutí. K ověření, že je blok **SF_GuardMonitoring** skutečně aktivní slouží proměnná **GM_Rdy** připojená na výstupní parametr **Ready**. Tato proměnná je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Řídicí signály

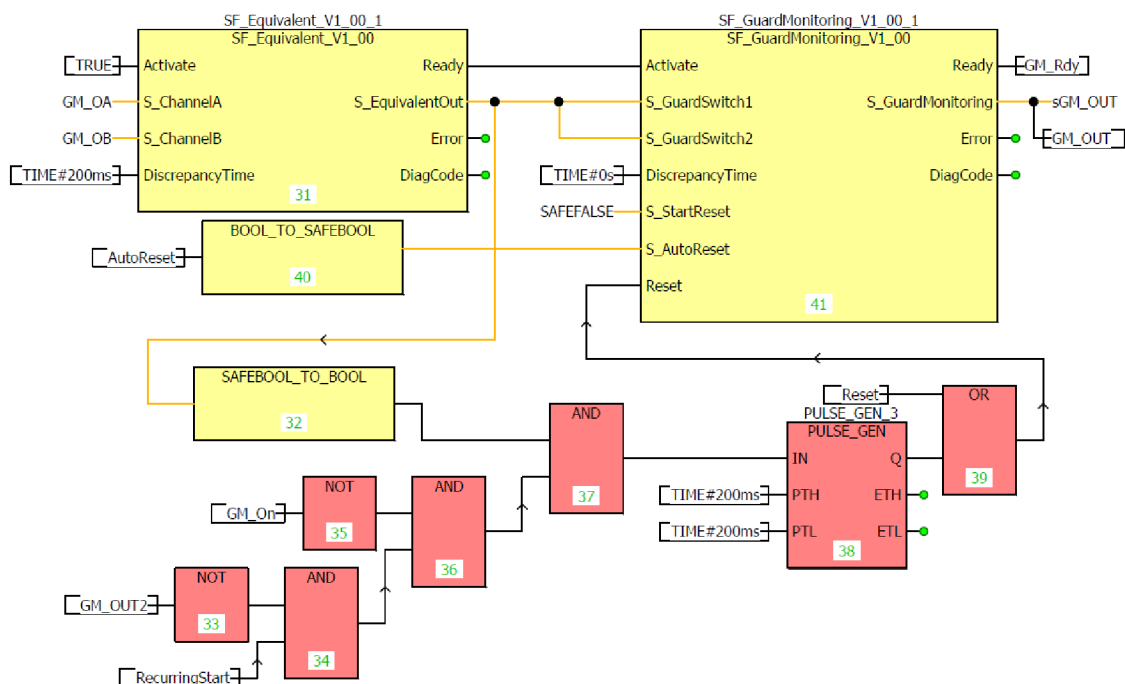
Separátní Řídicí signály **GM_OA** a **GM_OB** odpovídající stavu jednotlivých bezpečných výstupů světelného závěsu jsou přivedeny na vstupy **S_ChannelA** a **S_ChannelB** bloku **SF_Equivalent**. Teprve výsledek vyhodnocení jejich ekvivalence je z výstupu **S_EquivalentOut** posílán na vstupy **S_GuardSwitch1** a **S_GuardSwitch2**, a slouží tedy jako řídicí signál. Ačkoli by separátní řídicí signály **GM_OA** a **GM_OB** šlo připojit přímo na vstupy **S_GuardSwitch1** a **S_GuardSwitch2**, potřebujeme znát výsledek vyhodnocení jejich ekvivalence, se kterým se dále pracuje. Máme tedy jeden řídicí signál odpovídající vyhodnocení ekvivalence, který je připojen na vstupy **S_GuardSwitch1** a **S_GuardSwitch2**. Jelikož do tohoto ochranného zařízení nejsou posílány žádné pulzy, je bezpečnostní PLC nastaveno, aby na vstupech 7 a 8, ke kterým je ochranné zařízení připojeno žádné pulzy neočekávalo. Místo toho pracuje s logickými hodnotami **high** a **low**, které na své polovodičové bezpečnostní výstupy **OSSD1** a **OSSD2** nastavuje bezkontaktní spínač.

Signál ovládající bezpečnostní funkci pohonu

Výsledek vyhodnocení stavu ochranného zařízení je z výstupu **S_GuardMonitoring** ukládán do lokální proměnné **SGM_OUT** typu **SAFEBOOL** a globální **GM_OUT** typu **BOOL**. **SGM_OUT** dále slouží jako jedna z proměnných sloužících k ovládní integrované bezpečnostní funkce **Safe Torque Off** dolního pohonu. **GM_OUT** je přenášena po jednom z komunikačních kanálů z bezpečnostního do standardního PLC, kde se s ní dále pracuje.

Resetování

Resetování funguje identicky jako u světelného závěsu a blokovacího zařízení s jištěním.



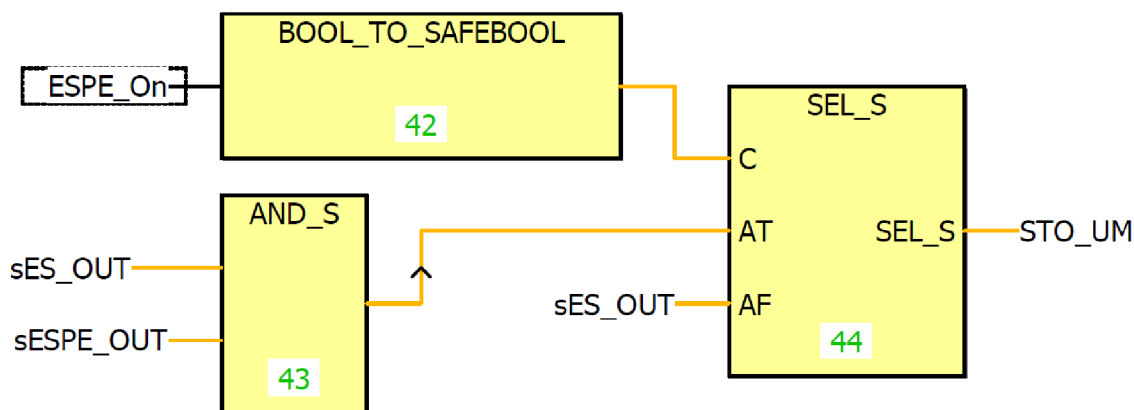
Obrázek 4.10: FBD program zajišťující funkci bezkontaktního blokovacího zařízení

4.3.5 Výběr bezpečnostního módu horního pohonu

Bezpečnostní funkce **Safe Torque Off** horního pohonu je spouštěna zamáčknutím tlačítka nouzového zastavení, případně narušením ochranného pole světelného závěsu. Funkci E-Stopu nelze nijak potlačit a pohon na jeho zamáčknutí vždy reaguje zastavením. Oproti tomu funkce světelného závěsu je volitelná a lze ji vybrat/potlačit příslušným tlačítkem zap/vyp na operátorském panelu. Máme tedy dva módy, mezi kterými můžeme volit: pouze E-Stop nebo E-Stop a světelný závěs. Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje výběr bezpečnostního módu horního pohonu lze vidět na obrázku 4.11.

Výběr módu je programově realizován funkčním blokem **SEL_S**. Jelikož máme pouze dva módy, stačí nám jednoduchý selektor, podle jehož podmínkového vstupního parametru je vybírán jeden ze dvou vstupů, jehož stav se zrcadlí na výstupu. Podmínkový vstup je ovládán proměnnou **ESPE_ON**, která je nastavována na panelu výběrem světelného závěsu. Protože je datového typu **BOOL** a podmínkový vstup očekává datový typ **SAFEBOOL**, je nutné ji přetypovat pomocí bloku **BOOL_TO_SAFEBOOL**.

Pokud proměnná **ESPE_On** nabývá logické hodnoty **FALSE**, výstup **SEL_S** zrcadlí vstup **AF** a výstupní proměnná **STO_UM** odpovídá logické hodnotě proměnné **sES_OUT**. Pokud proměnná **ESPE_On** nabývá logické hodnoty **TRUE**, výstup **SEL_S** zrcadlí vstup **AT** a výstupní proměnná **STO_UM** odpovídá logickému součinu hodnot **sES_OUT** a **sESPE_OUT**.



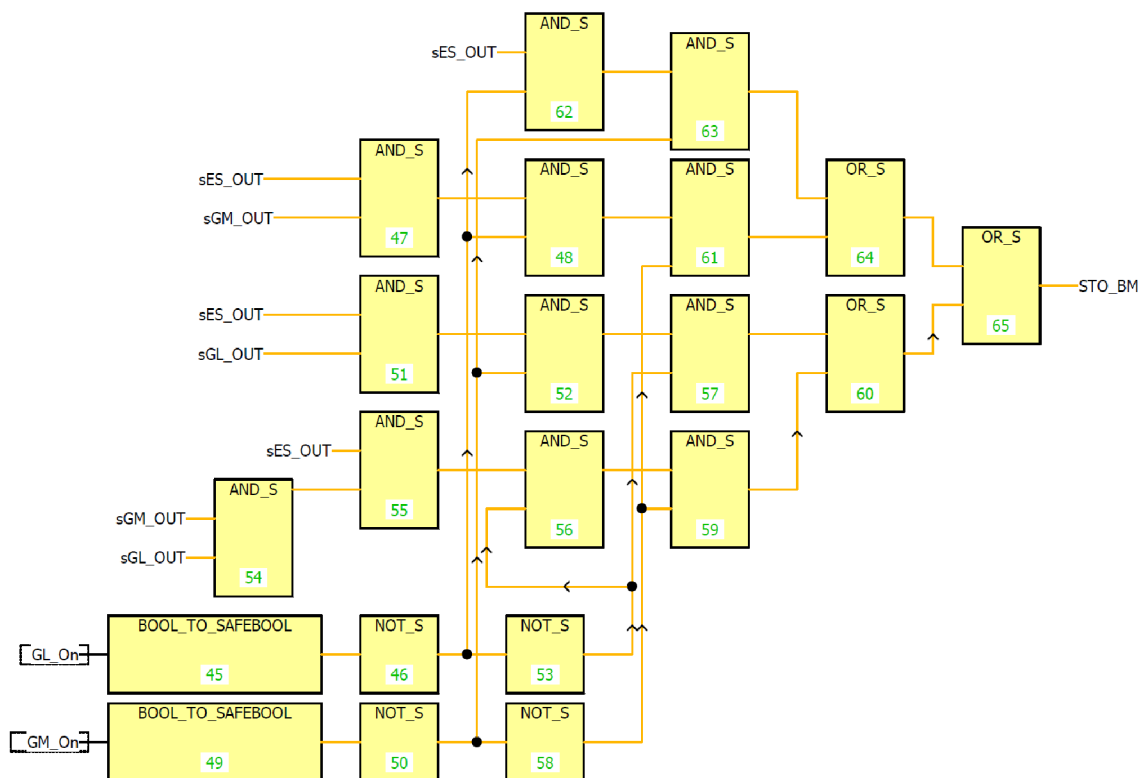
Obrázek 4.11: FBD program pro výběr bezpečnostního módu horního motoru

4.3.6 Výběr bezpečnostního módu dolního pohonu

Bezpečnostní funkce **Safe Torque Off** dolního pohonu je spouštěna zamáčknutím tlačítka nouzového zastavení, případně otevřením branky, což je zaznamenáno bezkontaktním blokovacím spínačem. Také je možné využít blokovacího zařízení s jištěním, čímž je zamezeno přístupu k aktivnímu pohonu. Funkci E-Stopu nelze nijak potlačit a pohon na jeho zamáčknutí vždy reaguje zastavením. Oproti tomu funkce bezkontaktního spínače a blokovacího modulu s magnetickým jištěním jsou volitelné a lze je vybrat/potlačit příslušným tlačítkem zap/vyp na operátorském panelu. Máme tedy čtyři módy, mezi kterými můžeme volit: pouze E-Stop, E-Stop + bezkontaktní spínač, E-Stop + modul s magnetickým jištěním a E-Stop + bezkontaktní spínač + modul s magnetickým jištěním. Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje výběr bezpečnostního módu dolního pohonu lze vidět na obrázku 4.12.

Výběr módu je programově realizován multiplexorem 1 ze 4, složeným z hradel AND_S, OR_S a NOT_S. Ten má dva adresové vstupy, které jsou ovládány proměnnými GL_On a GM_On. Tyto proměnné jsou nastavovány příslušnými tlačítky sloužícími k výběru ochranných zařízení na operátorském panelu. Jelikož jsou do bezpečnostního PLC přenášeny ze standardního PLC, jsou datového typu BOOL, a je nutné je přetypovat pomocí bloků BOOL_TO_SAFEBOOL.

Pokud proměnné GL_On a GM_On nabývají logické hodnoty FALSE, výstup STO_BM zrcadlí stav proměnné sES_OUT. Pokud proměnná GL_On nabývá logické hodnoty TRUE a GM_On nabývá logické hodnoty FALSE, hodnota na výstupu STO_BM je logickým součinem hodnot proměnných sES_OUT a sGL_OUT. Pokud proměnná GL_On nabývá logické hodnoty FALSE a GM_On nabývá logické hodnoty TRUE, hodnota na výstupu STO_BM je logickým součinem hodnot proměnných sES_OUT a sGM_OUT. Pokud proměnné GL_On a GM_On nabývají logické hodnoty TRUE, hodnota na výstupu STO_BM je logickým součinem hodnot proměnných sES_OUT, sGM_OUT a sGL_OUT.



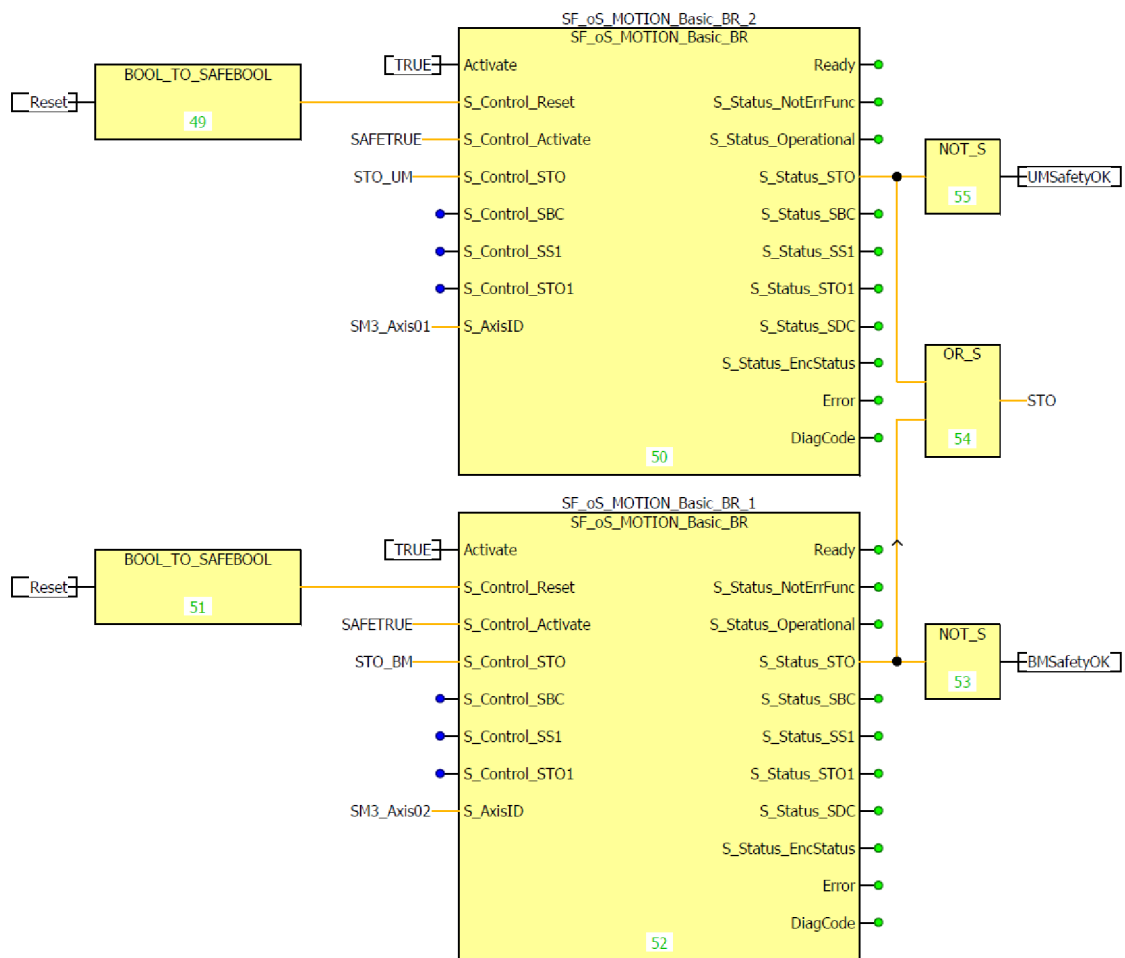
Obrázek 4.12: FBD program pro výběr bezpečnostního módu dolního motoru

4.3.7 Aktivace bezpečnostní funkce Safe Torque Off

Bezpečnostní funkce **Safe Torque Off** pohonu je aktivována, pokud je na vstup `S_Control_STO` jemu příslušícího funkčního bloku `SF_oS_MOTION_Basic_BR` přivedena logická hodnota `FALSE`. V našem případě jsou tyto vstupy ovládány proměnnými `STO_UM` a `STO_BM`, jejichž logická hodnota je vypočtena v závislosti na zvoleném bezpečnostním módu příslušného motoru. K indikaci stavu bezpečnostní funkce jednotlivých pohonů slouží výstupy `S_Status_STO`. Z nich jsou do proměnných `UMSafetyOK` a `BMSafetyOK` ukládány negované hodnoty, které jsou komunikačním kanálem posílány do standardního PLC, kde se s nimi dále pracuje.

Proměnná `STO` je logickým součtem výstupů `S_Status_STO` funkčních bloků obou pohonů. Pokud alespoň jeden z výstupů nabývá logické hodnoty `TRUE`, nabývá proměnná `STO` taktéž hodnoty `TRUE`. Tato proměnná je dále využívána jako jedno z kritérií pro podsvícení resetovacího tlačítka.

Část FBD programu bezpečnostního PLC, která zajišťuje ovládání bezpečnostní funkce **Safe Torque Off** lze vidět na obrázku 4.13.



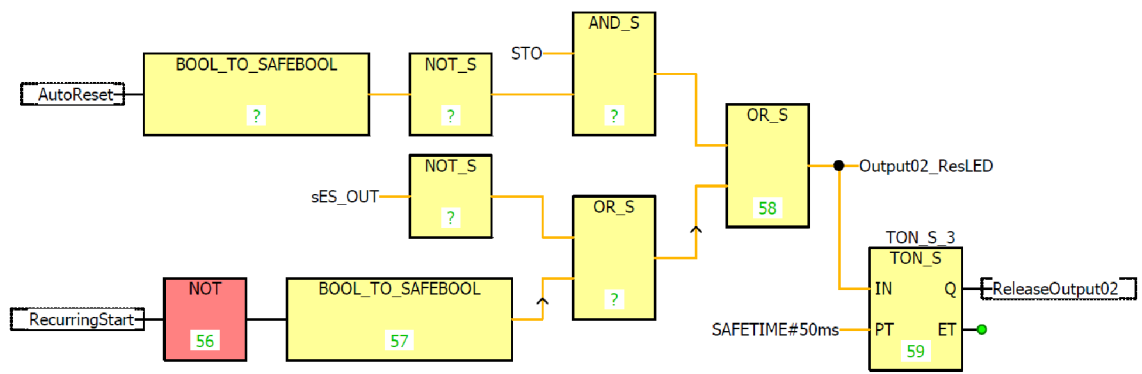
Obrázek 4.13: FBD program pro ovládání funkce Safe Torque Off

4.3.8 Podsvícení resetovacího tlačítka

Resetovací tlačítko by logicky mělo být podsvíceno v případě, že je pro další chod pohonů vyžadován reset. K tomu dochází v následujících situacích:

- proměnná **STO** nabývá hodnoty **TRUE** (bezpečnostní funkce některého z pohonů je aktivní) a **AutoReset** je neaktivní,
- pohony byly zastaveny tlačítkem nouzového zastavení (separátní situace, jelikož **AutoReset** se na tlačítko nouzového zastavení nevztahuje),
- bezpečnostní PLC bylo zrovna zapnuto.

Část programu v jazyce funkčních bloků, která realizuje podsvícení resetovacího tlačítka lze vidět na obrázku 4.14.

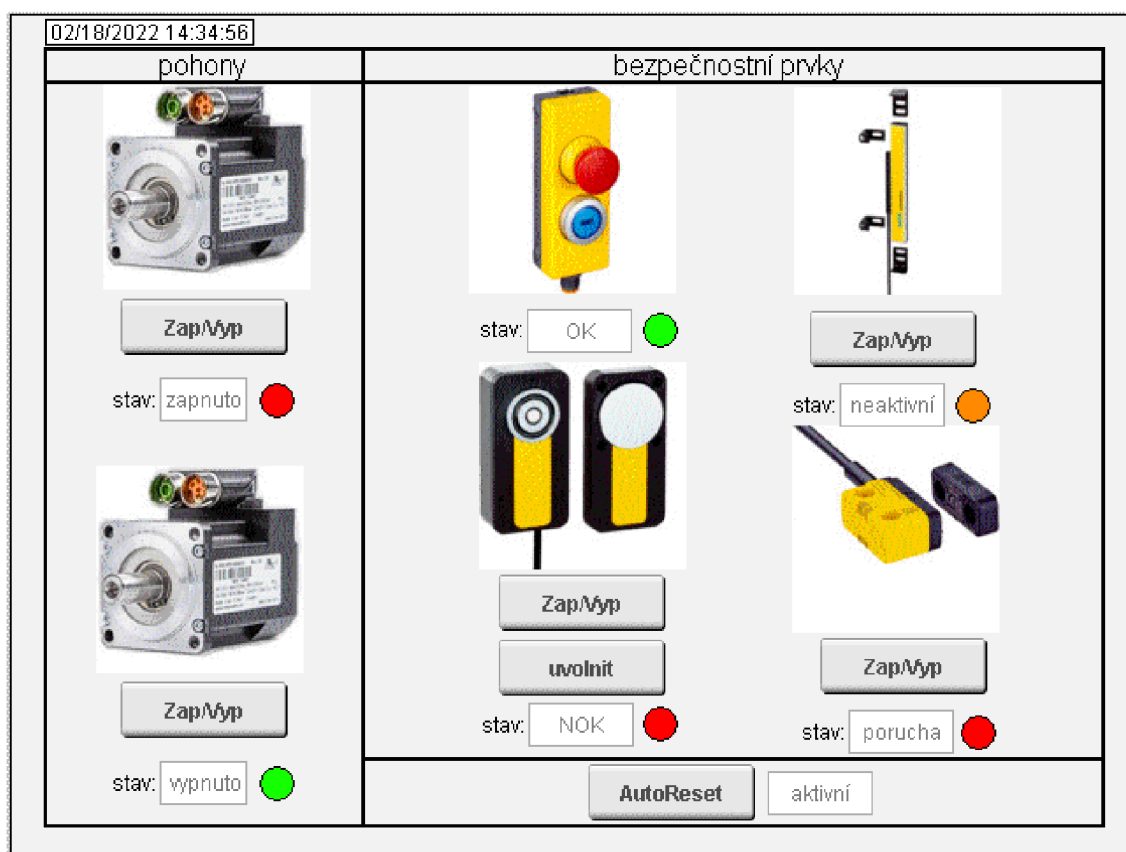


Obrázek 4.14: FBD program pro ovládání podsvícení resetovacího tlačítka

5 Vizualizace

Jednoduchá VC4 vizualizace (Obrázek 5.1) umožňuje:

- zapínání a vypínání servopohonů,
- sledování stavu servopohonů pomocí textového pole a kontrolky,
- aktivaci a deaktivaci všech ochranných zařízení kromě E-Stopu,
- sledování stavu všech ochranných zařízení pomocí textového pole a kontrolky,
- tlačítkem uvolnit jistící magnet ochranného zařízení s jištěním,
- aktivaci a deaktivaci **AutoResetu** (automatického spoštění pohonů po odeznění nebezpečné situace).



Obrázek 5.1: Vizualizace

5.1 Pohony

V okně pohony jsou pod sebou umístěny dva obrázky servopohonů 8LVA22, reprezentující horní a dolní servopohon laboratorního přípravku.

Zapínání a vypínání

Pod oběma obrázky se nachází tlačítka s popisem **Zap/Vyp**, sloužící k roztočení nebo zastavení příslušného pohonu. Tlačítka jsou typu **ToggleDatapoint**, a jsou jimi nastavovány binární proměnné **UMStartButton** a **BMStartButton**. V případě zamáčknutí tlačítka je příslušná proměnná nastavena na logickou hodnotu **TRUE**, v případě vymáčknutí tlačítka pak na logickou hodnotu **FALSE**.

Indikace stavu

Pod oběma tlačítky se nachází textový zobrazovač, ve kterém je zobrazován text **zapnuto** nebo **vypnuto**, podávající informaci o stavu příslušného pohonu. Těmto zobrazovačům jsou přiřazeny proměnné **UpperMotorState** a **BottomMotorState**, které jsou nastavovány v programu **Motion**.

Napravo od textového zobrazovače se nachází kontrolka, jejíž barva se mění v závislosti na tom, zda se daný pohon otáčí nebo ne. V případě nehybnosti pohonu je kontrolka zelená, v opačném případě červená. Její barva programově závisí na hodnotě příslušné proměnné **MoveActive** (pro horní nebo dolní pohon), získávané z programu **Motion**.

5.2 Bezpečnostní prvky

V okně Bezpečnostní prvky jsou umístěny obrázky všech ochranných zařízení, které slouží k jednoduše orientaci.

Aktivace a deaktivace

Pod obrázky se nachází tlačítka **Zap/Vyp**, které slouží k aktivaci a deaktivaci příslušného ochranného zařízení. Stejně jako u pohonů jsou i tato tlačítka typu **ToggleDatapoint**. Zamáčknutím se proměnná sloužící k aktivaci příslušného ochranného zařízení nastaví na logickou hodnotu **TRUE**, vymáčknutím poté na logickou hodnotu **FALSE**. Tyto proměnné **ESPE_On**, **GL_On** a **GM_On** spadají pod program **Safety** standardního PLC, odkud jsou komunikačními kanály přenášeny do bezpečnostního PLC, kde jsou využívány k volbě bezpečnostního módu pohonů. E-Stop nelze deaktivovat, z čehož vyplývá, že tlačítka k němu nepotřebují.

Indikace stavu

Stejně jako pohony, mají i ochranná zařízení pod aktivačním tlačítkem textový zobrazovač a kontrolku, které slouží k indikaci jejich stavu. Každé ochranné zařízení má svoji proměnnou pro textový zobrazovač i svoji proměnnou pro kontrolku. Ty jsou nastavovány v programu **Safety** standardního PLC, kde je vyhodnocován

stav ochranných zařízení. Do proměnné pro textový zobrazovač je ukládán text **OK** (bezpečnostní funkce není vyžadována), **NOK** (bezpečnostní funkce je vyžadována), **porucha** (funkční blok monitorující stav ochranného zařízení není aktivní) a případně **neaktivní** (funkce ochranného zařízení není zvolena). Kontrolka může mít zelenou, červenou nebo oranžovou barvu, která se mění v závislosti na hodnotě příslušné proměnné typu **INT**.

Tlačítko ovládající jištění

Blokovací zařízení s magnetickým jištěním potřebuje navíc tlačítko, kterým si v případě zajištěných dveří uživatel vyžádá uvolnění. I toto tlačítko je typu **ToggleDatapoint**. V případě, že je zamáčknuté nabývá proměnná **GL_Unlock**, která je jím ovládána logické hodnoty **TRUE**. V případě vymáčknutí nabývá logické hodnoty **FALSE**. S touto proměnnou se pracuje jak v programu **Safety** standardního PLC, tak i v bezpečnostním PLC.

Režim automatického spouštění pohonů

Tlačítkem **AutoReset** se aktivuje a deaktivuje režim automatického spouštění pohonů. V případě, že je tlačítko **AutoReset** i spouštěcí tlačítko zamáčknuto a nebezpečná situace, která způsobila zastavení pohonů již odezněla, pohony se samy opětovně spustí. Vedle tlačítka se nachází textový zobrazovač, který zobrazuje text **aktivní** nebo **neaktivní** v závislosti na tom, zda je tlačítko zamáčknuté nebo ne. Přesněji řečeno se text uložený v zobrazované proměnné **AutoResetState** mění v závislosti na hodnotě proměnné **AutoReset**, které je nastavována právě tímto tlačítkem. To zajišťuje program **Safety** standardního PLC.

Závěr

V práci byl popsán vytvořený funkční návrh bezpečnostní aplikace realizované na laboratorním přípravku. Dva tyto laboratorní přípravky byly v první fázi praktické části zkompletovány. Kompletace zahrnovala smontování mechanického rámu, osazení automatizačními prvky a realizaci elektroinstalace. Následně byl paralelně vytvářen software pro bezpečnostní PLC a standardní PLC, včetně vizualizace. Výsledkem je funkční bezpečnostní aplikace realizovaná na laboratorním přípravku, která může po jeho zařazení do výuky sloužit jako vzorová. Tato aplikace předvádí použití ochranných zařízení, která jsou v průmyslu používána k zajištění funkční bezpečnosti. Uživatel si může na operátorském panelu navolit jednu z možných kombinací bezpečnostních prvků a poté otestovat jejich funkci. Vizualizace současně umožňuje sledovat jejich stav a pokrývá všechny nutné ovládací prvky pro práci s nimi. K jednoduché vizuální kontrole funkčnosti ochranných zařízení slouží dva servopohony, které jsou rovněž ovládány z operátorského panelu.

Jelikož servopohony nainstalované na laboratorním přípravku disponují celou řadou pokročilých integrovaných bezpečnostních funkcí, nabízí se možnost navázat diplomovou prací, která bude demonstrovat funkcionalitu některých z nich.

Použitá literatura

- [1] ROCKWELL AUTOMATION, INC. *Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení. Zásady, normy, implementace (Revize 5 řady publikací Safebook)*. B.m.: Rockwell Automation, Inc., 2016. Strojní vybavení – safebook 5.
- [2] ČSN EN 61131-3 ED.2 (187050): *Programovatelné řídicí jednotky - Část 3: Programovací jazyky*. 3. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [3] *B&R Industrial Automation* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/>.
- [4] *SICK Sensor Intelligence* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/>.
- [5] B&R. *Automation Help 4.10 English* [software]. 1. června 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/downloads/software/automation-studio/automation-studio-410/automation-studio-v410/>. Požadavky na webový prohlížeč: minimálně Windows Internet Explorer® 9.0. Lze stáhnout pouze jako součást balíčku Automation Studio V4.10.
- [6] ČSN EN ISO 13849-1 (833205): *Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*. 4. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [7] ČSN EN 62061 (332208): *Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] B&R. TM500 - *Introduction to Integrated Safety*, Training Material. 2018.
- [9] B&R. TM510 - *Working with SafeDESIGNER*, Training Material. 2019.
- [10] B&R. TM540 - *Integrated Safe Motion Control*, Training Material. 2018.

A Přílohy

V přílohách se nachází soubor BP Hrnčír - přílohy.zip, kde je k dispozici projekt vytvořený v Automation Studiu V4.10.