



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Elektrotechnika, energetika a management**

**Bezpečnostní funkce frekvenčních měničů**

**Safety functions of frequency converters**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Elektrické stroje, přístroje a pohony  
Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.

**Jiří Čeřovský**

---

**Praha 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čeřovský** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **406234**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrických pohonů a trakce**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektrické stroje, přístroje a pohony**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Bezpečnostní funkce frekvenčních měničů**

Název diplomové práce anglicky:

**Safety Functions of Frequency Converters**

Pokyny pro vypracování:

1. Uveďte možné případy vzniku nebezpečných stavů systémů s elektrickými frekvenčně řízenými pohony a doplňte související požadavky stávajících legislativních předpisů.
2. Proveďte shrnutí a porovnání bezpečnostních funkcí současných frekvenčních měničů na trhu.
3. Připravte vhodné postupy pro verifikaci vybraných bezpečnostních funkcí frekvenčních měničů a ověřte tak používané metody zabezpečení činnosti střídavých pohonů s frekvenčními měniči.

Seznam doporučené literatury:

[1] Lettl J., Cerovsky Z., Pavelka J. ? Výkonova elektronika, skripta CVUT FEL

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**prof. Ing. Jiří Lettl CSc., katedra elektrických pohonů a trakce FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **15.02.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **30.06.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování prof. Ing. Jiřímu Lettlovi, CSc. a Ing. Naděždě Pavelkové, Ph.D. za jejich cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat Ing. Michalovi Gottwaldovi za technickou pomoc při simulování bezpečnostních funkcí. Poděkování také patří Ing. Davidu Křenkovi a Ing. Oldřichu Stříteckému za poskytnutí informací a podkladů k vápence Čertovy schody.

Podpis: .....

Jiří Čerovský

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma Bezpečnostní funkce měničů jsem vypracoval samostatně a veškerou použitou literaturu a další použité zdroje jsem řádně označil a uvedl v příloženém seznamu.

V Praze dne 17. 5. 2017

Podpis: .....

Jiří Čerovský

**NÁZEV:**

Bezpečnostní funkce frekvenčních měničů

**AUTOR:**

Jiří Čeřovský

**KATEDRA:**

Katedra elektrických pohonů a trakce

**VEDOUcí PRÁCE:**

prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.

**ABSTRAKT:**

Tato diplomová práce se zabývá analýzou a verifikací bezpečnostních funkcí frekvenčních měničů. Návrh bezpečnostního systému na základě funkční bezpečnosti je nedílnou součástí celého strojního zařízení. V této práci jsou shrnuty související bezpečnostní legislativní požadavky a normy a zdůrazněny důležité bezpečnostní předpisy. Jsou vypsány bezpečnostní funkce, které se v současnosti používají ve frekvenčních měničích. V další části je provedeno porovnání bezpečnostních modulů frekvenčních měničů firem ABB, Danfoss a Siemens. Ke konci této práce je popsáno použití bezpečnostního modulu ABB a bezpečnostních funkcí ve vápence Čertovy schody a ukázána verifikace a simulace vybraných bezpečnostních funkcí.

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

Bezpečnost, frekvenční měnič, měnič, funkční bezpečnost, bezpečnostní funkce, bezpečnostní modul

**TITLE:**

Safety functions of frequency converters

**AUTHOR:**

Jiri Cerovsky

**DEPARTMENT:**

Department of Electric Drives and Traction

**SUPERVISOR:**

prof. Ing. Jiri Lettl, CSc.

**ABSTRACT:**

This diploma thesis is focused on an analysis and a verification of drive-based safety functions. A safety plan of a machinery is based on a functional safety analysis. In this diploma thesis, related safety directives and standards are summarized. Safety functions which are nowadays used in drives are described. Safety modules in drives utilized by companies ABB, Danfoss and Siemens are compared. At the end of the thesis an application of the ABB modules in the lime works Certovy schody is presented and verification and simulation of the selected safety functions is performed.

**KEYWORDS:**

Safety of machinery, functional safety, drive, safety function, safety module

## Obsah

1.	Úvod.....	9
1.1.	Bezpečnost a funkční bezpečnost.....	9
1.2.	Motivace pro použití bezpečnostních funkcí.....	10
2.	Legislativní předpisy.....	11
2.1.	Úvod.....	11
2.2.	Směrnice o strojních zařízeních.....	11
2.3.	Základní bezpečnostní normy .....	12
2.4.	Shoda se Směrnicí o strojních zařízeních .....	14
2.4.1.	Správa funkční bezpečnosti .....	15
2.4.2.	Odhad a snížení rizika .....	15
2.4.3.	Návrh bezpečnostních funkcí .....	16
2.4.4.	SIL nebo PL.....	16
2.4.5.	Úroveň integrity bezpečnosti (SIL) .....	16
2.4.6.	Úroveň vlastností (PL).....	18
2.4.7.	Ověření funkčního bezpečnostního systému .....	19
2.4.8.	Potvrzení funkčnosti bezpečnostních funkcí .....	22
2.4.9.	Dokumentace a prohlášení o shodě .....	22
2.5.	FS management .....	23
2.6.	Functional safety design tool (FSDT-01).....	23
2.7.	Shrnutí kapitoly .....	23
3.	Bezpečnostní funkce v oblasti elektrických pohonů s měniči frekvence .....	24
3.1.	Výhody integrovaných bezpečnostních funkcí v měničích frekvence .....	24
3.2.	Přehled bezpečnostních funkcí v oblasti elektrických pohonů s měniči frekvence .....	25
3.2.1.	Bezpečné vypnutí točivého momentu (STO).....	25
3.2.2.	Bezpečné zastavení 1 (SS1).....	28
3.2.3.	Bezpečně omezená rychlost (SLS) .....	29
3.2.4.	Bezpečné ovládání brzdy (SBC).....	30
3.2.5.	Bezpečný směr (SDI).....	31
3.2.6.	Monitor bezpečné rychlosti (SSM).....	31
3.2.7.	Bezpečná teplota motoru (SMT) .....	32
3.2.8.	Bezpečné nouzové zastavení (SSE).....	33
3.2.9.	Bezpečná maximální rychlost (SMS) .....	33
3.2.10.	Zamezení neočekávanému spuštění (POUS) .....	34
3.2.11.	Priority mezi funkcemi .....	34
3.3.	Shrnutí kapitoly .....	35
4.	Bezpečnostní moduly .....	36
4.1.	Bezpečnostní moduly ABB .....	36
4.1.1.	FSO-11 .....	36

4.1.2.	FSO-12.....	41
4.1.3.	FSO-21.....	43
4.1.4.	FSE-31 .....	43
4.2.	Bezpečnostní moduly Danfoss .....	44
4.2.1.	MCB 140 .....	44
4.2.2.	MCB 150 .....	45
4.2.3.	MCB 152 .....	46
4.3.	Bezpečnostní funkce realizované ve frekvenčních měničích Siemens .....	47
4.3.1.	Další bezpečnostní funkce oproti ABB.....	48
4.3.2.	Řízení bez čidla otáček .....	50
4.4.	Shrnutí kapitoly .....	51
5.	Použití bezpečnostních funkcí v praxi.....	52
5.1.	Úvod .....	52
5.2.	Vápenka Čertovy schody.....	52
5.3.	Technologie výroby vápna .....	53
5.4.	Použití měničů ABB.....	54
5.5.	Bezpečnostní systém a posouzení rizik .....	57
5.6.	Propojení měniče ACS880-01-02A4-3 s relé KEM a Preventa.....	57
5.7.	Použité bezpečnostní funkce.....	60
5.8.	Shrnutí kapitoly .....	62
6.	Verifikace vybraných bezpečnostních funkcí.....	63
6.1.	Štítkové hodnoty motorů a měniče .....	64
6.2.	Základní nastavení parametrů simulace.....	64
6.3.	Nastavení a simulace bezpečnostní funkce STO .....	65
6.4.	Nastavení a simulace bezpečnostní funkce SS1 .....	66
6.4.1.	Nastavení a simulace SS1-t.....	66
6.4.2.	Nastavení a simulace SS1-r .....	68
6.5.	Nastavení a simulace bezpečnostní funkce SLS .....	69
6.5.1.	Nastavení a simulace SLS-t .....	69
6.5.2.	Nastavení a simulace SLS-r .....	70
6.6.	Shrnutí kapitoly .....	71
7.	Závěr .....	72
8.	Příloha .....	73
9.	Seznam obrázků a tabulek .....	83
10.	Použité zdroje .....	85



# 1. Úvod

## 1.1. Bezpečnost a funkční bezpečnost

Již více než dvě století se společnost zabývá bezpečností strojních zařízení a bezpečností v průmyslu obecně. V posledních letech tento trend zesiluje a nabývá na významu. S tím souvisí schvalování nových bezpečnostních předpisů a následných norem. Úkolem výrobce strojního zařízení je pak tyto bezpečnostní předpisy skloubit s požadavky na snižování nákladů a zvyšování produktivity.

Strojní bezpečnost lze zajistit přidáním elektrických nebo mechanických součástek. To má však za následek snížení produktivity a efektivnosti v důsledku vyšších pořizovacích nákladů, nákladů na údržbu a snížení spolehlivosti. Během poslední dekády však přišly na trh nové bezpečnostní technologie v oblasti měničů frekvence, které činí implementaci bezpečnostních zařízení mnohem jednodušší, přispívají k celkově lepší ochraně lidí, ale zároveň neubírají nic na produktivitě a efektivnosti [2].

Systémy navrhované pro bezpečnostní účely nejsou žádnou novinkou. Používají se jako součást ochranných systémů, které jsou nezávislé na řídicím systému a v případě ohrožení nebo poruchy tento systém převedou do bezpečného stavu. Dříve platilo, že bezpečnostní systémy byly sestavovány podle místních zvyklostí a v souladu s místními normami. To mohlo mít za následek buď podcenění nutných opatření a následné nedostatečné ochrany, nebo naopak předimenzování systému a snížení efektivnosti a produktivity [5, 4].

Proto se v posledních dvou dekadách začíná uplatňovat tzv. funkční bezpečnost. Tento nový přístup poskytuje výrobcům strojních zařízení a projektantům bezpečnostních systémů možnost přistupovat k problematice exaktněji. Podstatu rizika lze totiž určenými metodami kvantifikovat a navrhnout odpovídající ochranný systém. Pokud jsou ochranné systémy navrženy v souladu s uznávanými normami, lze jasně prokázat jejich vhodnost. Tím lze navrhnout bezpečnostní opatření přesně na míru daného systému [5].

Každé riziko spojené s řízeným zařízením musí být identifikováno, definováno a oceněno co do přijatelnosti. Každé riziko, které je vyhodnoceno jako nepřijatelné, se musí omezit nebo odstranit. Omezení rizika je možné dosáhnout pomocí bezpečnostních funkcí, které jsou založeny na naprogramovaných algoritmech pro ochranu strojních zařízení [5]. Většina bezpečnostních funkcí jsou již normované a společnosti ABB, Siemens nebo Danfoss tyto bezpečnostní funkce mají ve svém produktovém portfoliu.

O bezpečnosti je třeba přemýšlet během celého životního cyklu zařízení a brát v úvahu také lidský faktor, protože právě ten je nejčastějším zdrojem bezpečnostních incidentů. Když Evropská komise analyzovala příčiny nehod v chemickém průmyslu, vyplynulo z údajů sbíraných od roku 1982 do roku 2011, že více než 90 % nehod bylo primárně způsobeno chybami v organizaci práce nebo nedodržením jejich pravidel. Pod tím se nejčastěji skrývá práce ve stresu, nedbalost nebo úmyslné obejití bezpečnostních opatření [3].

Nejlepší bezpečnostní opatření je tedy navržení strojního zařízení, které vylučuje nebo co nejvíce omezuje nebezpečí, tzn. je bezpečný již od návrhu. V případě, že jsou přítomna rizika, je zapotřebí použít mechanické ochrany nebo funkční bezpečnostní systémy. Méně efektivní, avšak neméně důležité, jsou dodatečná upozornění, školení personálu a vypracování návodů k používání. Zvýše uvedeného plyne, že při navrhování zařízení musí výrobce vzít v úvahu nejen předpokládané použití, ale rovněž jakékoli předvídatelné nesprávné použití. Je tak velice důležité zajistit, aby namontované ochrany nebylo možno obejít. V praxi se pak používá kombinace všech výše zmíněných možností [9].

Zákazníci z důvodu jednoduchosti a efektivnosti požadují, aby bezpečnostní prvky byly co nejlépe integrovány do automatizačního prostředí závodu nebo výrobní linky. Společnosti ABB nebo Siemens tyto bezpečnostní prvky integrují do frekvenčních měničů, které jsou součástí

regulovaných pohonů ve strojních zařízeních, a tudíž mohou být použity k omezení rizik při zachování produktivity, bezporuchové doby činnosti a použitelnosti. Zároveň jsou splněny všechny povinnosti a je zajištěna bezpečnost lidí, zvířat a životního prostředí. Z hlediska uživatele musí mít bezpečnostní systém intuitivní ovládání, které vede operátora při jeho rozhodování. A nejde jen o ovládání, stejně snadné a intuitivní by mělo být i programování, konfigurace, diagnostika a správa bezpečnostního systému [1].

## 1.2. Motivace pro použití bezpečnostních funkcí

Implementace strojní bezpečnosti je v dnešní době mnohem jednodušší díky třem hlavním faktorům:

1. Moderní elektronické součástky umožňují, aby bezpečnostní funkce byly přímo integrovány do bezpečnostní logiky měničů frekvence. Bezpečnostní funkce jsou tak přímo součástí pohonů.
2. Legislativa jde s tímto trendem a pomáhá novými normami, které definují strojní bezpečnost.
3. Společnosti ABB, Siemens nebo Danfoss vyvinuly širokou paletu bezpečnostních přístrojů a řešení, které jsou snadné na integraci do průmyslových aplikací.

Tyto tři faktory umožnily bezpečnostní řešení, která jsou efektivnější, zmenšují náklady na instalaci, jsou snadnější na adaptaci a více spolehlivější než předešlé elektromechanické systémy.

Při řízení a provozování strojního zařízení se může vyskytnout celá řada rizik. Mezi typická rizika při řízení pohonů patří především [6]:

- neočekávaný start
- příliš vysoká rychlost poháněného zařízení
- bezděčná akcelerace z plíživé rychlosti
- příliš rychlá nebo příliš pomalá akcelerace nebo zpomalení
- neschopnost zastavení stroje
- ztráta kontroly řízení

Jak již bylo zmíněno výše, elektromechanické bezpečnostní systémy mohou být nahrazeny elektronickými bezpečnostními funkcemi, které jsou vestavěny přímo v měničích. Takovéto bezpečnostní funkce pracují celistvě, ruku v ruce s běžným řízením pohonu. Mohou být lehce konfigurovatelné a programovatelné. Přinášejí spolehlivý monitoring a systém ochrany, nouzové zastavení v případě ztráty kontroly nad systémem a ochranu proti nahodilým, systematickým a běžným poruchám. Přinášejí tak nové možnosti pro všestranné bezpečnostní systémy [6].

## 2. Legislativní předpisy

### 2.1. Úvod

Směrnice a normy mají pro výrobce strojů a bezpečnostních komponent velký význam. Národní zákony Evropské unie požadují, aby stroje splňovaly základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost definovanou ve Směrnici o strojních zařízeních. Jejich dodržování je pro výrobce povinné. V každé členské zemi EU jsou tyto směrnice implementovány prostřednictvím národní legislativy. Stroje, které jsou uváděny na trh od 29. prosince 2009, musí vyhovět nové Směrnici pro strojní zařízení č. 2006/42/EC (dále Směrnice). Před tímto termínem platila stará Směrnice č. 98/37/EC [7].

Cílem Směrnice o strojních zařízeních 2006/42/EC je udržet, zvýšit a harmonizovat bezpečnostní úroveň strojů v členských zemích Evropské unie. Stroj by měl být navržen a zkonstruován tak, aby po celou dobu jeho života vykazoval minimální rizika lidem a životnímu prostředí. To znamená, že každý nový stroj, který je dodáván do EU, musí splňovat tytéž požadavky. Na jejím základě je možno dosáhnout volného pohybu strojů (výrobků) mezi zeměmi EU [7, 1].

Předpisy pro funkční bezpečnost v EU se skládají ze dvou částí:

1. Směrnice o strojních zařízeních
2. harmonizované bezpečnostní předpisy

### 2.2. Směrnice o strojních zařízeních

Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně Směrnice 95/16/ES (přepracované znění) vyžaduje, aby byly dodrženy základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost s ohledem na stav techniky v době konstrukce a na technické a ekonomické požadavky. Směrnice definuje pouze obecné základní požadavky. Aby se výrobcům usnadnilo prokazování shody s těmito základními požadavky, jsou na evropské úrovni vytvořeny harmonizované normy týkající se prevence rizik. Tyto normy jsou vypracovány soukromoprávními subjekty. Výrobce plně odpovídá za osvědčování shody svých strojních zařízeních se Směrnicí. Zároveň musí zajistit posouzení rizika a vydání ES prohlášení o shodě [8, 1].

Směrnice stanovuje základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost a jejich dodržování je povinné. Detailní řešení a technické specifikace jsou uvedeny v harmonizovaných normách. Používání norem je dobrovolné, avšak výrobky navržené podle harmonizovaných norem musí splňovat základní bezpečnostní požadavky stanovené Směrnicí pro strojní zařízení. Směrnice se vztahuje na tyto výrobky [8]:

1. strojní zařízení
2. vyměnitelná přídavná zařízení
3. bezpečnostní součásti
4. příslušenství pro zvedání
5. řetězy, lana a popruhy
6. snímatelná mechanická převodová zařízení
7. neúplná strojní zařízení

Strojním zařízením se označuje [8]:

1. Soubor, který je vybaven nebo má být vybaven poháněcím systémem, který nepoužívá přímo vynaloženou lidskou nebo zvířecí sílu, sestavený z částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna je pohyblivá, vzájemně spojených za účelem přesně stanoveného použití.
2. Soubor uvedený v prvním bodě, kterému chybí pouze ty součásti, které jej spojují s místem použití nebo se zdroji energie či pohybu.
3. Soubor uvedený v prvním nebo druhém bodě, který je připraven k instalaci a je schopen fungovat až po namontování na dopravní prostředek nebo po instalaci v budově nebo na konstrukci.
4. Soubory strojních zařízení uvedené v prvním, druhém nebo třetím bodě nebo neúplná strojní zařízení, které jsou za účelem dosažení stejného výsledku uspořádány a ovládány tak, aby pracovaly jako integrovaný celek.
5. Soubor spojených částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna je pohyblivá, které jsou vzájemně spojeny, určené pro zvedání zátěže a jejichž jediný zdroj energie je lidská síla.

Když bude na stroji provedena oprava nebo změny, musí takový stroj stále splňovat požadavky Směrnice o strojních zařízeních.

Kromě splnění příslušných základních požadavků na ochranu zdraví a bezpečnost a posouzení shody je nutné, aby výrobce zajistil potřebnou technickou dokumentaci a informace k používání [2].

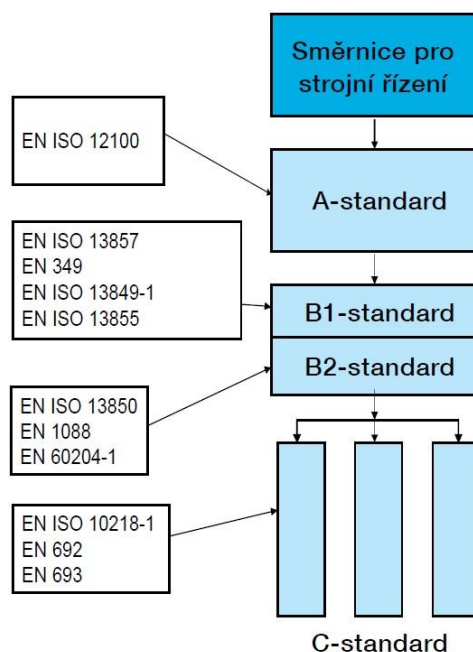
### 2.3. Základní bezpečnostní normy

Evropský výbor pro normalizaci (CEN) a Evropský výbor pro elektrotechnickou normalizaci (CENELEC) sestavují evropské verze norem (EN), které mohou být dále použity jako harmonizované normy pro všechny členské státy EU. Tyto harmonizované normy jsou pak v souladu se směrnicemi. Seznam harmonizovaných norem pro stroje je k nalezení na stránkách Evropské komise (<http://ec.europa.eu/>) [1].

Není povinné aplikovat harmonizované normy, je ale přínosné se jimi držet. Přinášejí doporučení a postupy pro splnění požadavků Směrnice, která být splněna musí. Evropská legislativa je založena na IEC a ISO normách, které jsou přijímány po celém světě. CEN vytváří ISO normy a obecně jsou určeny pro mechanické součástky. Tyto normy začínají číslem 1. CENELEC zakládá IEC normy, které začínají číslem 6 [1, 9]. Shoda s těmito normami pomáhá jako prevence proti nehodám a následným zraněním. Navíc splněním Směrnice o strojních zařízeních a relevantních harmonizovaných norem je výrobce stroje ujistěn, že splnil všechny povinnosti, aby navrhl a dodal bezpečný stroj, který splňuje všechny národní zákony. Většina harmonizovaných norem se odkazuje na jednu nebo více směrnic. Při navrhování strojů podle těchto norem nemusí výrobce vyžadovat certifikaci třetí stranou [1, 9].

Na projektantovi je, aby určil, co bude posuzováno podle té které normy. Je velmi důležité si určit rozhraní mezi instalací a strojním zařízením. Strojním zařízením se rozumí soubor sestavený z částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna část je pohyblivá, z příslušných pohonných jednotek a ovládacích a silových obvodů apod., které jsou vzájemně spojené za účelem stanoveného použití [10], kdežto instalace se vztahují na budovy a komplexy. Podle toho se pak vybírají dané normy.

Normy se rozdělují do 3 skupin, a to na A, B a C, jak je znázorněno na obrázku 1 [7, 11].



Obrázek 1 Příklad rozdělení norem do skupin [7]

Norma typu A existuje jenom jedna. Je to norma EN ISO 12100, v ČR pak ČSN ISO 12100:2011. Je to základní bezpečnostní norma, která stanovuje základní pravidla, konstrukční principy, terminologii a obecné faktory, které se vztahují na veškerá strojní zařízení. Rovněž proces posouzení všech rizik (elektrických, mechanických...) vychází z této normy. Jsou popsány postupy pro identifikaci nebezpečí a pro odhad a hodnocení rizik v relevantních fázích životního cyklu stroje. Je zde také uveden návod na dokumentaci. Tato norma je základ při zpracování norem typu B a C [11, 9].

Normy typu B jsou obecné bezpečnostní normy a existuje jich kolem 200. Řeší bezpečnost z určitého hlediska nebo se zabývají jedním konkrétním bezpečnostním prvkem, který lze použít v rámci širokého rozsahu strojních zařízení. Normy typu B se dále dělí na normy B1 a B2. Normy typu B1 řeší konkrétní bezpečnostní faktory, jako například bezpečné vzdálenosti, teplotu povrchu atd. Normy typu B2 řeší konkrétní bezpečnostní prvky a zařízení, jako jsou dvouruční ovládací zařízení nebo kryty [11, 9].

Norem typu C existuje něco přes 600. Určují konkrétní požadavky pro jednotlivé stroje nebo skupinu strojů. Tyto normy mají přednost před normami typu A i B.

Do norem typu B1 spadá velice důležitá norma v oblasti bezpečnosti strojů, a to IEC 60204-1 Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů: Část 1: Všeobecné požadavky. V podstatě jako jediná řeší bezpečnost strojů komplexně od pracovních režimů, dále od ovládacích prvků až po ověřování a technickou dokumentaci. Platí pro používání elektrických, elektronických a programovatelných zařízení a systémů u strojů, které nejsou během činnosti přenosné rukou, včetně skupiny strojů, které pracují společně koordinovaným způsobem. Platí pro zařízení nepřesahující 1000 V AC max. 200 Hz a 1500 V DC. Poskytuje doporučení a požadavky na elektrická zařízení strojů s cílem zvýšit bezpečnost a použitelnost [12, 9].

Tato norma definuje dvě nouzové operace [12, 9]:

1. nouzové vypínání
2. nouzové zastavení

Funkce nouzového vypínání odpojí napájení systému nebo jeho části, na kterých by mohlo vzniknout nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Tato funkce vyžaduje externí spínací prvky a nemůže být provedena pouze pomocí bezpečnostních funkcí. Naproti tomu nouzové

zastavení musí zastavit všechny nebezpečné části stroje, nemusí ale zastavit celý stroj. Aktivování funkce nouzového zastavení nesmí vytvářet žádné další nebezpečí nebo vyžadovat další zapojení obsluhy stroje [12, 9]

Norma EN 60204-1 také zavádí zastavení ve třech kategoriích [12, 9]:

1. kategorie 0 (neřízené zastavení)
2. kategorie 1 (řízené zastavení s následným odpojením od napájení)
3. kategorie 2 (řízené zastavení bez odpojení od napájení)

Při použití technických opatření k zajištění bezpečnosti strojního zařízení, u kterých může dojít k selhání s následným vznikem nebezpečné situace, postupujeme dle norem EN ISO 13849 nebo EN IEC 62061 [9].

Norma EN ISO 13849 se dělí na dvě části. První část je zaměřena na všeobecné zásady pro konstrukci, druhá část pak na validaci a ověřování. Tato norma poskytuje návod pro výrobu bezpečných strojních zařízení. Tyto pokyny zahrnují doporučení pro navrhování, integraci a validaci systémů. Lze jej použít pro části související s bezpečností řídicích systémů a různých druhů strojů bez ohledu na technologii, kterou používá. Norma definuje úroveň vlastností (PL) v rozsahu a - e. Úroveň vlastností se neurčuje u opatření, u kterých nemůže dojít k selhání (např. ochranné kryty) [14, 15, 9].

Norma EN IEC 62061 se zabývá funkční bezpečností elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností. Celý bezpečnostní řetězec – například logický senzor pohonu – je pokryt touto normou. Na rozdíl od normy EN 13489-1 norma EN 62061 nepokrývá požadavky na neelektrické řídicí zařízení pro strojní zařízení související s bezpečností. Norma používá úroveň integrity bezpečnosti SIL pro bezpečnostní funkce a SIL CL (SIL Claim limit) pro bezpečnostní subsystémy. Norma EN 62061 se oproti normě EN 13849 používá jen zřídka, nicméně lépe koresponduje s normou ISO 12100. Výsledná hodnota SIL je průsečíkem hodnot závažnosti zranění (Se) a třídou pravděpodobnosti škod (Cl). Ta je určena součtem četnosti a doby trvání ohrožení (Fr), pravděpodobností výskytu (Pr) a pravděpodobnosti vyvarování se škody (Av) [17, 9].

Další důležitá norma pro funkční bezpečnost je norma EN IEC 61508. Je postavena na bezpečnostním životním cyklu. Normy EN 13849-1 a EN 62061 vycházejí ze zásad stanovených v IEC 61508 [18, 9].

Velice užitečnou normou je také EN IEC 61800-5-2, která definuje bezpečnostní funkce pro systémy pohonů [13].

Další související normy jsou pak například EN IEC 61511, EN ISO 13850, EN ISO 1037, EN ISO 14118 a EN ISO 9001 [16, 19, 6]

## 2.4. Shoda se Směrnicí o strojních zařízeních

Shody se Směrnicí o strojních zařízeních lze dosáhnout buď splněním požadavků stanovených harmonizovanými normami, nebo tím, že má přejímací stroj šetření provedené oprávněnou třetí stranou, což je ve většině případů velice nákladné. Proto běžný způsob, jak navrhnout bezpečný stroj a zajistit si shodu, je následovat vhodné harmonizované normy. Použití certifikovaných bezpečnostních přístrojů tento postup značně zjednodušuje [1, 9].

Postup plnění Směrnice o strojních zařízeních pomocí harmonizovaných norem lze rozdělit do devíti kroků [1]:

1. správa funkční bezpečnosti (řízení funkční bezpečnosti během životního cyklu stroje)
2. odhad rizika (posouzení a odhad rizika)



3. omezení rizika (eliminace nebo minimalizace rizik návrhem vhodné konstrukce a dokumentace)
4. stanovení požadavků na bezpečnost (vymezení toho, co je potřeba udělat, aby se vyloučilo riziko nebo případně snížilo na přijatelnou úroveň)
5. implementace funkčního bezpečnostního systému (navrhování a vytváření bezpečnostních funkcí)
6. ověření funkčního bezpečnostního systému (ujištění, že bezpečnostní systém splňuje stanovené požadavky)
7. potvrzení funkčnosti funkčního bezpečnostního systému (přezkoumání implementovaného bezpečnostního systému a ujištění se, že bezpečnostní systém skutečně snížil rizika, jak bylo uvedeno)
8. dokumentace funkčního bezpečnostního systému (dokumentace konstrukce, dokumentace pro uživatele)
9. zajištění shody (prokazování shody stroje s požadavky Směrnice prostřednictvím posouzení shody a technické dokumentace)

Dodržením tohoto plánu pomůže výrobci splnit nutné požadavky pro označení shody CE a zároveň vytvořit nezbytné technické dokumenty [1].

#### 2.4.1. Správa funkční bezpečnosti

K dosažení požadované funkční bezpečnosti je nutné zhotovit projekt a systém řízení jakosti, který vychází z normy IEC 61508 nebo ISO 9001. Tento systém řízení může být zadán ve formě bezpečnostního plánu. Ten specifikuje norma EN 62061 pro splnění požadavků Směrnice o strojních zařízeních [1, 17].

Bezpečnostní plán mimo jiné popisuje strategii pro splnění funkčních požadavků na bezpečnost, identifikuje nebo stanovuje postupy a prostředky pro dokumentaci a zahrnuje plány na ověřování a schvalování. I přesto, že výše uvedené činnosti nejsou zvlášť specifikovány v EN ISO 13849-1, podobné činnosti jsou potřeba pro splnění požadavků Směrnice o strojních zařízeních. Jakmile je vytvořen bezpečnostní plán podle normy EN 62061, může se začít s odhadem rizika [1].

#### 2.4.2. Odhad a snížení rizika

Podle Směrnice o strojních zařízeních musí výrobce strojního zařízení nebo jeho zplnomocněný zástupce zajistit odhad rizika s cílem určit požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost, které platí pro strojní zařízení. Odhad rizik musí být proveden na všech provozovaných strojích, ať už mají přidělenou značku CE či nikoli. Všechna rizika vyhodnocená jako vysoká musí být snížena na přijatelnou úroveň. Strojní zařízení pak musí být navrženo a konstruováno s přihlédnutím k těmto výsledkům [1, 9].

Postup posouzení rizik vychází z normy EN ISO 12100 a zahrnuje specifikace mezních hodnot strojního zařízení, identifikaci nebezpečí, definování závažnosti úrazu a pravděpodobnosti jeho výskytu a posouzení, zda bylo na základě analýzy rizika dosaženo cílů ke snížení rizika. Proces posouzení rizik je nutně ovlivněn provozem, ve kterém se strojní zařízení vyskytuje. Například v potravinářském nebo chemickém průmyslu může mít nepřesnost fatální následky [1, 9].

Při návrhu strojního zařízení musí být zohledněny všechny stavy strojního zařízení ve všech fázích životnosti. To zahrnuje i dopravu, provoz, údržbu nebo likvidaci.

Poté, co jsou vyhodnocena možná rizika, mohou nastat dvě situace. V případě, že je závěr takový, že snížení rizika není zapotřebí, tak stroj dosáhl odpovídající úroveň bezpečnosti požadovanou ve Směrnici o strojních zařízeních. V případě, že bylo zjištěno, že riziko zůstává

nepřijatelné, je zahájen proces pro snížení rizika a zbývající rizika musí být doložena v příslušných příručkách a manuálech [1, 9].

Je velmi důležité odhadnout a snížit rizika ve fázi návrhu, například konstrukční změnou nebo změnou pracovního procesu stroje. Jedná se o neúčinnější ochranná opatření, protože nebezpečí jsou vyloučena nebo rizika snížena vlastní konstrukcí strojního zařízení. V případě že riziko přetrvává, je nutné používat ochranná anebo bezpečnostní zařízení, jako jsou například oplocení, světelné mříže nebo kontrolní zařízení, a zajistit informace o tom, jakým způsobem používat stroj bezpečně (v příručkách a formou značek). Tento postup je ve Směrnici a v EN ISO 12100 definován jako metoda tří kroků [8, 9, 11].

Nejdůležitější částí postupu je pak zhodnocení rizika a rozhodnutí, zda je riziko přijatelné nebo je ho nutné snížit. To může být provedeno opakováním procesu odhadu rizika [1].

### 2.4.3. Návrh bezpečnostních funkcí

Jako jedno z opatření ke snížení rizik může být použito řešení pomocí bezpečnostních funkcí. Bezpečnostní funkce zahrnuje opatření, která snižují pravděpodobnost nechtěné události, která může nastat během nebezpečné situace. Není však součástí provozu stroje samotného. To znamená, že v případě, že bezpečnostní funkce selže, stroj může pracovat dále beze změny. Riziko zranění z provozu stroje se však zvyšuje [1, 6].

Bezpečnostní funkce má vždy dvě složky:

1. požadovaná akce
2. bezpečnostní provedení (SIL nebo PL)

Je také důležité, aby byly stanoveny požadavky na časování pro bezpečnostní funkce. To znamená maximální povolená doba do uvedení systému do bezpečného stavu. V úvahu také musí být bráno prostředí, ve kterém budou bezpečnostní funkce pracovat. Bezpečnostní funkce musí být specifikována a ověřena zvláště pro každé identifikované nebezpečí [1].

### 2.4.4. SIL nebo PL

Konstruktéři a uživatelé strojů se pro výpočty bezpečnostních úrovní řídí dvěma normami, normou EN ISO 13849-1, ve které je použita úroveň vlastností (PL) a alternativní normou EN 62061, ve které je použita úroveň integrity bezpečnosti (SIL) [1, 9, 14, 17]. Norma, kterou se řídit, závisí na výběru technologie, aplikaci, zvyklostech a zákaznických požadavcích. PL je technologicky neutrální koncepce, kterou je možno použít na elektrická, mechanická, pneumatická a hydraulická bezpečnostní řešení. SIL může být použita pouze pro elektrická, elektronická nebo programovatelná bezpečnostní řešení. Pokud zákazník přichází z oblasti průmyslu, kde je již obvyklé používat SIL, mohou požadavky zahrnovat také bezpečnostní funkce pro zajištění bezpečnosti strojů na základě SIL. Většina zákazníků ale upřednostňuje PL, neboť je to koncepce technologicky neutrální a zákazníci při ní mohou využívat své předchozí znalosti z oblasti kategorií [7, 9].

Důležité je si uvědomit, že výběr dané úrovně, ať už SIL nebo PL, vychází z potřeby aplikace, ne obráceně. Povinností zákazníka je dodat výrobcí stroje veškeré bezpečnostní požadavky. Jednotlivé elementy mohou být certifikované pouze jen jako samostatně stojící jednotky a nemusí tomu tak být ve spojení v nějakém systému [1, 9].

### 2.4.5. Úroveň integrity bezpečnosti (SIL)

Pokud se rozhodnete navrhnout bezpečnostní funkci dle normy IEC 62061, je úroveň spolehlivosti vyjádřena úrovní integrity bezpečnosti SIL. Podle normy IEC 61508 existují celkem čtyři úrovně, v EN 62061 je však nejvyšší úrovní SIL 3, protože úroveň 4 odpovídá nepřijatelnému riziku pro stojní zařízení [1, 9, 17, 19].



Jak již bylo řečeno výše, hodnota SIL je dána průsečíkem hodnot závažnosti zranění a třídou pravděpodobnosti škody. Viz tabulka 1.

Tabulka 1 Matice určení SIL [9]

Následky	Závažnost (Se)
Trvalé: smrt, ztráta oka nebo paže	4
Trvalé: zlomená(é) končetina(y), ztráta prstu(ů)	3
Přechodné: vyžadující ošetření praktickým lékařem	2
Přechodné: vyžadující ošetření na první pomoci	1

Závažnost (Se)	Třída (CI)				
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		(OM)	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			(OM)	SIL 1	SIL 2
1				(OM)	SIL 1

Závažnost zranění, k němuž může dojít, je definována jednou ze čtyř úrovní. Třída je dána součtem hodnot [9, 17]:

1. Četnosti – hodnota v rozmezí od 1 do 5, kde 5 znamená nejvyšší četnost.
2. Pravděpodobnosti, že k nebezpečné události dojde – hodnota v rozmezí od 1 do 5, kde 5 znamená nejvyšší pravděpodobnost.
3. Možnosti vyhnouti se nebo omezení takového zranění, které má hodnotu 1, 3 nebo 5, kde 5 znamená nejmenší šanci vyhnouti se nebo omezení vlivu zranění.

Určení závažnosti zranění zobrazuje přehledně tabulka 2.

Tabulka 2 Určení závažnosti zranění v IEC 62061 [9]

Četnost a doba trvání ohrožení (Fr)	
Četnost ohrožení	Doba trvání > 10 min
≤ 1 h	5
> 1 h až ≤ 1 den	5
> 1 den až ≤ 2 týdny	4
> 2 týdny až ≤ 1 rok	3
> 1 rok	2

Pravděpodobnost výskytu	Pravděpodobnost (Pr)
Velmi vysoká	5
Pravděpodobná	4
Možná	3
Výjimečná	2
Zanedbatelná	1

Pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av)	
Nemožné	5
Možné za určitých podmínek	3
Pravděpodobné	1

Bezpečnostní funkce, která pak má být navržena, musí vyhovovat minimálně úrovni SIL, která byla této bezpečnostní funkci přidělena při analýze.

#### 2.4.6. Úroveň vlastností (PL)

PL je mírou spolehlivosti bezpečnostní funkce. Je rozdělena do pěti úrovní, a) až e). PL e označuje nejlepší spolehlivost a odpovídá úrovni požadované pro nejvyšší riziko, PL a je pak určeno pro nejnižší riziko [14].

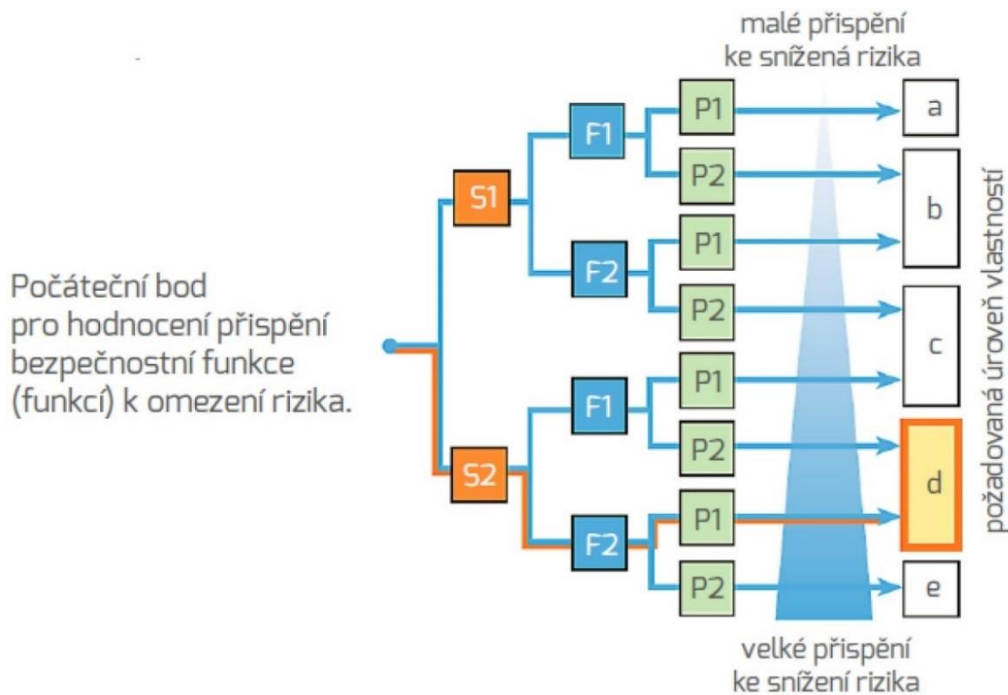
Podle ISO 13849-1 se riziko odhaduje pomocí tří faktorů [14]:

- závažnost zranění (S1)
- četnost vystavení se riziku (F1)
- možnost vyhnout se nebo omezit takové zranění (P1)

Pro každý faktor jsou definovány dvě alternativy. Norma nspecifikuje rozhraní mezi těmito dvěma alternativami, avšak obecný výklad je následující [7]:

- S1 zhmožděny, odřeniny, bodná zranění a drobná zranění rozdrčením
- S2 poranění kostí, amputace a smrt
- F1 méně často než jedenkrát za 15 minut
- F2 častěji než jedenkrát za 15 minut
- P1 pomalé pohyby stroje, hodně velký prostor, nízký výkon
- P2 rychlé pohyby stroje, stísněný prostor, vysoký výkon

Po zadání S, F a P pro dané riziko se získá požadovaná úroveň PL. Postup získání úrovně PL je graficky zobrazen na obrázku 2.



Obrázek 2 Graf pro určení požadované úrovně vlastností (PL) [9]

#### 2.4.7. Ověření funkčního bezpečnostního systému

Ověřování by nemělo být prováděno po implementačním procesu, ale spolu s ním jako opakující se proces. Implementace tak může skutečně produkovat systém, který bude splňovat stanovené požadavky. Správné fungování bezpečnostního systému musí být kromě ověření splnění úrovně SIL nebo PL, ověřeno také provedením zkoušky funkčnosti [1, 21].

##### 2.4.7.1. Ověření úrovně SIL

Pro ověření úrovně integrity bezpečnosti, je třeba prokázat, že bezpečnostní opatření vytvořené bezpečnostními funkcemi je rovno nebo větší než požadované cílové opatření nastavené v průběhu analýzy rizika. Velice výhodné je použití certifikovaných subsystémů, protože výrobce již pro ně definoval hodnoty bezpečnostního provedení. Tím se sníží počet prováděných výpočtů a zvýší se přesnost. Rovněž použití vhodných softwarů firem vyrábějící bezpečnostní součástky velmi usnadní provádění výpočtů [1, 9].

Ověřování SIL bezpečnostních systémů s použitím certifikovaných subsystémů je následující [1, 17]:

1. Určení a porovnání SIL Claim Limit (SILCL) subsystémů a celého systému. SILCL představuje maximální hodnotu SIL, pro kterou je subsystém strukturálně vhodný. Používá se jako indikátor pro stanovení dosaženého SIL. SILCL celého systému by neměl být vyšší než nejnižší SILCL subsystému.

2. Vypočítání náhodné hardwarové integrity bezpečnosti (HFT) systému pomocí hodnoty pravděpodobnosti nebezpečné poruchy za hodinu ( $PFH_d$ ) definované pro subsystémy.

Výrobci certifikovaných subsystémů obvykle poskytují hodnoty  $PFH_d$ .

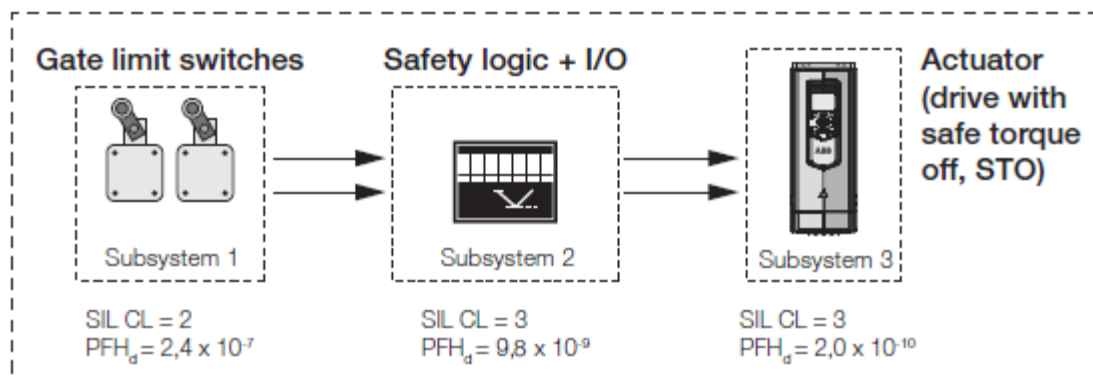
3. Na základě kontrolního seznamu selhání se společnou příčinou (CCF) je třeba se ujistit, že všechny potřebné aspekty bezpečnostních systémů byly zohledněny.

Kontrolní seznam CCF může být nalezen v normě EN 62061 v příloze F. Na základě výpočtů uvedených v této příloze se můžeme dobrat k faktoru  $\beta$ . Tato hodnota se používá k odhadu hodnoty pravděpodobnosti  $PFH_d$ .

4. Určení dosaženého SIL z tabulky pro stanovení SIL.

### 2.4.7.2. Příklad ověření SIL

Na obrázku 3 je zobrazen typický příklad zapojení s frekvenčním měničem. Skládá se ze spínačů, bezpečnostní logiky, bezpečnostních vstupů a výstupů a ze samotného frekvenčního měniče. Každá z komponent má hodnotu SIL CL a PFH<sub>d</sub>.



Obrázek 3 Příklad zapojení subsystémů [1]

Úroveň integrity se pak ověří výpočtem:

$$SIL\ CL_{system} \leq \min SIL\ CL_{subsystem} \rightarrow SIL\ Claim\ limit = 2$$

$$PFH_d = PFH_{d1} + PFH_{d2} + PFH_{d3} = 2,5 \cdot 10^{-7} < 10^{-6}$$

Ze SIL CL a z tabulky 3 je pak jasně patrné, že systém splňuje SIL 2.

Tabulka 3 Pravděpodobnost nebezpečných chyb za hodinu [1]

SIL	Probability of dangerous failures per hour (1/h)
SIL 1	$\geq 10^{-6}$ up to $< 10^{-5}$
SIL 2	$\geq 10^{-7}$ up to $< 10^{-6}$
SIL 3	$\geq 10^{-8}$ up to $< 10^{-7}$

### 2.4.7.3. Ověření úrovně vlastností (PL)

Pro ověření úrovně vlastností (PL) je třeba prokázat, že bezpečnostní opatření vytvořené bezpečnostními funkcemi je rovno nebo větší než požadované cílové provedení. Stejně jako u ověřování SIL je také zde ze stejných důvodů výhodné použití certifikovaných subsystémů.

Výsledná hodnota PL bezpečnostní funkce je ovlivněna celkovými parametry jednotlivých částí subsystému. Dosažená hodnota PL se ověřuje pomocí těchto aspektů [1, 9, 14, 15]:

1. kategorie
2. střední doba do nebezpečné poruchy (MTTFd)
3. diagnostické pokrytí (DC)
4. porucha se společnou příčinou (CCF)

Kategorie bezpečnosti by měla být vybrána na základě konstrukce zařízení, zapojení, bezpečnostní úrovně, MTTFd, DC a CCF. Kategorii je celkem 5, a to B, 1, 2, 3 a 4. Kategorie B je nejjednodušší a jsou na ni kladeny nejmenší bezpečnostní nároky. Kategorie 4 je nejpřísnější.

MTTFd je střední doba mezi dvěma nebezpečnými poruchami. Dělí se na krátkou, střední a dlouhou. Viz tabulka 4. Maximální hodnota, která může být brána v úvahu je 100 let [1, 9, 14, 15].

Tabulka 4 Rozdělení MTTF<sub>d</sub> [9]

MTTF <sub>d</sub>	
Označení doby každého kanálu	Rozsah doby každého kanálu
Krátká	3 roky ≤ MTTF <sub>d</sub> < 10 roků
Střední	10 roků ≤ MTTF <sub>d</sub> < 30 roků
Dlouhá	30 roků ≤ MTTF <sub>d</sub> ≤ 100 roků

Diagnostické pokrytí je procento detekovaných nebezpečných situací z celkového počtu nebezpečných situací.

$$DC = \frac{\text{detekované nebezpečné situace}}{\text{všechny nebezpečné situace}}$$

Cílem každého bezpečnostního návrhu je toto procento mít co největší. DC může být žádné, nízké, střední nebo vysoké. Viz tabulka 5. Zjednodušený přístup k odhadu DC je uveden v příloze E normy ISO 13849-1 [1, 9].

Tabulka 5 Rozdělení DC [9]

DC	
Označení	Rozsah
Žádné	DC < 60 %
Nízké	60 % ≤ DC < 90 %
Střední	90 % ≤ DC < 99 %
Vysoké	99 % ≤ DC

Pět úrovní PL (a-e) odpovídá určitým rozsahům hodnot pravděpodobnosti nebezpečné poruchy za hodinu PFH<sub>d</sub>. Ty uvádí nakolik je pravděpodobné, že k nebezpečné poruše dojde během jedné hodiny. Viz tabulka 6. Ve výpočtu je vhodné použít hodnoty PFH<sub>d</sub> přímo, neboť hodnota PL představuje určité zjednodušení, které nemusí přinést stejně přesné výsledky [1, 9, 14, 15].

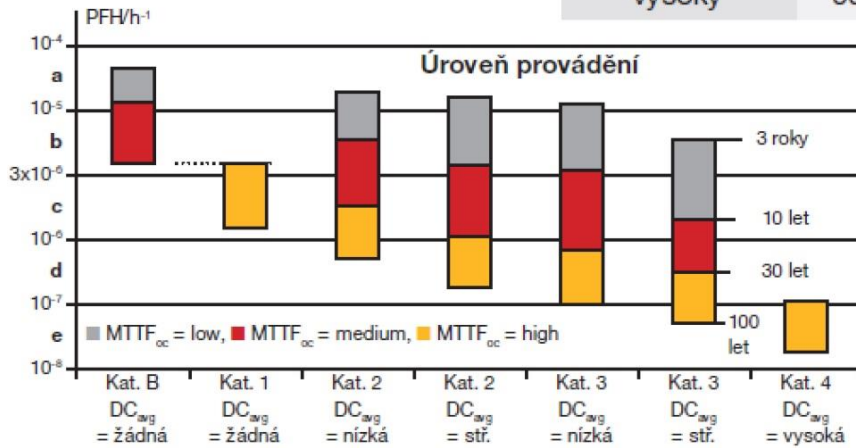
Tabulka 6 Rozdělení PFH<sub>d</sub> [9]

PL	Průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu 1/h
a	≥ 10 <sup>-5</sup> až < 10 <sup>-4</sup>
b	≥ 3 × 10 <sup>-6</sup> až < 10 <sup>-5</sup>
c	≥ 10 <sup>-6</sup> až < 3 × 10 <sup>-6</sup>
d	≥ 10 <sup>-7</sup> až < 10 <sup>-6</sup>
e	≥ 10 <sup>-8</sup> až < 10 <sup>-7</sup>

Porucha se společnou příčinou je výsledkem jedné nebo více událostí. Tato porucha způsobí náhodné poruchy dvou nebo více oddělených kanálů v redundantním zapojení, což může vést k poruše systému kontroly související s bezpečností. Příčiny mohou být EMC rušení, ztráta výkonu či špatná údržba. Určení náchylnosti systému k poruše se společnou příčinou (CCF) se provádí použitím kontrolního seznamu CCF v normě EN 13849-1 v příloze I. Výsledná hodnota musí být větší než 65 bodů [1, 9, 14, 15].

Potom, co jsou určeny všechny body pro ověření, mohou se výsledné hodnoty zadat do sloupcového grafu, ze kterého je stanovena výsledná úroveň PL. Příklad sloupcového grafu je na obrázku 4. Na obrázku 5 je pak vidět vztah mezi kategoriemi a úrovněmi PL.

Stupeň krytí	Rozsah DC
bez	DC < 60 %
nizký	60 % ≤ DC < 90 %
střední	90 % ≤ DC < 99 %
vysoký	99 % ≤ DC



Obrázek 4 Vztah mezi kategoriemi, DC, MTTFd a PL [9]

	PFH <sub>D</sub> (1/h)		Kat. B	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4
PL b	5,0·10 <sup>-6</sup>	?	•	○	○	○	○
PL c	1,7·10 <sup>-6</sup>	?	-	•	•	○	○
PL d	2,9·10 <sup>-7</sup>	?	-	-	-	•	○
PL e	4,7·10 <sup>-8</sup>	?	-	-	-	-	•
•	Aplikovaná kategorie je doporučena						
○	Aplikovaná kategorie je volitelná						
-	Kategorie není povolena						

Obrázek 5 Vztah mezi kategoriemi a PL [9]

#### 2.4.8. Potvrzení funkčnosti bezpečnostních funkcí

Každá bezpečnostní funkce musí být ověřena, aby bylo zajištěno, že snižuje riziko, jak bylo požadováno ve fázi analýzy rizik. Systém musí být zkontrolován na základě procesu odhadu rizik provedeného na počátku a musí splnit požadavky Směrnice o strojních zařízeních. Systém je platný, pokud prokazatelně snižuje rizika, která byla analyzována v procesu odhadu rizik [1, 9].

#### 2.4.9. Dokumentace a prohlášení o shodě

Předtím než stroj splní požadavky podle Směrnice o strojních zařízeních, musí být zdokumentována konstrukce stroje a příslušná uživatelská dokumentace. Dokumentace musí být přesná a stručná, ale zároveň informativní a pro uživatele lehce pochopitelná. Veškeré zbytkové riziko musí být uvedeno v dokumentaci pro uživatele s řádnými pokyny pro bezpečnou obsluhu stroje. Uživatelská dokumentace je dodávána se strojem.

Jenom výrobce a zplnomocněný zástupce jsou oprávněny vystavit ES prohlášení o shodě. Ti zároveň musejí zaručit, že stroj byl vyroben v souladu s harmonizovanými normami. K prokázání shody se Směrnicí pro strojní zařízení musí být ukázáno, že:

1. Stroj splňuje Základní zdravotní a bezpečnostní požadavky (EHSR) definované ve Směrnici pro strojní zařízení.
2. Stroj splňuje požadavky dalších relevantních směrnic.
3. Technická dokumentace je přístupná a aktuální.

Deklarace o shodě se vydává pro kompletní stroje, nikoli na jeho komponenty. Za shodu CE, je tak zodpovědný výrobce celého stroje, ne však dodavatel jednotlivých komponent [1, 9, 7].

## 2.5. FS management

Zajímavým procesem v oblasti bezpečnosti je tzv. functional safety management (dále jen FSM). FSM musí především jasně popsat procesy a stanovit odpovědnosti. Implementace systému FSM je složitá procedura a vyžaduje značné zkušenosti. Začíná pečlivým porovnáním existujícího systému s požadavky norem IEC. Následuje analýza, která stanoví stupeň shody a určí odchylky od ustanovení norem. Konečnou fází je adaptace celého systému tak, aby bylo dosaženo úplné shody s příslušnými normami. Jen pár výrobců se může chlubit FSM certifikací. Jednou z nich je ABB [6, 3].

## 2.6. Functional safety design tool (FSDT-01)

Functional safety design tool je softwarový nástroj od společnosti ABB, který pomáhá navrhnout, ověřit a zdokumentovat bezpečnostní funkce podle požadavků EN IEC 62061 a EN ISO 13849. Radí uživateli jak použít měniče, PLC a další bezpečnostní přístroje za pomoci použití předinstalovaných knihoven. S tímto programem se dá pomocí několika kroků ověřit, že daný systém splňuje požadovanou úroveň SIL nebo PL. Tento nástroj je certifikován společností TÜV Nord třídy T2 podle IEC 61508 ed. 2 [6].

## 2.7. Shrnutí kapitoly

Aby mohlo být strojní zařízení dodáváno na evropský trh je nutné, aby splňovalo požadavky uvedené ve Směrnici o strojních zařízeních. Požadavky této Směrnice se nejspíše splní tak, že se výrobci řídí relevantními harmonizovanými normami. Mezi nejdůležitější normy v oblasti bezpečnosti strojních zařízení patří normy EN ISO 12100, EN IEC 60204-1, EN ISO 13849 a EN IEC 62061. Na základě těchto norem se pak uskuteční proces ke splnění všech požadavků Směrnice. Tento proces je založen na odhadu rizika, minimalizaci rizika a jeho zhodnocení. Toto zhodnocení se kvantifikuje pomocí úrovně SIL (norma EN 62061) nebo PL (norma EN 13489). Je čistě na projektantovi, který systém si vybere. Při vykonávání analýzy je velmi výhodné použití certifikovaných subsystémů, které mají definované hodnoty bezpečnostního provedení již od výrobce. Velice se tím zrychlí a zpřesní celý proces. Po zhodnocení všech rizik a splnění všech požadavků Směrnice může výrobce vystavit na strojní zařízení ES prohlášení o shodě. Tím je jasně prokázána shoda se Směrnicí o strojních zařízeních.



## 3. Bezpečnostní funkce v oblasti elektrických pohonů s měniči frekvence

S tím, jak se zvyšují nároky na složitost systému, funkční bezpečnost na základě funkcí integrovaných v měničích frekvence se stává důležitou součástí celkového návrhu bezpečnostního systému.

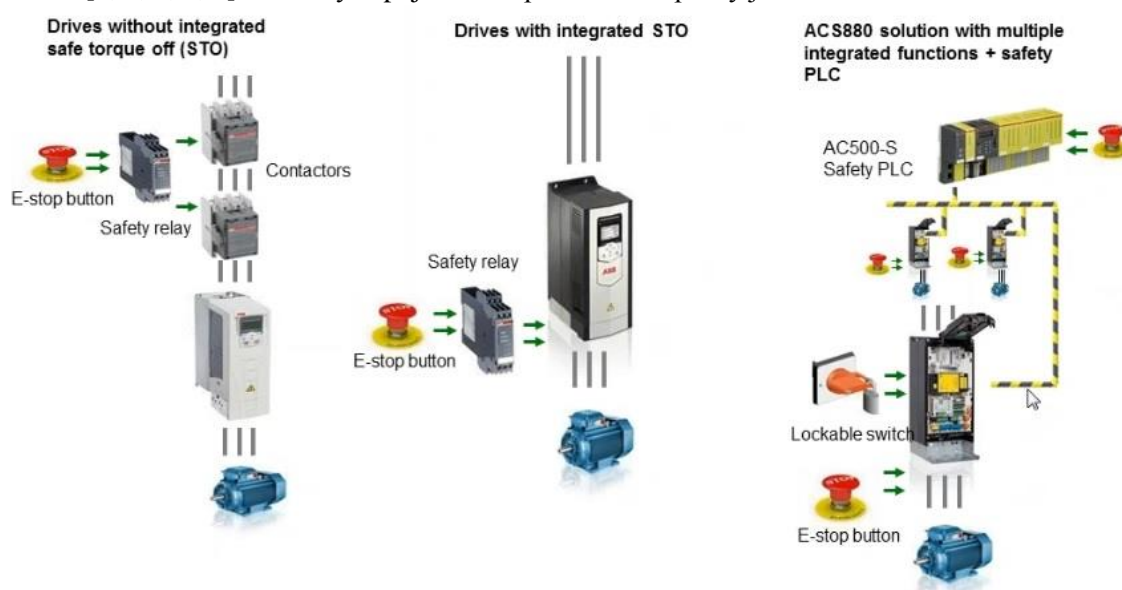
V případě, že nastane nebezpečná situace, bezpečnostní systém měniče frekvence může reagovat různými způsoby. Může například iniciovat nouzové zastavení nebo může detekovat nepřijatelnou situaci a zastavit ji předem naplánovaným způsobem. V rozsáhlém systému s více měniči může být zapojeno do systému PLC, které aktivuje bezpečnostní funkce pro celý systém.

### 3.1. Výhody integrovaných bezpečnostních funkcí v měničích frekvence

Bezpečnostní funkce v měničích frekvence integrované pomocí bezpečnostních modulů nebo přímo integrované v řídicí desce nahrazují motorové spínače a stykače. Použitím těchto funkcí se uspoří prostor, náklady a čas nutný k instalaci přídatných vodičů. Instalace modulů na měniče je velice snadná a většinou již provedena při výrobě měničů. V případě redundantního zapojení může jeden modul nahradit dva stykače a tím ušetřit místo a náklady. Při použití modulů ABB nebo Siemens lze použít některé bezpečnostní funkce bez čidla otáček pro aplikace bez aktivní zátěže, což je další výrazné snížení pořizovací ceny celého soustrojí.

Funkce umožňuje rychlé restarty po bezpečném vypnutí, čímž zmenší prostoje stroje a tím přispěje k efektivitě výroby. Celkově se tak celý systém výrazně zjednoduší a zrychlí. Navíc obvyklé digitální vstupy v měničích nejsou použity pro bezpečnost a mohou být využity jinak.

Výrazně se také navýší spolehlivost celého bezpečnostního systému. Nehrozí totiž mechanické opotřebení a nemusí se provádět pravidelná údržba. Navíc bezpečnostní snímače jsou kontrolovány až 200x za sekundu na rozdíl od klasických mechanických spínačů, jako například dveřní spínače, které je možno kontrolovat jen tehdy, když jsou v provozu, tedy například jedenkrát za hodinu nebo dokonce jen jedenkrát za měsíc. Bezpečnostní funkce mají také rychlejší reakce [1, 9, 7, 6, 2]. Příklady zapojení s bezpečnostními prvky jsou na obrázku 6.



Obrázek 6 Příklad výhodného použití bezpečnostních modulů ve frekvenčních měničích [6]



### 3.2. Přehled bezpečnostních funkcí v oblasti elektrických pohonů s měniči frekvence

Některé bezpečnostní funkce vytvářejí jen povinnost monitorování, některé vytvářejí řídicí nebo jiné činnosti. Rozlišuje se proto mezi reakcí na překročení mezí a funkcí reakcí na poruchu.

Pokud bezpečnostní funkce závisí na mezní hodnotě, musí se definovat maximální tolerance mezních hodnot. Bezpečnostní funkce může mít i více specifikovaných mezních hodnot.

Bezpečnostní funkce v měničích frekvence ABB specifikované v normě EN IEC 61800-5-2:2007:

1. Funkce zastavení:
  - a) bezpečné vypnutí točivého momentu (STO)
  - b) bezpečné zastavení 1 (SS1)
2. Ostatní bezpečnostní funkce:
  - a) bezpečně omezená rychlost (SLS)
  - b) bezpečné ovládání brzdy (SBC)
  - c) bezpečný směr (SDI)
  - d) monitor bezpečné rychlosti (SSM)
  - e) bezpečná teplota motoru (SMT)

Bezpečnostní funkce v měničích ABB nspecifikované v normě EN IEC 61800-5-2:2007 [23]:

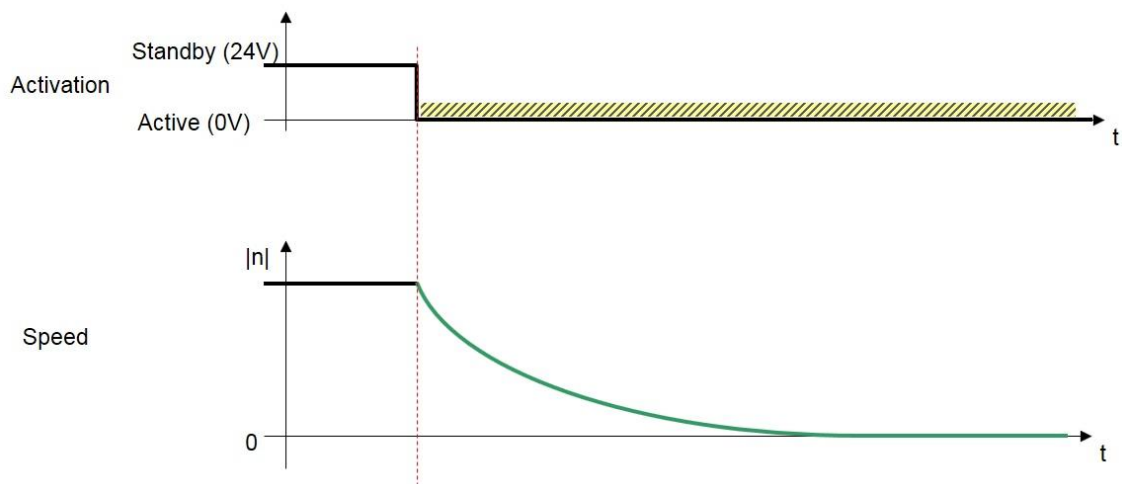
- a) bezpečné nouzové zastavení (SSE)
- b) bezpečná maximální rychlost (SMS)
- c) zamezení neočekávanému spuštění (POUS)

Bezpečnostní funkce může být aktivována lokálně z bezpečnostního modulu, z bezpečnostního PLC, na základě chyby uvnitř modulu nebo jinou bezpečnostní funkcí [2, 9, 13].

#### 3.2.1. Bezpečné vypnutí točivého momentu (STO)

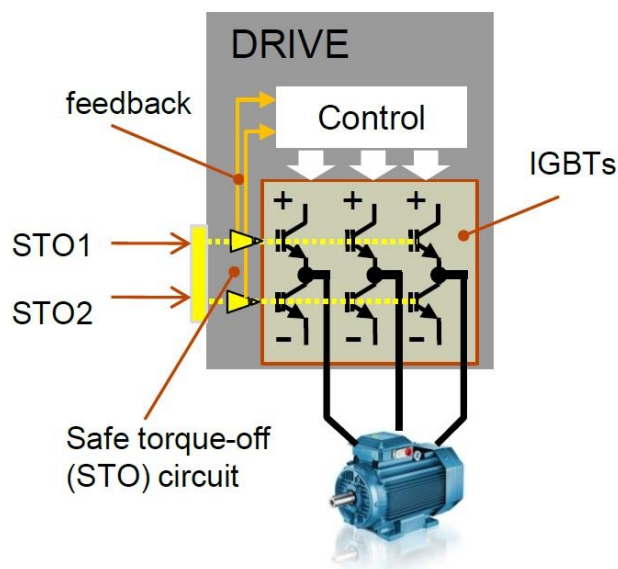
Podle IEC 61800-5-2 nesmí být motoru při použití této funkce poskytnuta energie, která by mohla generovat točivý moment (nebo sílu v případě lineárního motoru). Tato bezpečnostní funkce odpovídá neřízenému zastavení podle kategorie zastavení 0 dle normy IEC 60204-1 [13].

Jedná se tedy o zastavení doběhem, jak je patrné z obrázku 7. V momentě, kdy se zadá povel na zastavení motoru, tak se zamezí přenesení energie zablokováním IGBT na měniči. Tím se zamezí přenesení energie, která by mohla generovat točivý moment [6].



Obrázek 7 Průběh STO [6]

Na obrázku 8 je znázorněno schématické zapojení měniče a motoru s funkcí STO.



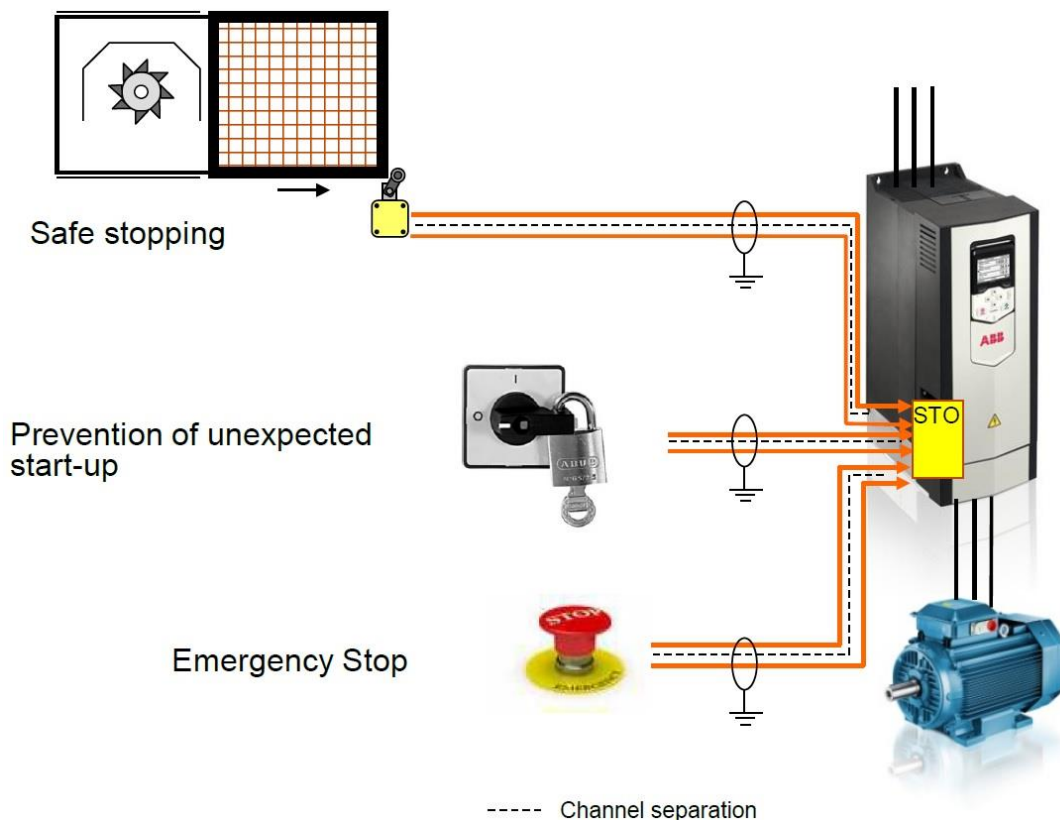
Obrázek 8 Schématické zapojení STO [6]

STO se může použít pro vypnutí napájení jako prevence proti neočekávanému spuštění (POUS) dle normy ISO 1037. V tomto režimu je STO aktivováno vždy, když je motor v klidu [16]. Stejně tak se může použít i pro bezpečné nouzové zastavení (SSE) v kategorii 0 aktivované například bezpečnostním tlačítkem nebo otevřením zábrany u strojního zařízení. Reakční čas STO se obvykle pohybuje okolo 50 ms.

Důležité je si uvědomit, že funkce bezpečného odpojení momentu neodpojí celý systém, ale jen zabrání vytvoření točivého momentu blokováním pulsů střídače. V kabelech tak pořád může zůstat vysoké napětí. Pro odpojení tedy musí být připojen vypínač nebo odpojovač na straně napájení měniče.

Tato bezpečnostní funkce se stala již pro řadu firem standardem. U ABB je tato funkce standardem v měničích ACS880, ACSM1, ACS850, ACQ810, ACS580, ACS355 a MicroFlex e150. V měničích ABB má funkce STO vždy redundantní zapojení. Tvoří ho dva nezávislé kanály a poskytují tak vysokou úroveň bezpečnosti splňující SIL 3, SIL CL 3 a PL e.

Na obrázku 9 je příklad spojení frekvenčního měniče vybaveného funkcí STO s bezpečnostními mechanickými součástkami.



Obrázek 9 Příklad spojení STO s mechanickými součástkami [6]

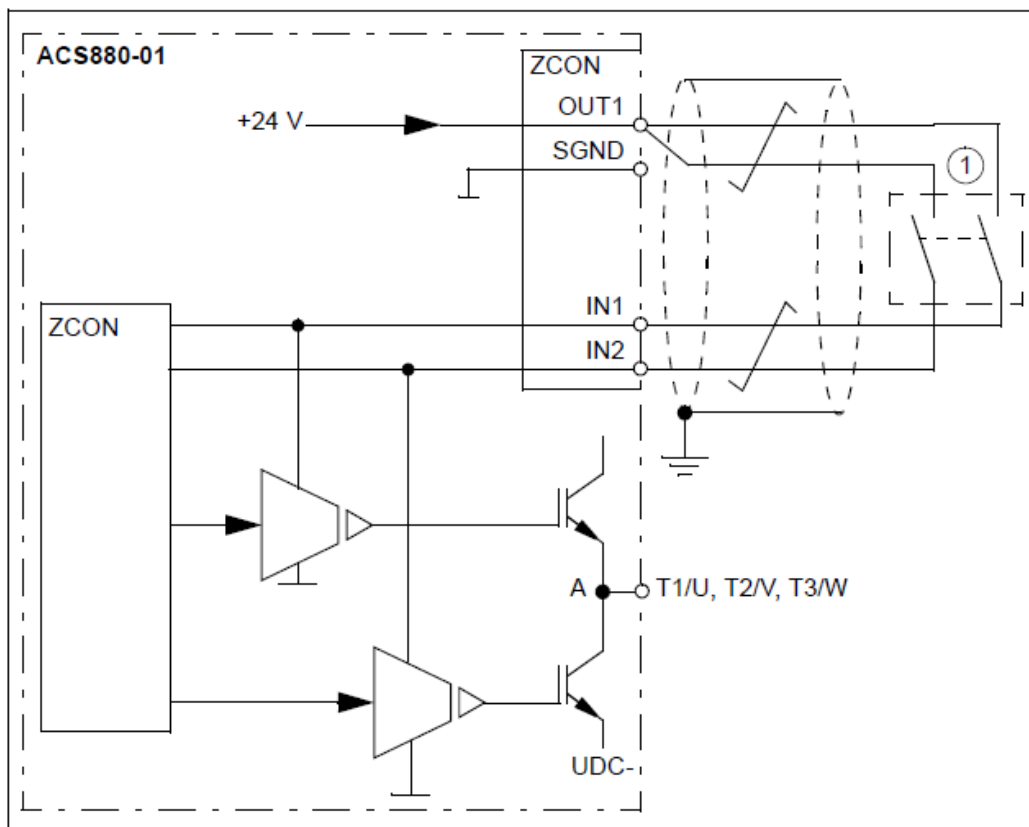
### 3.2.1.1. Princip STO na měniči ACS880

Funkce bezpečného odpojení momentu odpojí ovládací napětí elektrických polovodičů měniče výstupní fáze, čímž invertoru znemožní generování napětí požadovaného pro roztočení motoru. Při použití této funkce lze provádět krátkodobé činnosti (jako čištění) nebo údržbové práce na ne elektrických dílech stroje bez vypnutí napájecího zdroje. Je důležité mít ale na paměti, že funkce bezpečného odpojení momentu neodpojuje napětí z hlavních a pomocných obvodů měniče. Proto mohou být práce údržby na elektrických částech měniče nebo motoru prováděny pouze po odizolování systému měniče od hlavního napájení [22].

Princip činnosti na měniči ACS880 dle zapojení na obrázku 10 [22]:

1. Uživatel přepne spínač bezpečného odpojení momentu (STO) do vypnuté polohy (0).
2. Vstup STO na řídicí desce měniče ZCON bude vypnut.
3. Deska měniče ZCON odpojí ovládací napětí prvků IGBT ve střídači.
4. Motor se doběhem zastaví (pokud běžel) a nelze jej spustit, dokud je spínač STO v poloze 0.

Na ostatních měničích ABB je průběh funkce STO velice podobný.

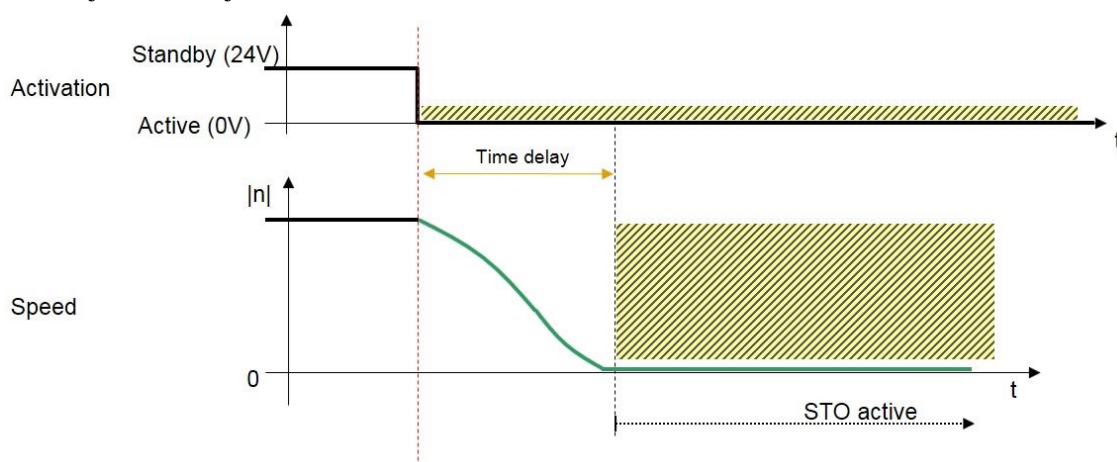


Obrázek 10 Schéma zapojení STO ve frekvenčním měniči ACS880-01 [22]

### 3.2.2. Bezpečné zastavení 1 (SS1)

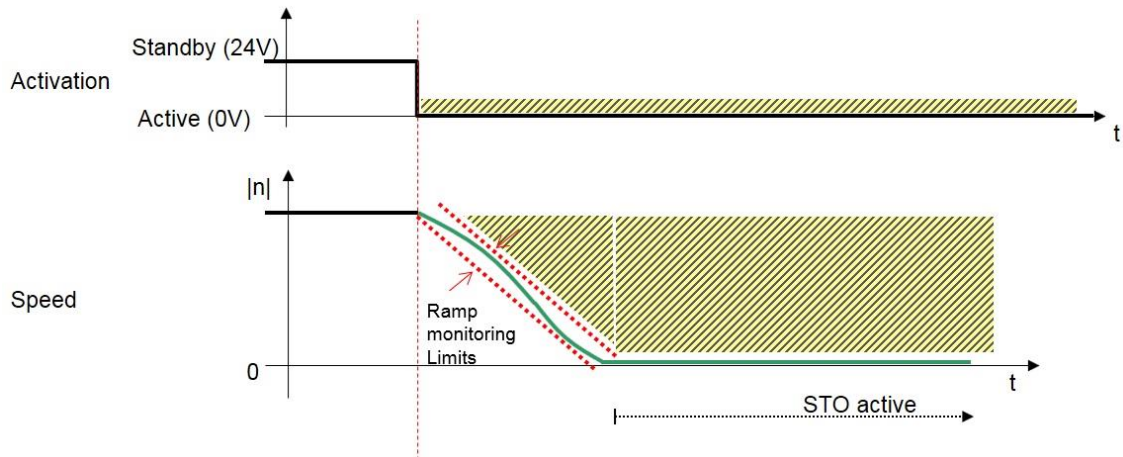
Dle definice z EN IEC 61800-5-2 může být funkce bezpečného zastavení 1 řízena ve 3 režimech. První režim je, že po zahájení zpomalování funkce SS1 řídí zpomalování a následně, když je rychlost motoru pod specifikovanou mezí aktivuje funkci STO. Druhý režim je, že po zahájení zpomalování funkce SS1 jen monitoruje zpomalování a následně, když je rychlost motoru pod specifikovanou mezí aktivuje funkci STO. A třetí režim je takový, že zahájí zpomalování motoru a aktivuje funkci STO po určitém časovém zpoždění.

Tato bezpečnostní funkce odpovídá řízenému zastavení kategorie zastavení 1 v normě IEC 60204-1 [13], jak zobrazuje obrázek 11.



Obrázek 11 Průběh SS1 kontrované časově [6]

Bezpečnostní moduly ABB nabízejí dvě možnosti nastavení této funkce, a to časově kontrolovanou funkci nebo řízenou podle rampy. Řízené zpomalení podle rampy je velice výhodné a ne všechny bezpečnostní moduly na trhu toto řízení podporují. Hlavní výhoda tkví v tom, že pokud zpomalení řídíme podle předem definované rampy, můžeme se být jisti, že motor opravdu zpomaluje. U časově řízeného zpomalování se může stát, že motor než doběhne, ještě akceleruje. To může způsobit další rizika [6]. Příklad průběhu funkce SS1 řízeného podle rampy je na obrázku 12.



Obrázek 12 Průběh SS1 řízené dle rampy [6]

Po doběhnutí SS1 se aktivuje STO buďto s určitým časovým zpožděním nebo při dosažení nulové rychlosti.

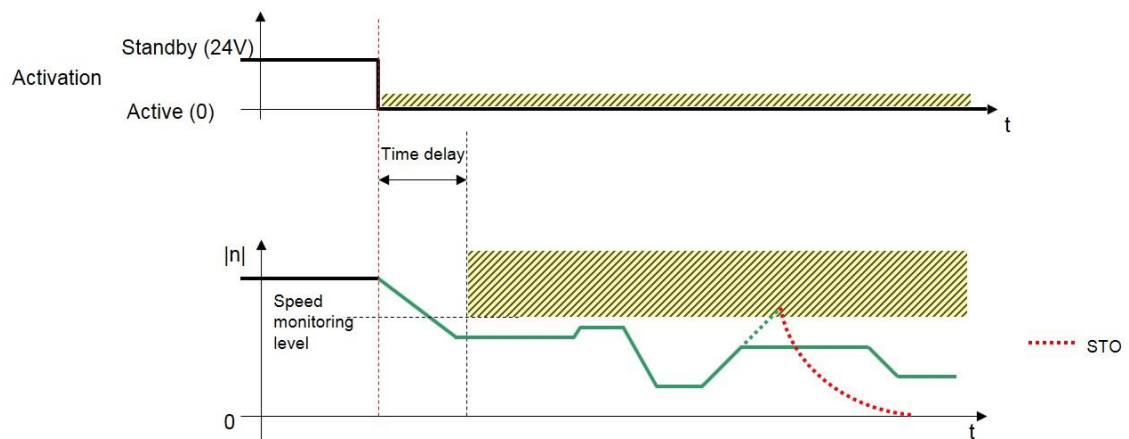
Typické použití této funkce jsou aplikace jako válcovny, kde pohyb musí být zastaven kontrolovaně, aby nedošlo k poškození plechu [2].

### 3.2.3. Bezpečně omezená rychlost (SLS)

Funkce SLS zabraňuje, aby rychlost motoru nepřekročila specifikovanou mez [13]. Rychlost motorů se tedy musí pohybovat v předem nastavených mezích:

$$n_{min} \leq n_{mot} \leq n_{max}$$

Příklad průběhu funkce SLS zobrazuje obrázek 13.

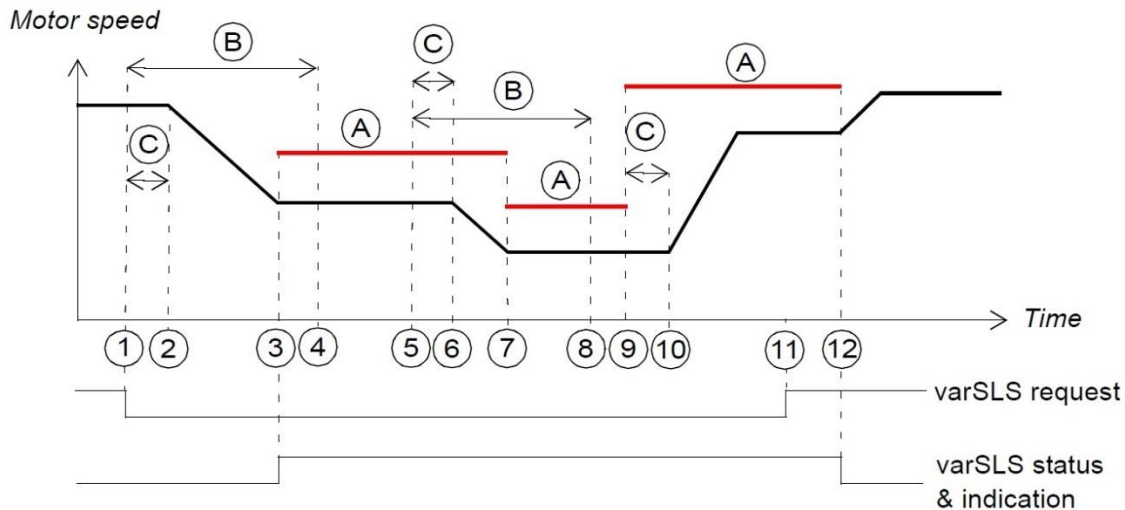


Obrázek 13 Průběh SLS [6]

Opět je možnost tuto funkci řídit buď časově nebo na základě rampy. Navíc s použitím modulů ABB je možné ji řídit bez použití čidla otáček. Tuto volbu však nelze použít pro aplikace s aktivní zátěží.

Najednou může být nastaveno více mezí rychlosti. Při připojení bezpečnostního PLC a spojení přes PROFIsafe komunikaci je možné měnit limity za běhu stroje. Viz obrázek 14. Opět je možnost řídit rychlost časově nebo pomocí rampy [2, 6].

Funkce SLS patří mezi tzv. monitorovací funkce. Jestliže tyto funkce detekují nesrovnalost v systému, aktivují další funkci, typicky SSE [23].



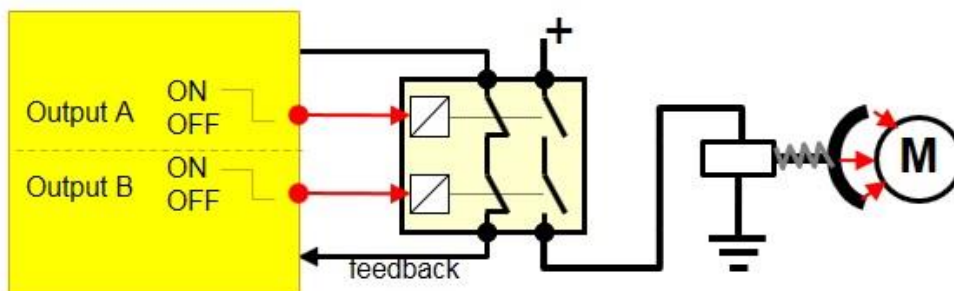
Obrázek 14 Průběh SLS s nastavenými více limity, kde A = nastavený rychlostní limit, B = zpoždění pro aktivování sledování SLS, C = odezva bezpečnostní funkce [23]

Typické použití této funkce jsou aplikace jako odlučovače, míchačky, dopravníky nebo papírny, kde překročení rychlosti může způsobit nebezpečné situace během údržby nebo čištění, ale zároveň není žádoucí, aby se zastavoval provoz [2, 6].

### 3.2.4. Bezpečné ovládání brzdy (SBC)

Dle normy EN IEC 61800-5-2 funkce SBC zajišťuje bezpečný výstupní signál pro indikování, zda poloha hřídele motoru je ve specifikovaném rozsahu [13].

Ovládání brzdy je aktivováno spolu s funkcí STO. Při použití modulů ABB je možnost nastavit, jestli bude SBC aktivováno dříve než STO, později nebo zároveň s STO, případně s jakým časovým posunem.



Obrázek 15 Schématické zapojení SBC [6]

Zapojení SBC je vždy redundantní a se zpětnou vazbou. Ta je provedena pro jeden kanál a je vedena buď z relé u brzdy nebo přímo z kontaktů na brzdě. Viz obrázek 15.

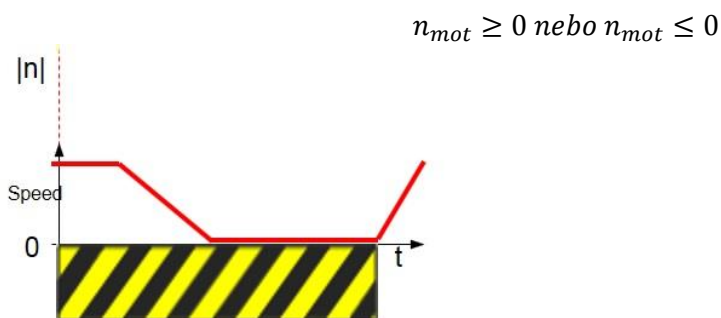
V případě použití funkce SBC s čidlem otáček, je možné nastavit aktivování funkce při předem nastavené rychlosti.

Typické použití funkce SBC jsou aplikace s aktivní zátěží, například vrtací stroje, jeřáby, navíječky, zdvihací stroje, vertikální dopravníky a výtahy [2, 6].



### 3.2.5. Bezpečný směr (SDI)

Funkce SDI zabraňuje, aby se hřídel motoru pohybovala neurčeným směrem [13]. Průběh funkce SDI viz obrázek 16. Rychlost motoru musí být:



Obrázek 16 Průběh SDI [6]

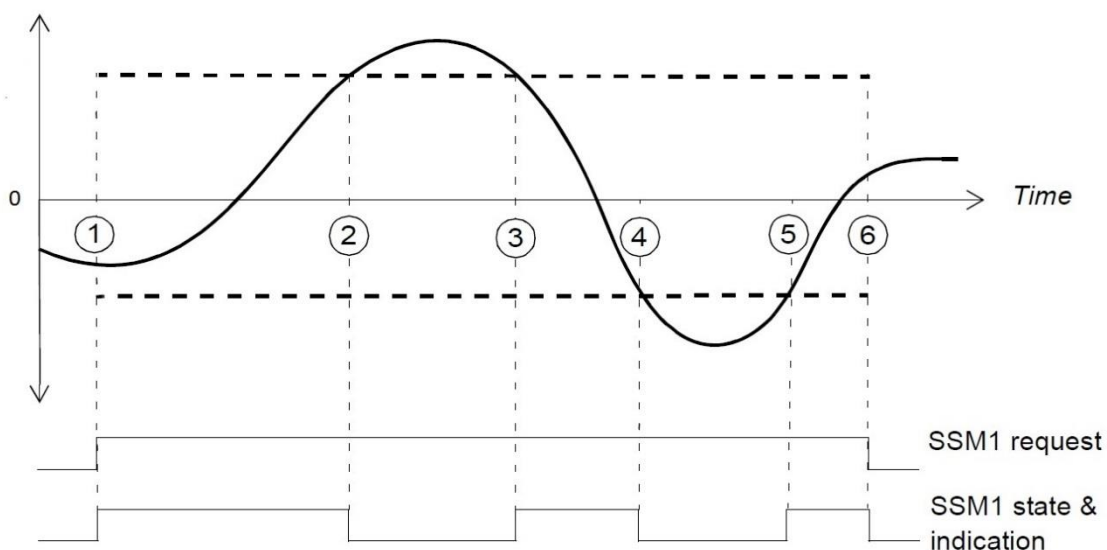
V případě detekce nesprávného směru lze systém plynule přenést do požadovaného směru, aniž by motor trhaně přešel do opačného směru. Jestliže však překročí motor nastavenou přípustnou odchylku pro plynulé navrácení směru, aktivuje se SSE. Opět je možnost pro zpomalení využít časové řízení nebo pomoci rampy.

Pro použití této funkce musí být ve strojním zařízení zpětná vazba od bezpečného čidla otáček a k tomu speciální bezpečnostní moduly, které s čidlem otáček umějí pracovat. Od ABB jsou to bezpečnostní moduly FSO-21 a FSE-31, které na měniči musejí být nainstalovány oba zároveň. V případě, že není čidlo otáček k dispozici, lze použít funkci SLS, která je optimalizovaná pro použití bez čidla otáček, a nastavit ji tak, aby fungovala podobně jako SDI [2, 6, 23].

### 3.2.6. Monitor bezpečné rychlosti (SSM)

Funkce SSM zajišťuje bezpečný výstupní signál pro indikování, zda rychlost motoru je pod specifickou mezí [13]. Tato funkce je pouze informativní a nevykonává žádnou akci. Najednou může být aktivních více rozsahů. Funkce SSM může fungovat jak s čidlem otáček, tak i bez něho. Příklad funkce SSM je na obrázku 17.

Motor speed



Obrázek 17 Průběh SSM, jednotlivé body indikují překročení limitů [23]

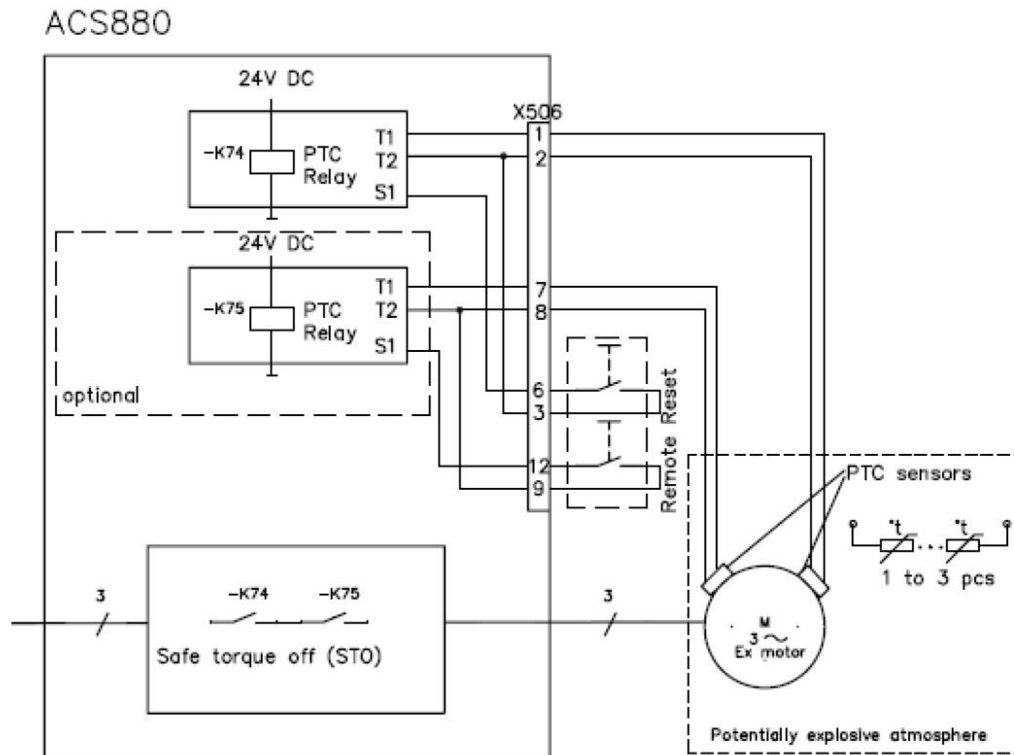
Použití této funkce je u strojů, kde je potřeba před omezením rychlosti vykonat ještě dodatečnou akci [2, 6].

### 3.2.7. Bezpečná teplota motoru (SMT)

Funkce SMT zabraňuje, aby teplota motoru překročila specifikovanou horní mez [13].

$$t_{mot} \leq t_{max}$$

Tato funkce se používá především u motorů do výbušného prostředí.

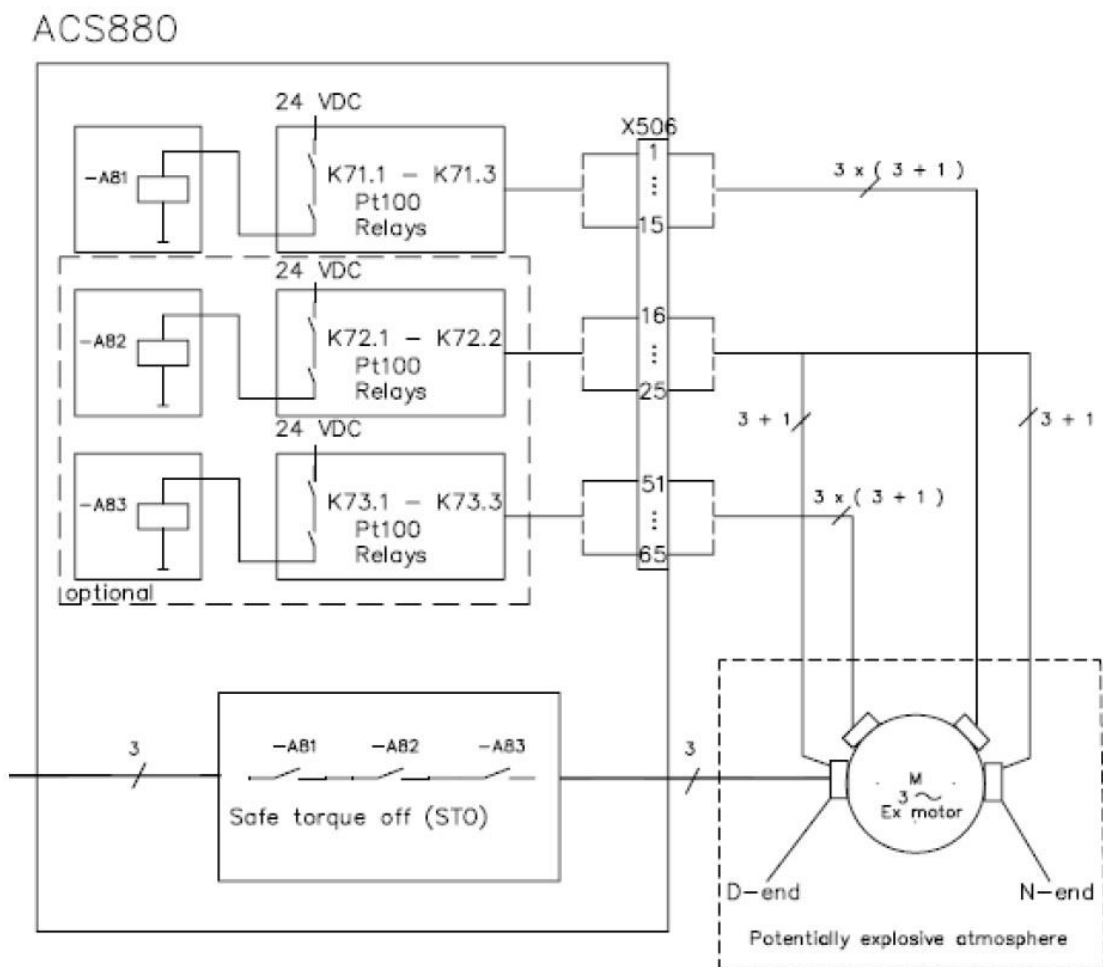


Obrázek 18 Příklad zapojení SMT s 2 PTC a s měničem ACS880 [6]

Zákazníci požadují na Ex motory ochranné funkce pro teplotu povrchu motoru. Tyto ochranné funkce a použité komponenty (PTC nebo PT100) musí být certifikované. ABB má řešení v podobě ATEX certifikovaného termistorového modulu FPTC-02. Tento modul spolu s funkcí STO splňuje požadavky podle EN IEC 61800-5-2 na bezpečnou teplotu motoru (SMT). Tím odpadá potřeba externího PTC relé. Tato funkce dosahuje bezpečnostních úrovní SIL 2 a PL c [6].

Na obrázcích 18 a 19 jsou zobrazeny příklady bezpečnostních zapojení s měniči vybaveny funkcí SMT a motory osazeny čidly PTC nebo PT100.

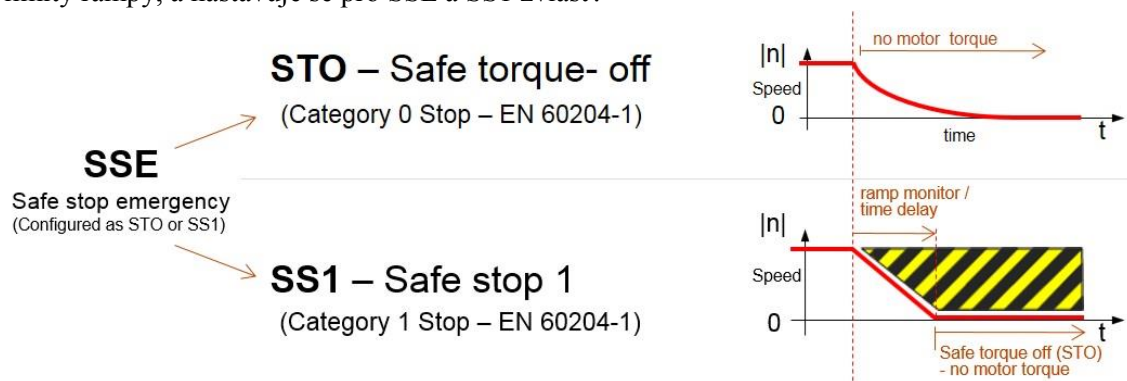




Obrázek 19 Příklad zapojení SMT se 4 PT100 a s měničem ACS880 [6]

### 3.2.8. Bezpečné nouzové zastavení (SSE)

Bezpečné nouzové zastavení může být provedeno buď funkcí STO nebo funkcí SS1, jak zobrazuje obrázek 20. Pokud je SSE provedeno pomocí STO, je funkce totožná s jedinou výjimkou. Parametr zpožděného restartu po STO je zakázán. Chování funkce SSE podle SS1 má rozdílné parametry rampy a časování [6, 23]. V ABB modulech je to funkce SAR, která určuje limity rampy, a nastavuje se pro SSE a SS1 zvlášť.

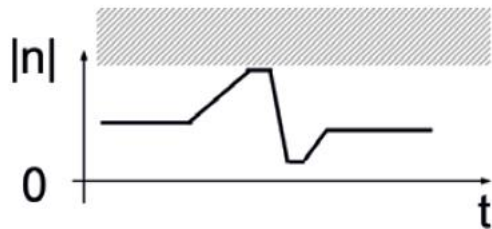


Obrázek 20 Rozdělení SSE [6]

### 3.2.9. Bezpečná maximální rychlost (SMS)

Funkce SMS zabraňuje, aby rychlost motoru nepřekročila nastavenou maximální mez. Lze nastavit, aby byla permanentně zapnutá, pak je to v podstatě nepřetržitá funkce SLS pro

maximální mez. V případě překročení meze aktivuje SSE. Stejně jako SLS i tato funkce se používá bez čidla otáček [2, 6, 23]. Příklad funkce SMS je na obrázku 21.

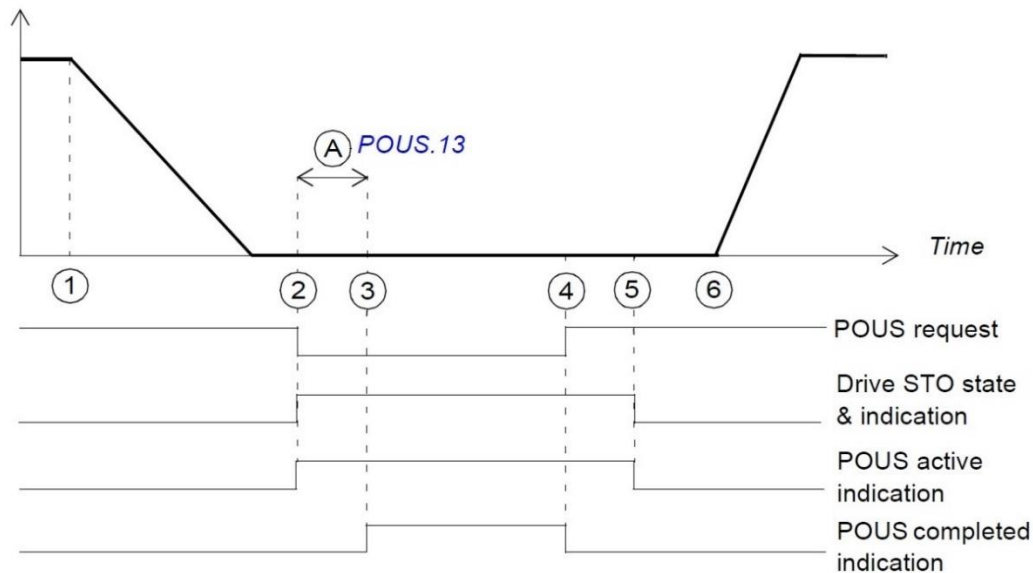


Obrázek 21 Průběh SMS [2]

### 3.2.10. Zamezení neočekávanému spuštění (POUS)

Tato funkce vychází z definice normy EN ISO 1037. Funkce POUS drží stroj v podmínkách zastavení, pokud se osoby nacházejí v nebezpečném prostoru [16]. Je to jedna z nejdůležitějších podmínek bezpečného používání strojního zařízení. Zastavení stroje znamená, že jsou pohyblivé prvky stroje v klidu. POUS aktivuje STO v měniči [23]. Příklad průběhu funkce POUS je na obrázku 22.

Motor speed



Obrázek 22 Průběh POUS, kde A je bezpečnostní zpoždění [23]

Až po bezpečnostním zpoždění je dokončena indikace POUS.

### 3.2.11. Priority mezi funkcemi

V případě že dojde k aktivování více funkcí najednou, jsou nastaveny následující priority:

1. Funkce STO má vyšší prioritu než SSE a SS1.
2. Funkce SSE má vyšší prioritu než SS1.

Funkce POUS stojí trochu stranou. Při jejím spuštění v průběhu jiné aktivní funkce by mohla funkce POUS narušit běh aktivní funkce. Proto se doporučuje aktivování POUS pouze je-li motor v klidu [23].

### 3.3. Shrnutí kapitoly

Se zvyšující se složitostí bezpečnostních systémů nabývají bezpečnostní funkce integrované v měničích frekvence na stále větším významu. Legislativa jde této skutečnosti naproti, a proto je velká škála bezpečnostních funkcí již normovaná. Základní dělení bezpečnostních funkcí je na funkce zastavení a ostatní. Mezi výhody použití bezpečnostních funkcí patří lepší spolehlivost, ušetření prostoru, zmenšení nákladů na údržbu, případně použití bez nutnosti zpětné vazby od čidla otáček. Bezpečnostní funkce jsou například funkce bezpečného vypnutí točivého momentu (STO) nebo bezpečně omezená rychlost (SLS).

## 4. Bezpečnostní moduly

Již se stává standardem, že výrobci měničů frekvence mají bezpečnostní funkci STO ve standardní výbavě svých frekvenčních měničů. To ale neplatí pro ostatní bezpečnostní funkce. Firmy ABB a Danfoss proto vyvinuly bezpečnostní moduly, které obsahují další bezpečnostní funkce a další bezpečnostní parametry. Společnost Siemens přidává další bezpečnostní funkce realizací přímo na řídicí desce frekvenčních měničů.

### 4.1. Bezpečnostní moduly ABB

Bezpečnostní moduly ABB mají označení FSO a jsou plně kompatibilní s měniči typu ACS880. Tyto měniče mají ve standardní výbavě bezpečnostní funkci STO na úrovni SIL 3 a PL e. Bezpečnostní moduly pak doplňují další funkce a další bezpečnostní řešení. ABB zatím vyvinulo 3 typy: FSO-11, FSO-12 a FSO-21.

#### 4.1.1. FSO-11



Obrázek 23 Bezpečnostní modul FSO-11 [24]

Modul FSO-11 má robustní hliníkovou základnu. Je tak odolný proti vibracím, teple a EMC rušení. Umístění modulu je flexibilní a dokáže se přizpůsobit požadavkům zákazníka. FSO modul je napájen externě napětím 24 V. Proud může dosáhnout až hodnoty 1 A [24].

Nastavení a parametrizace bezpečnostních funkcí se provádí pomocí programu Drive Composer Pro na počítači, který je propojen s měničem. Výhoda použití tohoto programu tkví v tom, že jsou již v nabídce naprogramované funkce, možnost offline konfigurace a celkově je práce výrazně rychlejší a pohodlnější. Navíc nastavení bezpečnostních parametrů je chráněno heslem. Je tak zamezeno přístupu k bezpečnostním nastavením nepovolaným osobám. Na panelu měniče je možnost parametry vidět, ale není možné je změnit.

V modulu je téměř vše redundantní. Jak jednotlivé vstupy a výstupy, tak například i procesor. Modul FSO-11 i díky tomu splňuje stupeň SIL 3 a PL e [24].

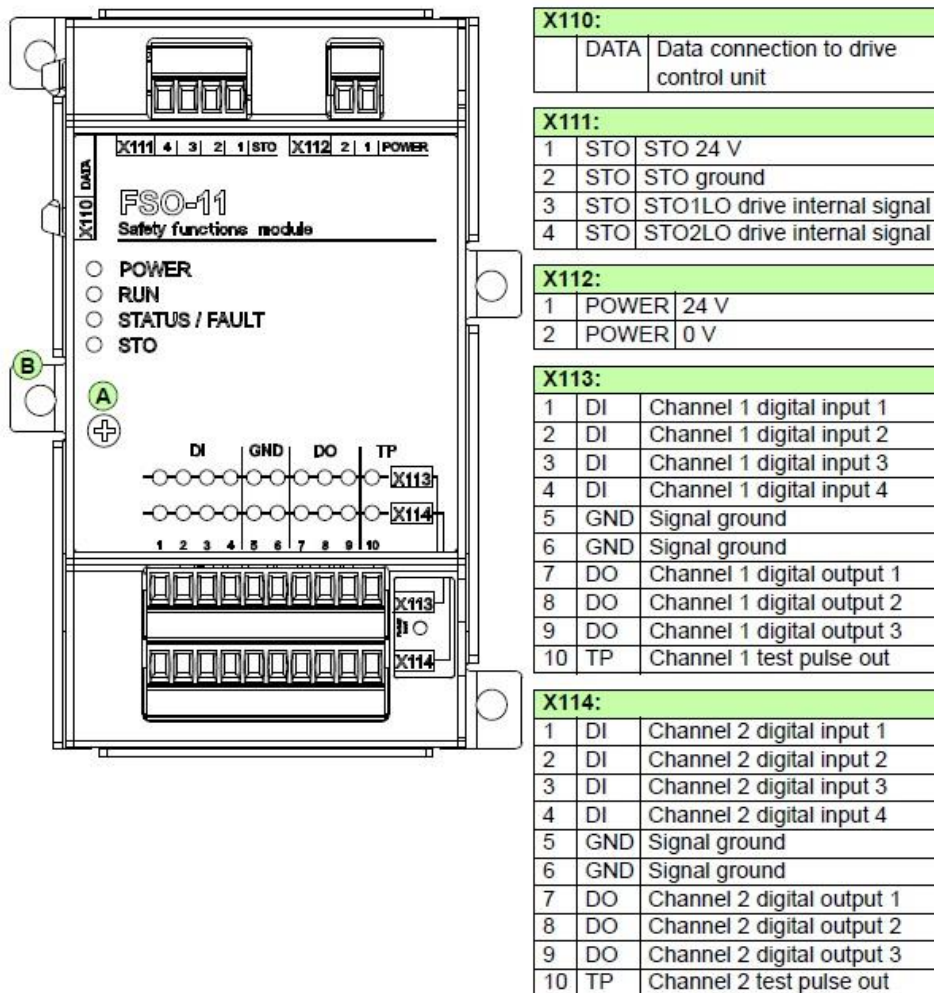
Maximální reakční doba z FSO vstupu na FSO výstup je 35 ms. Maximální reakční doba ze vstupu FSO na aktivaci STO na měniči je 50 ms [24].

Modul je vybaven osmi digitálními vstupy (čtyřmi v případě redundantního zapojení) a šesti digitálními výstupy (třemi v případě redundantního zapojení). Modul je dále osazen

konektory pro uzemnění a testování pomocí pulzů. Pro připojení modulu k STO na měniči je použit výstup v horní části modulu [24]. Viz obrázek 24.



Obrázek 24 Bezpečnostní modul FSO-11 [24]



Obrázek 25 Schéma svorek bezpečnostního modulu FSO-11 [24]

#### 4.1.1.1. Podporované bezpečnostní funkce

Kromě funkce bezpečného odpojení momentu (STO), která je pro měniče ACS880 standardem, modul FSO přidává další bezpečnostní funkce dle normy EN 61800-5-2:2007 [24]:

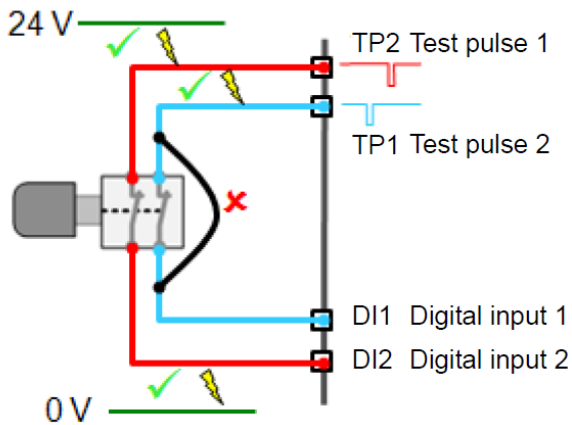
- bezpečné držení brzdy (SBC)
- bezpečné zastavení 1 (SS1)
- bezpečné hlídání rychlosti (SLS)
- bezpečné nouzové zastavení (SSE)
- bezpečná maximální rychlost (SMS)

Bezpečnostní funkce mohou být aktivovány buď lokálně z FSO digitálních vstupů, z bezpečnostního PLC, na základě interních bezpečnostních chybových situací nebo jinou bezpečnostní funkcí.

#### 4.1.1.2. Autodiagnostika

Modul FSO podporuje tzv. autodiagnostiku. Ta zajistí, že při zapnutí a během používání modulu se testuje, jestli je v pořádku komunikace mezi jednotlivými částmi modulu a mezi modulem a měničem. V případě, že tento test odhalí chybu, přejde modul do chybového režimu a aktivuje funkci SSE nebo funkci STO. Komunikace mezi modulem a měničem je testována průběžně [24].

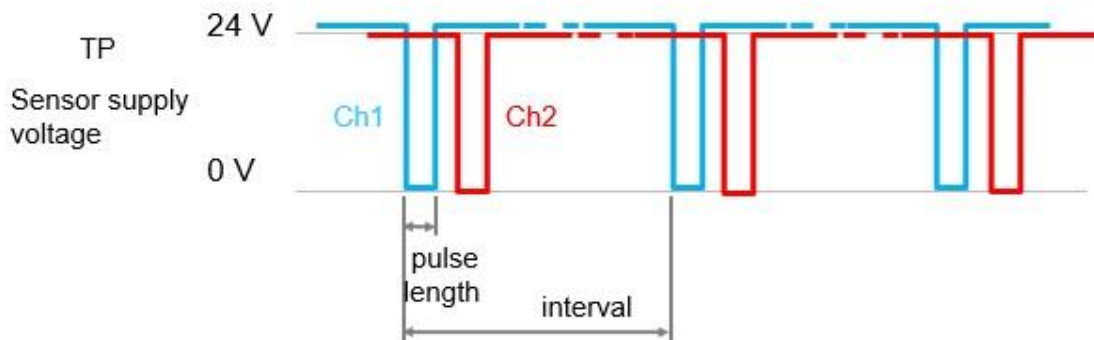
Modul FSO je na vstupu a na výstupu navržen redundantně a poskytuje možnost diagnostiky vstupů a výstupů pomocí testovacích pulzů. To umožňuje detekovat chyby v kabelech.



Obrázek 26 Schéma testovacích pulzů [24]

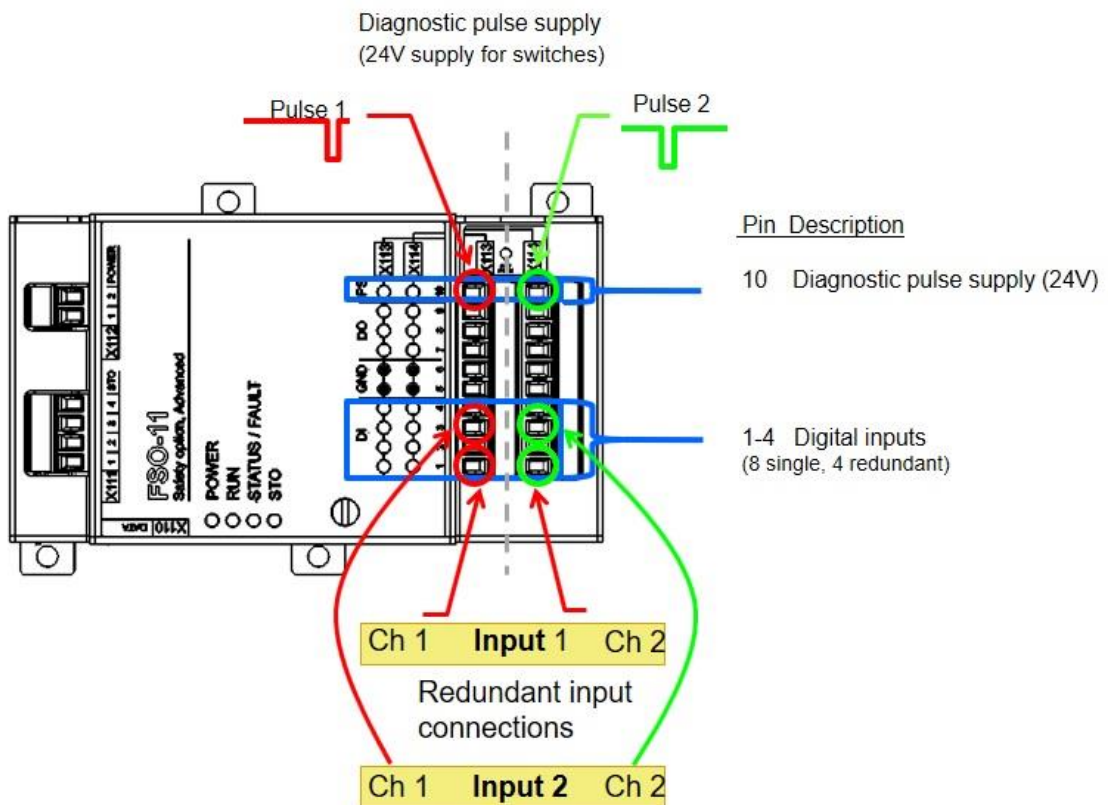
Diagnostika je schopna detekovat zkrat na hlavních přívodech nebo na zemi a zkrat mezi jednotlivými redundantními kanály. V případě, že nastane chyba na jednom ze dvou redundantních zapojení, modul aktivuje bezpečnostní funkci. Diagnostika není schopna detekovat zkrat na spínačích. Schéma diagnostiky pomocí testovacích pulzů je na obrázku 26. typický průběh těchto pulzů zobrazuje obrázek 27.

Typická délka testovacího pulzu je v rozmezí 0,5 – 2 ms každých 50 ms – 59 s [24].



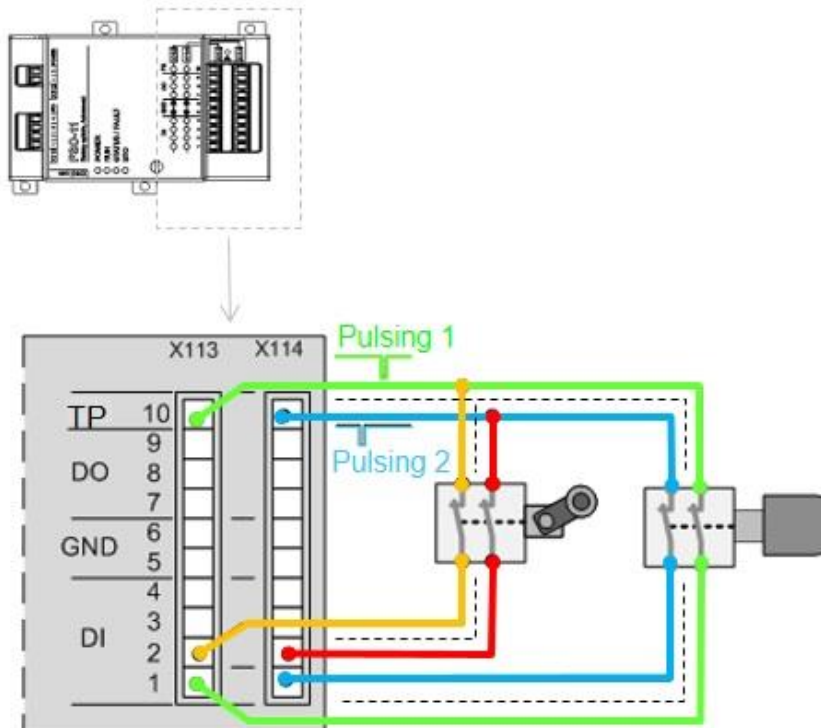
Obrázek 27 Průběh testovacích pulzů [24]





Obrázek 28 Svorky TP a DI na modulu FSO-11 [24]

Pro splnění bezpečné redundance by měly být jednotlivé kanály oddělené. Dva spínače mohou používat stejný zdroj testovacích pulzů, jak je vyobrazeno na obrázku 29.



Obrázek 29 Zapojení dvou spínačů se společnými TP [24]

#### 4.1.1.3. *Potvrzovací režimy bezpečnostních funkcí*

Potvrzení bezpečnostní funkce znamená odblokování měniče poté, co byla zaovlána bezpečnostní funkce. Existují dva potvrzovací režimy pro spuštění do provozního stavu – manuální a automatický. Při manuálním potvrzení musí uživatel nejdříve lokálně potvrdit stav FSO-11 a až potom může restartovat pohon. Při automatickém potvrzení modul sám uděluje povolení k restartu poté, co je odstraněna žádost bezpečnostní funkce. Při automatickém režimu může dojít k nebezpečným situacím. Z tohoto důvodu je doporučováno manuální potvrzování. Potvrzovací režimy mohou být vybrány pro každou funkci zvlášť [24].

#### 4.1.1.4. *Řízení bez čidla otáček*

Modul FSO-11 nepodporuje čidlo otáček pro bezpečnostní aplikace. Namísto toho používá stanovení otáček motoru na základě výpočtu z výstupní frekvence měniče. Tím se velice sníží pořizovací náklady celého strojního zařízení.

Princip řízení bez čidla otáček spočívá v porovnání hodnot z matematického modelu pohonu, který je vytvořen na základě zadaných hodnot motoru a tzv. ID run, a aktuálních hodnot výstupní frekvence měniče. Klade se tedy důraz na správné nastavení a zadání správných parametrů motoru.

Pro řízení bez čidla otáček platí omezení. Není vhodné pro aktivní zátěže (například jeřáb), kde při vypnutí napájecí energie nedojde ke zpomalení rotoru, ale může dojít k jeho akceleraci. Taktéž není vhodné pro generátorový chod, kdy vnější síly urychlují rotor rychleji, než měnič může urdit (Maximální rychlost je s použitím FSO 200 Hz oproti standardu ACS880, který je 500 Hz) [24].

FSO modul neměří mechanické otáčky. Vypočtená rychlost z frekvence se tak v závislosti na velikosti skluzu může různě lišit od skutečných mechanických otáček. Při nominálních otáčkách a momentu motoru je přesnost výpočtu  $\pm 30$  ot/min [24].

Povolený rozsah otáček závisí na použitém motoru:

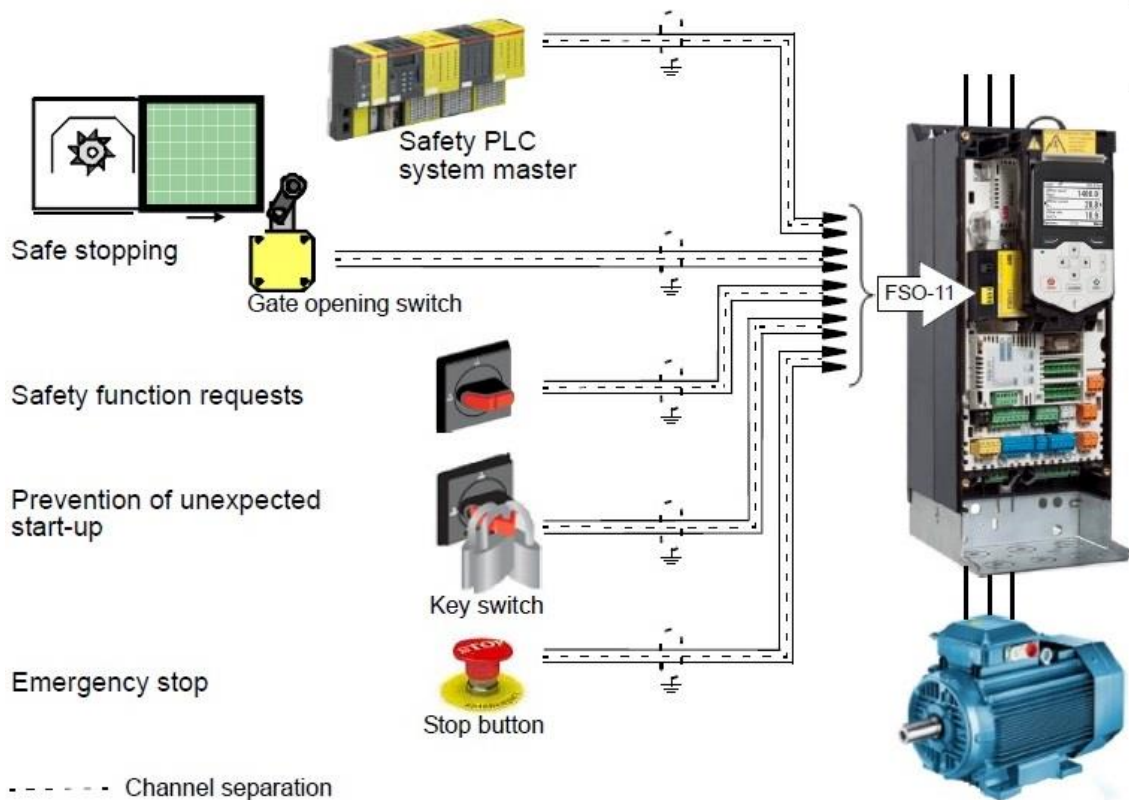
$$\text{rozsah otáček} = \frac{-18000 \dots + 18000 \text{ ot/min}}{\text{počet pólů motoru}}$$

#### 4.1.1.5. *Příklad použití pohonu s FSO-11*

FSO modul monitoruje, jestli se měnič pohybuje v předem daných limitech. Pokud jsou tyto hranice překročeny, neprodleně modul aktivuje funkci STO. Požadavek na bezpečnostní funkci může přijít od externího bezpečnostního systému (například od bezpečnostního tlačítka), bezpečnostního PLC, od jiné bezpečnostní funkce nebo na základě detekce chyby v modulu či



měníči [24]. Příklad zapojení frekvenčního měniče vybaveného modulem FSO-11 s dalšími bezpečnostními komponenty je na obrázku 30.



Obrázek 30 Příklad zapojení FSO-11 [24]

#### 4.1.2. FSO-12



Obrázek 31 Bezpečnostní modul FSO-12 [25]

Stejně jako bezpečnostní modul FSO-11 je i FSO-12 kompatibilní s měniči řady ACS880. Oproti FSO-11 navíc přidává kompatibilitu s ethernetovým adaptérem FENA-21 a funkci prevence proti neočekávanému rozeběhnutí (POUS). Modul FSO-12 podporuje autodiagnostiku

a rovněž jej nelze použít s čidlem otáček a využívá tak řízení bez čidla otáček. Modul je napájen 24 V. Svorky jsou stejné jako na FSO-11. Modul FSO-12 splňuje stupeň SIL 3 a PL e [25].

#### 4.1.2.1. Potvrzovací režimy

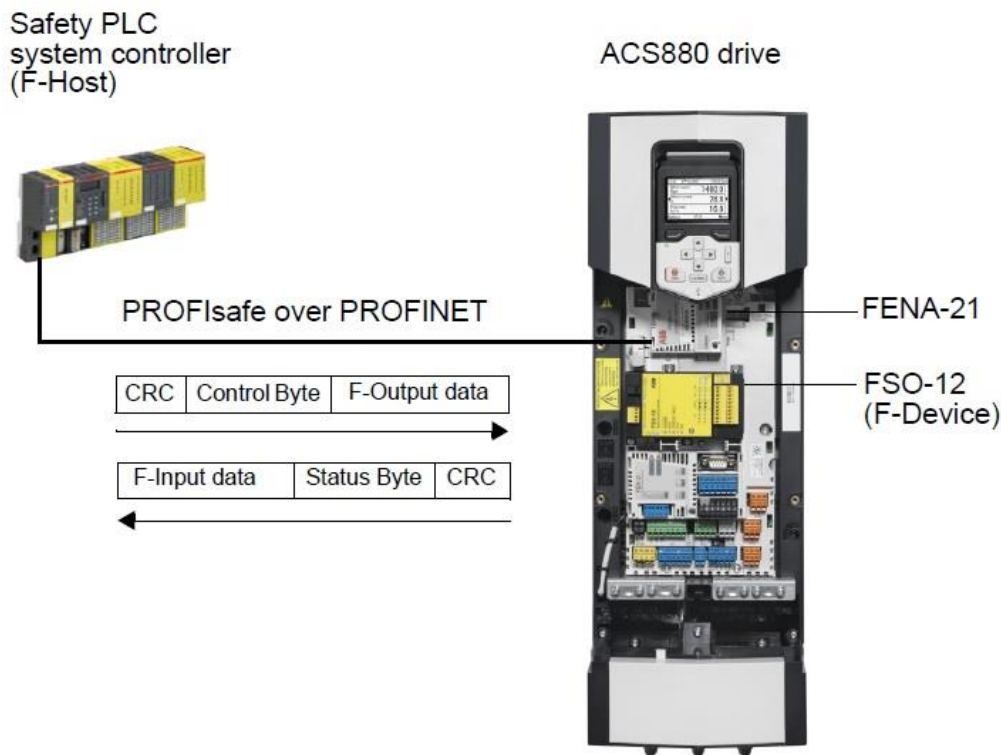
Modul FSO-12 má k dispozici 4 režimy pro potvrzení do provozního režimu. Stejně jako u FSO-11 je na výběr manuální a automatické potvrzování. Nově je však přidána možnost potvrzení z bezpečnostního PLC prostřednictvím PROFIsafe komunikace. Další možnost je použití výběru z manuálního potvrzení nebo z bezpečnostního PLC.

Povolený rozsah otáček dosáhl širšího limitu [25]:

$$\text{rozsah otáček} = \frac{-30\,000 \dots + 30\,000 \text{ ot/min}}{\text{počet pólů motoru}}$$

#### 4.1.2.2. PROFIsafe

Pokud je měnič připojen k bezpečnostnímu PLC, musí být zajištěna spolehlivá komunikace. To je provedeno pomocí PROFIsafe technologie, která tvoří nastavbu na protokoly PROFIBUS či PROFINET. PROFIsafe obsahuje celou řadu bezpečnostních opatření, které minimalizují chyby při přenosu ve složitých sítích. Bezpečnostní PLC je připojeno k adaptéru FENA-21, který komunikuje s FSO modulem. Kompatibilní PLC může být například ABB AC500-S Safety PLC nebo Siemens SIMATIC Fail-safe S7 PLC [25]. Příklad spojení modulu FSO-12 s bezpečnostním PLC přes PROFIsafe je na obrázku 32.



Obrázek 32 Příklad zapojení modulu FSO-12 přes PROFIsafe [6]

### 4.1.3. FSO-21



Obrázek 33 Bezpečnostní modul FSO-21 [23]

Modul FSO-21 má stejné vybavení jako FSO-12, ale přidává navíc další dvě funkce [23]:

1. bezpečné monitorování rychlosti (SSM)
2. bezpečný směr (SDI)

Funkce bezpečného směru může být aplikována jen s použitím čidla otáček.

Bezpečnostní modul FSO je navíc nově vybaven možností použití s čidlem otáček. Tato funkce je možná s doplňujícím modulem FSE-31.

Maximální reakční doba z FSO vstupu na FSO výstup je 35 ms. Maximální reakční doba ze vstupu FSO na aktivaci STO na měniči je 70 ms. Modul FSO-21 splňuje SIL 3 a PL e [23].

### 4.1.4. FSE-31



Obrázek 34 Bezpečnostní modul FSE-31 [26]

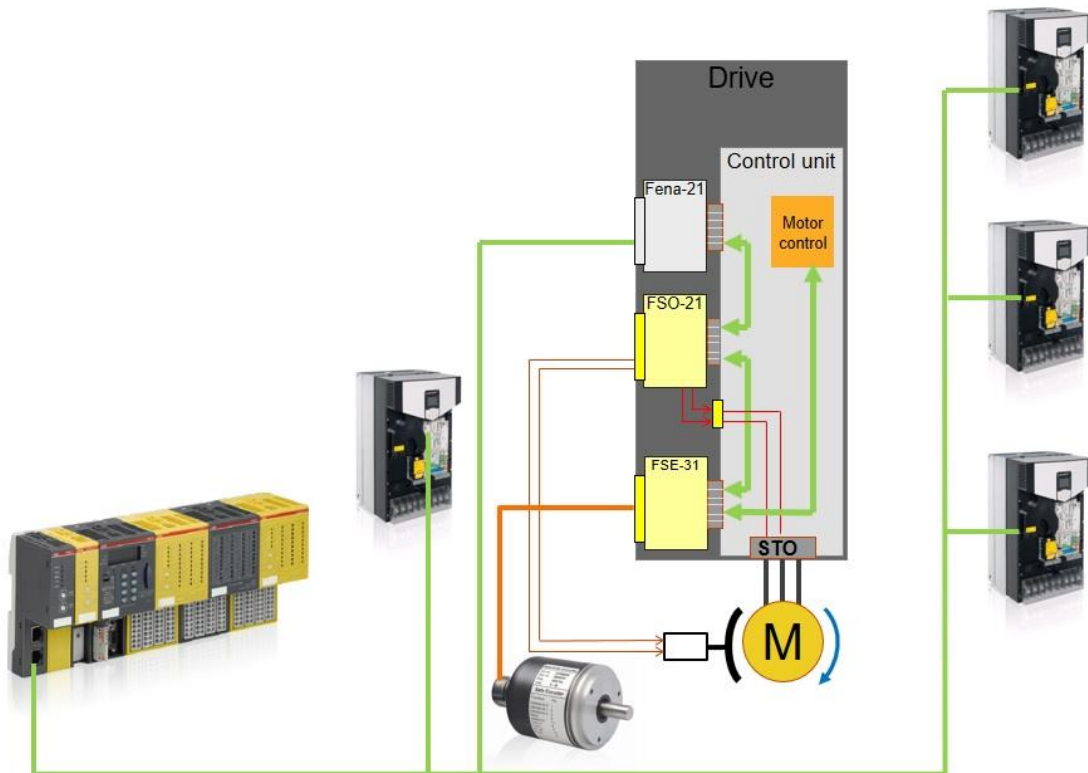
Modul FSE-31 je použit v bezpečnostních systémech spolu s modulem FSO-21. Bezpečnostní pulzní enkodér dodává pulzy modulu FSE-31, který pak následně dodává modulu FSO-21 informace o rychlosti, směru a pozici rotoru. FSE-31 rovněž monitoruje práci čidla otáček a v případě chyby posílá zprávu FSO-21.

Samotný modul FSE-31 bez použití s FSO-21 není certifikovaný bezpečnostní modul. Slouží pak jenom jako převod pro enkodér, ale už nezajišťuje bezpečnostní funkce.

FSE-31 spolu s FSO-21 splňují SIL 3 a PL e [26].

#### 4.1.4.1. Příklad použití FSO-21 + FSE-31

Příklad zapojení modulů FSO-21 a FSE-31 může být jako na obrázku 35. Měníče jsou společně řízeny z bezpečnostního PLC. Modul FSE-31 je pak připojen na čidlo otáček motoru.



Obrázek 35 Příklad zapojení FSO-21 a FSE-31 [6]

## 4.2. Bezpečnostní moduly Danfoss

Frekvenční měniče Danfoss VLT FC 301 a 302 typově odpovídají měničům ABB ACS880. Měníče VLT jsou standardně vybaveny bezpečnostní funkcí bezpečného vypnutí momentu (STO) splňující požadavky norem ISO 13849-1 a IEC 62061 na úrovni PL d respektive SIL 2. Tuto bezpečnostní funkci lze doplnit dalšími funkcemi pomocí bezpečnostních modulů MCB 140 a MCB 150 [27].

### 4.2.1. MCB 140

Modul MCB 140 se snadno montuje a může být použit jako interní nebo externí bezpečnostní modul. Modul není možné naprogramovat pomocí softwaru v připojeném PC. Programuje se pomocí tří tlačítek umístěných na modulu. Modul se může provozovat jednonálově nebo dvoukanalově.

MCB 140 je doplněk typu B k měniči. V případě, že je na měniči již nainstalován jiný doplněk typu B. Používá se bezpečnostní modul MCB 141, který je připojen k měniči externě. Tento modul MCB 141 nabízí ty samé funkce jako MCB 140 [27, 28, 29].



Obrázek 36 Bezpečnostní moduly MCB140 a MCB141 [29]

Kromě funkce bezpečného odpojení momentu (STO), která je pro měniče VLT FC 301 a 302 standardem, modul MCB 140 přidává další bezpečnostní funkce dle normy EN 61800-5-2:2007 [29, 30]:

1. bezpečné zastavení 1 (SS1)
2. bezpečné hlídání rychlosti (SLS)
3. bezpečná maximální rychlost (SMS)

Modul dle normy ISO 13849-1 splňuje úroveň PL e. Pokud se provozuje jednokanálově je maximální úroveň PL c.

Stejně jako ABB modul, i tento modul je napájen 24 V. Odebíraný proud se pohybuje v řádech 100 mA. Reakční doba bezpečnostních funkcí je 20 ms. Modul obsahuje testování pomocí napěťových pulzů, šest digitálních vstupů (tři při redundantním zapojení) a tři digitální výstupy (jeden při redundantním zapojení). Bezpečnostní funkce mohou být použity jen se zpětnou vazbou z čidla otáček [29, 30].

#### 4.2.2. MCB 150

Modul MCB 150 je realizován přímo v měniči. Je certifikován dle normy ISO 13849-1 a IEC 62061 až po PL d respektive po SIL 2. Tento modul rozšiřuje bezpečnostní funkce měniče o funkce SS1 a SLS. Funkci SS1 je možné řídit časově nebo pomocí rampy.

Aplikace tohoto modulu je v nenáročných aplikacích. Není možnost ho použít bez čidla otáček. Používá se s inkrementálním čidlem TTL. Pro kombinaci s čidlem HTL se používá modul MCB 151, který je jinak totožný s MCB 150 [27, 31, 32].

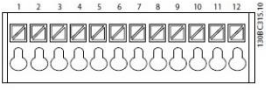


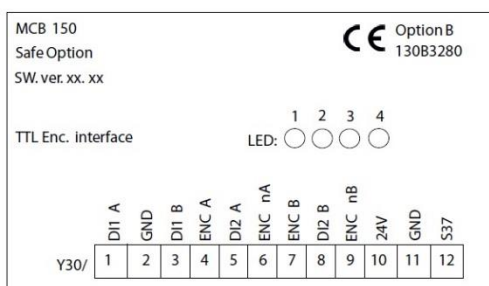


Obrázek 37 Bezpečnostní modul MCB150 [31]

Nastavení modulu je možné pomocí propojení s počítačem a softwarem VLT Motion Control Tool MCT 10.

Modul obsahuje čtyři digitální vstupy (dva při redundantním zapojení) a jeden digitální výstup a je možné jej chránit heslem. Opět je napájen 24 V. Může odesílat zprávy o stavu přes Fieldbus. Jednotlivé svorky modulu MCB150 jsou zobrazeny na obrázku 38.

Y30	Pin	Name	Description
	1	DI1 A	Digital Input 1 A channel
	2	GND	Digital GND
	3	DI1 B	Digital Input 1 B channel
	4	ENC A	Encoder Channel A
	5	DI2 A	Digital Input 2 A channel
	6	ENC nA	Encoder Channel A inverted
	7	ENC B	Encoder Channel B
	8	DI2 B	Digital Input 2 B channel
	9	ENC nB	Encoder Channel B inverted
	10	24 V	Power output
	11	GND	Supply GND
	12	S37	STO enable



Obrázek 38 Svorky bezpečnostního modulu MCB150 [32]

#### 4.2.3. MCB 152

Ani jeden z výše zmíněných modulů nemá možnost aktivace bezpečnostních funkcí pomocí sběrnice PROFIsafe. To nabízí pouze modul MCB 152 v kombinaci s doplňkem VLT PROFINET MCA 120. Modul však nepřidává žádné další funkce a stejně jako zbylé dva moduly je doplňkem typu B, nelze tedy připojit další bezpečnostní moduly na měnič. Uživatel si tak musí vybrat mezi bezpečnou komunikací nebo možností použití více bezpečnostních funkcí. Tento modul dosahuje úrovně vlastností PL d a úrovně bezpečnostní integrity SIL 2 [27, 33, 34].



Obrázek 39 Bezpečnostní modul MCB152 [33]

### 4.3. Bezpečnostní funkce realizované ve frekvenčních měničích Siemens

Měniče typu Sinamics od společnosti Siemens typově odpovídají ACS880 od firmy ABB a VLT od firmy Danfoss. Téměř všechny produkty rodiny Sinamics nabízejí bezpečnostní funkce a ve většině případů není potřeba zpětná vazba z čidla otáček. Společnost Siemens nenabízí jednotlivé bezpečnostní moduly, ale nabízí frekvenční měniče s bezpečnostními funkcemi realizovanými přímo na řídicí desce. Tyto funkce jsou certifikovány podle norem ISO 13849-1 a IEC 62061 na úrovni PL d a SIL 2.



Obrázek 40 Měniče Siemens typu Sinamics [39]

Bezpečnostní funkce ve frekvenčních měničích Sinamics specifikované v normě EN IEC 61800-5-2:2007 [35]:

1. Funkce zastavení:
  - a) bezpečné vypnutí točivého momentu (STO)
  - b) bezpečné zastavení 1 (SS1)
  - c) bezpečné zastavení 2 (SS2)
  - d) bezpečné provozní zastavení (SOS)
2. Ostatní bezpečnostní funkce:
  - a) bezpečně omezená rychlost (SLS)



- b) bezpečné ovládání brzdy (SBC)
- c) bezpečný směr (SDI)
- d) monitor bezpečné rychlosti (SSM)
- e) bezpečně omezená poloha (SLP)

Bezpečnostní funkce ve frekvenčních měničích Sinamics nspecifikované v normě EN IEC 61800-5-2:2007:

- a) bezpečná poloha (SP)
- b) bezpečné testování brzdy (SBT)

Oproti ABB tedy Siemens zavádí další bezpečnostní funkce, a to SS2, SLP, SP a SBT.

#### 4.3.1. Další bezpečnostní funkce oproti ABB

##### 4.3.1.1. *Bezpečné zastavení 2 (SS2)*

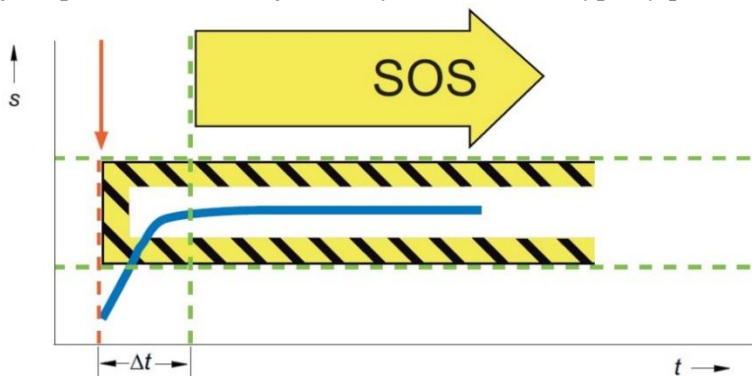
Dle definice z EN IEC 61800-5-2 může být funkce bezpečného zastavení 2 řízena ve třech režimech. První režim je, že po zahájení zpomalování funkce SS2 řídí zpomalování a následně, když je rychlost motoru pod specifikovanou mezí aktivuje funkci SOS. Druhý režim je, že po zahájení zpomalování funkce SS2 jen monitoruje zpomalování a následně, když je rychlost motoru pod specifikovanou mezí aktivuje funkci SOS. A třetí režim je takový, že zahájí zpomalování motoru a aktivuje funkci SOS po určitém časovém zpoždění. Tato bezpečnostní funkce odpovídá řízenému zastavení kategorie zastavení 2 v normě IE 60204-1 [13].

Na rozdíl od funkce SS1, napájení motoru není odpojeno. Řídicí systém tak kontroluje, aby se poloha motoru neodchýlila o danou odchylku. Vlivem externích sil, tak motor může generovat maximální moment, aby zůstala rychlost motoru nulová [35].

##### 4.3.1.2. *Bezpečné provozní zastavení (SOS)*

Dle definice z EN IEC 61800-5-2 funkce SOS zabraňuje, aby se poloha motoru neodchýlila více než o definovanou velikost odchylky od zastavené polohy. Měnič zajišťuje energii pro motor umožňující mu klást odpor vnějším silám. Tento popis provozního zastavení je založen na provedení bez externích brzd [13].

SOS je alternativa k funkci STO. Přivede pohon do regulace v uzavřené smyčce, udržuje jeho polohu a monitoruje klidový stav [35, 37]. Typický průběh funkce SOS viz obrázek 41.



Obrázek 41 Průběh SOS [35]

Použití této funkce je vhodné u strojů, které musejí zůstat v klidu, ale zároveň je potřeba, aby dodávali určitý moment. Navzdory určitému protimomentu, tak motory zůstávají ve stejné pozici. Typické aplikace použití pak jsou navíječky, balící stroje a obráběcí stroje [35, 37].

#### 4.3.1.3. Bezpečně omezená poloha (SLP)

Dle definice z EN IEC 61800-5-2 funkce SLP zabraňuje, aby se u motoru nepřekročila specifikovaná mezní poloha [13].

V případě, že motor překročí nastavený limit, zareaguje funkce podle předem nastavených parametrů. Typický průběh funkce SLP viz obrázek 42.



Obrázek 42 Průběh SLP [35]

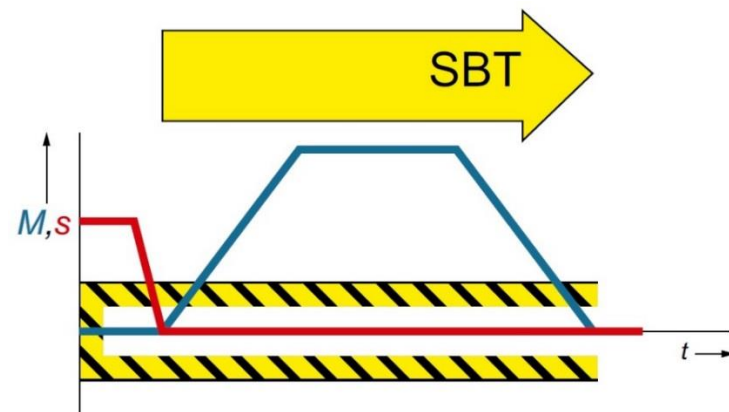
Použití je u aplikací, které vyžadují přístup obsluhy, například kvůli naložení nebo vyložení materiálu, například skladovací stroje, portálové jeřáby nebo obráběcí centra [35, 37].

#### 4.3.1.4. Bezpečná poloha (SP)

Funkce bezpečné polohy přenáší bezpečným způsobem hodnoty polohy motoru do bezpečnostního řídicího systému s využitím bezpečné komunikace PROFIsafe [35, 37].

#### 4.3.1.5. Bezpečné testování brzdy (SBT)

Funkce bezpečného testování brzdy v určitých intervalech testuje, zda použitá brzda disponuje dostatečným zádržným momentem [35, 37]. Typický průběh funkce SBT viz obrázek 43.



Obrázek 43 Průběh SBT [35]

Typicky se používá v kombinaci s funkcí SBC.

Jaké funkce jsou v jakém měniči použity, můžete vidět na tabulce níže.

Tabulka 7 Aktuálně použitelné integrované bezpečnostní funkce v měničích Sinamics [35]

Měnič	Aktuálně použitelné integrované bezpečnostní funkce
SINAMICS G120C	STO
SINAMICS G120	STO, SS1, SLS, SDI, SSM, SBC
SINAMICS G120D	STO, SS1, SDI, SSM, SLS
SINAMICS G130/G150/G180	STO, SS1, SBC, SLS, SDI, SSM / G180: STO
SINAMICS S110	STO, SS1, SS2, SOS, SBC, SLS, SDI, SSM
SINAMICS S120 Booksize a Blocksize	STO, SS1, SS2, SOS, SBC, SLS, SDI, SSM
SINAMICS S120 Chassis a Cabinet Modules	STO, SS1, SS2, SOS, SBC, SLS, SDI, SSM, SLP, SP, SBT
SINAMICS S150	STO, SS1, SS2, SOS, SBC, SLS, SDI, SSM, SLP, SP, SBT
SINAMICS SM150	STO

Měniče Sinamics podporují komunikaci pomocí sběrnice PROFIsafe. Všechn hardware a software podílející se na bezpečnosti je neustále monitorován a testován.

#### 4.3.2. Řízení bez čidla otáček

Seznam funkcí, které mohou být aplikovány bez čidla otáček je v tabulce 8.

Rychlost motoru je v tomto případě vypočítávána z aktuálních hodnot napětí. Řízení bez čidla otáček stejně jako u ABB nelze použít pro aplikace s aktivní zátěží.

Tabulka 8 Integrované bezpečnostní funkce v měničích Sinamics s použitím s čidlem otáček a bez něho [35]

	Function	Abbreviation	With encoder	Without encoder
<b>Basic Functions</b>	Safe Torque Off	STO	Yes	Yes
	Safe Stop 1	SS1	Yes	Yes
	Safe Brake Control	SBC	Yes	Yes
<b>Extended Functions</b>	Safe Torque Off	STO	Yes	Yes
	Safe Stop 1	SS1	Yes	Yes
	Safe Brake Control	SBC	Yes	Yes
	Safe Operating Stop	SOS	Yes	No
	Safe Stop 2	SS2	Yes	No
	Safely-Limited Speed	SLS	Yes	Yes
	Safe Speed Monitor	SSM	Yes	Yes
	Safe Direction	SDI	Yes	Yes
	Safely-Limited Position	SLP	Yes	No
	Safe Position	SP	Yes	No
	Safe Brake Test	SBT	Yes	No

#### 4.4. Shrnutí kapitoly

Největší výrobci pohonné techniky jako společnosti ABB, Siemens a Danfoss již zachytily stoupající trend funkční bezpečnosti a nabízejí ve svém produktovém portfoliu bezpečnostní funkce.

Všechny tři společnosti nabízejí funkci STO ve standardním vybavení svých frekvenčních měničů. Rozdíl je však v úrovni bezpečnosti. Zatímco měniče ABB splňují s funkcí STO nejvyšší stupeň bezpečnosti SIL 3 a PL e, Siemens a Danfoss nabízejí pouze SIL 2 a PL c.

U všech tří společností je možnost doplnit frekvenční měniče dalšími bezpečnostními funkcemi. ABB a Danfoss toto řeší pomocí speciálních bezpečnostních modulů. Ty kromě dalších funkcí nabízejí i dodatečné bezpečnostní vstupy a výstupy. Siemens má všechny bezpečnostní prvky realizované na řídicí desce frekvenčních měničů.

Další rozdíl mezi produkty těchto společností je v nabízené škále bezpečnostních funkcí. Danfoss nabízí pouze čtyři funkce, ABB už devět a Siemens může dokonce nabídnout až 11 funkcí. Tato volba je možná jen pro největší frekvenční měniče typu Sinamics S150 a S120, kdežto ABB může připojit svůj modul na kterýkoli měnič ACS880. ABB moduly nabízejí oproti konkurenci funkce SDI, SSE a POUS. Siemens má zase navíc funkce SS2, SOS, SLP, SP a SBT.

Velká výhoda ABB a Siemensu je použití bezpečnostních funkcí bez nutnosti použití zpětné vazby od čidla otáček. Další parametr, ve kterém Danfoss zaostává je možnost použití bezpečné sběrnice PROFIsafe. Tu Danfoss sice nabízí, ale jen s modulem MCB152, který tím zablokuje použití dalších modulů, a tedy nabídku dalších bezpečnostních funkcí.

## 5. Použití bezpečnostních funkcí v praxi

### 5.1. Úvod

Ve společnosti ABB pracuji od ledna 2016. Již tehdy jsem byl s technickým oddělením dohodnutý, že budu psát diplomovou práci na toto téma. Byl jsem proto zařazen do týmu, který se zabýval návrhem a instalací bezpečnostních modulů na měničích ACS880-01 pro vápenku Čertovy schody. Instalace měničů proběhla v únoru 2016.

### 5.2. Vápenka Čertovy schody

Vápenka Čertovy schody je největším výrobcem vápenných a vápencových výrobků v České republice. Vápenec jako hlavní surovina se těží v přílehlých ložiscích Koněprusy a Suchomasty I. Vápno z této oblasti je známo vysokou kvalitou a bělostí [40].



Obrázek 44 Pohled na vápenku Čertovy schody od příjezdové cesty

Výstavba vápenky byla zahájena v roce 1956. V roce 1980 byla postavena tříšachtová pec. V ní se v procesu pálení střídaly tři šachty. Palivem pece byly topné oleje, například mazut, a denně vyprodukovala průměrně 300 tun vápna. Od roku 1992 patří vápenka Čertovy schody do koncernu Lhoist.

V roce 2013 byl schválen projekt na výstavbu zcela nové dvoušachtové pece na základech stávající. Od té doby začaly intenzivní technické přípravy a již v roce 2014 započalo bourání staré pece. Na konci roku 2014 se vytvořil přechodový rám na novou pec na stávajících základech a na jaře roku 2015 se začalo se stavbou pece nové. V lednu 2016 bylo vše dokončeno a po provedení testů byla pec poprvé zapálena. Po zapálení bylo nutné provést další dodatečné testy mimo jiné také SIL testy. Současně byl zahájen zkušební provoz. V únoru 2017 byla pec řádně zkolaudována a byl odstartován plný provoz. Pec se může pyšnit tím, že patří mezi nejmodernější pece na světě.

Stejně jako u staré tříšachtové pece, tak i u nové dvoušachtové pece, se šachty v pálení střídají. Oproti tříšachtové peci má ale dvoušachtová velkou výhodu. Odpadní teplý vzduch, který



vzniká při pálení vápna, je propojovacím kanálem veden přes šachtu, ve které se momentálně nepálí, a až poté do komína. Zajistí se tak předehřátí druhé šachty a výrazně se zefektivní výroba. Tento velice efektivní postup u staré tříšachtové pece nemohl být praktikován. Teplý vzduch, který se táhl propojovacími kanály do jednotlivých šachet, se rozděloval nerovnoměrně a každá pec tak byla předehřívána na jinou teplotu. To mělo za následek, že se ne všechen uhličitán vápenatý přeměnil na oxid vápenatý a kvalita vápna tak nebyla dostačující. Nová dvoušachtová pec je napájena uhelným prachem a vyprodukuje průměrně 400 tun vápna za den [41].



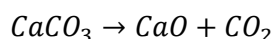
Obrázek 45 Pece ve vápence Čertovy schody

### 5.3. Technologie výroby vápna

Výrobu vápna lze rozdělit do tří etap:

1. těžba
2. úprava
3. výpal

Vápenec se těží v povrchovém dole. Vytěžená hornina se rozdrtí a vsázka se nasype do zásobníku pece. Množství vsázky se pak přesně odvažuje a dávkuje do jednotlivých šachet. Vypalovaný vápenec kontinuálně postupuje od vrchní části ke spodku pece. Pálení vápna probíhá při teplotách okolo 1000 °C, což je dostatečné pro uvolnění oxidu uhličitého z vápence. Asi za 24 hodin projde vsázka pecí a vznikne suché vápno. Rovnice rozkladu vápence je [41, 42, 43]:



Vzniklý oxid vápenatý je křehký a velice bílý.



Obrázek 46 Vstup materiálu do vápenky Čertovy schody

#### 5.4. Použití měničů ABB

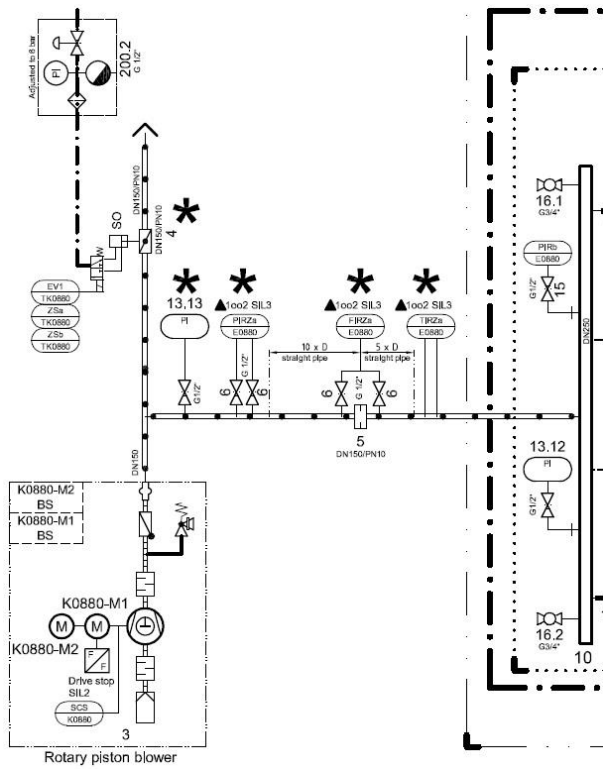
Vápenka Čertovy schody již dlouhá léta spolupracuje s firmou ABB. Frekvenční měniče ABB se pro ni staly standardem, a proto v ní můžeme najít celou řadu modelů frekvenčních měničů. Nejrozšířenější je řada ACS800, a to ve všech velikostech rámců. Můžeme ale najít i měniče typu ACS550 nebo ACS880. Aplikace měničů je opravdu pestrá – od vibračních podavačů, přes čerpadla paliva a pásové dopravníky až po rotační turnikety. S měniči ABB nebyly nikdy problémy, a proto není divu, že se projektant rozhodl opět pro volbu měničů od této firmy.

Na projekt bylo použito celkem dvanáct měničů řady ACS880-01-xxxx-03, tzn. v závěsném provedení do rozvaděčových skříní na síť 400 V / 50 Hz. Jedenáct měničů jsou typu ACS880-01-02A4-3 o typovém výkonu 0,12 kW a jeden měnič je typu ACS880-01-206A-3 o typovém výkonu 75 kW.

Větší měnič je připojen na dmychadlo teplého vzduchu pro transport uhelného prachu do pece. Jedenáct menších měničů je pak připojeno na motory, které dávkuje určité množství uhelného prachu do pece. Z důvodu lepšího rozložení teploty jsou trasy potrubí na konci rozdvojeny a prach se přivádí na 22 hořáků. U všech těchto měničů jsou nainstalovány bezpečnostní moduly ABB FSO-12.

Aby byla jistota, že se vše transportuje a chladí a že není nikde nic ucpaného, je v potrubí zabudována tzv. clona. Před a za touto clonou se měří diferenční tlak. Ten se monitoruje a v případě, že se rozdíl tlaků vychýlí mimo bezpečné meze, je potřeba neprodleně zasáhnout.





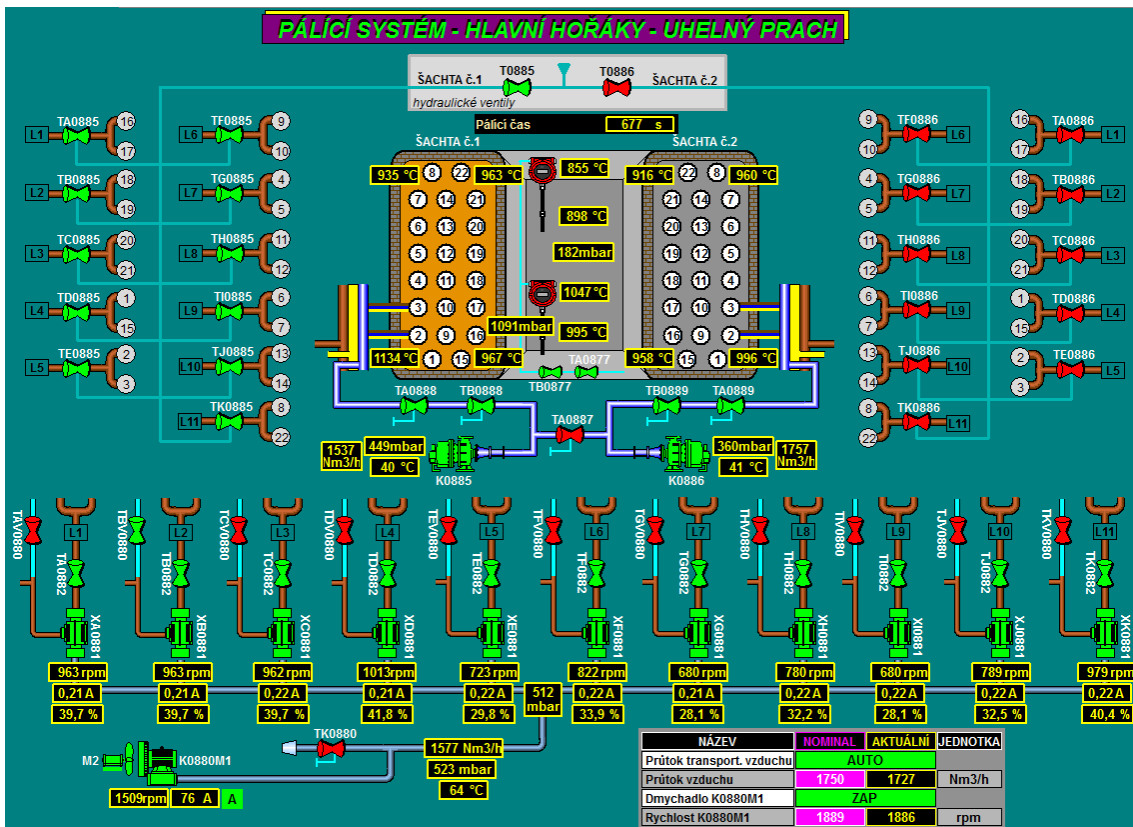
Obrázek 47 Výřez zapojení dmyhadla ze schématu vápenky



Obrázek 48 Zapojení měničů a modulu FSO-12 v rozvaděči



Obrázek 49 Detail zapojení bezpečnostního modulu FSO-12 ve Vápence Čertovy schody



Obrázek 50 Schéma vápenky z obrazovky velína [41]

## 5.5. Bezpečnostní systém a posouzení rizik

Na celý technologický systém byla zpracována studie posouzení rizik a jejich zhodnocení. Tato studie byla vypracována externí švýcarskou firmou. Analýza podléhá know-how společnosti, která vápence poskytla pouze výstupy z této analýzy. Z těch vyplývá, že měniče na dmychadle a dávkovačích musejí splňovat minimálně SIL 2 a musejí být vybaveny funkcí bezpečného zastavení 1 (SS1). Instalaci, nastavení a první spuštění zajišťoval servis ABB [41].

Celý řídicí systém navrhla stejná externí firma. Systém řídí logika v PLC Siemens Simatics S7-400. Na toto PLC je připojené bezpečnostní relé Schneider Preventa, které má vytvořené tři úrovně, které určují, jestli se má daný pohon vypnout hned, se zpožděním nebo pomocí bezpečné funkce [41].

Bezpečnostní moduly FSO jsou připojeny přes relé KEM od firmy Siemens na hladinu vypnutí pomocí bezpečné funkce. Relé se vybaví na základě zmáčknutí nouzového tlačítka (buď z velína, od rozvaděče nebo od pece) nebo pokud relé Schneider nedostává zpětnou vazbu od bezpečnostního PLC. Tím se spustí na modulu FSO funkce bezpečného zastavení 1.

Všechny měniče jsou s PLC a KEM relé propojeny pomocí komunikační sběrnice PROFIBUS [41].

V případě, že dojde k nouzovému bezpečnostnímu vypnutí, musí se celý systém odblokovat a restartovat manuálně, a to buď na rozvaděčích, ve velíně nebo u pece.

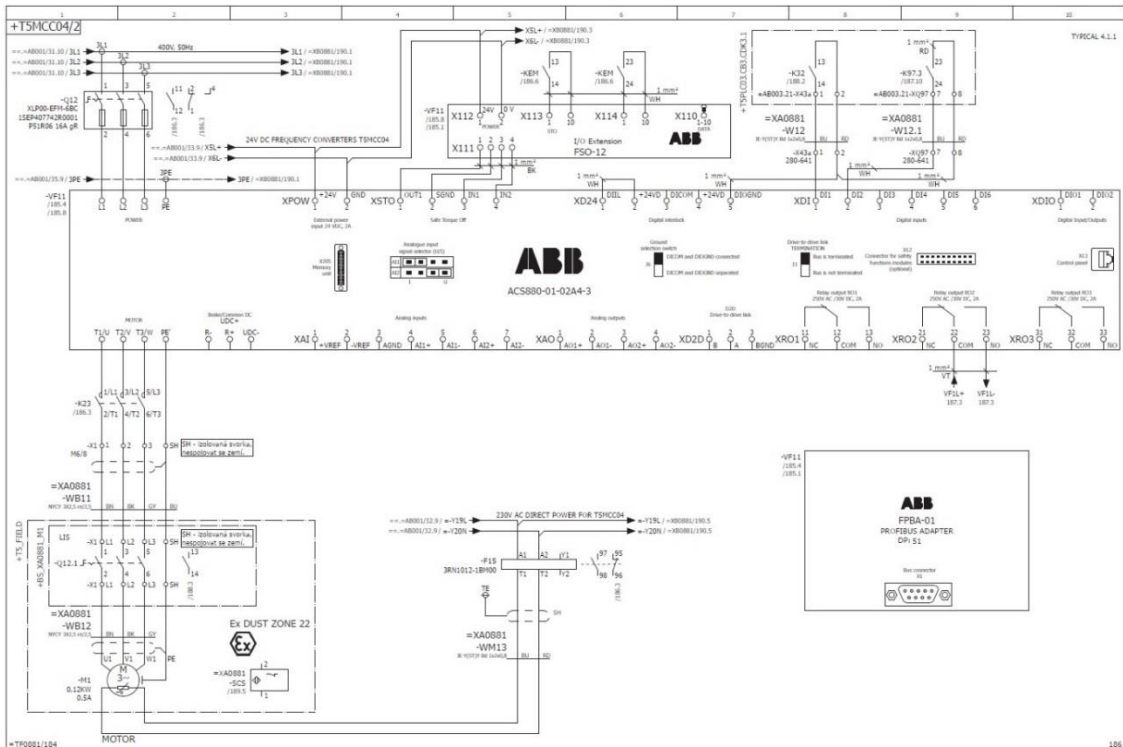
Tento systém je provozován od února roku 2016 a dosud funguje zcela bez problémů.

## 5.6. Propojení měniče ACS880-01-02A4-3 s relé KEM a Preventa

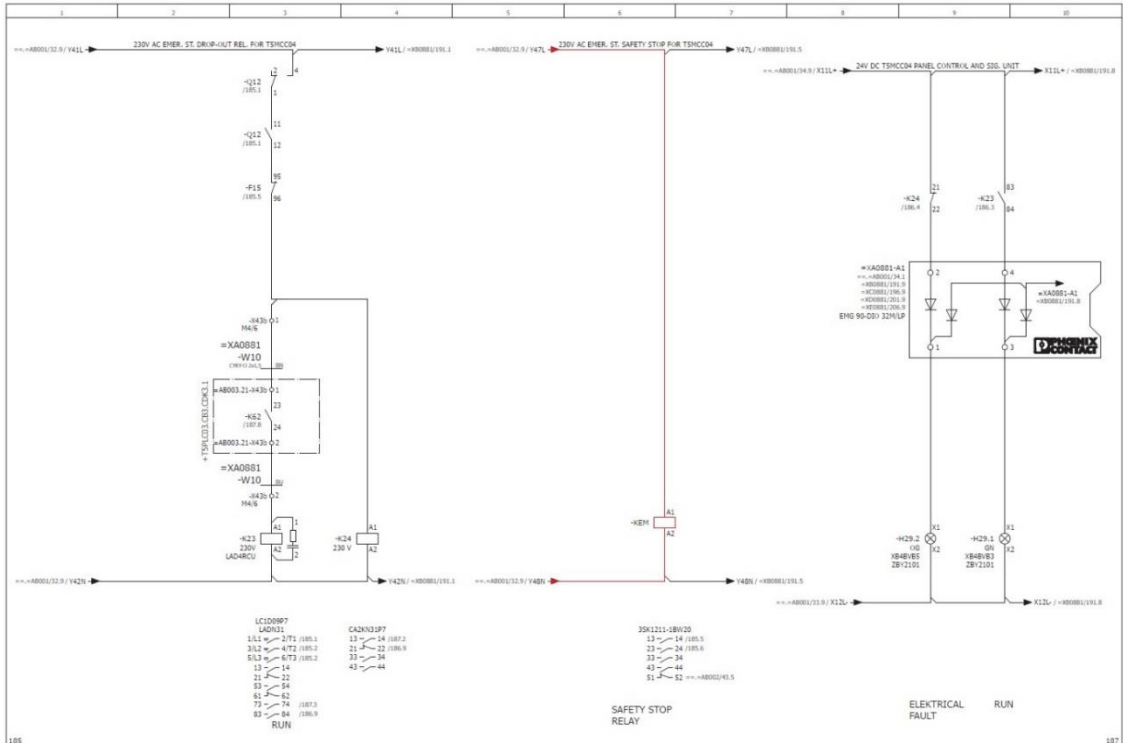
Na obrázku 51 je znázorněno schéma zapojení měniče ACS880-01-02A4-3. Na svorky X113 a X114 jsou zapojeny výstupy z relé KEM, které je zapojeno dvoukanálově. Na svorkách X113.1 a X114.1 jsou digitální vstupy. Svorky X113.10 a X114.10 jsou vstupy testovacích pulzů. V momentě kdy relé KEM rozezne, FSO modul zaznamená chybu a okamžitě spustí funkci SS1.

Relé KEM je připojeno na hladinu nouzového bezpečnostního zastavení, jak je vidět na obrázku 52. Ta vychází z bezpečnostního relé Preventa od firmy Schneider, které má ve schématu označení T5ACC02 (viz obrázky 53 a 54). Celá trasa je vyznačena červeně. Na obrázku 55 je znázorněno relé Preventa. Svorky S11, S12, S21 a S22 tvoří bezpečnostní obvod a jsou připojeny na nouzová tlačítka [41].

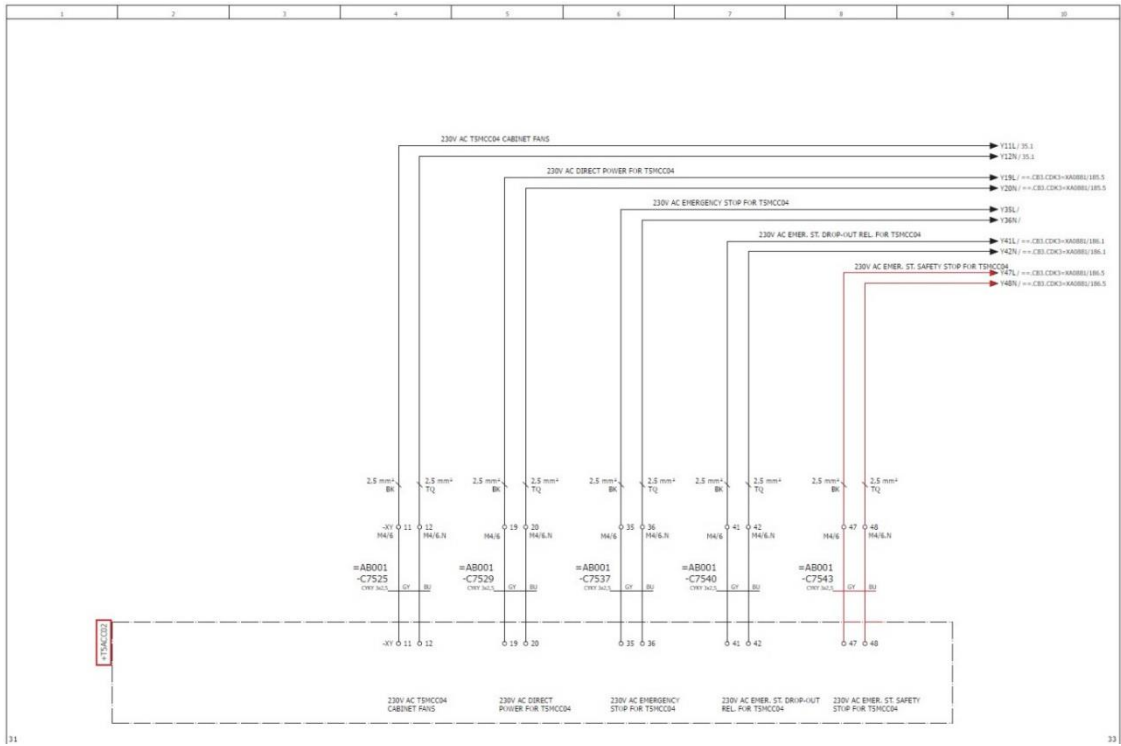
Obdobně je takto zapojen i měnič pro dmychadlo ACS880-01-206A-3.



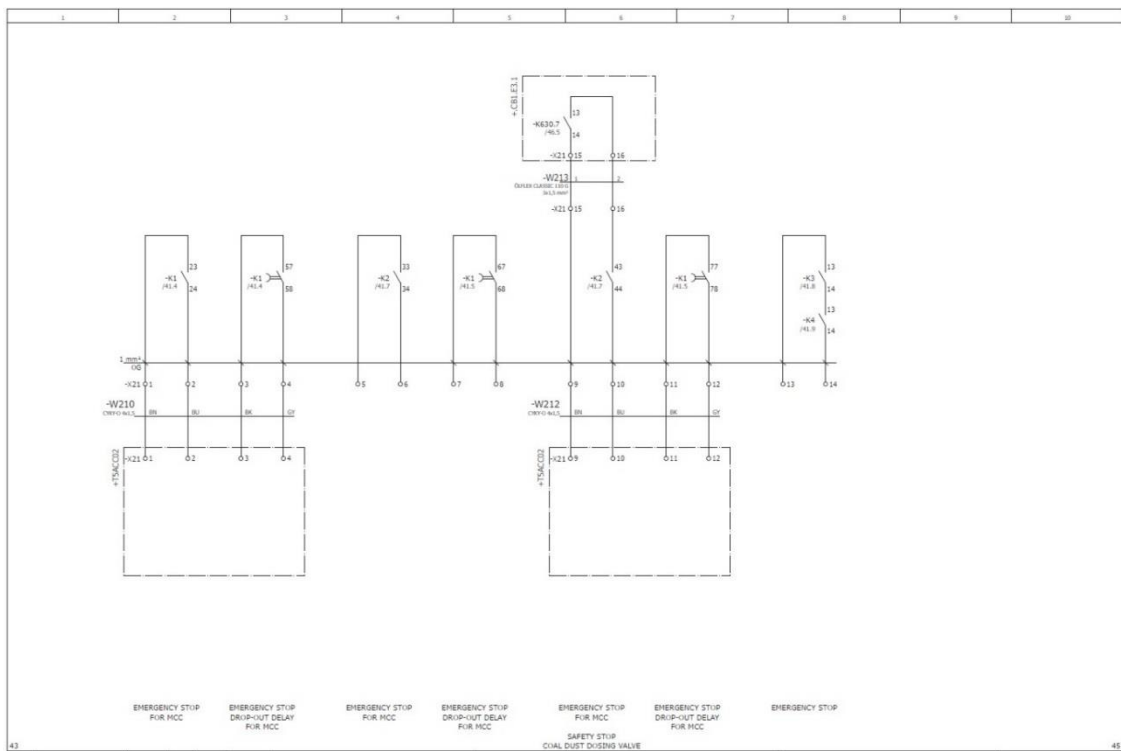
Obrázek 51 Schéma vápenky č. 186 [41]



Obrázek 52 Schéma vápenky č. 187 [41]

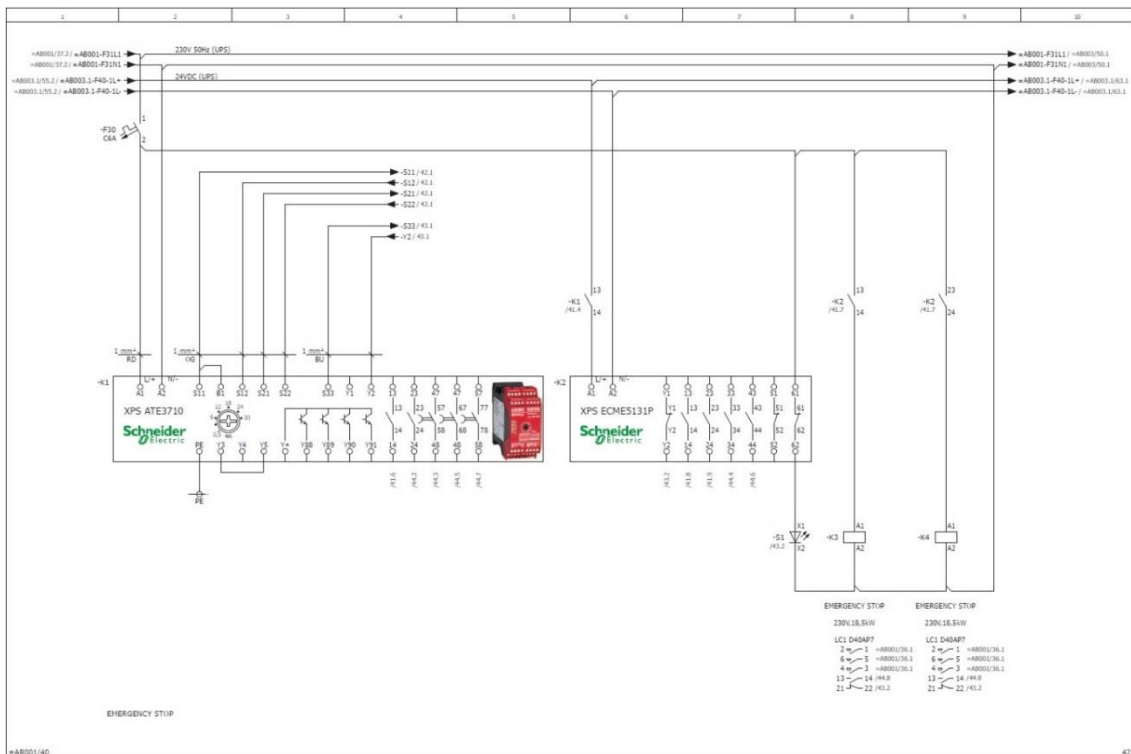


Obrázek 53 Schéma vápenky č. 33 [41]



Obrázek 54 Schéma vápenky č. 45 [41]





Obrázek 55 Schéma vápenky č. 42 [41]

## 5.7. Použití bezpečnostní funkce

U obou aplikací je použita funkce bezpečného zastavení 1 (SS1). Tato funkce je nastavena na řízení po rampě. Pro správnou funkci SS1 je nutné nastavit minimálně tyto bezpečnostní parametry:

- výběr způsobu zastavení (SAR1 monitoring method)
- sklon rampy (SAR1 ramp time to zero)
- limity rampy (SAR1 min a max)
- způsob potvrzení funkce (STO acknowledgement)
- nastavení vstupů (SS1 intup A)
- nastavení výstupů (SS1 output)
- rychlost, při které se aktivuje STO (Zero speed without encoder)

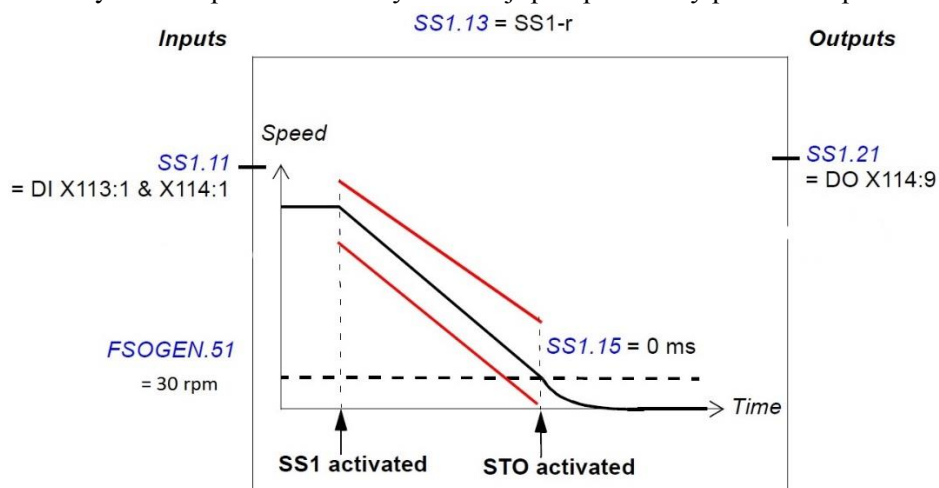
V rámci nastavení SAR1 se ještě nastavuje rychlost motoru (SAR speed scaling) a zpoždění horního limitu (SAR initial allowed range). Sklon rampy se nastavuje pomocí času, za který chceme, aby se pohon zastavil. Z tohoto času a z nastavené referenční rychlosti (SAR speed scaling) si modul vypočítá úhel rampy [6, 41].

Ve vápence byly bezpečnostní parametry nastaveny takto:

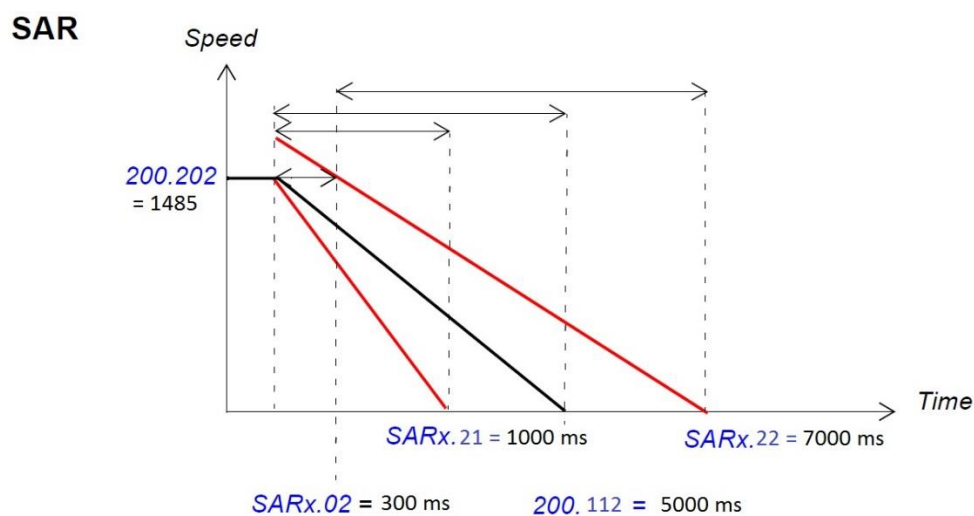
Tabulka 9 Seznam nejdůležitějších parametrů pro nastavení SS1 ve vápence Čertovy schody [6]

parametr	hodnota
200.112 SAR1 ramp time to zero	5000 ms
200.202 Speed scaling	1485 rpm
FSOGEN.51 Zero speed without encoder	30 rpm
SS1.11 SS1 input A	DI X113:1 & X114:1
SS1.13 SS1 monitoring method	Ramp
SS1.15 SS1 ramp Zero speed delay for STO	0 ms
SARx.21 SAR1 min ramp time to zero	1000 ms
SARx.22 SAR1 max ramp time to zero	7000 ms
SARx.02 SAR initial allowed range	300 ms

Obrázky 56 a 57 pak schématicky zobrazují předpokládaný průběh bezpečnostních funkcí.



Obrázek 56 Schématický obrázek nastavení SS1 ve vápence



Obrázek 57 Schématický obrázek nastavení SAR ve vápence

Ostatní parametry a nastavení bezpečnostního modulu SFO-12 jsou k dispozici k nahlédnutí v příloze.



## 5.8. Shrnutí kapitoly

Díky tomu, že jsem znal téma své diplomové práce dlouho dopředu, mohl jsem být součástí týmu zabývající se návrhem a instalací bezpečnostních modulů ve vápence Čertovy schody. Vápenka v rámci přestavby pece zmodernizovala i celý řídicí systém. Od externí firmy si nechala zpracovat analýzu rizik, ze které vyšlo, že pohony, u kterých by měly být dodány měniče ABB, musí obsahovat funkci bezpečného zastavení 1 a splňovat minimálně bezpečnostní úroveň SIL 2. K měničům tak byly dodány bezpečnostní moduly FSO-12, které výše dva zmíněné body splňují. Bezpečnostní moduly pracují od začátku roku 2016 bez vážnějšího problému.

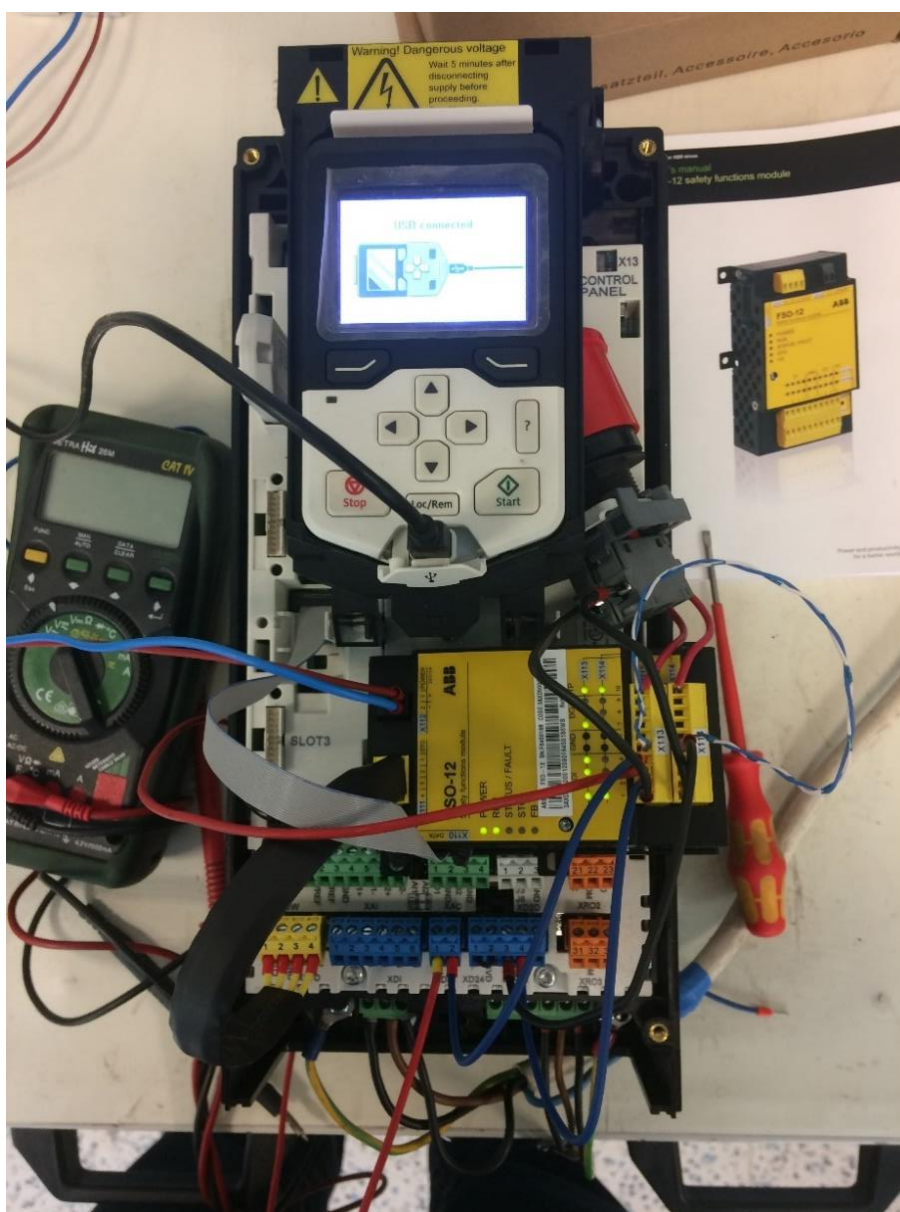
## 6. Verifikace vybraných bezpečnostních funkcí

Pro verifikaci bezpečnostních funkcí jsem vybral tři bezpečnostní funkce: STO, SS1 a SLS. Funkci STO jsem vybral z toho důvodu, že ve všech měničích se tato funkce již stává standardem. Funkce SS1 je použita ve vápence Čertovy schody a funkce SLS, stejně jako funkce SS1 a STO má široké uplatnění v průmyslu.

Tyto tři funkce jsou simulovány na sestavě, které se skládá z frekvenčního měniče ABB ACS880-01-11A0-5, motoru ABB M2BA 80MD 4 nebo motoru AP132S 6, bezpečnostního modulu ABB FSO-12, jednofázového usměrňovače na 24 V DC ABB CP-D 24/1.3 a bezpečnostní stop tlačítka.

Nastavení a parametrizace se provádí pomocí softwaru Drive Composer Pro ve verzi 1.12. Počítač je připojený přes USB do panelu měniče, který zajišťuje komunikaci s měničem.

Zapojení stanoviště pro simulace na frekvenčním měniči je na obrázku 58.



Obrázek 58 Zapojení stanoviště pro simulace na měniči

## 6.1. Štítkové hodnoty motorů a měniče

Tabulka 10 Štítkové hodnoty motorů

<b>Typ motoru</b>	M2BA80MD-4 (3GBA082214-ASB)	AP132S-6
<b>Provozní napětí [V]</b>	230D/400Y	500D
<b>Jmenovitá frekvence [Hz]</b>	50	50
<b>Jmenovitá otáčky [ot/min]</b>	1430	960
<b>Jmenovitý výkon [kW]</b>	0,75	4
<b>Jmenovitý proud [A]</b>	3,1/1,83	7

Tabulka 11 Štítkové hodnoty měniče

<b>Typ měniče</b>	ACS880-01-11A0-5
<b>Jmenovitý proud [A]</b>	11
<b>Maximální proud [A]</b>	16

Motor M2BA byl použit pro simulaci funkcí STO a SS1, motor AP132S-6 pak pro funkce SS1 a SLS. Fotky štítků motorů viz příloha (obrázky 65 a 66).

## 6.2. Základní nastavení parametrů simulace

Před samotným nastavením jednotlivých funkcí je nutné nastavit obecné parametry.

Tabulka 12 Základní nastavení simulace

Parametr	Vysvětlivka	Hodnota
FSOGEN.41 Power-up acknowledgement	nastavení potvrzení pro odblokování měniče (Je na výběr mezi manuálním potvrzením nebo automatickým)	Manual
FSOGEN.42 Acknowledge button input	digitální vstup v případě manuálního potvrzení	DI X113:2
FSOGEN.43 Zero speed without encoder	hodnota rychlosti při použití bez enkodéru, při jejímž překročení se již považuje rychlost jako nulová (může se například aktivovat STO)	90 (150) rpm
FSOGEN.21 Motor nominal speed	jmenovitá rychlost motoru	1430 (960) rpm
FSOGEN.22 Motor nominal frequency	jmenovitá frekvence motoru	50
FSOGEN.61 STO indication ext request	výběr události v případě zavolání STO	Event
FSOGEN.62 STO indication safety limit	výběr události v případě překročení limitů	Fault
200.202 Speed scaling	referenční hodnota pro výpočet sklonu rampy	1500 (1000)

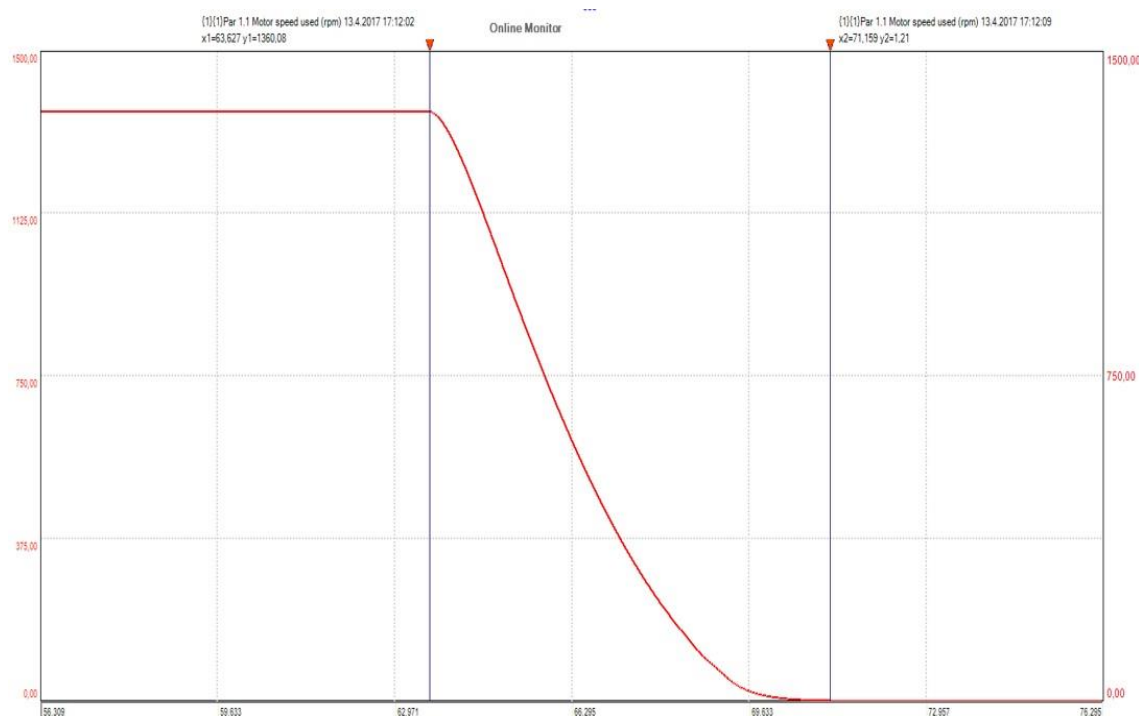
Po nastavení základních parametrů, můžeme přejít k nastavení jednotlivých funkcí. V závorce jsou uvedeny hodnoty nastavené pro motor AP132S-6.

### 6.3. Nastavení a simulace bezpečnostní funkce STO

Funkce bezpečného vypnutí točivého momentu (STO) zamezí přenesení energie, která by mohla generovat točivý moment. Jedná se o zastavení doběhem. Více o této funkci viz kapitola 3.2.1. Simulace funkce STO probíhala na motoru M2BA80MD-4.

Tabulka 13 Nastavení parametrů STO

Parametr	Vysvětlivka	Hodnota
STO.11 STO input A	digitální vstup pro aktivování STO	DI X113:1
STO.02 STO acknowledgement	nastavení potvrzení pro odblokování měniče po STO (Je na výběr mezi manuálním potvrzením nebo automatickým)	Manual
STO.14 Time to zero speed with STO and modoff	Odhadovaný čas doběhu motoru ze jmenovitých otáček	8000 ms
STO.13 Restart delay after STO	Čas po aktivování STO, po kterém je možné znovu spustit motor	1000 ms
SBC.11 STO SBC usage	Nastavení použití brzdy	None



Obrázek 59 Zaznamenaný průběh simulace funkce STO v programu Drive Composer Pro

Legenda k obrázku 59: - - - - - otáčky motoru

Na výše zobrazeném průběhu jsou zaznamenány otáčky motoru. Motor aktivováním funkce STO doběhl z hodnoty otáček 1430 ot./min na nulové otáčky za 7,5 s. V momentě zamáčknutí nouzového tlačítka při různých rychlostech motor vždy reagoval zapnutím bezpečnostní funkce STO. Byla ověřena správná funkčnost funkce STO v souladu s platnými předpisy.

## 6.4. Nastavení a simulace bezpečnostní funkce SS1

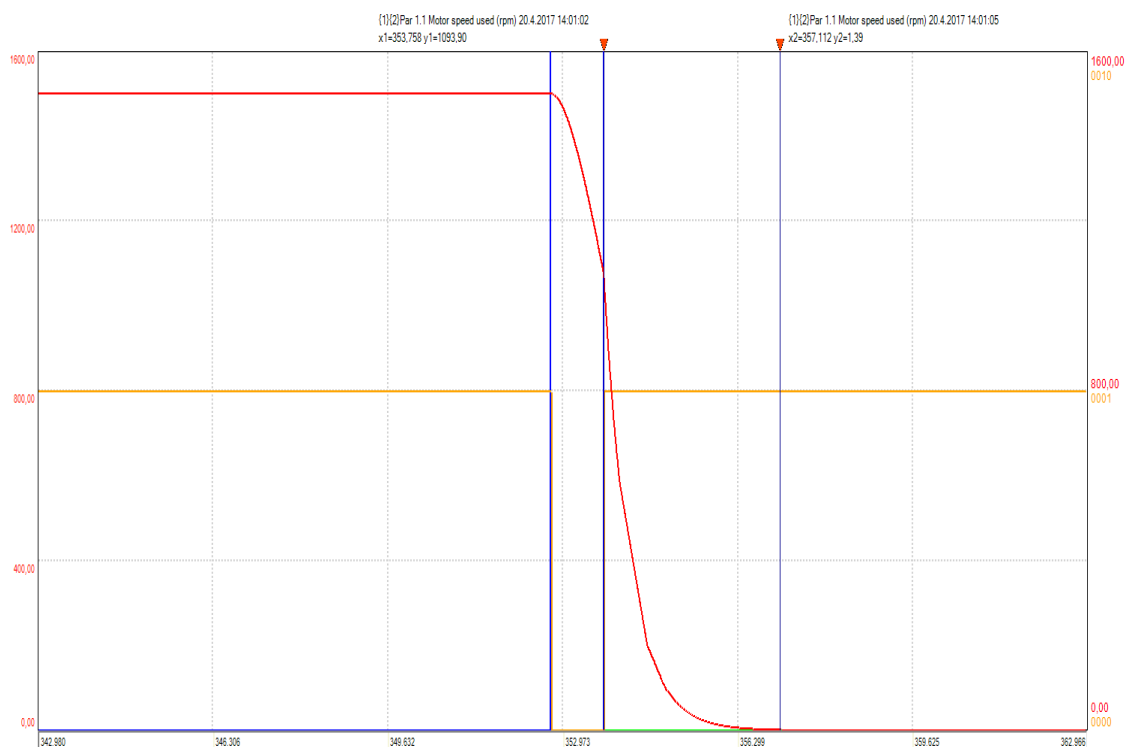
Funkce bezpečného zastavení 1 (SS1) řídí zpomalování motoru podle předem nastavených parametrů. Může být řízena ve 3 režimech. Více o funkci SS1 viz kapitola 3.2.2. Simulaci funkce SS1 byla testována jak v řízení časovém (SS1-t), tak i v řízení podle rampy (SS1-r).

### 6.4.1. Nastavení a simulace SS1-t

Simulace SS1-t byla provedena s motorem M2BA80MD-4.

Tabulka 14 Nastavení parametrů SS1-t

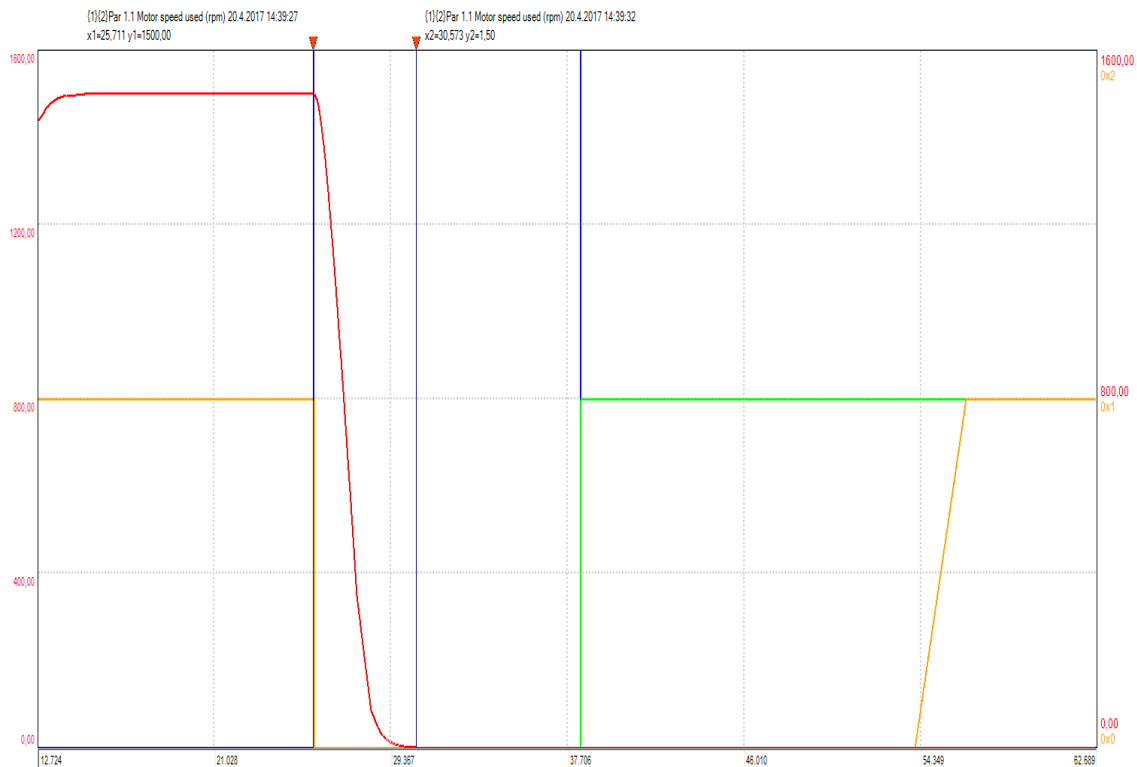
Parametr	Vysvětlivka	Hodnota
SS1.01 SS1 activity and version	Aktivování funkce SS1	Version 1
SS1.13 SS1 type	Výběr typu SS1	SS1-t
SS1.14 SS1-t delay for STO	Časové zpoždění aktivování STO od začátku průběhu funkce SS1	1000 (6000) ms
STO.02 STO acknowledgement	Nastavení potvrzení pro odblokování měniče	Manual
SS1.11 SS1 input A	Nastavení digitálního vstupu pro aktivování funkce SS1	DI X113:1
SS1.21 SS1 output	Nastavení digitálního výstupu funkce SS1	DO X113:7
200.112 SAR1 ramp time to zero	Sklon zpomalování otáček motoru v průběhu SS1	2000 (3000)



Obrázek 60 Zaznamenaný průběh simulace funkce SS1-t nastavenou na dobu 1000 ms v programu Drive Composer Pro

Legenda k obrázku 60:

- otáčky motoru
- aktivace a deaktivace funkce SS1
- aktivace a deaktivace DI X113:1
- výstup funkce SS1



Obrázek 61 Zaznamenaný průběh simulace funkce SS1-t nastavenou na dobu 6000 ms v programu Drive Composer Pro

Legenda k obrázku 61:   
 - - - - - otáčky motoru   
 - - - - - aktivace a deaktivace funkce SS1   
 - - - - - aktivace a deaktivace DI X113:1   
 - - - - - výstup funkce SS1

Na výše zobrazených průbězích je zaznamenána funkce SS1 v časovém režimu řízení. Osa x znázorňuje čas. Rozsah zobrazení času je 20 s. Červená barva označuje aktuální otáčky motoru v závislosti na čase. Modrá barva aktivování a deaktivování funkce SS1. Zelená barva značí aktivování a deaktivování digitálního vstupu DI X113:1 a oranžová barva označuje výstup funkce SS1.

Na prvním obrázku je funkce nastavena tak, aby po uběhnutí 1000 ms po aktivování funkce SS1 se aktivovala funkce STO.

Na druhém obrázku je funkce nastavena tak, aby se funkce STO aktivovala vlivem překročení hranice nulové rychlosti (parametr FSOGEN.43), která je nastavena na hodnotu 90 ot./min. Jak je vidět, deaktivace DI X113:1 a detekce SS1 změnilo po proběhnutí funkce hodnotu ve stejný moment. Stalo se tak v momentě uvolnění bezpečnostního stop tlačítka. Rozsah zobrazení času je 50 s.

Jak je patrné z obrázků, pokaždé funkce zareagovala tak, jak měla a dovedla stroj bezpečně do klidového stavu.

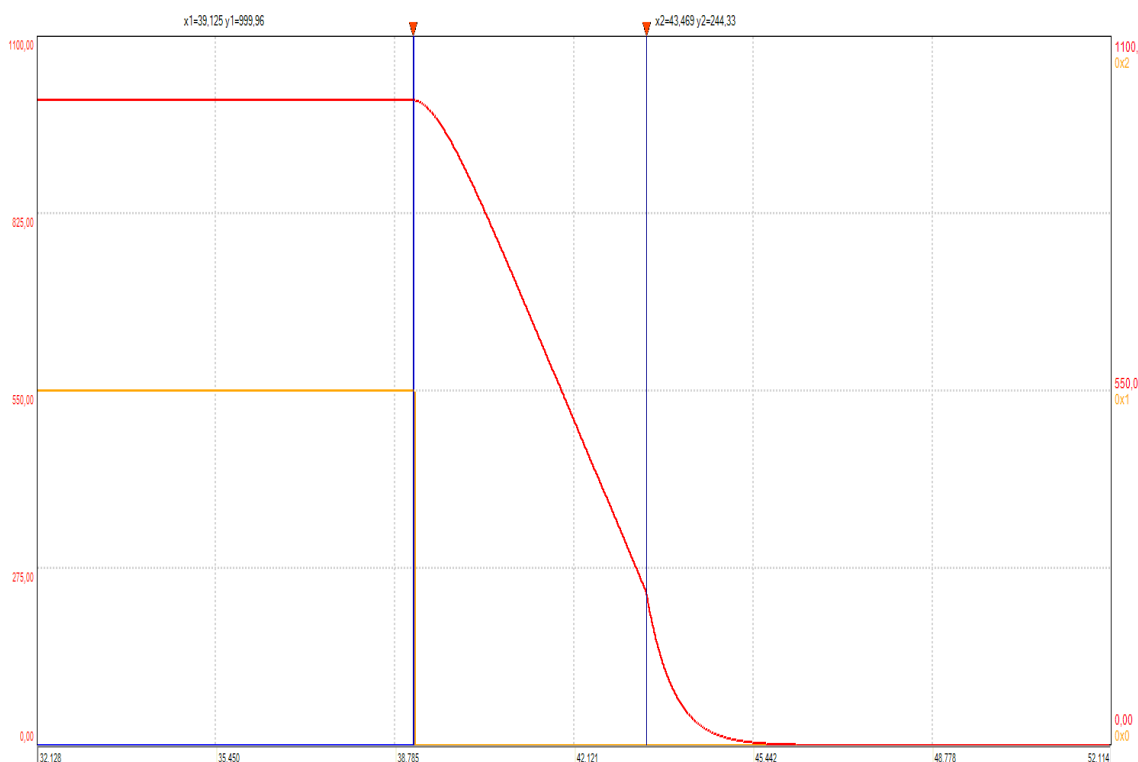
## 6.4.2. Nastavení a simulace SS1-r

Simulace funkce SS1-r byla provedena s motorem AP132S-6.

Tabulka 15 Nastavení simulace SS1-r

Parametr	Vysvětlivka	Hodnota
200.112 SAR1 ramp time to zero	Teoretická hodnota času doběhu ze jmenovitých otáček na nulové při zpomalení podle rampy, na základě této hodnoty se vypočítá sklon rampy	5000 ms
SARx.11 SAR1 min ramp time to zero	Minimální limit rampy	500 ms
SARx.12 SAR1 max ramp time to zero	Maximální limit rampy	10000 ms
SARx.02 SAR initial allowed range	Zpoždění maximálního limitu rampy	100 ms
SS1.13 SS1 type	Typ funkce SS1	SS1-r

Pro nastavení funkce SS1 podle rampy je nutné změnit typ SS1 na SS1-r a nastavit limity rampy. Vše ostatní zůstává stejné jako u funkce SS1-t.



Obrázek 62 Zaznamenaný průběh simulace funkce SS1-r v programu Drive Composer Pro

Legenda k obrázku 62:

- otáčky motoru
- aktivace a deaktivace funkce SS1
- aktivace a deaktivace DI X113:1
- výstup funkce SS1

Ze zaznamenaného průběhu je patrné, že i když byla nastavena hodnota hranice nulové rychlosti na 150 otáček za minutu, aktivovala se funkce STO již při 245 otáčkách za minutu. I při



opakovaném měření se hodnota otáček, kdy se spustí funkce STO, nezměnila. Toto chování je způsobeno bezpečnostní rezervou, kterou si modul FSO vytváří, aby funkce STO bezpečně sepnula před nastavenou hladinou nulové rychlosti. Zjištěné chování bezpečnostní funkce SS1 odpovídá daným bezpečnostním předpisům.

## 6.5. Nastavení a simulace bezpečnostní funkce SLS

Funkce bezpečně omezené rychlosti (SLS) zabraňuje, aby rychlost motoru nepřekročila specifikovanou mez. Více o této funkci viz kapitola 3.2.3. Stejně jako funkce SS1, tak i funkce SLS byla testována v časovém režimu řízení i v řízení podle rampy. Použit byl motor AP132S-6.

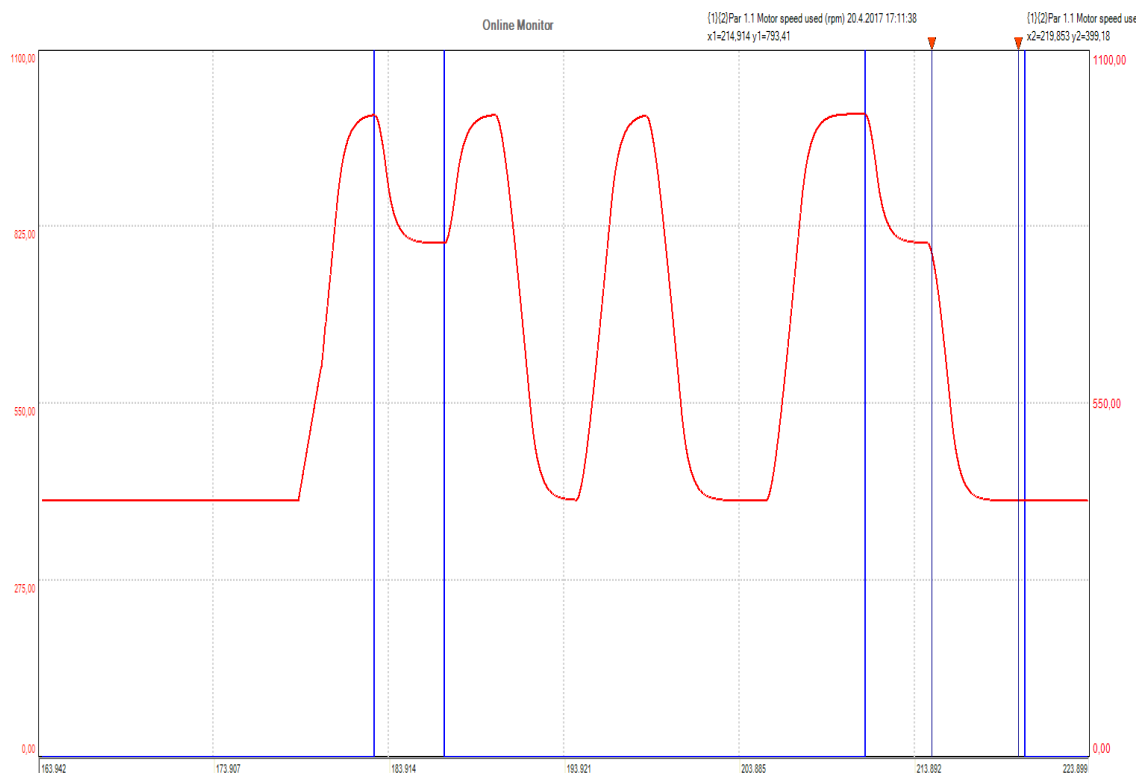
### 6.5.1. Nastavení a simulace SLS-t

Tabulka 16 Nastavení simulace SLS-t

Parametr	Vysvětlivka	Hodnota
200.21 SLS1 activity and version	Aktivování funkce SLS1	Version 1
SLSx.3 SLS activation monitoring method	Typ funkce SLS	Time
SLSx.4 SLS time delay	Zpoždění aktivace SLS	5000 ms
SLSx.11 SLS1 input A	Vstup SLS1	DI X113:3
200.23 SLS1 limit positive	Limit otáček SLS1	800 rpm
SLS1.23 SLS1 trip limit positive	Kritický limit otáček SLS1	900 rpm
200.21 SLS1 activity and version	Aktivace SLS1	Version 1
SLSx.21 SLS2 input	Vstup SLS2	DI X113:4
200.33 SLS2 limit positive	Limit otáček SLS2	400 rpm
SLS1.23 SLS2 trip limit positive	Kritický limit otáček SLS2	500 rpm
SLSx.02 SLS acknowledgement	Odblokování SLS2	Automatic
23.12 Acceleration time 1	Rychlost rozběhu z nulových na jmenovité otáčky	5 s
23.13 Deceleration time 1	Rychlost doběhu ze jmenovitých na nulové otáčky	5 s

Rychlost zpomalení nebo zrychlení se u bezpečnostní funkce SLS-t nastavuje v obecných parametrech měniče ACS880 pod položkou 23 Speed reference ramp. Pro simulaci SLS jsem zvolil jako referenční hladinu 1000 ot./min. Nastavil jsem dva limity otáček. První limit byl nastaven na hodnotu 800 ot./min, druhý limit na hodnotu 400 ot./min. V případě, že motor nestihl zpomalit na daný limit do 5 s, FSO modul spustil funkci STO. Jsou také nastaveny limitní hodnoty otáček, při jejichž překročení se spustí funkce STO. Pro první limit je to hodnota 900 ot./min, pro druhý limit je to hodnota 500 ot./min.

Červený průběh opět značí aktuální otáčky motoru v závislosti na čase. Modrý průběh značí aktivování a deaktivování prvního limitu otáček (800 ot./min). Rozsah zobrazení času je 60 s.



Obrázek 63 Zaznamenaný průběh simulace funkce SLS-t v programu Drive Composer Pro

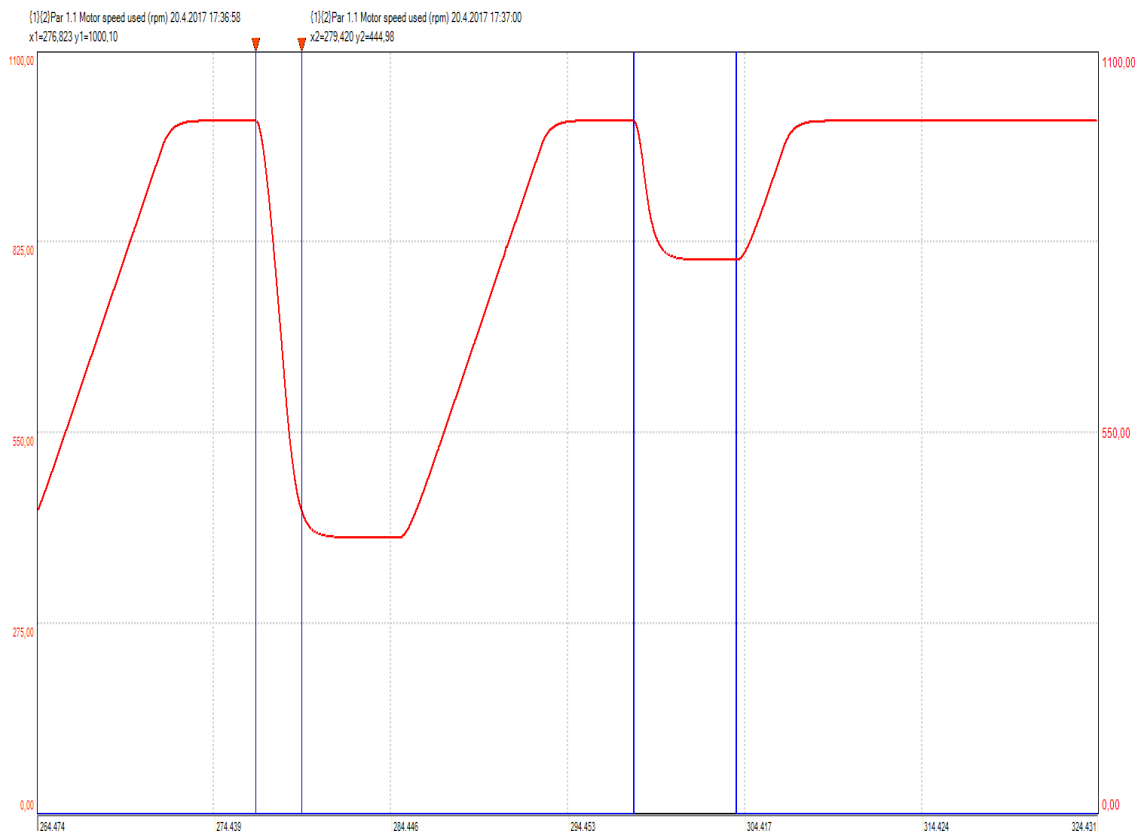
Legenda k obrázku 63:   
 ----- otáčky motoru   
 ----- aktivace a deaktivace prvního limitu otáček

## 6.5.2. Nastavení a simulace SLS-r

Tabulka 17 Nastavení simulace SLS-r

Parametr	Vysvětlivka	Hodnota
200.21 SLS1 activity and version	Aktivování funkce SLS1	Version 1
SLSx.3 SLS activation monitoring method	Typ funkce SLS	Ramp
SLSx.4 SLS time delay	Zpoždění aktivace SLS	5000 ms
SLSx.11 SLS1 input A	Vstup SLS1	DI X113:3
200.23 SLS2 limit positive	Limit otáček SLS1	800 rpm
SLS1.23 SLS1 trip limit positive	Kritický limit otáček SLS1	900 rpm
200.21 SLS1 activity and version	Aktivace SLS1	Version 1
SLSx.21 SLS2 input	Vstup SLS2	DI X113:4
200.33 SLS2 limit positive	Limit otáček SLS2	400 rpm
SLS1.23 SLS2 trip limit positive	Kritický limit otáček SLS2	500 rpm
SLSx.02 SLS acknowledgement	Odblokování SLS	Automatic
200.112 SAR1 ramp time to zero	Sklon zpomalování otáček motoru v průběhu SS1	3000

Hodnoty ve skupině SARx byly nastaveny stejně jako u simulace funkce SS1.



Obrázek 64 Zaznamenaný průběh simulace funkce SLS-r v programu Drive Composer Pro

Legenda k obrázku 64:   
 - - - - - otáčky motoru   
 - - - - - aktivace a deaktivace prvního limitu otáček

Nastavení osciloskopu v Drive Composer Pro bylo stejné jako u simulace SLS-t.

Funkčnost bezpečnostní funkce SLS je v souladu s platnými bezpečnostními normami.

## 6.6. Shrnutí kapitoly

Na frekvenčním měniči ABB ACS880-01-11A0-5 s bezpečnostním modulem FSO-12 a s použitím dvou motorů ABB byly testovány bezpečnostní funkce STO, SS1 a SLS. U všech funkcí byl potvrzen soulad s bezpečnostními předpisy a nebyl nalezen žádný rozpor mezi normami a uživatelskými manuály.

## 7. Závěr

Uvažování nad bezpečností je nedílnou součástí plánování výroby strojního zařízení. Bezpečnost byla ještě donedávna posuzována na základě místních předpisů či zvyků. V posledních dvaceti letech se však začíná sledovat tzv. funkční bezpečnost, která je založena na principu matematického kvantifikování rizika. Odtud je pak posouzena úroveň ochrany, která má být aplikována. Každé riziko, které je zjištěno v průběhu analýzy, musí být buď omezeno na přijatelnou úroveň, nebo odstraněno. Nejlepší řešení je, když se tomuto předejde a navrhne se stroj již ve své podstatě bezpečný. Ve většině případů to však nelze a musí se omezovat rizika. Přidáním dalších elektrických či mechanických komponent má za následek snížení produktivity a efektivity. Tyto nedostatky odstraňují bezpečnostní funkce ve frekvenčních měničích. Nejenže neomezují produktivitu a efektivitu, mají ale i lepší spolehlivost, menší prostorové nároky a jsou snadnější na instalaci.

Legislativa trend funkční bezpečnosti a bezpečnostních funkcí včas zachytila a podporuje jej novými normami. Z hlediska bezpečnostních předpisů je pro výrobce strojního zařízení nejdůležitější splnění Směrnice o strojních zařízeních (dále jen Směrnice). Významnými normami, které pomáhají ke splnění Směrnice, jsou normy ISO 12100, IEC 60204-1, IEC 62601, ISO 13849 a IEC 61800-5. V normách jsou detailně popsány postupy vedoucí ke splnění všech požadavků Směrnice. Postup je rozdělen na tři hlavní části: odhad rizika, minimalizace rizika a jeho zhodnocení. Zhodnocení se kvantifikuje pomocí úrovní SIL nebo PL. Po splnění všech požadavků Směrnice může výrobce vystavit na strojní zařízení ES prohlášení o shodě, čímž je jasně prokázána shoda se Směrnicí o strojních zařízeních. V oblasti bezpečnosti strojních zařízeních jsem absolvoval kvalifikační seminář zaměřený na normu IEC 60204-1, proces posouzení rizika a legislativní požadavky Směrnice.

Bezpečnostní funkce se dělí na dvě kategorie: funkce zastavení a ostatní. Mezi nejčastější bezpečnostní funkce patří funkce bezpečného odpojení momentu (STO), funkce bezpečného zastavení 1 (SS1) a funkce bezpečně omezené rychlosti (SLS).

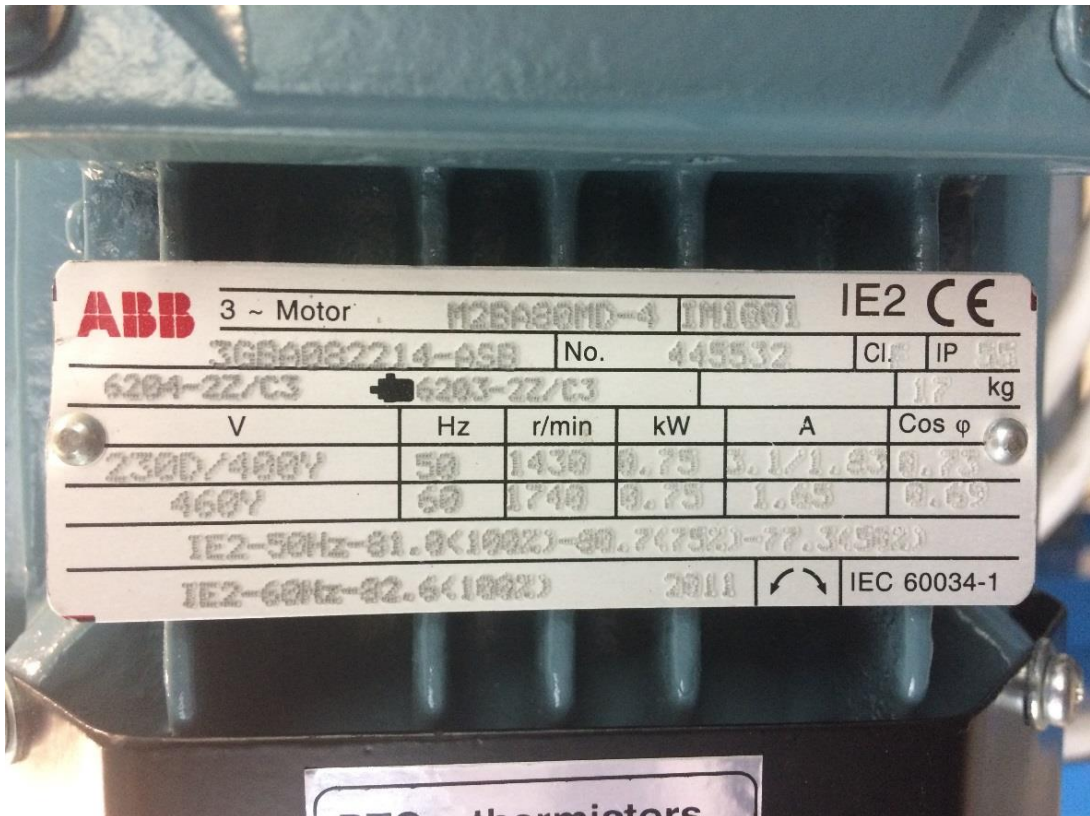
Bezpečnostní funkce jsou ve frekvenčních měničích obsaženy v bezpečnostních modulech nebo jsou realizovány přímo na řídicí desce. Realizace pomocí bezpečnostních modulů zvolily firmy ABB a Danfoss. Bezpečnostní funkce přímo na řídicí desce jsou pak ve frekvenčních měničích firmy Siemens. Jednotlivá firemní řešení se liší v počtu nabízených bezpečnostních funkcí, v úrovni bezpečnostní úrovně PL či SIL a v dalších mechanických a elektrických parametrech. Společnosti ABB a Siemens pak nabízejí ještě možnost použití bezpečnostních funkcí při absenci zpětné vazby z čidla otáček.

Díky spolupráci s firmou ABB jsem měl možnost se zúčastnit plánování a instalace bezpečnostních modulů ABB FSO-12 ve vápence Čertovy schody. Moduly se osadilo celkem 12 měničů ABB, na kterých se využívá funkce SS1 v režimu řízení dle rampy. Na počátku roku 2016 byly moduly spuštěny do provozu a od té doby pracují bez vážnějších poruch.

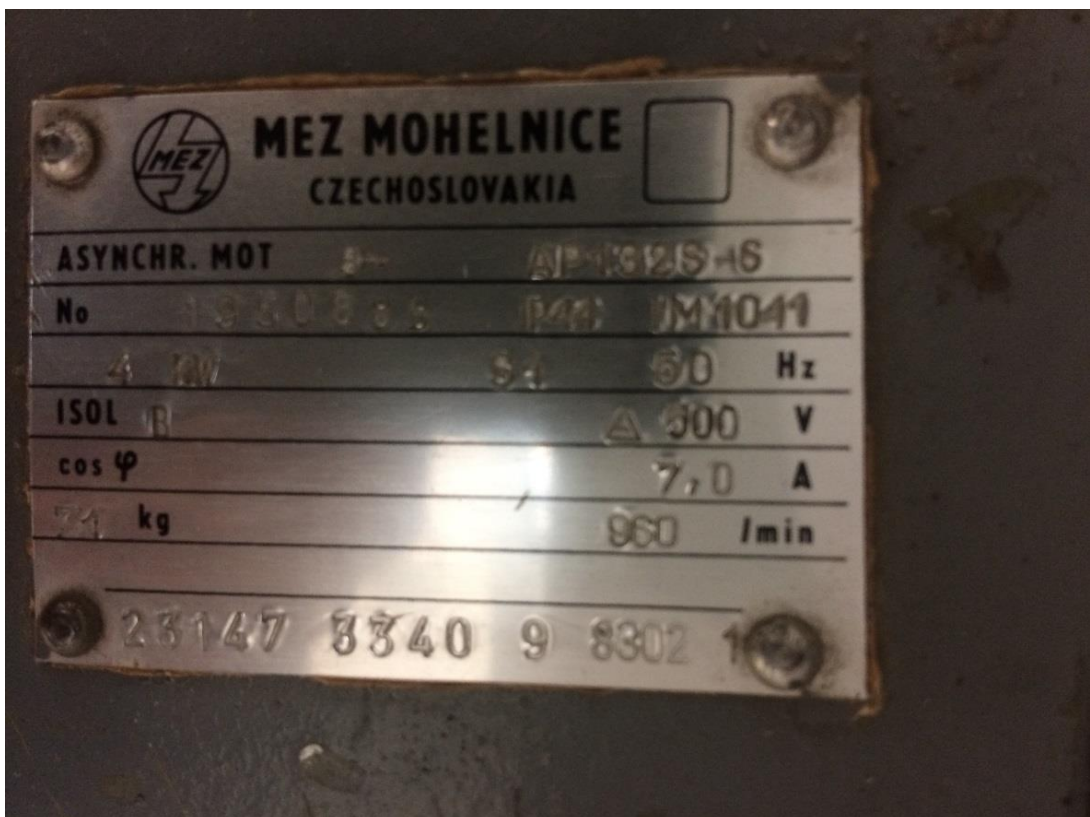
Pro verifikaci a simulaci bezpečnostních funkcí jsem vybral bezpečnostní funkce STO, SS1 a SLS. Funkce byly simulovány na sestavě, která se skládala mimo jiné z měniče ABB typu ACS880 a dvou motorů ABB. Simulaci byla provedena při různých nastaveních bezpečnostních parametrů a při různých otáčkách motoru. Výsledkem simulace je ověření předpokládané funkčnosti v souladu s danými bezpečnostními předpisy.

Bezpečnostní funkce stále představují čerstvou a málo známou novinku v měničové technice. S neustále se zpřísnujícími bezpečnostními předpisy nabízejí velký potenciál do budoucnosti. Domnívám se, že nesporné výhody oproti mechanickým či jiným elektrickým bezpečnostním komponentům převáží nad poměrně velkými pořizovacími náklady. Domnívám se, že bezpečnostní funkce ve frekvenčních měničích představují budoucí trend bezpečnosti v oblasti strojních zařízeních.

## 8. Příloha



Obrázek 65 Štítek motoru M2BA



Obrázek 66 Štítek motoru AP132S6



# Certificate

No. SEBS-A.102621/15 V1.0

TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG hereby certifies

**ABB Oy**  
Hiomotie 13  
00381 Helsinki  
Finland

that the safety modules  
**FSO-21 with FSE-31**

as plug-in modules for the ABB industrial drive ACS880 series

are capable for safety related applications up to SIL 3, SIL<sub>CL</sub> 3 and PL e and meets the requirements listed in the following standards:

- IEC 61508 part 1, part 2, part 3: 2010
- IEC 61800-5-2: 2007
- ISO 13849 part 1: 2015, part 2: 2012
- IEC 62061: 2015

Beneath the integrated "Safe Torque Off (STO)" function within the industrial drive ACS880 series, the additional safety functions "(variable) Safely Limited Speed (SLS)", "Safe Maximum Speed (SMS)", "Safe Stop Emergency (SSE)", "Safe Stop 1 (SS1)", "Prevention Of Unexpected Start-up (POUS)", Safe Direction (SDI), "Safe Speed Monitor (SSM)" and "Safe Brake Control (SBC)" can be realized with the plug-in safety functions modules FSO-21 with FSE31.


The whole assembly can be used in safety applications up to SIL 3 according to IEC 61511.

Base of certification is the report SEBS-A.102621/15TB in the valid version.

This certificate entitles the holder to use the pictured safety approved mark.

Valid until: 2021-01-18  
File reference: 8112485797

Hamburg, 2016-01-18

  
Bianca Pfuff

Certification Body SEECERT  
TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG  
Große Bahnstraße 31, 22525 Hamburg, Germany



**Tracking-list Version 4.0 for released versions of the certified FSO-12/21 plug in module for the  
ABB industrial drive ACS880 series**

Drive type variant	FSO-12 Revisions	Date of certification FSO-12	Expiry Date FSO-12	FSO-21 Revisions	Date of certification FSO-21	Expiry Date FSO-21
ACS880-01-	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-04-	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-04XT	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-14 (frames nxR8i)	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-34 (frames nxR8i)	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-04XT	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-104	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-07	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-17 (frames nxR8i)	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-37 (frames nxR8i)	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021
ACS880-107	A, C, D	16.2.2016	15.2.2021	C, D	18.1.2016	18.1.2021



**Tracking-list Version 4.0 for released versions of the certified FSO-12/21 plug in module for the  
ABB industrial drive ACS880 series**

The valid versions for FSO-12 are documented in report SEBS-A.161334/16TB and for FSO-21 in report SEBS-A.102621/15TB.

	<b>Release ABB:</b>	<b>Release Assessor TÜV:</b>
<b>Signature:</b>	<i>Alberto</i>	<i>Chrupka</i>
<b>Date:</b>	16.2.2016	16.2.2016

Obrázek 69 Certifikát na moduly FSO-21 s FSE-31 – 3.strana [6]

## Nastavení parametrů bezpečnostního modulu ABB FSO-12 ve vápence Čertovy schody:

1.29.2016 9:54 dop.

4 / 8

Index	Name	Value	Unit	Default
<b>Safety</b>				
200.21	SLS1 activity and version	Disabled	NoUnit	
200.31	SLS2 activity and version	Disabled	NoUnit	
200.41	SLS3 activity and version	Disabled	NoUnit	
200.51	SLS4 activity and version	Disabled	NoUnit	
200.61	SLS variable activity and version	Disabled	NoUnit	
200.71	SMS activity and version	Disabled	NoUnit	
200.101	SAR0 version	Version 1	NoUnit	
200.102	SAR0 ramp time to zero	1000	ms	
200.111	SAR1 version	Version 1	NoUnit	
200.112	SAR1 ramp time to zero	5000	ms	
200.201	Drive General settings ver	Version 1	NoUnit	
200.202	Speed scaling	1485.0	rpm	
200.254	CRC of the configuration	16143	NoUnit	
<b>FSOGEN</b>				
1	FSO General settings ver	v1	NoUnit	
11	Stop completed output	None	NoUnit	
21	Motor nominal speed	1485.0	rpm	
22	Motor nominal frequency	50.00	Hz	
31	Trancient mute time	0	ms	
41	Power-up acknowledgement	Automatic	NoUnit	
42	Acknowledge button input	None	NoUnit	
51	Zero speed without encoder	30.0	rpm	
61	STO indication ext request	Event	NoUnit	
62	STO indication safety limit	Fault	NoUnit	
254	CRC of the whole configuration	16143	NoUnit	
<b>STO</b>				
1	STO version	Version 1	NoUnit	
2	STO acknowledgement	Automatic	NoUnit	
11	STO input A	None	NoUnit	

Drive composer pro v. 1.10.0.9

Index	Name	Value	Unit	Default
12	STO input B	None	NoUnit	
13	Restart delay after STO	2000	ms	
14	Time to zero speed with STO and modoff	2000	ms	
21	STO output	None	NoUnit	
22	STO completed output	None	NoUnit	
<b>SBC</b>				
1	SBC version	Version 1	NoUnit	
11	STO SBC usage	None	NoUnit	
12	STO SBC delay	3600000	ms	
13	SBC time to zero speed	0	ms	
15	SSE/SS1 SBC speed	0.0	rpm	
21	SBC output	None	NoUnit	
22	SBC feedback action	STO	NoUnit	
<b>POUS</b>				
1	POUS activity and version	Disabled	NoUnit	
<b>SSE</b>				
1	SSE version	Version 1	NoUnit	
11	SSE input A	None	NoUnit	
12	SSE input B	None	NoUnit	
13	SSE function	Immediate STO	NoUnit	
14	SSE monitoring method	Ramp	NoUnit	
15	SSE delay for STO	20000	ms	
16	SSE ramp Zero speed delay for STO	0	ms	
21	SSE output	None	NoUnit	
22	SSE completed output	None	NoUnit	
<b>SS1</b>				
1	SS1 activity and version	Version 1	NoUnit	
11	SS1 input A	DI X113:1 & X114:1	NoUnit	
12	SS1 input B	None	NoUnit	
13	SS1 monitoring method	Ramp	NoUnit	

Index	Name	Value	Unit	Default
14	SS1 delay for STO	1000	ms	
15	SS1 ramp Zero speed delay for STO	0	ms	
21	SS1 output	None	NoUnit	
22	SS1 completed output	None	NoUnit	
SLSx				
2	SLS acknowledgement	Automatic	NoUnit	
3	SLS activation monitoring method	Ramp	NoUnit	
4	SLS time delay	4000	ms	
SMS				
SARx				
2	SAR initial allowed range	300	ms	
11	SAR0 min ramp time to zero	500	ms	
12	SAR0 max ramp time to zero	1500	ms	
21	SAR1 min ramp time to zero	1000	ms	
22	SAR1 max ramp time to zero	7000	ms	
SAFEIO				
11	M/F mode for cascade	A = follower, B = follower	NoUnit	
12	Cascade A	None	NoUnit	
13	Cascade B	None	NoUnit	
21	Safety relay 1 output	None	NoUnit	
22	Safety relay 1 feedback	None	NoUnit	
23	Safety relay 1 feedback type	Mechanically linked NC contacts	NoUnit	
24	Safety relay 2 output	None	NoUnit	
25	Safety relay 2 feedback	None	NoUnit	
26	Safety relay 2 feedback type	Mechanically linked NC contacts	NoUnit	
31	DI diagnostic pulse length	1 ms	NoUnit	
32	DI diagnostic pulse period	10000	ms	
33	DI X113:1 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
34	DI X113:2 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
35	DI X113:3 diag pulse on/off	Off	NoUnit	

Drive composer pro v. 1.10.0.9

Index	Name	Value	Unit	Default
36	DI X113:4 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
37	DI X114:1 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
38	DI X114:2 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
39	DI X114:3 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
40	DI X114:4 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
51	DO diagnostic pulse length	1 ms	NoUnit	
52	DO diagnostic pulse period	10000	ms	
53	DO X113:7 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
54	DO X113:8 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
55	DO X113:9 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
56	DO X114:7 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
57	DO X114:8 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
58	DO X114:9 diag pulse on/off	Off	NoUnit	
71	DO X113:7 logic state	Active low	NoUnit	
72	DO X113:8 logic state	Active low	NoUnit	
73	DO X113:9 logic state	Active low	NoUnit	
74	DO X114:7 logic state	Active low	NoUnit	
75	DO X114:8 logic state	Active low	NoUnit	
76	DO X114:9 logic state	Active low	NoUnit	
<b>SBUSGEN</b>				
1	SBUS activity and version	Disabled	NoUnit	
<b>PROFIsafe</b>				



# OSVĚDČENÍ

o absolvování

číslo: 685-2017/LP

vydané vzdělávací agenturou

LPE s.r.o., IČO 25547461, Nad Přehradou 1372/2, Brno  
akreditovanou Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy pod č.j.: 28 832/2012-25

Jméno a příjmení: Jiří Čeřovský

Firma: ČEŘOVSKÝ JIŘÍ  
Štefánikova 491, 50781 Lázně Bělohrad

Počet hodin školení: 7

Místo konání: BVV, Výstaviště 405/1, 603 00 Brno-střed, sál Morava

absolvoval/a dne 22. 3. 2017 kvalifikační seminář vzdělávání

## Bezpečnost strojních zařízení - Jak na to?

dle norem ISO 9000 pro řízení a zabezpečení jakosti v rozsahu ČSN, IEC, EN pro vyhrazená elektrická technická zařízení podle vyhl. č. 73/2010 Sb. v tomto rozsahu:

Rozsah platnosti, způsoby připojování a vypínání strojních zařízení. Požadavky na ochranná opatření a zařízení, pospojování a řídicí obvody a funkce, problematika nouzového zastavení nebo vypnutí. Požadavky na celkové provedení elektrického zařízení stroje. Ověřování dle kapitoly 18. Kontrola nebo revize – kdo, proč a jakým způsobem, požadované zkoušky, četnost provádění kontrol nebo revizí z pohledu provozovatelů a NV ČR č. 378 / 2001 Sb., požadavky na kvalifikaci, souvislosti s řadou norem ČSN 33 2000.

Vzdělávací program je zařazen do projektu Celoživotního vzdělávání členů ČKAIT.  
Akce je ohodnocena 1 akreditačním bodem.

Brno, 22.3.2017

LPE s.r.o. / NAD PŘEHRADOU 2, 635 00 BRNO  
+420 515 535 902 / SEMINARE@LPE.CZ / WWW.LPE.CZ

  LPE s.r.o.  
Nad Přehradou 2, 635 00 Brno  
DIČ: CZ25547461  
www.lpe.cz

jednatelka vzdělávací agentury  
Lenka Parýzková

# OSVĚDČENÍ

o absolvování

číslo: 779-2017/LP

vydané vzdělávací agenturou

LPE s.r.o., IČO 25547461, Nad Přehradou 1372/2, Brno  
akreditovanou Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy pod č.j.: 28 832/2012-25

Jméno a příjmení: Jiří Čeřovský

Firma: ČEŘOVSKÝ JIŘÍ  
Štefánikova 491, 50781 Lázně Bělohrad

Počet hodin školení: 7

Místo konání: Výstaviště 1, Brno, Pavilon A, sál Morava, Brno

absolvoval/a dne 23. 3. 2017 kvalifikační seminář vzdělávání

## Bezpečnost strojních zařízení – Jak na to?

dle norem ISO 9000 pro řízení a zabezpečení jakosti v rozsahu ČSN, IEC, EN pro vyhrazená  
elektrická technická zařízení podle vyhl. č. 73/2010 Sb. v tomto rozsahu:

Proces posouzení rizika – co zahrnuje. Definice a názvosloví pro jasnou specifikaci rozsahu použití  
stanovení povinností výrobců strojních zařízení – posouzení a analýza rizika, legislativní požadavky  
evropské směrnice 2006/42/ES, postupy dle harmonizovaných norem. Metody a postupy při posouzení  
rizika. Posouzení rizik dle ČSN EN ISO 12100:2011 a souvisejících norem – např. ISO/TR 14121-2 -  
stanovení hodnoty rizika = HRN dle normy ISO TR 14121-2, odpovědnost výrobců při zhodnocení rizika  
a následném rozhodnutí o potřebných opatření ke snížení rizika. Požadavky na navrhovaná opatření  
strojního zařízení - třístupňová metoda dle směrnice 2006/42/ES a ČSN EN ISO 12100, účinnost  
navržených opatření k zajištění bezpečnosti, použití základních harmon. norem, určení integrity  
bezpečnosti (SIL) SZ-ČSN EN 62061 nebo určení požad.úrovně vlastností-ČSN EN ISO 13849. Příklad  
možného postupu posouzení rizika

Vzdělávací program je zařazen do projektu Celoživotního vzdělávání členů ČKAIT.

Brno, 23.3.2017

LPE s.r.o. / NAD PŘEHRADOU 2, 635 00 BRNO  
+420 515 535 902 / SEMINARE@LPE.CZ / WWW.LPE.CZ



LPE s.r.o.  
Nad Přehradou 2, 635 00 Brno  
DIČ: CZ25547461  
www.lpe.cz

jednatelka vzdělávací agentury  
Lenka Parýzková



## 9. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 Příklad rozdělení norem do skupin [7] .....	13
Obrázek 2 Graf pro určení požadované úrovně vlastností (PL) [9] .....	19
Obrázek 3 Příklad zapojení subsystémů [1] .....	20
Obrázek 4 Vztah mezi kategoriemi, DC, MTTFd a PL [9] .....	22
Obrázek 5 Vztah mezi kategoriemi a PL [9] .....	22
Obrázek 6 Příklad výhodného použití bezpečnostních modulů ve frekvenčních měničích [6] ..	24
Obrázek 7 Průběh STO [6] .....	26
Obrázek 8 Schématické zapojení STO [6] .....	26
Obrázek 9 Příklad spojení STO s mechanickými součástkami [6] .....	27
Obrázek 10 Schéma zapojení STO ve frekvenčním měniči ACS880-01 [22] .....	28
Obrázek 11 Průběh SS1 kontrolované časově [6] .....	28
Obrázek 12 Průběh SS1 řízené dle rampy [6] .....	29
Obrázek 13 Průběh SLS [6] .....	29
Obrázek 14 Průběh SLS s nastavenými více limity, kde A = nastavený rychlostní limit, B = zpoždění pro aktivování sledování SLS, C = odezva bezpečnostní funkce [23] .....	30
Obrázek 15 Schématické zapojení SBC [6] .....	30
Obrázek 16 Průběh SDI [6] .....	31
Obrázek 17 Průběh SSM, jednotlivé body indikují překročení limitů [23] .....	31
Obrázek 18 Příklad zapojení SMT s 2 PTC a s měničem ACS880 [6] .....	32
Obrázek 19 Příklad zapojení SMT se 4 PT100 a s měničem ACS880 [6] .....	33
Obrázek 20 Rozdělení SSE [6] .....	33
Obrázek 21 Průběh SMS [2] .....	34
Obrázek 22 Průběh POUS, kde A je bezpečnostní zpoždění [23] .....	34
Obrázek 23 Bezpečnostní modul FSO-11 [24] .....	36
Obrázek 24 Bezpečnostní modul FSO-11 [24] .....	37
Obrázek 25 Schéma svorek bezpečnostního modulu FSO-11 [24] .....	37
Obrázek 26 Schéma testovacích pulzů [24] .....	38
Obrázek 27 Průběh testovacích pulzů [24] .....	38
Obrázek 28 Svorky TP a DI na modulu FSO-11 [24] .....	39
Obrázek 29 Zapojení dvou spínačů se společnými TP [24] .....	39
Obrázek 30 Příklad zapojení FSO-11 [24] .....	41
Obrázek 31 Bezpečnostní modul FSO-12 [25] .....	41
Obrázek 32 Příklad zapojení modulu FSO-12 přes PROFIsafe [6] .....	42
Obrázek 33 Bezpečnostní modul FSO-21 [23] .....	43
Obrázek 34 Bezpečnostní modul FSE-31 [26] .....	43
Obrázek 35 Příklad zapojení FSO-21 a FSE-31 [6] .....	44
Obrázek 36 Bezpečnostní moduly MCB140 a MCB141 [29] .....	45
Obrázek 37 Bezpečnostní modul MCB150 [31] .....	46
Obrázek 38 Svorky bezpečnostního modulu MCB150 [32] .....	46
Obrázek 39 Bezpečnostní modul MCB152 [33] .....	47
Obrázek 40 Měniče Siemens typu Sinamics [39] .....	47
Obrázek 41 Průběh SOS [35] .....	48
Obrázek 42 Průběh SLP [35] .....	49
Obrázek 43 Průběh SBT [35] .....	49
Obrázek 44 Pohled na vápenku Čertovy schody od příjezdové cesty .....	52
Obrázek 45 Pece ve vápence Čertovy schody .....	53
Obrázek 46 Vstup materiálu do vápenky Čertovy schody .....	54
Obrázek 47 Výřez zapojení dmychadla ze schématu vápenky .....	55

Obrázek 48 Zapojení měničů a modulu FSO-12 v rozvaděči .....	55
Obrázek 49 Detail zapojení bezpečnostního modulu FSO-12 ve Vápence Čertovy schody .....	56
Obrázek 50 Schéma vápenky z obrazovky velína [41] .....	56
Obrázek 51 Schéma vápenky č. 186 [41] .....	58
Obrázek 52 Schéma vápenky č. 187 [41] .....	58
Obrázek 53 Schéma vápenky č. 33 [41] .....	59
Obrázek 54 Schéma vápenky č. 45 [41] .....	59
Obrázek 55 Schéma vápenky č. 42 [41] .....	60
Obrázek 56 Schématický obrázek nastavení SS1 ve vápence .....	61
Obrázek 57 Schématický obrázek nastavení SAR ve vápence .....	61
Obrázek 58 Zapojení stanoviště pro simulace na měniči .....	63
Obrázek 59 Zaznamenaný průběh simulace funkce STO v programu Drive Composer Pro .....	65
Obrázek 60 Zaznamenaný průběh simulace funkce SS1-t nastavenou na dobu 1000 ms v programu Drive Composer Pro .....	66
Obrázek 61 Zaznamenaný průběh simulace funkce SS1-t nastavenou na dobu 6000 ms v programu Drive Composer Pro .....	67
Obrázek 62 Zaznamenaný průběh simulace funkce SS1-r v programu Drive Composer Pro .....	68
Obrázek 63 Zaznamenaný průběh simulace funkce SLS-t v programu Drive Composer Pro .....	70
Obrázek 64 Zaznamenaný průběh simulace funkce SLS-r v programu Drive Composer Pro .....	71
Obrázek 65 Štítek motoru M2BA .....	73
Obrázek 66 Štítek motoru AP132S6 .....	73
Obrázek 67 Certifikát na moduly FSO-21 s FSE-31 – 1.strana [6] .....	74
Obrázek 68 Certifikát na moduly FSO-21 s FSE-31 – 2.strana [6] .....	75
Obrázek 69 Certifikát na moduly FSO-21 s FSE-31 – 3.strana [6] .....	76
Obrázek 70 Osvědčení o absolvování školení Bezpečnost strojních zařízení [9] .....	81
Obrázek 71 Osvědčení o absolvování školení Bezpečnost strojních zařízení [9] .....	82
Tabulka 1 Matice určení SIL [9] .....	17
Tabulka 2 Určení závažnosti zranění v IEC 62061 [9] .....	18
Tabulka 3 Pravděpodobnost nebezpečných chyb za hodinu [1] .....	20
Tabulka 4 Rozdělení MTTFd [9] .....	21
Tabulka 5 Rozdělení DC [9] .....	21
Tabulka 6 Rozdělení PFHd [9] .....	21
Tabulka 7 Aktuálně použitelné integrované bezpečnostní funkce v měničích Sinamics [35] .....	50
Tabulka 8 Integrované bezpečnostní funkce v měničích Sinamics s použitím s čidlem otáček a bez něho [35] .....	50
Tabulka 9 Seznam nejdůležitějších parametrů pro nastavení SS1 ve vápence Čertovy schody [6] .....	61
Tabulka 10 Štítkové hodnoty motorů .....	64
Tabulka 11 Štítkové hodnoty měniče .....	64
Tabulka 12 Základní nastavení simulace .....	64
Tabulka 13 Nastavení parametrů STO .....	65
Tabulka 14 Nastavení parametrů SS1-t .....	66
Tabulka 15 Nastavení simulace SS1-r .....	68
Tabulka 16 Nastavení simulace SLS-t .....	69
Tabulka 17 Nastavení simulace SLS-r .....	70

## 10. Použité zdroje

1. ABB. Functional safety. *Technical guide book*. 2016, **REV I**(3AFE64514482), 448.
2. ABB FINLAND. Drive-based functional safety. *White paper*. 2015, **REV A**(3AUA0000181817), 12.
3. PHILIP, Steffen a Thomas HINZMANN. Funkční bezpečnost bez kompromisů. *Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o.* 2011, **10**(2), 2.
4. Safety and functional safety. *A general guide*. 2010, **REV A**(1SFC001008B0201), 20.
5. UHER, Jaromír. Úvod do funkční bezpečnosti I: norma ČSN EN 61508. *Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o.* [online]. 2004, **2004**(08), 5 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: [http://automa.cz/cz/casopis-clanky/uvod-do-funkcni-bezpecnosti-i-norma-csn-en-61508-2004\\_08\\_32520\\_3609/](http://automa.cz/cz/casopis-clanky/uvod-do-funkcni-bezpecnosti-i-norma-csn-en-61508-2004_08_32520_3609/)
6. ABB. *Interní dokumenty ABB*. ABB Finland, 2017.
7. ABB JOKAB SAFETY. Příručka bezpečnosti. *Bezpečnost strojů – Jokab Safety*. 2013, **rev. C**(2TLC172001A0201), 408.
8. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES (přepřpracované znění): (Text s významem pro EHP)*. In: . Úřední věstník Evropské unie: Úřední věstník Evropské unie, 2006, ročník 2006, číslo 1.
9. LPE s.r.o. Bezpečnost strojních zařízení – Jak na to?. Prezentace prezentována na: Bezpečnost strojních zařízení – Jak na to?; 2017-03-5; Brno, ČR
10. TÜV SÜD CZECH S.R.O. Uvádění výrobků na trh EU. *Strojní zařízení* [online]. 2009, **2009**(1), 4 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://www.tuv-sud.cz/uploads/images/1241001156367935260605/2009-04.PL.Strojni.zarizeni.A4.pdf>
11. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. ISO 12100:2010. EU: CEN, 2010.
12. *Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů: Část 1: Všeobecné požadavky*. IEC 60204-1:2005, modifikována. EU: CENELEC, 2006.
13. *Systémy elektrických pohonů s nastavitelnou rychlostí: Část 5-2: Bezpečnostní požadavky - Funkční*. IEC 61800-5-2:2007. EU: CENELEC, 2007.
14. *Safety of machinery - Safety-related parts of control system: Part 1: General principles for design*. ISO 13849-1:2015. Brussels: CEN, 2015.
15. *Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnost částí ovládacích systémů: Část 2: Ověřování platnosti*. ISO 13849-2:2012. Brusel: CEN, 2012.
16. *Bezpečnost strojních zařízení - Zamezení neočekávanému spuštění*. ISO 1037:2008. Brusel: CEN, 2008.
17. *Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů související s bezpečností*. IEC 62061:2008. Brusel: CENELEC, 2008.
18. *Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností: Část 1: Všeobecné požadavky*. IEC 61508-1:2010. Brusel: CENELEC, 2010.
19. *Funkční bezpečnost - Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů: Část 1: Požadavky na systémy hardwaru a softwaru, struktura, definice*. IEC 61511-1:2003 + oprava 2014. Brusel: CENELEC, 2014.

20. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV AUTOMATIZACE. Funkční bezpečnost. *Úvod do oblasti řídicích počítačů – Část 2*. 2010, **2010**(1), 30.
21. ABB. SIL determination. *General Factsheet*. 2015, **07**(PRS175b), 2.
22. ABB OY. Frekvenční měniče ACS880-01: (0,55 až 250 kW). *Technická příručka: Průmyslové frekvenční měniče ABB*. 2012, **Rev. D**(3AUA0000078093), 180.
23. ABB OY. FSO-21 safety functions module. *User's manual*. 2016, **Rev C** (3AXD50000015614), 434.
24. ABB OY. FSO-11 safety functions module. *User's manual*. 2012, **Rev B** (3AUA0000097054), 162.
25. ABB OY. FSO-12 safety functions module. *User's manual*. 2016, **Rev D** (3AXD50000015612), 348.
26. ABB OY. FSE-31 pulse encoder interface module. *User's manual*. 2015, **Rev A** (3AXD50000016597), 36.
27. DANFOSS. 0,25 kW – 400 kW VLT® AutomationDrive FC 301/302. *Příručka pro správný výběr*. 2015, **2015.08**(PE-MSMBM), 40.
28. DANFOSS. VLT® AutomationDrive FC 302 Low Harmonic Drive: 132–630 kW. *Návod k používání*. 2014, **Rev. 07–02–2014**(MG37A248), 166.
29. DANFOSS VLT DRIVES. VLT® Safety Option MCB 140/141. *Factsheet*. 2015, **2015.04**(PE-MMSC), 2.
30. DANFOSS. MCB140 / 141. *Original Operating Instructions*. 2012, **Rev.: 06**(MG34Y104), 25.
31. DANFOSS VLT DRIVES. VLT® Safety Option MCB 150/151. *Factsheet*. 2015, **2015.04**(PE-MSMBM), 2.
32. DANFOSS A/S. Safety Option MCB 150/151. *Operating Instructions*. 2014, **Rev. 2014-02-11**(MG34W302).
33. DANFOSS VLT DRIVES. VLT® Safety Option MCB 152. *Fact Sheet*. 2014, **November 2014**(PE-MSMBM), 2.
34. DANFOSS A/S. Safety Option MCB 152: VLT® AutomationDrive FC 302. *Operating Instructions*. 2014, **10/2014**(MG37F102), 50.
35. SIEMENS. SINAMICS — kompletní skupina pohonů pro všechny typy aplikací. *Pohony pro dosažení všech Vašich cílů*. 2016, 28.
36. SIEMENS AG. SINAMICS G130 Drive Converter Chassis Units: SINAMICS G150 Drive Converter Cabinet Units. *SINAMICS Drives*. 2015, **Edition 2015**(Catalog D 11), 212.
37. SIEMENS AG. SINAMICS S120: SINAMICS S150 Converter Cabinet Units. *SINAMICS Drives*. 2015, **Edition 2014**(Catalog D 21.3), 412.
38. SINAMICS G130, G150, S120 Chassis, S120 Cabinet Modules, S150: Supplement to Catalogs D 11 and D 21.3. *SINAMICS - Low Voltage Engineering Manual*. 2015, **Edition November 2015**(Version 6.4), 530.
39. HMK AUTOMATION GROUP. .. In: *HMK Direct Automation & Drives* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.hmkdirect.com/images/news/p\\_d211\\_xx\\_00169v.png/rs-692x346.png/](http://www.hmkdirect.com/images/news/p_d211_xx_00169v.png/rs-692x346.png/)
40. *Lhoist - Minerály a vápno výrobce* [online]. Česká republika, 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.lhoist.com/cs\\_cs](http://www.lhoist.com/cs_cs)
41. Jiří Čerovský (student ČVUT, Praha, ČR). Rozhovor s: David Křenek, Oldřich Strátecký (Hlavní technici, vápenka Čertovy schody, ČR). 2017-03-02

42. Výroba vápna. *Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/dum/?page\\_id=2338](http://uvp3d.cz/dum/?page_id=2338)
43. Technologie výroby vápna. *Muzeum Mineral.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://muzeum.mineral.cz/vapenictvi/technologie-vyroby-vapna.php>
44. Bose, B. K.: *Power Electronics and Variable Frequency Drives (Technology and Applications)*, IEEE Press, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1997.
45. Kazmierkowski, M. P., Tunia, H.: *Automatic Control of Converter-Fed Drives, Volume 46 (Studies in Electrical and Electronic Engineering)*, ELSEVIER, London, 1994.