

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh a realizace vysokonapětového zkušebního systému
podle požadavků zákazníka**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vladimír KOLÍNSKÝ**
Osobní číslo: **E17N0008K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh a realizace vysokonapěťového zkušebního systému podle požadavků zákazníka**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte a analyzujte požadavky zákazníka na testovací systém.
2. Proveďte výběr funkčních celků, přístrojů a navrhnete zapojení.
3. Realizujte testovací systém, ověřte jeho funkčnost, zpracujte dokumentaci pro předání zákazníkovi.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. W. Hauschild, E. Lemke: High voltage test and measuring techniques, Springer 2014

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout, sestavit a naprogramovat vysokonapětový testovací systém, podle požadavků zákazníka a poté ověřit jeho funkčnost a bezpečnost. V systému jsou použity komponenty firmy SPS electronic (vysokonapětový tester HA1885B a vysokonapětová relé). Systém je řízen pomocí softwaru DAT3805, který vyvíjí sama firma SPS electronic, a Beckhoffu BK9100 od firmy Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. Program DAT3805 slouží k nastavení a vyhodnocení testů.

Klíčová slova

vysokonapětový tester, testování, relé, Beckhoff, DAT3805, bezpečnost, test vysokým napětím, test izolačního odporu, test průchodnosti

Abstract

The goal of this work is to design, build and program high voltage test system, according to customer requirements and then verify its functionality and safety. Components of SPS electronic (high voltage tester HA1885B and high voltage relays) are used in the system. The system is controlled by the DAT3805 software developed by SPS electronic, and by Beckhoff BK9100 developed by Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. The DAT3805 program is used to set and evaluate tests.

Key words

high voltage tester, testing, high voltage relay, Beckhoff, DAT3805, high voltage test, insulation resistance test, continuity test

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
Podpis

V Plzni dne 21.5.2019

Bc. Vladimír Kolínský

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Ullmanovi za cenné profesionální rady, konzultace, připomínky a metodické vedení práce, bez kterých by tato práce nemohla být realizována. Také bych chtěl poděkovat Ing. Radku Pyšnému za pomoc při ladění programu a Jakubovi Chudadovi za pomoc s elektroinstalací. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat paní Doc. Ing. Evě Müllerové, Ph.D. za cenné rady při celkovém návrhu a vyhotovení diplomové práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 POŽADAVKY ZÁKAZNÍKA	12
1.1 TESTOVANÝ KABEL TYP 1	13
1.2 TESTOVANÝ KABEL TYP 2	13
1.3 CHYBOVÁ PRAVDIVOSTNÍ TABULKA	14
1.4 PŘEDPIS PRO TESTOVÁNÍ	14
2 TESTER HA1885B	15
2.1 TYPICKÁ ROZHRAŇÍ	16
2.1.1 RS-232 X1	16
2.1.2 CAN X2	17
2.1.3 Připojovací konektor pro obvod VN generátoru X4	18
2.1.4 Externí I/O rozhraní X6	19
2.1.5 Vysokonapětový konektor X7	20
2.1.6 Konektor pro externí napětí X10	21
2.1.7 Konektor pro externí bezpečnostní okruh X11	21
2.1.8 Konektor pro připojení varovné signalizace X12	22
2.1.9 Konektor pro sondu X16	22
2.1.10 Konektor X5 – LAN	23
2.1.11 Vysokonapětové konektory X13 a X14	23
3 BEZPEČNOST TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	24
3.1 STRATEGIE PRO VÝBĚR BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ	24
3.1.1 Snižování rizika konstrukčním opatřením	24
3.1.2 Technická ochranná opatření	25
3.2 POSOUZENÍ RIZIK	25
3.2.1 Vymezení hranic zařízení	25
3.2.2 Identifikace nebezpečí	25
3.2.3 Odhad rizika	25
3.2.4 Hodnocení rizika	26
3.3 POSTUP PŘI NÁVRHU ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU	26
3.4 KATEGORIE ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ	27
3.4.1 Kategorie B	28
3.4.2 Kategorie 1	28
3.4.3 Kategorie 2	29
3.4.4 Kategorie 3	30
3.4.5 Kategorie 4	31
3.5 BEZPEČNOSTNÍ PRVKY	32
3.5.1 Elektromagnetická blokovácí zařízení	32
3.5.2 Blokovácí spínače	33
3.5.3 Světelné bariéry	33
3.5.4 Obouruční ovládací zařízení a nožní spínače	34
3.5.5 Potvrzovací spínače	34
3.5.6 Monitorování bezpečnostních signálů	35
3.6 NÁVRH ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU	35
3.6.1 Kategorie pro testovací systém	36
3.6.2 Kategorie pro údržbu	36
4 TESTY	37
4.1 TEST VYSOKÝM NAPĚTÍM – VN TEST	37

4.1.1	Požadavky, které by měl splňovat vysokonapětový tester	37
4.1.2	VN-test pro zařízení třídy 1	38
4.1.3	VN-test pro zařízení třídy 2	38
4.2	TEST OCHRANNÉHO VODIČE – PE TEST	39
4.3	TEST PRŮCHODNOSTI – CT TEST	39
4.4	TEST IZOLAČNÍHO ODPORU – IS TEST	40
5	BECKHOFF – ŘÍZENÍ SYSTÉMU	41
5.1	BK9100 – COUPLER	41
5.2	KL1809 – DIGITÁLNÍ VSTUPY	42
5.3	KL2809 – DIGITÁLNÍ VÝSTUP	43
5.4	KL9010 – UKONČOVACÍ TERMINÁL	45
6	VYSOKONAPĚŤOVÉ RELÉ	46
6.1	VYSOKONAPĚŤOVÉ RELÉ RL21	46
6.2	VYSOKONAPĚŤOVÉ RELÉ RL42	47
6.3	VYSOKONAPĚŤOVÉ RELÉ RL42-I	47
7	NÁVRH ZAPOJENÍ	48
8	ŘÍZENÍ SYSTÉMU – DAT3805	50
8.1	TESTOVACÍ KROKY	51
8.2	TEST PRŮCHODNOSTI	51
8.2.1	StepCT_Edit	52
8.2.2	StepCT_Test	53
8.2.3	StepCT	54
8.3	TEST VYSOKÝM NAPĚTÍM	56
8.3.1	StepH5_Edit	56
8.3.2	StepH5_Test	56
8.3.3	StepH5	57
8.4	TEST IZOLAČNÍHO ODPORU	58
8.4.1	StepI5_Edit	58
8.4.2	StepI5_Test	58
8.4.3	StepI5	59
9	OŽIVENÍ TESTOVACÍHO SYSTÉMU	60
10	ZÁVĚR	62
11	LITERATURA	63

Seznam symbolů a zkratek

<i>DUT</i>	device under test
<i>CAN</i>	Controller Area Network (Oblast řídicí sítě)
<i>ISO</i>	Mezinárodní organizace pro normalizaci
<i>RxD</i>	Přijímací pin
<i>TxD</i>	Vysílací pin
<i>I/O</i>	Vstupy/ výstupy
<i>m</i>	Jednotka délky
<i>V</i>	Jednotka napětí
<i>W</i>	Jednotka činného výkonu
<i>PLC</i>	Programovatelný logický automat
Ω	Jednotka odporu
<i>LAN</i>	Local Area Network
<i>SQL</i>	Structured Query Language
<i>MDB</i>	Microsoft DataBase
<i>PDF</i>	Portable Document Format
<i>XML</i>	eXtensible Markup Language

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací vysokonapěťového zkušebního systému podle požadavků zákazníka.

Zkušební vysokonapěťové systémy se používají pro bezpečnostní zkoušky všech typů elektrických zařízení, která se vyrábějí v průmyslové výrobě (domácí spotřebiče, světelná technika, pohony a elektrické motory, transformátory, průmyslová technologie, zdravotnická technologie, kabely...). Tyto testy musí výrobce provádět, aby zaručil bezpečnost svých vyráběných elektrických zařízení. Tyto bezpečnostní požadavky jsou určeny normami, které se vážou k jednotlivým typům elektrického zařízení:

EN 50106 – Bezpečnost domácích spotřebičů a podobných zařízení

EN 60034 – Točivé elektrické stroje

EN 60065 – Audio/Video, telekomunikační zařízení

EN 60335 – Domácí spotřebiče a podobná zařízení – bezpečnost

EN 60598 – Svítidla

EN 60601 – Zdravotnická elektrická zařízení

EN 60745 - Elektrické nářadí s ručně poháněným motorem

EN 60947 – Spínače nízkého napětí

EN 60950 - Zařízení informační technologie

EN 61010 – Bezpečnostní požadavky na elektrická zařízení pro měření, řízení, laboratorní použití

EN 61029 - Bezpečnost pojízdného motorem poháněného elektrického nářadí

EN 61558 - Bezpečnost výkonových transformátorů, napájecích jednotek, reaktorů a podobných výrobků

EN 61730 - Fotovoltaické (PV) bezpečnostní moduly

EN 61851 - Elektrická vozidla s nabíjecím systémem

Tyto zkušební systémy musí splňovat také bezpečnostní normy:

EN 50274 – Ochrana proti elektrickému šoku

EN 40050 – Ochrany krytím

ČSN EN 33 2000-4-41 ed. 3 – Ochrana před úrazem elektrickým proudem

ČSN EN 62061 – Bezpečnost strojů

ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnostní prvky a doplňující opatření

Systémy mohou měřit odpor, průchodnost, testovat funkci, určit směr pole, provádět vysokonapěťové zkoušky, testy izolace, částečné výboje...

Mnou navrhovaný systém využívá komponenty od firmy SPS electronic

1 Požadavky zákazníka

Požadovaný testovací systém bude pro testování kabelů. Systém bude obsahovat vysokonapěťový tester HA1885B zabudovaný do racku spolu s napájecím panelem N5/3810, signalizačním osvětlením, průmyslovým počítačem, I/O terminálem Beckhoff, který ovládá systém, jednotkou reléové matice a ovládacím software DAT3805 s úpravami.

Testy požadované zákazníkem:

- Vysokonapěťový DC test 100–3000 V, proud maximálně 10 mA
- Vysokonapěťový AC test 100–3000 V, proud maximálně 3 mA
- Test izolačního odporu 100–3000 V, odpor maximálně 1G Ω
- Test průchodnosti

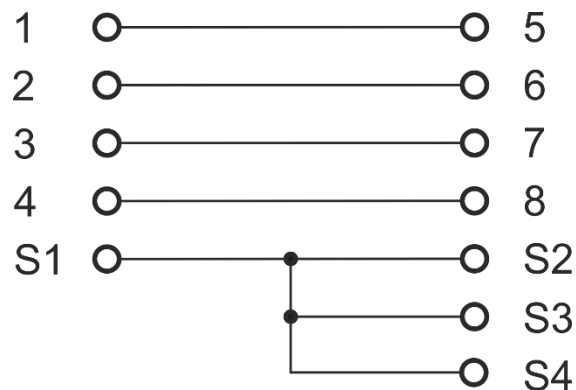


Obr. 1 Tester HA1885B

1.1 Testovaný kabel typ 1

Tento kabel se skládá ze dvou napájecích drátů, dvou řídicích a čtyř shieldů (tři jsou uvnitř kabelu a železné pouzdro).

Shield neboli stínění je vyrobeno ze spletených měděných drátků (či jiného vodivého kovu) nebo složeno z pásků mědi či hliníku. Používá se i pokovená fólie nebo s vrstvou vodivého polymeru. Obvykle bývá tato vrstva zakryta další izolační vrstvou.

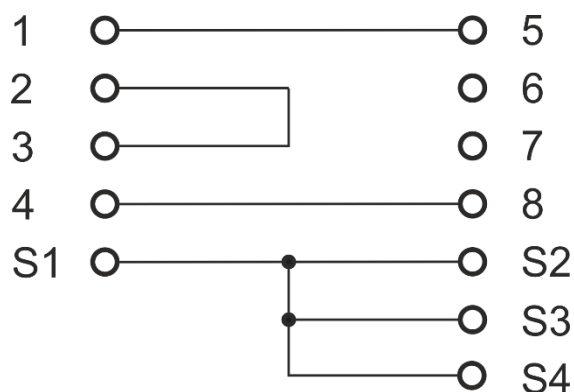


Obr. 2 Kabel 1

1.2 Testovaný kabel typ 2

Tento kabel se skládá ze dvou napájecích drátů, loopbacku a čtyř shieldů (tři jsou uvnitř kabelu a železné pouzdro).

Loopback je logická smyčka elektrického signálu nebo datového toku z původního zařízení zpět ke zdroji bez dalšího zpracování nebo úprav. Využívá se především k testování komunikačních tras, případně k vzájemné komunikaci vnitřních součástí zařízení či propojení bezpečnostní smyčky.



Obr. 3 Kabel 2

1.3 Chybová pravdivostní tabulka

Dále byl dán požadavek na hlášení chyb, pomocí relátek, která budou dávat chybový kód dle Tab. 1 do PLC, které si připraví samotný zákazník.

Tab. 1 Chybová pravdivostní tabulka

číslo chyby	F8	F4	F2	F1	Popis
0	0	0	0	0	test prošel bez chyby
1	0	0	0	1	systémová chyba – HV nízké napětí (chyba na HV generátoru)
2	0	0	1	0	systémová chyba – HV nízký proud (špatný kontakt)
3	0	0	1	1	systémová chyba – selhání systému
4	0	1	0	0	chyba na žíle 1 CT test
5	0	1	0	1	chyba na žíle 2 CT test
6	0	1	1	0	chyba na žíle 3 CT test
7	0	1	1	1	chyba na žíle 4 CT test
8	1	0	0	0	chyba na žíle 1 HV test
9	1	0	0	1	chyba na žíle 2 HV test
10	1	0	1	0	chyba na žíle 3 HV test
11	1	0	1	1	chyba na žíle 4 HV test
12	1	1	0	0	chyba při CT testu – špatný typ stínění
13	1	1	0	1	chyba při HV testu – stínění proti žíle
14	1	1	1	0	chyba při HV testu – kostra proti žíle
15	1	1	1	1	chyba při HV testu – kostra proti stínění

1.4 Předpis pro testování

V Tab. 2 se nachází přehled požadovaných testů pro jednotlivé typy kabelů. Čísla sloupečků odkazují na interní označení zákaznických kabelů.

Tab. 2 Předpis pro testování

požadované testy	2289980-1	2321318-1	2289605-1	2282484-1	2329126-1	2314571-1
napájecí žíly – test průchodnosti	X	X	X	X	X	X
signálové žíly – test průchodnosti	X	X	X	X	X	X
napájecí + signálové + stínění – Test vysokým napětím U= 2kV DC po dobu 2 s	X	X			X	
napájecí + signálové + stínění – Test vysokým napětím U= 0,7kV DC po dobu 2 s			X			
napájecí + signálové + stínění – Test vysokým napětím U= 2,9kV DC po dobu 1 s				X		
napájecí + signálové + stínění – Test vysokým napětím U= 2,7kV DC po dobu 1 s					X	
napájecí + signálové + stínění – Test izolačního odporu U= 0,5kV DC po dobu 1 s $R \geq 100M\Omega$				X	X	
napájecí – Test vysokým napětím U= 1,5kV DC po dobu 1 s				X	X	

2 Tester HA1885B

Přístroj HA1885B je vybaven 4,3" TFT vestavěným dotykovým displejem, kde se můžou nastavovat individuální testy nebo i plně automatické sekvence zkušebních programů. Díky mnoha rozhraním se může vybrat, které rozhraní se použije pro řízení testeru: USB, Ethernet / LAN, RS-232 nebo 24 V I/O rozhraní.

Přístroj HA1885B má plně elektronický generátor, který umožňuje přesnější a rychlejší testování. Tento přístroj není závislý na napájecím napětí. Napájecí napětí může být 120 V / 60 Hz pro USA nebo 220 V / 50 Hz pro Evropu.

Pomocí PC softwaru může být přístroj HA1885B dálkově ovládán, ale také se dá rozšířit o další vlastnosti a zkušební kroky. Výsledek testu pak může být uložen na USB flashdisk a snadno zálohován nebo se mohou výsledky ukládat do databází (SQL, MDB), či do XML nebo PDF.

S velikostí 19" / 5 HU, HA1885B je ideální pro zabudování do racku systému. Díky omezení pomocí bezpečného proudu podle EN 50191 není potřeba pro provoz žádné dodatečné zabezpečení (jako jsou zkušební skříně, anebo dvou ruční ovládání.)

HA1885B umožňuje testovat pomocí střídavého napětí v rozsahu 100 – 5.500 V a s rozsahem proudu 0–3 mA. Testování pomocí stejnosměrného napětí v rozsahu 100 - 6.000 V a s rozsahem proudu 0–10 mA. Izolační test se stejnosměrným napětím 100 – 6.000 V a měřicím rozsahem 250 k Ω – 1 G Ω . ARC detekce 0–100 %. [1]

2.1 Typická rozhraní

V této části diplomové práce budou představena typická rozhraní (Obr. 4), která jsou součástí vysokonapětového testeru řady HA1885B. Tato rozhraní slouží ke komunikaci s počítačem, ovládání nebo pro bezpečnostní zapojení.



Obr. 4 Zadní strana HA1885B

2.1.1 RS-232 X1

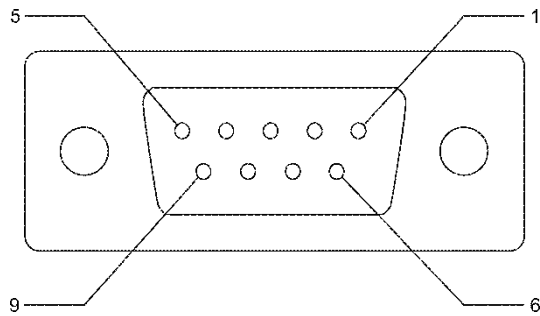
RS-232 (sériový port) je rozhraní pro přenos informací vytvořené pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti 20 m. Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím, než je standardních 5 V. Přenos informací probíhá asynchronně pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu.

Vstupní úrovně jsou ± 3 V až ± 15 V. Přenosová rychlost závisí na kapacitě vedení, maximálně 19 000 bitů za sekundu. Vstupní odpor je 3 k Ω až 7k Ω . Jako logická „1“ je vyhodnoceno napětí -5 V a jako logická „0“ je vyhodnoceno napětí +5 V. Odeslaná zpráva je odvíšlaná postupně za sebou (v sérii) po jednom páru vodičů v každém směru. Jedná se o bezkolizní fyzickou vrstvu na rozdíl od Ethernetu či USB. Zpráva obsahuje 1 Start bit, 8 Datových bitů, 1 Paritní bit a 1 Stop bit.

Sériová linka RS-232 je vyvedena na 9 pinový konektor. Základní tři vodiče rozhraní (příjem RxD, vysílání TxD a společná zem GND) jsou doplněny ještě dalšími vodiči, sloužícími k řízení přenosu (vstupy DCD, DSR, CTS, RI, výstupy DTR, RTS). Ty mohou a nemusí být používány (zapojeny), nebo mohou být použity pro napájení elektronických obvodů v zařízení, jako je například počítačová myš. Výstupní elektronika je vybavena

ochranou proti zkratu, kdy po překročení proudu 20 mA proud již dále neroste. V aplikaci diplomové práce zvolené zařízení HA1885B využívá pouze základní 3 vodiče pro komunikaci. [1]

Tab. 3 Piny RS-232

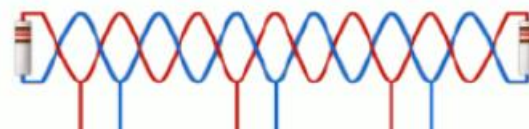


PIN	Značení	Popis
1		volný
2	RxD	příjem dat
3	TxD	posílání dat
4		volný
5	GND	zem
6		volný
7		volný
8		volný
9		volný

Obr. 5 Konektor RS-232 [1]

2.1.2 CAN X2

CAN (Controller Area Network Obr. 7), původně vymyšleno pro automobilový průmysl, je rozhraní umožňující řízení systémů v reálném čase s vysokým zabezpečením proti chybám (vlivem rušení, které vzniklo např. obloukem na kontaktech relé, jiskřením při průrazu u vysokonapěťového testu, elektromagnetické vlnění) do délky až 10 kilometrů. Vodič je kroucená dvoulinka (Obr. 6). Libovolná rychlost až do 1Mbit/s.

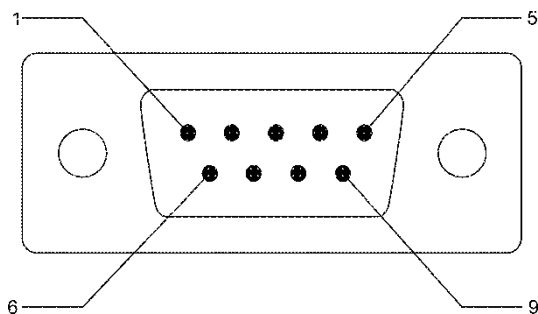


Obr. 6 Kroucená dvoulinka

Toto rozhraní je typu multi-master, kde každý uzel může být master a řídit tak chování ostatních uzlů. Dva uzly mezi sebou komunikují prostřednictvím datové zprávy a zprávy žádost o data. Začne-li jeden z uzlů vysílat, další uzly musí počkat, než tento uzel odvysílá zprávu a uvolní sběrnici.

Zpráva nemá nijak určeno, který uzel má zprávu obdržet. Každá zpráva má svůj jedinečný identifikátor, podle kterého uzly poznají, kterému z nich je zpráva určena. Podle toho si daný uzel zprávu buď přečte, nebo ji ignoruje. Při komunikaci na sběrnici se může stát, že ve stejnou chvíli chtějí vysílat dva a více uzlů. Tento problém je vyřešen pomocí priorit. [1]

Tab. 4 Piny konektoru CAN



	Značení	Popis
1		volný
2	CANL_EXT	nízko rychlostní CAN linka
3	GND (CAN)	zem CAN signálu
4	GND (ANALOG)	zem analogového signálu
5	GND (ANALOG)	zem analogového signálu
6		volný
7	CANH_EXT	vysoko rychlostní CAN linka
8		volný
9	AO	výstup analogu (0-10 V)

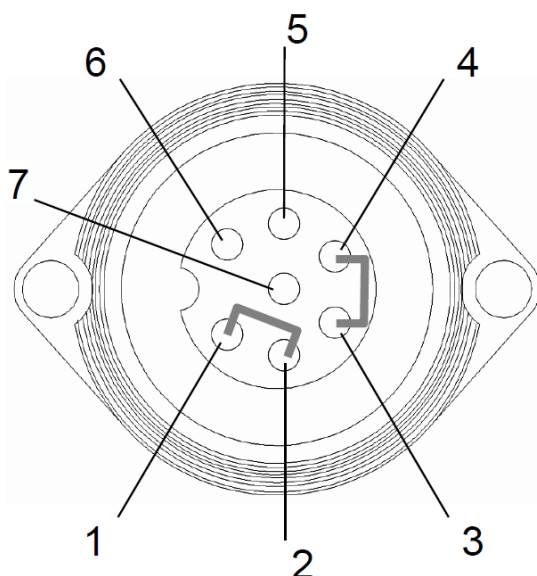
Obr. 7 Konektor CAN [1]

2.1.3 Připojovací konektor pro obvod VN generátoru X4

Tento konektor (Obr. 8) slouží k napájení VN generátoru. K uzavření bezpečnostního okruhu, musí být propojeny piny 1 s 2 a 3 se 4. Ve spolupráci s konektorem X11 a externím bezpečnostním relé se může vytvořit dvojité bezpečnostní ochrana pro aplikace se zvýšenou bezpečností.

Když není tohoto bezpečnostního okruhu využito, zasune se do tohoto konektoru protikus s propojenými piny.

Vypnutí generátoru VN přes toto rozhraní není aktivně rozpoznáváno, proto by měl externí bezpečnostní okruh vždy spínat společně s X11. Tato funkce je určena pouze pro nouzové vypnutí. Pravidelné vypínání se nedoporučuje. [1]



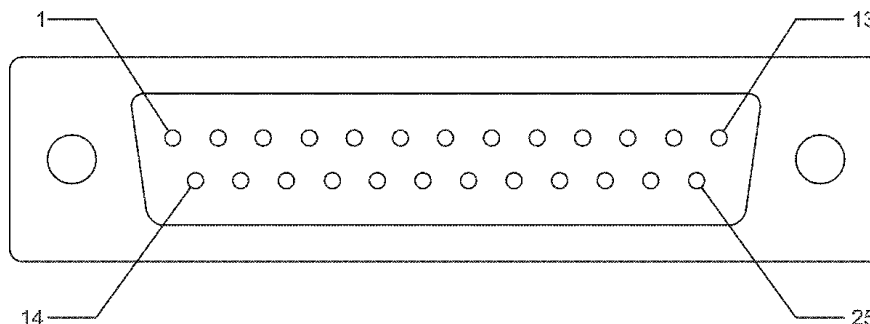
Tab. 5 Piny konektoru X4

PIN	Popis
1	L out (120/230 V)
2	L in (120/230 V)
3	N out
4	N in
5,6,7	volný

Obr. 8 Konektor X4 [1]

2.1.4 Externí I/O rozhraní X6

Tento konektor (Obr. 9) slouží k vyvedení vnitřních vstupů/ výstupů. Například pro signalizaci stavů, průběhu a výsledků testu (prošlo/ neprošlo). Ale také pro načítání stavů tlačítek či analogového měření (například načítání hodnot z hallova senzoru). Přehled základního obsazení pinů je v tabulce (Tab. 6).[1]



Obr. 9 Konektor X6 [1]

Tab. 6 Piny konektoru X6

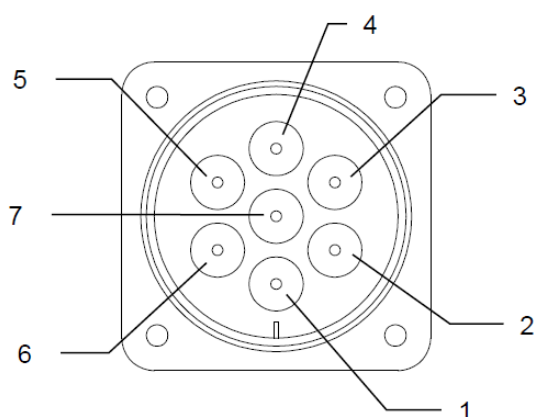
PIN	Značení	Popis
1	výstup 1	volný/ Ext_Pass
2	výstup 2	volný/ Ext_Fail
3	výstup 3	volný/ Ext_Buzzer
4	výstup 4	volný/ Ext_Test
5	výstup 5	volný
6	výstup 6	volný
7	výstup 7	volný
8	výstup 8	volný
9	analogový vstup 1	[0...10 V]
10	PE start	PE_START
11	vstup 1	volný/ EXT_YES
12	vstup 2	volný
13	vstup 3	volný
14	vstup 4	volný/ EXT_NO
15	vstup 5	volný
16	vstup 6	volný/ EXT_ACK
17	vstup 7	Volný
18	vstup 8	EXT_START
19	vstup SK	EXT_SK
20	+24 V DC	napětí proti zemi
21	+24 V DC	napětí proti zemi
22	analogový vstup 2	[0...10 V]
23	ext. Zapnutí	Ext_ON
24	ext. GND	uzemnění
25	ext. GND	uzemnění

2.1.5 Vysokonapěťový konektor X7

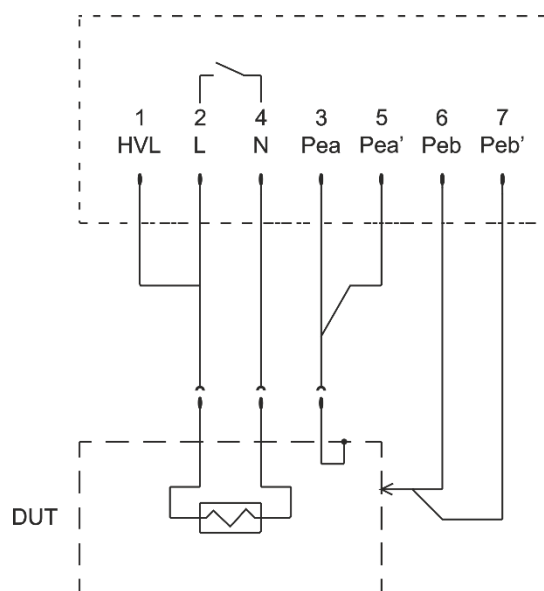
Tento vysokonapěťový konektor (Obr. 10) slouží k připojení vysokonapěťového testeru k testovanému objektu (DUT) a pro testování vysokým napětím. Konektor je vybaven závitem pro jisté připojení vysokonapěťového svazku. Konektor obsahuje sedm pinů. Jak je vidět z tabulky piny 1-3 slouží pro připojení vysokého napětí a zbylé piny pro čtyř-vodičové měření odporu. Tento konektor lze použít až do 10 kV stejnosměrných a 7 kV střídavého napětí. Maximální dovolený proud je 30 A.

Konektor a propojovací svazek je vybaven speciálními kabely, kde musí být vyřešena trvanlivost, izolační odpor a kapacitní proud.

Pro připojení se používají Kelvinovy hroty. Minimální dovolená vzdálenost mezi hroty je 22 mm. Typický odpor 50 mΩ. [1]



Obr. 10 Vysokonapěťový konektor X7 [1]



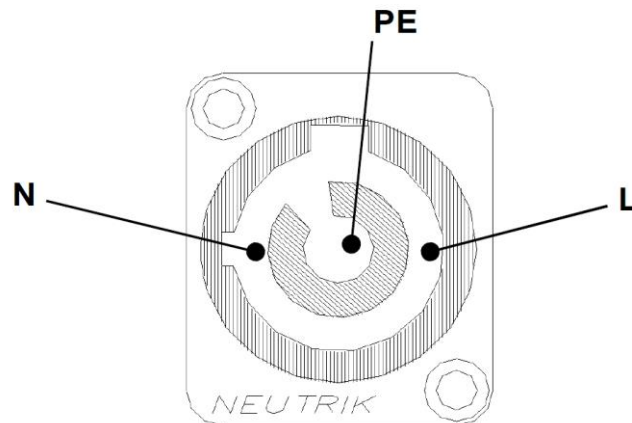
Obr. 11 Princip připojení DUT

Tab. 7 Piny konektoru X7

PIN	Značení	Popis
1	HVL / +	připojovací pin pro VN
2	L	fáze
3	HVN / - / Pea	připojovací pin pro PE měřeného zařízení
4	N	nulový vodič
5	Pea'	připojovací pin sense zemního vodiče
6	Peb	připojovací pin na kostru měřeného zařízení
7	Peb'	připojovací pin sense na kostru měřeného zařízení

2.1.6 Konektor pro externí napětí X10

Toto rozhraní (Obr. 12) se používá k externímu napájení testovaného zařízení během funkčních testů. Připojení je jističeno 16 A pojistkou. [1]

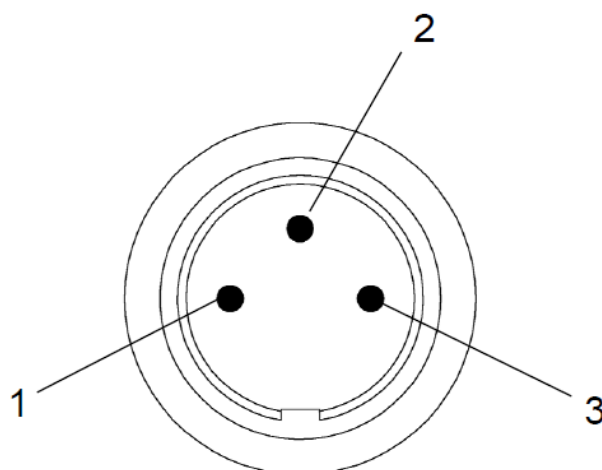


Obr. 12 Konektor X10 [1]

2.1.7 Konektor pro externí bezpečnostní okruh X11

Tento konektor (Obr. 13) je určen pro připojení ochranného okruhu, kde je nutné zkratovat pin 1 a pin 2. Pin 3 je volný. Rozpojení bezpečnostní smyčky je stejné jako při zmáčknutí STOP tlačítka na předním panelu. Tester přechází do „STOP módu“, zdroj vysokého napětí a ostatní testovací napětí jsou odpojena.

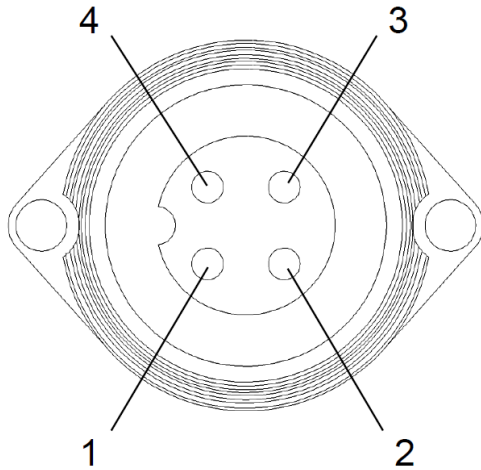
Není-li k dispozici externí bezpečnostní smyčka, musí být pin 1 a pin 2 spojen. Dokud nejsou tyto piny spojeny není možné spustit testování. [1]



Obr. 13 Konektor X11 [1]

2.1.8 Konektor pro připojení varovné signalizace X12

Konektor (Obr. 14) je určen k připojení varovné signalizace. Celkový výkon signalizace nesmí překročit 25 W. [1]



Tab. 8 Piny konektoru X12

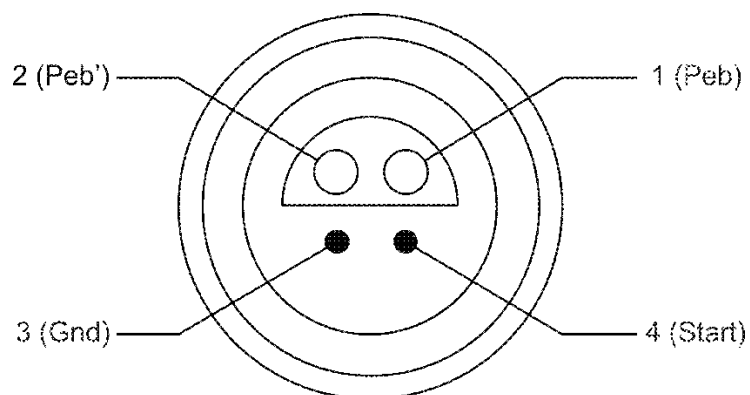
PIN	Popis
1	N
2	červená (230 V)
3	zelená (230 V)
4	PE

Obr. 14 Konektor X12 [1]

2.1.9 Konektor pro sondu X16

Tento konektor (Obr. 15) slouží k připojení testovací sondy PE. Kontakty Peb a Peb' jsou interně připojeny paralelně ke kontaktům na X7. Signál startu PE sondy je interně připojen paralelně k PE_START na X6.

Při čtyř vodičovým měření se piny Peb a Peb' slučují na testovaném objektu. Při použití PE testovací sondy se spojí v hrotech sondy. [1]



Obr. 15 Konektor X16 [1]

2.1.10 Konektor X5 – LAN

Tento konektor slouží k připojení zařízení do sítě Lan (Local Area Network, lokální síť, místní síť), označuje počítačovou síť, která pokrývá malé geografické území (např. domácnosti, malé firmy). Přenosové rychlosti jsou vysoké, řádově Gb/s. Nejrozšířenějšími technologiemi v dnešních LAN sítích jsou Ethernet a Wi-Fi (nebo také WLAN), v minulosti byly používány např. ARCNET a Token Ring. [8]

2.1.10.1 Ethernet

Ethernet je název souhrnu technologií pro počítačové sítě z větší části standardizovaných jako IEEE 802.3, které používají kabely s kroucenou dvoulinkou, optické kabely (ve starší verzích i koaxiální kabely) pro komunikaci přenosovými rychlostmi od 1 Mbit/s po 100 Gbit/s. Síť Ethernet realizují fyzickou a linkovou vrstvu referenčního modelu OSI, takže je možné po nich provozovat jeden nebo více protokolů síťové vrstvy, například AppleTalk, DECnet, IPX/SPX, a především protokoly IPv4 a IPv6, které se používají pro služby sítě Internet.

Ještě před rokem 2000 se Ethernet stal dominantní technologií pro drátové nebo kabelové lokální sítě a prakticky synonymem pro lokální síť (LAN). Používá se nejen pro propojování počítačů, ale i pro datová úložiště, zařízení spotřební elektroniky jako jsou televizní přijímače a herní konzole a také jako drátové rozhraní pro přístupové body WiFi a zařízení pro přístup k internetu. Pokud zařízení deklaruje, že má připojení na LAN, v naprosté většině případů to znamená, že je vybaveno konektorem 8P8C (RJ-45) pro síť Ethernet s rychlostí 100 nebo 1000 Mbit/s. [8]

2.1.11 Vysokonapětové konektory X13 a X14

Tyto konektory slouží k připojení testovacích pistolí. Jedná se o jedno žilové konektory. V případě diplomové práce se tyto konektory používají k přivedení vysokého napětí k testovanému kabelu přes spínací matici.

3 Bezpečnost testovacího zařízení

Stejně jako morální závazek nikomu neublížit existují i zákony vyžadující zajištění bezpečnosti strojů/ zařízení a pádné ekonomické důvody pro prevenci nehod. Bezpečnost je třeba brát v úvahu již při navrhování a dále po celý životní cyklus stroje, který zahrnuje návrh, výrobu, instalaci, seřizování, provoz, údržbu, případně i likvidaci.

3.1 Strategie pro výběr bezpečnostních prvků

Strategie pro výběr bezpečnostních a / nebo ochranných opatření vyžaduje, aby bylo nejprve přezkoumáno, zda je po celý existenční cyklus strojního zařízení zajištěna možnost vyvarování se všech nebezpečí, která se během něj mohou vyskytnout. Pokud je zjištěno, že existují rizika pro uživatele, která nelze vyloučit předpokládaným používáním zařízení, musí být za účelem snížení těchto rizik upravena a znovu přezkoumána konstrukce zařízení. Teprve v případě, že riziko nelze snížit konstrukčními opatřeními, připadají v úvahu další možnosti, tj. technická ochranná opatření a informace pro uživatele. Informování uživatele vždy musí být až posledním opatřením ke snížení rizika.[11]

3.1.1 Snížení rizika konstrukčním opatřením

Snížit riziko můžeme:

- odstraněním ostrých rohů a hran
- přidáním bezpečnosti do konstrukce zařízení
 - mechanickým uspořádáním
 - omezením působících sil
 - omezením hmotnosti
 - omezením emisí hluku, vibrací apod.
- výběrem materiálu (odborné technické předpisy pro stavbu a výrobu zařízení)
- použitím osvědčených technik (EX prostředí, hydraulika, pneumatika, jiskrově bezpečná elektrická zařízení a malé bezpečné napětí)
- dodržováním ergonomických zásad
- využitím bezpečnostně technických zásad při návrhu řídicího systému
- ochranou před elektrickým nebezpečím
- omezením doby vystavení nebezpečí spolehlivým vybavením a mechanizací, automatizací a umístěním míst pro seřizování a údržbu vně nebezpečných prostorů

3.1.2 Technická ochranná opatření

Mezi technická ochranná opatření patří zejména oddělující ochranná zařízení, například ochranné kryty či pohyblivé ochranné kryty s blokovacím zařízením s/bez jištění. Další ochranná zařízení s předem danou polohou, například dvouruční ovládání a zařízení pro nouzové zastavení.

Náročnost daného ochranného zařízení je závislá na zjištěném riziku. To znamená, že pro rozhodnutí o přiměřeném technickém opatření z výběru bezpečnostních či ochranných opatření musí být přezkoušeno, jaká technická náročnost je u ochranného zařízení vyžadována. [11]

3.2 Posouzení rizik

3.2.1 Vymezení hranic zařízení

Pro vymezení hranic se uvažuje použití předpokládaného zařízení. Jeho prostorová hranice je dána rozsahem pohybu, prostorovými požadavky na instalaci, manipulaci a napájení. Přitom musí být uváženy všechny existenční fáze zařízení, důsledky rozumným způsobem předvídatelného nesprávného použití nebo chybné funkce, ohrožení jiných osob, oblast nasazení (průmysl, živnostenská výroba, domácnost, okolní podmínky). [11]

3.2.2 Identifikace nebezpečí

Systematicky musí být vyšetřena všechna nebezpečí, nebezpečné situace a nebezpečné události. Je třeba uvážit všechny zásahy obsluhy ve všech existenčních fázích zařízení, provozní stavy zařízení (funguje/nefunguje), zabezpečit proti zneužití zařízení.

Typickými nebezpečími jsou mechanická (stlačení, střihnutí, odříznutí, navinutí, vtažení), elektrická (přímý/nepřímý dotyk, nadproud, přepětí, elektrostatika), termika (popálení, omrznutí), hluk, vibrace, záření, chemie. [11]

3.2.3 Odhad rizika

Mezi prvky rizika se počítá závažnost škody, která je způsobena předmětu právní ochrany, druh zranění, které může být lehké, těžké nebo smrtelné. Další prvek je pravděpodobnost vzniku škody. Tedy četnost a trvání vystavení nebezpečí se zřetelem na nezbytnost přístupu (normální provoz, údržba, opravy atd.), druh a četnost přístupu, doba v nebezpečném prostoru a počet osob. Možnosti vyvarování se nebo omezení škody způsobem ovládání stroje, rychlostí výskytu nebezpečí (nenadále, náhle, rychle, pomalu) a lidské možnosti se vyhnutí škodě. [11]

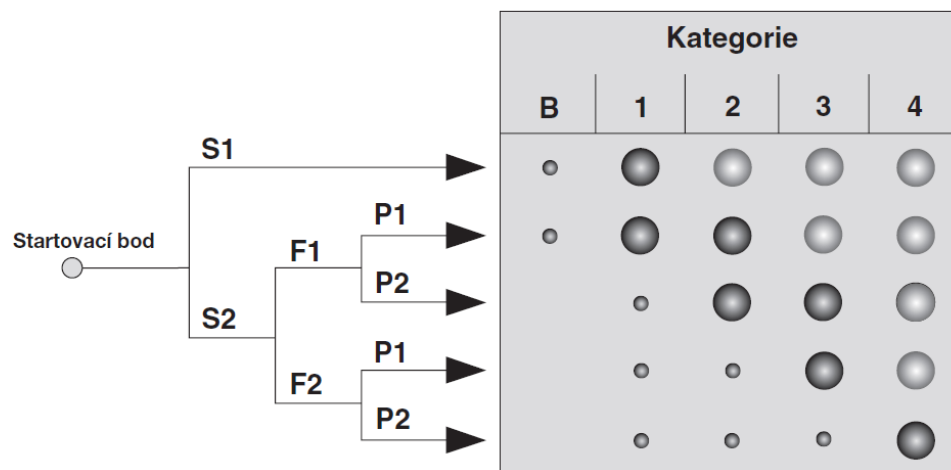
3.2.4 Hodnocení rizika

Po analýze rizika musí být rozhodnuto, zda je nezbytné riziko snížit nebo zda bylo dosaženo potřebné bezpečnosti. Pokud musí být riziko dále sníženo, je nutné vybrat a realizovat vhodná ochranná opatření a opakovat posouzení rizika. Je důležité, aby během tohoto interaktivního procesu konstruktéři ověřovali, zda použitím nových ochranných opatření nejsou vyvážena další nebezpečí. V případě výskytu dalších nebezpečí musí být doplněna do seznamu nebezpečí. [11]

3.3 Postup při návrhu řídicího systému

Aby vlastnosti zařízení odpovídaly souvisejícímu riziku, je zapotřebí převést prvky rizika, zjištěné postupem v předchozích kapitolách, do grafu pro odhad rizika a použít je ke stanovení kategorií řídicího systému.

V normě ČSN EN 954-1 je popsán jednoduchý postup ke zvolení vhodné kategorie řídicího systému jako vztažného bodu pro návrh a konstrukci různých bezpečnostních částí řídicího systému. Každé úrovni rizika jsou přiřazeny jen dvě možnosti odpovědi, umožňující dosažení opakovatelné vazby na kategorie řídicího systému. [11]



Obr. 16 Graf pro rizika s kategoriemi řídicích systémů

- možná kategorie, vyžadující další opatření
- přednostní kategorie pro vztažné body
- předimenzované opatření

Závažnost zranění

S1 – lehké, vratné zranění

S2 – těžké, nevratné zranění nebo smrt osoby

Četnost/doba pobytu v nebezpečném prostoru

F1 – vzácně až častěji/krátká doba pobytu v nebezpečném prostoru

F2 – často až trvale/dlouhý pobyt v nebezpečném prostoru

Možnost vyvarování se nebezpečí

P1 – Možné za určitých podmínek

P2 – sotva možné

3.4 Kategorie řídicích systémů

Kategorie bezpečnostních částí ovládacího systému stanovují jejich požadované chování vzhledem k odolnosti proti závadám a jejich následnému chování v případě závady, kterého je dosaženo konstrukčním uspořádáním částí, detekcí závady a/nebo jejich spolehlivostí.

Kategorie jsou základními parametry používanými k dosažení specifické úrovně vlastností. Bezpečnostní části ovládacího systému musí být provedeny podle jedné nebo více z pěti kategorií. Volba kategorie pro speciální bezpečnostní části ovládacího systému závisí hlavně na:

- snížení rizika, které má být dosaženo bezpečnostní funkcí, ke kterému část přispívá
- požadované úrovni vlastností
- použité technologii
- riziku, které vzniká v případě závady (závad) v této části
- možnosti vyloučení závady v této části
- pravděpodobnosti výskytu závady v této části a relevantní parametry
- střední době do nebezpečné poruchy
- diagnostickém pokrytí
- poruše se společnou příčinou v případě kategorií 2, 3 a 4. [11]

3.4.1 Kategorie B

Bezpečnostní části řídicích systémů zařízení a/nebo jejich ochranná zařízení stejně jako jejich části musí být v souladu s ustanoveními příslušných norem navrženy, konstruovány, vybrány, navzájem uspořádány a kombinovány tak, že mohou odolávat očekávaným vlivům.

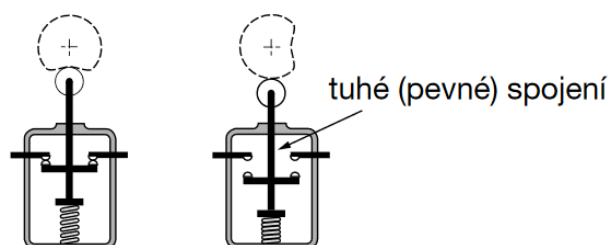
- Volba barev vodičů, ovládacích a signalizačních přístrojů
- Volba kategorie užití u pohonů, opatření na ochranu před okolními vlivy
- Dimenzování spínacích přístrojů a pohonů
- Řízení bez jakýchkoliv bezpečnostních atributů
- Volba tříd ochrany, druhů krytí, ochranných opatření, velikosti skříní
- Volba druhů vodičů a izolace, průřezu vodičů [11]

3.4.2 Kategorie 1

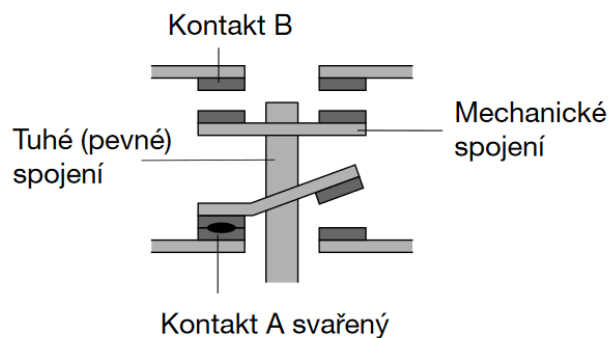
Musí být splněny požadavky kategorie B. Musí být používány osvědčené bezpečnostní součásti a osvědčené bezpečnostní principy. [11]

Osvědčené součásti = polohový spínač pro bezpečnostní použití

Osvědčené principy = nucené rozpínání, pozitivní ovládání, nucené vedení, předimenzování



Obr. 17 Nucené rozpínání kontaktů [11]



Obr. 18 Nucené vedení kontaktů [11]

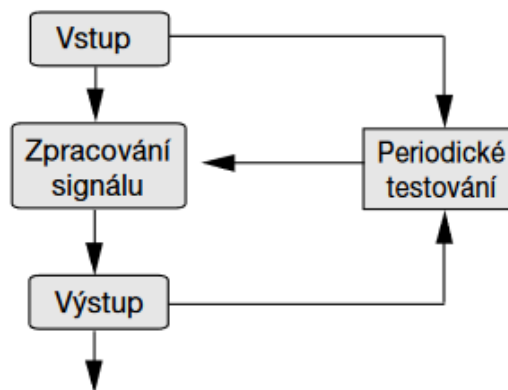
Při vzniku závady, například při svaření kontaktu A, zůstává kontakt B rozpojený

3.4.3 Kategorie 2

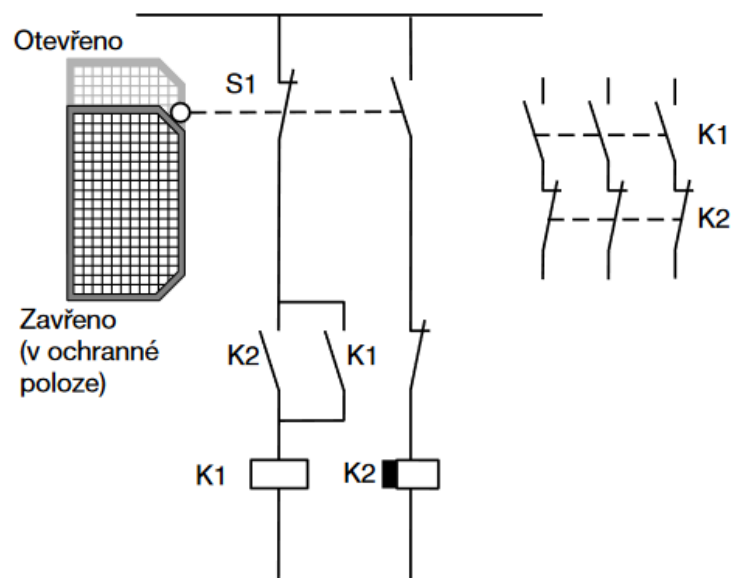
Musí být splněny požadavky kategorie B a používány osvědčené bezpečnostní principy. Bezpečnostní funkce musí být ve vhodných časových intervalech zkoušena řídicím systémem stroje. [11]

Osvědčené principy = nucené rozpínání, pozitivní ovládání, nucené vedení, předimenzování

Struktura řídicího systému = pravidelné (cyklické) testování



Obr. 19 Struktura řídicího systému [11]



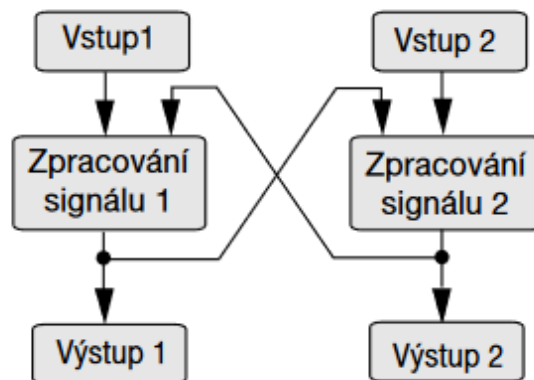
Obr. 20 Příklad řešení řídicího systému kategorie 2 [11]

3.4.4 Kategorie 3

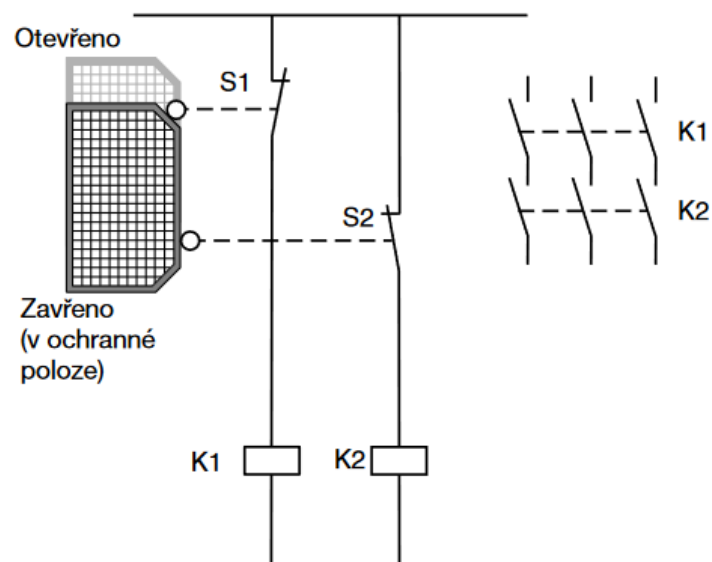
Musí být splněny požadavky kategorie B a používány osvědčené bezpečnostní principy. Bezpečnostní části musí být navrženy tak, aby jednotlivé závady v jakékoliv této části nevedly ke ztrátě bezpečnostní funkce a je-li to rozumně uskutečnitelné, jednotlivé závady byly detekovány. [11]

Osvědčené principy = nucené rozpínání, pozitivní ovládání, nucené vedení, předimenzování

Struktura řídicího systému = redundantní



Obr. 21 Struktura řídicího systému [11]



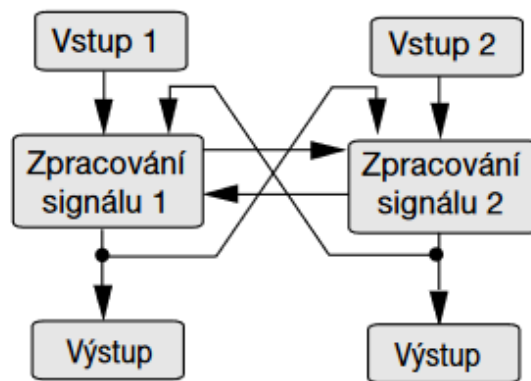
Obr. 22 Příklad řešení řídicího systému kategorie 3 [11]

3.4.5 Kategorie 4

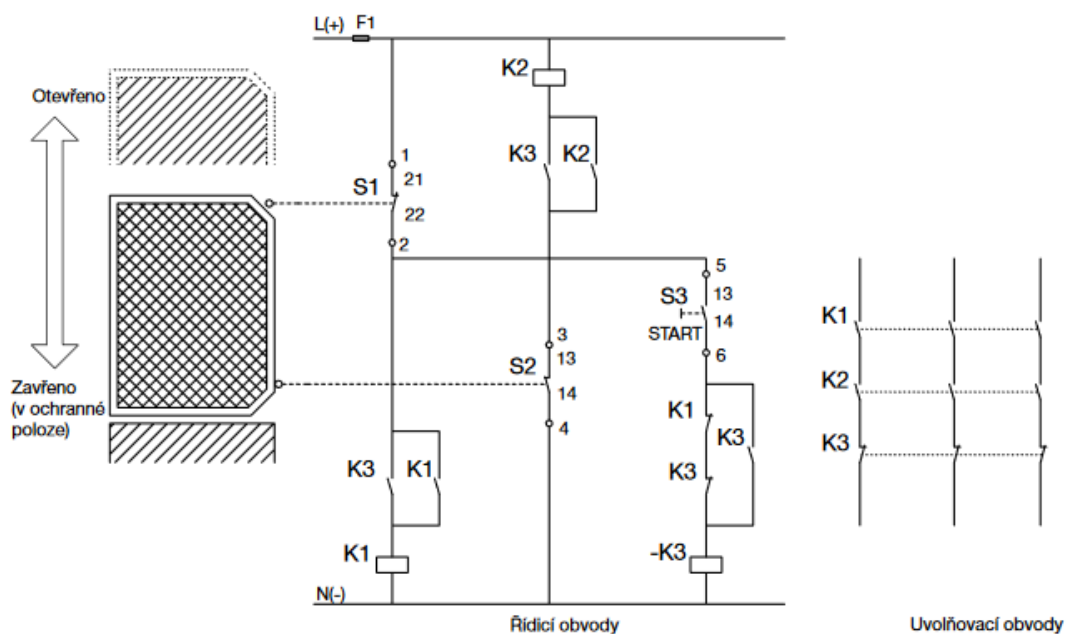
Musí být splněny požadavky kategorie B a používány osvědčené bezpečnostní principy. Bezpečnostní části musí být navrženy tak, aby jednotlivé závady v jakékoliv této části nevedly ke ztrátě bezpečnostní funkce a jednotlivé závady byly detekovány při nebo před následujícím požadavkem na bezpečnostní funkci, nebo pokud to není možné, pak nahromadění závad nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce. [11]

Osvědčené principy = nucené rozpínání, pozitivní ovládání, nucené vedení, předdimenzování

Struktura řídicího systému = redundantní



Obr. 23 Struktura řídicího systému [11]



Obr. 24 Příklad řešení řídicího systému kategorie 4 [11]

3.5 Bezpečnostní prvky

Tam, kde není možné použít vnitřně bezpečnou konstrukci, se použijí bezpečnostní prvky. Tato opatření zahrnují například pevné kryty, blokovací zařízení, snímače přítomnosti zabraňující spuštění atd.

Bezpečnostní kryty zamezují osobám v kontaktu s nebezpečnými prvky nebo uvádějí nebezpečné prvky do bezpečného stavu.

Samotné kryty mohou být pevné nebo pohyblivé, elektricky řízené nebo blokované. [3]

3.5.1 Elektromagnetická blokovací zařízení

Jsou používána v nebezpečných provozních fázích. Na rozdíl od blokovacích zařízení, která nejsou vybavena elektromagnetem, se tato zařízení používají na strojích s vysokou setrvačností – tedy u zařízení s pomalým zastavováním, ke kterým lze umožnit přístup až po zastavení nebezpečného pohybu. Obvykle se používají se zpoždovacím obvodem (pokud je stanovena doba zastavení) nebo detekcí nulové rychlosti (pokud se doba zastavení může lišit), aby byl přístup možný pouze po dosažení bezpečných podmínek. Blokovací zařízení je třeba volit a instalovat s ohledem na minimalizaci možnosti poruch a chyb. Celkové bezpečnostní řešení nesmí bezdůvodně zpomalovat výrobní cykly. Kroky k zajištění výše uvedených podmínek zahrnují:

- spolehlivou montáž zařízení na pevném místě, která k odstranění nebo úpravě zařízení vyžaduje použití speciálního nástroje
- kódování zařízení a systémů – mechanické, elektronické, magnetické nebo optické
- fyzické překážky nebo kryty zabraňující přístupu k blokovacímu zařízení v případě otevření krytu
- nosné konstrukce zařízení, které musí být dostatečně pevné k zajištění správné funkce. [3]

3.5.2 Blokovací spínače

Blokovací spínače pro detekci polohy pohyblivých krytů pro řízení blokování, které obvykle umožňují vkládání / vyjímání předmětů, čištění, seřizování, úpravy atd. Ochrana operátorů spočívá v zastavení stroje v případě vytažení akčního členu (ovládače) z hlavy spínače, aktivace páky nebo pístu, otevření krytu nebo otočení závěsu krytu o 5° – obvykle u strojů s nízkou setrvačností (tj. rychlým zastavením). [3]



Obr. 25 Blokovací spínač [3]

3.5.3 Světelné bariéry

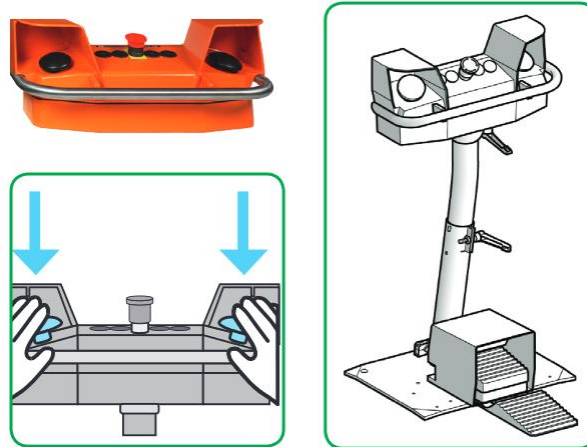
Světelné bariéry se obvykle používají při manipulaci s materiálem, balení, u dopravníků, ve skladech a v dalších aplikacích. Jsou určeny k ochraně osob operujících nebo pracujících v blízkosti strojních zařízení tak, že zastaví pohyb součástí v případě přerušení jednoho z paprsků. Umožňují zajistit ochranu osob a současně volný přístup ke stroji. Absence dveří nebo krytů umožňuje snížit čas potřebný na vložení předmětu do stroje, kontrolu nebo seřízení a samozřejmě usnadňuje celý přístup. [3]



Obr. 26 Světelná bariéra [3]

3.5.4 Obouruční ovládací zařízení a nožní spínače

Zajišťují, aby operátor musel stát mimo nebezpečnou oblast, když spouští nebezpečné pohyby (například pohyb lisu dolů). Chrání především operátora stroje. Ochranu dalších pracovníků lze zajistit použitím doplňujících opatření, jako jsou spínače polohy nebo světelné bariéry. [3]



Obr. 27 Obouruční ovládání [3]

3.5.5 Potvrzovací spínače

Spínače umožňující přístup do nebezpečných prostor pro účely odstraňování poruch, uvádění do provozu atd. (např. pomalé posouvání a popojíždění) se středovou polohou a 2 „vypínacími“ polohami (při úplném stisknutí nebo úplném uvolnění). [3]



Obr. 28 Potvrzovací spínač [3]

3.5.6 Monitorování bezpečnostních signálů

Signály z bezpečnostních prvků se obvykle sledují pomocí bezpečnostních relé, bezpečnostních kontrolérů nebo bezpečnostních PLC (obecně označovaných jako „safety PLC“), které se používají k řízení výstupních zařízení, například stykačů.

Volba logického prvku závisí na mnoha faktorech, jako je počet zpracovávaných bezpečnostních vstupů, náklady, složitost samotných bezpečnostních funkcí, potřeba omezení kabeláže využitím decentralizačních možností aplikačních sběrnic (např. „AS-Interface Safety at Work“, „SafeEthernet“) nebo potřeba posílat bezpečnostní signály / data přes dlouhé vzdálenosti u velkých strojů, resp. mezi stroji v rozlehlých provozech. V současnosti již běžné využití složité elektroniky a softwaru v bezpečnostních modulech a bezpečnostních PLC je jednou z hnacích sil vývoje norem elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností. [3]



Obr. 29 Bezpečnostní relé Preventa

3.6 Návrh řídicího systému

Výrobek bude ručně založen do vysokonapětového testovacího systému. Potom je stisknutím dvouručního ovládacího zařízení spuštěn otočný talíř a zahájena testovací sekvence. Během testování vkládá operátor další výrobek. Po ukončení testovacího procesu a zmáčknutí dvouručního ovládacího zařízení je výrobek ručně vyjmut.

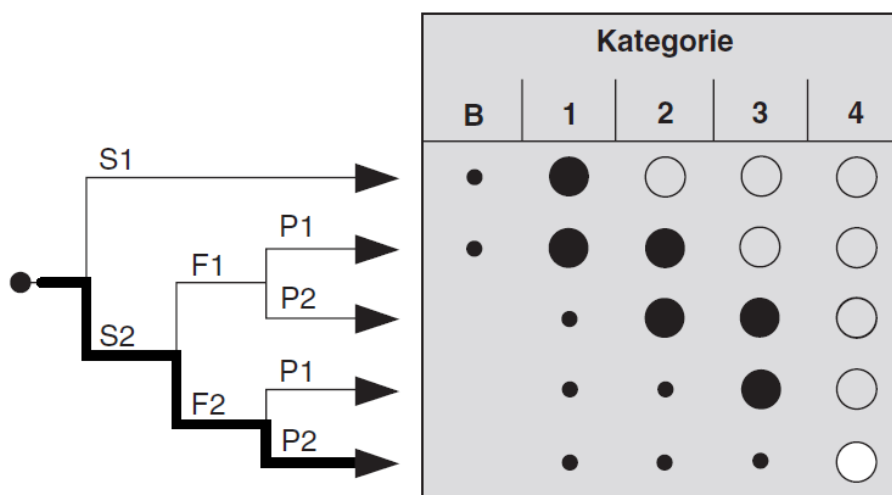
Na ochranu proti dosažení nebezpečných míst je vedle dvouručního ovládacího zařízení použita ještě ochrana polohou a spínače polohy.

Aby během údržby nedošlo ke spuštění testu, je systém vybaven Stop tlačítkem jak na systému, tak samotném testeru a nedochází k vyslání signálu SK z bezpečnostního relé a řídicího softwaru.

3.6.1 Kategorie pro testovací systém

- Selhání ochranných opatření může vést k těžkému poranění elektrickým proudem, nebo poranění rukou. Závažnost zranění je tedy S2
- Testované výrobky musí být v každém pracovním cyklu vloženy do adaptéru, takže pro četnost přístupu do prostoru platí F2
- Při otáčení otočného talíře je rychlost velká, že sotva existuje možnost zabránit úrazu. Rychlost naběhnutí testovaného napětí je vysoká. Pro odvrácení nebezpečí to znamená P2

Tím vyjde 4.kategorie testovacího systému.



Obr. 30 Kategorie systému

3.6.2 Kategorie pro údržbu

- Pro závažnost škody opět S2, neboť v případě závady řídicího systému je nutné počítat s poraněním elektrickým proudem
- Pro četnost přístupu do nebezpečného prostoru platí F1, neboť údržba se provádí několikrát do roka
- Pro odvrácení nebezpečí P2.

Tím vyjde 2-3.kategorie pro údržbu.

4 Testy

4.1 Test vysokým napětím – VN test

Vysokonapětový test (také nazývaný HV nebo VN po celém světě) má nejvyšší prioritu mezi všemi bezpečnostními testy. Jedná se o měření elektrické pevnosti, která kontroluje požadované izolační vzdálenosti. Výsledkem testu je proud, který teče mezi živými částmi a kovovým krytem. Obvykle se vysokonapětový test provádí s přemostěním L a N (fáze a nulový vodič) oproti ochrannému vodiči, nebo jednotlivých vstupů/ výstupů vůči sobě.

Testovací čas a testovací napětí jsou definovány rozdílně v závislosti na normách (VDE, EN, IEC, UL atd.) a ochranné třídě. Během testování se nesmí na/u DUT objevit žádné jiskření nebo porucha. Pokud DUT vydrží určité napětí bez průrazu, je tím zajištěna minimální vzdálenost kovového krytu od elektrických komponentů v zařízení

Při testování s vysokým napětím je nutné rozlišovat mezi testy střídavým a stejnosměrným napětím. V mnoha normách jsou nyní již schváleny testy střídavým i stejnosměrným napětím. [1]

4.1.1 Požadavky, které by měl splňovat vysokonapětový tester

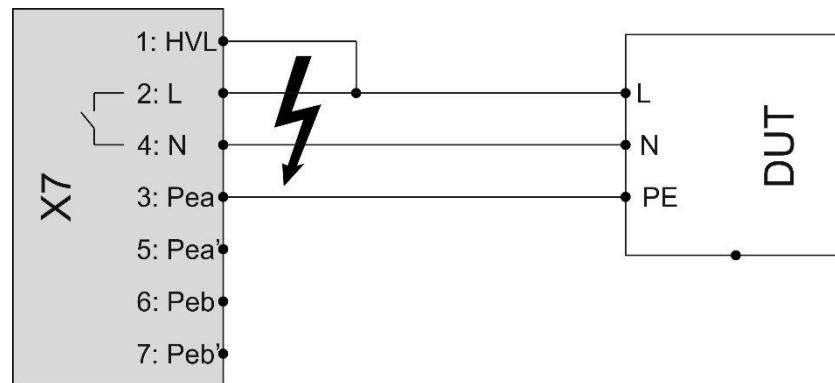
Některé národní i mezinárodní normy určují požadovaný výkon vysokonapětových testerů větší než 500 VA. Dále musí splňovat minimální ustálený proud 100 mA a zkratový proud 200 mA. Tyto hodnoty jsou dány z důvodu, že se v dnešní době používá více zařízení kapacitního charakteru. Připojením takového zařízení k napětí vzniká proud s kapacitním charakterem. Tato kapacitní zařízení mají další problém.

Při připojení zařízení na plné testovací napětí by došlo k proudové špičce a tím k selhání testu či poškození zařízení. Proto musí být testovací napětí generováno vysokonapětovým testerem pozvolna. Z toho vyplývá, že napětí není připojeno náhle, ale hladce s nárůstem napětí od nuly po požadovanou hodnotu a teprve pak se začíná samotným testem. Během rampy se vyhodnocuje rychlost nárůstu proudu. Během testu se vyhodnocuje odchylka od zadaných limitů, které by neměly být překročeny. Test se ukončuje pozvolným vybíjením testovaného zařízení z důvodu vzniku přepětí a tím možného poškození jak testovaného zařízení, tak testovacího systému a z bezpečnostního důvodu, aby operátor neutrpěl úraz elektrickým proudem.

V dnešní době se upouští od testerů s mechanickou regulací a přechází se na testery s elektronickou regulací. [9]

4.1.2 VN-test pro zařízení třídy 1

Princip připojení je na (Obr. 31), platí pro zařízení třídy ochrany 1. Ochrana pro zařízení třídy 1 je zajištěna základní izolací a spojením neživých částí spotřebiče s ochranným vodičem sítě. Spotřebiče této třídy jsou vybaveny přívodní šňůrou s ochranným vodičem, vidlice je opatřena svorkou ochranného vodiče. [1], [2]

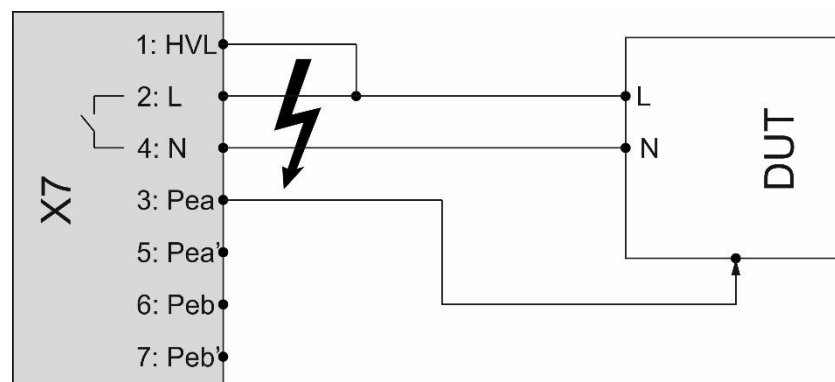


Obr. 31 Připojení zařízení třídy 1

4.1.3 VN-test pro zařízení třídy 2

Tento typ připojení (Obr. 32) se používá pro zařízení třídy ochrany 2 (zařízení bez ochranného vodiče) s dostupnými kovovými částmi. V takovém případě musí být kritické body na skříni DUT (např. šrouby) spojeny ručně.

Ochrana pro zařízení třídy 2 je zajištěna základní izolací a přídatnou izolací (v některých případech je u spotřebičů této třídy základní a přídatná izolace nahrazena izolací zesílenou). Mají celý povrch buď z izolantu nebo mohou mít některé části kovové, avšak vždy oddělené zesílenou izolací. [1], [2]



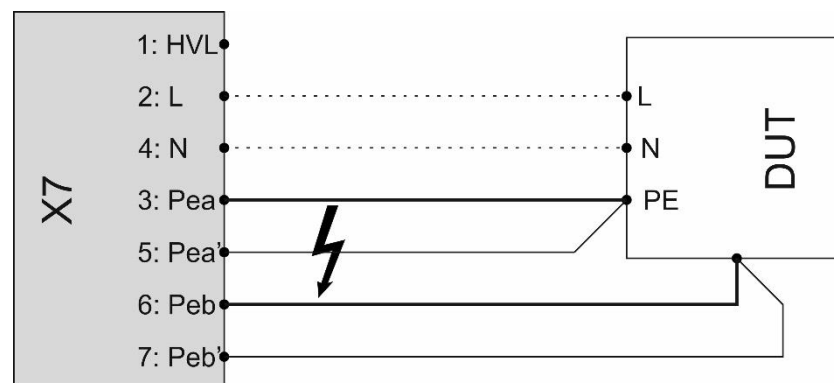
Obr. 32 Připojení zařízení třídy 2

4.2 Test ochranného vodiče – PE test

Test ochranného vodiče (Obr. 33) se aplikuje pouze pro výrobky ochranné třídy I. Testuje se při tom, zda odpor zemního spojení nepřekročí požadovanou hodnotu, která je upřesněná v normách. Cílem tohoto testu je určit, zda se neobjevují nějaké svodové proudy ve výrobcích a jestli je DUT správně vybito proti kostře. Pokud by nebyl dobrý kontakt, mohlo by se vysoké napětí dostat na kovovou část zařízení, proud by pak procházel přes uživatele na zem.

Dalším důvodem důležitosti tohoto testu ochranného vodiče je, že se může izolace zařízení používáním zhoršit. Tento proces může trvat roky a může vést ke zkratu mezi živými částmi a krytem přístroje. Díky tomuto zkratu je pak kryt nabit a v horším případě může být dokonce pod napětím. V tom případě musí být uživatel ochráněn pomocí zemního vodiče, který zkrat svede do země. Funkčnost ochranného zemního systému vybíjí výsledný zkrat proti zemi.

Zkušební proud je 10-30 A, nebo 1,5násobek jmenovitého proudu. Takto vysoký proud je vyžadován z důvodu měření velmi malých odporů (100mΩ) a zajištění stability měření. [1]



Obr. 33 Princip PE testu

4.3 Test průchodnosti – CT test

Při testu průchodnosti se ověřuje, zda jsou dva body mezi sebou spojené. Test průchodnosti se většinou vyhodnocuje pomocí 22 / 24 V DC. Test průchodnosti není žádným bezpečnostním testem. Slouží také k ověření hlavního vypínače výrobku, jestli je zapnut, tak aby se kompletní testy udělaly na výrobku, a ne pouze na vypínači.

V diplomové práci se test bude vykonávat pomocí Beckhoffu, kdy bude připojen začátek kabelu na výstupní terminál a bude se sledovat pomocí vstupního terminálu Beckhoffu přítomnost signálu. Signál by se měl ukázat pouze na přiřazeném vstupu. Když se vyhodnotí signál i na dalších vstupech je kabel poškozen či špatně zapojen.

4.4 Test izolačního odporu – IS test

Pomocí testu izolačního odporu měříme ohmický odpor izolace výrobku. Měří se mezi živými částmi a krytem výrobku nebo mezi různými vnitřními potenciály. Jako zkušební napětí se používá DC napětí a nejčastěji 500 V DC. V praxi podle různých norem se pak často používá další napěťový test s vyšším nebo nižším napětím. Dovolená hranice odporu je definována normou, podle kterých je výrobek testován.

Test izolace může být proveden jak na elektrickém zařízení ochranné třídy 1, tak na zařízení ochranné třídy 2, tak aby se zajistilo, že se na DUT nevyskytují žádné příliš vysoké svodové proudy. Je-li izolační odpor zařízení příliš nízký (možná existuje porucha uzemnění), může být vysoké dotykové napětí na kovových částech, jako je například kryt zařízení. V případě kontaktu takzvaný "dotykový proud" poteče přes člověka do země, což může být život ohrožující v případě přístrojů třídy ochrany 2.

Maximální přípustný proud je nastaven na 12 mA DC. Při dodržení této mezní hodnoty nejsou nutná žádná dodatečná bezpečnostní opatření, a to navzdory vysokým napětím při kontrole izolačního odporu. Obvykle se test izolačního odporu provádí na beznapěťovém DUT. Nicméně testy lze také realizovat s provozním napětím. Zkouška odolnosti izolace je nutná při běžném testu, stejně jako v opakovaných a opravných testech. Může však být rovněž provedena nebo nahrazena testem vysokého napětí. [1]

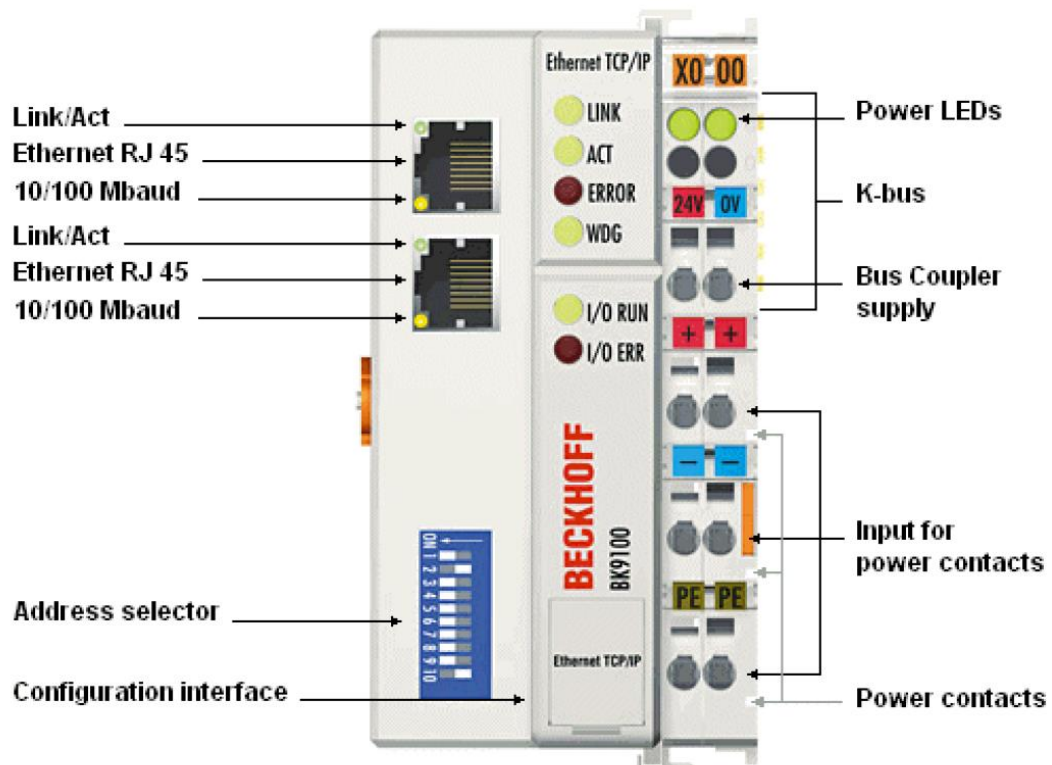
5 Beckhoff – řízení systému

5.1 BK9100 – Coupler

Coupler BK9100 (Obr. 34), napájen 24 V a vstupním proudem 70 mA, slouží jako řídicí a zprostředkovací člen komunikace mezi PC a jednotlivými terminály, připojen ethernetem. Jedna jednotka se skládá z coupleru, I/O terminálů (1-64) a koncového terminálu. Připojené svorky jsou rozpoznány sběrnicí. Coupler BK9100 podporuje 10 Mbit/s a 100 Mbit/s ethernet. Připojení je přes běžné konektory RJ 45. IP adresa je nastavena na přepínači DIP.

Oba ethernetové porty fungují jako 2kanálové přepínače. Terminály I/O proto mohou být konfigurovány s liniovou topologií namísto klasické rozvětvené topologie. V mnoha aplikacích to výrazně snižuje náklady na kabeláž. Maximální vzdálenost mezi dvěma sběrnicemi je 100 m a můžeme jich za sebe zařadit až 20, takže maximální dosažitelná délka jsou 2 km.

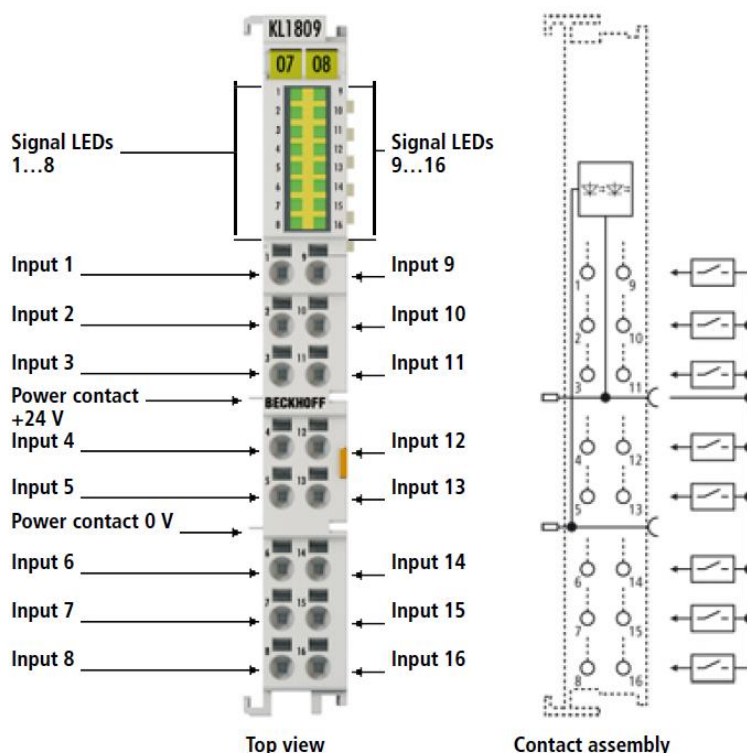
K-bus je datová cesta uvnitř terminálu. K-bus je veden skrz Coupler a jednotlivé terminály pomocí šesti bočních kontaktů. Koncový terminál ukončí K-bus. [4]



Obr. 34 Coupler BK9100 [4]

5.2 KL1809 – Digitální vstupy

Terminál digitálních vstupů (Obr. 35) pracuje na 24 V potenciálu, („1“ 11 až 30 V, „0“ - 3 až 5 V). Obsahuje 16 kanálů, jejichž stav je reprezentován 16 odpovídajícími LED kontrolkami („1“ –svítí, „0“ –nesvítí). Terminál získává binární řídicí signály a přenáší je v elektricky izolované podobě do coupleru. Referenční zemí pro všechny vstupy je napájecí kontakt 0 V. [5]



Obr. 35 Terminál KL1809 [5]

V aplikaci diplomové práce jsou použity dva vstupní terminály. Tyto vstupy jsou použity pro test průchodnosti, pro vstupní signály hlásící stav systému a signál bezpečnostního relé. V tabulce (Tab. 9 Vstupy) jsou uvedeny přiřazení jednotlivých vstupů. Vstupy jsou značeny Ex z důvodu použití německého značení – E jako Eingang.

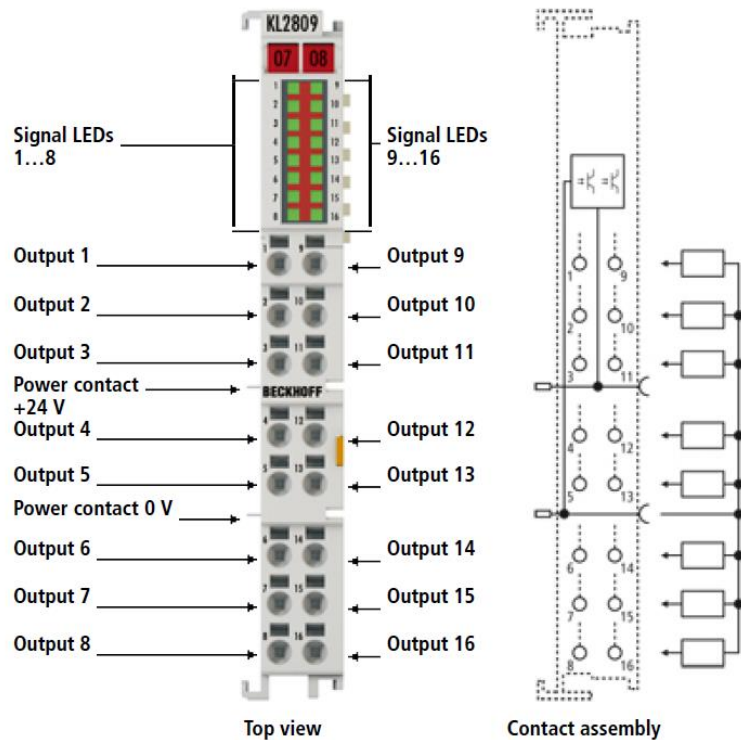
Tab. 9 Vstupy

Vstup	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Jméno	Anl.Ein	Start	Quitt	Yes	No	SK	Reserved	Reserved
Vstup	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16
Jméno	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved

Vstup	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24
Jméno	Pr.CTI_1	Pr.CTI_2	Pr.CTI_3	Pr.CTI_4	Pr.CTI_5	Pr.CTI_6	Pr.CTI_7	Reserved
Vstup	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32
jméno	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved

5.3 KL2809 – Digitální výstup

Terminál digitálních výstupů (Obr. 36) pracuje na 24 V potenciálu a maximálně 0,5 A na kanál. Spojuje binární řídicí signály z coupleru s akčními prvky (aktuátory, relé, signalizace...). Terminál KL2809 je chráněn proti přepólování a výstupy jsou chráněny proti přetížení a zkratu. Obsahuje 16 kanálů, jejichž stav je reprezentován 16 odpovídajícími LED kontrolkami. [6]



Obr. 36 Terminál KL2809[6]

V aplikaci diplomové práce jsou použity tři výstupní terminály. Tyto výstupy jsou použity ke spínání vysokonapětových relé, která jsou použita pro připojení testovaného objektu k testovacímu napětí, oddělovacích relé, která slouží jako oddělení Beckhoffu od vysokého napětí. Tato oddělovací relé jsou sepnuta při testu průchodnosti. V tabulce (Tab. 10) jsou uvedena přiřazení jednotlivých výstupů.

Výstupy jsou značeny Ax z důvodu použití německého značení – A jako Ausgang. Výstupy A1 až A4 slouží k sepnutí vysokonapětových relé připojených k vysokému napětí. Výstupy A5 až A10 slouží k připojení nulového potenciálu. Dále následují výstupy (A11 až A22) ke spínání relé, která oddělují Beckhoff od možného vysokého napětí. Výstupy A24 až A27 slouží k posílání bytové zprávy o stavu testovaného objektu a zařízení. Další výstupy (A33 až A37) spínají relé, která posílají signál z Beckhoffu skrz měřený objekt.

Tab. 10 Seznam výstupů

Terminál 1				
Signal	A1	A2	A3	A4
Name	Pr.HV_1_HV+	Pr.HV_2_HV+	Pr.HV_3_HV+	Pr.HV_4_HV+
Signal	A5	A6	A7	A8
Name	Pr.HV_5_HV-	Pr.HV_6_HV-	Pr.HV_7_HV-	Pr.HV_8_HV-
Signal	A9	A10	A11	A12
Name	Pr.HV_S1_HV-	Pr.HV_Geh_HV-	Pr.DGO_1	Pr.DGI_1
Signal	A13	A14	A15	A16
Name	Pr.DGO_2	Pr.DGI_2	Pr.DGI_3	Pr.DGO_3

Terminál 2				
Signal	A17	A18	A19	A20
Name	Pr.DGI_4	Pr.DGO_4	Pr.DGO_5	Pr.DGI_5
Signal	A21	A22	A23	A24
Name	Pr.DGI_6	Pr.DGI_7	Pr.HV	F_1
Signal	A25	A26	A27	A28
Name	F_2	F_4	F_8	Fail
Signal	A29	A30	A31	A32
Name	Pass	Test	Buzzer	Ready

Terminál 3				
Signal	A33	A34	A35	A36
Name	Pr.CTO_1	Pr.CTO_2	Pr.CTO_3	Pr.CTO_4
Signal	A37	A38	A39	A40
Name	Pr.CTO_5	reserved	reserved	reserved
Signal	A41	A42	A43	A44
Name	reserved	reserved	reserved	reserved
Signal	A45	A46	A47	A48
Name	reserved	reserved	reserved	reserved

5.4 KL9010 – Ukončovací terminál

Ukončovací terminál KL9010 (Obr. 37) je nezbytný pro výměnu dat mezi Couplerem a jednotlivými terminály. Proto musí být terminály typu BKxxxx ukončeny tímto terminálem. Ukončovací terminál nemá žádnou jinou další funkci ani možnost připojení napájení. [7]



Obr. 37 Ukončovací terminál KL9010[7]

6 Vysokonapětové relé

Elektromechanická relé nemohou být nahrazena elektronickými. Jenom nízko-výkonové aplikace mohou nahradit elektromechanická relé elektronickým spínáním. Ale i zde není úplně jasné, jak zajistit oddělené obvody pro budící napětí a přepínací obvody. Nejvhodnější variantou jsou elektromechanická RF relé pro zajištění elektrické izolace.

Dokonce ani zapouzdřená „Reed“ relé nejsou dobrá alternativa. Tento technický koncept je možná levnější, ale nemůže nahradit elektromechanická relé. Nastavení Reed relé je takové, že mají rozepnutý svůj vlastní obvod. To je ale v rozporu při použití v mnoha aplikacích, a proto jsou zakázané. Díky funkčnímu principu Reed relé přepínají také pouze nízké proudy. Proto ani Reed relé nemají mnoho uplatnění.

Na trhu se také objevují vakuová relé. Tato technologie je na principu extrémně malé mezery pro izolaci ve vakuu. Často se používají také vzácné plyny. Díky plynotěsným krabičkám jsou velice drahé a jsou vhodné pouze pro malé proudy. [10]

6.1 Vysokonapětové relé RL21

Vysokonapětové relé RL 21 může přepínat napětí až do 5.000 V AC v kombinaci s vysokými proudy. Často je potřeba přepínat také malá napětí v rozsahu mV a proudy v rozsahu mA. Požadavky na kvalitu přepínacích kontaktů jsou extrémně vysoké. Pro průmyslová použití musí být také zachována životnost. Toto relé může být kombinováno ve zkušebních systémech pro přepínání mezi bezpečnostními a funkčními testy různých elektrotechnických zařízení. Pro přepínání vysokého napětí o hodnotě několika kV, zatímco funkční testy jako např. u motorů s proudem do 30 A. Proud pro sepnutí cívky je 0,25 A při 20 °C Maximální počet sepnutí za 1 s jsou 3. [10]



Obr. 38 Relé RL21[10]

6.2 Vysokonapětové relé RL42

Vlastnosti a možnosti použití tohoto vysokonapětového relé se shodují s vlastnostmi a použitím vysokonapětového relé RL21 s tím, že v tomto případě se jedná o dvou pólové relé.



Obr. 39 Vysokonapětové relé RL42 [10]

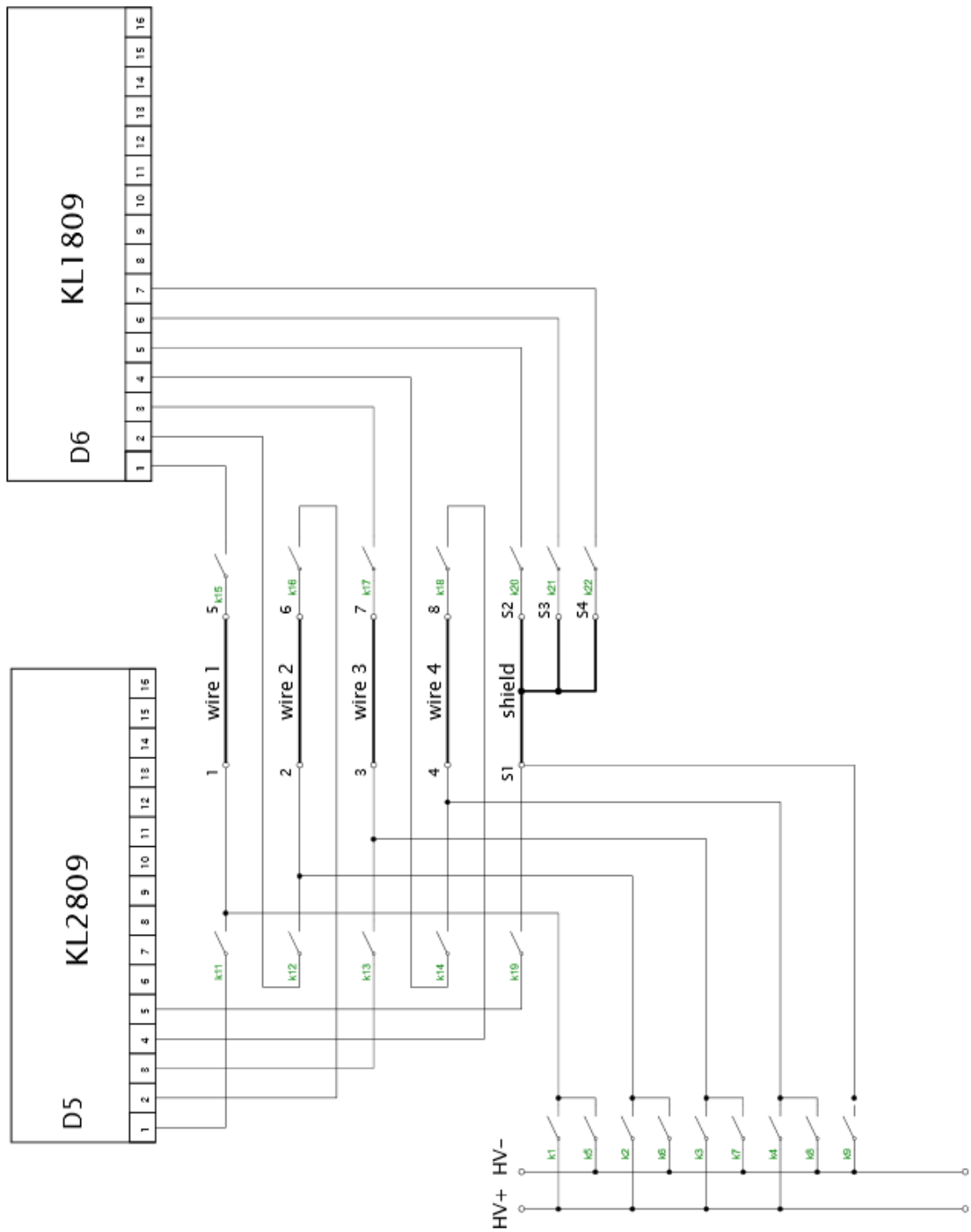
6.3 Vysokonapětové relé RL42-I

Nové vysokonapětové relé RL 42-1 (1 = nízký proud) bylo vyvinuto na základě dlouhé živostnosti již vyráběného relé RL 42. Během vývoje se speciálně zaměřilo na požadavek nízké spotřeby. Spotřeba energie s variantou nízkého proudu je okolo 30 % (0,07 A) v porovnání se standardním VN relé. Toho lze dosáhnout za pomoci nižšího výkonu a zachování stejných přepínacích parametrů. Další výhody jsou nižší ztráta výkonu, menší zahřívání při použití ve velkých reléových maticích. Cívka pracuje s trvalým proudem – nezávisle na ovládacím napětí. Toto nové vysokonapětová relé RL 42-L má spotřebu pouze 1,7 watt. Maximální počet sepnutí za 1 s jsou 3. [10]



Obr. 40 Vysokonapětové relé RL42-I [10]

7 Návrh zapojení

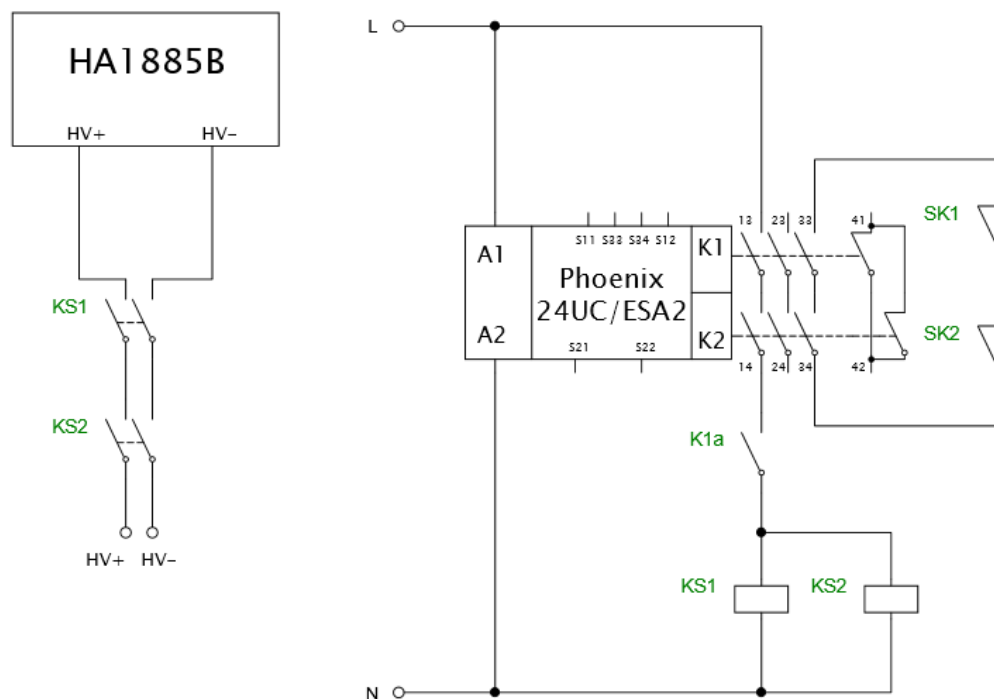


Obr. 41 Návrh zapojení reléové matice

Na obrázku (Obr. 41) je vidět návrh zapojení reléové matice. Aby bylo možné otestovat oba typy kabelů, musely se prostřídat vstupy a výstupy Beckhoffu, jinak by nebylo možné otestovat kabel se zpětnou smyčkou. Jak je vidět v návrhu, vstupní a výstupní terminály jsou odděleny od testovaného kabelu vysokonapětovými relé. Původní návrh byl doplněn o rozpínací kontakty v cestě od vysokého napětí k testovanému kabelu, aby bylo zajištěno oddělení od Beckhoffu. Bohužel rozpínací kontakty nejsou konstruovány pro přenos vysokého napětí a není zajištěno spolehlivé sepnutí rozpínacího kontaktu. Místo toho byly přidány kontakty ovládané bezpečnostním relé. Schéma na obrázku (Obr. 42) ukazuje řešení, použité v testovacím systému. Kontakt K1a je sepnut, po obdržení příkazu z Beckhoffu (výstup A23). Kontakty S11, S12 tvoří první bezpečnostní smyčku a kontakty S21, S22 tvoří druhou bezpečnostní smyčku. Tyto smyčky hlídají rozepnutí obvodu bezpečnostním STOP tlačítkem a hlásí, když otočný talíř není na pozici.

Řízení spínání jednotlivých relé je provedeno softwarem, kde musí být zajištěno, aby nedošlo ke sepnutí oddělovacích relé a relé připojujících vysoké napětí.

Celkové schéma zapojení je v přílohách.

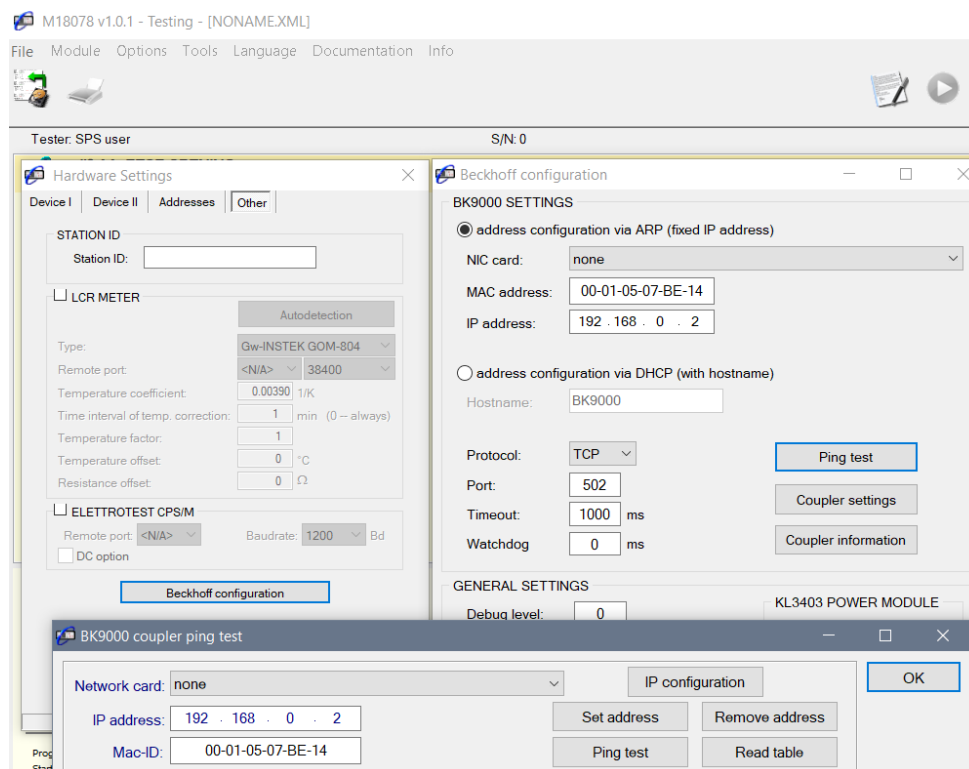


Obr. 42 Návrh zapojení bezpečnostního relé

8 Řízení systému – DAT3805

Software slouží k ovládání testovacího systému pomocí Beckhoffu, nastavení parametrů, vyhodnocení testů a ke komunikaci s vysokonapětovým testerem. Je napsán v Delphi7, kde se programuje v jazyku pascal. Software může ovládat systém pomocí ethernetu, USB či RS-232.

Aby bylo možné ovládat systém, musí se nastavit vstupy a výstupy Beckhoffu. To se dělá v souboru ExtIO.ini, kde se přiřadí jednotlivé pojmenování k daným vstupům a výstupům. Dále, aby bylo možné komunikovat s Beckhoffem, musí se nastavit komunikace, která se nastavuje v hardwarovém nastavení softwaru. Mac-ID je adresa přiřazená výrobcem a je na spodní straně coupleru. Síťová adresa pro Beckhoff je 192.168.0.2. Počítač má přiřazenou 192.168.0.1. Dále se musí v hardwarovém nastavení vybrat typ vysokonapětového testeru. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, vysokonapětový tester typu HA1885B. U testeru se též musí nastavit síťová adresa pro navázání komunikace. Pro tester je přiřazena síťová adresa 192.168.0.3.



Obr. 43 Nastavení Beckhoffu

Po základním nastavení následuje úprava softwaru a vytvoření jednotlivých testovacích kroků.

8.1 Testovací kroky

V softwaru DAT3805 se každý testovací krok skládá ze tří unit. Jeden pro deklaraci proměnných použitých během testování, ukládání hodnot z editoru, pro zobrazení hodnot do výsledků testu a pro tisk testovacího protokolu. Druhá unita slouží k interakci s uživatelem. Zde se nastavují parametry testu a chování při kladném nebo záporném výsledku testu. Poslední unita slouží k samotnému testování. Nachází se zde konečný stavový automat a předávají se zde výsledky do první unity. Může být také interaktivní, kdy je potřeba během testu načíst obrázek, bar kód, potvrdit výsledek při záporném výsledku testu atd.

8.2 Test průchodnosti

Jak již bylo napsáno v předchozích kapitolách, testem průchodnosti se kontroluje, jestli je požadovaný začátek a konec vodičve spojen. V diplomové práci se dále kontrolují ostatní konce vodičů, jestli nedošlo k nechtěnému spojení s ostatními vodiči. Dále bylo spojeno testování všech žil do jednoho testovacího kroku, z důvodu ušetření času.

The screenshot shows the configuration interface for a Continuity Test (CT). The window title is "(CT) Continuity Test". At the top, it indicates "Step #: 1" and "Title: Continuity Test". The main configuration area is divided into several sections:

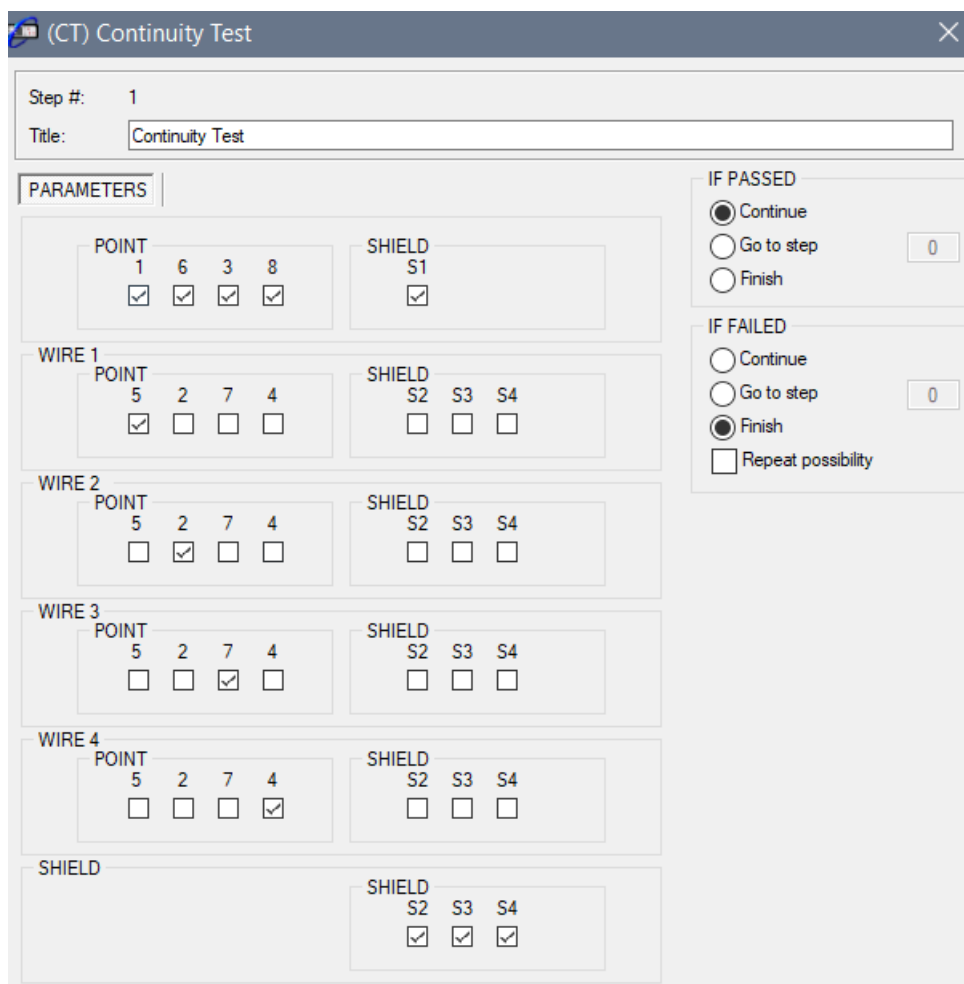
- PARAMETERS:** This section contains settings for individual wires and shields.
 - WIRE 1:** POINT (1, 6, 3, 8) and SHIELD (S1).
 - WIRE 2:** POINT (5, 2, 7, 4) and SHIELD (S2, S3, S4).
 - WIRE 3:** POINT (5, 2, 7, 4) and SHIELD (S2, S3, S4).
 - WIRE 4:** POINT (5, 2, 7, 4) and SHIELD (S2, S3, S4).
 - SHIELD:** SHIELD (S2, S3, S4).
- IF PASSED:** Radio buttons for "Continue" (selected), "Go to step" (with a "0" in a box), and "Finish".
- IF FAILED:** Radio buttons for "Continue", "Go to step" (with a "0" in a box), and "Finish" (selected). A checkbox for "Repeat possibility" is also present.

Obr. 44 Nastavení CT testu

8.2.1 StepCT_Edit

Na obrázku (Obr. 44) je vidět interface pro nastavení testu průchodnosti. První box slouží k výběru začátku žíly. Výběrem daného začátku se zpřístupní box pro zvolení konce. Například výběrem bodu jedna se zpřístupní box s popisem „žíla jedna“. Dále se zvolí koncový bod, kde se očekává logická „1“. Krok je vytvořen tak, aby i když zákazník bude chtít testovat nový typ kabelu, nemusel se předělovat testovací krok. Proto se zde nachází více koncových bodů, než kolik se skutečně v diplomové práci bude testovat.

Pro testování kabelu typu jedna se zvolí všechny vstupní body. A tím se zpřístupní všechny boxy. Pro nastavený bod 1 se zvolí v boxu žíla 1 koncový bod 5. Pro bod 6 se v boxu žíla 2 zvolí bod 2. Pro bod 3 se v boxu žíla 3 zvolí bod 7. Pro bod 8 se v boxu žíla 4 zvolí bod 4. Pro bod S1 se v posledním boxu zvolí přítomné stínění.



Obr. 45 Nastavení pro kabel typu 1

8.2.2 StepCT_Test

Stavový automat pro testování průchodnosti se skládá z 16 jednotlivých stavů. Na začátku testu se vyresetují všechna relé, která udávají chybový kód a sepnou se všechny kontakty oddělující vstupy a výstupy Beckhoffu od vysokého napětí.

```

case TestPart of
1: begin
    BkResetOutput('DO_F_1',False);
    BkResetOutput('DO_F_2',False);
    BkResetOutput('DO_F_4',False);
    BkResetOutput('DO_F_8',False);

    for i:=1 to 5 do BkSetOutput('DO_Pr.DGO_' + IntToStr(i));
    for ii:=1 to 7 do BkSetOutput('DO_Pr.DGI_' + IntToStr(ii));

    WinDelay(200);
    TestPart := 11;
end;

```

Obr. 46 První krok stavového automatu

V dalším kroku se nejdříve nastaví výstup pro první žílu kabelu a pak se kontrolují jednotlivé vstupy a načtou se do proměnných. Potom se výstup nastaví do logické „0“. A to pouze když je první žíla vybrána. Tento postup se zopakuje pro každou žílu kabelu.

```

11: begin
    if (PrgStep.sSet01) then
    begin
        BkSetOutput('DO_Pr.CTO_1');
        log.event(STACK_LEVEL,'CTO_1' + showBool(BkReadOutput('DO_Pr.CTO_1')));
        WinDelay(cDelayBefore);

        PrgStep.ReadI2 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_1');
        PrgStep.ReadI4 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_2');
        PrgStep.ReadI5 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_3');
        PrgStep.ReadI7 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_4');
        PrgStep.ReadIs2 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_5');
        PrgStep.ReadIs3 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_6');
        PrgStep.ReadIs4 := BkReadInput('DI_Pr.CTI_7');

        logS := logS + Format('i2=%d ', [ord(PrgStep.readi2)]);
        logS := logS + Format('i4=%d ', [ord(PrgStep.readi4)]);
        logS := logS + Format('i5=%d ', [ord(PrgStep.readi5)]);
        logS := logS + Format('i7=%d ', [ord(PrgStep.readi7)]);
        logS := logS + Format('is2=%d ', [ord(PrgStep.readis2)]);
        logS := logS + Format('is3=%d ', [ord(PrgStep.readis3)]);
        logS := logS + Format('is4=%d ', [ord(PrgStep.readis4)]);

        BkResetOutput('DO_Pr.CTO_1');
    end;
    TestPart := 12;
end;

```

Obr. 47 Kontrola vstupů

Potom následuje mezi vyhodnocení pro nastavení chybových relé. Zde se kontroluje, zda byl vstup vybrán a jestli se objevila logická 1. Je zde použit operátor XOR. Zde se tedy detekuje rozdíl mezi nastavenými a načtenými údaji. Potom se nastaví příslušná kombinace chybových relé. Tato kombinace je spínaná podle požadavků zákazníka dle tabulky 1 a dojde k ukončení automatu, aby nedošlo k přepsání chybového kódu. Pokud k rozdílu nedošlo zkontroluje se další nastavená žíla. Tento postup je zopakován pro každou žílu.

```
20: begin
    GlobalStatus := STA_TEST_FINISHED;
    ShowValuesInTree(PrgStep, 0);
    PrgStep.TestStatus := FINISHING;

    //wire 1 fail
    if PrgStep.sSet01 then
        begin
            if ( PrgStep.I5 xor PrgStep.ReadI5 or
                PrgStep.I2 xor PrgStep.ReadI2 or
                PrgStep.I7 xor PrgStep.ReadI7 or
                PrgStep.I4 xor PrgStep.ReadI4 or
                PrgStep.IS2 xor PrgStep.ReadIS2 or
                PrgStep.IS3 xor PrgStep.ReadIS3 or
                PrgStep.IS4 xor PrgStep.ReadIS4 )
            then
                begin
                    BkSetOutput('DO_F_4');
                    TestPart := 99;
                end
            else TestPart := 21;
        end
    else TestPart :=21;
end;
```

Obr. 48 Mezi vyhodnocení pro žílu 1

V posledním kroku se rozeznou všechny oddělovací kontakty a testovací krok se ukončí.

```
99: begin
    for i:=1 to 5 do BkreSetOutput('DO_Pr.DGO_' + IntToStr(i));
    for ii:=1 to 7 do BkreSetOutput('DO_Pr.DGI_' + IntToStr(ii));

    TestPart := 0;
end;
```

Obr. 49 Poslední krok stavového automatu

8.2.3 StepCT

Samotné vyhodnocení testu se provádí v této unitě. Je zde použita stejná syntaxe jako u vyhodnocení pro spínání chybových relé. V případě nalezení rozdílu a tím chyby, se do počtu chyb přičte jednička. Pokud je počet chyb větší jak nula, nastaví se do výsledku kroku hodnota udávající, že test neprošel. Toto testování se provádí pro jednotlivé žíly, pokud je žíla vybrána.

```

if sSet01 then
begin
  if i2 xor readi2 then n := n + 1;
  if i4 xor readi4 then n := n + 1;
  if i5 xor readi5 then n := n + 1;
  if i7 xor readi7 then n := n + 1;
  if iS2 xor readiS2 then n := n + 1;
  if iS3 xor readiS3 then n := n + 1;
  if iS4 xor readiS4 then n := n + 1;
end ;

if n > 0 then Self.stepResult := RES_FAILED;

```

Obr. 50 Vyhodnocení CT testu

Výsledky testu se ukazují v okně vyhrazeném pro výsledky. Aby bylo možné zobrazení výsledků, musí se nejdříve vytvořit předpis v XML souboru. Zde se napíše kód, jak by mělo vypadat rozložení výsledků. Jak je vidět na Obr. 51, je zde podmínka pro zobrazení daného vstupu. Tento vstup se zobrazí pouze, když je vybrán. Kód je napsán pro každý vstup a žílu.

```

<STEP_CT desc="Continuity test">
  <line>
    <name><base>Set Output 1</base></name>
    <value>xx</value>
  </line>
  <line>
    <cond>(SETI2 != 0)</cond>
    <name><base>Input 2 read</base></name>
    <value>TEXTI2</value>
  </line>

```

Obr. 51 Kód pro zobrazení výsledků CT testu

Dále bylo potřeba nahradit ve výsledcích logické „1“ a „0“ za textový ekvivalent (Yes, No).

```

//for showing in result
if PrgStep.readi2 then TextI2 := 'Yes' else TextI2 := 'No';
if PrgStep.readi4 then TextI4 := 'Yes' else TextI4 := 'No';
if PrgStep.readi5 then TextI5 := 'Yes' else TextI5 := 'No';
if PrgStep.readi7 then TextI7 := 'Yes' else TextI7 := 'No';
if PrgStep.readiS2 then TextIS2 := 'Yes' else TextIS2 := 'No';
if PrgStep.readiS3 then TextIS3 := 'Yes' else TextIS3 := 'No';
if PrgStep.readiS4 then TextIS4 := 'Yes' else TextIS4 := 'No';

```

Obr. 52 Nahrazení

```

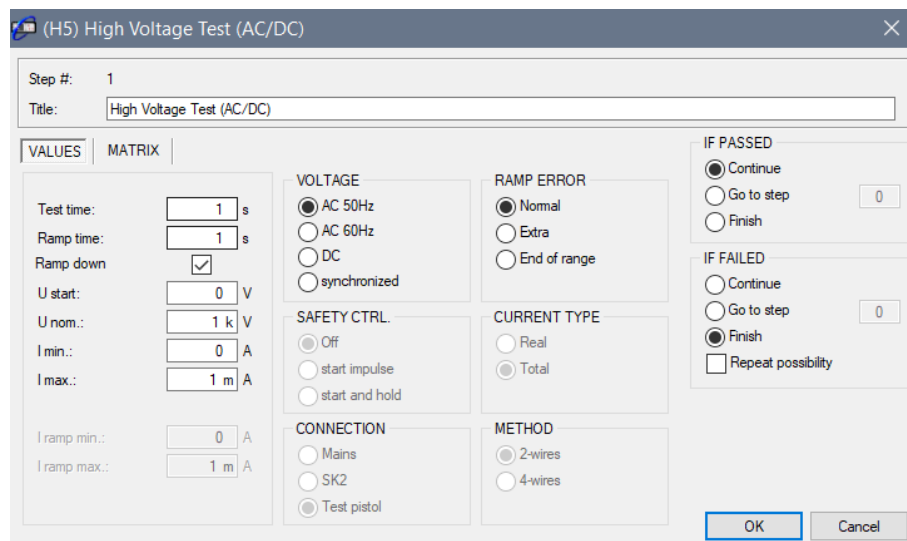
# 3 — CT : Continuity Test
xx Set Output 1 xx
input 5 read : Yes
xx Set Output 3 xx
Input 7 read : No
xx Set Output 6 xx
Input 2 read : No
xx Set Output 8 xx
Input 4 read : No
xx Set Output S1 xx
Input S2 read : No
Input S3 read : No
Input S4 read : No

```

Obr. 53 Výsledek CT testu

8.3 Test vysokým napětím

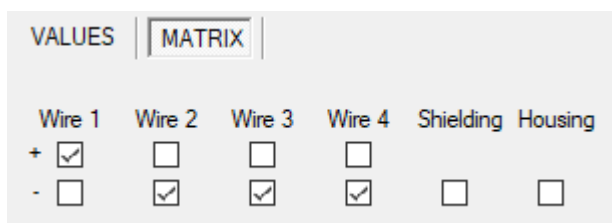
Test vysokým napětím se provádí pro každou žílu samostatně. Je použito dvou vodičové měření a jsou použity zadní konektory X13 a X14.



Obr. 54 Nastavení H5 testu

8.3.1 StepH5_Edit

Na obrázku (Obr. 54) je vidět interface pro nastavení testu vysokým napětím. V záložce matrix se potom nachází spínací matice. Lze spínat pouze kladnou nebo zápornou větev pro jednu žílu. Jinak by došlo ke zkratu.



Obr. 55 Spínací matice pro H5 test

8.3.2 StepH5_Test

Stavový automat pro testování vysokým napětím se skládá z 17 jednotlivých stavů. Na začátku testu se vyresetují všechna relé, která udávají chybový kód a nastaví se matice podle zvolených bodů. Dále se sepne relé připojující vysoké napětí. V dalším kroku se nastaví parametry testu do vysokonapěťového testeru a zahájí se testování. V dalších krocích se získávají naměřené hodnoty a kontroluje se, jestli nedošlo k překročení testovacího času, nebo nedošlo k chybě. Jestli došlo k chybě během testu, tester přestane dávat vysoké napětí, a potom se porovnává chybový kód získaný z testeru. Jestli tester žádný neposlal a překročil se

testovací čas, test se ukončí a vyresetují se všechna relé. V opačném případě se zjišťuje, kde došlo k chybě a nastavení příslušných chybových kódů (Obr. 56). Jestli došlo k průrazu, nejdřív se zjistí, zda to nebylo proti stínění. Pokud ne, pokračuje se ve zjišťování, mezi kterými žilami došlo k průrazu.

```

26: begin
    if PrgStep.errCode = H5_LOWVOLTAGE then
        begin
            BkSetOutput('DO_F_1');
            TestPart := 99;
        end;

    if PrgStep.errCode = H5_LOWCURRENT then
        begin
            BkSetOutput('DO_F_2');
            TestPart := 99;
        end;

    if PrgStep.errCode = H5_HIGHCURRENT then
        // hv fail wire againts shielding
        if ((PrgStep.sSet01 or PrgStep.sSet03 or PrgStep.sSet05 or PrgStep.sSet07) and PrgStep.sSet010) then
            begin
                BkSetOutput('DO_F_8');
                BkSetOutput('DO_F_4');
                BkSetOutput('DO_F_1');
                TestPart := 99;
            end
        else TestPart := 27;

    if PrgStep.ErrCode <> 0 then
        begin
            PrgStep.stepResult := RES_FAILED;
        end
    else testpart := 99;
end;

```

Obr. 56 Nastavení chybových kódů při HV testu

8.3.3 StepH5

Vyhodnocení vysokonapětového testu probíhá tak, že se kontrolují naměřené hodnoty napětí i proudu s nastavenými limity. Pokud je skutečná hodnota v limitech, znamená to, že test prošel.

```

if ( stepResult = RES_INVALID ) then
begin
    log.event(STACK_LEVEL, 'no result from DLL, manual calculation');

    resOk := TRUE;
    self.stepResult := RES_FAILED;

    resOk := resOk and checkParamLimits(self.Ireal, self.Imin, self.Imax);
    resOk := resOk and checkParamLimits(self.Ureal, self.Unom - 100.0, self.Unom + 100.0);

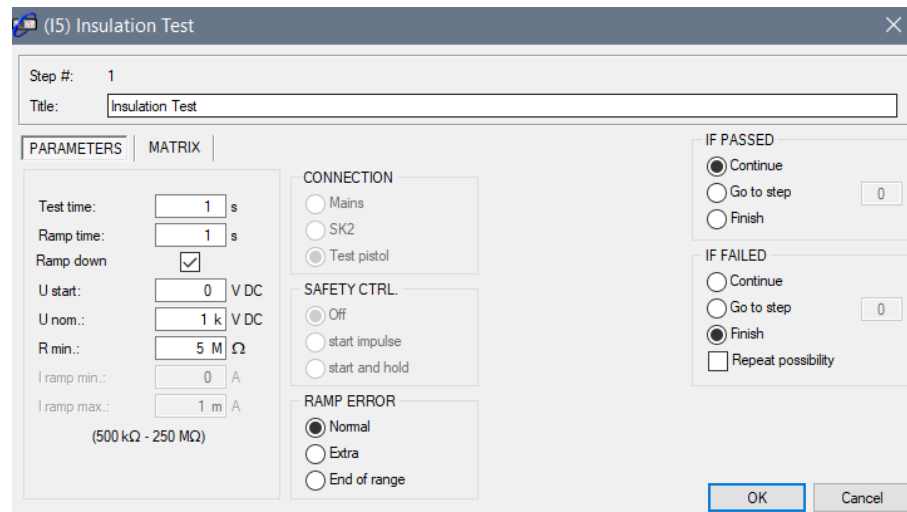
    if ( resOk ) then
        self.stepResult := RES_PASSED;
end;

```

Obr. 57 Vyhodnocení vysokonapětového testu

8.4 Test izolačního odporu

Test izolačního odporu se provádí pro každou žílu samostatně. Je použito dvou vodičové měření a jsou použity zadní konektory X13 a X14.



Obr. 58 Nastavení I5 testu

8.4.1 StepI5_Edit

Na obrázku (Obr. 58) je vidět interface pro nastavení testu izolačního odporu. V záložce matrix se potom nachází spínací matice. Rozvržení spínací matice je stejné jako u vysokonapětového kroku. Lze spínat pouze kladnou nebo zápornou větev pro jednu žílu. Jinak by došlo ke zkratu.

8.4.2 StepI5_Test

Stavový automat pro testování izolačního odporu se skládá z 17 jednotlivých stavů. Na začátku testu se vyresetují všechna relé, která udávají chybový kód a nastaví se matice podle zvolených bodů. Dále se sepne relé připojující vysoké napětí. V dalším kroku se nastaví parametry testu do vysokonapětového testeru a zahájí se testování. V dalších krocích se získávají naměřené hodnoty a kontroluje se, jestli nedošlo k překročení testovacího času, nebo nedošlo k chybě. Jestli došlo k chybě během testu, tester přestane dávat vysoké napětí, a potom se porovnává chybový kód získaný z testeru. Jestli tester žádný neposlal a překročil se testovací čas, test se ukončí a vyresetují se všechna relé. V opačném případě se zjišťuje, kde došlo k chybě a nastavení příslušných chybových kódů. Jestli došlo k průrazu, nejdřív se zjistí, zda to nebylo proti stínění. Pokud ne, pokračuje se ve zjišťování, mezi kterými žilami došlo k průrazu.

```

26: begin
    if PrgStep.errCode = IS_LOWVOLTAGE then
        begin
            BkSetOutput('DO_F_1');
            TestPart := 99;
        end;

    if PrgStep.errCode = IS_HIGHRESISTANCE then
        begin
            BkSetOutput('DO_F_2');
            TestPart := 99;
        end;

    if PrgStep.errCode = IS_LOWRESISTANCE then
        // IS fail wire againts shielding
        if ((PrgStep.sSet01 or PrgStep.sSet03 or PrgStep.sSet05 or PrgStep.sSet07) and PrgStep.sSet010) then
            begin
                BkSetOutput('DO_F_8');
                BkSetOutput('DO_F_4');
                BkSetOutput('DO_F_1');
                TestPart := 99;
            end
        else TestPart := 27;

    if PrgStep.ErrCode <> 0 then
        begin PrgStep.stepResult := RES_FAILED;
        end
    else testpart := 99;
end;

```

Obr. 59 Nastavení chybových kódů při IS testu

8.4.3 StepI5

Vyhodnocení izolačního testu probíhá tak, že se kontrolují naměřené hodnoty napětí i odporu s nastavenými limity. Pokud je skutečná hodnota v limitech, znamená to, že test prošel.

```

if ( stepResult = RES_INVALID ) then
begin
    log.event(STACK_LEVEL, 'no result from DLL, manual calculation');

    resOk := TRUE;
    self.stepResult := RES_FAILED;

    resOk := resOk and checkParamLimits(self.Rreal, self.Rmin, NaN);
    resOk := resOk and checkParamLimits(self.Unom, self.Unom - 100.0, self.Unom + 100.0);
    resOk := resOk and (not self.RrealOL);

    if ( resOk ) then
        self.stepResult := RES_PASSED;
end;

```

Obr. 60 Vyhodnocení izolačního testu

9 Oživení testovacího systému

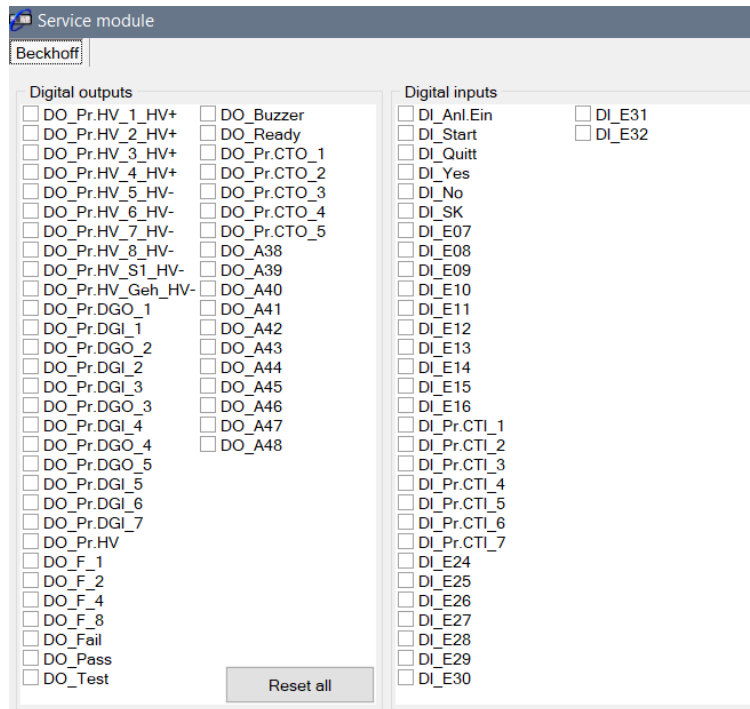
Po zkompletování testovacího systému a kontrole zapojení podle schématu, nastává čas na oživení. Zapnutím hlavního vypínače se zapne vysokonapětový tester a průmyslový počítač. Poté se nainstaluje na počítač řídicí software.



Obr. 61 Sestavený testovací systém

V prvním kroku se zkontrolovalo, zda všechna relé spínají. To se udělalo pomocí servisního modulu (Obr. 62), kde jsou vidět všechny vstupy a výstupy. Poté se postupně aktivovaly jednotlivé výstupy a měřilo se, zda dané relé je sepnuté.

Poté došlo na testování samotných testovacích kroků a jejich odladění. Kontrolovalo se, zda fungují tak jak mají a v případě testu, který neprošel, zda se správně spínají jednotlivé chybové kódy.



Obr. 62 Servisní modul

Nakonec se provedl bezpečnostní test systému. To se provedlo jiným zkušebním systémem. Kontrolovalo se, zda jsou vodivě pospojovány jednotlivé části systému, elektrická pevnost a napětí na napájecích rozvodech.

Program:	system_safety_test
Tester:	AUTODiAGN
Device:	M18078
Serial no.:	1902064
Remark:	Mechatronik Design Solution, CZ
Started on:	20.03.2019 07:44:44
Finished on:	20.03.2019 07:44:44
Result:	PASSED
#02 PW: Front Plate Main switch	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.7 A
R min. = 0 Ω	R real = 129 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#03 PW: Front Plate	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.7 A
R min. = 0 Ω	R real = 127 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#04 PW: K1 unit	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.8 A
R min. = 0 Ω	R real = 136 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#05 PW: Montage plate 1	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.3 A
R min. = 0 Ω	R real = 126 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#06 PW: system cabinet left side	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.8 A
R min. = 0 Ω	R real = 134 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#07 PW: system cabinet right side	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.8 A
R min. = 0 Ω	R real = 135 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#08 PW: system cabinet roof	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.5 A
R min. = 0 Ω	R real = 134 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#09 PW: system cabinet door	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.7 A
R min. = 0 Ω	R real = 137 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#10 PW: rear plate with connectors	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.3 A
R min. = 0 Ω	R real = 128 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#11 PW: rear plate	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.5 A
R min. = 0 Ω	R real = 127 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#12 PW: Chassis	PASSED
Test time = 3 s	
I min. = 25 A	I real = 27.7 A
R min. = 0 Ω	R real = 133 mΩ
	U max. = 12 V
	R max. = 300 mΩ
#13 I1: Isolationsprüfung	PASSED
Test time = 3 s	
U nom. = 300 V DC	U real = 510 V
R min. = 50 MΩ	R real = 50 MΩ
#14 HS: Hochspannungsprüfung (AC/DC)	PASSED
Test time = 3 s	
Ramp time = 1 s	
U start = 0 V	
U nom. = 1.3 kV AC 50Hz	U real = 1.3 kV
U min. = 800 V	I real = 1.17 mA
I min. = 0 A	I max. = 99 mA
#15 TV: Teilsichtschrit	YES

Question	Answer: YES
#17 HS: Hochspannungsprüfung an 2L und 2N (AC/DC)	PASSED
Test time = 3 s	
Ramp time = 1 s	
U start = 0 V AC 50Hz	
U nom. = 1.3 kV AC 50Hz	U real = 1.3 kV
U min. = 800 V	I real = 22.5 mA
I min. = 0 A	I max. = 1.6 kV
	I max. = 99 mA
#19 AI: Ableitstromprüfung	PASSED
Test time = 4 s	
Method = A1	I real = 281 mA
U nom. = 253 V AC	I leak. = 1.54 mA
I max. = 9 mA	
#20 AI: Ableitstromprüfung	PASSED
Test time = 4 s	
Method = A2	I real = 278 mA
U nom. = 253 V AC	I leak. = 1.56 mA
I max. = 9 mA	
#21 AI: Ableitstromprüfung	PASSED
Test time = 4 s	
Method = B	I real = 3 mA
U nom. = 253 V AC	I leak. = 66.5 µA
I max. = 9 mA	
#22 BC: HA1885B19012161	PASSED
barcode : 19012161	
#23 BC: HA1885B	PASSED
barcode : 19012161	
#24 BC: NS5810-0-019020461	PASSED
barcode : 19020461	
#25 BC: Exone PC	PASSED
barcode : 3038633v001	
#26 BC: System M18078	PASSED
barcode : 19032064	

Obr. 63 Protokol testu bezpečnosti systému

10 Závěr

Dle požadavků byl vysokonapětový testovací systém navrhnout, sestaven, zapojen a „oživen“.

V první kapitole byly shrnuty požadavky zákazníka. Jak by měl testovací systém vypadat, co by měl obsahovat a co by měl testovat.

Dále jsou popsány jednotlivé komponenty, které se v systému nacházejí. Vysokonapětový tester, jeho rozhraní a testy, které lze provádět s tímto typem testeru. Je zde také popsán řídicí automat Beckhoff, vysokonapětová relé a možné bezpečnostní prvky.

V další kapitole se nachází návrh zapojení, jeho celková podoba se nachází v přílohách. Poté jsou popsány úpravy v řídicím softwaru DAT3805.

Nakonec bylo popsáno, jak se testovací systém oživoval a dolad'ovaly se poslední maličkosti. Následně proběhla zkouška bezpečnosti systému.

Poté proběhla prezentace zákazníkovi a ten si testovací systém převzal.

11 Literatura

- [1] SPS ELECTRONIC, *Operating manual safety tester series HA1885-B*, SPS electronic, 2018
- [2] ČSN ISO 33 2000-4-41 ED2, *Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti-Ochrana před úrazem elektrickým proudem*, Praha: Český normalizační institut, 2007
- [3] SCHNEIDER ELECTRIC, *Bezpečnostní příručka pro strojní zařízení*, [online]. Poslední změna 05.12.2018. [Cit. 05.12.2012]. Dostupné z: <http://preventa.schneider-electric.cz>
- [4] BECKHOFF, *Bus Coupler for Ethernet BK9100*, Beckhoff, 2016
- [5] BECKHOFF, *KL1809 / HD Bus Terminal*, Beckhoff, 2016
- [6] BECKHOFF, *KL2809 / HD Bus Terminal*, Beckhoff, 2016
- [7] BECKHOFF, *KL9010 / HD Bus End Terminal*, Beckhoff, 2016
- [8] FAKULTA INFORMATIKY MASARYKOVY UNIVERZITY, *Základy IT gramotnosti*, [online]. Dostupné z <https://is.muni.cz/do/ics/el/sitmu/law/html/lokalni-site-lan.html>
- [9] SPS ELECTRONIC, *Vysokonapětové testery*, [online] SPS electronic, Dostupné z <https://www.spselectronic.com/cz/produkty/vysokonapetove-testery/>
- [10] SPS ELECTRONIC, *Relays RL 42-I/RL 42 / RL 21*, SPS electronic, 2018
- [11] SCHNEIDER ELECTRIC, *Obchodně-technická dokumentace bezpečnosti a detekce*, SCHNEIDER ELECTRIC, 2017