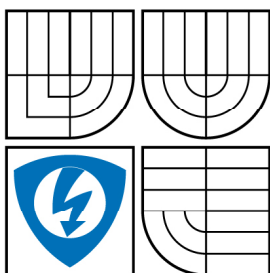


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

NÁVRH PŘEPÍNACÍ JEDNOTKY DODATEČNÉHO KÓDOVÁNÍ

DESING OF SUPPLEMENTARY CODING SWITCHING UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

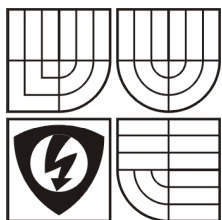
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN ŠTEFL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR FIEDLER, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Štefl Martin, Bc.

Ročník: 2

ID: 47100

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Návrh přepínací jednotky dodatečného kódování

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s funkcí výstroje dvoupásových kolejových obvodů v železniční dopravě a jejich dodatečného kódování pro liniový vlakový zabezpečovač.
2. Seznamte se s bezpečnostními parametry a požadavky vycházejícími z TŽN 34 2606
3. Navrhněte přepínací jednotku dodatečného kódování napájecího konce kolejového obvodu s následujícími základními technickými parametry:
 - maximální přepínané proudy 3A
 - kmitočet přepínaných proudů 25 Hz až 1 kHz
 - kmitočet přepínání 0,5 Hz až 10 Hz
 - spínání při nulovém napětí spínaného signálu
 - rozpínání při nulovém proudu rozpojovaného signálu
 - elektrická pevnost mezi řídicí jednotkou a výkonovou částí 4 kV
 - závěrné napětí spínacích prvků min. 1200V
 - řízení mikroprocesorem

Při návrhu zohledněte požadavky TNŽ 34 2606, v závěru práce zhodnoťte míru splnění požadavků této normy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura: viz zadání semestrální práce

Termín zadání: 3.12.2007

Termín odevzdání: 26.5.2008

Vedoucí projektu: Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Návrh přepínací jednotky dodatečného kódování

Diplomová práce

Obor studia: Kybernetika, automatizace a měření

Autor: Martin Štefl

Vedoucí práce: Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

Anotace:

Téma diplomové práce je z oblasti řídicí a zabezpečovací techniky pro železniční dopravu. Řeší se zde problém návrhu a praktické realizace funkčního vzorku přepínací jednotky napájecího konce kolejového obvodu. Přepínací jednotka umožňuje činnost liniového vlakového zabezpečovače. Osnovu návrhu tvoří výkonový spínač ovládaný mikroprocesorem. Z důvodu zvýšení bezpečnosti jednotka obsahuje ještě kontrolní mikroprocesor, který kontroluje správnou činnost pracovního mikroprocesoru a bezporuchový stav výkonového spínače.

Klíčová slova: liniový vlakový zabezpečovač, kolejový obvod, mikroprocesor, tranzistor IGBT

Brno University of Technology
Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Control, Measurement and Instrumentation

Design of supplementary coding switching unit

Thesis

Specialization of study: Cybernetics, Control and Measurement
Student: Martin Štefl
Supervisor: Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

Abstract :

The diploma thesis is dealing with the area of controlling and safety technology for the railway transportation. The problems of the design and practical realization of an functional sample of switching unit supplying the ends of a track circuit are solved here. The switching unit enables the operation of the train control system. The outline of the design is formed by a power switch operated with a microprocessor. In addition, for the increase in safety the switching unit contains a control processor, which is controlling the right function of a work microprocessor and the failure-free state of a power switch.

Keywords : train control system, track circuit, microprocessor, IGBT

Bibliografická citace

ŠTEFL, M. *Návrh přepínací jednotky dodatečného kódování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 49 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Návrh přepínací jednotky dodatečného kódování" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

P o d ě k o v á n í

Děkuji tímto konzultantovi Ing. Milanu Šestákovi a vedoucímu Ing. Petru Fiedlerovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V Brně dne :

Podpis:

OBSAH

1. PROSTŘEDKY K ŘÍZENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY.....	6
1.1 Úvod do problematiky	6
1.2 Časová soustava.....	6
1.3 Prostorová soustava	7
1.3.1 Návěstění.....	7
1.3.2 Způsoby zjišťování obsazenosti traťového oddílu	8
1.3.3 Paralelní kolejový obvod	9
1.3.4 Bodové zjišťování volnosti traťového oddílu	10
2. ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ S DVOUPÁSOVÝMI KOLEJOVÝMI OBVODY.....	11
2.1 Dvoupásové kolejové obvody	11
2.1.1 Stykový transformátor	12
2.2 Traťové zabezpečovací zařízení	13
2.2.1 Kolejový přijímač.....	14
2.2.2 Elektronický přepínač TYS 4.....	14
2.2.3 Elektronický přepínač TYS 5.....	14
2.2.4 Zdroj kódovacího proudu.....	14
2.2.5 Zdroj signálního proudu.....	15
2.2.6 Blok řízení a diagnostiky	15
2.3 Liniový vlakový zabezpečovač (LVZ)	15
2.3.1 Pevná část LVZ.....	15
2.3.2 Mobilní část LVZ	16
2.3.3 Funkce LVZ	17
2.3.4 Vliv elektrické trakce na činnost LVZ.....	17
2.4 Popis funkce Zabezpečovacího zařízení a vlakového zabezpečovače.....	17
2.4.1 Volný traťový oddíl	17
2.4.2 Obsazený traťový oddíl	18
3. NÁVRH PŘEPÍNAČÍ JEDNOTKY.....	20
3.1 Stávající přepínací jednotka tys 5	20
3.2 blokové schéma navrhované přepínací jednotky.....	21

3.3	Obvodové řešení přepínací jednotky	22
3.3.1	Tranzistorový spínací stupeň	22
3.3.2	Detektor napětí	24
3.3.3	Detektor proudu.....	24
3.3.4	Napájení jednotky.....	25
3.3.5	Řízení jednotky	26
3.4	Programové vybavení mikroprocesorů.....	28
3.4.1	Programové schéma prováděcího procesoru.....	28
3.4.1.1	Hlavní funkce	28
3.4.1.2	Funkce init()	28
3.4.1.3	Funkce test_vstupu().....	29
3.4.1.4	Funkce koduj().....	30
3.4.1.5	Funkce zap_k_nap().....	32
3.4.1.6	Funkce vypni_vse().....	33
3.4.2	Programové schéma kontrolního mikroprocesoru	34
3.4.2.1	Funkce k_kodovani(s_p_k_imp, s_p_s_imp).....	35
3.4.2.2	Funkce k_s_nap().....	38
3.4.2.3	Funkce k_vypnuto().....	38
3.5	Bezpečnost zařízení ve smyslu TNŽ 34 2606.....	39
3.5.1	Zkrat nebo přeměna spínacího tranzistoru v diodu	39
3.5.2	Přerušení kterékoliv z elektrod spínacího tranzistoru.....	40
3.5.3	Vzrůst odporu v C nebo E spínacího tranzistoru.....	40
3.5.4	Vzrůst svodu mezi C a E spínacího tranzistoru	40
3.5.5	Přerušení přívodu do G spínacího tranzistoru.....	40
3.5.6	Vzrůst odporu v G spínacího tranzistoru	40
3.5.7	Zkrat kterékoliv diody můstku	40
3.5.8	Rozpojení kterékoli diody můstku	40
3.6	realizace navržené přepínací jednotky	41
3.6.1	Výsledky měření na detektoru napětí	41
3.6.2	Výsledky měření na detektoru proudu.....	42
3.6.3	Výsledky měření funkce jednotky.....	42

3.6.4	Doplňovací návrhy	45
3.6.4.1	Ovládání spínačů.....	45
3.6.4.2	Ochrany spínačů	45
3.6.4.3	Napájení budících obvodů spínacích tranzistorů.....	45
3.6.4.4	Řídící část	46
3.6.4.5	Programové vybavení.....	47
4.	ZÁVĚR	48
5.	LITERATURA.....	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Princip paralelního kolejového obvodu	9
Obrázek 2: Bodové zjišťování volnosti oddílu počítačem náprav	10
Obrázek 3: Princip zabezpečovacího zařízení s dvoupásovými kolejovými obvody.	12
Obrázek 4: Stykový transformátor	12
Obrázek 5: princip činnosti stykových transformátorů	13
Obrázek 6: Kód LVZ pro návěstní znak zelená	16
Obrázek 7: Proudové poměry v traťovém oddílu při průjezdu vlaku.....	19
Obrázek 8: Blokové schéma TYS 5	20
Obrázek 9: Blokové schéma navrhované jednotky	21
Obrázek 10: Blokové schéma obvodového řešení navrhované jednotky	22
Obrázek 11: Obvodové řešení spínačů signálního proudu	23
Obrázek 12: Detektor napětí	24
Obrázek 13: Detektor proudu.....	24
Obrázek 14: Napájecí část navrhované jednotky	25
Obrázek 15: Řídicí část navrhované jednotky	27
Obrázek 16: Vývojový diagram hlavní funkce prováděcího mikroprocesoru.....	28
Obrázek 17: Vývojový diagram funkce inicializace	29
Obrázek 18: Vývojový diagram funkce načtení vstupů	30
Obrázek 19: Vývojový diagram funkce kódování	31
Obrázek 20: Vývojový digram funkce zapnutí kódovacího napětí.....	33
Obrázek 21: Vývojový diagram vypínací funkce.....	34
Obrázek 22: Vývojový diagram funkce kontroly kódování.....	37
Obrázek 23: Vývojový diagram funkce kontroly signálního napětí	38
Obrázek 24: Vývojový diagram funkce kontroly vypnutého stavu.....	39
Obrázek 25: Výstup detektoru napětí pro $U_{vst}=50V/275Hz$	41
Obrázek 26: Výstup detektoru proudu pro $I_{vst}=27mA/275Hz$	42
Obrázek 27: Napětí na zátěži $R=56\Omega$ $U_{vst}= 50V/50Hz$, znak zelená	43
Obrázek 28: Napětí na zátěži $R=56\Omega$, $U_{vst}=50V/50Hz$ a $50V/275Hz$, znak zelená...44	
Obrázek 29: Detail přepnutí k. a s. napětí.....	44
Obrázek 30: Vzájemné blokování spínačů S24 a S13	45

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Návěstní znaky	8
Tabulka 2. Opakovací kmitočty kódů LVZ	15

SEZNAM ZKRATEK

LVZ: liniový vlakový zabezpečovač

1. PROSTŘEDKY K ŘÍZENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Hlavním úkolem organizace jízdy vlaků na trati je zamezit srážkám vlaků jedoucích v protisměru a zamezení vzájemného najetí vlaků jedoucích stejným směrem. Vzhledem k mimořádně tragickým následkům případného selhání řízení provozu je potřeba vše organizovat s maximálním ohledem na bezpečnost, avšak zároveň je potřeba dosáhnout dobré propustnosti trati a tím její hospodárné využití. Tedy jako všude i zde máme dva požadavky do značné míry protichůdné a naším úkolem je nalezení vhodného kompromisu. Jinými slovy za vhodného řízení dopravy s použitím technických prostředků dosáhnout bezpečného a plynulého provozu při optimálním vytížení trati. Pro ilustraci problému si uvedeme stručný historický vývoj řízení železniční dopravy.

Systémy obousměrné ve srovnání se systémy jednosměrnými jsou složitější o traťový souhlas, jehož konstrukce obvykle vychází z provozních podmínek. Princip si pro jednoduchost vysvětlíme na systému jednosměrném.

Na samotných počátcích železnice ve třicátých letech devatenáctého století, kdy ještě nebyly k dispozici téměř žádné zabezpečovací prostředky, byla doprava velmi omezená. Kupříkladu jezdily pouze dva vlaky denně a to pouze za příznivého počasí a jen ve dne. Rychlosti vlaků na území bývalého Rakouska-Uherska byly stanoveny předpisem z roku 1842 na hodnoty 23 km/h pro nákladní vlaky a 38 km/h pro vlaky osobní. Když byly roku 1844 zavedeny vlaky noční, byla povolena rychlost pouhých 15 km/h [2].

1.2 ČASOVÁ SOUSTAVA

Jako historicky první organizace železniční dopravy dovolující zvětšení počtu vlaků vznikla časová soustava. Jednoduše je následující vlak vypraven na trať po uplynutí předepsané doby od odjezdu předchozího vlaku. Bezpečnost proti vzájemnému dostižení vlaků na trati je zaručena pouze tehdy, pokud vlaky dodržují

předepsanou rychlost a jízdni doby [2]. Je nasnadě, že pokud předchází vlak musel z nejrůznějších důvodů zastavit, nebo snížit rychlost, mohlo zejména v členitém terénu a za snížené viditelnosti snadno dojít k nehodě.

V bývalém Rakousku-Uhersku, kde se časová soustava udržela až do roku 1899, zhruba platilo, že se vlaky stejné rychlosti směly vypravovat na trať v intervalu 10 minut, výjimečně i dříve za předpokladu, že došla z následující stanice spolehlivá zpráva, že předchází vlak již projel. Na trati též byli rozmístěni strážníci, kteří dávali 5min. po průjezdu vlaku návěst' stůj, dalších 5 min. návěst' pomalu a poté volno. Toto řízení dopravy je velmi jednoduché a postačují pouze správně jdoucí hodiny, obejdeme se i bez spojení mezi stanicemi, respektive strážníky na trati [2].

1.3 PROSTOROVÁ SOUSTAVA

Nedostatečná bezpečnost a nízká efektivita časové soustavy vedla záhy ke vzniku prostorové soustavy, kterou představil již roku 1842 W.F. Cooke a kterou převzaly časem snad všechny železnice [2]. Tento princip se využívá dodnes. Podstatou této soustavy je, že trať je rozdělena na prostorové oddíly. Na vstupech do traťových oddílů jsou umístěna návěstidla (semafony). Návěstidlo povolí vjezd vlaku pouze pokud je následující vlakový oddíl volný, tedy za běžných podmínek smí být v jednom traťovém oddílu pouze jeden vlak. Minimální délka traťového oddílu je dána požadavkem na bezpečnou zábrzdnu vzdálenost. Příliš velká délka traťového úseku má zase za následek malou propustnost a tím neefektivní využití trati. Kritické je zde bezpečné zjištění obsazenosti traťového oddílu vlakem a vazba na návěstní znaky návěstidla střežícího vstup do tohoto traťového oddílu.

1.3.1 Návěstění

Během historického vývoje byla instalována návěstidla rozmanitých druhů. Vzhledem k problémům, které doprovázejí použití systémů s pohyblivými částmi, se časem upustilo od instalací mechanických návěstidel a v současnosti se instalují výhradně návěstidla světelná. Existuje mnoho variant a sestav světelných návěstidel. Při přenosu návěstních znaků liniovým vlakovým zabezpečovačem na návěstní

opakovač ve hnacím vozidle jsou na tomto opakovači zobrazovány čtyři znaky uvedené v tabulce.

Červená	Zakazující znak, stůj
Žluté mezikruží	Povolující znak, pro rychlosti pod 80km/h
Žlutá	Povolující znak, pro rychlosti do 120km/h
Zelená	Povolující znak pro max. rychlosti do 160km/h

Tabulka 1: Návěstní znaky

Význam znaků lze vysvětlit i takto: pokud návěstidlo na vjezdu do traťového oddílu ukazuje červenou, znamená to, že nastávající oddíl je obsazen. Žlutá znamená, že nastávající úsek je volný, ale úsek, který za ním následuje, je obsazen, nebo vlak musí v nastávajícím úseku projet výhybkou a tak v obou případech nelze jen plnou rychlostí. Zelená znamená, že nastávající oddíl je přímý a volný, oddíl za ním následující je také volný a tudíž lze jet plnou rychlostí. Žlutého mezikruží se používá u oddílů, kde je z nejrůznějších příčin omezená rychlost. Dovolená rychlost se pak někdy zobrazuje na návěstidle zvláštním číselným ukazatelem.

1.3.2 Způsoby zjišťování obsazenosti traťového oddílu

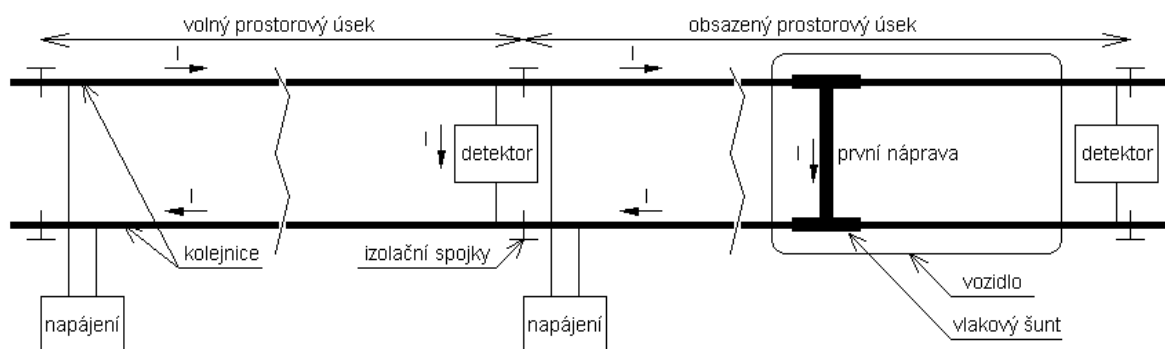
Způsob zjišťování přítomnosti vlaku v oddílu a nastavení návěstidla byl dán zejména vývojem technických prostředků od ručního přes poloautomatické až k plně automatickým systémům.

V současnosti nejrozšířenějším prostředkem ke zjišťování volnosti a obsazenosti traťového oddílu je paralelní kolejový obvod. Nyní si pro představu načrtneme v hrubých rysech jeho princip a následně podrobně popíšeme na něm založené dvoupásové kolejové obvody. Nutno dodat, že je nainstalován opravdu veliký počet různých variant kolejových obvodů lišících se uspořádáním a výstrojí. Obecně jsou železniční předpisy a normy jednotlivých států velmi odlišné. Tato rozdílnost představuje veliký problém mimo jiné při organizaci mezinárodních linek.

1.3.3 Paralelní kolejový obvod

Základní podmínkou pro činnost paralelního kolejového obvodu je dostatečná elektrická izolace kolejové dráhy od země a elektrické oddělení jednotlivých traťových úseků. Na styčných traťových úsecích se mezi kolejnice vkládají izolační spojky. Kolejnice uvnitř traťového úseku jsou napájeny signálním proudem. Vjede-li do traťového úseku vlak, propojí svými nápravami obě kolejnice, a tím dojde k elektrickému vyhodnocení jeho přítomnosti. Protože nelze přímo mluvit o elektrickém zkratu, užívá se termínu šuntování kolejového obvodu.

Přítomnost vozidla určujeme v určitém prostorovém oddílu trati bez ohledu na rychlost vozidla a jeho polohu uvnitř oddílu. Jedná se o liniové zjišťování volnosti oddílu.



Obrázek 1: Princip paralelního kolejového obvodu

Pro bezpečnou a spolehlivou činnost paralelního kolejového obvodu je potřeba zajistit:

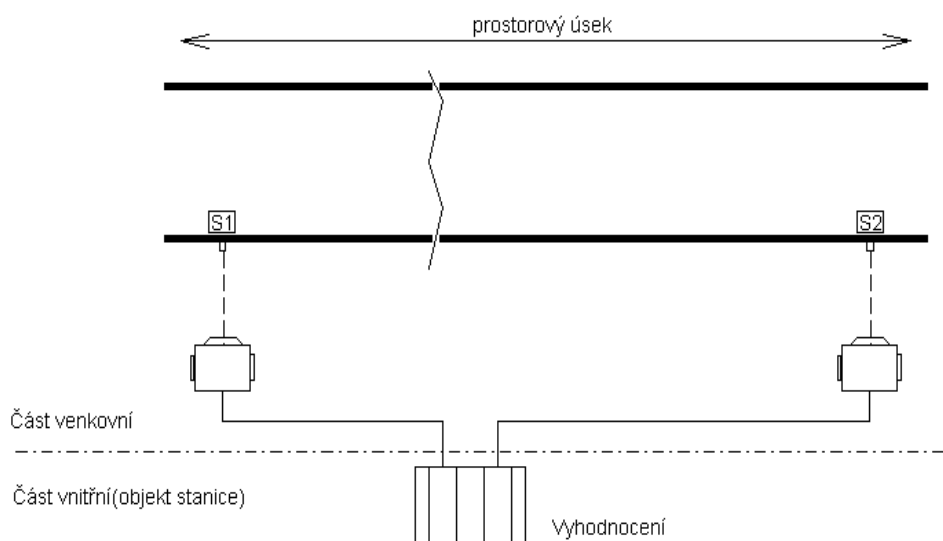
- Dostatečný měrný izolační odpor jednotlivých kolejnic
- Vlakový šunt (elektrické spojení nápravou) nesmí překročit normativní hodnotu $R_{\text{š}}=0,06\Omega$.

Splnění bodu a) je poměrně bezproblémové při použití dřevěných pražců a pražců betonových s izolační podložkou. Problém dostatečné izolovanosti však nastává při použití ocelových pražců a někdy i při větším znečištění kolejového lože.

Splnění bodu b) je někdy problematické u lehké motorové trakce a na traťových úsecích v korozivním prostředí. Na některých speciálních tratích se též vyskytují vozidla s pryžovými obručemi.

1.3.4 Bodové zjišťování volnosti traťového oddílu

Obsazenost traťového oddílu lze zjišťovat i bodovým zařízením, tzv. počítačem náprav. Jedná se o indukční snímač, který má svá čidla na obou koncích traťového oddílu. Při vjezdu vlaku do oddílu zařízení spočítá počet vjíždějících náprav. Pokud čidlo na výstupu oddílu stejný počet náprav odjíždějícího vlaku odpočítá, vyhodnotí opět traťový oddíl jako volný. Ve srovnání s paralelním kolejovým obvodem má výhodu v tom, že nemusíme řešit případné problémy s nedostatečnou izolací kolejnic a elektrickým oddělením traťových oddílů, jednodušeji lze detekovat i směr jízdy vlaku a toto zabezpečení je levnější. Ale zase na druhou stranu nelze takto zjišťovat celistvost kolejnic (případný havarijní stav). Hlavním nedostatkem je, že na těchto tratích není možná činnost liniového vlakového zabezpečovače používajícího kolejnice pro přenos návěstních informací. Tyto nevýhody jsou tak podstatné, že se těchto systému používá pouze na málo vytížených lokálních tratích a u některých speciálních aplikací, jako je například dodatečné zjišťování obsazenosti úseků ve stanicích, případně jako součást přejezdového zabezpečovacího zařízení.



Obrázek 2: Bodové zjišťování volnosti oddílu počítačem náprav

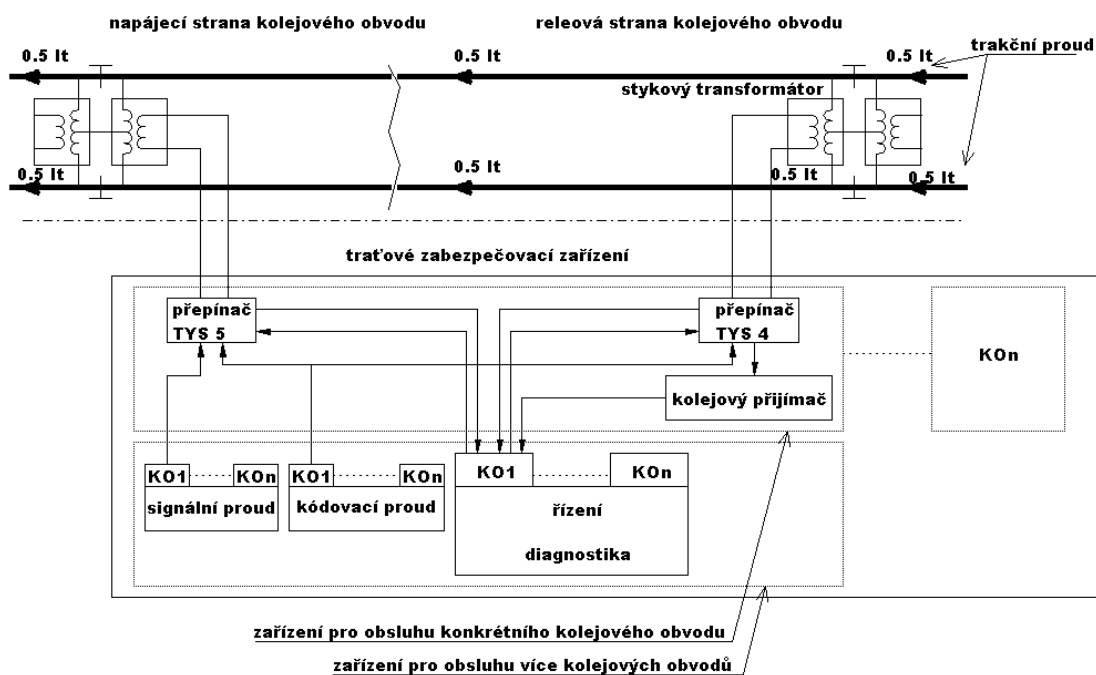
2. ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ S DVOUPÁSOVÝMI KOLEJOVÝMI OBVODY

Nyní se budeme věnovat podrobnějšímu popisu výstroje a funkce dvoupásových kolejových obvodů a základnímu blokovému popisu funkce nadřazeného zabezpečovacího zařízení na tratích s obousměrným provozem a s použitím elektrické trakce. V zásadě existují dva druhy zabezpečovacího zařízení, které používají ke své funkci kolejových obvodů a sice: staniční zabezpečovací zařízení a traťové zabezpečovací zařízení. Kolejové obvody těchto zařízení se liší zejména kmitočtem signálního proudu a funkcí jejich obsluhy. Budeme se převážně zabývat zabezpečovacím zařízením pro širokou trať tzv. Autoblokem.

2.1 DVOUPÁSOVÉ KOLEJOVÉ OBVODY

Pojem dvoupásové znamená, že na elektrifikovaných tratích je zpětný trakční proud veden symetricky oběma kolejnicemi. Naproti tomu existují ještě jednopásové kolejové obvody, kde je trakční proud veden střídavě jednou a pak druhou kolejnicí. Tyto obvody se však již pro své nevýhodné vlastnosti neinstalují.

Kolejovými obvody je vybaven každý prostorový oddíl a představují venkovní část zabezpečovacího zařízení umístěnou přímo na trati.



Obrázek 3: Princip zabezpečovacího zařízení s dvoupásovými kolejovými obvody

2.1.1 Stykový transformátor

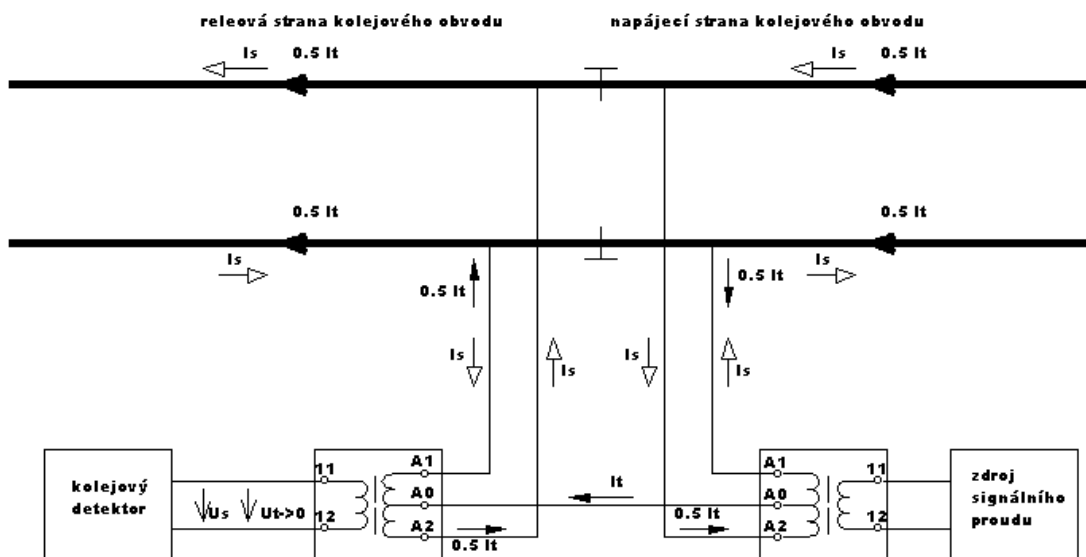
Je součástí výstroje kolejových obvodů a je umístěn na rozhraní sousedních traťových oddílů. Jeho funkcí je zajistit průchod trakčního proudu mezi izolovanými kolejnicemi a zároveň oddělit signální (kódovací) proudy jednotlivých oddílů. Díky své konstrukci představuje stykový transformátor dostatečnou oddělovací impedanci pro signální (kódovací) proud, ale pro trakční proud představuje impedanci pouze nepatrnou.



Obrázek 4: Stykový transformátor

Stykový transformátor obsahuje hlavní vinutí určené pro připojení ke kolejovému obvodu a pomocné vinutí, ke kterému se připojuje buď zdroj signálního (kódovacího) proudu, nebo kolejový detektor. Princip činnosti stykových transformátorů si vysvětlíme na následujícím obrázku pro případ, kdy je na pomocné

vinutí reléového konce kolejového obvodu připojen kolejový detektor a na napájecí straně je připojen zdroj signálního proudu, kolejový obvod je volný.



Obrázek 5: princip činnosti stykových transformátorů

K vývodům A1 a A2 se připojí kolejnicové pásy a střed vinutí A0 se propojí se středem vinutí stykového transformátoru následujícího traťového oddílu.

Na reléové straně kolejového obvodu hlavním vinutím stykového transformátoru protéká celkový proud složený z trakčního a signálního proudu. Složky zpětného trakčního proudu z jednotlivých kolejnic prochází vždy polovinou hlavního vinutí. Protože zpětné trakční proudy procházející jednotlivými kolejnicemi jsou přibližně stejně veliké, magnetické účinky jimi vyvolané se navzájem ruší a do pomocného vinutí se napětí neindukuje. Naproti tomu signální proud protéká celým hlavním vinutím a na pomocném vinutí se indukují odpovídající signální napětí, které napájí kolejový detektor proudem o velikosti desítek mA. Na napájecí straně kolejového obvodu je k pomocnému vinutí stykového transformátoru připojen zdroj signálního proudu, který indukují signální proud do kolejového obvodu.

2.2 TRAŤOVÉ ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Zařízení zpravidla obsluhuje několik prostorových oddílů vybavených kolejovými obvody, zajišťuje nastavování příslušných návěstních znaků, obsahuje pevnou část liniového vlakového zabezpečovače, spolupracuje se zařízením pro

zabezpečení přejezdů atd. Fyzicky bývá umístěno v reléových skříních nebo domcích na trati, nebo v reléových místnostech železničních stanic. Pro náš účel jsou rozhodující následující součásti a jejich funkce.

2.2.1 Kolejový přijímač

Nejčastěji se používá fázově citlivé indukční relé, pracující na stejném principu jako klasické indukční elektroměry. Přitaženou kotvou hlásí volnost traťového úseku a zároveň jeho bezporuchový stav. Odpadnutí relé může mít dvě příčiny. První je nepřítomnost signálního proudu (vjezd vlaku, přerušená kolejnice atd.) a druhou příčinou je porušení fázových poměrů, což nastane například při poruše izolace mezi traťovými úseky. Sousední traťové úseky jsou napájeny proudem s opačnou fází, pokud je porušena izolace dojde ke vzájemnému ovlivnění signálních proudů, tím dojde k porušení fázových poměrů na relé a následně k jeho odpadnutí. V současnosti se začínají používat funkčně odpovídající elektronické detekční jednotky.

2.2.2 Elektronický přepínač TYS 4

Podle pokynů řídicí jednotky připojuje na reléový konec kolejového obvodu buď kolejový přijímač, nebo při dodatečném kódování kolejového obvodu kódem liniového vlakového zabezpečovače kódovací proud.

2.2.3 Elektronický přepínač TYS 5

Tento přepínač je připojen na napájecí stranu kolejového obvodu a podle pokynů řídicí jednotky připojuje buď signální proud, nebo při dodatečném kódování kódovací proud ze stejného zdroje jako přepínač TYS 4.

2.2.4 Zdroj kódovacího proudu

Jedná se o generátor kódovacího proudu sinusového průběhu o kmitočtu 75 Hz pro potřeby dodatečného kódování kolejového obvodu kódem liniového vlakového zabezpečovače. Zdroj dodává proud o velikosti max. 3 A.

2.2.5 Zdroj signálního proudu

Zdroj slouží k napájení kolejového obvodu. Signální proud je sinusového průběhu a má pro traťové zabezpečovací zařízení kmitočet 75 Hz. Ve stanicích se z důvodu zvýšeného rušení používá signální proud o kmitočtu 275 Hz.

2.2.6 Blok řízení a diagnostiky

Blok zajišťuje centrální řízení a diagnostiku připojených kolejových obvodů a dalších zařízení.

2.3 LINIOVÝ VLAKOVÝ ZABEZPEČOVAČ (LVZ)

Zařízení slouží pro liniový přenos informací z trati na kolejové vozidlo nacházející se v daném prostorovém oddílu. Na vozidlo se přenáší informace o návěstním znaku, který právě zobrazuje příští návěstidlo ve směru jízdy vozidla. Zařízení umožňuje vždy přenos jedné informace na návěstní opakovací hnacího vozidla. Toto zařízení má za úkol usnadnit strojvedoucímu vedení vlaku, do jisté míry kontrolovat jeho činnost, snížit tak riziko jeho omylu a tím celkově zvýšit bezpečnost. Liniový vlakový zabezpečovač představuje první stupeň na cestě k plně automatickým systémům vedení vlaku. LVZ lze rozdělit na část mobilní umístěnou na hnacím vozidle a pevnou, která je součástí zabezpečovacího zařízení.

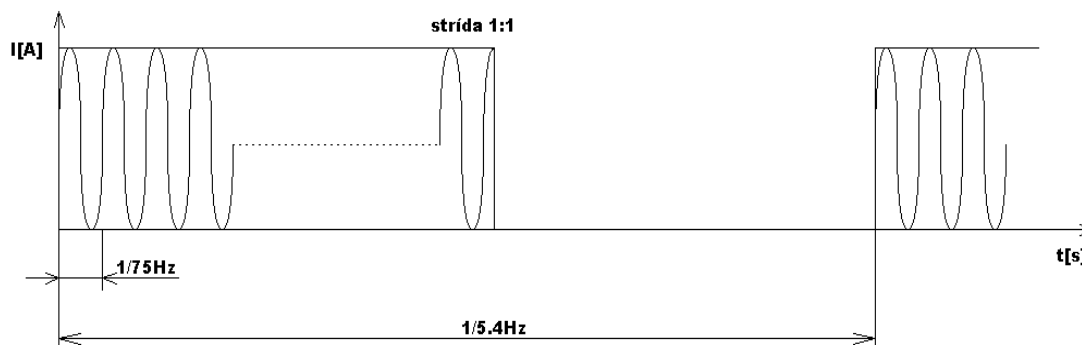
2.3.1 Pevná část LVZ

Je řízena traťovým zabezpečovacím zařízením a zabezpečuje vysílání návěstní informace formou dodatečného kódování příslušného kolejového obvodu. Pro přenos informací používá LVZ čtyři frekvenčně impulsní kódy, které odpovídají zobrazovanému návěstnímu znaku návěstidla, ke kterému se kóduje.

Stav návěstidla:	červená	Žluté mezikruží	žlutá	zelená
Opakovací kmitočet:	0,9 Hz	1,8 Hz	3,6 Hz	5,4 Hz

Tabulka 2. Opakovací kmitočty kódů LVZ

Frekvenčně impulsní kód se vyznačuje sledem stejně dlouhým impulsů a mezer. Jednotlivé kódy se od sebe odlišují opakovacím kmitočtem. Během impulsu je vysílán proud o kmitočtu 75 Hz, v mezeře je proud vypnut. Například signál reprezentující zelenou tedy vypadá následovně:



Obrázek 6: Kód LVZ pro návěstní znak zelená

Zdroj kódovacího signálu musí být umístěn na konci prostorového oddílu tak, aby svůj kód vysílal vždy proti směru jízdy vlaku, neboť snímače jsou fyzicky umístěny před první nápravou vozidla, pokud by byl vysílač kódovacího proudu na vjezdové straně, začal by se proud postupně uzavírat dalšími nápravami vlaku a snímače před první nápravou by signál ztratily. Z tohoto důvodu musí obousměrné traťové oddíly umožňovat napájení kódovacím proudem z napájecí i releové strany traťového oddílu.

2.3.2 Mobilní část LVZ

Je vestavěna do hnacího kolejového vozidla a skládá se ze snímacího zařízení, vyhodnocovacích obvodů a vstupně-výstupních zařízení. Zařízení určená pro komunikaci se strojvedoucím jsou umístěna v kabině hnacího vozidla. Jedná se zejména o návěstní opakovač, tlačítko bdělosti a houkačku. Zařízení dále spolupracuje s elektronickým rychloměrem a má výstup pro nouzové zastavení vlaku. Nové typy jsou určeny i pro spolupráci se systémy automatického vedení vlaku.

2.3.3 Funkce LVZ

Z traťového zabezpečovacího zařízení je na výstroj příslušného konce kolejového obvodu přiveden frekvenčně kódovaný proud. Tento proud protéká obvodem tvořeným kolejnicemi a první nápravou hnacího vozidla. Na vozidle před první nápravou nad každou kolejnicí se nachází snímače, které bezkontaktně induktivní vazbou snímají průběh procházejícího proudu. Získaný signál je zpracován a je vyhodnocena informace o stavu dalšího návěstidla. Získaná informace je zpracována spolu s údajem rychloměru. Strojvedoucímu je informace předána rozsvícením příslušného znaku na návěstním opakovací. Pokud je trať volná vlak může jet dále plnou rychlostí a strojvedoucí nemusí obsluhovat tlačítko bdělosti. Pokud je přijat omezující, nebo zakazující znak je strojvedoucí vyzván ke stisku tlačítka bdělosti. Pokud tak neučiní, je vlak automaticky zastaven.

Na tratích bez přenosu kódu LVZ je od strojvedoucího vyžadována opakovaná obsluha tlačítka bdělosti.

2.3.4 Vliv elektrické trakce na činnost LVZ

Kolejnicemi protéká i trakční proud a tak zasahuje i do signálů LVZ. Z tohoto důvodu byl zvolen kmitočet kódovacího proudu 75 Hz tak, aby neobsahoval základní ani vyšší harmonické trakčního proudu, který má síťový kmitočet 50 Hz, nebo je použita trakce stejnosměrná. Totéž platí i pro volbu kmitočtu signálního proudu (75 Hz u traťového zabezpečovacího zařízení a 275 Hz u staničního).

Rovněž je žádoucí, aby provozní asymetrie vedení zpětného trakčního proudu jednotlivými kolejnicemi byla minimální.

2.4 POPIS FUNKCE ZABEZPEČOVACÍHO ZAŘÍZENÍ A VLAKOVÉHO ZABEZPEČOVAČE

2.4.1 Volný traťový oddíl

Pokud je traťový oddíl volný je na napájecí stranu přepínačem TYS 5 trvale připojen zdroj signálního proudu. Na přijímačové straně kolejového obvodu je

přepínačem TYS 4 trvale připojeno kolejové relé, kterým nyní prochází signální proud a svou přitaženou kotvou hlásí volnost traťového oddílu. Zároveň se kontroluje bezporuchový stav kolejového obvodu, při vzniku poruchy (např. Lom kolejnice, přerušeni lanového propojení, přerušeni signálního kabelu) kolejové relé odpadne.

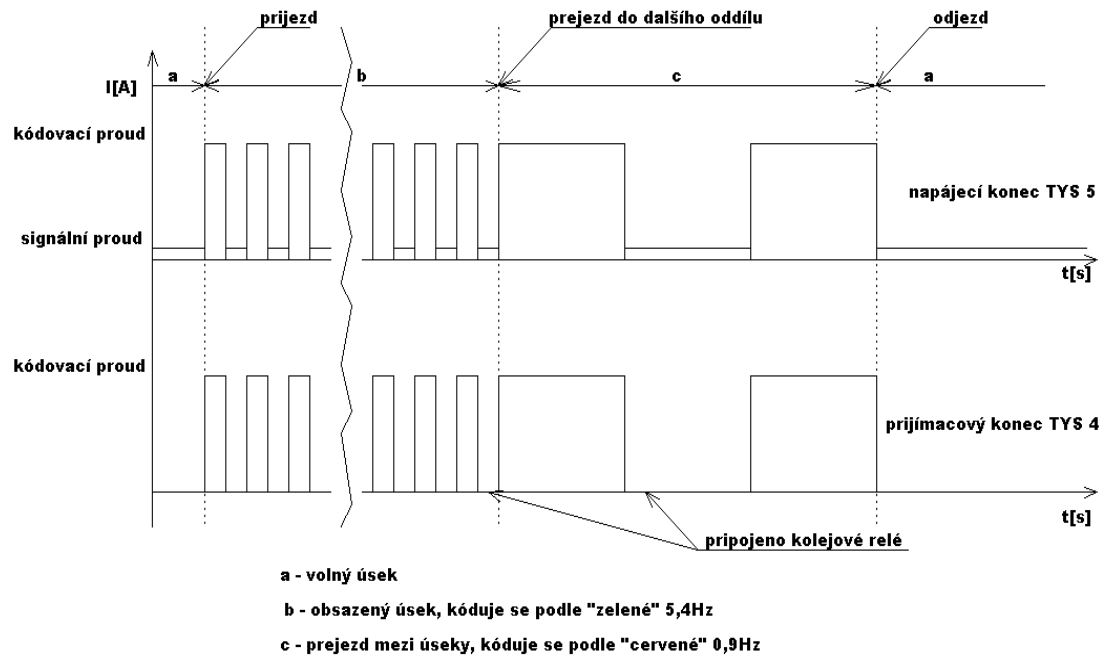
2.4.2 Obsazený traťový oddíl

Pro popis činnosti kolejových obvodů a LVZ obsazeného traťového oddílu je důležitý směr, ze kterého do něj vlak vjede. Protože traťové zabezpečovací zařízení obsluhuje vždy několik traťových úseků, získá tak informaci o směru jízdy vlaku jednoduše podle toho, který traťový úsek byl obsazen předtím. Předpokládejme v dalším, že vlak vjel do kolejového obvodu z přijímačové strany.

Do úseku vjede první náprava vozidla, tím dojde k šuntování kolejového obvodu a kolejové relé odpadne. Odpad kolejového relé vyhodnotí traťové zabezpečovací zařízení. Následně traťové zabezpečovací zařízení podle návěstního znaku návěstidla, které je na vstupu do dalšího traťového oddílu (po směru jízdy), vybere odpovídající frekvenci kódování pro potřeby činnosti LVZ. Následně zabezpečovací zařízení podle zvoleného kódu dává povely spínači TYS5 a ten v tomto rytmu připíná na napájecí konec kolejového obvodu kódovací proud. Ve chvílích, kdy je kódovací proud vypnut je spínačem TYS 5 přiváděno signální napětí. Na přijímačové straně je přepínačem TYS 4 ve stejný okamžik jako přepínačem TYS 5 připojen rovněž kódovací proud, ve chvílích kdy TYS 5 připojuje signální napětí je přepínačem TYS 4 připojeno kolejové relé. Nyní vlak jede uvnitř úseku a hnací vozidlo přijímá kód LVZ.

Následně vjede první náprava do následujícího traťového úseku, ostatní nápravy ještě zůstávají. V tento okamžik odpadá kolejové relé následujícího úseku a na návěstidle u jeho začátku se rozsvítí červená. V úseku předcházejícím stále běží kódování LVZ, kód se však změní na kód červené barvy, podle stavu návěstidla. V okamžiku kdy, předcházející úsek opustí poslední náprava vozidla, se signální proud přiváděný TYS 5 v mezerách mezi kódovacím proudem dostane na kolejové relé, které tak natáhne. Natažením kolejového relé se ukončí kódování LVZ, na napájecí konec se trvale připojí signální proud, na přijímačový konec kolejové relé a kolejový obvod se opět nachází ve stavu volný.

Časový průběh proudů na napájecím a přijímačovém konci při vjezdu, průjezdu a odjezdu vozidla z traťového oddílu pro nejčastější případ, kdy se uvnitř úseku kóduje podle zelené je uveden na obrázku



Obrázek 7: Proudové poměry v traťovém oddílu při průjezdu vlaku

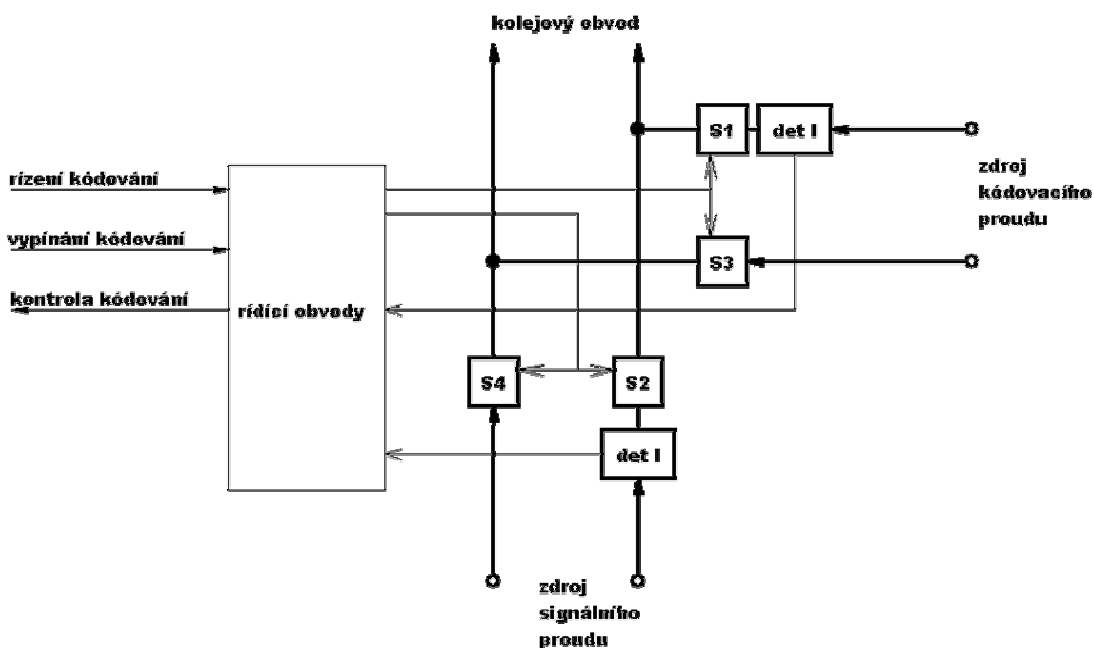
Příjezd vlaku lze také označit jako odpadnutí relé, prejezd do následujícího oddílu jako odpadnutí relé následujícího oddílu a odjezd jako natažení relé původního oddílu.

3. NÁVRH PŘEPÍNAČÍ JEDNOTKY

V předchozím textu byla blokově vysvětlena stavba zabezpečovacího zařízení s dvoupásovými kolejovými obvody a zjednodušeně popsána jejich funkce. Cílem této práce je návrh přepínací jednotky napájecí strany kolejového obvodu, která bude sloužit jako náhrada stávající jednotky TYS-5.

3.1 STÁVAJÍCÍ PŘEPÍNAČÍ JEDNOTKA TYS 5

Jak jsme se již zmínili, tak současná jednotka TYS 5 slouží jako výkonový bezkontaktní přepínač signálního a kódovacího proudu umožňující dodatečné kódování kolejového obvodu kódem liniového vlakového zabezpečovače.

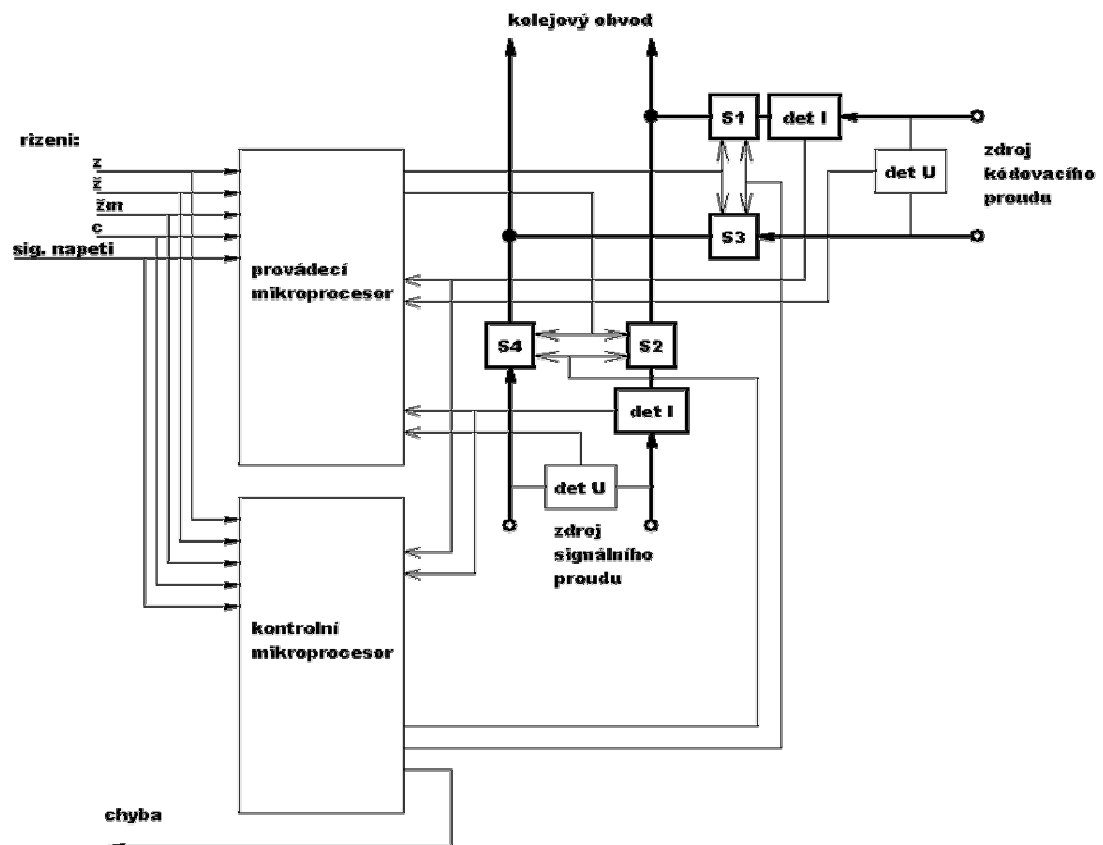


Obrázek 8: Blokové schéma TYS 5

Přepínací kmitočet musí být generován nadřazeným zařízením, přepínání proudů se děje vstupem řízení kódování. Jednotka je řízena logickými obvody, které mimo jiné zabezpečují přepnutí při nulové hodnotě příslušného proudu. Jednotka umožňuje externí kontrolu její správné funkce způsobem kontroly průchodu proudu v klíčovách místech. Výkonové spínače jsou tvořeny vždy párem IGBT tranzistorů. Použité detektory proudů umožňují detekovat procházející proud pouze v kladné půlčlenně.

3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉ PŘEPÍNAČÍ JEDNOTKY

Navrhovaná jednotka bude přepínací kmitočty kódu LVZ generovat sama a nadřazené zařízení je bude volit pomocí čtyř řídicích vstupů podle požadovaného znaku (zelená, žlutá, žluté mezikružít a červená), ke kterému se bude kódovat. Jednotka bude spínat při nulové hodnotě připojovaného napětí a vypínat při nulové hodnotě odpojovaného proudu. Řízení bude prováděno mikroprocesorem. Jednotka bude obsahovat ještě další mikroprocesor, který bude kontrolovat správnou činnost prováděcího mikroprocesoru a bezporuchový stav výkonového spínače. Kontrolní mikroprocesor bude nezávisle provádět detekci průchodu signálního a kódovacího proudu výkonovým spínačem. Metodou počítání impulsů z detektorů proudu během půlperrody bude kontrolovat správnost přepínacího kmitočtu výstupního kódu. V případě výskytu chyby rozepne všechny spínače, čímž uvede zařízení do bezpečného stavu a nastaví chybový výstup. Blokované schéma návrhu je uvedeno na obrázku.

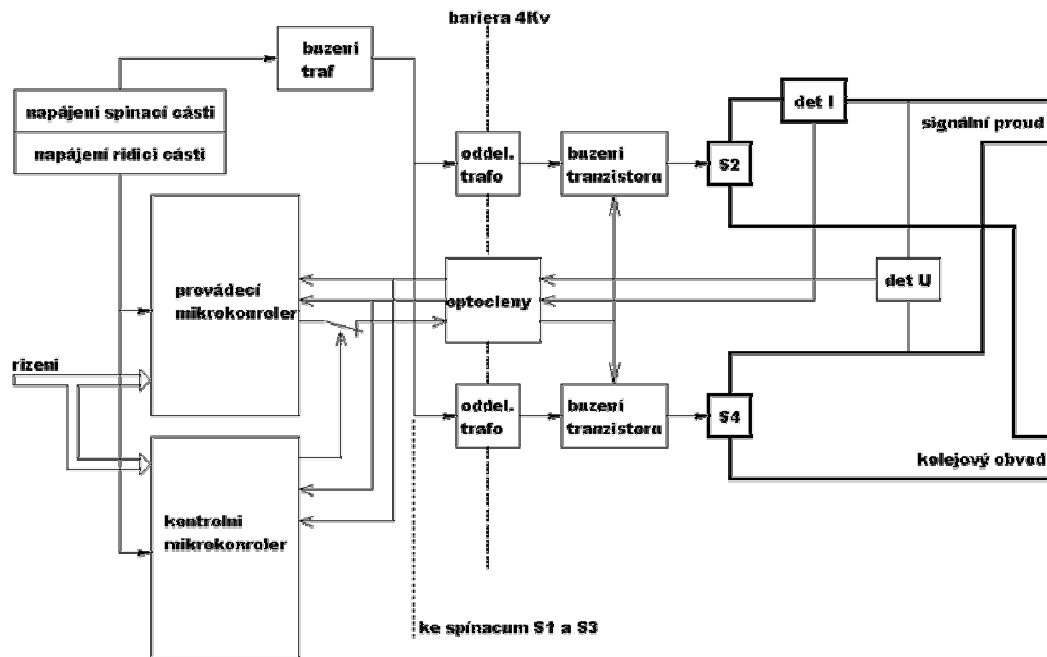


Obrázek 9: Blokované schéma navrhované jednotky

3.3 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ PŘEPÍNAČÍ JEDNOTKY

Základním požadavkem na obvodové řešení jednotky je galvanické oddělení řídicích a spínacích částí bariérou s elektrickou pevností 4 kV. Řídicí a měřicí signály budou odděleny optočleny, buzení tranzistorů pak oddělovacími transformátory.

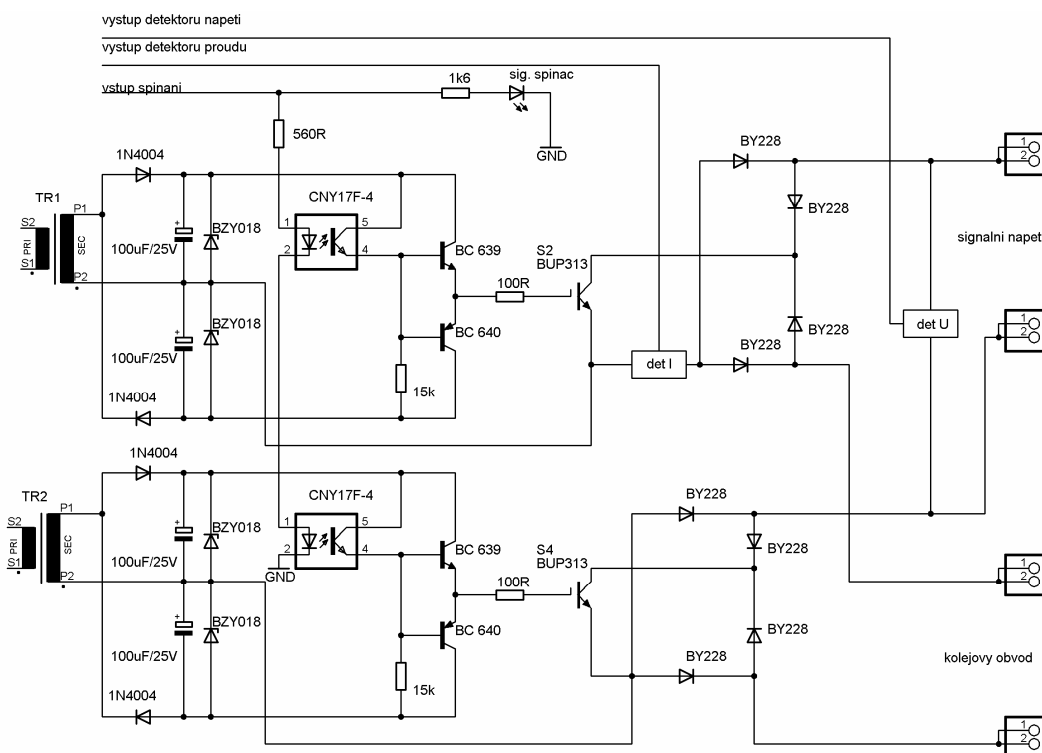
Na podrobném blokovém schématu si ukážeme jednotlivé funkční části a následně jejich konkrétní řešení. V blokovém schématu si pro přehlednost uvedeme pouze cestu spínání signálního proudu, tj. spínače S2 a S4, neboť ovládání a provedení spínačů S1 a S3 je shodné.



Obrázek 10: Blokové schéma obvodového řešení navrhované jednotky

3.3.1 Tranzistorový spínací stupeň

Spínač musí být schopen spínat střídavý proud při poměrně vysokém provozním napětí až 200 V. Ze zadání je zde pak požadavek na vysoké závěrné napětí spínacího prvku 1200V, požadované spínané proudy jsou pak do 3 A. Jako řešení byl zvolen IGBT tranzistor typ BUP 313 umístěný v můstku vytvořeném, z vysokonapěťových diod BY 228. Základní parametry tranzistoru BUP 313 jsou: $U_{ce} = 1200 \text{ V}$, $I_c = 32 \text{ A}$.



Obrázek 11: Obvodové řešení spínačů signálního proudu

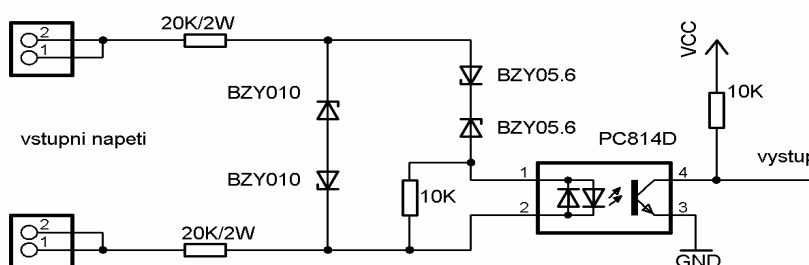
Mezi vstupy spínačů S2 a S4 je umístěn detektor napětí zachycující průchod nulou z obou půlvln signálního napětí. Uvnitř diodového můstku spínače S2 je umístěn detektor proudu umožňující tak jednoduše detekci průchodu nulou z obou půlvln signálního proudu. V následujícím textu budou oba detektory podrobně popsány.

Budicí obvod je tvořen oddělovacím transformátorem, který je napájen ze strany řídicí části jednotky. Výstupní napětí transformátoru je jednocestně usměrněno tak, aby byl vytvořen symetrický zdroj napětí. Zenerovy diody omezují napětí na kondenzátorech na hodnotu ± 18 V (podle technických podmínek může být na řídicí elektrodu tranzistoru BUP 313 připojeno max. napětí $U_{GE} = \pm 20$ V). Optočlen ovládá komplementární dvojici tranzistorů BC 639 a BC 640, která zapíná a vypíná spínací tranzistor připojením řídicího napětí $U_{GE} = \pm 18$ V přes omezující odpor $R_{GE} = 100 \Omega$. Zapnutí a vypnutí spínacího tranzistoru je rychlé a přepínací ztráty by tak měly být minimální. (navíc když vypínáme v proudové nule).

Zvlnění napětí na filtračních kondenzátorech by mělo být minimální i přesto, že jsou napájeny pouze jednocestným usměrňovačem, neboť při zapínání a vypínání tranzistoru IGBT jde v ideálním případě pouze o to, nabít a vybit přes odpor R_{GE} vstupní kapacitu tranzistoru, která je asi 1 nF a při přepínací frekvenci max. 5,4 Hz by tudíž měl být náboj odebíraný z filtračních kondenzátorů opravdu minimální.

3.3.2 Detektor napětí

Navrhnout detektor, který by přesně detekoval průchod napětí nulou, by bylo velice obtížné. Pro náš účel by mělo být plně postačující následující zapojení:

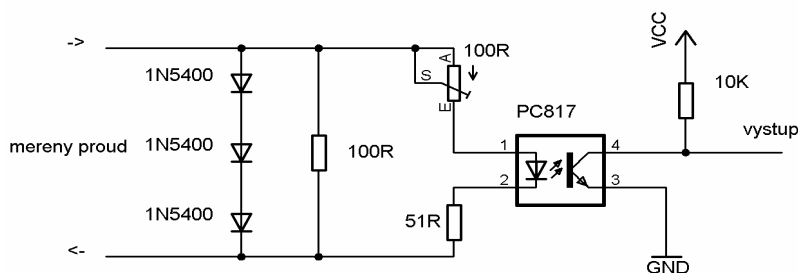


Obrázek 12: Detektor napětí

Detektor reaguje na kladnou i zápornou půlvlnu detekovaného napětí, je navržen na max. hodnotu napětí 400 V a měl by být poměrně odolný proti krátkodobému přepětí, výstup by neměl zakmitávat. To že výstup detektoru se nastaví do logické jedničky již při vstupním napětí ještě asi 10V není na závadu, neboť vstupní signál je harmonický a stálého kmitočtu, z naměřených hodnot zrealizovaného detektoru bude možno snadno určit časovou prodlevu do skutečné nulové hodnoty měřeného napětí.

3.3.3 Detektor proudu

Detektor proudu bude opět realizován poměrně jednoduchým zapojením:

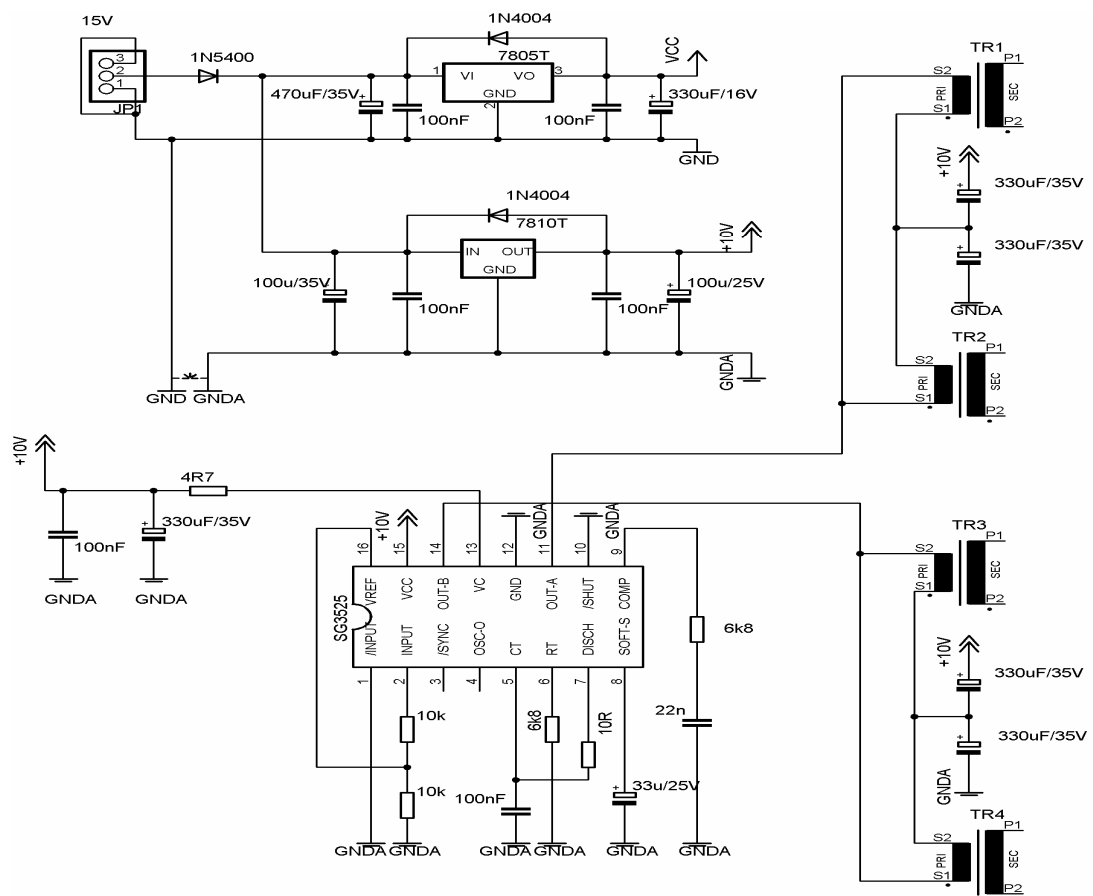


Obrázek 13: Detektor proudu

Detektor umožňuje průchod proudu pouze jedním směrem a tak, jak již bylo zmíněno, musí být umístěn v diodovém můstku spolu se spínacím tranzistorem. Je dimenzován použitím diod 1N5400 na maximální hodnotu proudu 3 A. Citlivost detektoru na procházející proud lze předpokládat poměrně velkou, a tak je vhodné ji omezit paralelním odporem 100R na hodnotu asi 20 mA kvůli následné bezproblémové detekci.

3.3.4 Napájení jednotky

Celkové napájení jednotky se předpokládá dostatečně vyhlazeným stejnosměrným napětím o hodnotě asi 15 V. Jednotka obsahuje dva napájecí systémy, první o velikosti napětí 5 V je určen pro napájení řídicí části, druhý o hodnotě napětí 10 V je určen pro napájení buzení spínacích tranzistorů. Napájení je řešeno standardním zapojením stabilizátorů. Země obou napájecích systémů jsou odděleny.



Obrázek 14: Napájecí část navrhované jednotky

Požadované galvanické oddělení řídicí a výkonové části na napěťovou pevnost 4 kV nedovoluje pro buzení spínacích tranzistorů výkonového spínače použití běžných DC/DC měničů. Bylo tedy zvoleno řešení pomocí oddělovacích transformátorů, které budou napájeny zapojením s obvodem SG 3525. Na každý z výstupů SG 3525 je antiparalelně připojena dvojice oddělovacích transformátorů následně zapojených do středu kapacitního děliče napětí. Toto zapojení je napájeno napětím o velikosti 10 V. Výstup obvodu SG 3525 OUT-A kmitá v mezích (0 až 10) V, výstup OUT-B pak (-10 až 0) V. Takto zapojené transformátory jsou potom napájeny napětím ± 5 V obdélníkového průběhu, střída přibližně 1:1 kmitočet je přibližně nastaven na 2 kHz. Převodní poměr transformátorů je 1:5, což představuje výstupní napětí kolem 25 V.

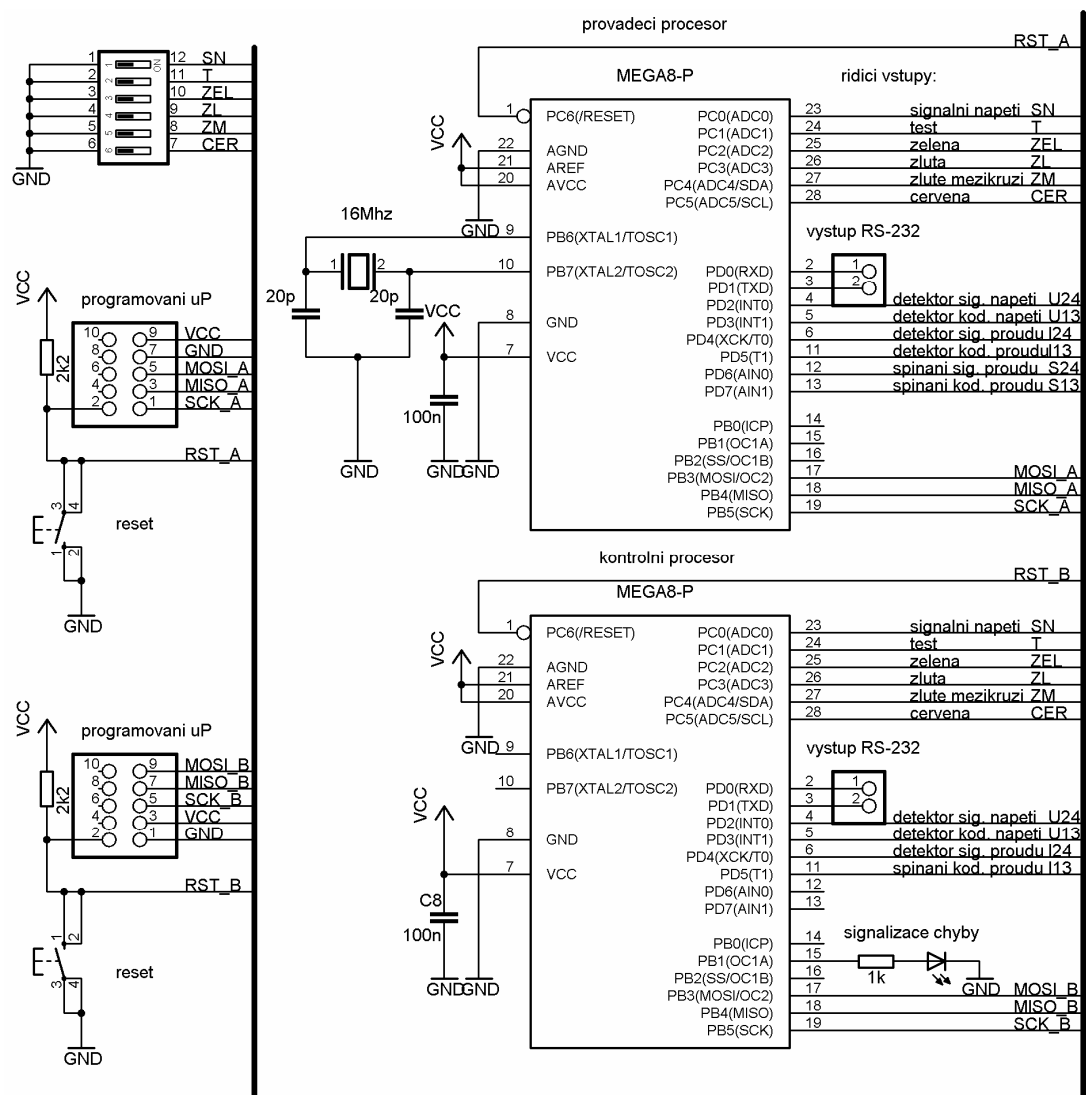
Potenciálně slabé místo ohledně životnosti by mohl být kapacitní dělič sestavený z elektrolytických kondenzátorů, avšak vzhledem k malému odběru budičů spínacích tranzistorů a tím následně i k malému odběru oddělovacích transformátorů by zvlnění napětí na kondenzátorech kapacitních děličů mělo být malé, a tudíž by v jeho důsledku nemělo dojít k omezení životnosti použitých kondenzátorů. Přesto by asi bylo vhodné použít kondenzátory svitkové.

Pro buzení transformátorů by dále bylo možno použít plného tranzistorového můstku například obvodu L6202 (je uzpůsoben pro spínání indukčních zátěží), přepínací kmitočet by mohl být generován astabilním multivibrátorem nebo mikroprocesorem. Transformátory by bylo možno spojit paralelně a připojit na výstupy obvodu L6202, musely by však mít menší převodní poměr, neboť obvod L6202 má minimální napájecí napětí 12 V. Rovněž by bylo potřeba ošetřit stav, kdy by z nejrůznějších důvodů vypadl generátor přepínacího kmitočtu čímž by se primární vinutí oddělovacích transformátorů ocitla ve stavu trvalého připojení ke stejnosměrnému napájecímu napětí. Dále je zde možnost výskytu zvýšeného rušení v důsledku přepínání můstku.

3.3.5 Řízení jednotky

Blok řízení jednotky obsahuje mikroprocesory ATmega8 s rozhraními pro připojení programátoru a obvodu pro možnost připojení k PC přes rozhraní RS-232 pro účely ladění programu, dále pak resetovací tlačítka. Prováděcí procesor je

z důvodu větší přesnosti generovaných kmitočtů taktován externím krystalem o kmitočtu 16 MHz. Kontrolní procesor je pak z důvodu větší bezpečnosti taktován vnitřním oscilátorem nastaveným na 1 MHz. K výběru režimu činnosti funkčního vzorku jednotky poslouží šestinásobný přepínač DIP, který obsahuje spínače standardních čtyř znaků, spínač pro trvalé připojení signálního napětí a ještě testovací spínač pro zvolení znaku červená o chybném přepínacím kmitočtu, který bude sloužit k ověření správné funkce kontrolního mikroprocesoru.



Obrázek 15: Řídicí část navrhované jednotky

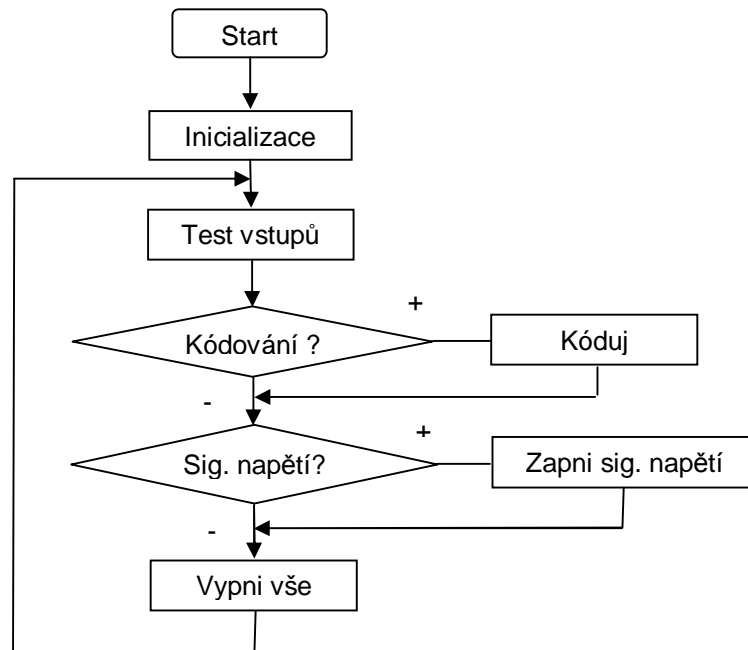
3.4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ MIKROPROCESORŮ

V následujícím textu si pomocí vývojových diagramů popíšeme činnost mikroprocesorů, zdrojové kódy jsou pak přiloženy v příloze

3.4.1 Programové schéma prováděcího procesoru

3.4.1.1 Hlavní funkce

Po spuštění mikroprocesoru dojde k inicializaci, kterou obstará funkce *init()*, poté dojde k otestování vstupů, na které je připojen DIP přepínač funkcí *test_vstupu()* a následně se podle požadovaného pracovního režimu volají prováděcí funkce. V případě požadavku na kódování je to funkce *koduj()*, v případě požadavku na připojení signálního napětí funkce *zap_s_nap()*, jinak se jedná o funkci *vypni_vse()*. Vývojový diagram hlavní funkce je uveden na následujícím obrázku:

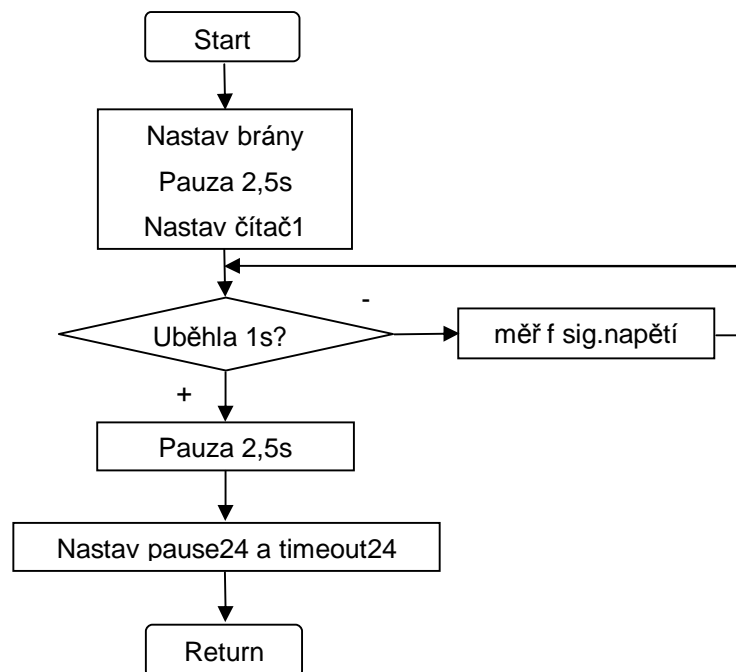


Obrázek 16: Vývojový diagram hlavní funkce prováděcího mikroprocesoru

3.4.1.2 Funkce *init()*

V prvním kroku funkce *init()* dojde k nastavení vstupních a výstupních bitů bran mikroprocesoru, následuje prodleva 2,5 s, během které by měly odeznít případné přechodné děje vyskytující se bezprostředně po zapnutí jednotky. Následně

se časovačem vymezí doba 1 s, během které se budou počítat impulsy přicházející z detektoru signálního napětí. Takto se změří jeho frekvence, neboť jak již bylo zmíněno, tak ve stanicích se používá signální napětí o kmitočtu 275 Hz a na širé trati se používá signální napětí o kmitočtu 75 Hz. Kódovací napětí je vždy o kmitočtu 75 Hz. Měření frekvence signálního napětí by mělo být odolné proti rušení, neboť výstup detektoru je načítán vždy třikrát, kdy mezi druhým a třetím načtením je časová prodleva 5 μ s. Hodnota detektoru se bere jako relevantní pokud, je během všech třech načtení neměnná. Po změření frekvence signálního napětí opět následuje prodleva 2,5 s z toho důvodu, aby se bezpečně uskutečnila inicializace kontrolního mikroprocesoru ve vypnutém stavu. Následně se podle kmitočtu signálního napětí vybere ze dvou hodnot (pro 75 Hz a pro 275 Hz) velikost prodlevy *pause24* pro eliminaci chyby napěťového detektoru a velikost *timeout24* pro potřeby kódování.

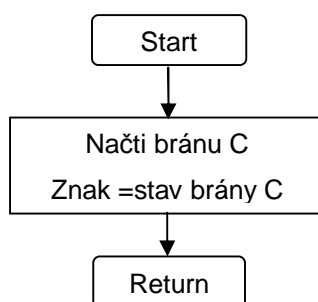


Obrázek 17: Vývojový diagram funkce inicializace

3.4.1.3 Funkce *test_vstupu()*

Funkce nejprve načte bránu, na které je připojený DIP přepínač, poté následuje časová prodleva 200 μ s a opětovné načtení brány z důvodu potlačení neurčitých stavů vznikajících při přepínání DIP přepínače. Pokud se stav brány

nezměnil, uloží se do globální proměnné *znak* číslo, které charakterizuje stav přepínače. V případě volby kódovacího znaku toto číslo vyjadřuje počet přetečení čítače během jedné půlperrody výsledného kódovaného signálu, což bude užitečné pro funkci *koduj()*. Brána s přepínačem se načítá vždy jako celek, nemůže tedy dojít k neurčitým stavům v důsledku sepnutí více spínačů, jako by tomu bylo, pokud by se načítala pouze po jednotlivých bitech. V případě sepnutí více spínačů se vyhodnotí stejný stav, jako kdyby nebyl sepnut žádný spínač, tedy stav vše vypnuto.

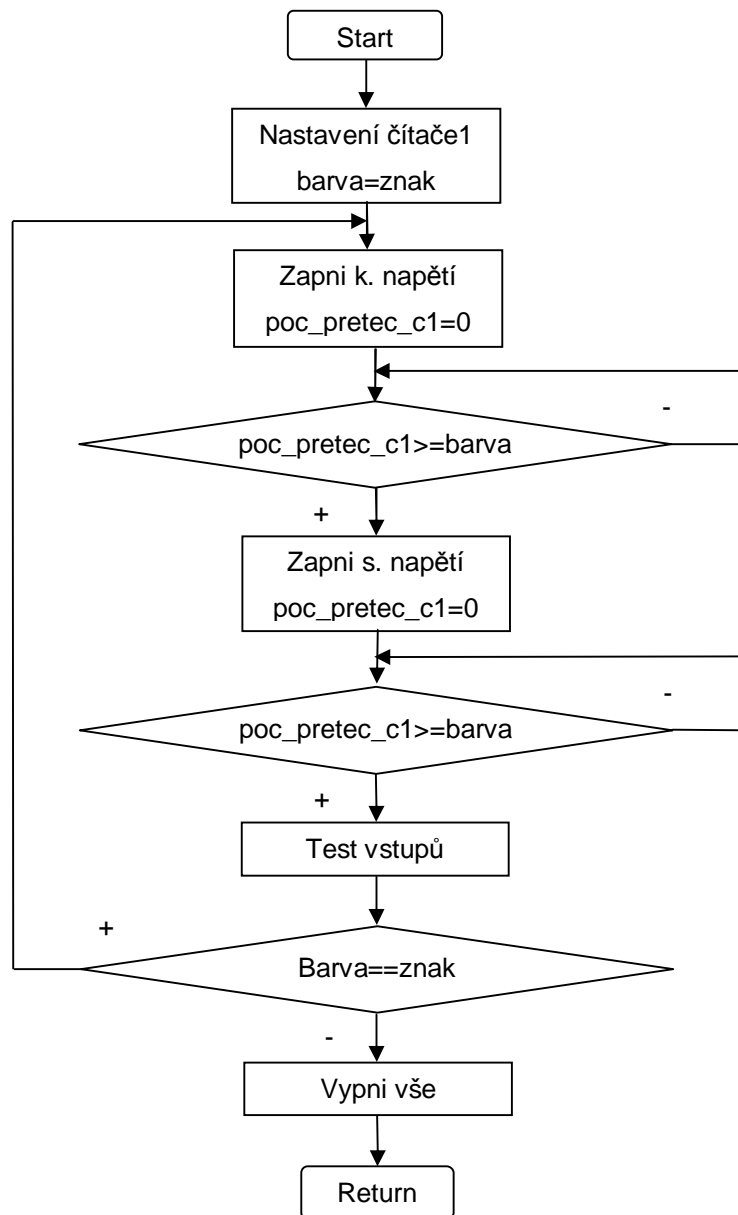


Obrázek 18: Vývojový diagram funkce načtení vstupů

3.4.1.4 Funkce *koduj()*

Po zavolání funkce dojde nejprve k nastavení čítače1. Čítač se nastaví do režimu časovače s přerušením při dosažení hodnoty podle porovnávacího registru. Frekvence přerušení je nastavena na 432 Hz, což bude základní kmitočet pro tvorbu všech kmitočtů výsledného kódovaného signálu. V obsluze přerušení dochází pouze k inkrementaci globální proměnné *poc_pretec_c1*. V proměnné *znak* je v případě požadavku na kódování uloženo číslo, které znamená počet přetečení čítače1 za půlperodu výsledného kódovaného signálu. Z důvodu větší přesnosti výsledného kódu je vhodné nastavit čítač na větší počet přerušení během jedné půlperrody, v našem případě je pro nejvyšší přepínací kmitočet kódu zelené 5,4 Hz zvolen počet přetečení čítače1 za půlperodu na hodnotu 40, u červené 0,9 Hz je pak tato hodnota již 240. Po nastavení čítače se do lokální proměnné *barva* přiřadí hodnota globální proměnné *znak*. Následně se funkcí *zap_k_nap()* zapne kódovací napětí, vynuluje se proměnná *poc_pretec_c1* a čeká se půl perrody, poté se funkcí *zap_s_nap()* přepne na signální napětí, vynuluje se *poc_pretec_c1* a opět se čeká půl perrody výsledného kódu, během které se otestuje stav přepínače. Následně se zjišťuje, jestli došlo ke

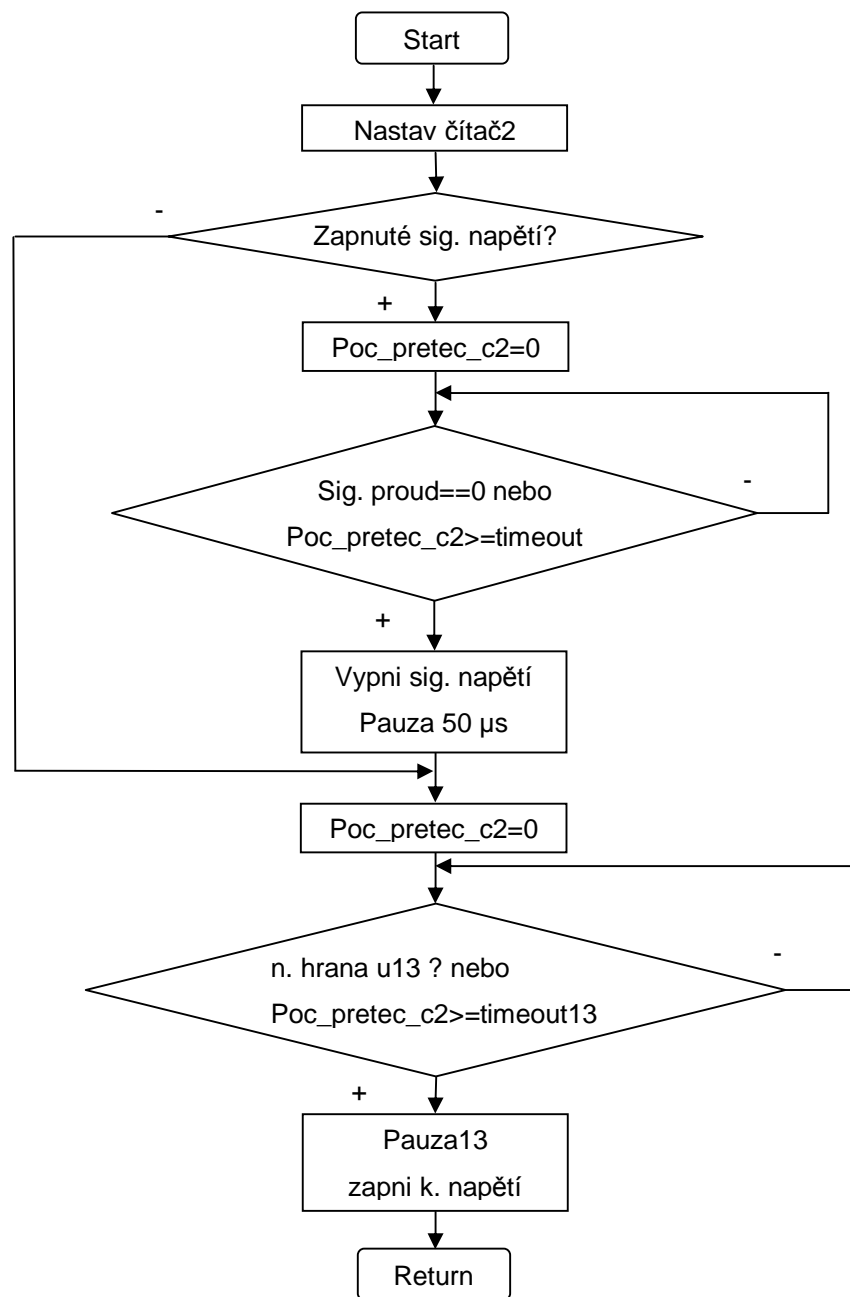
změně režimu činnosti, pokud ne pokračujeme v kódování, pokud změna nastala, zavolá se funkce *vypni_vse()* a nastane ukončení funkce. Je zřejmé, že ukončení kódování je možné nejdříve po doběhu započaté periody výsledného kódu.



Obrázek 19: Vývojový diagram funkce kódování

3.4.1.5 Funkce *zap_k_nap()*

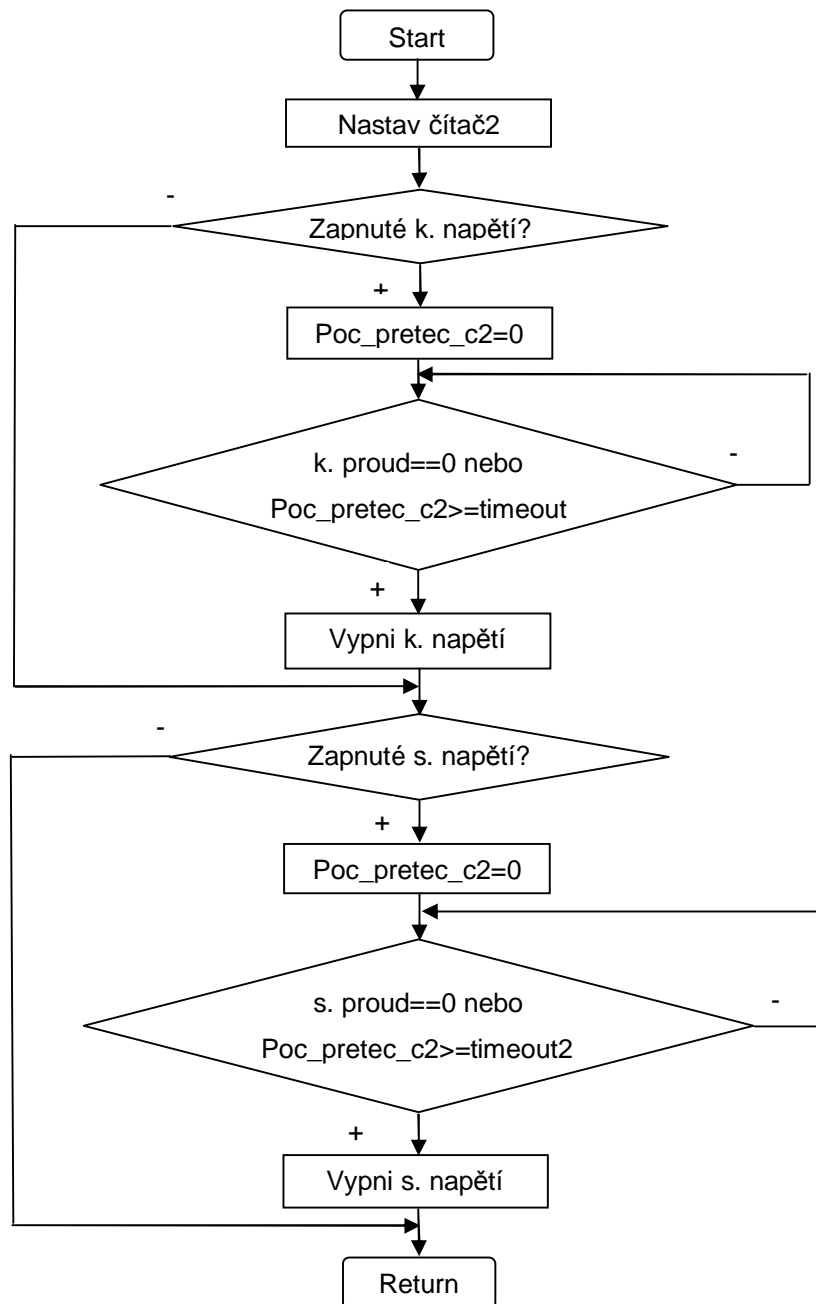
Funkce nejprve nastaví čítač2, který bude použit pro určení časového limitu pro čekání na proudové a napět'ové nuly. Čítač bude pracovat ve stejném režimu jako čítač1 s frekvencí generování přerušení 2747 Hz. V proměnných *timeout24* a *timeout13* je číslo vyjadřující počet přerušení čítače2 tak, aby velikost časového limitu byla přibližně rovna délce periody signálního a kódovacího napětí, vzhledem k tomu, že detektory proudu i napětí zachytávají obě půlvlny střídavé veličiny, musí do této doby za běžné situace bezpečně dojít k registraci průchodu nulou. V proměnných *pause24* a *pause13* je potom počet mikrosekund udávající dobu čekání od náběžné hrany impulsu z detektoru signálního a kódovacího napětí do skutečné napět'ové nuly. Protože se jedná pouze o prodlevu, použijeme funkce zpoždění. Proměnné *pause_{xx}* a *timeout_{xx}* jsou nastaveny funkcí *init()*. Následná činnost funkce *zap_k_nap()* je patrná z vývojového diagramu. Funkce *zap_s_nap()* je funkčně analogická.



Obrázek 20: Vývojový digram funkce zapnutí kódovacího napětí

3.4.1.6 Funkce vypni_vse()

Poslední funkcí programového vybavení prováděcího mikroprocesoru je funkce *vypni_vse()*. Vypínání se opět děje v nulách proudu shodně jako v předchozí funkci. Vývojový diagram funkce je následující:



Obrázek 21: Vývojový diagram vypínací funkce

3.4.2 Programové schéma kontrolního mikroprocesoru

Kontrola správnosti opakovacího kmitočtu výstupního kódovaného signálu vychází z předpokladu stálosti kmitočtu signálního a kódovacího napětí a je realizována jako počítání počtu impulsů z proudových detektorů během půlperrody

výsledného kódu a následné porovnání naměřené hodnoty se správnou hodnotou. Například pokud vezmeme kód zelené barvy o opakovacím kmitočtu 5,4 Hz. Půlperiody se střídají s frekvencí 10,8 Hz, během půlperiody prochází kódovací proud o kmitočtu 75 Hz. Detektor zachycuje jeho obě půlvlny, Správný počet kódovacích impulsů tedy bude: $sp_k_imp_zel = \frac{2 \times 75}{10,8} = 14$.

Další možností jak realizovat kontrolu správnosti opakovacího kmitočtu výstupního kódu by bylo například ověřování správné doby trvání dané půlperiody. Tato metoda je však závislá na přesnosti oscilátoru, která v případě užití interního oscilátoru není velká a navíc se může měnit v důsledku teploty, stárnutí atd. Stanovení tolerančních mezí by zde bylo dosti obtížné. Z těchto důvodů byla pro realizaci zvolena metoda první, která je na přesnosti čítače nezávislá, je jednoduchá a tudíž by za podmínky dostatečné stálosti vstupních kmitočtů měla být spolehlivá.

Hlavní funkce kontrolního mikroprocesoru je v podstatě shodná s hlavní funkcí prováděcího mikroprocesoru, pouze se zde namísto prováděcích funkcí volají funkce kontrolní. Shodná je též funkce *test_vstupu()*. Velice podobná je i funkce *init()*, liší se pouze tím, že na svém konci nemá časovou prodlevu a hlavně tím, že podle výsledku měření frekvence signálního napětí se nastavují správné hodnoty počtu impulsů během půlperiody výsledných kódů.

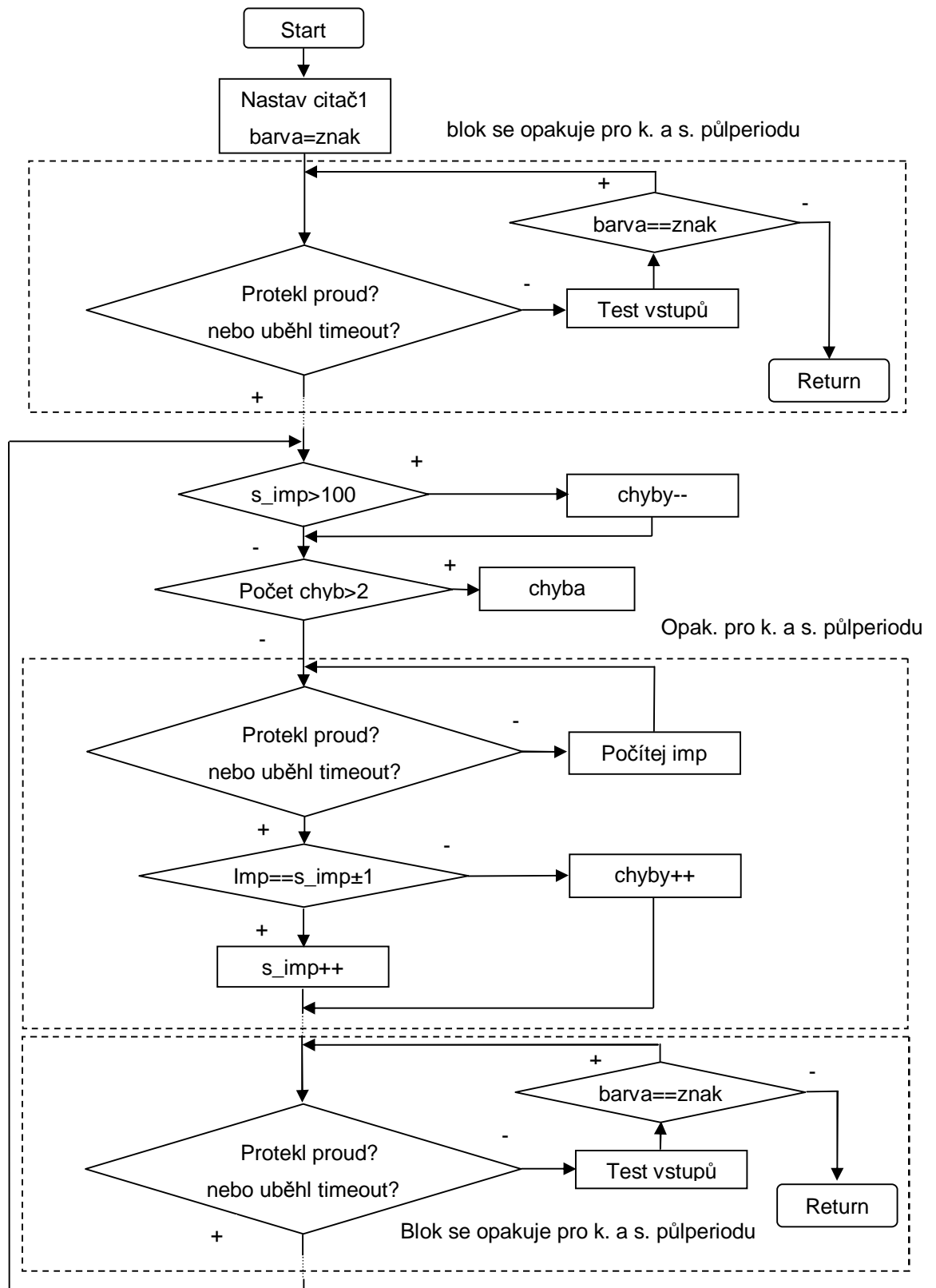
3.4.2.1 Funkce *k_kodovani(s_p_k_imp, s_p_s_imp)*

Tato funkce je určena pro kontrolu správnosti opakovacího kmitočtu výstupního kódu a je volána vždy při požadavku na kódování, v parametrech funkce se pak předávají správné hodnoty počtu impulsů kódovacího a signálního napětí během půlperiody. Cyklus počítání proudových impulsů od příslušného detektoru během půlperiody se začíná prvním impulsem tohoto detektoru a končí prvním impulsem druhého detektoru. Tedy měření počtu impulsů během půlperiody, kdy je sepnutý spínač signálního napětí, začíná s prvním průchodem signálního proudu a je ukončen prvním průchodem kódovacího proudu.

Po zavolání funkce dojde k nastavení čítače1, aby generoval přerušování s frekvencí 2Hz. Čítač bude opět sloužit pro potřeby definování časových limitů, do

kterých je ještě možné čekat na příchod proudového impulsu ukončujícího počítací cyklus půlperrody. Tímto se ošetří chybový stav, kdy sice běží kódování, ale neprotéká proud (zničení spínacího tranzistoru, přerušení obvodu). Timeout je dán pevně na hodnotu 1,5s. V dalším běhu funkce se do lokální proměnné *barva* přiřadí hodnota globální proměnné *znak*, ve které je opět uloženo číslo udávající zvolený pracovní režim jednotky. Následně čekáme na odběhnutí dvou půlperiod signálu, jejich pořadí je: kódovací a signální, během kterých se pouze testuje stav přepínače a podle výsledku se zvažuje ukončení funkce. Pokud je cyklus půlperrody ukončen na základě vypršení timeoutu dojde k okamžitému vyhlášení chyby (z důvodu větší přehlednosti není uvedeno ve vývojovém diagramu). Počítání impulsů během těchto dvou půlperiod neběží z důvodu možného doběhu předešlého kódu, což je dáno tím, že funkce *koduj()* prováděcího procesoru vždy dokončuje periodu kódu. Funkce vyhlásí chybu při výskytu dvou chyb, přičemž pokud proběhlo za sebou sto bezproblémových kontrolních součtů impulsů, je počet chyb snížen o jednu, samozřejmě jenom za podmínky, že již není nulový.

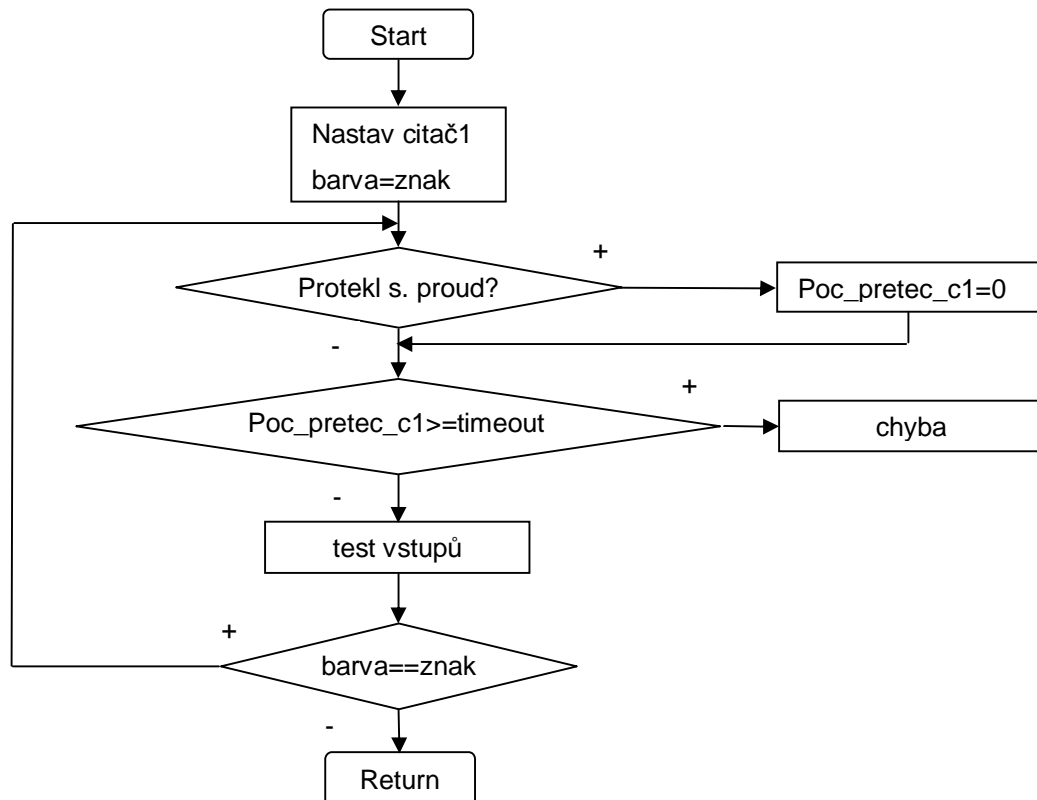
V návaznosti na předchozí signální půlperiodu pokračuje kódovací půlperioda, během které již kontrolní součet běží. Po skončení půlperrody se porovná naměřená hodnota se správnou hodnotou v toleranci ± 1 impuls. Poté následuje to samé pro signální periodu. Funkce testování vstupů je v důsledku ošetření přechodných stavů při přepínání přepínače poměrně časově náročná a pravděpodobně by narušila správný běh počítání proudových impulsů během půlperrody, zejména v případě, že by bylo použito signální napětí o frekvenci 275Hz, což představuje kmitočet impulsů od detektoru 550Hz. Z tohoto důvodu je testování vstupů vyhrazena následující půlperioda kódovacího proudu, kde se opět podle jejího výsledku zvažuje, zda funkci opustit. Kvůli zachování sledu půlperiod se totéž opakuje ještě během signální půlperrody. Nevýhodou tohoto uspořádání je, že testujeme pouze každou druhou periodu. Avšak výskyt takových chyb, že by se dokázaly systematicky a dlouho „vyhýbat“ kontrolnímu měření je velice nepravděpodobný.



Obrázek 22: Vývojový diagram funkce kontroly kódování

3.4.2.2 Funkce $k_s_nap()$

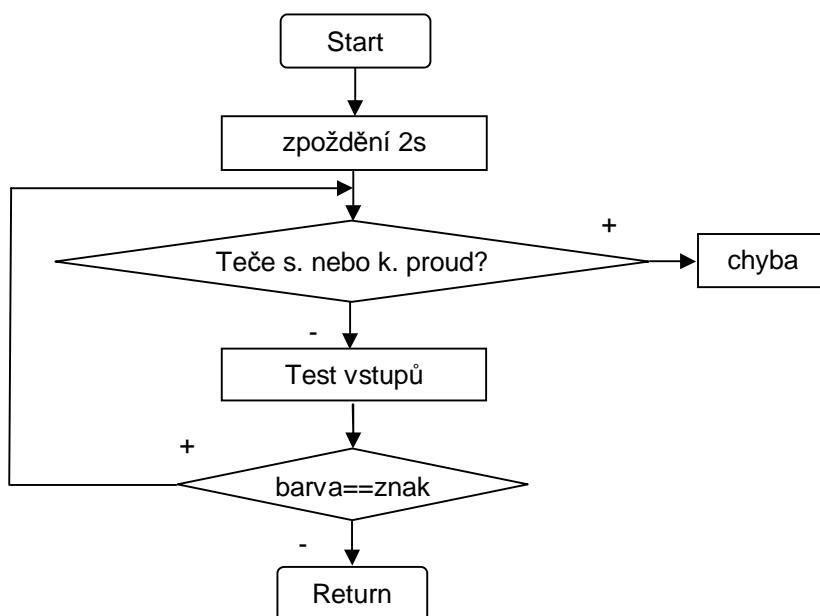
Tato funkce slouží pro kontrolu správné činnosti, pokud je zvolen režim trvalého připojení signálního napětí. Činnost funkce je následující, pokud do časového limitu 1s nepřijde alespoň jeden impuls z detektoru signálního proudu udávající, že obvodem protekl proud, je vyhlášena chyba. Výstup detektoru je z důvodu vyloučení rušení opět načítán opakovaně. V případě, že by ještě dobíhala perioda předešlého kódu, k chybě nedojde, neboť délka nejdelší půlperiody kódu červené je 0,56s, není tedy nutné kvůli tomu činit žádná opatření. Takto funkce kontroluje bezporuchový stav celého obvodu signálního proudu.



Obrázek 23: Vývojový diagram funkce kontroly signálního napětí

3.4.2.3 Funkce $k_vypnuto()$

Poslední kontrolní funkcí je $k_vypnuto()$, která kontroluje klidový stav, kdy nesmí procházet žádný proud, jinak dojde k vyhlášení chyby. Případný doběh předchozího kódu je ošetřen pomocí časového zpoždění.



Obrázek 24: Vývojový diagram funkce kontroly vypnutého stavu

3.5 BEZPEČNOST ZAŘÍZENÍ VE SMYSLU TNŽ 34 2606

Norma TNŽ 34 2606 rozpracovává ustanovení ČSN 34 2600 pro účely ověřování elektronických obvodů, podílejících se na zajišťování bezpečnosti železniční dopravy. Stanovuje základní postupy při rozborech bezpečnosti obvodů zabezpečovacích zařízení sestavených z relé, diskretních elektronických součástí a z integrovaných obvodů malé a střední integrace.

Tato norma není určena pro posuzování bezpečnosti zařízení, které obsahují mikroprocesory. Tudíž ji použijeme pouze na spínací stupeň, konkrétně spínač S1, kde si na několika příkladech ukážeme postup při rozboru bezpečnosti jeho zapojení. Norma definuje různé způsoby poruch a úkolem je zjistit jejich vliv na činnost zařízení.

3.5.1 Zkrat nebo přeměna spínacího tranzistoru v diodu

Spínač S1 je sepnutý bez ohledu na stav řízení, pokud následně dojde k sepnutí signálních spínačů S2 a S4 vznikne zkrat, který vybaví nadproudové ochrany. Výsledek této poruchy je bezpečný

3.5.2 Přerušení kterékoliv z elektrod spínacího tranzistoru

Spínač S1 nelze sepnout, v případě požadavku na kódování, kolejořý obvod nebude napájen kódovacím proudem, kontrolní procesor zářadu zjistí a nastaví chybořý výřtup. Výřledek této poruchy je bezpečný.

3.5.3 Vřrůst odporu v C nebo E spínacího tranzistoru

Lze očekářat zvětření tepelné ztráty, která v krajním případě může véřt k tepelné destrucci tranzistoru, tranzistor může zůřtat trřvale rozepnutý, poté je výřledek dle bodu 2, nebo může zůřtat trřvale sepnutý, potom se jedná o přířpad 1.

3.5.4 Vřrůst svodu mezi C a E spínacího tranzistoru

Zhorření funkce spínáče, které v krajním případě může véřt k výřledku dle bodu1.

3.5.5 Přeruřšení přívodu do G spínacího tranzistoru

V přířpadě, že je tranzistor vypnutý jedná se o stejný přířpad jako v bodě 2. Pokud bude tranzistor sepnutý, bude se vstupní kapacita C_{GE} velice pomalu vybířjet v důřledku toho, se tranzistor bude pomalu zavířrat a pravděřpodobně dojde k jeho tepelné destrucci, v horřím přířpadě nastane bod 1.

3.5.6 Vřrůst odporu v G spínacího tranzistoru

Zhorření funkce spínáče, které v krajním případě může véřt k výřledku dle bodu1.

3.5.7 Zkrat kterékoliv diody můřtku

Spínač je během jedné řpřperiody kódovacího napětí vřždy sepnutý, což v horřím přířpadě odpovířdá bodu1.

3.5.8 Rozřpojení kterékoli diody můřtku

Spínač je během jedné řpřperiody kódovacího napětí vřždy rozepnutý, situace bude podobná bodu 2.

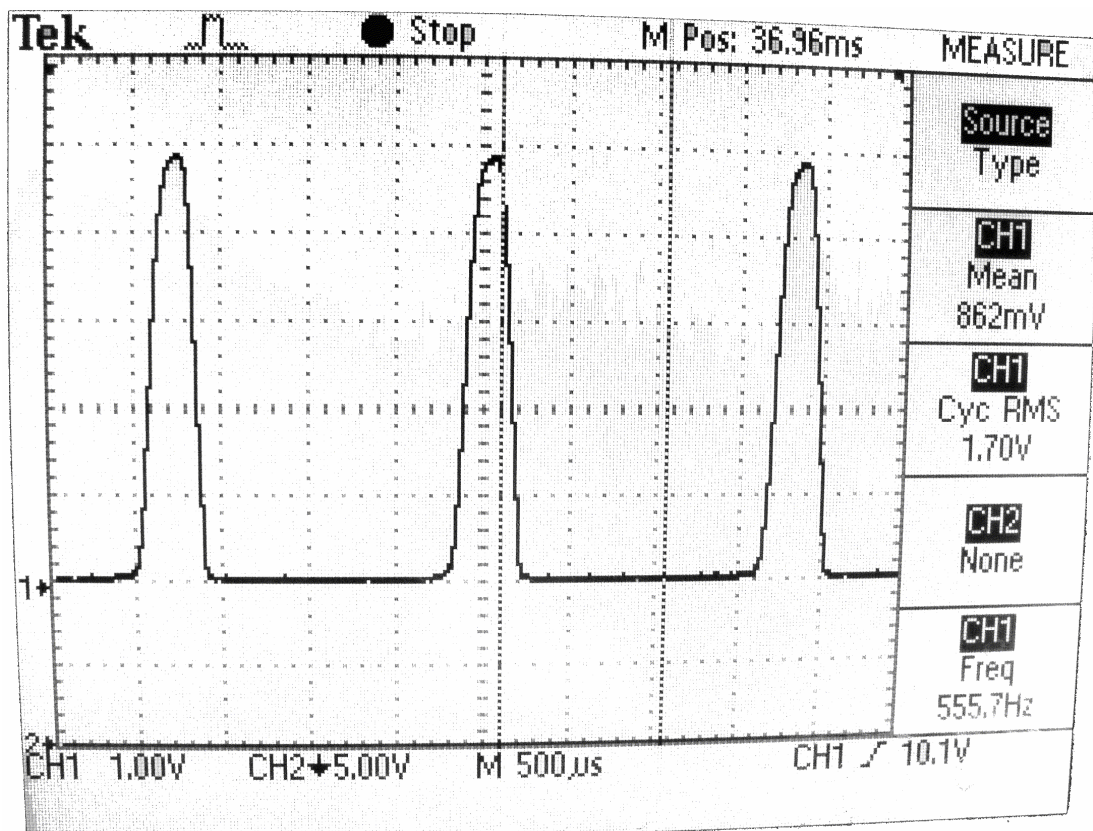
Tímto způsobem by se vyřšetřil vřliv poruchy každého prvku zapojení

3.6 REALIZACE NAVRŽENÉ PŘEPÍNAČÍ JEDNOTKY

Navržená jednotka byla zrealizována do podoby funkčního vzorku a byla na ni provedena základní měření.

3.6.1 Výsledky měření na detektoru napětí

Na detektor bylo přiloženo napětí o velikosti 50 V a kmitočtu 275 Hz, naměřený průběh je uveden na obrázku, vysoká hodnota výstupního napětí znamená nulu detekovaného napětí

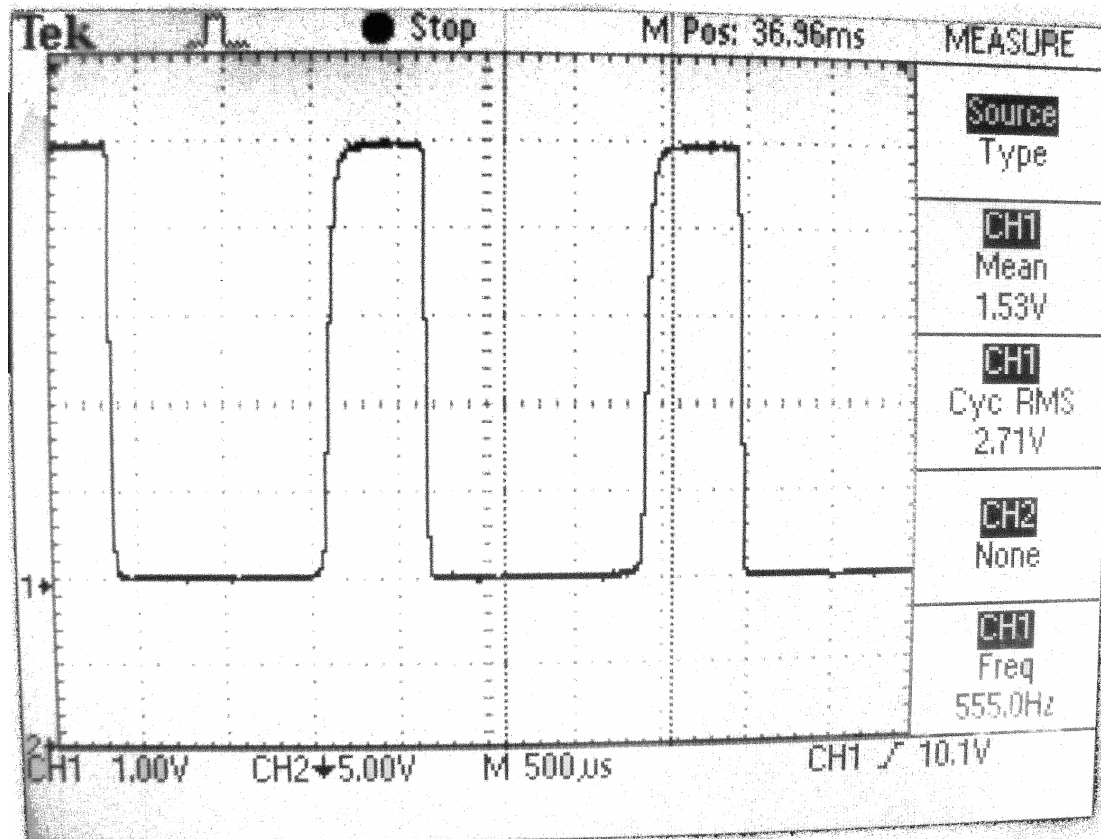


Obrázek 25: Výstup detektoru napětí pro $U_{\text{vst}}=50\text{V}/275\text{Hz}$

Detektor začínal reagovat již při přiloženém napětí asi 6,5 V. Aby byl výstup použitelný k detekci, musí být přiložené napětí o něco větší, ale při hodnotě kolem 10 V už by měla být detekce spolehlivá. Vzhledem k tomu, že detektor je navržen na trvalé napětí kolem 400 V je jeho citlivost velice dobrá.

3.6.2 Výsledky měření na detektoru proudu

Při měření procházel detektorem proud o velikosti 27 mA a kmitočtu 275 Hz, vysoká úroveň výstupního napětí opět znamená nulu vstupního proudu



Obrázek 26: Výstup detektoru proudu pro $I_{\text{vt}}=27\text{mA}/275\text{Hz}$

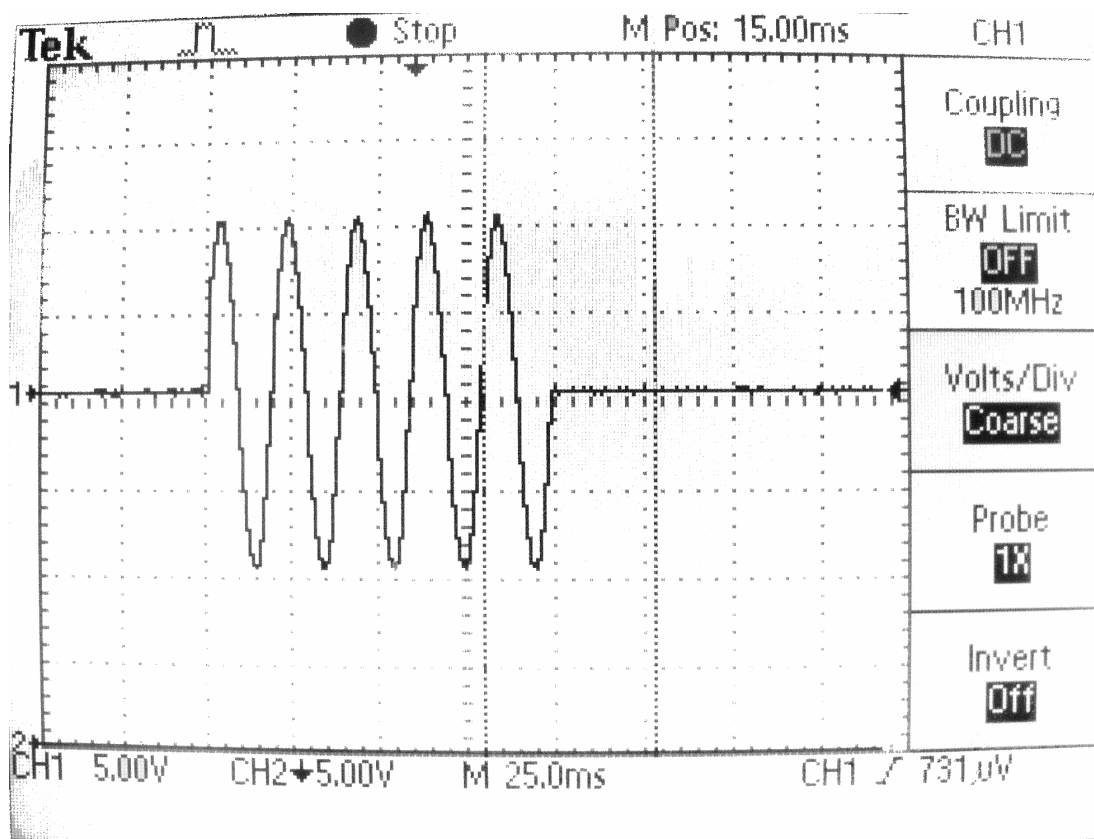
Detektor začínal reagovat při protékajícím proudu o velikosti asi 7 mA. Citlivost detektoru je opět lepší než očekávaná, vliv nastavovacího trimru na činnost detektoru byl zanedbatelný.

3.6.3 Výsledky měření funkce jednotky

Při měření byl jako zdroj signálního proudu použit generátor o frekvenci 275 Hz a napětí 50 V avšak generátor kódovacího proudu byl k dispozici pouze s frekvencí 50 Hz a napětím 50 V. Byly proto přizpůsobeny čekací doby a timeouty v programu prováděcího mikroprocesoru a správné počty impulsů v programu

kontrolního mikroprocesoru. Jako zátěž bylo použito rezistoru o velikosti 56Ω . Spínačem tedy protékal proud asi 0,9 A.

Nejprve byl připojen pouze zdroj kódovacího proudu o frekvenci 50 Hz, na jednotce byl zvolen kódovací znak zelená.



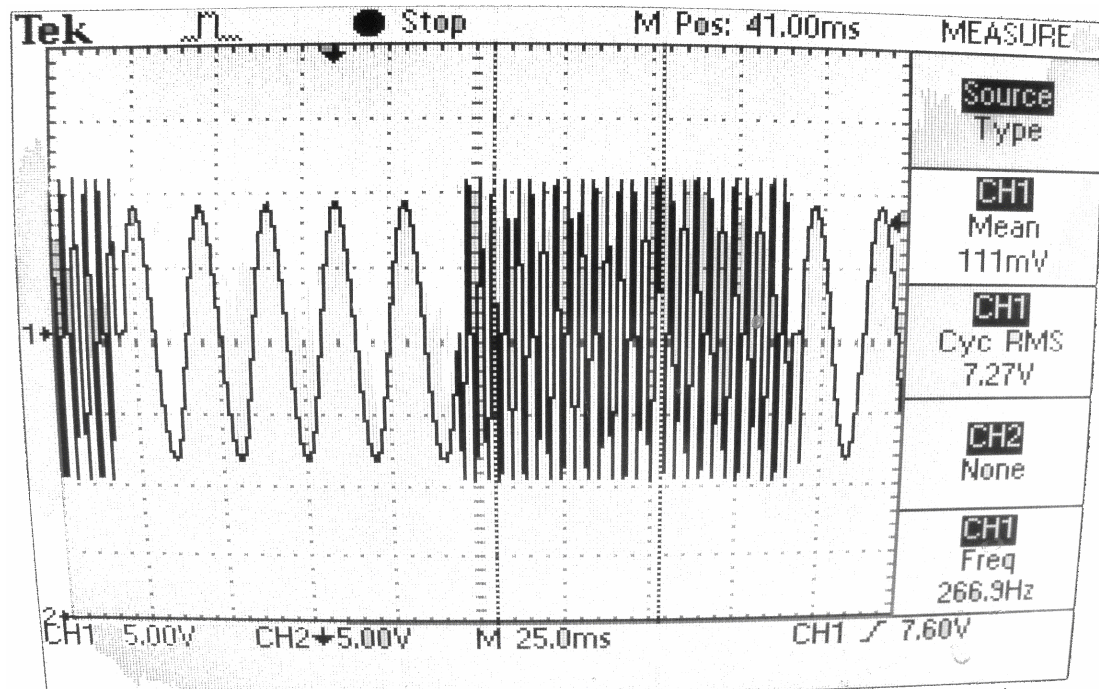
Obrázek 27: Napětí na zátěži $R=56\Omega$ $U_{\text{vst}}=50\text{V}/50\text{Hz}$, znak zelená

Z obrázku je patrné, že první půlvlna je trochu oříznutá, je to způsobeno tím, že napěťový detektor je citlivější, než se v návrhu předpokládalo. Stačí pouze trochu zmenšit čekací dobu od náběhu detektoru napětí do sepnutí spínače.

Vypnutí pak již proběhlo správně, neboť poslední půlvlna je celá.

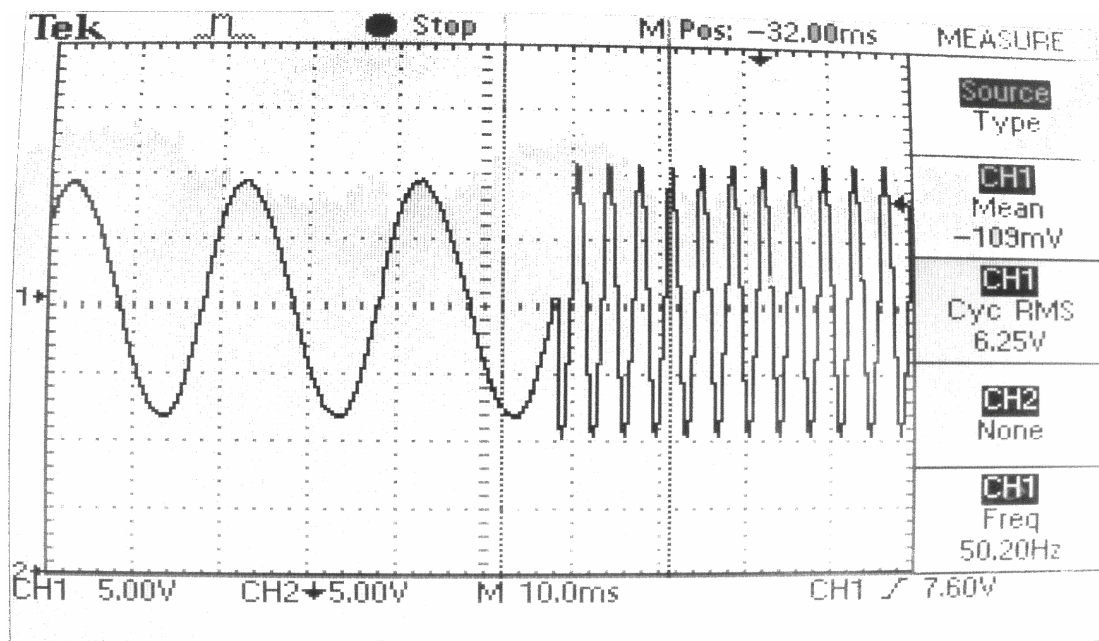
Délka půlperiody odečtená z obrazovky odpovídá opakovacímu kmitočtu asi 5,2 Hz, což by mělo být v pořádku, neboť jednotka po vyměření půlperiody musí počkat na proudovou a napěťovou nulu spínaného signálu.

Následně byl připojen i generátor signálního napětí, kódování je opět podle zelené 5,4 Hz.



Obrázek 28: Napětí na zátěži $R=56\Omega$, $U_{\text{vst}}=50\text{V}/50\text{Hz}$ a $50\text{V}/275\text{Hz}$, znak zelená

Detail ukazuje, že přepnutí signálního a kódovacího napětí proběhlo správně:

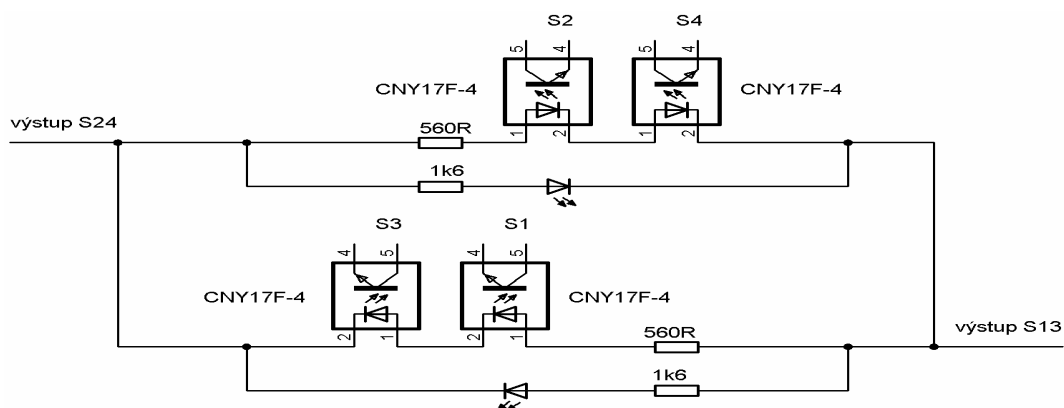


Obrázek 29: Detail přepnutí k. a s. napětí

3.6.4 Doplnovací návrhy

3.6.4.1 Ovládání spínačů

V návrhu obvodového řešení chybí blokování stavu, aby v případě chyby nebylo možné zároveň sepnout všechny spínače současně, což by mělo za následek kompletní zničení spínače. Antiparalelním zapojením dvojic ovládacích optočlenů mezi řídicí výstupy mikroprocesoru S24 a S13, jak je uvedeno na obrázku, dojde k ošetření tohoto stavu bez nutnosti přidání dalších prvků.



Obrázek 30: Vzájemné blokování spínačů S24 a S13

3.6.4.2 Ochrany spínačů

Návrh neobsahuje žádné ochrany spínacích tranzistorů. I když spínací tranzistory mají vysoké $U_{CEmax} = 1200\text{ V}$ a jsou vypínány v proudové nule, tudíž by ani induktivní zátěž neměla činit potíže, bylo by potřeba zvážit možnost výskytu různých přepětí a napěťových špiček a navrhnout odpovídající ochrany.

3.6.4.3 Napájení budících obvodů spínacích tranzistorů

V návrhu není ošetřen stav, kdy by z nejrůznějších důvodů došlo k výpadku obvodu SG 3525. V případě, že by se tak stalo, nedojde k ohrožení primárních vinutí oddělovacích transformátorů zkratem, neboť pokud výstup obvodu SG3525 zůstane trvale v napájecím nebo nulovém napětí, dojde pouze k tomu, že se jeden z kondenzátorů kapacitního děliče nabije na plné napětí, čímž přestane procházet proud. Problém nastane na straně IGBT tranzistorů, pokud by tranzistory v tuto chvíli byly sepnuté (nebo by k tomu mělo dojít) došlo by při výpadku napájení

k velice pomalému vybíjení filtračních kondenzátorů v obvodu buzení a následně k pomalému zavírání tranzistorů, což by pravděpodobně skončilo jejich tepelnou destrukcí. Kmitání výstupů obvodu SG 3525 by mohl hlídat kontrolní mikroprocesor, nebo například čítač, pokud by došlo k vysazení kmitů, hlídač by všechny tranzistory rozpojil.

Budící obvod spínacího tranzistoru by mohl být doplněn o hlídače podpětí, které by byly připojeny na filtrační kondenzátory, aby zejména spínací napětí nemohlo poklesnout pod bezpečnou mez. Pokles napětí na kondenzátorech by mohl nastat v důsledku poruchy optočlenu, nebo bipolárních tranzistorů. Hlídač podpětí by mohl být přes optočlen spojen s řídicí částí a v případě výskytu chyby by rozpojil všechny spínače a tím uvedl jednotku do bezpečného stavu.

Převodní poměr oddělovacích transformátorů 1:5 je zbytečně veliký, postačoval by 1:4, případně i menší. Při realizaci jsme však byli omezeni tím, co bylo k dispozici, neboť tyto oddělovací transformátory nepatří mezi běžné komponenty.

3.6.4.4 Řídicí část

Bylo by vhodné rozšířit vstupy kontrolního mikroprocesoru tak, aby měl informaci o tom, jak jsou povelovány signální a kódovací spínače.

Oba mikroprocesory by měly být taktovány stejným kmitočtem. Například prováděcí mikroprocesor externím krystalem 8 MHz, kontrolní pak interním oscilátorem 8 MHz. Kmitočet by mohl být i nižší.

V návrhu funkčního vzorku má kontrolní mikroprocesor pouze jeden výstup a to indikaci chyby pomocí led diody. Obvod by měl být doplněn tak, aby měl možnost v případě poruchy rozepnout všechny spínače. Mělo by dojít k rozepnutí i v případě, že kontrolní mikroprocesor přestane fungovat. Základní osnovou by mohl být rozpínací kontakt, který se sepne pouze v případě, že kmitá výstup kontrolního mikroprocesoru.

3.6.4.5 Programové vybavení

I když byla provedena základní měření funkce přepínací jednotky a oba mikroprocesory pracovaly podle očekávání, nebyly prostředky k řádnému odladění programů, možnost výskytu programové chyby tedy není zcela vyloučena.

Mohla by se zvážit možnost použití interních watchdogů, avšak musí se zhodnotit s tím spojené nebezpečí uvíznutí mikroprocesorů v opakovaných resetech. Tento typ mikroprocesorů má během resetu brány ve stavu vysoké impedance, nemělo by tedy dojít k nežádoucímu spínání výstupů.

Dále by se mohlo uvážit, zda umožnit kontrolnímu mikroprocesoru v případě chyby provést omezený počet resetů prováděcího mikroprocesoru. Případně je zde možnost použití externích watchdogů.

4. ZÁVĚR

V úvodu po nastínění problematiky řízení železniční dopravy byl zpracován popis výstroje dvoupásových kolejových obvodů a blokový popis činnosti traťového zabezpečovacího zařízení (autobloku), byly vybrány pouze funkce podstatné pro pochopení funkčního začlenění navrhované přepínací jednotky do systému. O problematice činnosti traťového zabezpečovacího zařízení prakticky neexistuje literatura, informace byly získávány z konzultací se zaměstnancem firmy AŽD.

Následně byl proveden návrh přepínací jednotky, která by měla sloužit jako náhrada stávající jednotky TYS5. Řízení jednotky je realizováno mikroprocesorem ATmega8. Z důvodu zvýšených požadavků na bezpečnost byl použit další mikroprocesor stejného typu jako hlídač správné činnosti přepínací jednotky. V souladu s požadavky zadání byl proveden návrh obvodového řešení jednotky. Návrh výkonové části by měl být vyhovující jak ohledně proudového a napěťového dimenzování, tak splněním požadavků na galvanické oddělení 4 kV. Bylo provedeno nastínění rozboru bezpečnosti výkonového spínače ve smyslu TNŽ 34 2606. Dále byl proveden návrh programového vybavení obou mikroprocesorů.

Dle navrženého obvodového řešení byla zhotovena pokusná deska plošných spojů a návrh byl jako celek realizován do podoby funkčního vzorku, na kterém proběhla základní měření při zapojení s odporovou zátěží. Výsledky uskutečněných měření lze pokládat za úspěšné.

Nakonec bylo uvedeno několik návrhů na doplnění obvodového řešení a programového vybavení přepínací jednotky.

V další práci na projektu by na základě výsledků návrhu funkčního vzorku přepínací jednotky následoval konstrukční návrh prototypu, konečné odladění programového vybavení, a realizace potřebného počtu prototypů. Tyto prototypy by byly podrobeny úplnému komplexu zkoušek v rámci laboratorní typové zkoušky (funkční zkoušky, zkoušky elektrické, klimatické a mechanické odolnosti, EMC zkoušky). Následně by byly prototypy nasazeny do ověřovacího provozu v reálném prostředí.

5. LITERATURA

- [1] Chudáček V., Poupě O.: Zabezpečovací technika v železniční dopravě I. NADAS, Praha 1970
- [2] Chudáček V., Poupě O.: Zabezpečovací technika v železniční dopravě II. NADAS, Praha 1972
- [3] Chudáček. V, a kol.: Detekce kolejových vozidel v železniční zabezpečovací technice, Praha 2005
- [4] Macoun Z.: Nádvorník B.:Liniový vlakový zabezpečovač. NADAS, Praha 1971
- [5] Koblasa K.:Základy zabezpečovací techniky na železnici II. NADAS, Praha 1968
- [6] Technické podmínky TP AŽD 433 “Elektronické spínače TYS-4 a TYS-5 ”, AŽD 2003
- [7] TNŽ 34 2606. Ústřední ředitelství ČSD, Praha 1992

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Kompletní schéma prepínací jednotky
Příloha 2	Zdrojové kódy
Příloha 3	Pokusná deska plošných spojů

Přílohy 2 a 3 se nacházejí na přiloženém CD