

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh detektoru pohybu kolejového vozidla při vypnuté
mobilní části systému ETCS**

Oleg Sharov

2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Oleg SHAROV**
Osobní číslo: **E16N0081P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Návrh detektoru pohybu kolejového vozidla při vypnuté mobilní části systému ETCS**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Popište obecně ETCS se zaměřením na mobilní část a funkci detekce studeného stání.
2. Navrhněte zapojení pro detekci studeného stání podle zásad zabezpečovací techniky.
3. Proveďte základní rozbor bezpečnosti zapojení podle normy ČSN EN 50129.
4. Realizujte funkční vzorek, ověřte provedený rozbor bezpečnosti.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

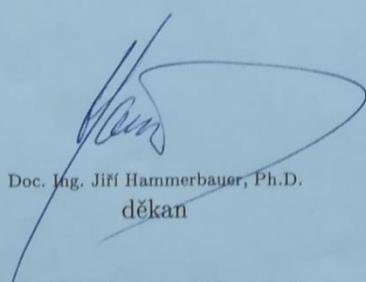
Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Hloušek, Ph.D.

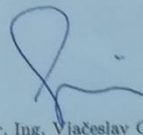
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2018


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat detektor stání kolejového vozidla při vypnuté mobilní části systému ETCS. Návrh tohoto detektoru byl realizován dle zásad zabezpečovací techniky a následně byl proveden rozbor bezpečnosti podle normy ČSN EN 50129.

Klíčová slova

kolejové vozidlo, železniční zabezpečovací technika, ETCS, detektor stání, ČSN EN 50129

Abstract

The purpose of this master thesis was to design and create the prototype of cold movement detector for railway vehicles while the on-board part of ETCS system is switched off. The design of this detector was implemented in accordance with principles of a railway signalling and interlocking and the safety assesment was performed in accordance with standard ČSN EN 50129.

Key words

railway vehicle, railway signalling and interlocking, ETCS, movement detector, ČSN EN 50129

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 18.5.2018

Oleg Sharov

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hlouškovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Janu Švíkovi za poskytnutí studijních materiálů a za pomoc při řešení problémů.

Obsah

OBSAH	1
SEZNAM OBRÁZKŮ	3
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	4
1 ÚVOD	5
2 OBECNÝ POPIS SYSTÉMU ETCS	6
2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	6
2.2 ARCHITEKTURA SYSTÉMU ETCS.....	6
2.3 PŘENOS INFORMACÍ.....	9
2.4 FUNKCE ETCS	9
2.4.1 Lokalizace polohy vlaku	11
2.5 MÓDY MOBILNÍ ČÁSTI SYSTÉMU ETCS	13
3 DETEKTOR STÁNÍ KOLEJOVÉHO VOZIDLA	15
3.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA DETEKTOR STÁNÍ	15
3.2 NÁVRH KONCEPCE DETEKTORU STÁNÍ.....	16
3.3 POPIS REALIZACE SYSTÉMU	17
3.4 POPIS ČINNOSTI DETEKTORU STÁNÍ	21
3.5 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ DETEKTORU STÁNÍ.....	24
3.5.1 Popis činnosti jednoho kanálu detektoru.....	25
3.6 FUNKČNÍ PARAMETRY DETEKTORU STÁNÍ.....	29
3.6.1 Minimální ujetá vzdálenost.....	29
3.6.2 Doba reakce systému na pohyb	32
3.6.3 Kapacita přídavné baterie	32
3.6.4 Pravděpodobnost navázání optické vazby	33
3.7 DIAGNOSTIKA DETEKTORU STÁNÍ.....	34
3.8 VÝROBA A MĚŘENÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU	35
4 ROZBOR BEZPEČNOSTI	38
4.1 CHARAKTERISTICKÉ RYSY ZABEZPEČOVACÍCH ZAŘÍZENÍ.....	38
4.2 REALIZACE TECHNICKÉ BEZPEČNOSTI SYSTÉMŮ	38

4.3	POSTUP PŘI ROZBORU BEZPEČNOSTI.....	39
4.4	METODY ROZBORU BEZPEČNOSTI.....	40
4.5	ROZBOR BEZPEČNOSTI NAVRŽENÉHO DETEKTORU	42
5	ZÁVĚR.....	49
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	51
	PŘÍLOHA A	52
	PŘÍLOHA B.....	53
	PŘÍLOHA C	54

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: BLOKY MOBILNÍ ČÁSTI SYSTÉMU ETCS	8
OBRÁZEK 2: ZÁKLADNÍ FUNKCE ETCS	10
OBRÁZEK 3: POLOHA VLAKU V SOUŘADNICÍCH BALÍZY B1	12
OBRÁZEK 4: ZÁKLADNÍ BLOKOVÉ SCHÉMA DETEKTORU STÁNÍ	17
OBRÁZEK 5: PODROBNÁ BLOKOVÁ STRUKTURA DETEKTORU	18
OBRÁZEK 6: PRINCIP OPTICKÉHO SNÍMAČE OTÁČEK	19
OBRÁZEK 7: SNÍMAČ OTÁČEK UMÍSTĚNÝ NA NÁPRAVĚ.....	19
OBRÁZEK 8: DETEKTOR STÁNÍ V REŽIMU STANDBY	22
OBRÁZEK 9: PŘECHOD DO REŽIMU AKTIVNÍ FUNKCE	22
OBRÁZEK 10: DETEKTOR V REŽIMU AKTIVNÍ FUNKCE	23
OBRÁZEK 11: VYHODNOCENÍ VÝSTUPŮ DETEKTORU	23
OBRÁZEK 12: BLOKOVÉ SCHÉMA KANÁLŮ DETEKTORU.....	24
OBRÁZEK 13: ZAPOJENÍ JEDNOHO KANÁLU DETEKTORU.....	25
OBRÁZEK 14: ZNÁZORNĚNÍ ÚHLU A OBOU KANÁLŮ SNÍMAČE OTÁČEK	30
OBRÁZEK 15: ZNÁZORNĚNÍ ÚHLU B OBOU KANÁLŮ SNÍMAČE OTÁČEK.....	30
OBRÁZEK 16: ZNÁZORNĚNÍ NEJNEPŘÍZNIVĚJŠÍHO STAVU	31
OBRÁZEK 17: HRANA MEZI PŘIJÍMAČEM A VYSÍLAČEM OBOU KANÁLŮ	33
OBRÁZEK 18: REALIZOVANÝ FUNKČNÍ VZOREK (JEDEN KANÁL)	35
OBRÁZEK 19: REALIZOVANÝ FUNKČNÍ VZOREK (OBA KANÁLY)	36
OBRÁZEK 20: SCHÉMA ZAPOJENÍ TESTOVACÍHO VZORKU	36
OBRÁZEK 21: DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ JEDNOHO KANÁLU DETEKTORU (STRANA SOUČÁSTEK)....	53
OBRÁZEK 22: DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ JEDNOHO KANÁLU DETEKTORU (STRANA SPOJŮ)	53

Seznam symbolů a zkratk

ERTMS	<i>European Rail Traffic Management System</i> . Evropský systém řízení železniční dopravy
ETCS	<i>European train control system</i> . Evropský vlakový zabezpečovací systém
RBC	<i>Radio Block Center</i> . Rádiobloková centrála
RIU	<i>Radio In-fill Unit</i> . Jednotka doplňkového rádiového přenosu
HMI	<i>Human – Machine Interface</i> . Uživatelské rozhraní
BTM	<i>Balise Transmission Module</i> . Balízový přenosový modul
LTM	<i>Loop Transmission Module</i> . Přenosový modul Euroloop
RIM	<i>Radio Interface Module</i> . Rádiový přenosový modul
STM	<i>Specific Transmisson Module</i> . Národní přenosový modul
TIU	<i>Train Interface Unit</i> . Rozhraní k částem hnacího vozidla
EVC	<i>European Vital Computer</i> . Bezpečné jádro systému ETCS
JRU	<i>Juridical Recording Unit</i> . Záznamová jednotka
MC	<i>Main Computer</i> . Řídící počítač
TOU	<i>Time and Odometry Unit</i> . Časová a odometrická jednotka
MA	<i>Movement Authority</i> . Oprávnění k jízdě
ETCS BUS	Komunikační sběrnice ETCS
CTODL BUS	Distribuční vedení
BDN	Bezpečný dekodér napájecí části
BDV	Bezpečný dekodér výstupní části

1 Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout a zhotovit zkušební vzorek detektoru stání kolejového vozidla při vypnuté mobilní části systému ETCS. Navržené zařízení by mělo sloužit jako doplňkový modul k časové a odometrické jednotce mobilní části systému ETCS od společnosti AŽD Praha s.r.o, která je zadavatelem této diplomové práce. Tento modul bude sloužit pro bezpečnou detekci stání kolejového vozidla během doby, kdy je mobilní část systému ETCS vypnuta.

Technická bezpečnost zařízení by měla být řešená s využitím principu vnitřní bezpečnosti a v této práci bude proveden rozbor bezpečnosti navrženého zařízení. Vlastní řešená problematika je v diplomové práci popsána v kapitolách 2,3 a 4. Druhá kapitola je zaměřena na obecný popis systému ETCS se zaměřením na mobilní část systému ETCS. Následující kapitola je věnována návrhu a realizaci samotného detektoru stání. Ve čtvrté kapitole jsou popsány obecné metody pro provedení rozboru bezpečnosti a následně je proveden rozbor bezpečnosti navrženého zařízení podle normy ČSN EN 50129.

2 Obecný popis systému ETCS

Následující kapitola se zabývá obecným popisem systému ETCS se zaměřením na mobilní část systému ETCS. Při tvorbě této kapitoly byly použity informace z [1] a [2].

2.1 Základní informace

Během historického vývoje bylo v různých zemích vytvořeno mnoho vlakových zabezpečovacích systémů. V současné době se v zemích Evropy používá kolem 20 odlišných vlakových zabezpečovacích systémů. Tyto systémy mají rozdílnou úroveň zabezpečení a většinou nejsou mezi sebou kompatibilní. Tato skutečnost je jednou z největších komplikací pro mezistátní vlakovou dopravu. Aby mohl vlak přejet státní hranici bez zdržení, musí být na hnacím vozidle nainstalován také vlakový zabezpečovací systém, který je používán v zemi, do které vozidlo vjíždí. Pokud hnací vozidlo nemá takový vlakový zabezpečovací systém, musí dojít k jeho výměně za vozidlo s nainstalovaným vlakovým zabezpečovacím systémem používaným v dané zemi. Tato výměna prodlužuje přepravní časy a snižuje efektivitu mezistátní vlakové dopravy.

Pro zefektivnění mezistátní vlakové dopravy je postupně zaváděn Evropský systém řízení železniční dopravy (ERTMS), jehož součástí je i jednotný evropský vlakový zabezpečovací systém (ETCS). Zavedením systému ETCS je možné nahradit národní zabezpečovací systémy.

2.2 Architektura systému ETCS

Systém ETCS se skládá ze dvou částí, traťové (infrastrukturní) a vozidlové (mobilní), které spolu komunikují.

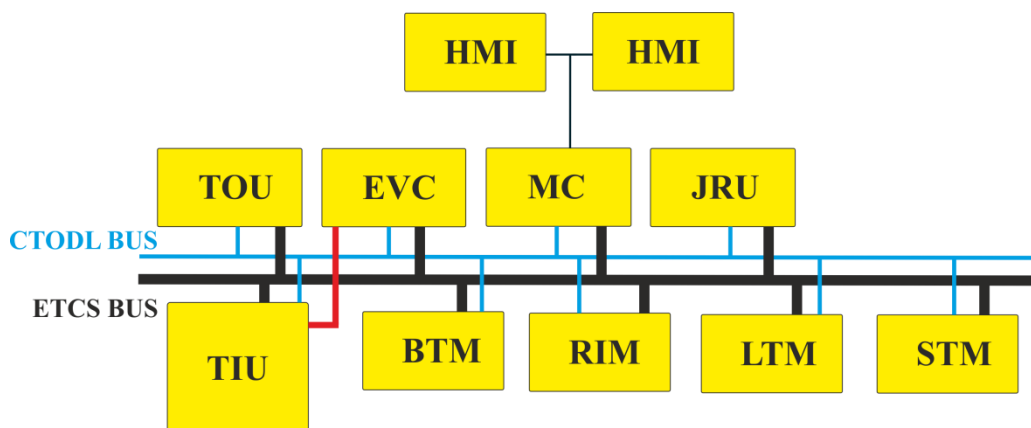
Systém ETCS lze implementovat v různých variantách (tzv. aplikační úrovně ETCS). Dále jsou vyjmenovány komponenty těchto částí, přičemž použití konkrétních komponent je závislé na dané aplikační úrovni systému ETCS.

1. Komponenty traťové části:

- a. Balíza
- b. Smyčka (relevantní pouze pro aplikační úroveň L1)
- c. Radiobloková centrála (RBC) a subsystém Euroradio (relevantní pro aplikační úroveň L2)
- d. Zařízení LEU (relevantní pouze pro aplikační úroveň L1)
- e. Jednotky RIU (relevantní pouze pro aplikační úroveň L1)
- f. Systém řízení kryptografických klíčů
- g. Rozhraní k traťovému zabezpečovacímu zařízení

2. Komponenty mobilní části:

- a. Rozhraní pro styk s obsluhou (HMI)
- b. Přenosové moduly pro komunikační kanály
 - i. Balízy (BTM)
 - ii. Smyčky (LTM)
 - iii. Rádio (RIM)
 - iv. Národní (STM)
- c. Rozhraní k částem hnacího vozidla (TIU)
- d. Bezpečný modul systému (EVC)
- e. Komunikační sběrnice (ETCS BUS)
- f. Distribuční vedení (CTODL BUS)
- g. Řídící počítač (MC)
- h. Záznamové zařízení (JRU)
- i. Časová a odometrická jednotka (TOU)



Obrázek 1: Bloky mobilní části systému ETCS

Modul EVC je bezpečným jádrem mobilní části systému. Tento modul komunikuje s ostatními částmi systému po sběrnici ETCS Bus. V bezpečném jádře je nainstalovaný software, který třídí a rozbaluje informace přijaté z traťové části ETCS. Dále tento software vypočítává statický a dynamický rychlostní profil, porovnává aktuální rychlost a polohu vlaku s dynamickým rychlostním profilem, a prostřednictvím TIU iniciuje brždění. Modul EVC je schopen poslat příkaz k zastavení vozidla do rozhraní nouzové brzdy v modulu TIU, děje se tak pomocí přímého vedení, které je na Obrázku 1 znázorněno červenou čarou.

Časová a odometrická jednotka (TOU) zprostředkovává pro ostatní moduly pomocí distribuční sítě CTODL časové a odometrické údaje, jako je aktuální poloha (včetně orientace vlaku), rychlost, zrychlení vlaku. Jednotka může zajišťovat také detekci stání vozidla při vypnuté mobilní části ETCS.

Modul řídicího počítače (MC) řídí komunikaci rozhraní s obsluhou (HMI) a ovládá diagnostiku. Tento modul ovládá takové funkce vlakového zařízení, které nesouvisí přímo s bezpečností.

Rozhraní pro styk s obsluhou (HMI) se nachází na stanovišti strojvedoucího. Toto rozhraní má podobu barevného displeje a je doplněno o akustický výstup.

Přenosový modul balízy (BTM) snímá informace z balíz umístěných v kolejišti. Anténa na vozidle vysílá nosnou vlnu o kmitočtu 27,095 MHz, kterou je balíza na trati napájena, balíza je tedy energeticky pasivní. Balíza odesílá informace do mobilní části systému

ETCS, pro přenos je použita 2-FSK modulace (3,951 MHz pro log. 0 a 4,516 MHz pro log. 1). K přijaté informaci z balízy je připojen i časový a odometrický údaj, tzv. razítko. BTM razítkuje a porovnává stejnost informací po celou dobu, kdy jsou zachycovány zprávy z balízy.

Přenosový modul smyčky (LTM) a modul rádiového rozhraní (RIM) mají obdobnou funkci jako BTM. Ovšem na rozdíl od LTM a RIM je použití modulu BTM nezbytné vždy, protože balízy slouží jako referenční body na trati.

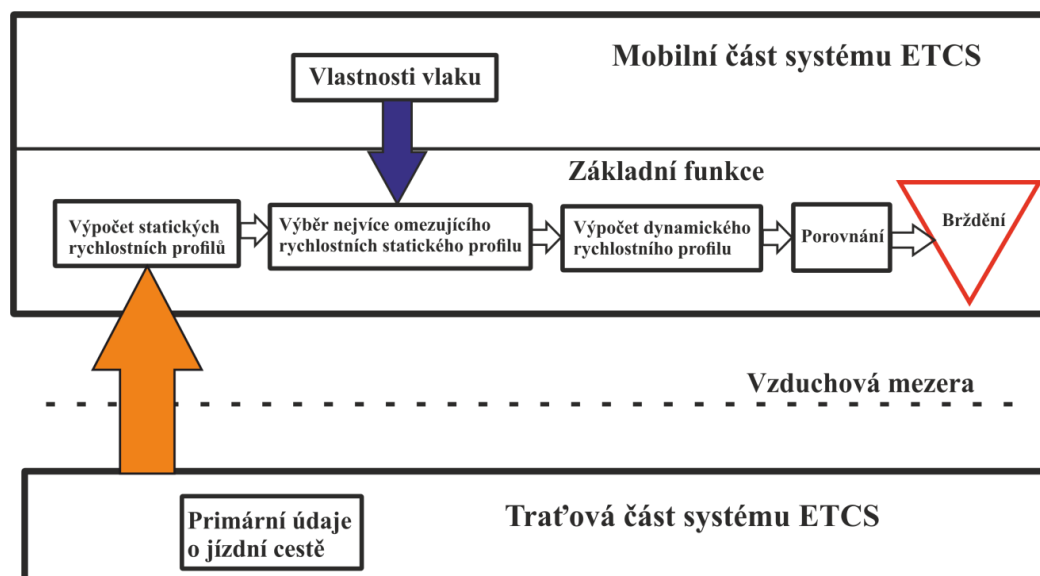
2.3 Přenos informací

Vlak, jedoucí pod systémem ETCS, může zahájit pohyb pouze po obdržení platného povolení k jízdě (MA). Toto povolení je vydáváno buď bodovým prostředkem traťové části ETCS – balízou, semiliniovým prostředkem – smyčkou nebo liniově – rádiem. Každé povolení k jízdě je ohraničeno buď pouze prostorově, nebo prostorově a zároveň časově.

Na vozidlo jsou předávány i další údaje, které popisují infrastrukturu trati, po které se daný vlak pohybuje (sklony, rychlostní omezení, příkazy atd.). Mezi všemi přenosovými prostředky mají balízy výhradní postavení pro lokalizaci vlaku, neboť jsou referenčními body na trati, ke kterým se vztahují všechny traťové údaje, které jsou přenášeny i jinými přenosovými systémy (smyčkami, rádiem).

2.4 Funkce ETCS

Pro každou polohu vlaku lze z dat popisujících trať před vlakem, povolení k jízdě a dat charakterizujících vlak, určit maximální rychlost, kterou se vlak může bezpečně pohybovat. Pokud je známa okamžitá poloha a rychlost vlaku, je možné rozhodnout, zda se vlak pohybuje v tolerovatelných mezích či nikoliv. Dle toho lze rozhodnout o nutných zásazích do jízdy vlaku. K tomu je nutné vykonat základní funkce, naznačené na Obrázku 2.



Obrázek 2: Základní funkce ETCS

Komunikace mezi traťovou částí a vlakovou částí probíhá pomocí balíz, smyček, rádia nebo jejich kombinací. Dále jsou vysvětleny základní funkce:

1. **Výpočet statického rychlostního profilu** – tato funkce vypočítává maximální rychlost, kterou nesmí vlak překročit nebo maximální rychlost, kterou může vlak jet, aniž by došlo k jakékoliv intervenci zabezpečovacího zařízení. Primární data obsahují stálé rychlostní omezení nebo statické rychlostní profily pro různé typy vlaků. Odpovídající rychlostní omezení se pak vyberou podle typu konkrétního vlaku.
2. **Výběr nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu** – tato funkce vybírá nejvíce omezující rychlostní profil z různých statických rychlostních profilů.
3. **Výpočet dynamického rychlostního profilu** – tato funkce počítá dynamické brzdící dohledové křivky konkrétního vlaku – křivku intervence brzd, varovnou křivku atd. Tyto dynamické rychlostní profily jsou odvozeny z nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu, brzdových vlastností konkrétního vlaku a sklonů na trati.

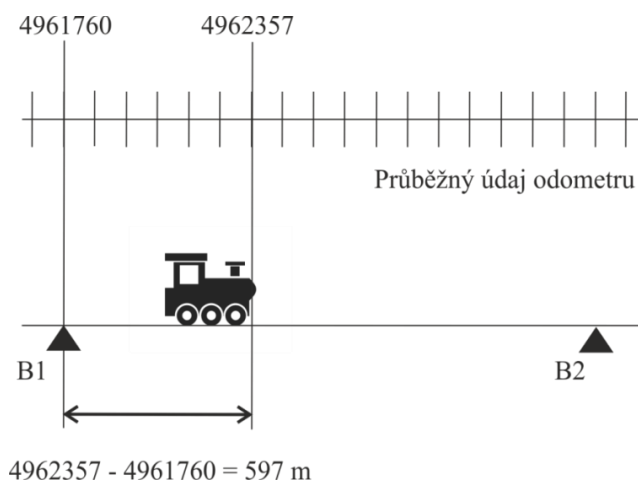
- 4. Porovnání stávající rychlosti a polohy vlaku s brzdovou křivkou** – tato funkce počítá rozdíl rychlosti a polohy mezi brzdícími křivkami a reálnou rychlostí a polohou vlaku. Tímto je umožněno vydat včas varování, popř. aktivovat brzdy.
- 5. Brždění** – Pokud bude vydán pokyn k brždění, je aktivována nejdříve provozní brzda a v případě, že provozní brzda nepracuje správně, je aktivována nouzová brzda.

Kromě základních funkcí je systém ETCS schopen provádět další pomocné funkce, které využívají stejných přenosových cest jako funkce základní. Mezi pomocné funkce patří např.: řízení sběrače, ovládání dveří, přepínání trakce, modifikace rychlostního profilu při poruše přejezdu atd.

Zjednodušeně lze říci, že funkce mobilní části systému ETCS spočívá v odpovídající reakci na dvojici informací, cílová vzdálenost – cílová rychlost a to vzhledem k okamžité poloze vlaku. K tomu je potřeba lokalizovat polohu vlaku a udávat cílové vzdálenosti ve vzájemně kompatibilních souřadnicích. Systém se přitom opírá o lokalizační funkci, založenou na unikátně identifikovatelném a přesně detekovatelném přenosovém zařízení na trati – balíze. Dále je popsáno, jakým způsobem probíhá lokalizace vlaku.

2.4.1 Lokalizace polohy vlaku

Ujetá dráha vozidla je neustále odměřována odometrem umístěným na daném vozidle. Údaj odometru za normálního provozu není nikdy resetován. Při projetí balízy jsou přijatá data z této balízy doplněna okamžitým časovým a odometrickým údajem z modulu TOU.



Obrázek 3: Poloha vlaku v souřadnicích balízy B1

Kdykoliv později tak lze okamžitou vzdálenost vlaku od této balízy určit odečtením okamžitého údaje odometru a údaje připojeného k informaci přijaté při míjení balízy, viz Obrázek 3.

Vzdálenosti se definují vždy od referenčního bodu, kterým může být kterákoliv balíza nacházející se (s ohledem na nejhorší očekávané vlastnosti vlaku) dostatečně daleko před místem, k němuž se informace vztahuje. Veškeré údaje o vzdálenostech jsou tedy balízově orientované, tj. v souřadném systému příslušné referenční balízy, která pak tvoří počátek svého souřadného systému.

Všechny vzdálenosti jsou jednorozměrné a při přenosu musí být vyjádřeno, ke kterému počátku se vztahují, tedy ke kterému balízovému koordinačnímu systému patří. To je provedeno připojením unikátního identifikačního označení balízy. Transformace mezi souřadným systémem odometru na vozidle a souřadným balízovým systémem nečiní podstatných potíží, pokud bude zachována konvence, že kladné hodnoty balízově orientovaných souřadnic jsou ve stejném směru, jako nominální směr balíz (např. od první balízy ve skupině k balíze druhé atd.).

Pro vyjádření vzdáleností je použita lineární stupnice. Stejným počtem bitů (15 bitů) lze popsat krátké vzdálenosti (do 3,2 km) s přesností 10 cm, delší vzdálenosti (do 32 km) s přesností 1 m a dlouhé vzdálenosti (do 320 km) s přesností 10 m (současně musí být přenesen kvalifikátor měřítka - 2 bity).

2.5 Módy mobilní části systému ETCS

Mobilní část systému ETCS musí být schopna fungovat při všech provozních situacích, které mohou během jízdy vlaku nastat. Podle okolností se mobilní část z hlediska obsluhy nachází v jednom z módů uvedených níže. Výčet módů není kompletní, jsou zmíněny pouze hlavní módy. Z hlediska detekce stání kolejového vozidla jsou podstatné dva z těchto módů, a to Stand By a No Power.

1. Stand By (SB)

Jakmile strojvedoucí oživí řídicí pult, mobilní část systému ETCS se zapne spolu s ostatními zařízeními na vozidle. Po zapnutí je spuštěno testování všech částí systému, které mají vliv na bezpečnost jízdy vlaku. Běžná doba trvání tohoto testu je 1 minuta, a tento test probíhá pouze na stojícím vozidle. Na obrazovce jsou strojvedoucímu zobrazeny výsledky tohoto testu a zároveň jsou uloženy do paměti systému ETCS.

Během tohoto testu je testován i stav detektoru stání a je určováno, zda nedošlo k pohybu vozidla během doby, kdy byla mobilní část ETCS vypnuta. Pokud během této doby došlo k pohybu vozidla, jsou polohové údaje, které jsou uloženy v paměti EVC, prohlášeny za neplatné a nové polohové údaje je možné získat až následnou jízdou vlaku (např. v módu SR – na odpovědnost strojvedoucího)

2. No Power (NP)

V tomto módu, kdy je mobilní část systému ETCS vypnuta, by bylo vhodné detekovat, že nedošlo k pohybu vozidla. Funkce detekce stání není vyžadována specifikacemi systému ETCS a je pouze volitelná.

Cílem diplomové práce je navrhnout detektor stání, který hlídá, že nedošlo k pohybu kolejového vozidla během doby, kdy je mobilní část systému ETCS vypnuta. Pokud během této doby dojde k pohybu vozidla, musí být tento pohyb detektorem bezpečně zaznamenán.

3. Full Supervision (FS) – Vlak je veden v režimu ETCS.

4. Staff Responsible (SR) – Strojvedoucí je odpovědný za vedení vlaku. Ve většině zemí nesmí v tomto režimu překročit 30 km/h, což systém ETCS hlídá.

5. **Shunting (SH)** – Posun vlaku. Systém ETCS ve většině zemí nedovolí překročit rychlost 30 km/h.
6. **System Failure (SF)** – Vnitřní chyba zařízení, je aktivováno nouzové brždění.
7. **Reversing (RV)** – Vlak smí jet po dané trase v opačném směru – například couvnout za projeté návěstidlo.

3 Detektor stání kolejového vozidla

Jednou ze základních funkcí mobilní části systému ETCS je zjišťování polohy vlaku. Poloha vlaku je určována měřením ujeté vzdálenosti, určováním směru jízdy vlaku a čtením balíz v kolejišti. Při vypnuté mobilní části ETCS, kdy je vlak na určitou dobu odstaven, není zjišťována poloha vlaku. V paměti bezpečného jádra ETCS (EVC) je uložena poslední známá poloha vlaku před vypnutím mobilní části.

Aby bylo možné tyto polohové údaje po zapnutí mobilní části použít, je nutné bezpečně detekovat, že vozidlo stálo během doby, kdy byla mobilní část systému ETCS vypnuta. K tomuto účelu bude sloužit detektor stání kolejového vozidla. Tato kapitola je věnována popisu, návrhu a realizaci tohoto detektoru.

V celé diplomové práci je používán název detektor stání, nikoliv detektor pohybu, jak je formulováno v zadání diplomové práce. Tato změna v terminologii je zavedena z toho důvodu, že je potřeba bezpečně detekovat stání vozidla, nikoliv jeho pohyb.

3.1 Základní požadavky na detektor stání

Následující základní požadavky na detektor byly stanoveny po konzultaci se zadavatelem diplomové práce.

1. Bezpečná detekce stání

Detektor musí bezpečně detekovat, že nedošlo k pohybu kolejového vozidla během doby, kdy byla vypnuta mobilní část systému ETCS. Technická bezpečnost detektoru stání musí být založena na principu vnitřní bezpečnosti.

2. Rozhraní s mobilní částí ETCS

Detektor stání musí mít stavové rozhraní k mobilní části systému ETCS. Počet stavových signálů musí být omezen na nezbytně nutné množství.

3. Průběžná diagnostika detektoru stání

Funkce detektoru stání musí být průběžně testovatelná mobilní částí ETCS.

4. Vlastní napájení

Detektor stání musí být napájen z přídatné 12 V baterie. Kapacita baterie musí být dostatečná k tomu, aby napájela detektor po dobu minimálně 72 hodin. Při zapnuté mobilní části ETCS bude tato baterie dobíjena z vozidlové baterie.

5. Použití snímače otáček

V detektoru stání musí být použit optický snímač otáček umístěný na nápravě vozidla. Detektor nesmí vyžadovat žádné jiné zařízení instalované na vozidle.

6. Splnění podmínek pro interoperabilitu

Detektor stání musí splňovat všechny podmínky uvedené v SUBSET-026, kapitole 3.15.8 (verze 3.6.0). Tento dokument definuje obecné funkční a technické požadavky na systém ETCS.

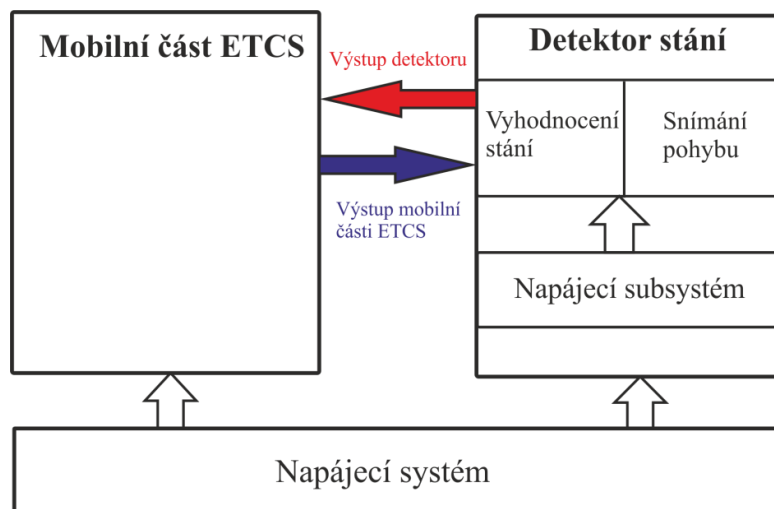
3.2 Návrh koncepce detektoru stání

Při návrhu detektoru bylo nutné vycházet ze základních požadavků zadavatele a dále bylo potřeba vyřešit základní problémy:

- Způsob zajištění technické bezpečnosti detektoru stání
- Určení, jaké informace bude poskytovat detektor pro mobilní část ETCS
- Způsob zapínání detektoru stání
- Způsob zakomponování snímače otáček do detektoru

Detektor stání bude zapínán tehdy, když bude vlak stát a mobilní část systému ETCS přejde do módu SB (poté může přejít i do módu NP) – dále jen „vypnutá mobilní část systému ETCS“. Poté je detekováno, zda došlo k pohybu vozidla během doby, kdy je mobilní část ETCS vypnuta. Po opětovném zapnutí mobilní části ETCS bude na základě

stavu detektoru vyhodnoceno, zda došlo k pohybu vozidla či nikoliv. Základní blokové schéma detektoru stání a potřebných periferií je zobrazeno na Obrázku 4.

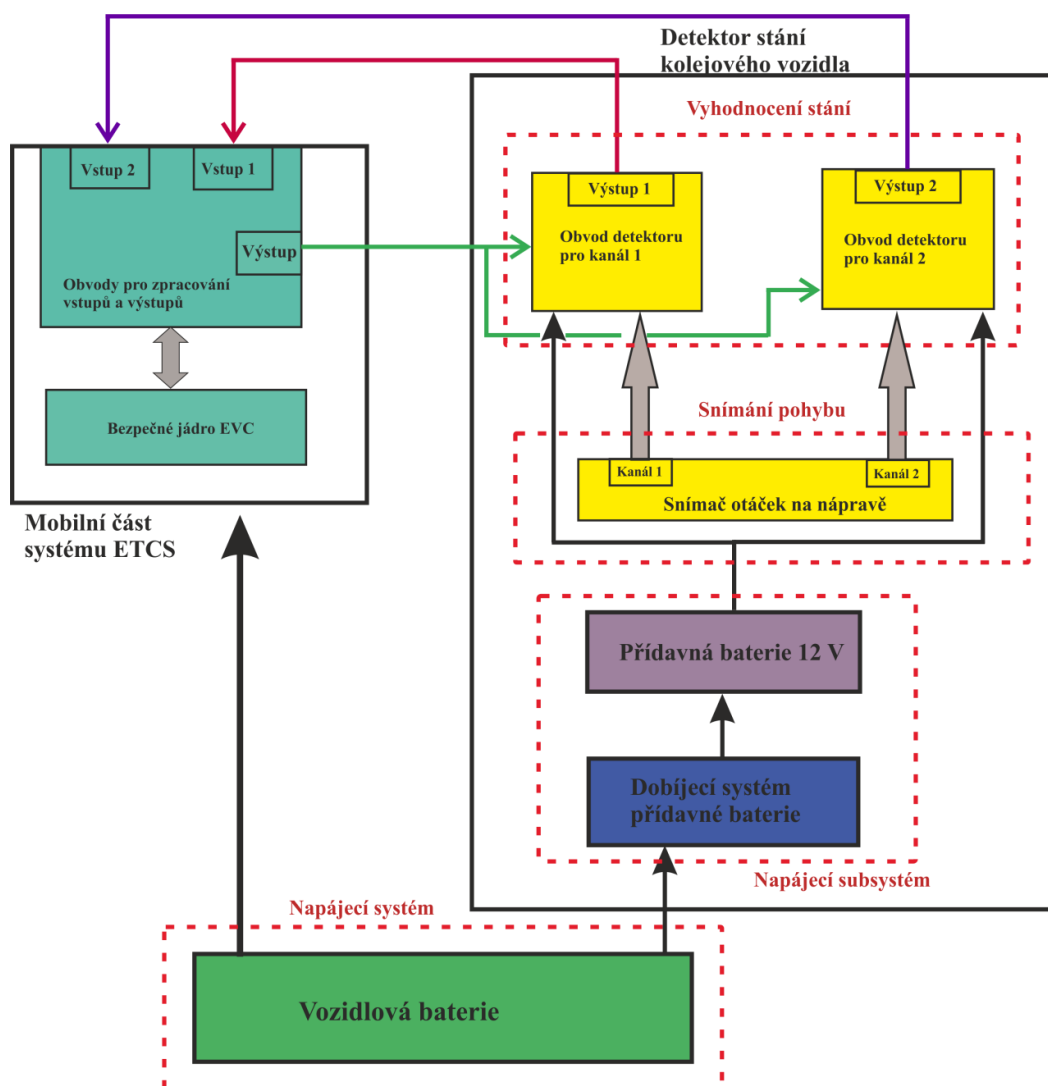


Obrázek 4: Základní blokové schéma detektoru stání

Výstup z mobilní části ETCS bude připojen na vstup detektoru a bude sloužit k jeho zapnutí. Výstup detektoru bude připojen do mobilní části systému ETCS a bude poskytovat pro mobilní část systému ETCS dvě informace: vozidlo stálo, vozidlo nestálo. Pokud se samotný detektor ocitne v poruše, musí přejít do bezpečného stavu. Tímto stavem je stav dávající informaci, že vozidlo nestálo. Z toho plyne, že postačí, když bude výstup detektoru nabývat dvou logických hodnot.

3.3 Popis realizace systému

Mobilní část systému ETCS bude detektor zapínat, číst a vyhodnocovat jeho výstup. Detektor bylo možné sestavit z diskrétních součástek a realizace je tedy pouze hardwarová. Podrobnější bloková struktura je ilustrována na Obrázku 5.



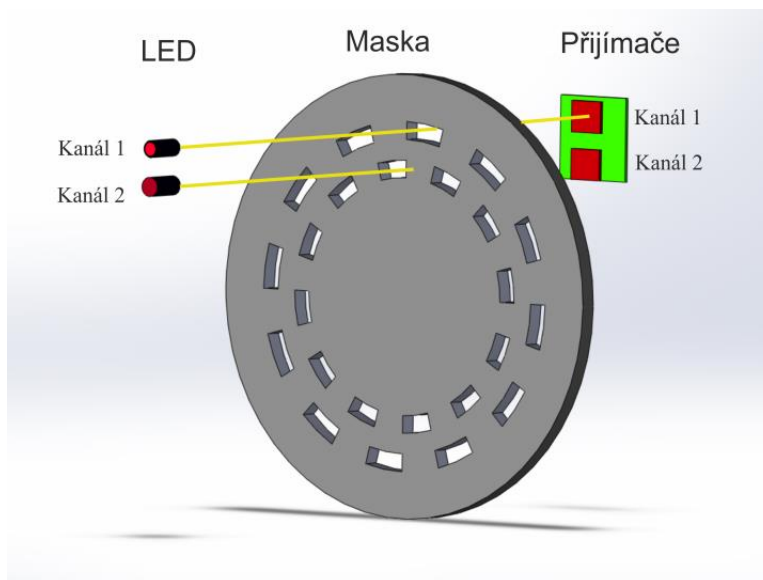
Obrázek 5: Podrobná bloková struktura detektoru

Dále jsou popsány jednotlivé bloky z Obrázku 5.

1. Snímání pohybu

Pro určování rychlosti vozidla jsou v železniční dopravě nejčastěji používány optické inkrementální snímače otáček. Snímač otáček se skládá z vysílače (LED diod), masky a přijímače. Vysílací LED diody a přijímače jsou nepohyblivé, zatímco maska se otáčí spolu s dvojkolím. Přijímači jsou fototranzistory, kdy uživatel může definovat výstup přidáním zátěže na kolektor nebo emitor tohoto fototranzistoru. Maskou je kruh z pevného materiálu, ve kterém se po daném obvodu kružnice střídají štěrbinové a přerušovací segmenty, viz Obrázek 6. Snímače otáček používané v železniční dopravě mají typicky

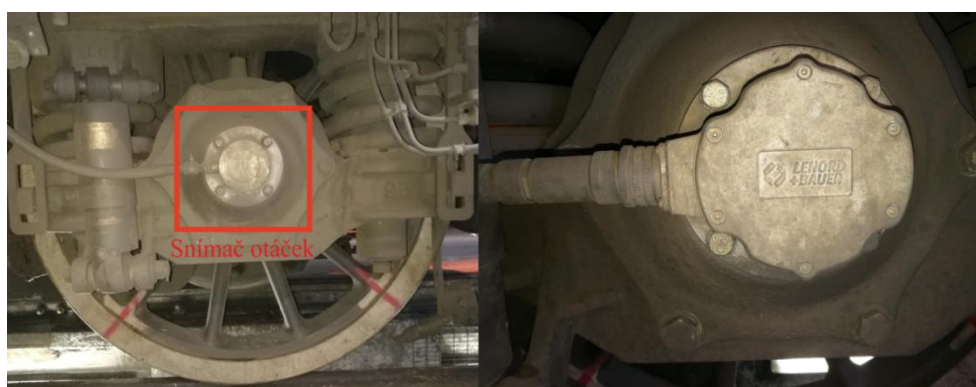
4 až 8 kanálů. Každý kanál má vlastní vysílač, štěrbinu a přerušovací segmenty a přijímač. Masky jsou pro všechny kanály snímače společné. Kanály snímače jsou vůči sobě fázově posunuty, aby mohl být určován směr otáčení nápravy vozidla.



Obrázek 6: Princip optického snímače otáček

Z předchozího popisu plyne, že optický inkrementální snímač otáček je v principu skupina optických závor, jejichž výstupy jsou fázově posunuty a mají charakter generátoru pulzů s frekvencí úměrnou úhlové frekvenci otáčení dvojkolí.

Počet pulzů za jednu otáčku je roven počtu štěrbin v masce. Běžně jsou vyráběny snímače pro použití v železniční dopravě s různými počty štěrbin. Například, snímače od výrobce Lenord + Bauer se vyrábějí s počtem štěrbin 12, 55, 80, 100, 110 a 200.



Obrázek 7: Snímač otáček umístěný na nápravě

K tomu, aby bylo možné použít snímač otáček v navrhovaném detektoru, je nutné, aby byla s jistotou mezi přijímačem a vysílačem po zastavení vozidla navázána optická vazba. Z tohoto důvodu budou v detektoru použity dva kanály snímače otáček, fázově posunuty o 180° . Tato konfigurace je znázorněna na Obrázku 7. Ostatní kanály snímače otáček budou využity pro měření rychlosti v odometrické jednotce (TOU).

Ve chvíli, kdy je navázána optická vazba v kanálu 1, není optická vazba navázána v kanálu 2 a naopak. Každopádně je zaručeně navázána optická vazba v jednom z kanálů. Tímto je splněna podmínka pro spolehlivou funkci detektoru. Pokud by byl v detektoru použit pouze jeden kanál snímače, byla by šance na navázání optické vazby mezi vysílačem a přijímačem po zastavení vozidla pouze 50%, což by rovnou znamenalo snížení spolehlivosti detektoru o 50%.

2. Vozidlová baterie

Napájení mobilní části systému ETCS je zajištěno vozidlovou baterií. Napětí této baterie je typicky 24 V.

3. Napájení detektoru stání

Napájecí systém detektoru stání tvoří přídatná 12 V baterie a dobíjecí systém této baterie. Detektor nemůže být napájen z vozidlové baterie, po odstavení hnacího vozidla jsou veškeré periferie od vozidlové baterie odpojeny. V obvodech detektoru jsou použity integrované obvody řady CMOS 4000, proto byla zvolena přídatná baterie s napětím 12 V, které je pro napájení těchto obvodů vhodné.

Přídatná baterie musí být schopna napájet detektor stání po dobu minimálně 72 hodin. Tato baterie bude dobíjena z vozidlové baterie v době, kdy bude zapnuta mobilní část systému ETCS.

4. Vyhodnocení stání

Vyhodnocení stání provádí dva obvody detektoru, každý zpracovávající informace z jednoho kanálu snímače otáček. V dalším textu bude pojem „kanál“ znamenat celek zahrnující jeden kanál snímače otáček a příslušný obvod.

Samotná funkce obvodů detektoru je založena na dynamickém signálu, což značně usnadňuje splnit požadavky na technickou bezpečnost zařízení (např. zkratky uvedou obvod do bezpečného stavu). V navrhovaném detektoru bude dynamický signál převáděn bezpečným dekodérem na signál statický, který bude tvořit výstup detektoru. Statický signál na výstupu detektoru vyžaduje mobilní část systému ETCS pro konečné vyhodnocení stání. Log. 1 (statická, již bezpečně převedena z dynamického signálu) alespoň na jednom z výstupů detektoru bude znamenat, že vozidlo stálo. Pokud budou výstupy obou kanálů v log. 0, bude to znamenat, že vozidlo nestálo, nebo je některý z kanálů (nebo oba) v poruše. Log. 0 na výstupech kanálů detektoru je tedy **bezpečný stav**.

5. Mobilní část systému ETCS

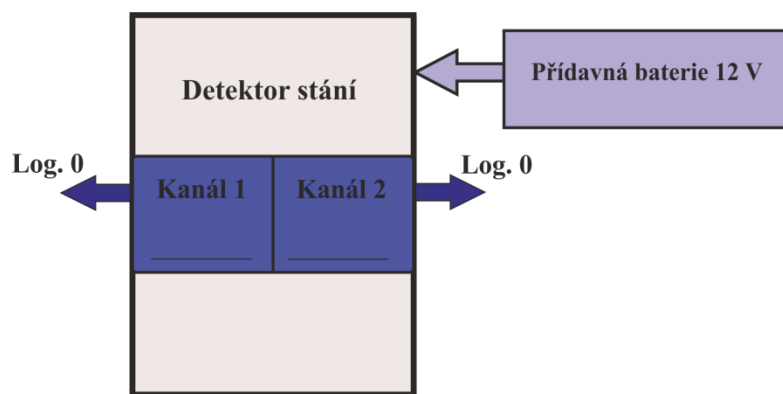
Mobilní část systému ETCS není součástí navrhovaného detektoru, ale tvoří rozhraní s tímto detektorem. Z mobilní části ETCS je odesílán do detektoru stání startovací impulz, po jehož přijetí započne detektor svoji funkci. Vstupní obvody mobilní části ETCS zpracovávají výstupní stavy detektoru. Tyto stavy jsou následně vyhodnoceny v bezpečném jádře EVC.

3.4 Popis činnosti detektoru stání

Činnost navrhovaného detektoru je možné rozdělit do dvou režimů: režim aktivní funkce a režim standby. Dále jsou popsány tyto režimy a přechody mezi nimi.

1. Režim standby

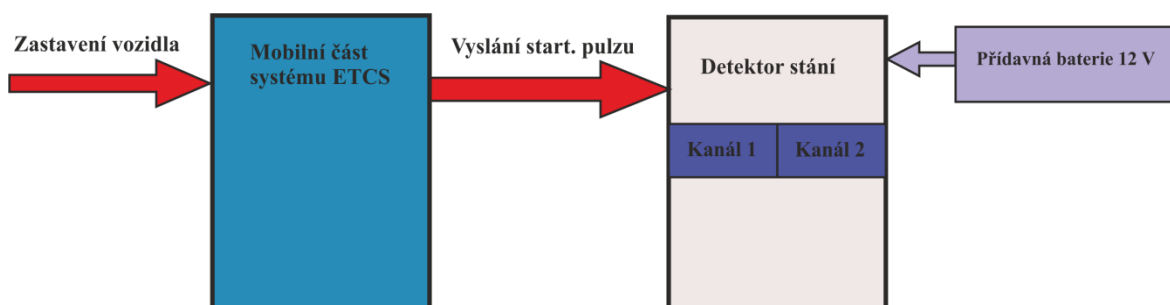
V tomto režimu je detektor stání napájen z přídatné baterie, ale není aktivována funkce detekce a mobilní část systému ETCS nezaznamenává výstupy z detektoru. V režimu standby jsou na výstupech obou kanálů detektoru log. 0. Detektor je neustále připraven přejít do režimu aktivní funkce. Tento přechod nastane ve chvíli, kdy samotná mobilní část systému ETCS přejde do módu SB.



Obrázek 8: Detektor stání v režimu standby

Dále je popsán přechod do režimu aktivní funkce.

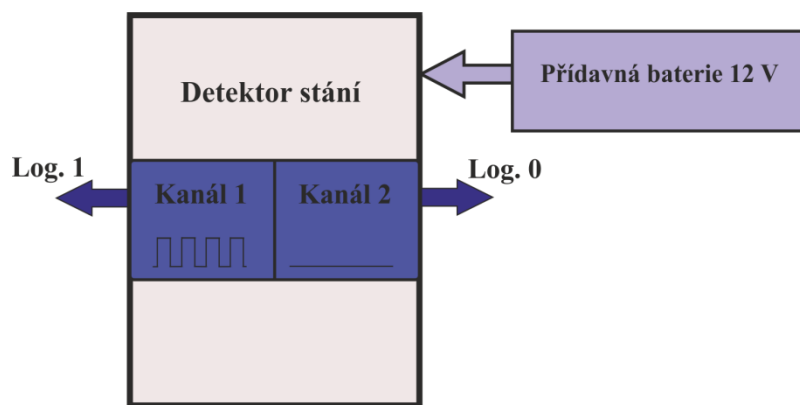
Uvažujme, že kolejové vozidlo zastavilo a mobilní část systému ETCS přejde do módu SB (typicky vlivem ukončení mise vlaku), čímž je vyslán startovací pulz do detektoru a detektor je uveden do činnosti. Uvedení detektoru do činnosti znamená, že jeden z kanálů detektoru je uveden do dynamického stavu, zatímco druhý kanál zůstává ve statickém stavu. Do dynamického stavu je uveden ten kanál, ve kterém byla navázána optická vazba. To je ovšem ideální stav. Není možné vyloučit, že budou uvedeny oba kanály do dynamického stavu nebo naopak, ani jeden - této problematice je věnována kapitola 3.6.4 na straně 33.



Obrázek 9: Přechod do režimu aktivní funkce

2. Režim aktivní funkce

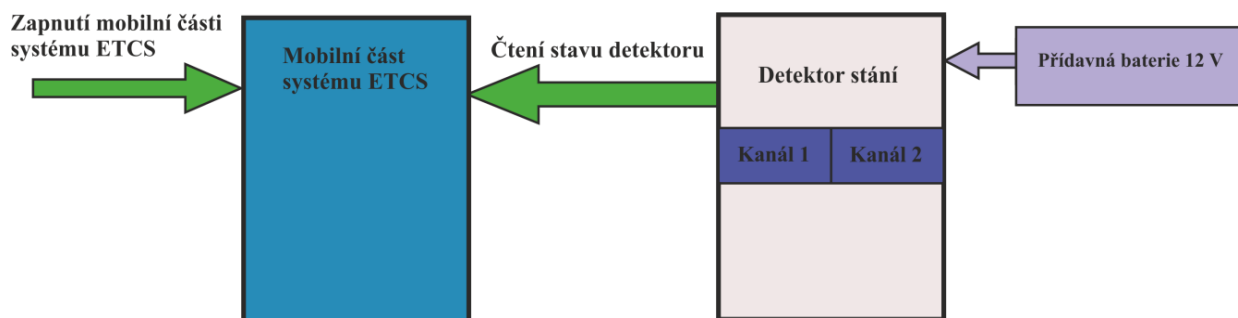
V tomto režimu je detekováno stání vozidla a detektor je přitom napájen z přídavné baterie. V této chvíli je mobilní část systému ETCS vypnuta. Na výstupu jednoho z kanálů (toho, ve kterém byla navázána optická vazba) detektoru je log. 1 a na výstupu druhého kanálu je log. 0.



Obrázek 10: Detektor v režimu aktivní funkce

Po zapnutí mobilní části systému ETCS jsou výstupy detektoru zaznamenány na vstupních obvodech mobilní části ETCS a následně vyhodnoceny v bezpečném jádru EVC. Pokud je na výstupu **alespoň** jednoho z kanálů log. 1 je vyhodnoceno, že vozidlo stálo. Pokud je na výstupu obou kanálů log. 0, je vyhodnoceno, že došlo k pohybu vozidla.

Pokud vozidlo stálo, je možné pro další jízdu vlaku použít poslední známé polohové údaje před odstavením, které jsou uloženy v bezpečném jádře EVC. Pokud došlo k pohybu vozidla, jsou tyto polohové údaje prohlášeny za neplatné.

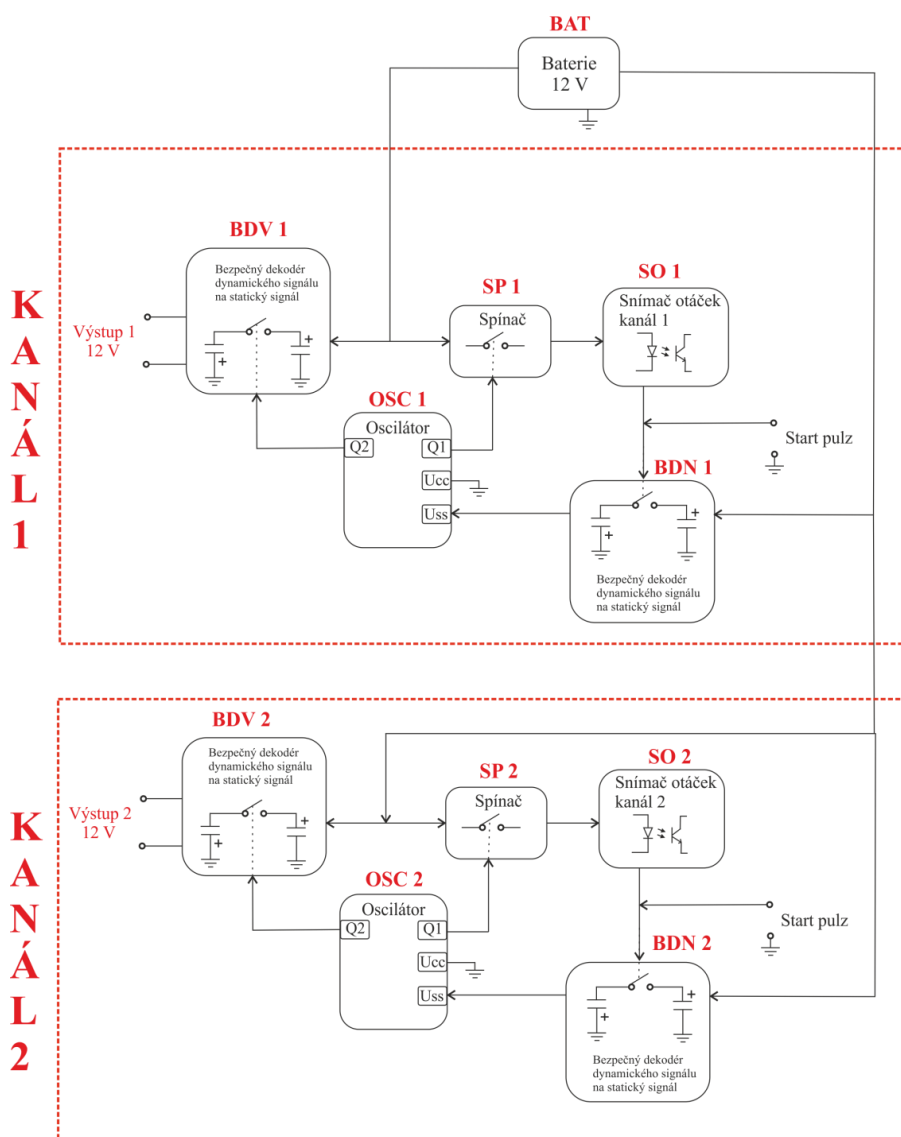


Obrázek 11: Vyhodnocení výstupů detektoru

K přechodu detektoru do režimu standby dojde ve chvíli, kdy se vozidlo pohne. Potom je i kanál (nebo kanály), který byl původně v dynamickém stavu uveden do statického stavu, a na jeho výstupu je log. 0.

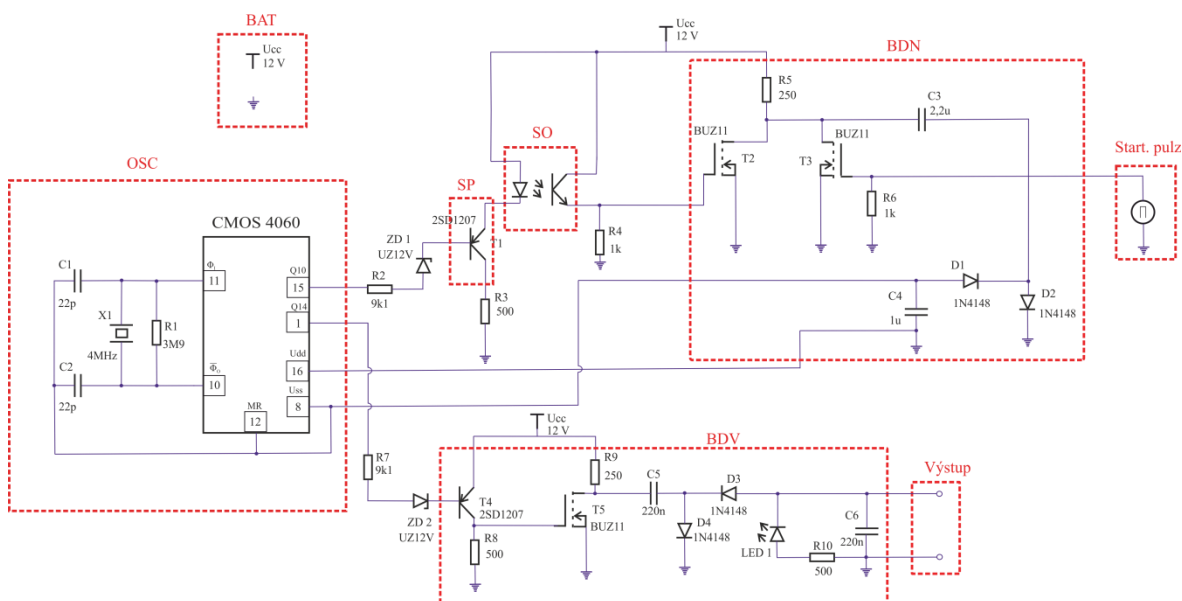
3.5 Obvodové řešení detektoru stání

Topologie obvodů detektoru byla navržena v souladu se zásadami zabezpečovací techniky, kdy je dynamický signál bezpečně převáděn na signál statický. Blokové schéma obvodového řešení detektoru je zobrazeno na Obrázku 12. S takto navrženou topologií bylo možné realizovat obvody detektoru s vnitřní bezpečností.



Obrázek 12: Blokové schéma kanálů detektoru

Z blokového schématu je patrné, že detektor sestává ze dvou obvodů shodné topologie, které mají společné napájení. Hlavní části jednotlivých obvodů jsou: oscilátor, spínač, bezpečný dekodér dynamického signálu na statický signál, zajišťující napájení oscilátoru a bezpečný dekodér dynamického signálu na statický signál generující výstupní napětí. Ke každému z obvodů je připojen jeden kanál ze snímače otáček, na jehož stavu závisí spínání napájecího dekodéru. Konkrétní zapojení jednoho kanálu detektoru je zobrazeno na Obrázku 13.



Obrázek 13: Zapojení jednoho kanálu detektoru

3.5.1 Popis činnosti jednoho kanálu detektoru

Následující popis činnosti obvodu se odkazuje ke schématu na Obrázku 13. Je nutné mít neustále na paměti, že detektor obsahuje dva tyto kanály. Stojí-li kolejové vozidlo, je vždy jeden ze dvou kanálů snímače otáček nastaven tak, že je navázána optická vazba.

Během jízdy vlaku a bezprostředně po zastavení vlaku je oscilátor (OSC) bez napájení a kondenzátor C3 (nachází se v bloku BDN) je nabit z přídavné baterie (BAT) na napětí 12 V. Po odeslání startovacího pulzu z mobilní části ETCS je sepnut tranzistor T3 a kondenzátor C3 je uzemněn, čímž se otevře dioda D1 (nachází se v bloku BDN) a část náboje z kondenzátoru C3 je přenesena do kondenzátoru C4 (nachází se v bloku BDN).

V tu chvíli začne oscilátor na svém výstupu generovat pulzy o záporném napětí vůči zemi. Startovací pulz již odezněl a oscilátor spíná tranzistor T1 (SP). Při existující optické vazbě v kanálu snímače je dále spínán tranzistor T2 (nachází se v bloku BDN) a takto je dobíjen kondenzátor C4. Obvod se tímto dostal do dynamického stavu. Dobíjení napájecího kondenzátoru C4 má dvě fáze.

V první fázi uvažujme, že tranzistor T2 zrovna není sepnut. Kondenzátor C3 se nabíjí z přídatné baterie a oscilátor je napájen kondenzátorem C4. Ve druhé fázi je tranzistor T2 již sepnut a kondenzátory C3 a C4 jsou spojeny paralelně, kdy kondenzátor C4 je dobíjen kondenzátorem C3 a oscilátor je napájen těmito kondenzátory.

Pokud dojde k pohybu nápravy kolejového vozidla, přeruší se optická vazba, kondenzátor C4 přestane být dobíjen a oscilátor zůstane bez napájení, obvod je tedy uveden do statického stavu.

Výstup obvodu do mobilní části je vyveden z kondenzátoru C6 (nachází se v bloku BDV). Tento kondenzátor je dobíjen, pouze pokud je oscilátor napájen. V takovém případě je napětí kondenzátoru 12 V, resp. -12 V vůči zemi, odpovídající log. 1 na výstupu obvodu.

Přestane-li být oscilátor napájen, dobíjení kondenzátoru C6 ustane a dojde k samovolnému vybití tohoto kondenzátoru. Napětí -12 V na kondenzátoru C6 znamená log. 1 na výstupu obvodu, zatímco napětí jiné než -12 V znamená log. 0 na výstupu obvodu. Dále jsou podrobněji popsány bloky OSC, BDN a BDV ze schématu.

Popis bloku oscilátoru

Oscilátor byl navržen na bázi obvodu CMOS CD4060UBE. Tento obvod byl vybrán z důvodu rozsahu napájecího napětí, který je 3 V až 18 V. Do tohoto rozsahu spadá právě napětí napájecí 12 V baterie. Dále byl k příslušným pinům tohoto integrovaného obvodu připojen krystal s rezonanční frekvencí $f_r = 4$ MHz. Integrovaný obvod má 10 proudově posílených výstupů Q4 až Q14, kde výstupní frekvence výstupu je dána vztahem:

$$f_{out} = \frac{f_r}{2^x} \quad (3.1)$$

kde x je index konkrétního výstupu. Ke spínání napájení snímače otáček byl použit výstup Q10, jehož frekvence je:

$$f_{Q10} = \frac{f_r}{2^x} = \frac{4 \cdot 10^6}{2^{10}} = 3900 \text{ Hz} \quad (3.2)$$

S touto frekvencí je řízeno spínání dekodéru, který zajišťuje napájení oscilátoru. Frekvence spínání 3900 Hz se při sestavování testovacího obvodu jevila jako vyhovující, dekodér generuje dostatečné napětí pro napájení oscilátoru.

Pro spínání nábojové pumpy, generující výstupní napětí pro mobilní část systému ETCS, byl zvolen výstup Q12 s frekvencí:

$$f_{Q12} = \frac{f_r}{2^x} = \frac{4 \cdot 10^6}{2^{12}} = 976 \text{ Hz} \quad (3.3)$$

Tato frekvence byla opět zvolena experimentálně při sestavování testovacího obvodu. Při této frekvenci je na výstupu dekodéru generujícího výstup obvodu 12 V, což odpovídá napájecímu napětí detektoru.

Výstupní napětí oscilátoru, kterým jsou spínány spínače dekodérů, se odvíjí od napájecího napětí, kdy platí:

$$U_{out} = U_{cc} - 0.05 \quad (3.4)$$

Tento vztah byl přejet z datasheetu [3] daného integrovaného obvodu. V laboratoři bylo ověřeno, že tento vztah skutečně platí.

Bezpečné dekódování

Pro splnění požadavku na vnitřní bezpečnost obvodu detektoru bylo nutné realizovat bezpečný dekodér dynamického signálu na signál statický (bloky BDV a BDN). Toho bylo docíleno zapojením tohoto dekodéru jako nábojové pumpy, jejíž výstupní napětí je záporné

vůči zemi. Z tohoto důvodu, jak je patrné ze schématu, je zem přivedena na pin kladného napájení oscilátoru a výstup z opačné elektrody kondenzátoru je přiveden na pin pro záporné napětí. Topologie nábojové pumpy zajišťující napájení oscilátoru (BDN) je shodná s topologií nábojové pumpy generující výstup pro mobilní část (BDV).

V předchozím textu bylo vysvětleno, že po přivedení startovacího impulzu z mobilní části jsou kondenzátory C3 a C4 spojeny paralelně a výsledná kapacita je dána součtem kapacit těchto kondenzátorů. Pro samotný kondenzátor C3 před přivedením impulzu lze spočítat náboj a energii:

$$Q_0 = C_3 \cdot U_0 = 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 2,64 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad (3.5)$$

$$W_0 = \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot U_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2 = 1,584 \cdot 10^{-4} \text{ J} \quad (3.6)$$

Po paralelním spojení kondenzátorů zůstává náboj konstantní, tedy $2,64 \cdot 10^{-5} \text{ C}$, ovšem dochází ke změně napětí na kondenzátorech:

$$Q_0 = Q_{C3} + Q_{C4} \quad (3.7)$$

$$C_3 \cdot U_0 = C_3 \cdot U_1 + C_4 \cdot U_1 \quad (3.8)$$

$$U_1 = \frac{C_3 \cdot U_0}{C_3 + C_4} = \frac{2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 12}{2,2 \cdot 10^{-6} + 10^{-6}} = 8,25 \text{ V} \quad (3.9)$$

Energie kondenzátorů:

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot U_1^2 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot U_1^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25^2 + \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 8,25^2 = 1,089 \cdot 10^{-4} \text{ J} \end{aligned} \quad (3.10)$$

33,71% energie bylo spotřebováno na vyrovnání napětí na kondenzátorech. Napětí 8,25 V je dostatečné na to, aby se oscilátor rozkmital a poté udržoval obvod

v dynamickém stavu, a během tohoto stavu napětí napájecího kondenzátoru dosahuje vlivem spínání nábojové pumpy (BDN) 8,4 V.

3.6 Funkční parametry detektoru stání

Funkční parametry detektoru stání jsou následující:

- Minimální ujetá vzdálenost, kdy detektor zaznamená pohyb vozidla
- Doba reakce systému na pohyb
- Kapacita přídavné baterie napájející detektor
- Pravděpodobnost navázání optické vazby

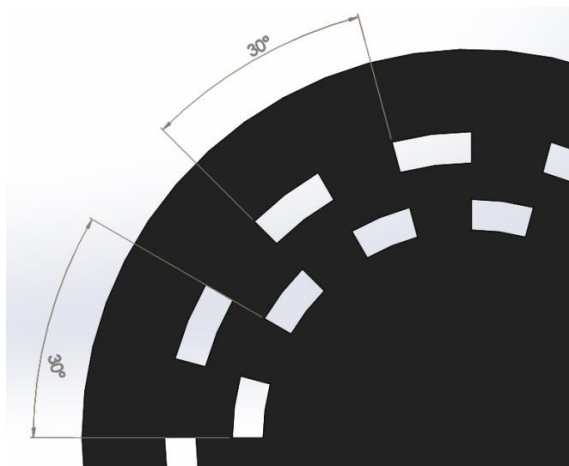
3.6.1 Minimální ujetá vzdálenost

Vzdálenost, kterou musí vozidlo ujet, aby byl zaznamenán jeho pohyb, závisí především na použitém snímači otáček. Dále je uveden postup pro výpočet této vzdálenosti.

Předpokládejme, že snímač otáček má 12 šterbin. Platí, že počátky sousedních šterbin svírají úhel $\alpha = 30^\circ$:

$$\alpha = \frac{360}{pš} = \frac{360}{12} = 30^\circ \quad (3.11)$$

kde $pš$ je počet šterbin za otáčku. Tento úhel je pro přehlednost ilustrován na Obrázku 14.

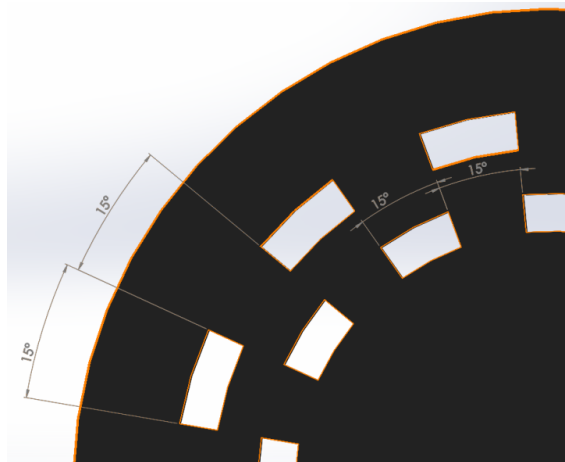


Obrázek 14: Znázornění úhlu α obou kanálů snímače otáček

Dále platí, že krajní hrany jedné štěrbiny svírají úhel β :

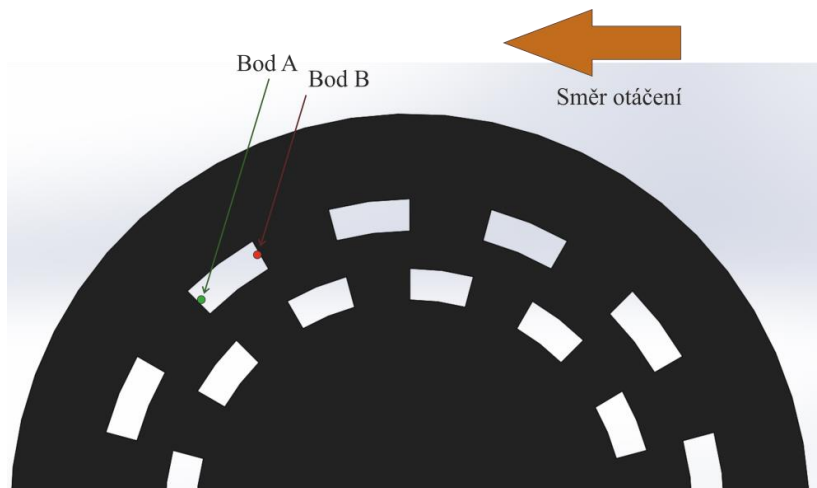
$$\beta = \frac{\alpha}{2} = \frac{30}{2} = 15^\circ \quad (3.12)$$

Tento úhel je důležitý pro výpočet vzdálenosti a je pro přehlednost zobrazen na Obrázku 15.



Obrázek 15: Znázornění úhlu β obou kanálů snímače otáček

Následující výpočty ujeté vzdálenosti pro detekci pohybu platí pro nejběžnější průměr kola kolejového vozidla $d = 1,25$ m. Dále je na Obrázku 16 uveden nejnepříznivější stav, kdy kolejové vozidlo musí urazit nejdelsí uvažovanou vzdálenost, aby byl jeho pohyb detekován.



Obrázek 16: Znázornění nejneprůznivějšího stavu

Uvažujme, že v bodě A byla navázána optická vazba a vozidlo se začíná pohybovat ve směru otáčení. Přijímač a vysílač je pevně uchycen, pohyblivá je pouze maska. Ve chvíli, kdy se bod B vlivem otáčení posune a dostane se na pozici bodu A, dojde k přerušení optické vazby v jednom z kanálů a tudíž i k detekci pohybu (druhý kanál zůstává ve statickém stavu). Platí, že se kolo vozidla posunulo o $\beta = 15^\circ$, což při průměru kola $d = 1,25$ m znamená vzdálenost:

$$s = \frac{\pi \cdot d}{360} \cdot \beta = \frac{\pi \cdot 1,25}{360} \cdot 15 = 0,16 \text{ m} \quad (3.13)$$

Z této rovnice vyplývá, že vozidlo muselo ujet 16 cm, než došlo k detekci pohybu. Tato délka je tedy úměrná délce jedné štěrbiny. Platí, že vozidlo musí urazit maximálně 16 cm, než dojde k detekci pohybu.

Nyní uvažujme, že by byl použit snímač otáček s 200 štěrbinami za otáčku místo výše uvedeného snímače s 12 štěrbinami. Maximální ujetá vzdálenost potřebná pro detekci pohybu by byla v takovém případě $s = 0,01$ m.

Platí, že při použití snímače otáček s menším počtem štěrbin je maximální ujetá vzdálenost potřebná pro detekci pohybu větší než u snímače s větším počtem štěrbin. Ovšem použití snímače otáček s větším počtem štěrbin pro detektor stání kolejového vozidla přináší zásadní nevýhodu:

Při malé vzdálenosti potřebné pro detekci pohybu hrozí, že by optická vazba mohla být přerušena falešným impulsem, např. vlivem otřesů. Tento stav by byl bezpečný, ovšem spolehlivost detektoru by byla nižší.

3.6.2 Doba reakce systému na pohyb

Platí, že zatímco se mezi vysílačem a přijímačem kanálu snímače otáček nachází oblast přerušení, je oscilátor napájen kondenzátorem C4 a tento kondenzátor se musí vybit na hodnotu napětí $U \leq 3 \text{ V}$, aby ustaly kmity oscilátoru. Na testovacím vzorku bylo v laboratoři změřeno, že v dynamickém stavu daného kanálu je napětí napájecího kondenzátoru $U = 8,4 \text{ V}$ a proudový odběr oscilátoru $I = 1,6 \text{ mA}$.

Doba, za kterou při daném odběru proudu poklesne napětí kondenzátoru z $8,4 \text{ V}$ na 3 V , je dána vztahem:

$$t_{ft} = \frac{\Delta u_c}{i_c} \cdot C = \frac{5,4}{1,6 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-6} = 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad (3.14)$$

Po $3,38 \text{ ms}$ je napájecí kondenzátor vybit na 3 V a oscilátor přestává kmitat a obvod je uveden do statického stavu. Obvod je poté možné uvést do statického stavu pouze startovacím pulzem z mobilní části ETCS.

3.6.3 Kapacita přídatné baterie

V předchozím textu bylo zmíněno, že kapacita přídatné baterie musí být dostatečná na to, aby baterie napájela detektor stání po dobu min. 72 h . Měřením proudového odběru detektoru bylo zjištěno, že je tento odběr $I = 0,1 \text{ A}$. Z těchto údajů lze spočítat potřebnou kapacitu přídatné baterie:

$$C = I \cdot t = 0,1 \cdot 72 = 7,2 \text{ Ah} \quad (3.15)$$

Obecně platí, že není vhodné vybit baterie na 0% kapacity. Pro další výpočet je uvažována olověná baterie. Olověné baterie je vhodné dobít, když jsou vybity na 50% . Z toho důvodu je kapacita baterie spočtená v rovnici (3.16) navýšena o 50% :

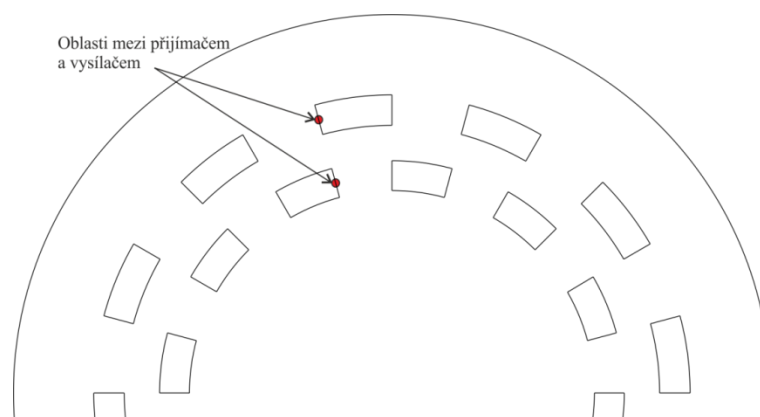
$$C' = \frac{7,2}{0,5} = 14,4 \text{ Ah} \quad (3.16)$$

Kapacita olovených baterií se značně snižuje, jsou-li vybíjeny proudem $I = 1C$ a větším, což by při kapacitě 14,4 Ah odpovídalo proudu 14,4 A.

V případě navrhovaného detektoru je vybíjecí proud 0,1 A, což odpovídá 0,007C. Takový vybíjecí proud je poměrně malý a nepřidává na degradaci baterie. Pro napájení detektoru je tedy možné použít olovenou baterii s kapacitou 14,4 Ah. Komerčně vyráběné baterie s kapacitou nejbližší k vypočtené kapacitě jsou baterie s kapacitou 15 Ah.

3.6.4 Pravděpodobnost navázání optické vazby

Funkčním omezením navrženého detektoru stání je i možnost, že při zapnutí detektoru nebude navázána optická vazba ani v jednom z kanálů, nebo naopak, bude navázána optická vazba v obou kanálech. Tuto situaci ilustruje Obrázek 17.



Obrázek 17: Hrana mezi přijímačem a vysílačem obou kanálů

Po zastavení vlaku může dojít k situaci, kdy se v obou kanálech snímače otáček bude mezi přijímačem a vysílačem nacházet hrana, tedy hranice mezi přerušovacím segmentem a šterbinou. V takovém případě mohou nastat celkem tři možnosti: Optická vazba bude navázána pouze v jednom z kanálů (žádoucí stav), nebo bude optická vazba navázána v obou kanálech, nebo nebude navázána ani v jednom z kanálů (nežádoucí stavy).

Stav, kdy nebude navázána optická vazba není nebezpečný stav, ale snižuje spolehlivost detektoru stání. Pro zvýšení spolehlivosti detektoru bylo rozhodnuto, že pokud je optická vazba navázána v obou kanálech a na jejich výstupech je ve chvíli, kdy jsou vyhodnocovány bezpečným jádrem EVC log. 1, lze prohlásit, že vozidlo stálo. Toto je ovšem pouze částečné řešení, protože existuje i druhý nežádoucí stav, kdy není navázána optická vazba ani v jednom z kanálů. V takovém případě v podstatě neexistuje efektivní řešení. Takový stav snižuje spolehlivost zařízení a bude nutné testovat, jaká je pravděpodobnost, že takový stav nastane. Dle toho bude možné vyhodnotit, zda je taková pravděpodobnost dostatečně malá na to, aby bylo možné tento detektor použít v reálném provozu.

3.7 Diagnostika detektoru stání

Diagnostika je důležitá z hlediska sledování spolehlivosti detektoru a získání informace o bezporuchovém stavu detektoru. Způsob diagnostiky detektoru stání prozatím nebyl stanoven. Dále následuje úvaha, jakým způsobem by bylo možné realizovat diagnostiku detektoru stání.

Samotný detektor nemá vlastní diagnostický modul a tak bude testován mobilní částí systému ETCS pokaždé, kdy mobilní část přejde do módu SB (bude se tedy jednat o softwarovou realizaci diagnostiky v mobilní části ETCS). Po přechodu mobilní části ETCS do módu SB odešle mobilní část do detektoru stání startovací pulz. Poté mobilní část vyhodnotí výstupy z detektoru. Je-li alespoň jeden výstup v log. 1, uloží se do paměti diagnostiky informace, že detektor stání je funkční. Pokud budou oba výstupy v log. 0, uloží se do paměti informace, že je detektor v poruchovém stavu. Mohou nastat tři situace, kvůli kterým budou oba výstupy detektoru v log. 0 :

- Porucha detektoru
- Pohyb vozidla
- Nenavázání optické vazby

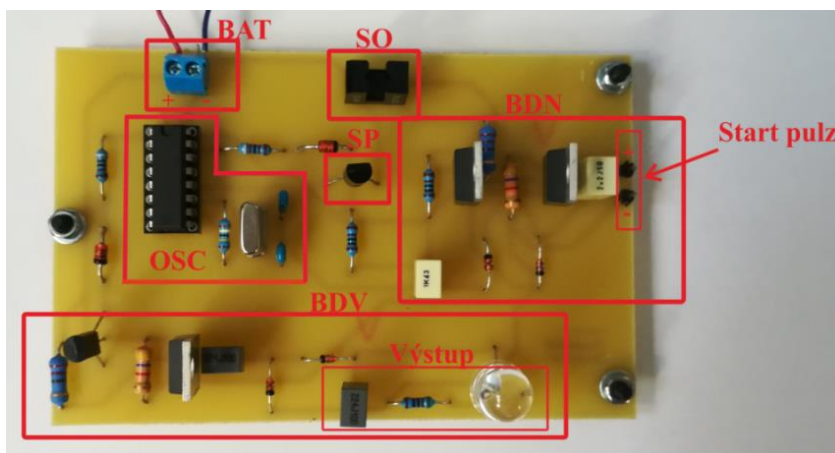
Diagnostika ovšem nedokáže rozpoznat, zda opravdu došlo k poruše detektoru, nebo nastala některá ze dvou zbývajících situací. Pokud je tedy do paměti diagnostiky uložena

informace, že je detektor v poruchovém stavu, může se jednat o falešnou informaci. Z toho důvodu není vhodné prohlásit detektor za nefunkční ihned po prvním testu.

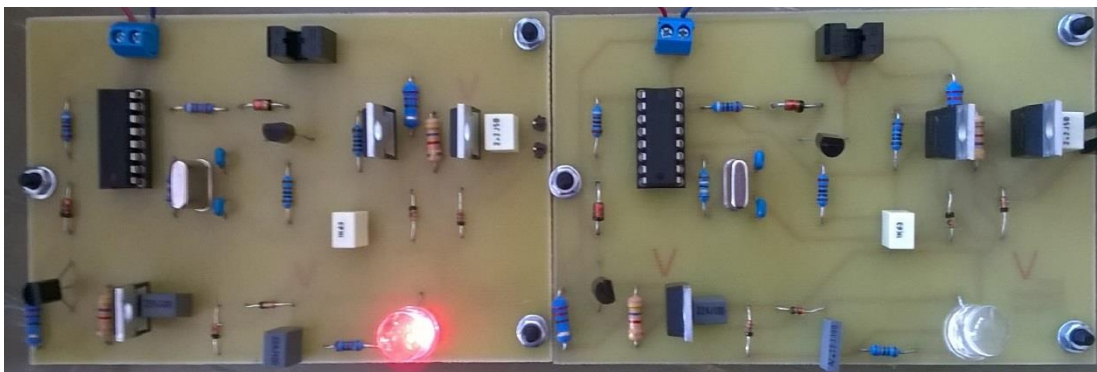
3.8 Výroba a měření zkušební vzorku

Zkušební vzorek byl realizován dle schématu na Obrázku 13 na straně 25. Deska plošných spojů byla navržena v programu Altium Designer 17. Celkem byly vyrobeny dvě totožné DPS, tedy dva kanály detektoru stání.

V obou realizovaných obvodech detektoru je místo snímače otáček, který není fyzicky k dispozici, použita optická závora, která nahrazuje tento snímač (viz SO v Obrázek 18). V kapitole 3.3 (bod 1) je vysvětleno, že snímač otáček pracuje na principu optické závory, a tudíž je tuto závoru možné použít pro demonstrační účely ve zkušebním vzorku. Pro demonstrační účely je do obvodu implementována i dioda LED 1, která na první pohled indikuje, zda je kanál v dynamickém stavu či nikoliv.

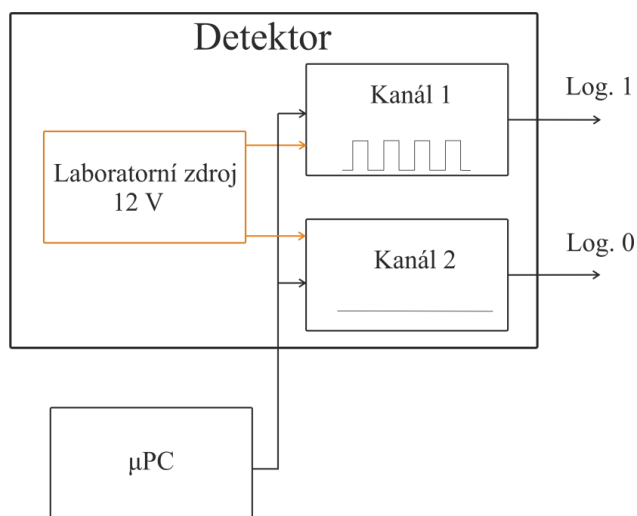


Obrázek 18: Realizovaný funkční vzorek (jeden kanál)



Obrázek 19: Realizovaný funkční vzorek (oba kanály)

Vyrobený zkušební vzorek byl testován v laboratoři. Při testování zkušební vzorku byla simulována situace, která by nastala po zastavení vozidla. Oba kanály detektoru byly napájeny laboratorním zdrojem 12 V, který nahrazuje přídatnou baterii. Do optické závory druhého kanálu byla vložena hmotná překážka. Dále byl k oběma kanálům detektoru připojen mikrokontrolér, generující startovací pulz. Kanál 1 byl tedy po odeslání startovacího pulzu uveden do dynamického stavu, kanál 2 setrval v režimu statickém. Toto je ilustrováno na Obrázku 20.



Obrázek 20: Schéma zapojení testovacího vzorku

Dále byly změřeny následující parametry zkušební vzorku:

- Střední hodnota proudu odebíraného detektorem $I_d = 0,1 \text{ A}$
- Střední hodnota napětí napájecího kondenzátoru $U_n = 8,4 \text{ V}$

- Střední hodnota proudu odebíraného oscilátorem $I_o = 1,6 \text{ mA}$
- Maximální délka startovacího impulsu $t_s = 14,3 \text{ ms}$
- Doba, za kterou dojde k poklesu napětí napájecího kondenzátoru z 8,4 V na 3 V,
 $t_f = 3,4 \text{ ms}$

Změřená doba $t_f = 3,4 \text{ ms}$ se liší od teoretické doby $t_{ft} = 3,38 \text{ ms}$, spočtené v kapitole 3.6.2 na straně 32. Tento rozdíl může být způsoben tím, že kapacita reálného napájecího kondenzátoru není přesně taková, se kterou byla doba t_{ft} počítána, protože tolerance kondenzátoru je $\pm 5\%$.

Experimentálně bylo stanoveno, že maximální délka startovacího impulsu musí být 14,3 ms. Při delším startovacím pulsu nedošlo spolehlivě k uvedení žádného z kanálů do dynamického stavu. Minimální délka startovacího impulsu nebyla stanovena, neboť i při délce startovacího pulsu 1 μs byl detektor v laboratorních podmínkách zapnut a nepředpokládá se, že by bylo v provozu nutné použít ještě kratší startovací impuls.

4 Rozbor bezpečnosti

V následující kapitole je nastíněno, jakými způsoby je obecně možné realizovat technickou bezpečnost zařízení a jakým způsobem se provádí rozbor bezpečnosti. Hlavní část této kapitoly se věnuje základnímu rozboru bezpečnosti navrhovaného detektoru stání a tento rozbor je v rámci možností ověřen na zkušebním vzorku. Při tvorbě této kapitoly byly čerpány informace z [3] a [4].

4.1 Charakteristické rysy zabezpečovacích zařízení

Železniční zabezpečovací zařízení prvořadě kontrolují, zda zamýšlené dispozice dopravních zaměstnanců jsou bezpečné a zda jimi nařízené úkony se provádějí tak, aby nebyla ohrožena bezpečnost železniční dopravy. Toho je dosaženo zaváděním vzájemných závislostí prvků zařízení a kontrolou sekvence potřebných úkonů. Tímto je zajištěna funkční bezpečnost zabezpečovacího zařízení.

Železniční zabezpečovací zařízení musí být navíc konstruováno tak, že je zajištěna bezpečnost i při jakékoliv uvažované poruše vlastního zabezpečovacího zařízení. Při poruše zabezpečovacího zařízení musí toto zařízení přejít do bezpečného stavu. Toto je označováno jako technická bezpečnost. Pro ověření toho, že byly splněny podmínky pro dosažení technické bezpečnosti zabezpečovacího zařízení, se provádí rozbor bezpečnosti.

4.2 Realizace technické bezpečnosti systémů

Splnit požadavky na bezpečnou konstrukci je možné různými způsoby. V zásadě lze rozlišit tři základní principy: systémy s vnitřní bezpečností, redundantní systémy a reakční systémy. U složitějších zařízení bývá často použito více principů realizace technické bezpečnosti, kdy jsou tyto principy vhodně kombinovány.

Technická bezpečnost navrženého detektoru je založena pouze na principu vnitřní bezpečnosti, proto je dále věnována pozornost právě tomuto principu.

U systémů s vnitřní bezpečností jsou funkce zpracování informace a zabezpečení před poruchami řešeny v jedné rovině, jsou tedy navzájem neoddělitelné. Tento přístup znamená, že žádná z uvažovaných poruch nevyvolá hazardní stav systému, a systém tedy může být realizován jediným zařízením.

Při rozboru bezpečnosti se u takových systémů zjišťuje, zda žádná z uvažovaných poruch nevede k hazardnímu stavu. Tyto uvažované poruchy jsou obsaženy v normalizovaném katalogu poruch (normativní příloha C normy ČSN EN 50129).

4.3 Postup při rozboru bezpečnosti

Před provedením vlastního rozboru bezpečnosti musí být provedeny nezbytné úkony, které pomohou zajistit správné provedení rozboru bezpečnosti. Teprve až po provedení následujících úkonů je možné přejít k samotnému rozboru bezpečnosti zařízení.

1. Určení kritických částí

Musí být určena zařízení nebo jejich části, ovlivňující bezpečnost. Pro tato zařízení nebo jejich části bude rozbor bezpečnosti prováděn.

2. Stanovení principu technické bezpečnosti

Musí být stanoveno, na jakém principu je realizována technická bezpečnost daného zařízení (normativní příloha C normy ČSN EN 50129). Na základě této informace vyplyne zaměření rozboru bezpečnosti.

3. Rozdělení rozsáhlého systému

V případě rozsáhlého systému je nutné tento systém rozdělit na menší funkční celky, jejichž vstupy a výstupy lze jednoznačně definovat. Na těchto funkčních celcích lze snáze provádět rozbor bezpečnosti postupně.

4. Určení provozních stavů zařízení

Musí být určeny normální a mimořádné provozní stavy zařízení. Normální stavy jsou všechny bezporuchové stavy, ve kterých se zařízení může nalézat v souvislosti

s obvyklým cyklem zabezpečovacích zařízení, tj. příprava vlakové cesty, příjezd vlaku, odjezd vlaku, návrat zařízení do základního stavu a za mimořádné provozní stavy se považují ty stavy, ve kterých se zařízení může nacházet vlivem dopravních nepravidelností nebo poruchy vnější části zařízení. Tento postup ovšem zahrnuje možnost, že se opomine pro některý stav vstupů definovat výstup, což často vede k nemilým překvapením. Je tedy vhodnější určit stav všech výstupních signálů zařízení v bezporuchovém stavu pro všechny možné kombinace vstupních veličin podle kritérií odvozených z požadovaných funkčních vlastností.

5. Určení chování zařízení při poruchových stavech

Musí být určeny všechny stavy, které jsou z hlediska použití zařízení nepřijatelné, tj. stavy ohrožující bezpečnost. Nebo naopak, musí být určen bezpečný stav, do kterého musí zařízení přejít vždy, když z jakéhokoliv důvodu není schopno vykonávat požadované funkce.

4.4 Metody rozboru bezpečnosti

Mezi nejběžnější metody rozboru bezpečnosti patří analýza důsledků poruch, analýza nezávislosti a důsledků společných chyb, modelování poruch, laboratorní ověřování na skutečném zařízení nebo jeho věrném modelu a nezávislá kontrola programů. Každá z těchto analýz je typická pro zařízení založeném na určitém principu technické bezpečnosti.

1. Analýza rizika

Tato metoda analyzuje rizika, která vyplývají z použití určitého technického řešení. Při této analýze jsou odhalena slabá místa použitého řešení a dále jsou určena ochranná opatření. Analýza rizik se provádí pro celé zařízení ještě před konkrétním návrhem tohoto zařízení a na základě pravděpodobnosti výskytu jednotlivých poruch.

2. Analýza důsledků poruch

Analýza poruchových stavů a jejich důsledků je typická pro zařízení využívající principu vnitřní bezpečnosti. Postupně jsou analyzovány všechny uvažované poruchové

stavy u každého prvku obvodu zabezpečovacího zařízení pro všechny možné provozní podmínky.

Možné poruchové stavy jednotlivých prvků jsou odvozeny z mezinárodně uznávaného katalogu poruch. Pokud je prováděn rozbor obvodu s takovým prvkem, který není zmíněn v katalogu poruch, je nutné nejprve tyto poruchy stanovit po vzoru katalogu poruch.

3. Analýza poruchového stromu

Jedná se o metodu, při které se vychází z nežádoucí události a určují se všechny možné příčiny jejího vzniku. Touto metodou se zabývá mezinárodní norma IEC 61025.

4. Analýza nezávislosti a důsledků společných chyb

Tuto metodou jsou analyzovány vlivy v redundantních systémech, které by mohly způsobit společné chyby. Musí být prokázáno, že nedojde ke ztrátě nezávislosti redundantních částí vnitřními nebo vnějšími vlivy.

- Vnitřní vlivy
 - fyzikální (elektromagnetická vazba, galvanické spojení)
 - funkční (zanesení falešné informace z důvodu poruchy druhého systému)
- Vnější vlivy
 - fyzikální (elektromagnetická kompatibilita)
 - funkční (zanesení falešné informace z vnějšího zdroje informace z důvodu poruchy toho zdroje)

5. Testování funkce

Funkční testy se mohou provádět na celém systému při normálních i mezních okolních podmínkách, nebo na jednotlivých částech systému. V takovém případě je nutné pro všechny jednotlivé části stanovit všechny výstupy pro všechny možné kombinace vstupů.

6. Numerické modelování a simulace

Při použití numerických modelů a simulací musí být pečlivě ověřeny vstupní numerické hodnoty. Je nezbytné předem potvrdit transformační hypotézy zkouškami.

7. Laboratorní ověřování

Laboratorní ověřování uvažovaných poruch na reálném zařízení nebo jeho věrném modelu je vhodné provádět na klíčových obvodech s vnitřní bezpečností.

4.5 Rozbor bezpečnosti navrženého detektoru stání

V této kapitole bude proveden rozbor bezpečnosti navrženého detektoru stání kolejového vozidla. V předchozím textu bylo zmíněno, že se jedná o systém s vnitřní bezpečností. Z tohoto důvodu budou použity dvě metody rozboru bezpečnosti – analýza důsledků poruch a laboratorní ověřování.

Určení vlastností systému

Před samotným rozbohem musí být konkrétně stanoveny parametry zmíněné v kapitole 4.3 a následující tvrzení se odkazují ke každému bodu z této kapitoly:

1. Kritickou částí je celý obvod kromě diody LED1 a rezistoru R10. Budou testovány všechny prvky obvodu kromě výše zmíněných.
2. Technická bezpečnost je založena na principu vnitřní bezpečnosti.
3. Nejedná se o rozsáhlý systém, nebude rozdělen na menší funkční celky.
4. Běžnými stavy zařízení jsou: režim standby a režim aktivní funkce (popsány v kapitole 3.4).
5. Detektor stání je dvoukanálový. Pokud dojde k poruše v jakémkoliv z kanálů detektoru, musí být na výstupu tohoto kanálu log. 0 (tedy jiné napětí na kondenzátoru C6 než napětí právě -12 V vůči zemi).

Vlastní rozbor bezpečnosti

Dále je proveden samotný rozbor bezpečnosti metodou analýzy důsledků poruch a laboratorním ověřováním (pokud je to možné) pro každou součástku ze schématu na Obrázku 13 na straně 25. U každé součástky je vypsán seznam uvažovaných poruch, vycházející z normativní přílohy C normy ČSN EN 50129.

a) Uvažované poruchy rezistorů

1. Přerušení
2. Zkrat
3. Zvýšení hodnoty odporu
4. Snížení hodnoty odporu
5. Zkrat na pouzdro

b) Uvažované poruchy kondenzátorů

6. Přerušení
7. Zkrat
8. Zvýšení kapacity
9. Snížení kapacity
10. Snížení paralelního odporu
11. Zvýšení sériového odporu
12. Zkrat na pouzdro

c) Uvažované poruchy normálních diod (výkonových, signálových, spínacích)

13. Přerušení
14. Zkrat
15. Zvýšení průrazného závěrného napětí
16. Zvýšení napětí v propustném směru
17. Snížení napětí v propustném směru
18. Zvýšení prahového napětí

19. Snížení prahového napětí

20. Zkrat na vodivé pouzdro

d) Uvažované poruchy Zenerovo diod

21. Přerušeni

22. Zkrat

23. Zvýšení Zenerova napětí

24. Snížení Zenerova napětí

25. Změna diferenciálního odporu

26. Zvýšení závěrného proudu

27. Zvýšení propustného napětí v propustném směru

28. Snížení propustného napětí v propustném směru

29. Zvýšení prahového napětí v propustném směru

30. Snížení prahového napětí v propustném směru

31. Zkrat na vodivé pouzdro

e) Uvažované poruchy bipolárních tranzistorů

32. Přerušeni

i. emitoru (E)

ii. a/nebo báze (B)

iii. a/nebo kolektoru (C)

33. Zkrat

i. mezi E a B

ii. mezi B a C

iii. mezi E a C

iv. mezi E a B a C

34. Zkrat mezi dvěma spoji a přerušeni třetího spoje

35. Zkrat mezi pouzdrem a E nebo B nebo C

36. Zvýšení AC a/nebo DC zesílení
37. Snížení AC a/nebo DC zesílení
38. Zvýšení napětí B-E v propustném směru
39. Snížení napětí B-E v propustném směru
40. Zvýšení prahového napětí U_{BE}
41. Snížení prahového napětí U_{BE}
42. Snížení průrazného napětí U_{EB} nebo U_{CB} nebo U_{CE}
43. Změna doby náběhu, doby doběhu, zapínací doby, vypínací doby
44. Zvýšení svodového proudu I_{CB} , I_{EB} , I_{CE}
45. Změna saturačního napětí U_{CE}

f) Uvažované poruchy tranzistorů řízených polem (FET)

46. Přerušení
 - i. hradla (G)
 - ii. a/nebo emitoru (S)
 - iii. a/nebo kolektoru (D)
47. Zkrat
 - i. mezi S a D
 - ii. mezi G a D
 - iii. mezi S a G
 - iv. mezi S a G a D
48. Zkrat mezi dvěma spoji a přerušení třetího spoje
49. Zkrat mezi pouzdem a S nebo G nebo D
50. Zvýšení transkonduktance v propustném směru
51. Snížení transkonduktance v propustném směru
52. Zvýšení prahového napětí hradla
53. Snížení prahového napětí hradla

54. Snížení

- i. průrazného napětí D-S
- ii. maximálních jmenovitých napětí G-S a D-G

55. Zvýšení svodového proudu I_{GS} , I_{DS} , I_{GD}

56. Změna statického odporu kolektor-emitor v propustném směru

g) Uvažované poruchy krystalových filtrů

57. Přerušení

58. Zkrat

59. Změna rezonančního kmitočtu

60. Snížení činitele jakosti

61. Zkrat na vodivé pouzdro

h) Uvažované poruchy optoelektronických přenosových členů

62. Zkrat nebo snížení izolačního odporu

- i. mezi vstupem a výstupem
- ii. mezi sousedními systémy ve stejném pouzdře

63. Zkrat na pouzdro

64. Změna doby přepnutí

65. Zvýšení činitele proudového zesílení

66. Snížení činitele proudového zesílení

i) Uvažované poruchy na deskách plošných spojů

67. Přerušení nebo zvýšení odporu v jednom nebo více vodivých spojkách

68. Zkrat nebo snížení izolačního stavu mezi dvěma různými vodivými spoji

j) Uvažované poruchy integrovaných obvodů

Pozn: Následující uvažované poruchy byly stanoveny pro konkrétní integrovaný obvod (CMOS 4060UBE).

69. Snížení maximální úrovně výstupního napětí jednoho nebo více výstupů

70. Změna kmitočtu jednoho nebo více výstupů
71. Zmenšení strmosti náběžných hran jednoho nebo více výstupů
72. Zkrat mezi dvěma nebo více libovolnými vývody
73. Snížení hodnoty maximálního výstupního proudu jednoho nebo více výstupů
74. Přerušování jednoho nebo více vývodů
75. Zvýšení proudového odběru integrovaného obvodu

Ve sloupci Uvažované poruchy v Tab. 1 jsou uvedena čísla všech poruch, které se uvažují u dané součástky. U každé z těchto uvažovaných poruch je teoreticky vyhodnocen dopad na činnost obvodu. Ve sloupci *Bezpečný stav* jsou čísla těch poruch, které nemusí mít vliv na činnost obvodu (např. určité zvýšení odporu rezistorů neovlivní funkčnost obvodů), nebo uvedou obvod do bezpečného stavu. Dále je provedeno laboratorní ověření některých uvažovaných poruch. Ty poruchy, které bylo možné v laboratoři na testovaném vzorku realizovat, jsou vypsány ve sloupci *Laboratorní ověření*. Ve sloupci *Poznámka* je uvedeno číslo poznámky, ve které jsou podrobněji vysvětleny důsledky příslušných poruch. Tyto poznámky jsou uvedeny v příloze C této diplomové práce.

Tab. 1 Uvažované poruchy součástek a ověření poruch

Součástka	Uvažované poruchy	Bezpečný stav	Laboratorní ověření	Poznámka
R1	1 až 5	1 až 5	1,2,3,4,5	1)
R2	1 až 5	1 až 5	1,2,3,4,5	2)
R3	1 až 5	1 až 5	1,3,4,5	3)
R4	1 až 5	1 až 5	1,3,4,5	4)
R5	1 až 5	1 až 5	1,3,4,5	5)
R6	1 až 5	1 až 5	1,2,3,4,5	6)
R7	1 až 5	1 až 5	1,2,3,4,5	7)
R8	1 až 5	1 až 5	1,3,4,5	8)
R9	1 až 5	1 až 5	1,4,5	9)
C1	6 až 12	6 až 12	6,7,8,9,11,12	10)

C2	6 až 12	6 až 12	6,7,8,9,11,12	10)
C3	6 až 12	6 až 12	6,7,8,9,11,12	11)
C4	6 až 12	6 až 12	6,7,8,9,11,12	12)
C5	6 až 12	6 až 12	6,7,8,9,11,12	13)
C6	6 až 12	6 až 12	6,7,8,9,11,12	14)
D1	13 až 20	13 až 20	13,14	15)
D2	13 až 20	13 až 20	13,14	16)
D3	13 až 20	13 až 20	13,14	17)
D4	13 až 20	13 až 20	13,14	18)
ZD1	21 až 31	21 až 31	21,22,23,24,31	19)
ZD2	21 až 31	21 až 31	21,22,23,24,31	20)
T1	32 až 45	32 až 45	32,33,34,35	21)
T4	32 až 45	32 až 45	32,33,34,35	22)
T2	46 až 56	46 až 56	46,47,48,49	23)
T3	46 až 56	46 až 56	46,47,48,49	24)
T5	46 až 56	46 až 56	46,47,48,49	25)
X1	57 až 61	57 až 61	57,58,59,61	26)
Snímač otáček	62 až 66	62 až 66	62,63	27)
Vodivé spoje	67,68	67,68	67,68	28)
CMOS4060	69 až 75	69 až 75	71,73,74	29)

5 Závěr

Diplomová práce obsahuje jak teoretickou část, tak i praktickou část. Druhá kapitola je teoretická a je v ní popsán systém ETCS se zaměřením na mobilní část. Cílem bylo seznámit čtenáře se základními principy vedení vlaku se systémem ETCS, popsat architekturu a módy mobilní části systému ETCS a objasnit důvody pro použití detektoru stání kolejového vozidla při vypnuté mobilní části systému ETCS, kterému je věnován zbytek diplomové práce.

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat funkční vzorek detektoru stání kolejového vozidla, čemuž je věnována třetí kapitola. Jedním ze základních požadavků stanovených zadavatelem diplomové práce bylo použití optického snímače otáček v technické realizaci detektoru. Z toho důvodu byla navržena koncepce dvoukanalového detektoru stání, která umožňuje tento požadavek splnit. Při realizaci funkčního vzorku detektoru nebyl vzhledem k finančním nárokům použit snímač otáček běžně používaný v železniční dopravě, ale tento snímač byl nahrazen finančně dostupnou optickou závorou. Technická bezpečnost navrženého detektoru je založena na principu vnitřní bezpečnosti a realizace detektoru je hardwarová, kdy jsou použity pouze diskrétní součástky. Navržený detektor stání splňuje všechny základní požadavky kladené zadavatelem diplomové práce.

Ve čtvrté kapitole byl proveden základní rozbor bezpečnosti navrženého řešení. Tento rozbor byl proveden metodou analýzy důsledků všech uvažovaných poruch a důsledky některých poruch byly laboratorně ověřeny. Seznam všech uvažovaných poruch byl převzat z normativní přílohy C normy ČSN EN 50129, pouze uvažované poruchy integrovaného obvodu CMOS4060UBE bylo nutné stanovit samostatně. Laboratorní ověřování bylo provedeno na funkčním vzorku detektoru stání sestaveném na nepájivém propojovacím poli. Při laboratorním ověřování nebyly ověřeny všechny uvažované poruchy, protože některé poruchy nebylo možné za daných podmínek realizovat. Z toho důvodu bylo zvažováno, že by tyto poruchy byly nasimulovány v programu pro simulaci elektrických obvodů. Ovšem v žádném z dostupných simulačních programů

(Multisim 12, LTspice a OrCad Cadence 9.2) nebylo možné sestavit obvod podle schématu. Integrovaný obvod CMOS4060 je digitální součástka a nemá v těchto programech vyvedeny napájecí vývody, ale napájení je provedeno interním propojením V_{dd} a V_{ss} , což znemožňuje obvodovou simulaci navrženého detektoru stání.

Z analýzy důsledků poruch vyplývá, že uvažované poruchy součástek buď nemají vliv na činnost obvodu, nebo uvedou systém do bezpečného stavu. Žádná z poruch nemá za následek nebezpečný stav systému. Laboratorní ověření poruch, u kterých bylo možné provést laboratorní ověření, potvrdila tuto teoretickou analýzu.

Pro použití navrženého detektoru v reálném provozu bude muset být zařízení zkonstruováno tak, aby splňovalo příslušné normy týkající se elektromagnetické kompatibility, klimatických a mechanických vlivů prostředí atd. Poté bude muset zařízení projít celým schvalovacím procesem a teprve v případě schválení bude moci být nasazeno do provozu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Systém ERTMS/ETCS. CHUDÁČEK, V., J. JAKL a L. LOCHMAN. *Vlakové zabezpečovací systémy* [CD]. Praha: ČD-VÚŽ, 1999, s. 37-48 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/18058928-Vlakove-zabezpecovaci-systemy-v-chudacek-j-jakl-l-lochman.html>
- [2] European Train Control System. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2018 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/European_Train_Control_System
- [3] *CMOS 14 - Stage Ripple - Carry Binary Counter/Divider and Oscillator*. In: . Dallas: Texas Instruments, 2003. Dostupné také z: <https://www.gme.cz/cmos-4060-dip16-texas-instruments>
- [4] Ověřování bezpečnosti. CHUDÁČEK, V. *Zabezpečovací technika* [SSD]. Praha, 2005, s. 49-53 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kae/ztd1/studijni-materialy.html>
- [5] ČSN EN 50129: *Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat - Elektronické zabezpečovací systémy*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

Příloha A

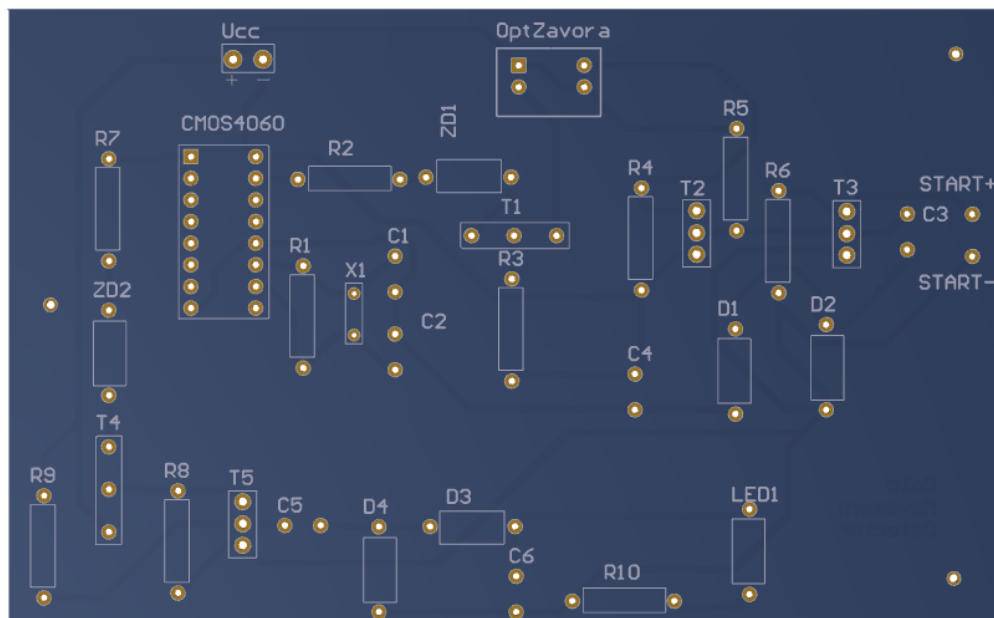
Seznam součástek

Pozn.: Označení součástek se vztahuje ke schématu na Obrázku 13 na straně 25.

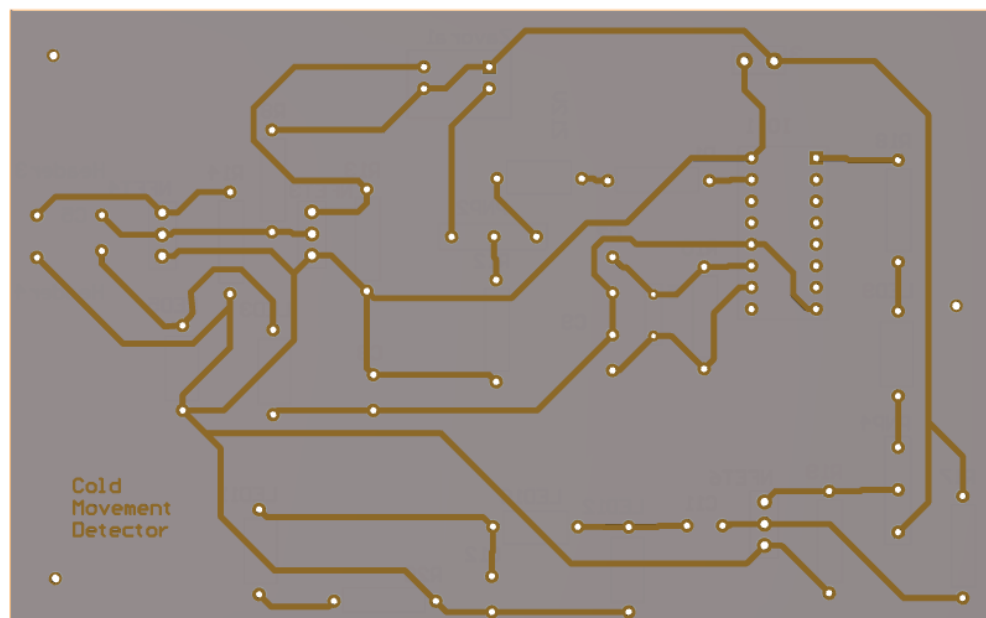
Součástka	Hodnota / Typ	Výrobce
R1	3M9 Ohm	Yageo
R2	9k1 Ohm	Yageo
R3	500 Ohm	Yageo
R4	1k Ohm	Yageo
R5	250 Ohm	Yageo
R6	1k Ohm	Yageo
R7	9k1 Ohm	Yageo
R8	500 Ohm	Yageo
R9	250 Ohm	Yageo
R10	500 Ohm	Yageo
C1	22 pF	Hitano
C2	22 pF	Hitano
C3	2,2 μ F	Kemet
C4	1 μ F	Kemet
C5	220 nF	Kemet
C6	220 nF	Kemet
D1	1N4148	Vishay
D2	1N4148	Vishay
D3	1N4148	Vishay
D4	1N4148	Vishay
ZD1	ZF12	Vishay
ZD2	ZF12	Vishay
LED 1	L-813SRC-C	Kingbright
T1	PNP – 2SD1207	Sanyo Electric
T4	PNP – 2SD1207	Sanyo Electric
T2	NFET – BUZ11	Fairchild
T3	NFET – BUZ11	Fairchild
T5	NFET – BUZ11	Fairchild
X1	4 MHz – HC49/U	IQD
Optická závora	TCST1103	Vishay
CMOS 4060	CMOS 4060UBE	Texas Instruments

Příloha B

Desky plošných spojů



Obrázek 21: Deska plošných spojů jednoho kanálu detektoru (strana součástek)



Obrázek 22: Deska plošných spojů jednoho kanálu detektoru (strana spojů)

Příloha C

Poznámky k rozboru bezpečnosti

1) Poruchy rezistoru R1

- a) **Přerušení:** Při přerušení rezistoru oscilátor nekmitá a na výstupu obvodu je log. 0. To je bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Při zkratu rezistoru oscilátor nekmitá a na výstupu obvodu je log. 0. To je bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Při zvýšení odporu je možné, že oscilátor nebude kmitat a na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav), nebo tato porucha nebude mít vliv na činnost obvodu. V každém případě je obvod buď v bezpečném stavu, nebo je funkční. Při realizaci této poruchy na zkušebním vzorku byl původní rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 10 M Ω . Tato změna neměla žádný vliv na činnost obvodu.
- d) **Snížení hodnoty odporu:** Při této poruše je možné, že oscilátor nebude kmitat a na výstupu bude log. 0 - obvod bude v bezpečném stavu, nebo tato porucha nebude mít vliv na činnost obvodu. V každém případě je obvod buď v bezpečném stavu, nebo je funkční. Při realizaci této poruchy na zkušebním vzorku byl původní rezistor postupně nahrazen rezistory o hodnotě 2,2 M Ω a poté 1 M Ω . Tyto změny neměly vliv na činnost obvodu.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0, jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměla tato porucha vliv na činnost obvodu.

2) Poruchy rezistoru R2

- a) **Přerušení:** Při přerušení rezistoru je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Při zkratu rezistoru může dojít ke zničení Zenerovy diody, která je zařazena v sérii za rezistorem R2 a na výstupu obvodu by byla log. 0 (bezpečný stav). Dochází také k výraznému zvýšení proudové spotřeby oscilátoru a tím pádem k poklesu napájecího napětí pod 3 V (oscilátor přestává kmitat). Vlivem této poruchy je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl rezistor zkratován a obvod přešel do bezpečného stavu.
- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Při zvýšení odporu přestane být spínán tranzistor T1 (vlivem snížení bázevého proudu) tak, aby procházel dostatečný proud vysílačem v optické závoře a tím pádem i v přijímači optické závory. To vede k nefunkčnosti BDN a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl původní rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 12 k Ω , kdy na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- d) **Snížení hodnoty odporu:** obdobné jako b) s tím rozdílem, že nepatrné snížení hodnoty odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 8 k Ω , a obvod zůstal funkční.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměla tato porucha vliv na činnost obvodu.

3) Poruchy rezistoru R3

- a) **Přerušení:** Při přerušení rezistoru přestane oscilátor kmitat a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.

- b) **Zkrat:** Při zkratu rezistoru dojde ke zničení optické závory a tranzistoru T1 a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Pokud by ke zničení těchto součástek nedošlo (prakticky vyloučeno), neměla by porucha vliv na činnost obvodu. Vzhledem k předpokládané destrukci součástek a omezenému počtu zkušebních vzorků tato porucha nebyla v laboratorních podmínkách realizována.
- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Zvýšení hodnoty odporu vede ke snížení proudu protékajícího vysílačem v optické závoře, což nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je proud natolik malý, že je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem s hodnotou 2 k Ω , a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- d) **Snížení hodnoty odporu:** Obdobné jako b) s tím rozdílem, že snížení hodnoty odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 250 Ω a obvod zůstal funkční. Při dlouhodobém provozu by ovšem došlo pravděpodobně ke zničení optické závory (to vede na log. 0 na výstupu a jedná se tedy o bezpečný stav)
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

4) Poruchy rezistoru R4

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni rezistoru přestane fungovat BDN a na výstupu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Při zkratu rezistoru nebude pravidelně spínán tranzistor T2 (nefunkčnost BDN) a na výstupu obvodu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Navíc hrozí zničení optické závory (toto opět vede na bezpečný stav). Vzhledem k této skutečnosti a omezenému počtu zkušebních vzorků nebyla tato porucha v laboratoři realizována.

- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Zvýšení hodnoty odporu nemá vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl původní rezistor nahrazen rezistorem 4,7 k Ω , a obvod zůstal funkční.
- d) **Snížení hodnoty odporu:** obdobné jako b) s tím rozdílem, že snížení hodnoty odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl původní rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 500 Ω a obvod zůstal funkční. Při dlouhodobém provozu by ovšem došlo pravděpodobně ke zničení přijímače optické závory (to vede na log. 0 na výstupu a jedná se o bezpečný stav).
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

5) Poruchy rezistoru R5

- a) **Přerušení:** Při přerušení rezistoru je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno laboratorním ověřením.

b) **Zkrat:**

Následkem zkratu rezistoru při laboratorním ověřování došlo ke zvýšení napětí napájecího kondenzátoru z původních 8,4 V na 12 V. Následkem je zvýšení doby reakce systému na pohyb vozidla:

$$t = \frac{\Delta u_c}{i_c} \cdot C = \frac{12}{1,6 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-6} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad (4.1)$$

I přes zvýšení doby reakce se nejedná o nebezpečnou poruchu, protože i přes zvýšení této doby dojde spolehlivě k detekci pohybu. Po určité době provozu dojde ke zničení tranzistoru R5 a obvod opět přejde do bezpečného stavu. Vzhledem k tomuto faktu a omezenému počtu funkčních vzorků tato porucha nebyla laboratorně ověřována.

- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Zvýšením odporu poklesne proud, kterým je periodicky dobíjen kondenzátor C3 (který dobíjí kondenzátor C4). Při zvýšení odporu nemusí mít tato porucha vliv na činnost obvodu, nebo na výstupu obvodu bude log. 0. Jedná

se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byla na výstupu log. 0 při hodnotě odporu 450 Ω .

- d) **Snížení hodnoty odporu:** obdobné jako b) s tím rozdílem, že pouhé snížení hodnoty odporu má za následek menší zvýšení reakční doby v závislosti na změně odporu. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 200 Ω a obvod zůstal funkční.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

6) Poruchy rezistoru R6

- a) **Přerušeni:** Přerušeni rezistoru nemá vliv na činnost obvodu. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Následkem zkratu je Source tranzistoru T3 permanentně uzemněn a po přivedení startovacího pulzu z mobilní části ETCS nedojde k jeho sepnutí. Na výstupu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Toto tvrzení bylo realizováno na testovacím vzorku a potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Zvýšení hodnoty odporu nemá vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověření byl rezistor nahrazen rezistorem 100 k Ω , a obvod zůstal funkční.
- d) **Snížení hodnoty odporu:** Obdobné jako b) s tím rozdílem, že pouhé snížení hodnoty odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu. Nahrazením rezistoru při laboratorním ověření rezistorem 500 Ω nedošlo k ovlivnění činnosti obvodu.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

7) Poruchy rezistoru R7

- a) **Přerušení:** Při přerušení rezistoru není BDV funkční, a na výstupu obvodu bude log. 0. To je bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Při zkratu rezistoru může dojít ke zničení Zenerovy diody, která je zařazena v sérii za rezistorem, BDV nebude funkční a na výstupu obvodu bude log. 0, tedy bezpečný stav. Dochází také k výraznému zvýšení proudové spotřeby oscilátoru a tím pádem k poklesu napájecího napětí pod 3 V (oscilátor přestává kmitat). Tato porucha tedy vede na bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl rezistor zkratován a obvod přešel do bezpečného stavu.
- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Při výrazném zvýšení odporu přestane být spínán tranzistor T4 (vlivem snížení bázevého proudu) tak, aby jím procházel dostatečný proud pro spínání tranzistoru T5 a na výstupu obvodu bude log 0, tedy bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl rezistor R7 nahrazen rezistorem o hodnotě 12 k Ω , čímž byl obvod uveden do bezpečného stavu.
- d) **Snížení hodnoty odporu:** Obdobné jako b) s tím rozdílem, že snížení hodnoty odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 8 k Ω , a obvod zůstal funkční.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

8) Poruchy rezistoru R8

- a) **Přerušení:** Při přerušení rezistoru není BDV funkční a na výstupu obvodu je log. 0, což je bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Při zkratu rezistoru nebude pravidelně spínán tranzistor T5 (nefunkční BDV) a na výstupu obvodu bude log. 0, tedy bezpečný stav. Navíc hrozí zničení

tranzistoru T4 (toto opět vede na bezpečný stav). Vzhledem k této skutečnosti a omezenému počtu zkušebních vzorků nebyla tato porucha v laboratoři realizována.

- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Zvýšení hodnoty odporu nemá vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem 4,7 k Ω , a obvod zůstal funkční.
- d) **Snížení hodnoty odporu:** Obdobné jako b) s tím rozdílem, že snížení hodnoty odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl rezistor nahrazen rezistorem o hodnotě 300 Ω a obvod zůstal funkční.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

9) Poruchy rezistoru R9

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni rezistoru je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, tedy bezpečný stav. Toto tvrzení bylo potvrzeno realizací poruchy na zkušebním vzorku.
- b) **Zkrat:** Po určité době dojde ke zničení tranzistoru T5 a na výstupu bude log. 0 (bezpečný stav). Do té doby nebude mít porucha vliv na činnost obvodu. Vzhledem k destruktivnímu charakteru poruchy a omezenému počtu funkčních vzorků nebyla tato porucha laboratorně ověřena.
- c) **Zvýšení hodnoty odporu:** Zvýšením odporu poklesne proud, kterým je periodicky dobíjen kondenzátor C5 (který dobíjí kondenzátor C6). Zvýšení odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu log. 0, tedy bezpečný stav. Laboratorní ověřování nebylo provedeno, protože ve zkušebním vzorku má výstup pouze indikační charakter toho, že je obvod v dynamickém stavu (proudový odběr diody LED1 snižuje výstupní napětí).

- d) **Snížení hodnoty odporu:** Obdobné jako b) s tím rozdílem, že nemusí dojít ke zničení tranzistoru T5 a porucha tedy nemá vliv na činnost obvodu. Při laboratorním ověřování byl původní rezistor nahrazen rezistorem $150\ \Omega$ a obvod zůstal funkční.
- e) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování neměl zkrat na pouzdro vliv na činnost obvodu.

10) Poruchy kondenzátorů C1 a C2

- a) **Přerušeni:** Oscilátor přestane kmitat a na výstupu obvodu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Oscilátor přestane kmitat a na výstupu obvodu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení kapacity:** Zvýšení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo oscilátor přestane kmitat, na výstupu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověření byl použit kondenzátor $1\ \mu\text{F}$ a na výstupu byla log. 0 (bezpečný stav)
- d) **Snížení kapacity:** Snížení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo oscilátor přestane kmitat a na výstupu obvodu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověření byl použit kondenzátor $10\ \text{pF}$, což nemělo vliv na funkci obvodu.
- e) **Snížení paralelního odporu:** Snížení paralelního odporu nemá vliv na činnost obvodu. Toto tvrzení nebylo laboratorně ověřeno, protože za daných podmínek nelze prokázat, že opravdu došlo k realizaci této poruchy.
- f) **Zvýšení sériového odporu:** Zvýšení sériového odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo oscilátor přestane kmitat a na výstupu obvodu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl do série s kondenzátorem přidán rezistor $1\ \text{k}\Omega$, a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).

- g) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro může mít za následek log. 0 na výstupu obvodu, nebo nemít na činnost obvodu žádný vliv. Při laboratorním ověření neměl zkrat na pouzdro žádný vliv na činnost obvodu.

11) Poruchy kondenzátorů C3

- a) **Přerušeni:** Při přerušení je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení kapacity:** Zvýšením kapacity dojde k nárůstu napětí napájecího kondenzátoru. Při laboratorním ověřování byl původní kondenzátor nahrazen kondenzátorem 100 μF , přičemž došlo ke zvýšení napětí napájecího kondenzátoru z 8,4 V na 8,43 V. Nejedná se o nebezpečnou poruchu, neboť i při takové poruše dojde spolehlivě k detekci pohybu.
- d) **Snížení kapacity:** Snížení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl původní kondenzátor nahrazen kondenzátorem 1 μF a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- e) **Snížení paralelního odporu:** Snížení paralelního odporu nemá vliv na činnost obvodu. Toto tvrzení nebylo laboratorně ověřeno, protože za daných podmínek nelze prokázat, že opravdu došlo k realizaci této poruchy.
- f) **Zvýšení sériového odporu:** Zvýšení sériového odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo může dojít k ustání kmitů oscilátoru, kdy je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při realizaci této poruchy byl do série s kondenzátorem zapojen rezistor 1 $\text{k}\Omega$, a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).

- g) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro může mít za následek log. 0 na výstupu obvodu, nebo nemít na činnost obvodu žádný vliv. Při laboratorním ověření neměl zkrat na pouzdro žádný vliv na činnost obvodu.

12) Poruchy kondenzátorů C4

- a) **Přerušení:** Při přerušení je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení kapacity:** Zvýšení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo oscilátor přestane kmitat, na výstupu bude log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověření byl použit kondenzátor 100 μF a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav)
- d) **Snížení kapacity:** Snížení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl původní kondenzátor nahrazen kondenzátorem 220 nF a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- e) **Snížení paralelního odporu:** Snížení paralelního odporu nemá vliv na činnost obvodu. Toto tvrzení nebylo laboratorně ověřeno, protože za daných podmínek nelze prokázat, že opravdu došlo k realizaci této poruchy.
- f) **Zvýšení sériového odporu:** Zvýšení sériového odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo může dojít k ustání kmitů oscilátoru, kdy je na výstupu obvodu log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Při realizaci této poruchy byl do série s kondenzátorem zapojen rezistor 1 k Ω , a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- g) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro může mít za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav), nebo nemít na činnost obvodu žádný vliv. Při laboratorním ověření neměl zkrat na pouzdro žádný vliv na činnost obvodu.

13) Poruchy kondenzátorů C5

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení kapacity:** Zvýšení kapacity nemá vliv na činnost obvodu. Původní kondenzátor byl při laboratorním ověřování nahrazen kondenzátorem 1 μF a tato změna neměla vliv na činnost obvodu.
- d) **Snížení kapacity:** Snížení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0, tedy bezpečný stav. Při laboratorním ověřování byl původní kondenzátor nahrazen kondenzátorem 22 pF, a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- e) **Snížení paralelního odporu:** Snížení paralelního odporu nemá vliv na činnost obvodu. Toto tvrzení nebylo laboratorně ověřeno, protože za daných podmínek nelze prokázat, že opravdu došlo k realizaci této poruchy.
- f) **Zvýšení sériového odporu:** Zvýšení sériového odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0, tedy bezpečný stav. Při realizaci této poruchy byl do série s kondenzátorem zapojen rezistor 1 k Ω , a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- g) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro může mít za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav), nebo nemít na činnost obvodu žádný vliv. Při laboratorním ověření neměl zkrat na pouzdro žádný vliv na činnost obvodu.

14) Poruchy kondenzátorů C6

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.

- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení kapacity:** Zvýšení kapacity nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování byl původní kondenzátor nahrazen kondenzátorem 1 μF , a obvod přešel do bezpečného stavu.
- d) **Snížení kapacity:** Snížení kapacity nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování byl původní kondenzátor nahrazen kondenzátorem 22 pF, a obvod přešel do bezpečného stavu.
- e) **Snížení paralelního odporu:** Snížení paralelního odporu nemá vliv na činnost obvodu. Toto tvrzení nebylo laboratorně ověřeno, protože za daných podmínek nelze prokázat, že opravdu došlo k realizaci této poruchy.
- f) **Zvýšení sériového odporu:** Zvýšení sériového odporu nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo může dojít k ustání kmitů oscilátoru a na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Při realizaci této poruchy byl do série s kondenzátorem zapojen rezistor 10 k Ω , a obvod přešel do bezpečného stavu.
- g) **Zkrat na pouzdro:** Zkrat na pouzdro může mít za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav), nebo nemít na činnost obvodu žádný vliv. Při laboratorním ověření neměl zkrat na pouzdro žádný vliv na činnost obvodu.

15) Poruchy diody D1

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při přerušeni je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení závěrného proudu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.

- d) **Snížení průrazného závěrného napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- e) **Zvýšení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- f) **Snížení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- g) **Zvýšení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- h) **Snížení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- i) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování tato porucha neměla vliv na činnost obvodu.

16) Poruchy diody D2

- a) **Přerušeni:** Při přerušení je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.

- c) **Zvýšení závěrného proudu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- d) **Snížení průrazného závěrného napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- e) **Zvýšení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- f) **Snížení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- g) **Zvýšení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- h) **Snížení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- i) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování tato porucha neměla vliv na činnost obvodu.

17) Poruchy diody D3

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.

- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení závěrného proudu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- d) **Snížení průrazného závěrného napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- e) **Zvýšení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- f) **Snížení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- g) **Zvýšení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- h) **Snížení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- i) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování tato porucha neměla vliv na činnost obvodu.

18) Poruchy diody D4

- a) **Přerušeni:** Při přerušení je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení závěrného proudu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- d) **Snížení průrazného závěrného napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- e) **Zvýšení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- f) **Snížení napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- g) **Zvýšení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.
- h) **Snížení prahového napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřena, protože není možné s jistotou prohlásit, že tato porucha byla realizována.

- i) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo je na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování tato porucha neměla vliv na činnost obvodu.

19) **Poruchy Zenerovy diody ZD1**

- a) **Přerušeni:** Při přerušeni je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- b) **Zkrat:** Při zkratu je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- c) **Zvýšení Zenerova napětí:** Vlivem této poruchy je BDN nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování byla původní Zenerova dioda nahrazena Zenerovo diodou 16 V a obvod přešel do bezpečného stavu.
- d) **Snížení Zenerova napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDN (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování byla původní Zenerova dioda nahrazena Zenerovo diodou 3,3V a obvod přešel do bezpečného stavu.
- e) **Změna diferenciálního odporu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- f) **Zvýšení závěrného proudu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- g) **Zvýšení propustného napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.

- h) **Snížení propustného napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- i) **Zvýšení prahového napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- j) **Snížení prahového napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- k) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování tato porucha neměla vliv na činnost obvodu.

20) Poruchy Zenerovy diody ZD2

- k) **Přerušení:** Při přerušení je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- l) **Zkrat:** Při zkratu je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0, jedná se o bezpečný stav. Laboratorní ověření potvrdilo tuto úvahu.
- m) **Zvýšení Zenerova napětí:** Vlivem této poruchy je BDV nefunkční a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování byla původní Zenerova dioda nahrazena Zenerovo diodou 16 V a obvod přešel do bezpečného stavu.
- n) **Snížení Zenerova napětí:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 vlivem nefunkčnosti BDV (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování byla původní Zenerova dioda nahrazena Zenerovo diodou 3,3V a obvod přešel do bezpečného stavu.

- o) **Změna diferenciálního odporu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- p) **Zvýšení závěrného proudu:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- q) **Zvýšení propustného napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- r) **Snížení propustného napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- s) **Zvýšení prahového napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- t) **Snížení prahového napětí v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. V laboratorních podmínkách nebylo možné tuto poruchu realizovat.
- u) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Při laboratorním ověřování tato porucha neměla vliv na činnost obvodu.

21) Poruchy bipolárního tranzistoru T1

- a) **Přerušeni (emitoru, a/nebo báze, a/nebo kolektoru):** Přerušeni jakékoliv vývodu tranzistoru nebo jejich kombinace má za následek nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušební vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.

- b) **Zkrat (mezi E a B, mezi B a C, mezi E a C, mezi E a B a C):** Zkrat mezi jakoukoliv z výše zmíněných kombinací má za následek nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
- c) **Zkrat mezi dvěma spoji a přerušení třetího spoje:** Tato porucha má za následek nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
- d) **Zkrat mezi pouzdrem a E nebo B nebo C:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Pouzdro použitého tranzistoru je nevodivé. Tato porucha byla laboratorně ověřena.
- e) **Zvýšení AC a/nebo DC zesílení:** Tranzistor pracuje v saturačním režimu, tudíž tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- f) **Snížení AC a/nebo DC zesílení:** Snížení zesílení nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo zapříčiní nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- g) **Zvýšení napětí B-E v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- h) **Snížení napětí B-E v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- i) **Zvýšení prahového napětí U_{BE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- j) **Snížení prahového napětí U_{BE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- k) **Snížení průrazného napětí U_{EB} nebo U_{CB} nebo U_{CE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo při průrazu dojde ke zničení tranzistoru a nefunkčnosti BDN,

kdy na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.

- l) **Změna doby náběhu, doby doběhu, zapínací doby, vypínací doby:** V důsledku těchto poruch může být na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- m) **Zvýšení svodového proudu I_{CB} , I_{EB} , I_{CE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- n) **Změna saturačního napětí U_{CE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.

22) Poruchy bipolárního tranzistoru T4

- a) **Přerušeni (emitoru, a/nebo báze, a/nebo kolektoru):** Přerušeni jakékoliv vývodu tranzistoru nebo jejich kombinace má za následek nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
- b) **Zkrat (mezi E a B, mezi B a C, mezi E a C, mezi E a B a C):** Zkrat mezi jakoukoliv z výše zmíněných kombinací má za následek nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
- c) **Zkrat mezi dvěma spoji a přerušeni třetího spoje:** Tato porucha má za následek nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
- d) **Zkrat mezi pouzdrem a E nebo B nebo C:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Pouzdro použitého tranzistoru je nevodivé. Tato porucha byla laboratorně ověřena.
- e) **Zvýšení AC a/nebo DC zesílení:** Tranzistor pracuje v saturačním režimu, tudíž tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.

- f) **Snížení AC a/nebo DC zesílení:** Snížení zesílení nemusí mít vliv na činnost obvodu, nebo zapříčiní nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- g) **Zvýšení napětí B-E v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- h) **Snížení napětí B-E v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- i) **Zvýšení prahového napětí U_{BE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- j) **Snížení prahového napětí U_{BE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- k) **Snížení průrazného napětí U_{EB} nebo U_{CB} nebo U_{CE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu nebo při průrazu dojde ke zničení tranzistoru a nefunkčnosti BDV, kdy na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- l) **Změna doby náběhu, doby doběhu, zapínací doby, vypínací doby:** V důsledku těchto poruch může být na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- m) **Zvýšení svodového proudu I_{CB} , I_{EB} , I_{CE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.
- n) **Změna saturačního napětí U_{CE} :** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné ověřit v laboratorních podmínkách.

23) Poruchy FET tranzistoru T2

- a) **Přerušení (G, a/nebo S, a/nebo D):** Přerušení jakékoliv vývodu tranzistoru nebo jejich kombinace má za následek nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0

- (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
- b) **Zkrat (mezi S a D, mezi G a D, mezi S a G, mezi S a G a D):** Zkrat mezi jakoukoliv z výše zmíněných kombinací má za následek nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen
 - c) **Zkrat mezi dvěma spoji a přerušení třetího spoje:** Tato porucha má za následek nefunkčnost BDN a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušebním vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.
 - d) **Zkrat mezi pouzdem a S nebo G nebo D:** Při této poruše je BDN nefunkční, neboť část použitého tranzistoru je Drain a jedná se o poruchu jako v případě b). Na výstupu obvodu je log. 0. Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstup obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
 - e) **Zvýšení transkonduktance v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
 - f) **Snížení transkonduktance v propustném směru:** Tato porucha může omezit činnost BDN a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
 - g) **Zvýšení prahového napětí hradla:** Tato porucha může omezit činnost BDN a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
 - h) **Snížení prahového napětí hradla:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
 - i) **Snížení (průrazného napětí D-S a max. jmenovitých napětí G-S a D-G):** Pokud by došlo k průrazu a zničení tranzistoru, BDN by nebyl funkční, a na výstupu

obvodu by byla log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.

- j) **Zvýšení svodového proudu I_{GS} , I_{DS} , I_{GD} :** Tato porucha může mít za následek nefunkčnost BDN a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.
- k) **Změna statického odporu kolektor-emitor v propustném směru:** Snížení statického odporu by nemělo vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Zvýšení statického odporu by mohlo vést k nefunkčnosti BDN a na výstupu obvodu by byla log. 0 (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.

24) Poruchy FET tranzistoru T3

- a) **Přerušení (G, a/nebo S, a/nebo D):** Přerušení jakéhokoliv vývodu nebo jejich kombinace má za následek, že na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav) Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0. Jedná se o bezpečný stav.
- b) **Zkrat (mezi S a D, mezi G a D, mezi S a G, mezi S a G a D):** Následkem této poruchy bude na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav) Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0. Jedná se o bezpečný stav.
- c) **Zkrat mezi dvěma spoji a přerušení třetího spoje:** Tato porucha má za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0. Jedná se o bezpečný stav.
- d) **Zkrat mezi pouzdrem a S nebo G nebo D:** to porucha má za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0. Jedná se o bezpečný stav
- e) **Zvýšení transkonduktance v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.

- f) **Snížení transkonduktance v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- g) **Zvýšení prahového napětí hradla:** Tato porucha má za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0. Jedná se o bezpečný stav. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- h) **Snížení prahového napětí hradla:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- i) **Snížení (průrazného napětí D-S a max. jmenovitých napětí G-S a D-G):** Pokud by došlo k průrazu a zničení tranzistoru, na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.
- j) **Zvýšení svodového proudu I_{GS} , I_{DS} , I_{GD} :** Tato porucha může mít za následek nefunkčnost BDN a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.
- k) **Změna statického odporu kolektor-emitor v propustném směru:** Snížení statického odporu by nemělo vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Zvýšení statického odporu by mohlo mít za následek log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.

25) Poruchy FET tranzistoru T5

- a) **Přerušení (G, a/nebo S, a/nebo D):** Přerušení jakékoliv vývodu tranzistoru nebo jejich kombinace má za následek nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována na zkušební vzorku a teoretický předpoklad byl potvrzen.

- b) **Zkrat (mezi S a D, mezi G a D, mezi S a G, mezi S a G a D):** Zkrat mezi jakoukoliv z výše zmíněných kombinací má za následek nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- c) **Zkrat mezi dvěma spoji a přerušení třetího spoje:** Tato porucha má za následek nefunkčnost BDV a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- d) **Zkrat mezi pouzdrem a S nebo G nebo D:** Při této poruše je BDV nefunkční, neboť část použitého tranzistoru je Drain a jedná se o poruchu jako v případě b). Na výstupu obvodu je log. 0. Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- e) **Zvýšení transkonduktance v propustném směru:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- f) **Snížení transkonduktance v propustném směru:** Tato porucha může omezit činnost BDN a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- g) **Zvýšení prahového napětí hradla:** Tato porucha může omezit činnost BDV a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- h) **Snížení prahového napětí hradla:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.
- i) **Snížení (průrazného napětí D-S a max. jmenovitých napětí G-S a D-G):** Pokud by došlo k průrazu a zničení tranzistoru, BDN by nebyl funkční, a na výstupu obvodu by byla log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.

- j) **Zvýšení svodového proudu I_{GS} , I_{DS} , I_{GD} :** Tato porucha může mít za následek nefunkčnost BDN a zapříčinit log. 0 na výstupu obvodu (bezpečný stav). Tyto poruchy nebylo možné v laboratorních podmínkách ověřit.
- k) **Změna statického odporu kolektor-emitor v propustném směru:** Snížení statického odporu by nemělo vliv na činnost obvodu, protože tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Zvýšení statického odporu by mohlo vést k nefunkčnosti BDV a na výstupu obvodu by byla log. 0 (bezpečný stav). Tuto poruchu nebylo možné laboratorně ověřit.

26) Poruchy krystalu X1

- a) **Přerušeni:** Při této poruše oscilátor nekmitá a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- b) **Zkrat:** Při této poruše oscilátor nekmitá a na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- c) **Změna rezonančního kmitočtu:** Změna rezonančního kmitočtu může mít za následek nesprávnou funkci BDN a BDV, kdy na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla realizována v laboratoři (náhradou za krystal s jinou rezonanční frekvencí, konkrétně 1 MHz). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- d) **Snížení činitele jakosti:** Následkem této poruchy dojde ke zvýšení proudového odběru oscilátoru a na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřena.
- e) **Zkrat na vodivé pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, což bylo potvrzeno i při laboratorním ověřování.

27) Poruchy Snímače otáček (SO)

- a) **Zkrat nebo snížení izolačního odporu mezi vstupem a výstupem:** Při této poruše nebude funkční BDN a na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- b) **Zkrat na pouzdro:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha byla laboratorně ověřena.
- c) **Změna doby přepnutí:** Snížení doby přepnutí nemá vliv na činnost obvodu. Zvýšení doby přepnutí může způsobit nesprávnou funkci BDN a na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřována.
- d) **Zvýšení činitele proudového zesílení:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu, protože přijímač pracuje ve spínacím režimu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřována.
- e) **Snížení činitele proudového zesílení:** Důsledkem této poruchy může být nesprávná činnost BDN, kdy proud protékající přijímačem bude snížen natolik, že nebude generováno dostatečné napětí na rezistoru R4 a tranzistor T2 by nebyl spínán. Na výstupu obvodu by byla log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřována.

28) Poruchy vodivých spojů na DPS

- a) **Přerušeni nebo zvýšení odporu v jednom nebo více vodivých spoji:** Vlivem těchto poruch je na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy byly laboratorně ověřeny.
- b) **Zkrat nebo snížení izolačního stavu mezi dvěma různými vodivými spoji:** Vlivem těchto poruch je na výstupu obvodu log. 0 (bezpečný stav). Tyto poruchy byly laboratorně ověřeny.

29) Poruchy IO CMOS4060UBE

- a) **Snížení maximální úrovně výstupního napětí výstupu:** Tato porucha může vést k nefunkčnosti BDN a/nebo BDV, kdy na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha nebyla laboratorně ověřována.
- b) **Zmenšení strmosti náběžných hran jednoho nebo více výstupů:** Tato porucha nemá vliv na činnost obvodu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřována.
- c) **Zkrat mezi dvěma nebo více vývody:** Následkem této poruchy je nefunkční BDN a/nebo BDV, kdy na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena, a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- d) **Snížení hodnoty maximálního výstupního proudu jednoho nebo více výstupů:** Tato porucha může vést k nefunkčnosti BDN a/nebo BDV a obvod přejde do bezpečného stavu. Tato porucha nebyla laboratorně ověřována.
- e) **Přerušení jednoho nebo více vývodů:** Tato porucha vede k nefunkčnosti BDN a/nebo BDV, kdy na výstupu obvodu bude log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena, a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).
- f) **Zvýšení proudového odběru integrovaného obvodu:** Následkem této poruchy může být pokles napětí napájecího kondenzátoru pod 3 V, kdy na výstupu obvodu je log. 0 (bezpečný stav). Tato porucha byla laboratorně ověřena, a na výstupu obvodu byla log. 0 (bezpečný stav).