

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Implementace sběrnice CAN s ohledem na EMC

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Kubík

Autor práce: Martin Kalčík

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin KALČÍK**
Osobní číslo: **E10B0312P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Implementace sběrnice CAN s ohledem na EMC**
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. Prostudujte a popište možnosti zapojení fyzické vrstvy sběrnice CAN.
2. Proveďte rešerši dostupných budičů pro sběrnici CAN, dále pasivních součástek, které jsou používány v doporučených zapojeních.
3. Navrhněte a realizujte funkční vzorek fyzické vrstvy sběrnice CAN. Na tomto proveďte měření.
4. Proveďte zhodnocení naměřených výsledků.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Kubík

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Kubík

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**



L.S.

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan

Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Bakalářská práce se vztahuje k fyzické vrstvě sběrnice CAN. Jsou v ní popsány různé možnosti zakončení sběrnice, její topologie, jakým způsobem se na ní připojují jednotlivé řídicí jednotky, komunikace po sběrnici a řešení kolizí. Bakalářská práce také pojednává o složení řídicí jednotky, které komponenty se v ní vyskytují a jakou mají v řídicí jednotce funkci. Zmíněna je i délka sběrnice CAN v závislosti na přenosové rychlosti a maximální počet řídicích jednotek, které mohou být ke sběrnici připojeny. Druhá část bakalářské práce pojednává o elektromagnetické kompatibilitě, ochraně proti elektrostatickým výbojům a jsou zde popsány vlastnosti základních profilů kabelů, které se používají k realizaci samotné sběrnice CAN. V práci je popsán i budič sběrnice CAN, TJA 1050, se kterým je prováděno měření.

Klíčová slova

CAN, fyzická vrstva, elektromagnetická kompatibilita, elektrostatický výboj, budič CAN, TJA 1050, CAN_H, CAN_L, diferenční napětí, rozdělené zakončení, řídicí jednotka

Abstract

Bachelor thesis relates to the physical layer of CAN bus. There are described various options for bus termination, its topology, how to connect the individual control units, bus communication and resolving conflict. Bachelor thesis also discusses the composition of the control unit, which component occurs in it and what is their function in the control unit. Mentioned is the length of the CAN bus, depending on the transmission rate and the maximum number of control units that can be connected to the bus. The second part of the thesis deals with the electromagnetic compatibility, electrostatic discharge protection and describes the basic features profiles of cables that are used to implement the actual bus. The thesis also describes the CAN bus driver, TJA 1050, with which is providing a measurement.

Key words

CAN, physical layer, electromagnetic compatibility, electrostatic discharge, CAN driver, TJA 1050, CAN_H, CAN_L, differential voltage, split termination, the control unit

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V plzni dne 3.6. 2013

Martin Kalčík

.....

Obsah

ÚVOD	1
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	2
1 PROTOKOL CAN	3
1.1 HISTORIE SBĚRNICE CAN.....	4
1.2 FYZICKÁ VRSTVA	6
1.2.1 <i>Odbočné uzly</i>	8
1.2.2 <i>Složení řídicí jednotky</i>	10
1.2.3 <i>Závislost délky sběrnice na přenosové rychlosti</i>	11
1.2.4 <i>Elektromagnetická kompatibilita a elektrostatické výboje</i>	11
1.3 ČIPY PRO CAN.....	13
1.3.1 <i>TJA 1050</i>	13
1.4 KABELY POUŽÍVANÉ PRO SBĚRNICI CAN	17
1.4.1 <i>Silný kabel</i>	18
1.4.2 <i>Tenký kabel</i>	19
1.4.3 <i>Plochý kabel</i>	20
2 BUDIČE A PASIVNÍ SOUČÁSTKY PRO SBĚRNICI CAN	21
2.1 BUDIČE PRO SBĚRNICI CAN.....	21
2.2 PASIVNÍ SOUČÁSTKY V DOPORUČENÝCH ZAPOJENÍCH.....	23
3 NÁVRH FUNKČNÍHO VZORKU FYZICKÉ VRSTVY SBĚRNICE CAN	24
3.1 SCHÉMA	24
3.2 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	25
4 MĚŘENÍ NA VZORKU FYZICKÉ VRSTVY SBĚRNICE CAN	25
4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA MĚŘENÍ.....	27
ZÁVĚR	28
POUŽITÁ LITERATURA	29
SEZNAM PŘÍLOH	32

Úvod

Bakalářská práce se zabývá různými možnostmi zapojení fyzické vrstvy sběrnice CAN. Fyzická vrstva sběrnice je definována protokolem CAN a probíhá na ní veškerá komunikace mezi řídicími jednotkami k ní připojenými. Na sběrnici se mohou vyskytovat pouze dva stavy, a to recesivní a dominantní. Podle těchto stavů se pozná, zda se po sběrnici provádí nějaký přenos či je sběrnice volná.

Z hlediska rušení, které se na sběrnici vyskytuje, je velice důležité její zakončení. U něj platí zásadní pravidlo, že hodnota rezistoru, či rezistorů, se na konci sběrnice musí rovnat, nebo alespoň blížit k hodnotě 120Ω . Pro lepší odolnost vůči elektromagnetickému rušení se mohou rezistory vhodně doplnit kondenzátorem.

Dále je v bakalářské práci řešena elektromagnetická kompatibilita a ochrana proti elektrostatickým výbojům, převážně v automobilovém průmyslu. Pojem elektromagnetická kompatibilita je myšlena schopnost zařízení, či dílčích komponentů, spolehlivě pracovat i při působení rušících vlivů. Jelikož každé zařízení samo o sobě produkuje v určité míře elektromagnetické vyzařování, je největší prioritou toto vyzařování utlumit na přijatelnou mez. Elektrostatický výboj je velmi rychlý děj a může dosahovat hodnoty až několika desítek kilovoltů. V práci je popsán možný způsob ochrany před tímto jevem.

V bakalářské práci je také popsán jeden z používaných vysokorychlostních budičů pro sběrnici CAN, TJA 1050. Tento budič je vhodný pro realizaci fyzické vrstvy sběrnice CAN zejména pro jeho velmi dobrou elektromagnetickou odolnost. V závěru práce jsou popsány specifikace datového páru a páru stejnosměrného napájení silného, tenkého a plochého kabelu.

Na samém konci teoretické části práce je provedena rešerše vysokorychlostních budičů, které jsou dostupné pro sběrnici CAN.

Seznam symbolů a zkratk

CAN	Controller Area Network (Oblast řídicí sítě)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
CAN_H	Sběrníkový vodič s vysokou úrovní napětí
CAN_L	Sběrníkový vodič s nízkou úrovní napětí
R_{Lmin}	Minimální hodnota zatěžovacího rezistoru
R_{Tmin}	Minimální hodnota zakončovacího rezistoru
$R_{DIFFmin}$	Minimální hodnota vstupního diferenčního rezistoru
n_{max}	Maximální počet připojených uzlů
ABS	Protiblokovací systém
RXD	Přijímací pin budiče TJA 1050
TXD	Vysílací pin budiče TJA 1050
SO8	Název pouzdra pro SMD integrované obvody s osmi vývody
ČSN	Česká státní norma
DPS	Deska plošných spojů

1 Protokol CAN

Protokol CAN je sériovým komunikačním protokolem, který je schopen řídit systémy v reálném čase a má velkou odolnost vůči chybám. Skládá se ze tří vrstev. Jedná se o vrstvu linkovou, fyzickou a aplikační. Fyzická vrstva a linková vrstva je definována standardem ISO 11898.[1] Na obrázku 1 je vidět rozdíl mezi protokolem CAN a protokolem ISO/OSI. Z obrázku je možno vypořizovat, že protokol ISO/OSI se skládá ze sedmi vrstev, zatímco protokol CAN jen ze tří. Respektive, zbylé čtyři vrstvy jsou realizovány ve vyšší úrovni protokolu CAN. Jedná se o vrstvu síťovou, transportní, relační a prezentační. Aplikační vrstvu v protokolu CAN realizuje mikroprocesor. Linková vrstva, která je rozdělena na ovládání logického propojení a řízení přístupu k médiu, je realizována pomocí řadiče CAN. Fyzickou vrstvu zastupuje CAN vysílač, který komunikuje s přenosovým médiem. Fyzická vrstva je rozdělena na fyzickou signalizaci, fyzické prostředí připojení a médium závislé na rozhraní.[3]

Protokol ISO/OSI	Protokol CAN
aplikační vrstva	aplikační vrstva
prezentační vrstva	prázdné
relační vrstva	
transportní vrstva	
síťová vrstva	
linková vrstva	linková vrstva
fyzická vrstva	fyzická vrstva

Obr.1: Rozdíl mezi protokolem CAN a OSI/ISO

Protokol CAN je protokolem typu *multi-master*. Není zde potřeba jednoho nadřazeného řídicího uzlu pro všechny ostatní uzly. Nýbrž každý z připojených uzlů se může v určité chvíli chovat jako nadřazený. Dva uzly mezi sebou komunikují prostřednictvím datové zprávy a zprávy žádost o data. Začne-li jeden z uzlů vysílat, další uzly musí počkat, než tento uzel odvysílá zprávu a uvolní sběrnici. Zpráva nemá nijak určeno, který uzel má zprávu obdržet. Každá zpráva má svůj jedinečný identifikátor, podle kterého uzly poznají, kterému z nich je zpráva určena. Podle toho si daný uzel zprávu buď přečte, nebo ji ignoruje. Při komunikaci na sběrnici se může stát, že ve stejnou chvíli chtějí

vysílat dva a více uzlů. Tento problém je vyřešen pomocí priorit. Tuto informaci obsahuje identifikátor zprávy, který je jedinečný. Zpráva, která má vyšší prioritu, se odešle jako první. Celý postup odesílání zprávy je následující: uzel, který chce v danou chvíli vysílat, si ověří, zda je sběrnice volná. Je-li volná, začne vysílat. V danou chvíli začne vysílat další uzel. Toto se řeší právě přes identifikátory zprávy. Oba uzly začnou porovnávat své identifikátory a zjišťují, která zpráva má vyšší prioritu. Tyto identifikátory porovnávají bit po bitu, a to do doby, kdy jeden z uzlů zjistí, že identifikátor zprávy druhého uzlu má na stejném místě dominantní bit, oproti identifikátoru zprávy prvního uzlu, který má na tomto místě recesivní bit. V tomto případě musí první uzel ihned ukončit vysílání a uvolnit sběrnici pro druhý uzel, který posléze může dokončit odeslání své zprávy. Po odeslání zprávy je sběrnice opět volná a jakýkoli uzel může zjišťovat stav sběrnice a následně vysílat. Takovému způsobu se říká nedestruktivní komunikace na sběrnici. Velkou výhodou této komunikace je, že po kolizi dvou uzlů nemusí uzel, který znovu vysílá, opakovat začátek zprávy.[2]

1.1 Historie sběrnice CAN

Celé to začalo na počátku roku 1980, kdy inženýři ze společnosti Bosch hodnotili v té době používané sériové sběrnice systémy a přemýšleli o jejich využití v automobilovém průmyslu. Bohužel nenašli žádný sběrnice systém vhodný právě pro automobilový průmysl. To bylo hlavním podnětem k vývoji nového sériového sběrnice systému pro použití výhradně v automobilovém průmyslu. Stalo se tomu roku 1983. Hlavním důvodem pro vývoj této sběrnice bylo přidání několika nových funkcí, později se však ukázalo, že sběrnice s sebou nese i vedlejší výhody. Jednou z nich, je například snížení počtu kabelů v celém systému. Do projektu se zapojili také inženýři z firmy Mercedes – Benz, kteří pracovali na specifikaci nového sériového sběrnice systému. Spolu s nimi se do této fáze specifikace pustila firma Intel, která měla být hlavní dodavatelskou firmou polovodičových součástek pro nově se vyvíjející sběrnici. Německý profesor Dr. Wolfhard Lawrenz a jeho asistent Dr. Horst Wettstein, kteří byli najati jako konzultanti, dali nově se rodícímu síťovému protokolu jméno *Controller Area Network*. Nová sériová sběrnice byla dokončena roku 1986 a téhož roku byla představena veřejnosti na kongresu SAE v Detroitu. Zaměstnanci firmy Bosch vybavili nový sběrnice systém několika mechanismy pro snadnou detekci chyb. Dále na sběrnice systému zavedli

automatické odpojení vadné řídicí jednotky, která tak nemohla ovlivnit komunikaci ostatních řídicích jednotek, připojených ke sběrnici.[7]

Sběrnici CAN tedy vyvinula firma Bosch, původně pro automobilový průmysl. Rychle se však rozšířila i do dalších odvětví, jako je například zemědělská technika, textilní stroje, robotika, zabezpečovací zařízení a mnoha dalších.[5] Sběrnice CAN se stala oblíbenou a hojně používanou sběrnici, především pro celou řadu výhod, které s sebou přinesla. Mezi největší výhody patří cena, velká úspora kabelů a konektorů, a z toho vyplývající snížení hmotnosti automobilu a úspora místa. Další podstatnou výhodou sběrnice CAN je její přenosová rychlost, dosahující 1 Mbit/s. Sběrnice CAN byla poprvé použita v sériové výrobě na vozidle BMW 850 coupe v roce 1986.[6] Další významné milníky z historie sběrnice CAN jsou následující:

„1983 – Firma Bosch zahájila projekt vývoje komunikační sítě pro motorová vozidla.

1986 – Vydány oficiální informace o protokolu CAN.

1987 – Firmy Philips Semiconductors a Intel uvedly první obvody pro CAN.

1991 – Firma Bosch vydala specifikaci CAN 2.0.

1991 – High-level CAN Kingdom protokol od firmy Kvaser.

1992 – Ustanoveno sdružení výrobců a uživatelů CAN CiA (CAN in Automation).

1992 – CiA zveřejňuje specifikaci protokolu CAL (CAN Application Layer).

1992 – Firma Mercedes-Benz uvádí první automobil se sběrnici CAN.

1994 – První mezinárodní CAN konference (ICL) organizovaná sdružením CiA.

1994 – Firma Allen-Bradley uvádí high-level protokol DeviceNet.

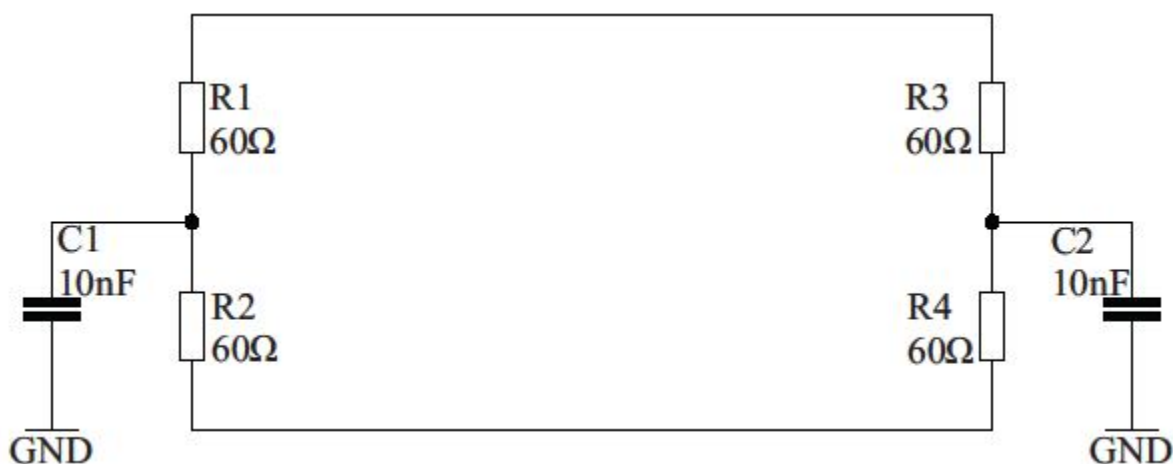
1995 – Vydán dodatek ISO 11898: Extended Frame Format

1995 – Sdružení CiA publikuje specifikaci protokolu CANopen.

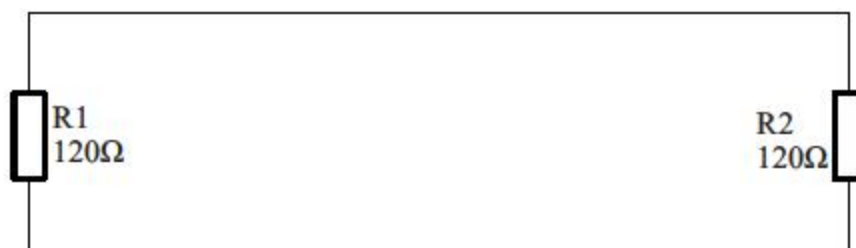
2000 – Vývoj time-triggered (časově-spuštěného) komunikačního protokolu pro CAN (TTCAN).“[8]

1.2 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva sběrnice CAN se skládá ze dvou vodičů, pojmenovaných CAN_H a CAN_L. Nejčastěji se v praxi používá jak stíněná, tak i nestíněná kroucená dvojlinka. Standardně se u sběrnice CAN používá lineární topologie. Ovšem ne vždy se dá tato topologie v automobilovém průmyslu využít, proto se můžeme setkat i s topologií hvězdy. V tomto případě je ovšem nutné počítat se zhoršenou citlivostí signálu než při použití lineární topologie. Proveditelnost určité topologie v jednotlivých instalacích automobilů je doporučeno zkontrolovat buď simulací, nebo měřením na konkrétním nastavení systému.[3] Vodiče CAN_H a CAN_L jsou na obou koncích spojeny zakončovacími nebo také terminačními rezistory. Zakončovací rezistory mají zpravidla hodnotu $120\ \Omega$. [1] Používá se také kombinace dvou rezistorů o hodnotách $60\ \Omega$, doplněné kondenzátorem o hodnotě 10 až 100 nF.[3] Zapojení fyzické vrstvy sběrnice CAN s rozděleným zakončením, konkrétně s dvěma rezistory je na obrázku 2. Oproti tomu, na obrázku 3 je klasické zakončení sběrnice s jedním rezistorem.

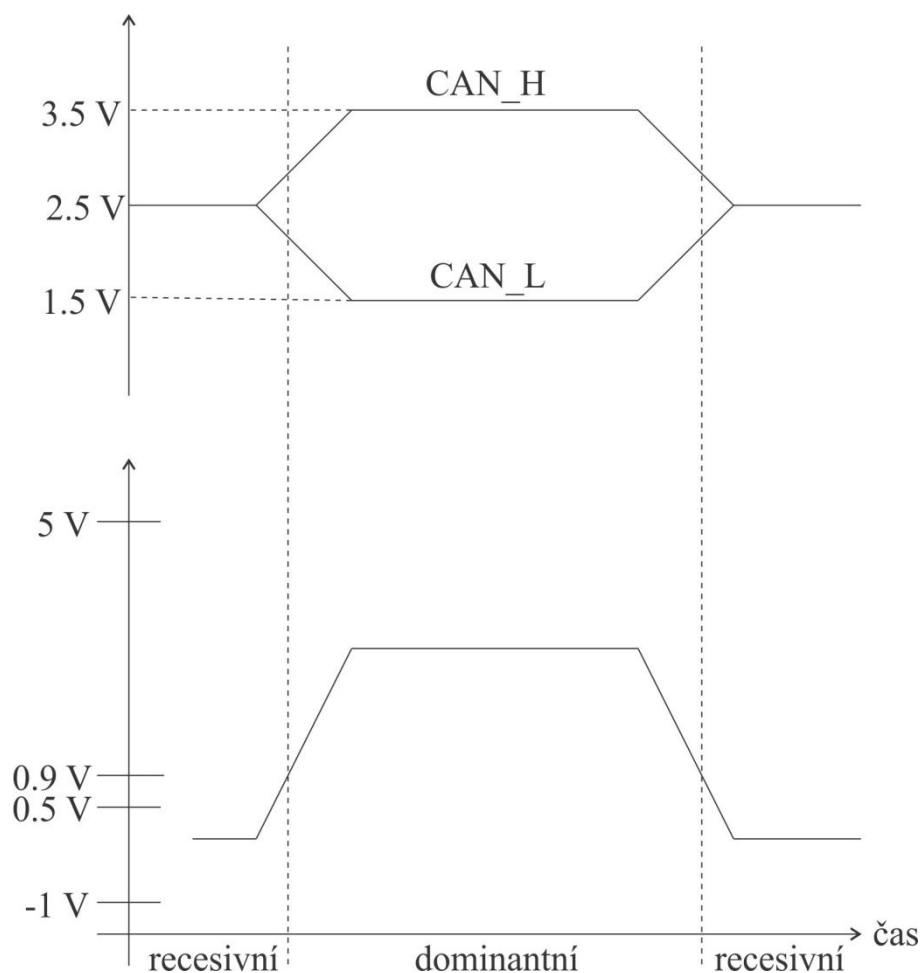


Obr.2: Fyzická vrstva sběrnice CAN s rozděleným zakončením



Obr.3: Fyzická vrstva sběrnice CAN s jedním zakončovacím rezistorem

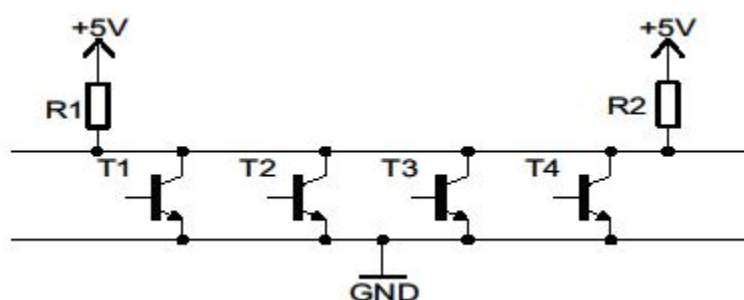
Sběrnice CAN může nabývat dvou stavů, a to recesivního a dominantního. Jsou-li všechny uzly připojené na sběrnici v recesivním stavu, je v tomto stavu i sběrnice. Bude-li ovšem jeden z uzlů v dominantním stavu, přejde do tohoto stavu i celá sběrnice. Sběrnice CAN využívá diferenčního napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L. V recesivním stavu sběrnice je na obou vodičích shodné napětí. Při dominantním stavu na sběrnici CAN se mezi vodiči CAN_H a CAN_L vytvoří diferenční napětí o určité velikosti. Princip diferenčního napětí mezi sběrniovými vodiči CAN_H a CAN_L chrání sběrnici proti elektrostatickým výbojům. Rozdíl mezi diferenčními napětími a napětími proti zemi je ukázán na obrázku 4. V horní polovině obrázku jsou znázorněna dvě napětí proti zemi. Oproti tomu v dolní polovině obrázku je znázorněno právě diferenční napětí používané na sběrnici CAN.



Obr.4: Rozdíl mezi diferenčním napětím a napětím proti zemi

1.2.1 Odbočné uzly

Sběrnice CAN využívá pro připojení odbočných uzlů logického součinu a metody otevřených kolektorů, kdy v klidovém stavu má celá sběrnice hodnotu logické jedničky. Ta se na sběrnici dostane jediné přes vnější rezistor, označovaný také jako *pull up rezistor*, pomocí napájecího napětí. Jde tedy o to: pakliže žádný z uzlů nevysílá, je celá sběrnice v recesivním stavu. Jakmile ovšem jeden z uzlů začne vysílat dominantní bit, připojí se na sběrnici a celá sběrnice přejde do dominantního stavu. Takovéto metodě přístupu na sběrnici se říká *wire-and*. Metoda je ukázána na obrázku 5.[1]



Obr.5: *Wire-and metoda*

Po celé délce sběrnice mohou být odbočky pro připojení odbočných uzlů. Odbočné uzly, nebo též elektronické řídicí jednotky, musí být také zakončeny terminačními rezistory. Odbočné uzly musí splňovat podmínku o celkovém zatížení sběrnice, které se pohybuje v rozmezí 50 Ω až 65 Ω . Pro případ, že je na sběrnici připojen celkový počet deseti uzlů (osm odbočných uzlů a dva uzly na koncích sběrnice), je doporučená hodnota terminačních rezistorů pro odbočné uzly 1,3 k Ω . [3] Pro názornost je princip uveden na obrázku 6. Maximální počet uzlů, připojených na sběrnici, je závislý na hodnotě minimálního zatěžovacího odporu, při které je vysílač schopen řídit uzel. U vysílače TJA1050 je minimální hodnota zatěžovacího odporu R_{Lmin} rovna 45 Ω pro napájecí napětí vyšší než 4,75 V. Celkové zatížení sběrnice je přesně určeno zakončovacím rezistorem R_T , odporem sběrnicových vodičů R_W a diferenčním vstupním odporem vysílače R_{DIFF} . Vzorce pro určení maximálního možného počtu připojených uzlů n_{max} na sběrnici jsou následující:

$$\frac{R_{Tmin} * R_{DIFFmin}}{n_{max} * R_{Tmin} + 2R_{DIFFmin}} > R_{Lmin} \quad (1)$$

Úpravou lze z rovnice vyjádřit n_{max} a dostaneme tuto rovnici:

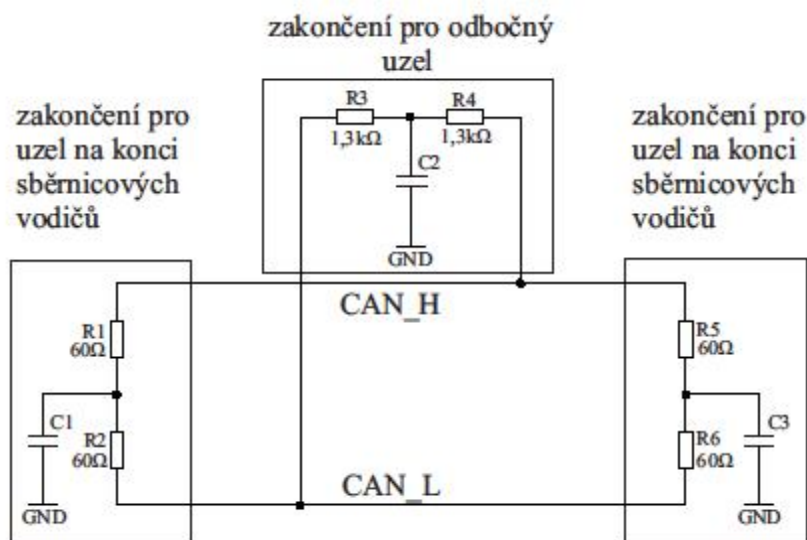
$$n_{max} < R_{DIFFmin} * \left(\frac{1}{R_{Lmin}} - \frac{2}{R_{Tmin}} \right) \quad (2)[3]$$

Pro vysílač TJA1050, při napájecím napětí 4,75 V, minimálním diferenčním vstupním odporu 25 k Ω , minimálním zatěžovacím odporu 45 Ω a při minimální hodnotě zakončovacího odporu 118 Ω , dosadíme do vzorce (2):

$$n_{max} < 25\,000 * \left(\frac{1}{45} - \frac{2}{118} \right) = 131,83 \quad (3)$$

Jak je vidět po dosazení do vzorce (3), maximální počet připojených uzlů n_{max} je 131.

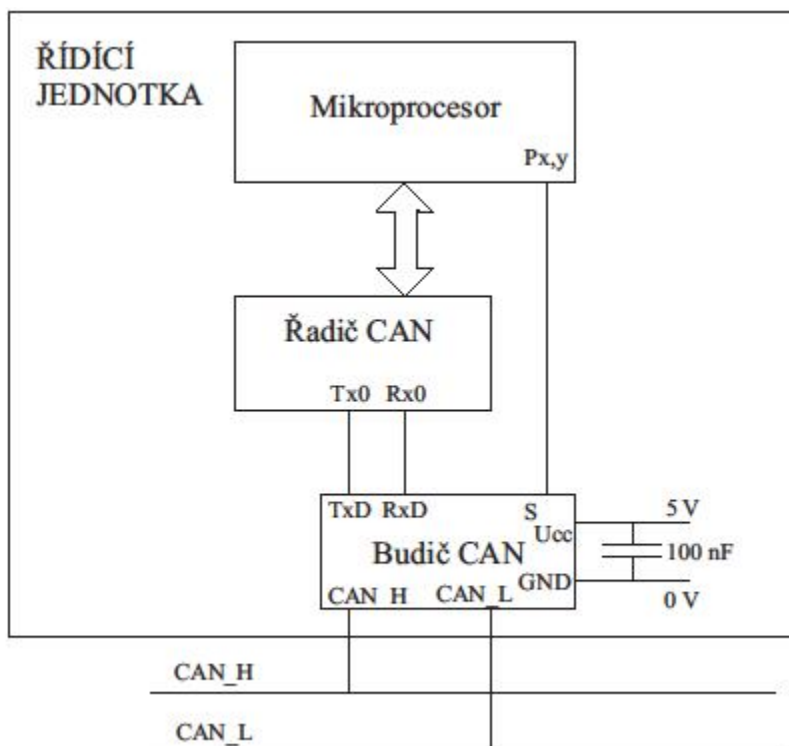
Počet maximálně připojených uzlů se dá při těchto parametrech i zvýšit, je však potřeba vyššího zakončovacího rezistoru. Konkrétně pro hodnotu zakončovacího rezistoru 130 Ω se počet maximálně připojených uzlů navýší na 170.[3] Je třeba ale myslet na zvýšené riziko odrazů na koncích sběricových vodičů, v důsledku zvýšené velikosti zakončovacího rezistoru.



Obr.6: Typické zakončení odbočných uzlů

1.2.2 Složení řídicí jednotky

Každý uzel neboli řídicí jednotka se skládá ze tří základních částí. Těmito třemi částmi jsou vysílač, CAN řadič a mikroprocesor. Přimo ke sběrnici je pomocí vodičů CAN_H a CAN_L připojen vysílač. Ten má za úkol udržet na vodičích sběrnice požadované napětí. Další funkcí vysílače je ochrana před napěťovými rázy. Druhou částí je řadič CAN. Ten je připojen přimo k vysílači a přijímá od řadiče signály ze sběrnice. Obdržená data filtruje na data podstatná pro danou řídicí jednotku, která odesílá dále ke zpracování, a data nepodstatná, která dále nezpracovává. Řadič CAN zajišťuje pozdrzení protokolu CAN při přenosu dat. Odhaluje také chyby na sběrnici a vhodně na ně reaguje. Třetí, patrně nejvýznamnější částí, je mikroprocesor. Zpracovává a posuzuje údaje ze sběrnice, které obdrží od řadiče CAN. Ten může informovat o připojení senzorů, či ovládání akčních členů. Typ senzorů i akčních členů je silně závislý na oblasti použití. Je zřejmé, že jiný typ senzoru a akčního členu je použit v řídicí jednotce motoru a jiný například v řídicí jednotce ABS. V praxi se často setkáme s tím, že jsou všechny tři části integrovány na jednom mikročipu. Tím se ušetří místo i peníze.[4] Blokové schéma řídicí jednotky, s těmito třemi základními prvky a jejich vzájemné propojení i s připojením na sběrnici, je na obrázku 7.



Obr. 7: Blokové schéma řídicí jednotky

1.2.3 Závislost délky sběrnice na přenosové rychlosti

Výhodou sběrnice CAN je, jak už bylo uvedeno, její vysoká přenosová rychlost, dosahující až 1 Mbit/s. Tato rychlost je dosažitelná pouze na vzdálenost maximálně do 40 m. To také vyplývá z její původní funkce. Sběrnice CAN měla sloužit pro malé vzdálenosti, zejména v automobilovém průmyslu. S přibývajícím délkou sběrnice totiž prudce klesá její přenosová rychlost. Při délce sběrnice 1,2 km je přenosová rychlost pouze 70 kbit/s. [1] Maximální délka sběrnice se liší i podle použitého standardu. Pro standard typu SAE J2284 je maximální délka sběrnice pro přenosovou rychlost 500 kbit/s 30 m. U standardu DeviceNet je maximální délka sběrnice, při přenosové rychlosti 500 kbit/s, podstatně větší, činí 100 m. Při snížení přenosové rychlosti na 250 kbit/s na stejném standardu se délka zvětšuje na 250 m. Použitím TJA 1050 se maximální délka ještě prodlouží. Při přenosové rychlosti 500 kbit/s dosahuje sběrnice maximální délky 107 m a při přenosové rychlosti 250 kbit/s je maximální délka sběrnice 270 m.[3]

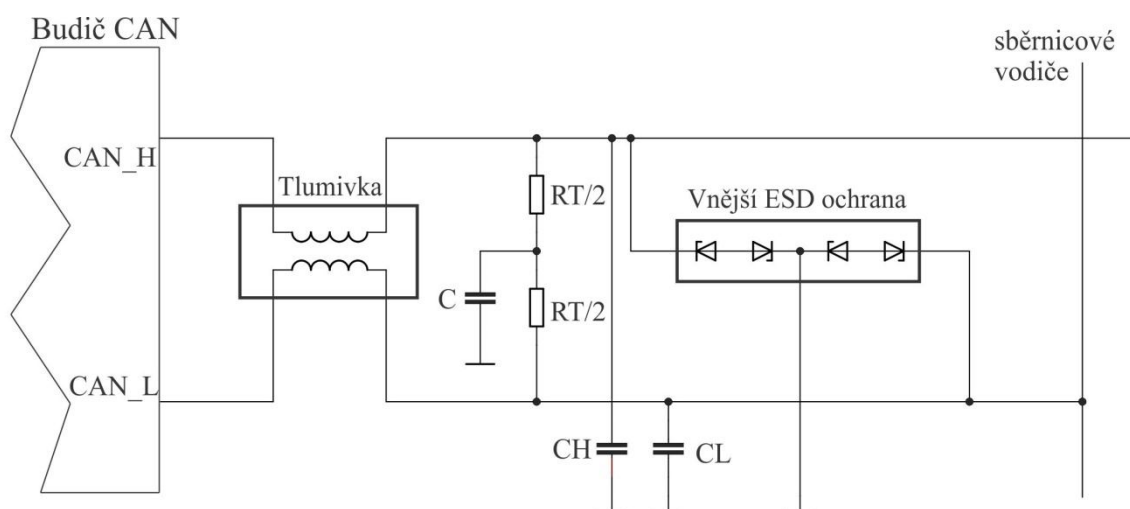
1.2.4 Elektromagnetická kompatibilita a elektrostatické výboje

Jestliže chceme dosáhnout vysoké elektromagnetické kompatibility, není to záležitost pouze daného budiče. Důležitou roli hraje také celá realizace systému. Do ní můžeme zahrnout třeba zakončení sběrnice, topologii, ale i různé vnější obvody.

Správně zvolené zakončení sběrnice samo o sobě zaručuje velmi vysokou elektromagnetickou kompatibilitu. Na začátku kapitoly o fyzické vrstvě sběrnice CAN jsou uvedeny dva nejčastější způsoby zakončení sběrnice vodičů. Pro vyšší výkon elektromagnetické kompatibility je více využívaným způsobem rozdělené zakončení. To znamená, dva rezistory o hodnotách 60 Ω , doplněné o kondenzátor v rozsahu hodnot 10 nF až 100 nF. Výše je též uvedeno, že rozdělené zakončení musí být provedeno i u odbočných uzlů, které jsou samozřejmě také zdrojem elektromagnetického vyzařování. Konkrétní hodnoty zakončovacích rezistorů u odbočných uzlů nejsou zpravidla nijak definovány. Hodnoty rezistorů se odvíjí od konečného počtu připojených uzlů. Vždy musí být splněna podmínka o celkovém zatížení sběrnice zakončovacemi uzly. Hodnota tohoto celkového zatížení sběrnice se pohybuje v předepsaném intervalu od 50 Ω do 65 Ω .

Pro dosažení ještě většího výkonu elektromagnetické kompatibility se doporučuje zařazení tlumivky za vývody CAN budiče. Tlumivka se připojí mezi sběrnice vodiče CAN_H a CAN_L. Tímto krokem zajistíme vysokou impedanci mezi vodiči pro společné

signály a nízkou impedanci mezi vodiči pro diferenciální signály. Produkovaný radiofrekvenční šum nebo nedokonalá symetrie budiče CAN přispívá k výrazně tlumenému společnému signálu. Tlumivka přispívá ke snížení vyzařování a k posílení odolnosti. Od toho se odvíjí její zapojení. Jeden ze způsobů zapojení tlumivky mezi sběrnice vodiče CAN_H a CAN_L je na obrázku 8. Chceme-li posílit odolnost, musíme k tlumivce přidat ještě kondenzátory, které zapojíme mezi budič CAN a tlumivku. Naopak pokud chceme snížit elektromagnetické vyzařování, musíme kondenzátory připojit mezi tlumivku a zakončovací rezistory. Přidání tlumivky mezi sběrnice vodiče má i své nevýhody. Hlavní nevýhodou může být to, že tlumivka spolu s kondenzátory může vytvořit rezonanční obvod. Tím vznikají nežádoucí oscilace právě mezi tlumivkou a kondenzátory, jak pro diferenciální signály, tak i pro společné signály. Oscilace na diferenciálním signálu může způsobovat mnohonásobné přepínání na vysílacím pinu TXD. Z tohoto důvodu se doporučuje volit tlumivky s indukčností do 500 nH.



Obr.8: Zapojení tlumivky pro ESD ochranu

Starší budiče CAN z pravidla použití tlumivky vyžadovaly. To bylo zapříčiněno přísnými pravidly na vyzařovací a odolnostní požadavky, které kladli automobiloví výrobci použitím nestíněných kroucených dvojlinek. Novější budiče CAN vyhovují přísným pravidlům automobilových výrobců i bez použití tlumivek. Jedním z takovýchto budičů je vysokorychlostní budič TJA 1050, se kterým je teoreticky možné vybudovat v automobilech sběrnice systém bez použití jediné tlumivky. Nutnost připojení či nepřipojení tlumivky se odvíjí od konkrétní realizace systému.

Nesmíme zapomínat ani na ochranu proti elektrostatickým výbojům. Před elektrostatickými výboji může ochránit sběrnice systém samotný budič CAN, jako tomu

je u TJA 1050, který vydrží elektrostatické pulzy až do 4 kV. Některé další budiče CAN k tomu však potřebují další vnější ochranné metody. Vnější ochranné metody se mohou použít spolu s TJA 1050 tam, kde je vyžadována vyšší ochrana proti elektrostatickým výbojům. Na trhu existuje celá řada ochranných zařízení pro sběrnici CAN, která poskytují vysokou odolnost proti elektrostatickým výbojům a přechodným jevům v automobilovém průmyslu.[3]

1.3 Čipy pro CAN

Historicky první čip pro sběrnici CAN byl vyroben v polovině roku 1987, tedy zhruba rok po oficiálním zveřejnění sběrnice CAN. Byl to řadič 82526, vyrobený firmou Intel. Druhá firma, která přišla na trh se svým řadičem sběrnice CAN, byla firma jménem Philips Semiconductors. Ta svůj řadič 82C200 vydala krátce po firmě Intel. Tyto dva nejstarší řadiče CAN jsou označovány za předky všech později vyrobených řadičů a vůbec čipů pro sběrnici CAN obecně. Ačkoli oba řadiče byly vyrobeny přímo pro sběrnici CAN, byly odlišné, co se týká filtrování a zpracování přijatých zpráv. Zatímco firma Intel se svým řadičem 82526 upřednostňovala koncept FullCAN, firma Philips Semiconductors měla svůj řadič 82C200 vyvinutý na konceptu BasicCAN. Každý z těchto dvou konceptů měl své výhody i nevýhody. Koncept FullCAN firmy Intel méně zatěžuje procesor od připojeného mikroprocesoru řídicí jednotky oproti konceptu BasicCAN. Ovšem i koncept BasicCAN má jisté výhody oproti konceptu FullCAN. Mezi ně patří větší počet přijatých zpráv a také řadič, založený na konceptu BasicCAN potřebuje méně křemíku. Dnes vyráběné a používané řadiče CAN používají koncept, který spojuje výhody jak konceptu FullCAN, tak BasicCAN. Samostatně se tyto koncepty již nepoužívají.[7]

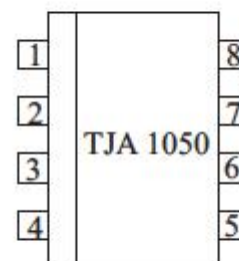
1.3.1 TJA 1050

Jeden z čipů pro sběrnici CAN používaný v současnosti je i budič TJA 1050. Je to vysokorychlostní budič, který dosahuje přenosové rychlosti až 1 Mbit/s. Budič TJA 1050 je integrovaný do osmi pinového pouzdra SO8. Pouzdro je na obrázku 9, vedle obrázku je dále popis jednotlivých pinů. Mezi základní rysy budiče TJA 1050 patří:

- „Plná kompatibilita s ISO normou 11898
- Velmi nízké elektromagnetické vyzařování
- Řídicí jednotka bez napětí neruší sběrnici

- Tichý režim, ve kterém je budič odpojený
- Ochrana před přechodnými jevy, které se vyskytují v automobilech
- Vstupní úrovně jsou kompatibilní s 3,3 V i 5 V zařízeními
- Teplotní ochrana
- Odolný proti zkratu mezi baterií a zemí
- Možnost připojení 110 i více řídicích jednotek“[9]

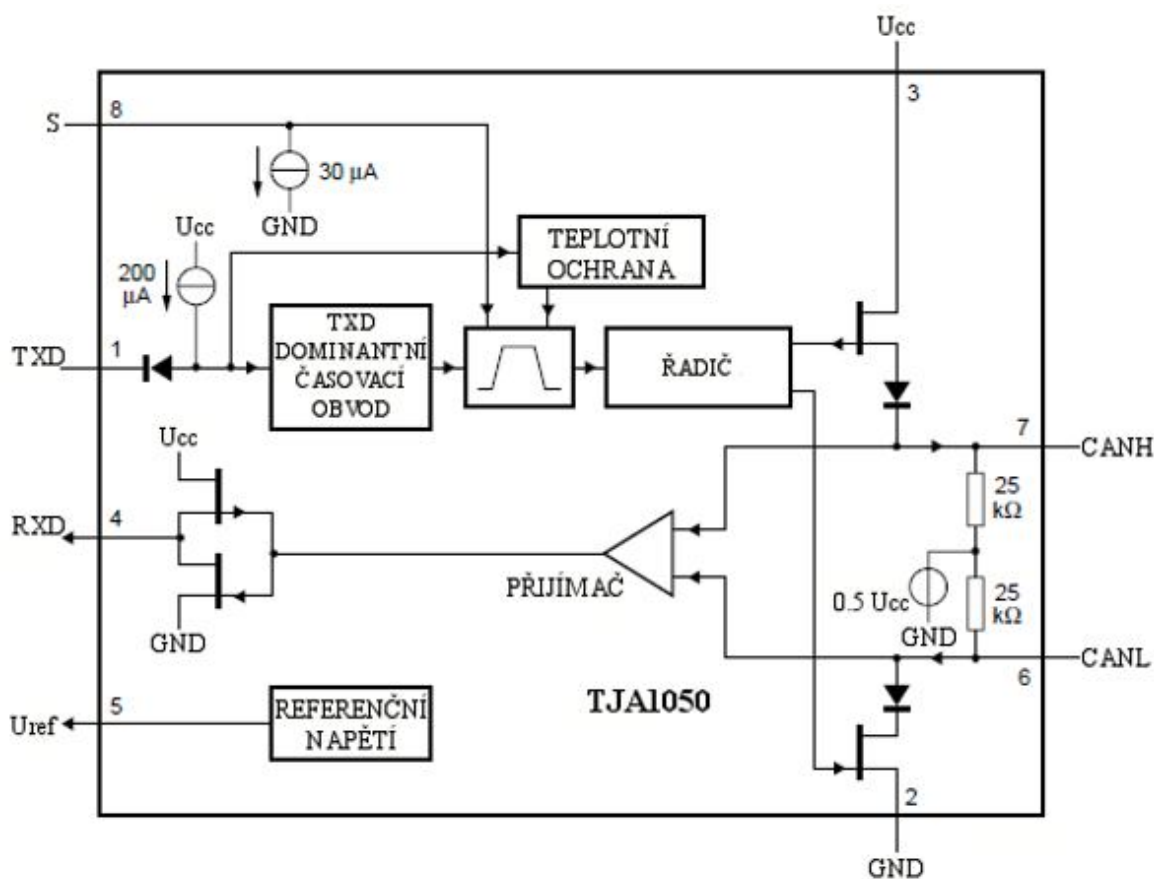
- 1 TXD – vysílá vstupní data, čte data od řadiče CAN ke sběrnicevým vodičům
- 2 GND – zem
- 3 Ucc – napájecí napětí
- 4 RXD – přijímá výstupní data, čte výstupní data od sběrnicevých vodičů pro řadič CAN
- 5 Uref – referenční napětí
- 6 CAN_L – nízká úroveň vodiče sběrnice CAN
- 7 CAN_H – vysoká úroveň vodiče sběrnice CAN
- 8 S – výběrový vstup pro vysokorychlostní nebo tichý režim



Obr.9: Pouzdro budiče TJA 1050

TJA 1050, jako budič, je rozhraní, které se nachází mezi sběrnicevými vodiči a řadičem protokolu CAN. Blokové schéma budiče TJA 1050 je znázorněno na obrázku 10. Přednostně je budič určen pro automobilový průmysl, který využívá vysoké přenosové rychlosti od 60 kbit/s až do 1 Mbit/s. Je to třetí vysokorychlostní budič, který vydala firma Philips. Před TJA 1050 vyrobila firma Philips budič PCA82C250 a PCA82C251. Oproti těmto budičům dosáhl budič TJA 1050 několika významných změn. Mezi ty nejdůležitější patří mnohem menší elektromagnetické vyzařování, kterého je dosaženo díky optimálnímu sladění výstupních signálů na výstupech CAN_H a CAN_L, TJA 1050 nemá žádný pohotovostní režim a také nabízí vylepšené chování řídicích jednotek, které nejsou v danou chvíli připojeny k napájení.

Budič TJA 1050 disponuje obvodem proudové ochrany, který chrání zejména koncový stupeň vysílače před poškozením, ke kterému by mohlo dojít například náhodným zkratem kladného či záporného napětí, i když se v tomto poruchovém stavu zvýší ztrátový výkon. Jak je zmíněno výše, budič TJA 1050 je teplotně chráněn proti poškození. Tepelná ochrana je v integrovaném obvodu potřebná hlavně kvůli možným zkratům na sběrniových vodičích. K ochraně dochází tak, že při překročení teploty 165 °C v řídicí jednotce se vysílač vypne. Tímto krokem se dosáhne zmenšení ztrátového výkonu díky vypnutí napětí, a tudíž poklesne i teplota v integrovaném obvodu. Vypnutí se dotkne pouze vysílače, zbylé funkce budiče TJA 1050 zůstávají aktivní. Chceme-li vysílač opět zapnout, musíme přivést na pin TXD hodnotu vysoké úrovně napětí. TJA 1050 chrání piny CAN_H a CAN_L proti přechodným jevům, které se vyskytují v automobilovém průmyslu podle normy ISO 7637.



Obr.10: Blokové schéma budiče TJA 1050

Budič TJA 1050 pracuje ve dvou režimech, a to v režimu vysokorychlostním nebo režimu tichém. Vhodný režim se vybírá pomocí pinu S, který je řízen mikroprocesorem.

Tichý režim je vybrán, když se na pin S přivede logická jednička. Touto volbou se odpojí vysílač budiče TJA 1050. Všechny zbylé funkce budiče TJA 1050 fungují beze změny. Tichým režimem se dá blokovat komunikace řídicí jednotky s ostatními uzly v síti v případě, že řadič CAN je mimo kontrolu. Vysokorychlostní režim, který je vybrán přivedením na pin S logickou nulou, je standardním režimem pro budič TJA 1050. Tento režim se automaticky zvolí, i když není pin S zapojený. Důrazně se však doporučuje pin S k zemi připojit. Především kvůli elektromagnetické odolnosti budiče TJA 1050.

V provozu se může stát, že hardwarová nebo softwarová chyba způsobí vnučení stálého stavu logické nuly na vysílací pin TXD budiče TJA 1050. Pro ošetření takovéto stavové chyby slouží časovací obvod *TXD dominantní časové odpojení*, který zabrání, aby se na sběrnicevých vodičích vyskytl trvalý stav logické nuly. Časovací obvod se uvede do provozu sestupnou hranou, přivedenou na vysílací pin TXD. Časovací obvod má přednastavenou svou vnitřní hodnotu, podle které vyhodnocuje dobu trvání logické nuly na vysílacím pinu TXD. Pokud doba trvání logické nuly na vysílacím pinu TXD přesáhne přednastavenou vnitřní hodnotu časového obvodu, vysílač je vypnutý a stav sběrnice se změní na recesivní. Časovací obvod se dá vynulovat náběžnou hranou na vysílacím pinu TXD.[9]

Tabulka 1 (funkční tabulka) poukazuje na závislost stavů některých pinů budiče TJA 1050 na hodnotě napájecího napětí, zejména pak na vliv poklesu napájecího napětí vůči stavům na jednotlivých pinech budiče.

Tab. 1: Funkční tabulka vysílače CAN[9]

U _{cc}	TXD	S	CAN_H	CAN_L	Stav sběrnice	RXD
4.75 V - 5.25 V	logická 0	logická 0 či nezapojený	logická 1	logická 0	dominantní	logická 0
4.75 V - 5.25 V	X	logická 1	0.5 U _{cc}	0.5 U _{cc}	recesivní	logická 1
4.75 V - 5.25 V	logická 1 či nezapojený	X	0.5 U _{cc}	0.5 U _{cc}	recesivní	logická 1
< 2 V	X	X	0 V - U _{cc}	0 V - U _{cc}	recesivní	X
2 V - 4.75 V	> 2 V	X	0 V - U _{cc}	0 V - U _{cc}	recesivní	X

X = *nezáleží na stavu*

Mezní hodnoty budiče TJA 1050 v souladu se systémem maximálních absolutních hodnot IEC 60134, jsou srovnány v tabulce 2. Všechna napětí, vyskytující se v tabulce jsou vztažena k zemi GND na pinu 2 TJA 1050.

Tab. 2: Mezní hodnoty budiče TJA 1050[9]

Značka	Parametr	Podmínky	Minimum	Maximum	Jednotky
U _{CC}	Napájecí napětí		-0.3	6	V
U _{CAN_H}	SS napětí na pinu CAN_H	0 < U _{CC} < 5.25 V	-27	40	V
U _{CAN_L}	SS napětí na pinu CAN_L	0 < U _{CC} < 5.25 V	-27	40	V
U _{TXD}	SS napětí na pinu TXD		-0.3	U _{CC} + 0.3	V
U _{RXD}	SS napětí na pinu RXD		-0.3	U _{CC} + 0.3	V
U _{REF}	SS napětí na pinu U _{REF}		-0.3	U _{CC} + 0.3	V
U _S	SS napětí na pinu S		-0.3	U _{CC} + 0.3	V
U _{trt(CAN_H)}	Přechodné napětí na pinu CAN_H	Poznámka 1	-200	200	V
U _{trt(CAN_L)}	Přechodné napětí na pinu CAN_L	Poznámka 1	-200	200	V
U _{ESD}	Napětí elektrostatického výboje na všech pinech	Poznámka 2	-4000	4000	V
		Poznámka 3	-200	200	V
T _{stg}	Nahromaděná teplota		-55	150	°C

Poznámky

- 1 Průběhy aplikovaných přechodných dějů musí být v souladu s normou *ISO 7637 část 1*.
- 2 Model lidského těla: C = 100 pF a R = 1,5 kΩ.
- 3 Počítačový model: C = 200 pF, R = 10 Ω a L = 0,75 μH.

1.4 Kabely používané pro sběrnici CAN

V protokolu *DeviceNet* jsou definovány a blíže specifikovány tři nejběžněji používané profily kabelů. Patří mezi ně:

- Silný kabel

- Tenký kabel
- Plochý kabel

Specifikace se týká datového páru, páru stejnosměrného napájení a všeobecných podmínek.[10]

1.4.1 Silný kabel

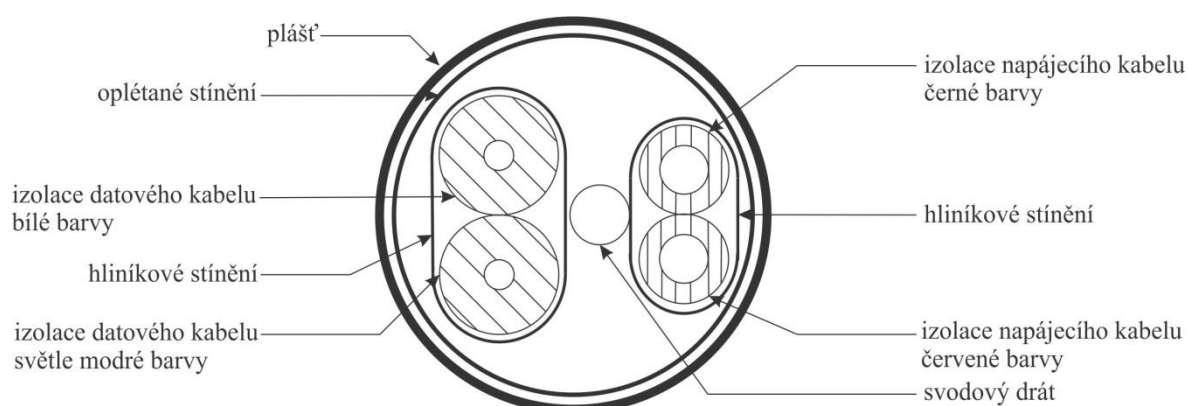
Profil silného kabelu je definován normou ČSN EN 62026-3. Datový pár je specifikován fyzickými parametry, jako je například velikost jádra páru, která je specifikována na $0,823 \text{ mm}^2$. Dále je stanoven i průměr izolace na $3,81 \text{ mm}$, barevné provedení kabelu je světle modré a bílé, zkrut páru, vztažený na jeden je přibližně deset otáček. Stínění páru vodičů se provádí hliníkovou fólií, která se ovine kolem vodičů. Její tloušťka je $0,05 \text{ mm}$. Norma definuje i elektrické parametry, mezi které patří velikost impedance, stanovená na 120Ω při frekvenci 1 MHz , maximální hodnota zpoždění šíření signálu se udává $4,46 \text{ ns}$ na jeden metr. Také je v elektrických parametrech definována kapacitní reaktance mezi vodiči, která má jmenovitou hodnotu 39 pF na metr délky při frekvenci 1 kHz . Maximální hodnota stejnosměrného odporu, při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$, je 23Ω na jeden kilometr délky. Útlum datového páru je přímo úměrný frekvenci. Při 125 kHz je hodnota útlumu $0,43 \text{ dB}$, zatímco na frekvenci 500 kHz útlum naroste skoro o dvojnásobek, konkrétně na hodnotu $0,82 \text{ dB}$. Všechny hodnoty útlumu jsou vztaženy na 100 metrů délky kabelu.

Dále je uvedena specifikace páru stejnosměrného napájení. Mezi fyzické parametry opět patří velikost jádra páru, která je v tomto případě $1,65 \text{ mm}^2$ a jako materiál je uvedena měď. Jmenovitá hodnota průměru izolace by měla být $2,49 \text{ mm}$, barva izolace páru stejnosměrného napájení je specifikována na černou a červenou. Zkrut páru na jeden metr je opět přibližně deset otáček. Stínění páru vodičů se provádí hliníkovou fólií o tloušťce $0,025 \text{ mm}$. Elektrický parametr je jediný, a sice maximální hodnota stejnosměrného odporu, která činí 12Ω na jeden kilometr délky. Tento údaj je udáván při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Fyzické parametry všeobecné specifikace definují geometrii vodičů, ta udává, že v silném kabelu jsou dva stíněné páry, mezi kterými je uprostřed veden svodový drát. Společné oplétané stínění tvoří 65% celkového krytí a jedná se o měděné opletení o průřezu drátu $0,126 \text{ mm}^2$. Svodový drát je měděný, jeho průřez je normou definovaný jako $0,823 \text{ mm}^2$. Vnější průměr silného kabelu včetně izolace má být v rozmezí $10,41 \text{ mm}$ až

12,45 mm. Provozní teplota okolí je stanovena na -20 °C až 60 °C. Kabel se musí skladovat v teplotním rozsahu -40 °C až 85 °C. Kabel se může namáhat tahem maximálně do 85 kg.

Přenosová rychlost se samozřejmě odvíjí od maximální délky kabelu. Pro silný kabel je dána přenosová rychlost 125 kbit/s při délce kabelu 500 m. Se zkracující se délkou kabelu přenosová rychlost narůstá. Na kabelu dlouhém 250 m dosahuje přenosová rychlost hodnoty 250 kbit/s a při délce kabelu 100 m je přenosová rychlost rovna 500 kbit/s. Všechny tyto údaje platí při podmínce, kdy maximální délka přípojky je 6 metrů. Fyzické uspořádání v silném kabelu je vidět na obrázku 11.[10]



Obr.11: Fyzické uspořádání silného kabelu[10]

1.4.2 Tenký kabel

U profilu tenkého kabelu je datový pár specifikován, shodně jako silný kabel, fyzickými parametry a elektrickými parametry. Pod elektrické parametry spadá minimální velikost jádra páru, ta musí být $0,205 \text{ mm}^2$. Jmenovitý průměr izolace je uváděn na 1,96 mm, barva izolace se shoduje s barevným provedením izolace silného kabelu, a je tedy použita barva světle modrá a bílá. Odlišný je zkrut páru na jeden metr kabelu, který činí přibližně 16 otáček. Stínění datového páru se provádí hliníkovou fólií o tloušťce 0,025 mm. Do elektrických parametrů je zahrnuta impedance, která při frekvenci 1 MHz dosahuje hodnoty 120Ω . Maximální zpoždění šířeného signálu ve vodiči je stanoveno maximální hodnotou 4,46 ns na jeden metr délky. Jmenovitá kapacitní reaktance mezi vodiči je 39 pF na metr délky při frekvenci 1 kHz. Maximální hodnota stejnosměrného odporu nesmí překročit 92Ω na jeden kilometr, při teplotě 20 °C. Útlum signálu v tenkém kabelu je výrazně větší, než je tomu u kabelu silného. Při frekvenci 125 kHz dosahuje

útlum velikosti 0,95 dB a při frekvenci 500 kHz je to dokonce 1,6 dB. Opět jsou hodnoty vztaženy na 100 metrů délky kabelu.

Pár vodičů stejnosměrného napájení je specifikován také fyzickými a elektrickými parametry. Do fyzických spadá velikost jádra páru, ta by měla být minimálně 0,326 mm². Jmenovitý průměr izolace je stanoven na 1,4 mm. Barva izolace páru stejnosměrného napájení je červená a černá. Zkrut páru je stejný jako u datového páru, tedy 16 otáček na jeden metr. Stínění je provedeno hliníkovou páskou s tloušťkou 0,025 mm. Do elektrických parametrů patří pouze maximální hodnota stejnosměrného odporu, která je 57,4 Ω na jeden kilometr. Stejnosemřný odpor je opět měřen při 20 °C.

Všeobecné specifikace tenkého kabelu jsou také rozděleny na fyzické parametry a elektrické parametry. Fyzické parametry udávají celkové oplétané stínění, které tvoří 65 % z celkového krytí a má průřez drátu minimálně 0,12 mm². Oplétané stínění je měděné. Svodový drát musí mít minimální průřez drátu 0,326 mm². Vnější průměr tenkého kabelu se pohybuje v rozmezí od 6,1 mm do 7,1 mm. Elektrickým parametrem je opět stejnosměrný odpor, do kterého se počítá celkové měděné opletení, hliníková páska kolem samostatných párů a svodový drát, je stanoven na hodnotu 10,5 Ω při 20 °C. Definovány jsou i parametry okolního prostředí, jako je provozní teplota okolí, která je stanovena v intervalu -20 °C až 70 °C. Teplota při skladování tenkého kabelu musí být mezi -40 °C a 85 °C. Maximální namáhání tahem je 29,5 kg.

Přenosová rychlost nezávisí na délce tenkého kabelu, jako je tomu u silného kabelu, ale na celkové délce přípojky. Při celkové délce přípojky 156 m je přenosová rychlost 125 kbit/s. Zkrácením celkové délky přípojky na 78 m se dostáváme na přenosovou rychlost 250 kbit/s. S poloviční celkovou délkou přípojky, 39 m, vzroste přenosová rychlost na hodnotu 500 kbit/s. Fyzické uspořádání tenkého kabelu je totožné jako u silného kabelu.[10]

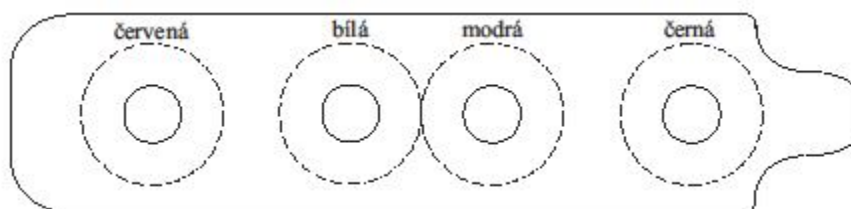
1.4.3 Plochý kabel

Poslední profil kabelu, který definuje *DeviceNet*, je plochý kabel. I zde je specifikován datový pár, pár stejnosměrného napájení a všeobecné specifikace. Ve fyzických parametrech specifikace datového páru se objevuje velikost jádra páru, stanovená na minimální hodnotu 1,31 mm² měděného drátu. Jmenovitý průměr izolace musí být 2,79 mm. Barvy izolace jsou definovány na světle modrou a bílou. V elektrických

parametrech je specifikovaná velikost impedance při frekvenci 500 kHz na 120 Ω . Doba zpoždění šíření signálu je větší než u tenkého či tlustého kabelu a je konkrétně 5,25 ns na jeden metr. Kapacitní reaktance mezi vodiči je 48,2 pF na jeden metr, maximální velikost stejnosměrného odporu, měřená při 20 °C, je 16,1 Ω na jeden kilometr délky. Útlum signálu při frekvenci 125 kHz, na 100 m, je 0,43 dB. Při dvojnásobné frekvenci, 250 kHz, je útlum 0,82 dB a při frekvenci 500 kHz se útlum signálu dostane na hodnotu 1,31 dB.

Pár stejnosměrného napájení je specifikován minimální velikostí jádra páru, která je 1,31 mm². Jmenovitý průměr izolace je stanovený na 2,8 mm. Barevné provedení izolace je červené a černé. Stínění páru provedené hliníkovou páskou není použito. Maximální hodnota stejnosměrného odporu při 20 °C je 16,1 Ω na jeden kilometr délky kabelu. Skladovací teplota plochého kabelu se pohybuje v rozmezí od -40 °C do 85 °C. Provozní teplota okolí je -25 °C až 75 °C. Maximální namáhání plochého kabelu tahem je 40,8 kg.

Přenosová rychlost, jako u silného kabelu, se odvíjí od maximální délky kabelu. S maximální délkou kabelu 420 m je přenosová rychlost 125 kbit/s. Při délce plochého kabelu 200 m je přenosová rychlost 250 kbit/s. Snížením maximální délky plochého kabelu na hodnotu 75 m se zvýší přenosová rychlost na 500 kbit/s. Obrázek 12 ukazuje fyzické uspořádání plochého kabelu.[10]



Obr.12: Fyzické uspořádání plochého kabelu[10]

2 Budiče a pasivní součástky pro sběrnici CAN

2.1 Budiče pro sběrnici CAN

V současnosti je na trhu celá řada budičů pro sběrnici CAN od mnoha výrobců. Existují budiče nízkorychlostní a vysokorychlostní. V tabulce 3 jsou porovnávány pouze budiče vysokorychlostní, z důvodu širšího využití v různých aplikacích. Není-li uvedeno jinak, vyskytují se v tabulce typické hodnoty pro daný budič CAN. Široká nabídka různých druhů budičů je reakcí na rozsáhlou škálu aplikací, pro které je možno dané budiče použít.

Tab. 3: Srovnání vybraných vysokorychlostních budičů CAN

Budič CAN	I _{cc} [mA] ¹		V _p ² [Mbit/s]	R _{dif} ³ [kΩ]	C _{dif} ⁴ [pF]	U _{CAN_L} ⁵ [V]	U _{CAN_H} ⁶ [V]	R _v ⁷ [kΩ]	C _v ⁸ [pF]
	Dominantní	Recesivní							
AMIS30660	44	5	1	50	3,75	1,75	4,25	25	7,5
AMIS30663	45	4	1	50	3,75	1,75	4,25	25	7,5
AMIS42665	45	4	1	50	3,75	1,75	4,25	26	7,5
ATA6660	45	10	1	30	10 ⁹	2	4,5	15	20 ⁹
CF 163	50	6	0,5	40	-	-	-	20	-
CF 173	50	8	1	40	-	-	-	20	-
MAX3050	56	3,6	2	100 ⁹	-	2	5	25 ⁹	-
MAX3053	56	3,6	2	100 ⁹	-	2	5	25 ⁹	-
MAX3058	40	2	1	100 ⁹	-	2,25	4,2	25 ⁹	-
MC 33989	12,5	12	1	100 ⁹	-	2,25	4,5	100 ⁹	-
MCP2551	75 ⁹	10 ⁹	1	100 ⁹	-	2,25	4,5	50 ⁹	-
PCA82C250	70 ⁹	18 ⁹	1	100 ⁹	10 ⁹	2,25	4,5	25 ⁹	20 ⁹
PCA82C251	80 ⁹	10 ⁹	1	100 ⁹	-	2	4,5	25 ⁹	-
SN65HVD251	65 ⁹	14 ⁹	1	100 ⁹	10	2	4,5	50 ⁹	20
TJA1040	50	5	1	50	10 ⁹	1,75	4,25	25	20 ⁹
TJA1050	50	5	1	50	3,75	1,75	4,25	25	7,5
TLE6250G	45	6	1	40	-	2	5	20	-
TLE6251G	50	6	1	40	-	2,25	4,5	20	-
UC 5350	70 ⁹	14 ⁹	1	80	10 ⁹	2,25	4,5	40	20 ⁹

Poznámky:

- 1 Napájecí proud budičem
- 2 Přenosová rychlost
- 3 Diferenciální vstupní odpor
- 4 Diferenciální vstupní kapacita
- 5 Napětí sběrnicového vodiče CAN_H v dominantním stavu
- 6 Napětí sběrnicového vodiče CAN_L v dominantním stavu
- 7 Vstupní odpor na pinech CAN_H a CAN_L
- 8 Vstupní kapacita na pinech CAN_H a CAN_L
- 9 Maximální udávaná hodnota

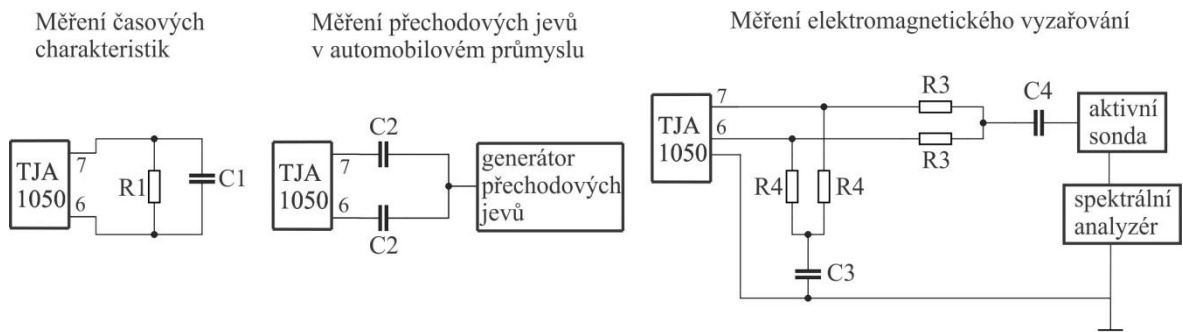
2.2 Pasivní součástky v doporučených zapojeních

V katalogových listech vybraných vysokorychlostních budičů pro sběrnici CAN jsou některá doporučená zapojení pro základní měření. Mezi nejčastěji se vyskytující zapojení patří schéma pro měření časových charakteristik, schéma pro měření přechodových jevů v automobilovém průmyslu a schéma pro měření elektromagnetického vyzařování. V tabulce 4 jsou porovnány používané součástky pro právě tato doporučená zapojení. Jednotlivá doporučená zapojení se samozřejmě od sebe mohou lišit. Záleží na použitém budiči CAN. Je proto nutné se vždy pro konkrétní budič podívat do příslušného katalogového listu, kde jsou všechna schémata doporučených zapojení k nahlédnutí.

Tab. 4: Srovnání pasivních součástek v doporučených zapojeních

Budič CAN	Časové charakteristiky		Přechodové jevy v automobilovém průmyslu		Elektromagnetické vyzařování			
	R ₁ [Ω]	C ₁ [pF]	R ₂ [Ω]	C ₂ [nF]	R ₃ [kΩ]	R ₄ [Ω]	C ₃ [nF]	C ₄ [nF]
AMIS 30660	60	100	-	1	6,2	30	47	10
AMIS 30663	60	100	-	1	6,2	30	47	10
AMIS 42665	60	100	-	1	6,2	30	47	10
ATA 6660	60	100	-	-	-	-	-	-
MC 33989	-	-	-	1	-	-	-	-
MCP 2551	60	100	60	500	-	-	-	-
PCA82C250	60	100	60	1	-	-	-	-
PCA82C251	60	100	60	500	-	-	-	-
TJA 1040	60	100	-	1	-	-	-	-
TJA 1050	60	100	-	1	6,2	30	47	10
TLE 6250G	60	47	-	-	-	-	-	-
TLE 6251G	60	47	-	-	-	-	-	-

Pro lepší názornost jsou výše uvedená schémata doporučených zapojení, měření časových charakteristik, měření přechodových jevů v automobilovém průmyslu a měření elektromagnetického vyzařování, znázorněna na obrázku 13, jedná se o schémata pro vysokorychlostní budič TJA 1050.

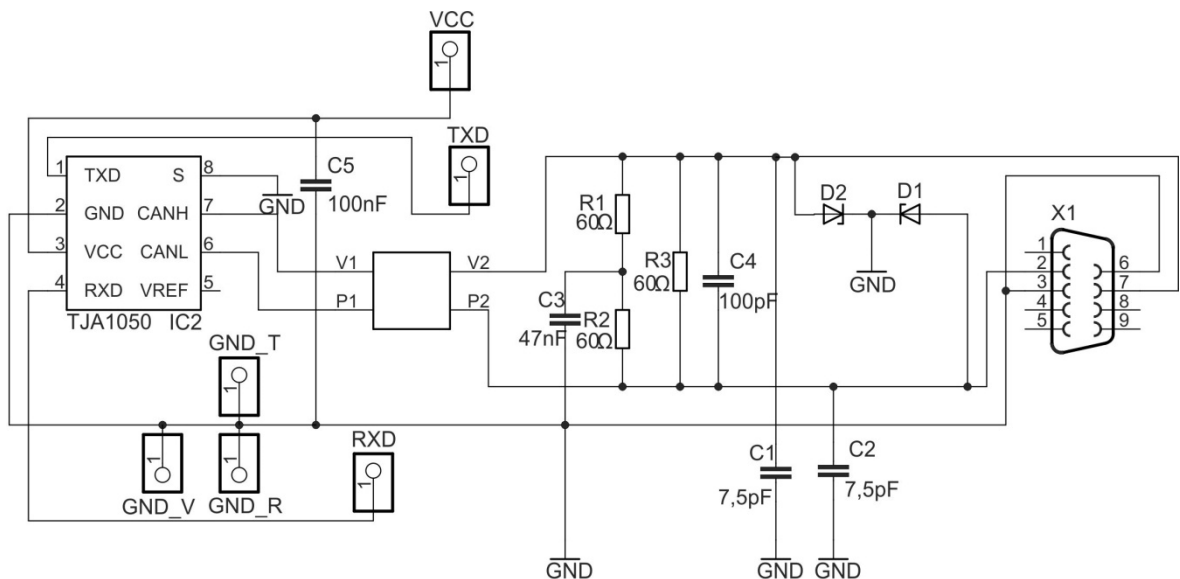


Obr.13: Příklad možných zapojení pro základní měření[9]

3 Návrh funkčního vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN

3.1 Schéma

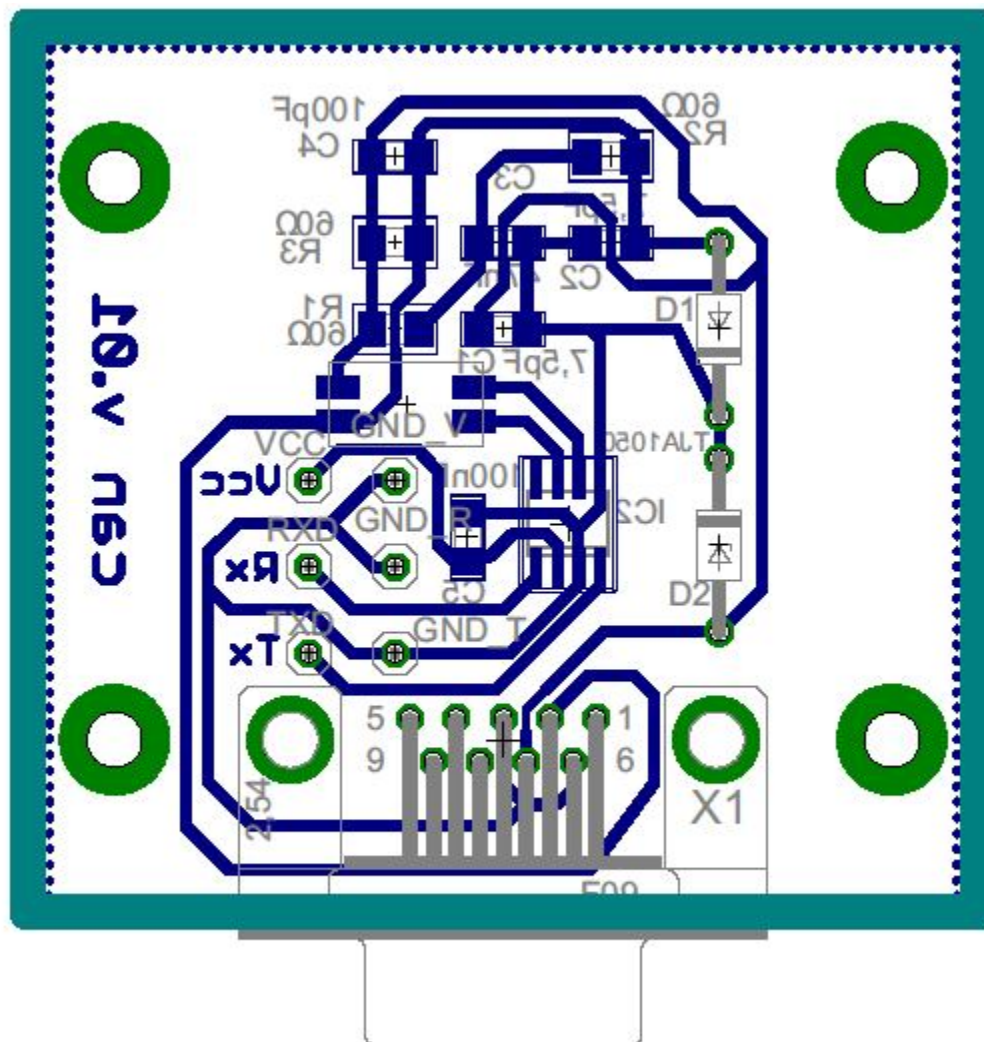
Schéma zapojení vzorku fyzické vrstvy spojuje dvě zapojení dohromady. Jedno schéma zapojení je dostupné z katalogového listu budiče TJA 1050, které slouží pro měření časových charakteristik. Druhé schéma je dostupné z aplikační poznámky AN00020 k budiči TJA 1050, které ukazuje příklad využití oddělovací tlumivky společně s ochranou proti elektrostatickým výbojům, ta je prezentována dvěma transily. Schéma pro měření na fyzické vrstvě sběrnice CAN je na obrázku 14.



Obr.14: Schéma vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN

3.2 Deska plošných spojů

Deska plošných spojů vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN je na obrázku 15.



Obr.15: Deska plošných spojů vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN

4 Měření na vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN

K měření bylo zapotřebí dvou desek plošných spojů, jejichž schéma a board jsou na obrázcích 14 a 15. Desky plošných spojů byly propojeny kabelem typu AWG16 o dvou různých délkách. Jako první se měřilo na kabelu dlouhém 440 cm. Pro měření na dlouhém kabelu byly zvoleny dvě přenosové rychlosti, a sice 1 Mbit/s a 250 kbit/s. Na krátkém kabelu, dlouhém 30 cm, se měřilo jen při přenosové rychlosti 1 Mbit/s.

Průběh celého měření byl stejný jak pro obě délky kabelu, tak pro obě přenosové rychlosti. Jako první bylo změřené zpoždění signálu při průchodu sběrnici, tedy zpoždění

signálu na konci sběrnice oproti signálu na začátku sběrnice. Dále se měřila úroveň napětí v recesivním stavu na začátku sběrnice, diferenční napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L v dominantním stavu, také na začátku sběrnice. Úroveň napětí v recesivním stavu a diferenční napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L bylo měřené i na konci sběrnice. Jako poslední se měřilo zpoždění signálu ze vstupu DPS na její výstup (začátek sběrnice), která reprezentovala vysílací uzel a zpoždění signálu ze vstupu (konec sběrnice) na výstup DPS, která reprezentovala přijímací uzel. Naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulkách 5 a 6. Všechny napěťové průběhy z osciloskopu jsou uvedeny v příloze.

Tab. 5: Naměřené hodnoty pro kabel dlouhý 440 cm

Vp ¹	t ₁ [ns] ²	t ₂ [ns] ³	t ₃ [ns] ⁴	U ₁ [V] ⁵	U ₂ [V] ⁶	U ₃ [V] ⁷	U ₄ [V] ⁸
1 Mbit/s	42	108	120	2,41	1,29	1,25	2,39
250 kbitů/s	35	103	130	2,38	1,26	1,28	2,38

Tab. 6: Naměřené hodnoty pro kabel dlouhý 30 cm

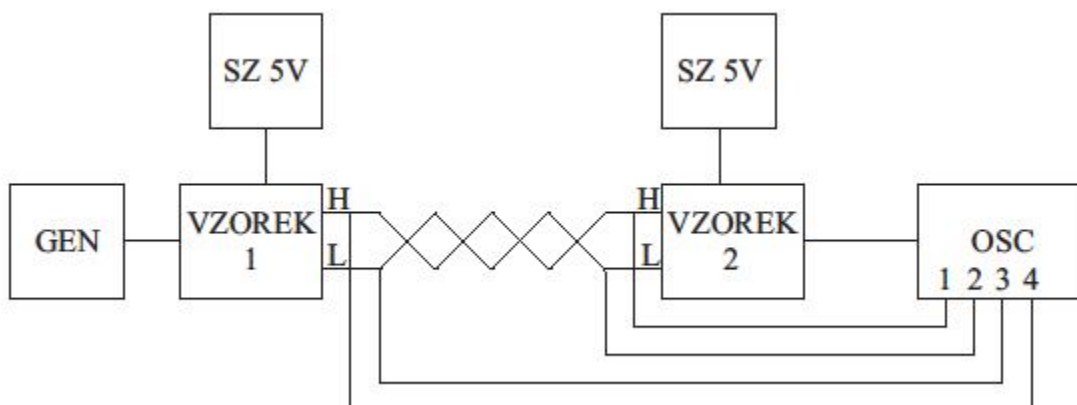
Vp ¹	t ₁ [ns] ²	t ₂ [ns] ³	t ₃ [ns] ⁴	U ₁ [V] ⁵	U ₂ [V] ⁶	U ₃ [V] ⁷	U ₄ [V] ⁸
1 Mbit/s	18,8	136	96	2,43	1,2	1,26	2,44

Poznámky:

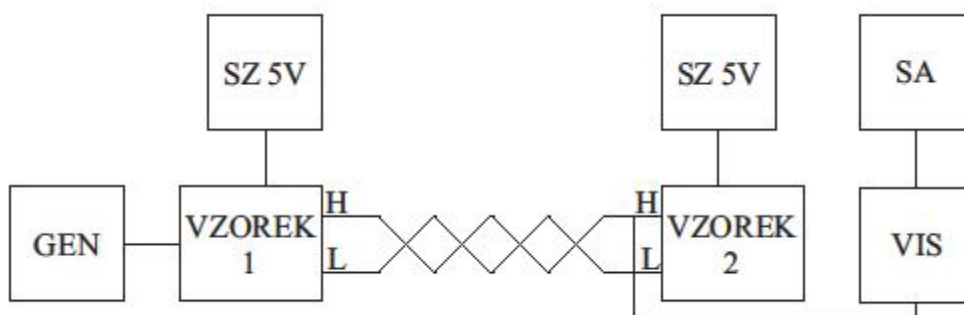
- 1 Přenosová rychlost
- 2 Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice
- 3 Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu
- 4 Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu
- 5 Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu
- 6 Diferenční napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L na začátku sběrnice v dominantním stavu
- 7 Diferenční napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L na konci sběrnice v dominantním stavu
- 8 Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu

4.1 Blokové schéma měření

Měření probíhalo za pomoci osciloskopu Agilent MSO7104A, spektrálního analyzátoru HP E4411B, vysokoimpedanční sondy Agilent 41800A, generátoru GoldStar FG-8002 a dvou 5 V stabilizovaných zdrojů. Blokové schéma pro měření napěťových průběhů na sběrnici je na obrázku 16. Pro měření spektra vodiče CAN_H proti zemi bylo zapotřebí spektrálního analyzátoru, blokové schéma takového zapojení je na obrázku 17. V obrázku 16 SZ 5V značí stabilizovaný pěti voltový zdroj, GEN je generátor, OSC označuje čtyř kanálový osciloskop, VZOREK 1 a VZOREK 2 jsou funkční vzorky fyzické vrstvy sběrnice CAN, viz kapitola 3 *Návrh funkčního vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN*. V obrázku 17 se objevuje ještě VIS, což je vysokoimpedanční sonda a SA je spektrální analyzátor.



Obr.16: Blokové schéma pro měření pomocí osciloskopu



Obr.17: Blokové schéma pro měření pomocí spektrálního analyzátoru

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo prostudování a popsání možností zapojení fyzické vrstvy sběrnice CAN. Těchto možností je několik. Nejčastěji souvisí s možností zakončení sběrnice, ale také s možnostmi zakončení odbočných uzlů. Provádí se hlavně z důvodu snížení či omezení elektromagnetického rušení. Tyto a další aspekty, které souvisí s fyzickou vrstvou sběrnice CAN, jsou popsány v podkapitole *1.2 Fyzická vrstva*. První polovina bakalářské práce též provádí rešerši vybraných vysokorychlostních budičů, které jsou používány pro sběrnici CAN, a shrnuje nejčastěji používané pasivní součástky v doporučených zapojeních, které jsou dostupné v katalogových listech jednotlivých budičů.

Druhá část práce se zaměřuje na realizaci a konstrukci funkčního vzorku fyzické vrstvy sběrnice CAN, na kterém bylo posléze provedeno měření. Měřilo se zpoždění signálu od začátku na konec sběrnice při dvou rozdílných přenosových rychlostech a při dvou různých délkách kabelu. Dále se měřilo zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu a mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu. Všechny hodnoty zpoždění signálu jsou mírně vyšší, než je udáváno v katalogovém listu budiče TJA 1050. Tato skutečnost je nejspíše způsobena nemožností naprosto přesně odečíst požadované hodnoty z obrazovky osciloskopu. Měření diferenčních napětí na začátku a konci sběrnice ukázalo, že napětí odečtená z osciloskopu jsou zhruba o 0,3 V nižší, než je uvedeno v katalogovém listu. To je také nejspíše způsobeno nepřesným odečtením z osciloskopu, vzhledem k naakumulovanému rušení na jednotlivých vodičích. Změřené hodnoty napětí proti zemi v recesivním stavu jsou v rozmezí udávaných minimálních a maximálních hodnot, a blíží se k typické hodnotě. Jako poslední se měřilo, pomocí spektrálního analyzátoru, spektrum sběrnicevého vodiče CAN_H proti zemi při přenosové rychlosti 1 Mbit/s. Toto měření mělo za úkol ukázat důležitost použití odrušovací tlumivky. Pro lepší názornost účinnosti odrušovací tlumivky by bylo lepší provést měření spektrálním analyzátozem bez odrušovacích tlumivek. Rozdíl obou průběhů by byl zřejmý. K takovému měření bohužel nedošlo.

Všechny průběhy získané ze spektrálního analyzátoru jsou k dispozici v příloze.

Použitá literatura

- [1] ZEZULKA, František. *Automatizační prostředky*. 2. vyd. Brno: VUT, 2000, 110 s. ISBN 80-214-1739-0.
- [2] AUTOMA: Patnáct let sběrnice CAN. BARTOŠÍK, Petr. *FCC PUBLIC* [online]. 2001 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z:
www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33717
- [3] AN00020: TJA 1050 high speed CAN transceiver. *NXP Semiconductors* [online]. 2006 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: www.nxp.com
- [4] CAN bus: Components of CAN stations. Original Marken Partner: Lernsysteme [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: lernsystem.original-marken-partner.de/Components-of-CAN-stations.446.0.html?&L=1
- [5] Historie CAN. Simple CAN Node [online]. 2002 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: simple_can_node.sweb.cz/historie.htm
- [6] Historie sběrnice CAN. *Datové sběrnice CAN* [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/beran/files/Datov%C3%A1%20sb%C4%99Brnice%20CAN.pdf
- [7] CAN history. CAN in Automation: Controller Area Network [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: www.can-cia.org/index.php?id=522#c2105
- [8] CAN - Controller Area Network. *CANLAB* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: rs.canlab.cz/?q=cs/can_bus
- [9] TJA 1050: High speed CAN transceiver. *NXP Semiconductors* [online]. 2002 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: www.nxp.com
- [10] ČSN EN 62026-3. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí: Rozhraní řadič - zařízení (CDI) - Část 3: DeviceNet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [11] AMIS - 30660: High Speed CAN Transceiver. ON Semiconductor [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AMIS-30660-D.PDF
- [12] AMIS - 30663: High Speed CAN Transceiver. ON Semiconductor [online]. 2009 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AMIS-30663-D.PDF

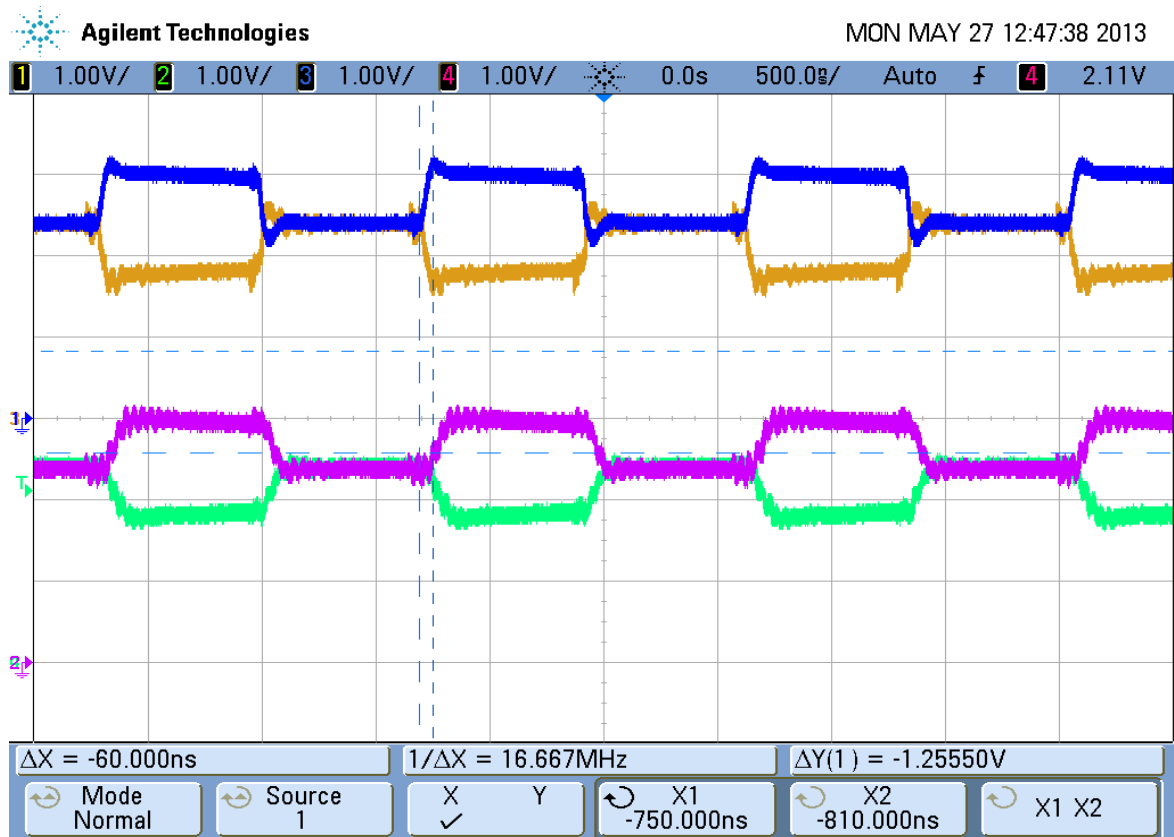
- [13] AMIS - 42665: High Speed CAN Transceiver. ON Semiconductor [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AMIS-42665-D.PDF
- [14] ATA6660: High-speed Can Transceiver. ATMEL [online]. 2008 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: csserver.evansville.edu/~blandfor/EE456/ATA6660.pdf
- [15] Automotive Electronics: CAN Bus Transceiver - CF163. Bosch Semiconductors and Sensors [online]. 2006 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.bosch-semiconductors.de/media/pdf_1/einzeldownloads/communication/CF163_Product_Info.pdf
- [16] Automotive Electronics: CAN Bus Transceiver - CF173. Bosch Semiconductors and Sensors [online]. 2006 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www1.futureelectronics.com/doc/BOSCH/CF173-0272230518.pdf
- [17] MAXIM: Current CAN Transceivers. Maxim Integrated Products [online]. 2002 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3050-MAX3057.pdf
- [18] MAXIM: Low Supply Current CAN Transceiver. Maxim Integrated Products [online]. 2002 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3053.pdf
- [19] MAXIM: CAN Transceivers. Maxim Integrated Products [online]. 2003 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3058-MAX3059.pdf
- [20] System Basis Chip with High Speed CAN Transceiver. Freescale Semiconductor [online]. 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.freescale.com/files/analog/doc/data_sheet/MC33989.pdf
- [21] MCP2551: High-Speed CAN Transceiver. Microchip [online]. 2010 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667f.pdf
- [22] PCA82C250: CAN controller interface. NXP Semiconductors [online]. 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA82C250.pdf
- [23] PCA82C251: CAN transceiver for 24 V systems. NXP Semiconductors [online]. 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA82C251.pdf
- [24] SN65HVD251: CAN TRANSCEIVER. TEXAS INSTRUMENTS [online]. 2007 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd251-q1.pdf

- [25] TJA1040: High speed CAN transceiver. NXP Semiconductors [online]. 2003 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.nxp.com/documents/data_sheet/TJA1040.pdf
- [26] TLE6250: High Speed CAN-Transceiver. Infineon [online]. 2007 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z:
http://www.infineon.com/dgdl/TLE6250G_DS_rev39_Green.pdf?folderId=db3a3043163797a6011666d32a0c0de1&fileId=db3a30431936bc4b0119762569c71805
- [27] TLE 6251 G: High Speed CAN-Transceiver with Wake Detection. Infineon [online]. 2006 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z:
http://www.infineon.com/dgdl/TLE6251G_FDS_32.pdf?folderId=db3a304412b407950112b408e8c90004&fileId=db3a304412b407950112b436d3cc66d9
- [28] UC5350: CAN TRANSCEIVER. Texas Instruments [online]. 2001 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/uc5350.pdf

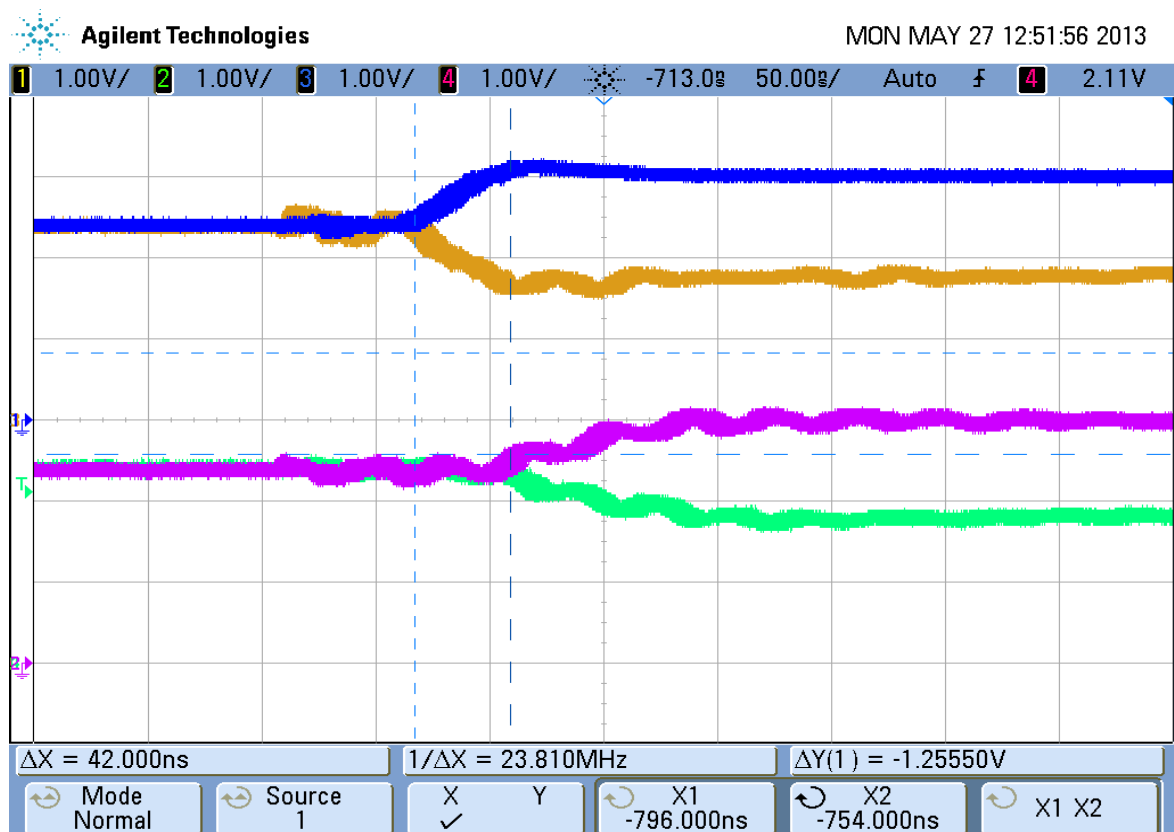
Seznam příloh

- Příloha A:** Průběh napětí na začátku a na konci sběrnice dlouhé 440 cm a $V_p = 1$ Mbit/s
- Příloha B:** Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha C:** Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha D:** Diferenční napětí na začátku sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha E:** Diferenční napětí na konci sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha F:** Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha G:** Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha H:** Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu (440 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha CH:** Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha I:** Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha J:** Diferenční napětí na začátku sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha K:** Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha L:** Diferenční napětí na konci sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha M:** Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha N:** Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu (440 cm, 250 kbit/s)
- Příloha O:** Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha P:** Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha Q:** Diferenční napětí na konci sběrnice v dominantním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha R:** Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha S:** Diferenční napětí na začátku sběrnice v dominantním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha T:** Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha U:** Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu (30 cm, 1 Mbit/s)
- Příloha V:** Spektrum vodiče CAN_H proti zemi měřené od 9 kHz do 10 MHz, první harmonická je na kmitočtu viz Mkr1
- Příloha W:** Spektrum vodiče CAN_H proti zemi měřené od 8,996 kHz do 100 MHz

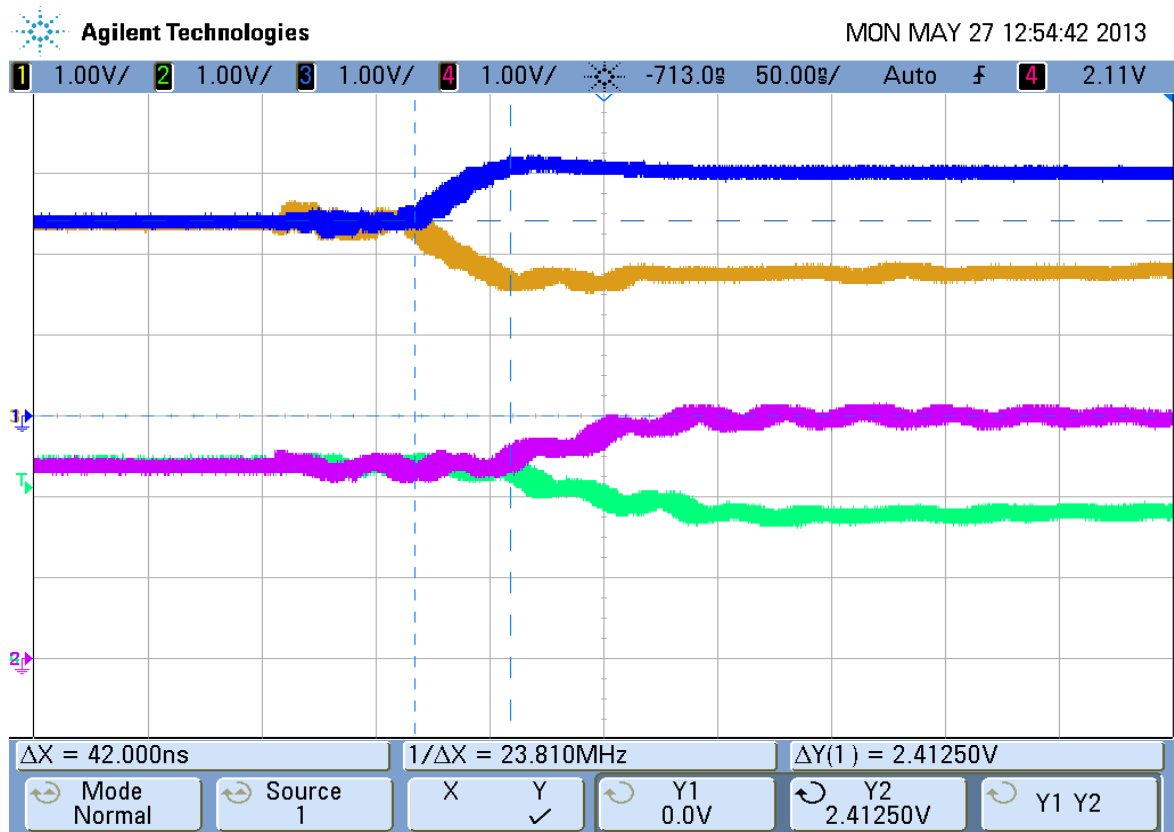
Příloha A: Průběh napětí na začátku a na konci sběrnice dlouhé 440 cm a $V_p = 1$ Mbit/s



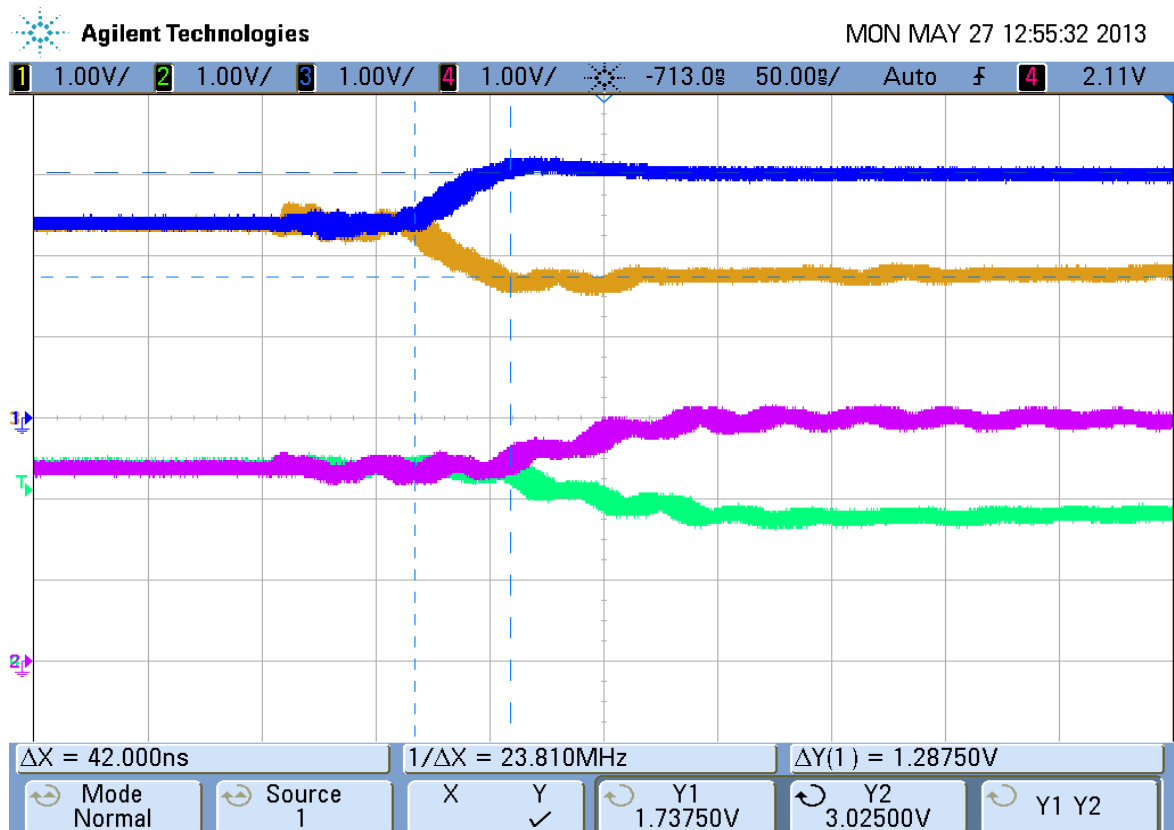
Příloha B: Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice (440 cm, 1 Mbit/s)



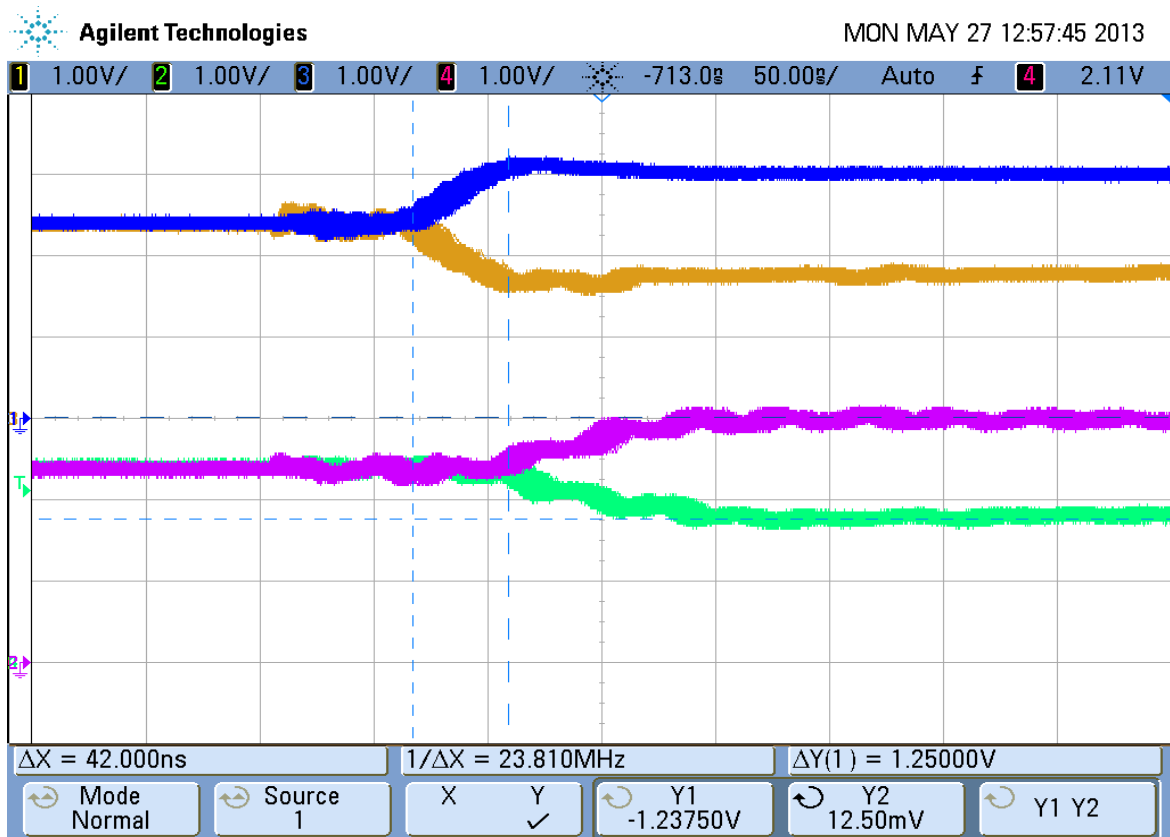
Příloha C: Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)



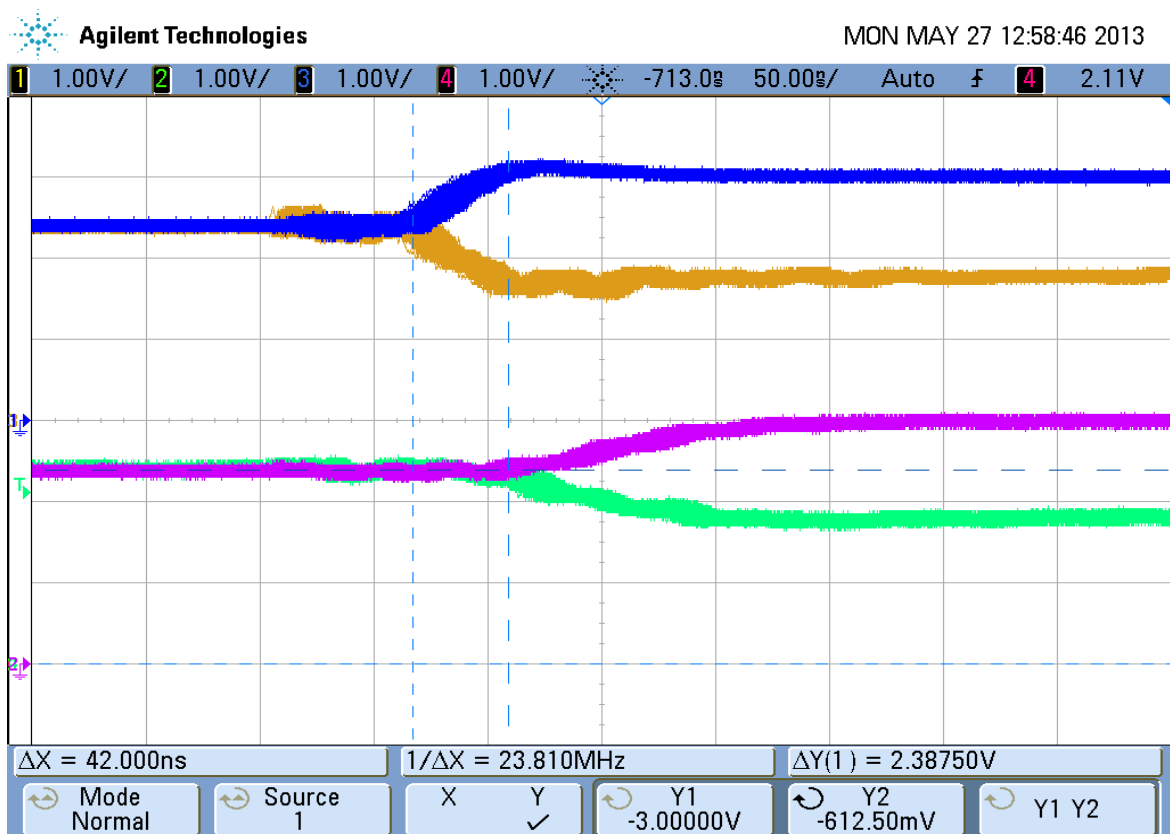
Příloha D: Diferenční napětí na začátku sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)



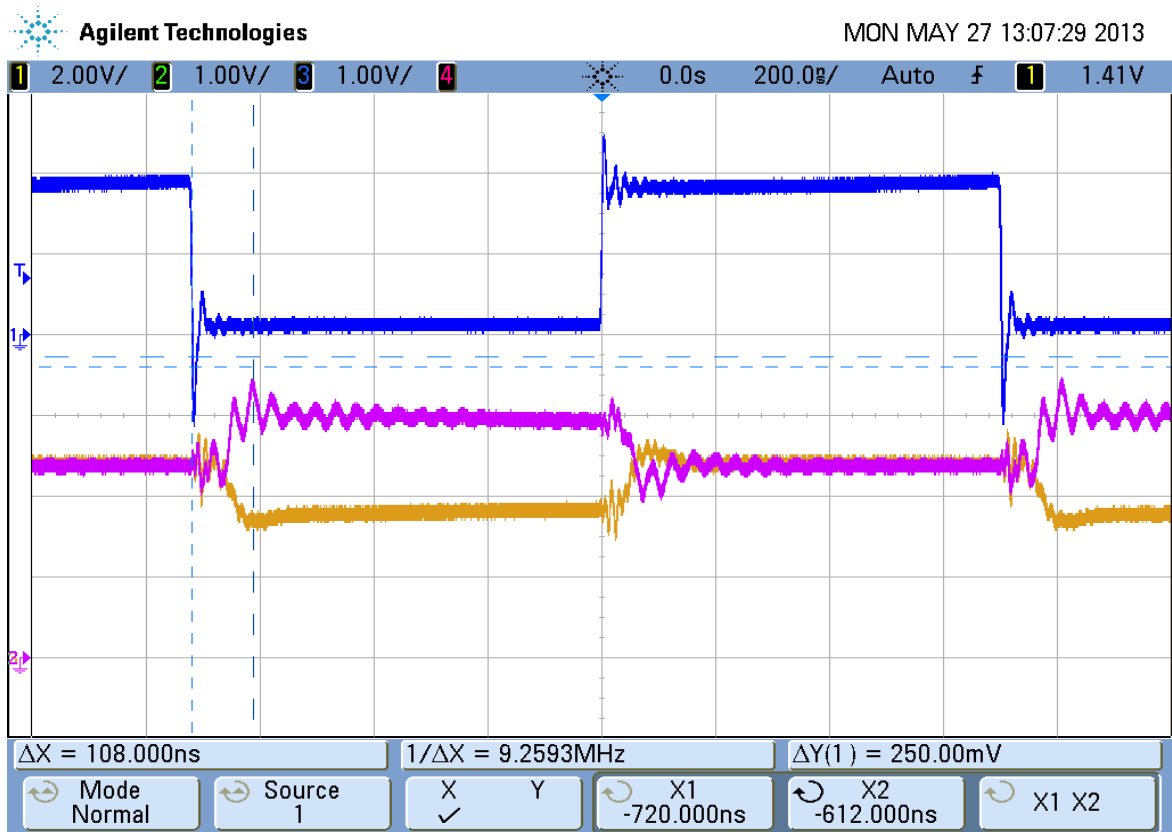
Příloha E: Diferenční napětí na konci sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)



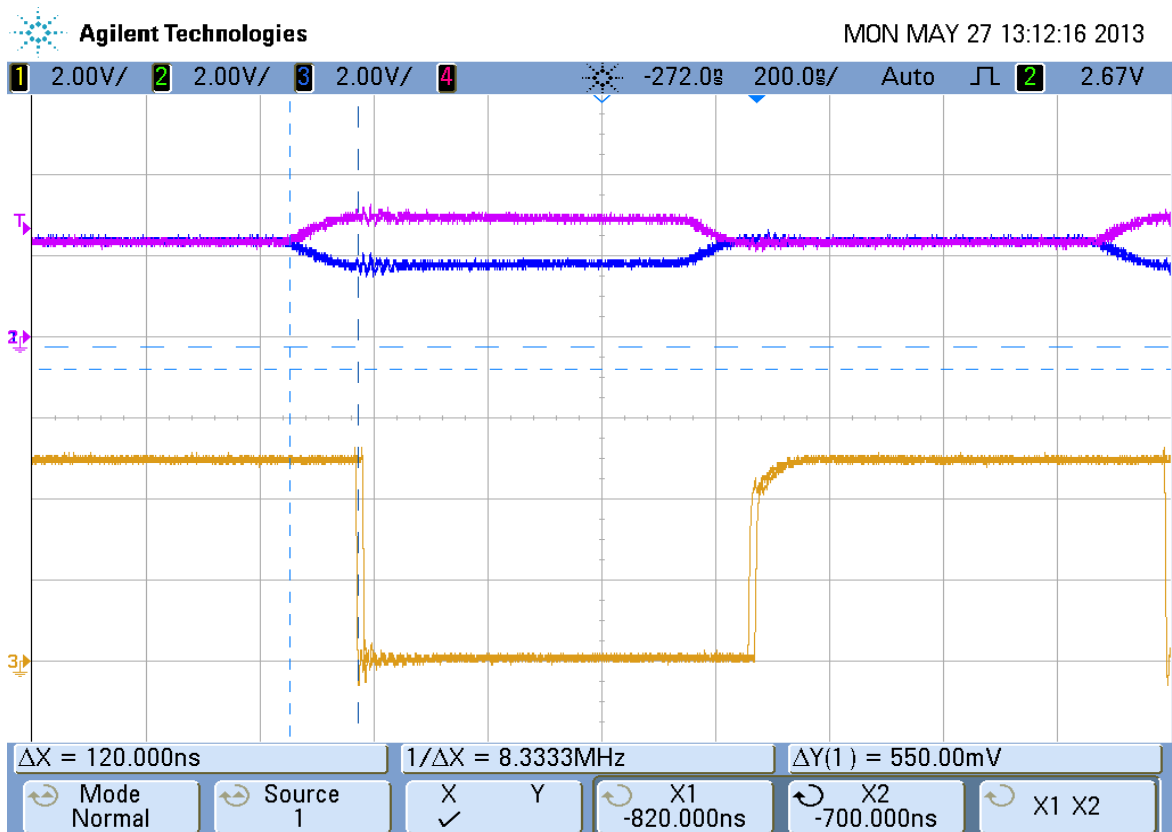
Příloha F: Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 1 Mbit/s)



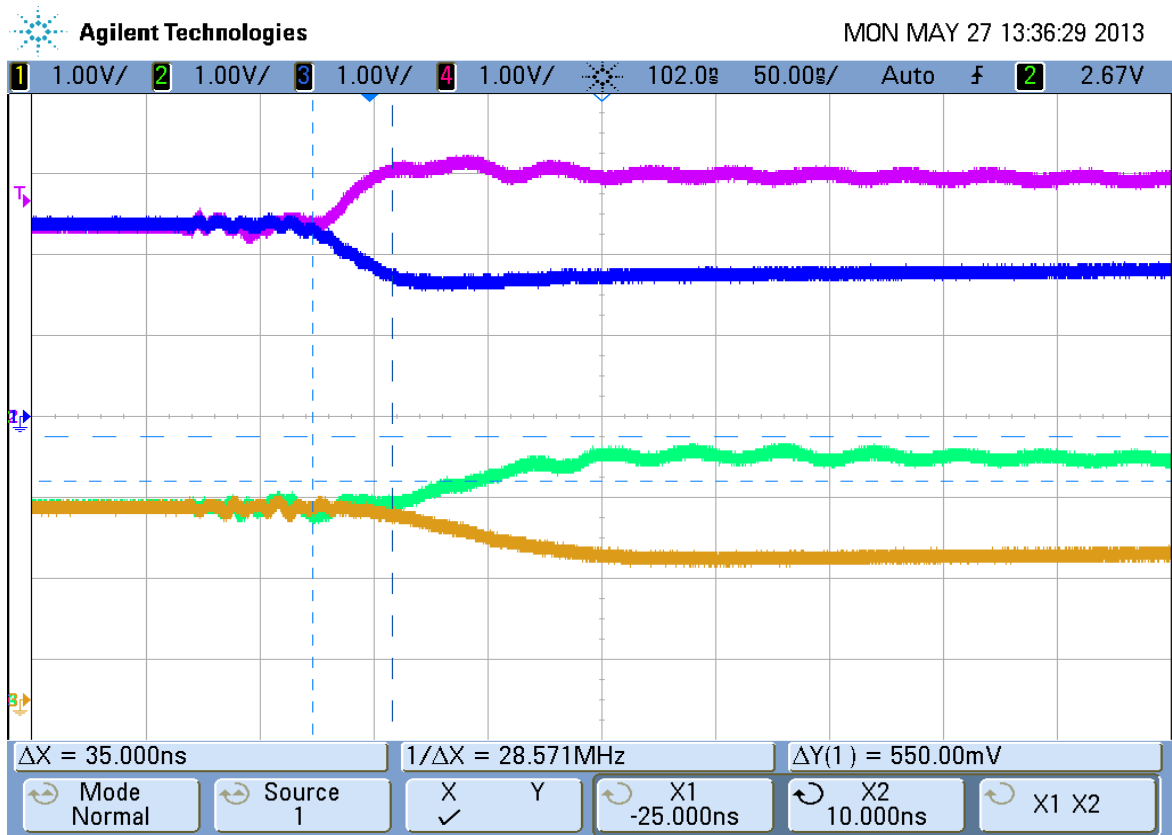
Příloha G: Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu (440 cm, 1 Mbit/s)



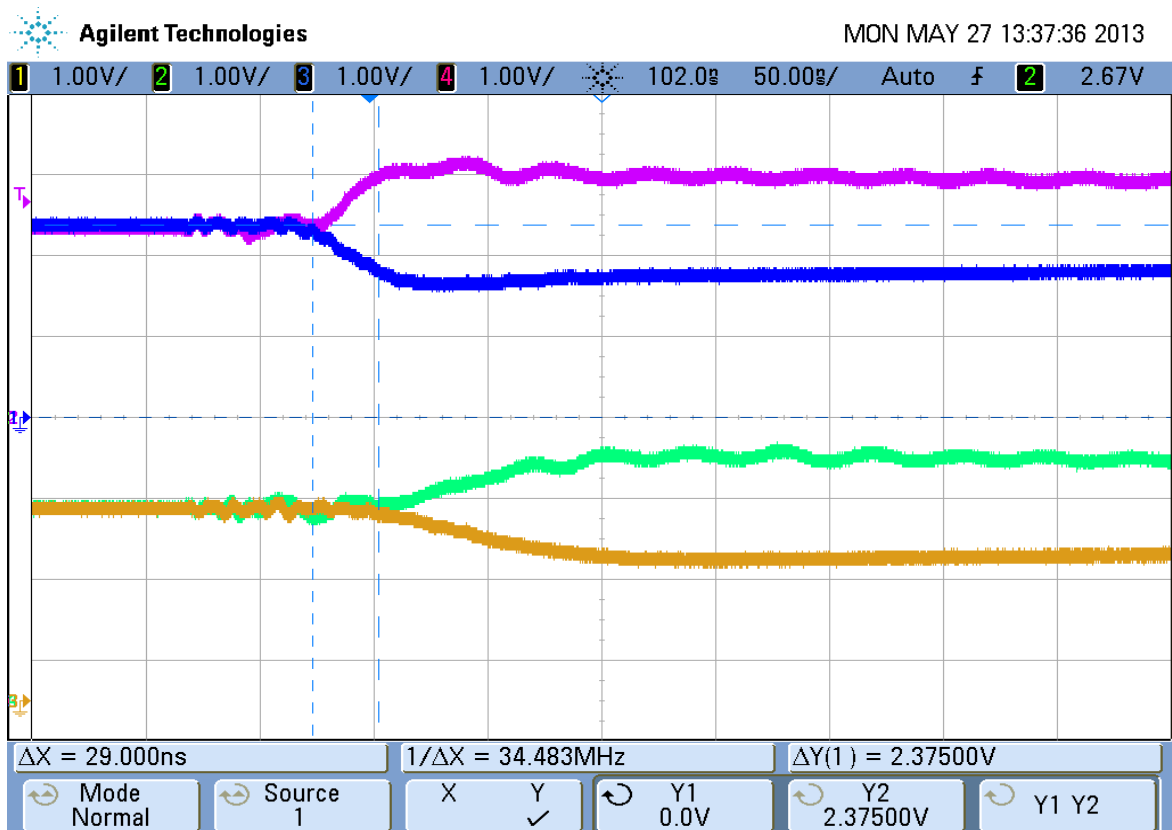
Příloha H: Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu (440 cm, 1 Mbit/s)



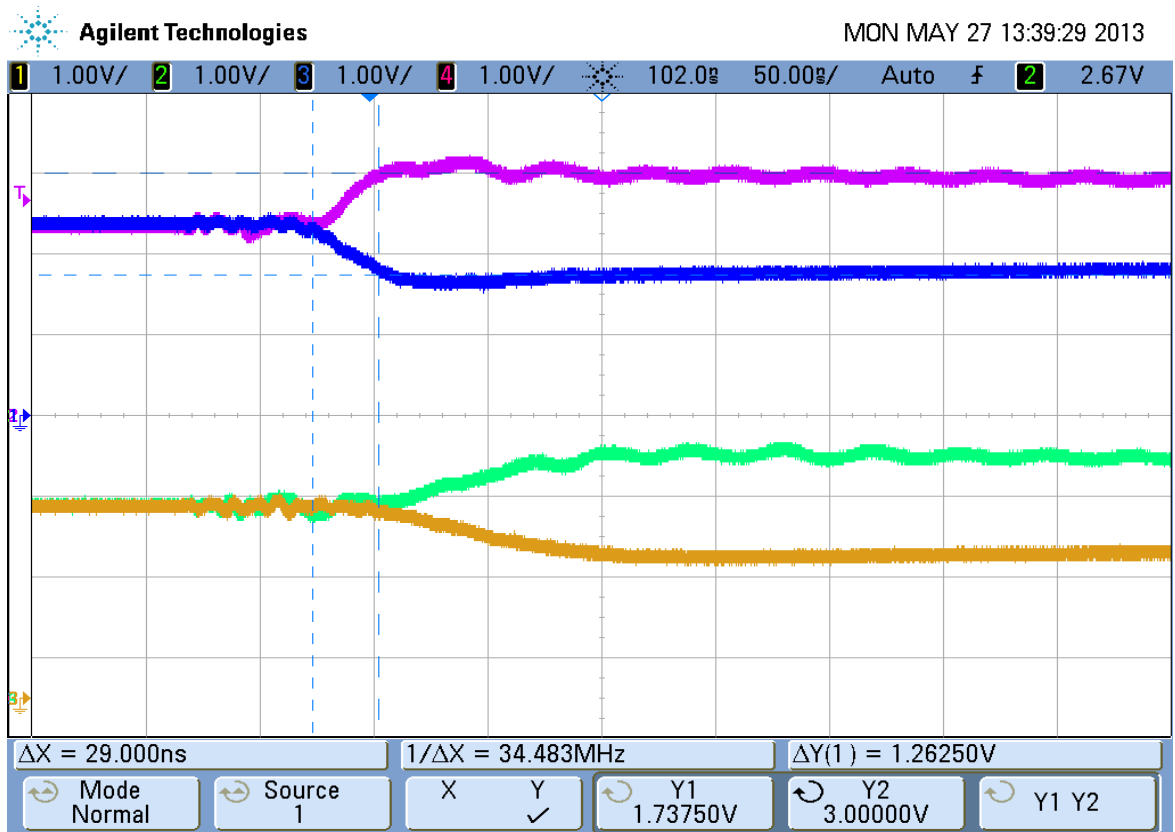
Příloha CH: Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice (440 cm, 250 kbit/s)



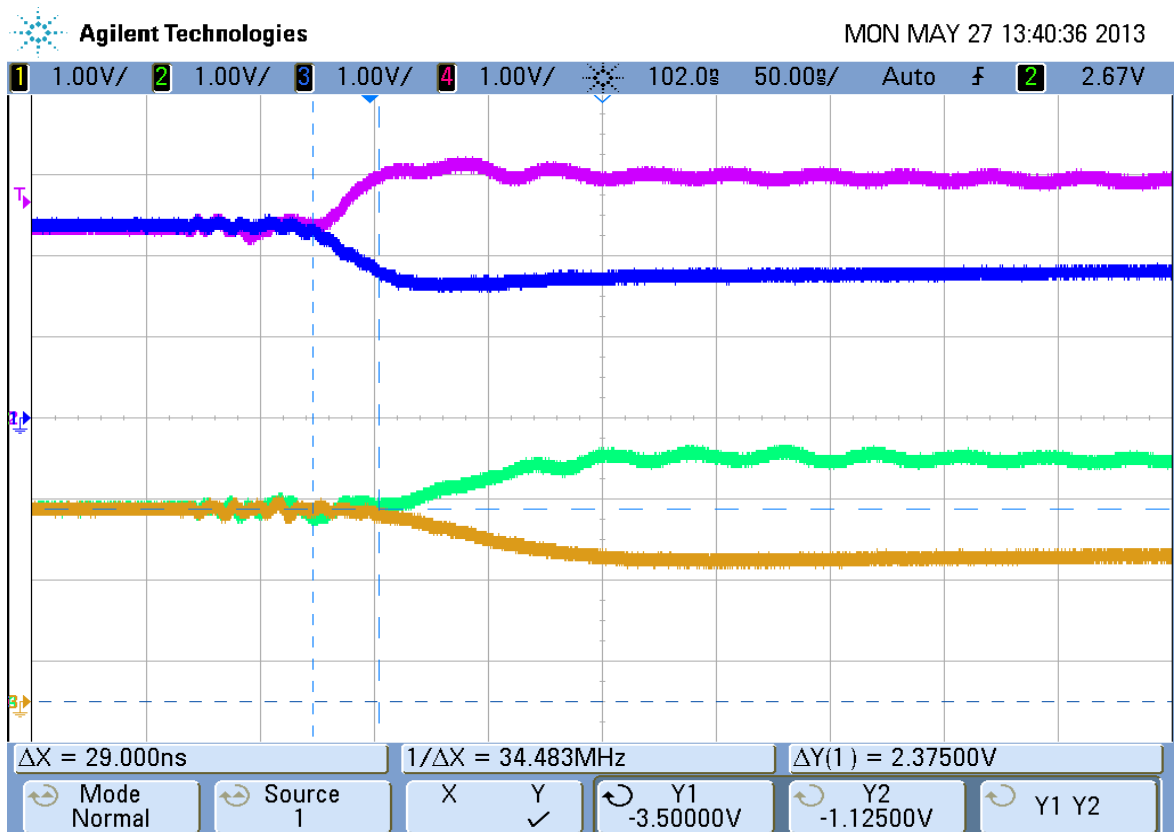
Příloha I: Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 250 kbit/s)



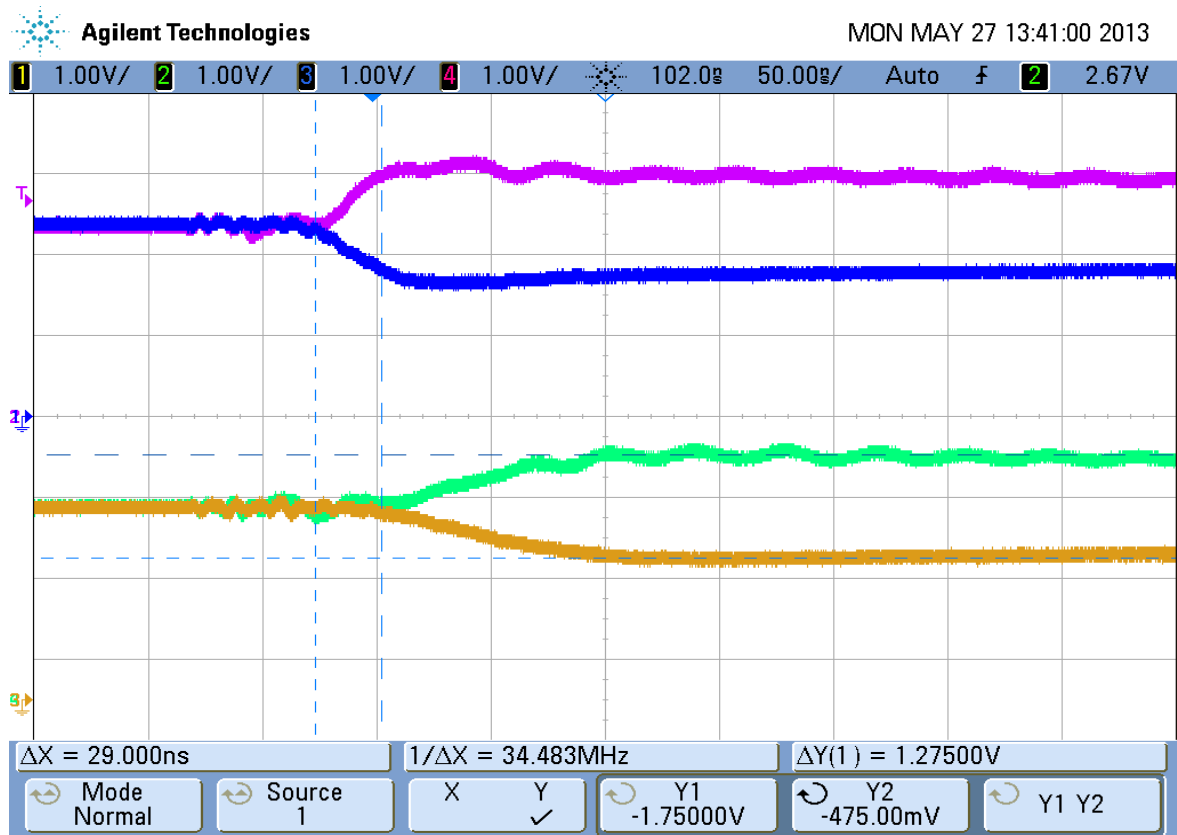
Příloha J: Diferenční napětí na začátku sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 250 kbit/s)



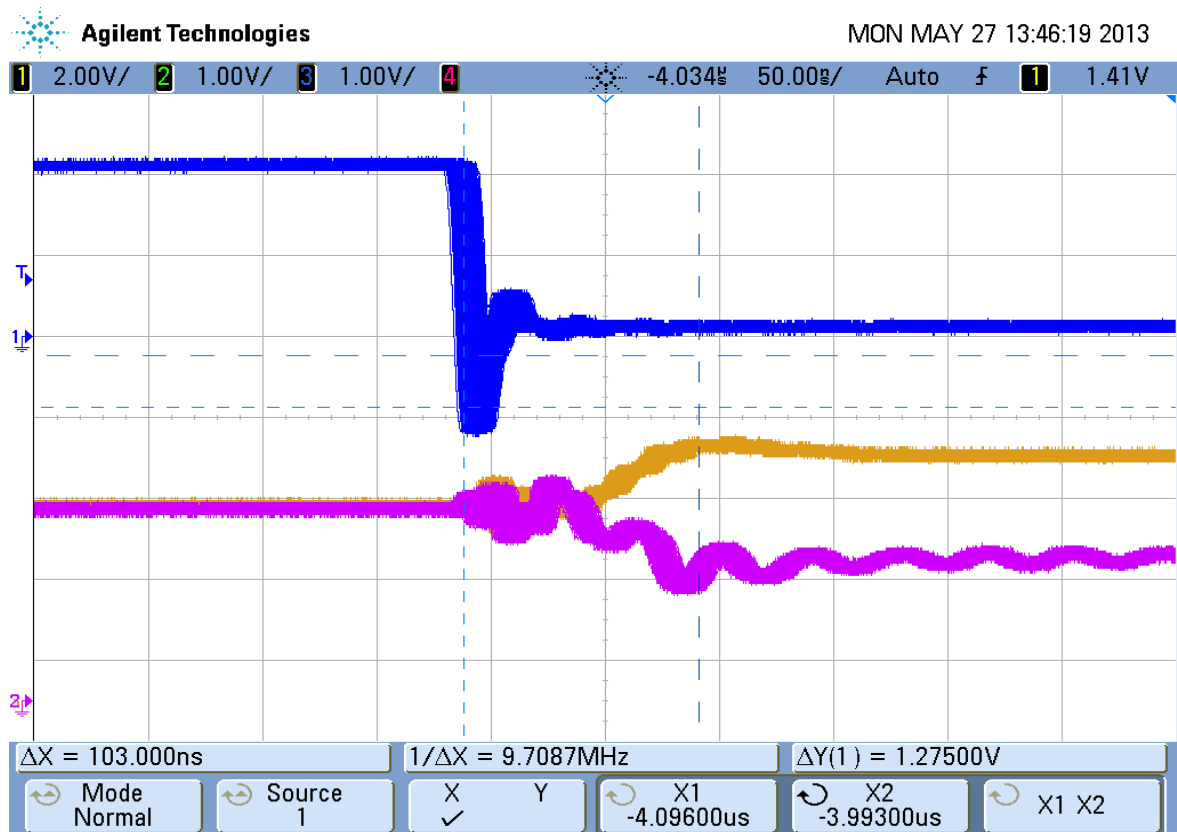
Příloha K: Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu (440 cm, 250 kbit/s)



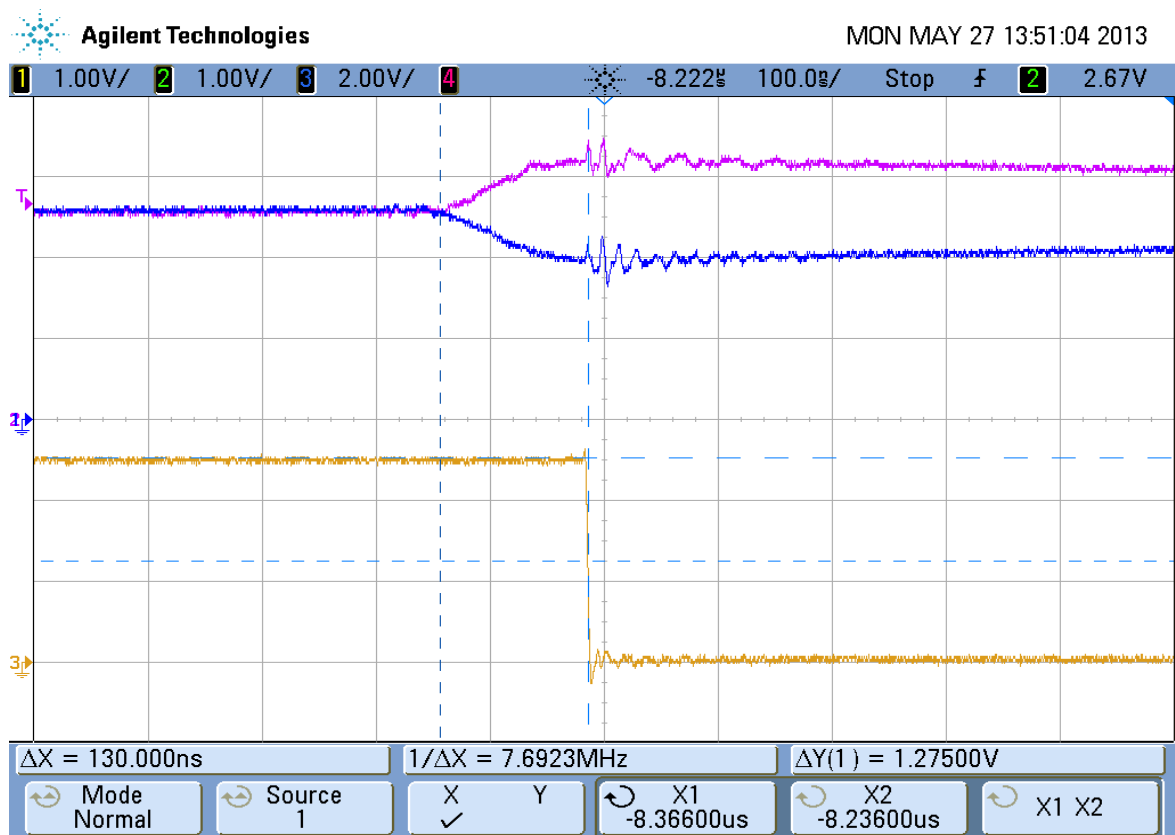
Příloha L: Diferenční napětí na konci sběrnice v dominantním stavu (440 cm, 250 kbit/s)



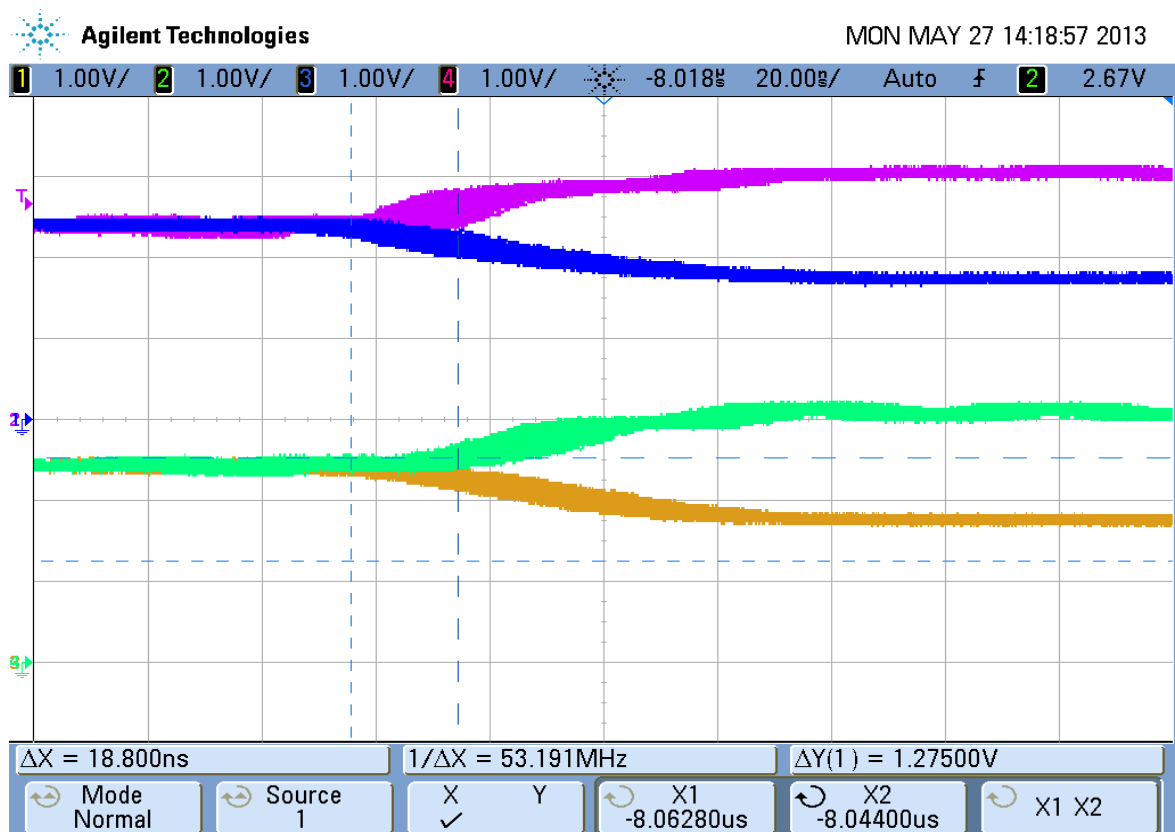
Příloha M: Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu (440 cm, 250 kbit/s)



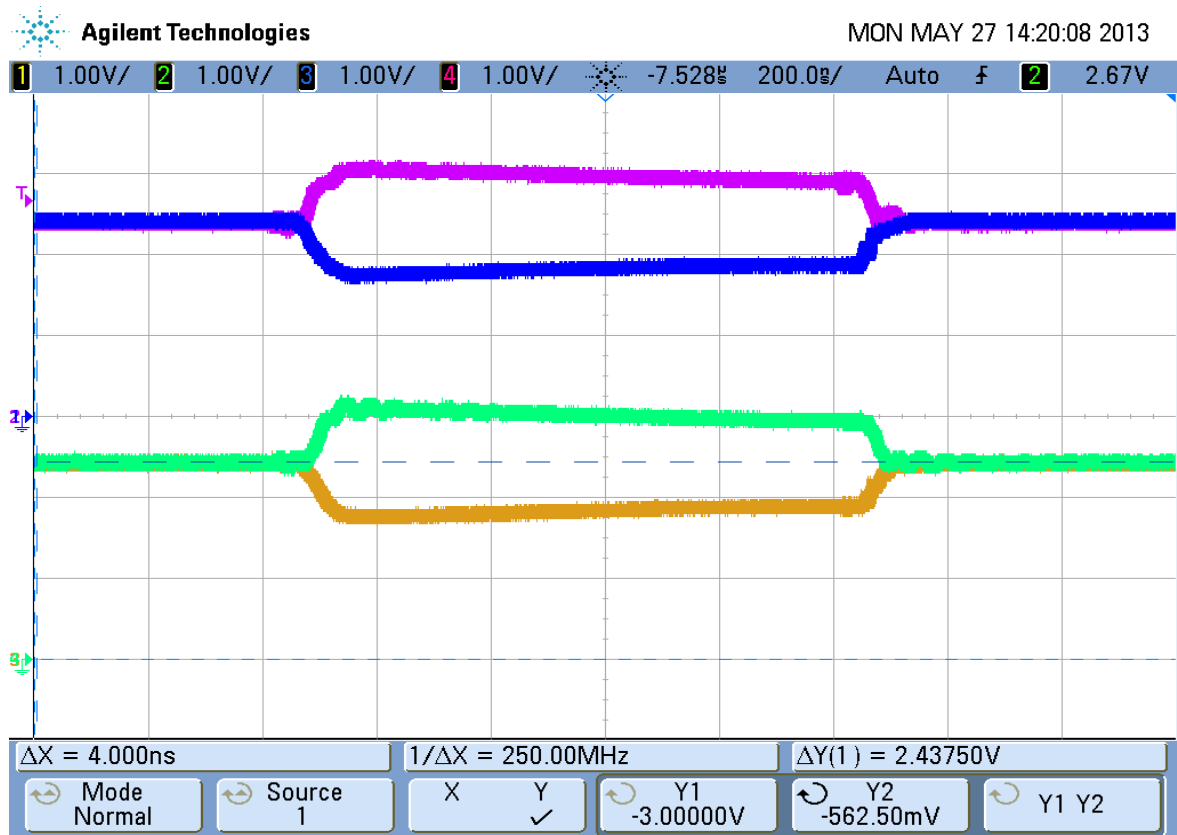
Příloha N: Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu (440 cm, 250 kbit/s)



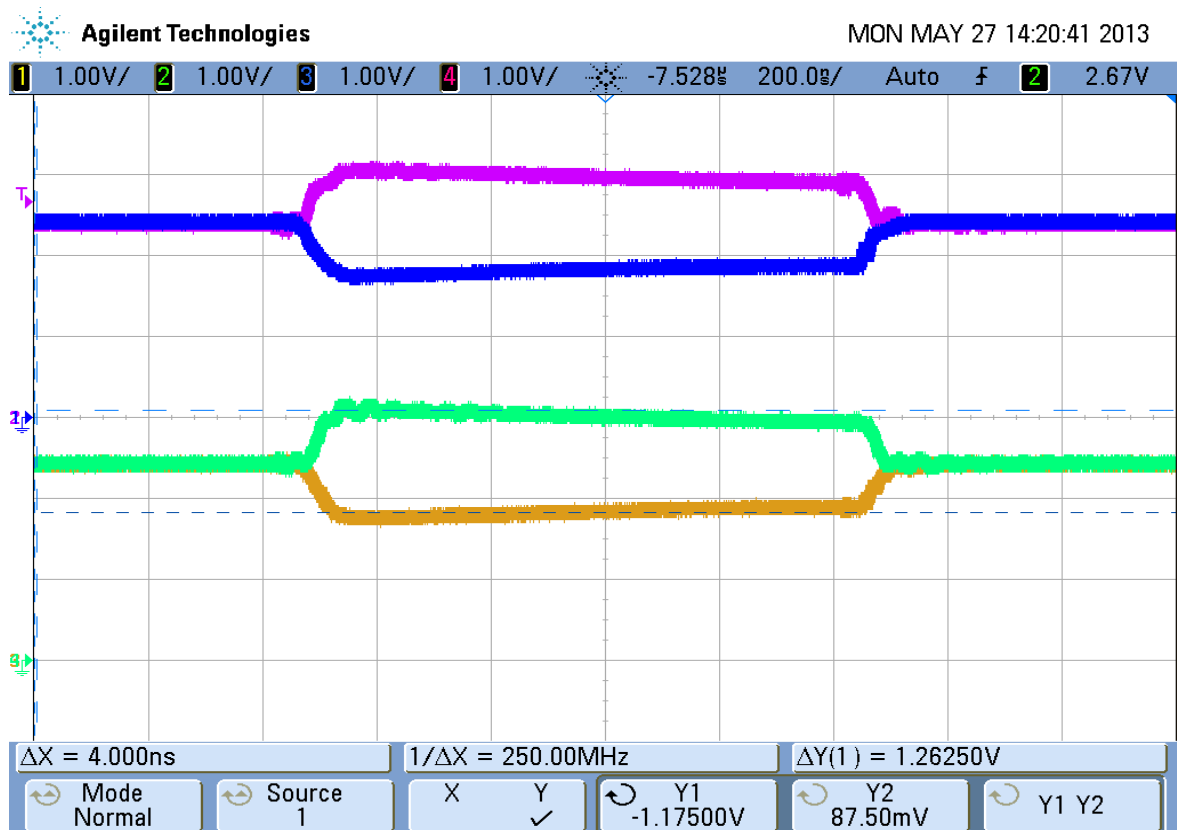
Příloha O: Zpoždění signálu mezi začátkem a koncem sběrnice (30 cm, 1 Mbit/s)



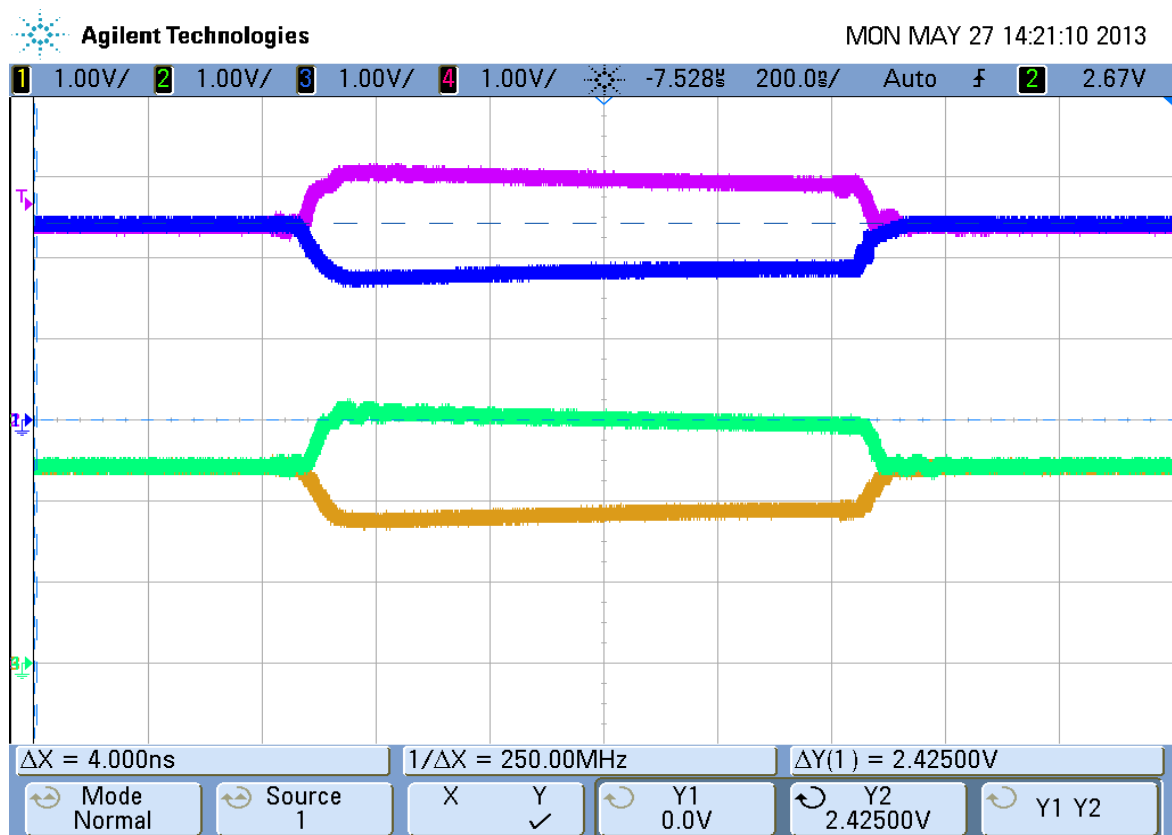
Příloha P: Napětí na konci sběrnice v recesivním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)



Příloha Q: Diferenční napětí na konci sběrnice v dominantním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)



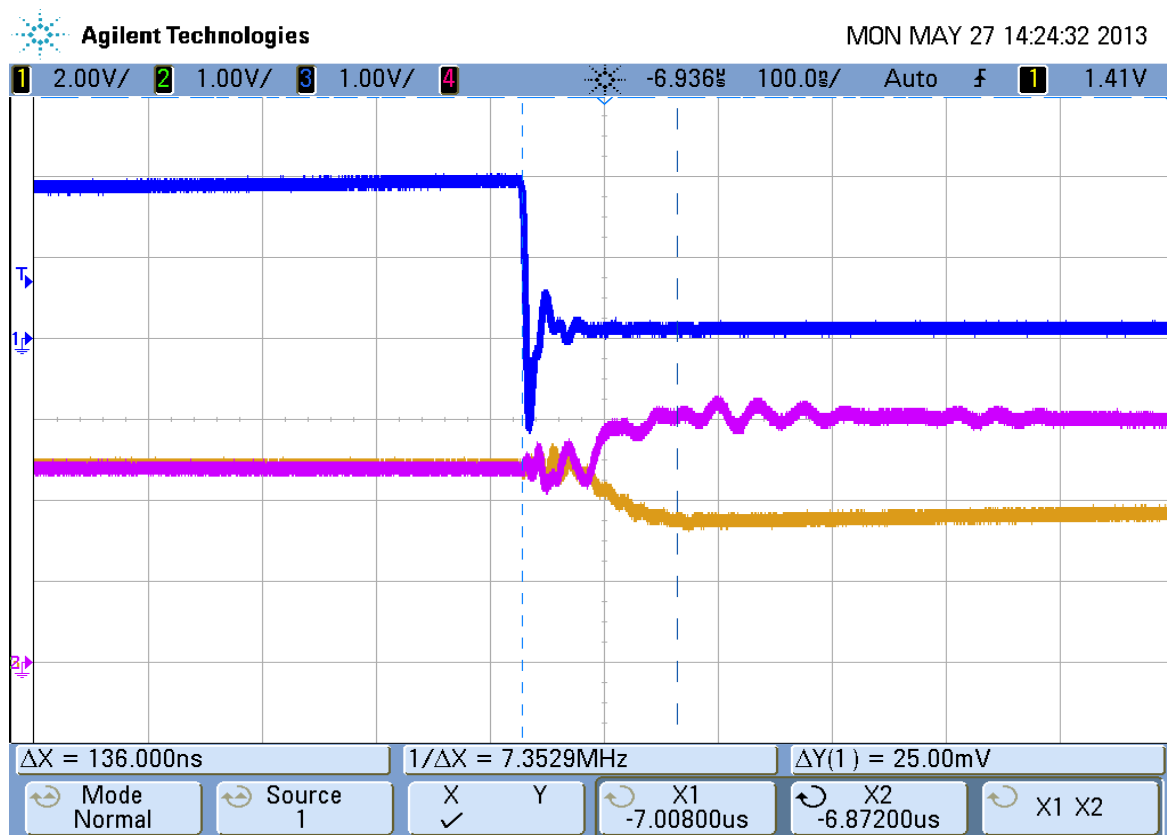
Příloha R: Napětí na začátku sběrnice v recesivním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)



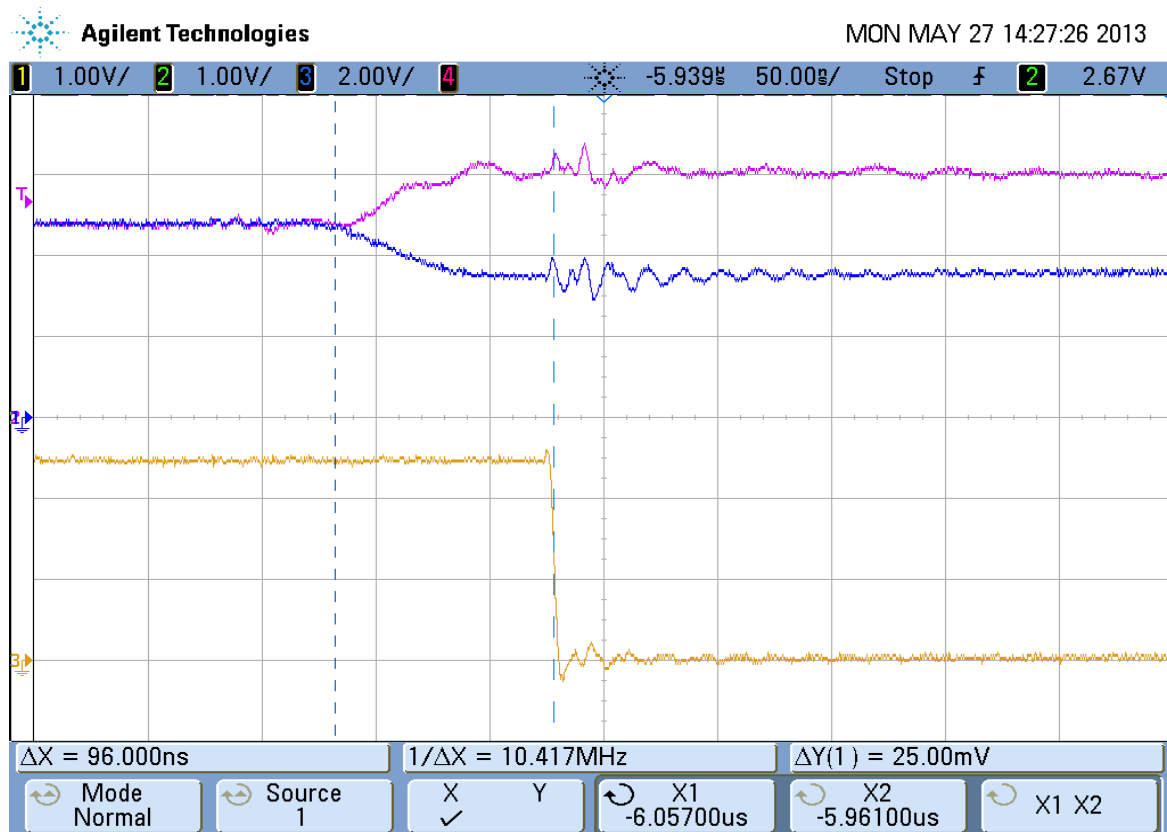
Příloha S: Diferenční napětí na začátku sběrnice v dominantním stavu (30 cm, 1 Mbit/s)



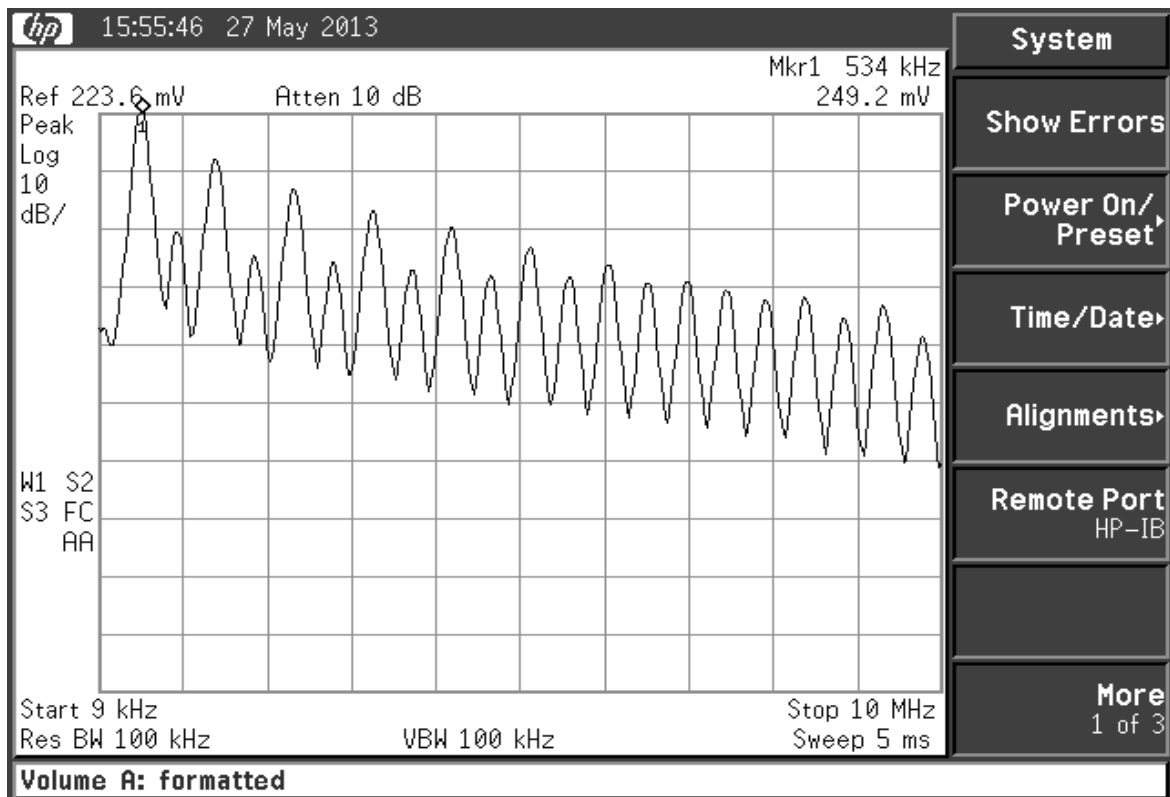
Příloha T: Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem vysílacího uzlu (30 cm, 1 Mbit/s)



Příloha U: Zpoždění signálu mezi vstupem a výstupem přijímacího uzlu (30 cm, 1 Mbit/s)



Příloha V: Spektrum vodiče CAN_H proti zemi měřené od 9 kHz do 10 MHz, první harmonická je na kmitočtu viz Mkr1



Příloha W: Spektrum vodiče CAN_H proti zemi měřené od 8,996 kHz do 100 MHz

