České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Bakalářská práce

Simulátor LVDT senzoru

Vypracoval: Jan Černý
Vedoucí práce: Ing. Libor Waszniowsky
Praha 2007

České vysoké učení technické v Praze, fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

Školní rok: 2006/2007

Zadání bakalářské práce

Student: Jan Černý

Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: Simulátor chování LVDT senzoru

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s principy funkce LVDT senzoru a navrhněte způsob simulace jeho signálů pomocí HW zařízení.
2. Navrhněte a sestavte HW zařízení simulující signály LVDT senzoru. Zařízení bude komunikovat po sběrnici CAN. Implementujte SW pro řídicí mikrokontroler.
3. Ověřte funkci zařízení.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Libor Waszniowski

Datum zadání bakalářské práce: zimní semestr 2006/07

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. 8. 2007

L.S.

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

v zast.

Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze, dne 28. 2. 2007

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze, dne 23. srpna 2007 Jan Černý

Anotace

Tato práce popisuje návrh a implementaci simulátoru LVDT senzoru polohy. Simulátor bude využíván firmou AERO Vodochody jako součást testovací platformy řídícího systému letounu v uzavřené smyčce. Zařízení simuluje chování reálného LVDT senzoru, který sleduje velikost síly v řízení letounu. Simulace je realizována speciálním elektrickým obvodem, který je řízen pomocí mikroprocesoru. Simulátor komunikuje s nadřízeným počítačem přes sběrnici CAN. Zařízení disponuje uživatelským rozhraním umožňujícím jeho konfiguraci a použití i mimo zmíněný testovací systém. Práce obsahuje manuál a technickou dokumentaci k vytvořenému simulátoru.

Annotation

This document describes LVDT displacement sensor simulator. The simulator will be used by AERO Vodochody Company as a part of testing platform. This platform is designed for closed-loop testing of aerial control systems. The device simulates behavior of the real LVDT sensor that is used for measurement of the force in the aircraft's maneuvering control system. The simulation is implemented using a special electrical circuit controlled by the microprocessor. The simulator communicates with the testing platform via CAN bus. A special user interface is implemented to give the user the opportunity to configure and control the device even if it is not connected to CAN bus. This document contains the user manual and the technical documentation for the designed simulator.

Poděkování

Zde bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli cenné rady a pomoc při řešení technických problémů a obtíží při realizaci této bakalářské práce, především Tomáši Urbanovi a Romanu Blahoutovi.

Obsah

1. Úvod ... 7
2. LVDT senzor polohy ... 8
2.1. Princip činnosti ... 8
Typické provozní technické parametry ... 9
2.2. Měřící obvody ... 9
3. Možné varianty realizace simulačního obvodu ... 10
3.1. Mechanické vychylování jádra reálného senzoru ... 10
3.2. Číslicová simulace s využitím mikroprocesoru ... 10
3.3. Simulace analogovým obvodem ... 11
4. Principiální řešení obvodu ... 12
4.1. Řídící část ... 12
4.2. Simulační část ... 13
5. Použité technologie ... 14
5.1. Sběrnice CAN ... 14
5.2. SPI – Serial Peripheral Interface ... 15
5.3. ISP – In-Circuit Serial Programming ... 15
6. Realizace obvodu ... 16
6.1. Napájecí obvod ... 16
6.2. Řídící část ... 16
6.3. Simulační část ... 18
7. Programové vybavení procesoru ... 20
7.1. LPC2000 CAN Driver ... 21
7.2. CAN Administrator ... 21
7.3. UART ... 22
7.4. SPI Handler ... 23
8. Uživatelské pokyny ... 24
8.1. Programování LPC2119 ... 24
8.2. Obsluha terminálu ... 25
9. Závěr ... 28
10. Použitá literatura ... 29
11. Seznam příloh ... 29

1. Úvod

Výsledek této práce bude využit při spolupráci katedry řídící techniky a firmy AERO Vodochody při vývoji testovací platformy řídícího systému letounu v uzavřené smyčce. Tento systém je navržen jako univerzální simulační či měřící platforma, která by měla být využitelná i pro jiné projekty.

Systém pro AERO Vodochody se skládá z platformy pro simulaci modelu fyzikální soustavy v reálném čase, pro simulaci vstupních signálů a měření výstupních signálů řídícího systému. Simulaci a měření signálů budou provádět distribuovaná zařízení navržená speciálně pro signály testovaného řídícího systému. Systém je připraven na budoucí rozšíření o nové typy modulů.

Simulátor LVDT senzoru popsaný v této bakalářské práci představuje v tomto měřícím systému distribuovanou jednotku simulující výstupní signál senzoru síly v řízení letounu. Bude tedy vlastně představovat generátor vstupní veličiny do zmíněného testovacího systému.

V reálných leteckých aplikacích je tento senzor síly realizován pomocí LVDT senzoru polohy. V měřícím systému není použit reálný senzor síly, protože LVDT senzor indikuje výchylku určitého prvku, která je velice malá. Senzor použitý firmou AERO Vodochody má absolutní výchylku přibližně 1,2mm.

Při použití reálného senzoru je přesné nastavení jeho výchylky značně problematické a vyžaduje další dostatečně přesné zařízení pro nastavení požadované hodnoty výchylky. Tato varianta není optimální, a proto byla zvolena simulace senzoru.

Na simulační systém byly kladeny při zadání kladeny následující základní požadavky:

- Systém musí zvládat simulační operace v reálném čase.
- Komunikace s ostatními částmi měřícího řetězce bude probíhat po sběrnici CAN.
- Systém bude mít servisní rozhraní realizované přes rozhraní RS232 umožňující nastavení přenosových parametrů sběrnice CAN a umožňující sledování aktuálního stavu senzoru.

Tento dokument představuje možné varianty řešení simulace LVDT senzoru a dále pak popisuje HW a SW implementaci zvoleného řešení. Přílohou tohoto dokumentu je dokumentace HW i SW části.

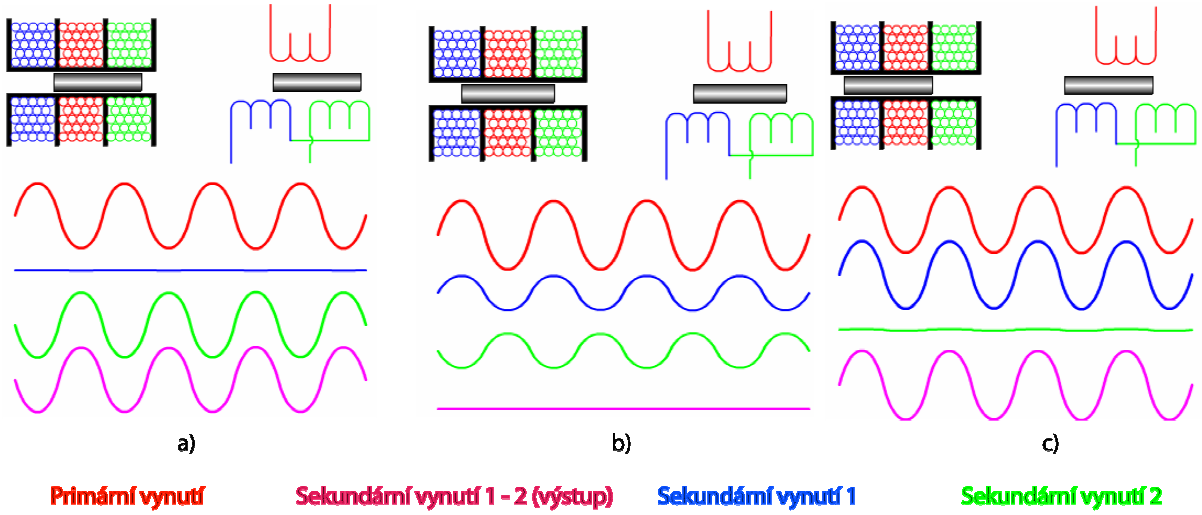
2. LVDT senzor polohy

2.1. Princip činnosti

Základem funkce senzoru je princip sdílení magnetického jádra mezi dvěma malými transformátory. Vstupem senzoru je sinusový budící signál. Při pohybu jádra se mění napěťový poměr na cívkách sekundárního vynutí. Z této hodnoty výstupního napětí jsme schopni poznat výchylku jádra od nulové polohy. LVDT (Linear Variable Differential Transformer) senzor dobře modeluje ideální senzor polohy nultého řádu, kde výstup je lineární funkcí vstupu.

Senzor se skládá z primárního a sekundárního vynutí. Jedná se vlastně o specifický typ transformátoru, a proto vyžaduje na vstupu (primárním vynutí) střídavý budící signál. Sekundární vynutí tvoří dvě cívky zapojené v protifázi. Když je na primární vynutí připojen střídavý budící signál, na cívky sekundárního vynutí se naindukuje napětí. Magnetické jádro mezi primárním a sekundárním vynutím zajišťuje magnetický tok spojující tato vynutí.

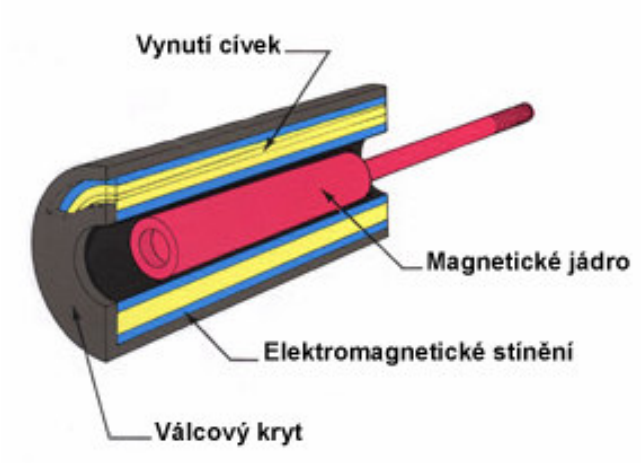
Protože jsou sekundární cívky zapojené v protifázi, mají napětí na nich vůči sobě opačnou polaritu. Pokud je jádro ve středu senzoru (nulová poloha) napětí mají stejnou amplitudu, jejich součet se rovná nule, a tudíž i na výstupu senzoru je nulová hodnota napětí, což je názorně vidět na obrázku 1. Když je jádro vychýleno mimo nulovou polohu, zapříčiní magnetickou nevyváženost, která se projeví na výstupu senzoru určitou hodnotou napětí lineárně úměrnou velikosti vychýlení. Jak je vidět z obrázku 1, pohyb jádra z nulové polohy způsobí to, že napětí na sekundární cívce, směrem ke které se jádro pohybuje, vzrůstá, zatímco na druhé klesá. Na jakou stranu se jádro vychýlilo od nulové polohy se pozná podle fáze výstupního signálu. Jak je vidět z obrázku 1, signál korespondující s výchylkou jádra vpravo má opačnou fázi než signál indikující výchylku vlevo.



Obrázek. 1.: Výstupní napětí a napěťové poměry na jednotlivých vynutí senzoru.
a)maximální výchylka senzoru jedním směrem,
b) nulová poloha,
c) maximální výchylka senzoru druhým směrem
Převzato z http://www.rdpe.com/displacement/lvdt/lvdt-principles.htm

Silná závislost výstupního napětí na pozici jádra umožňuje takovou konstrukci senzoru, která vykazuje vynikající rozlišovací schopnost limitovanou spíše vlastnostmi přidružených obvodů než vlastnostmi měřící metody.

Hlavní výhodou LVDT senzorů oproti jiným typům senzorů polohy je jejich velký stupeň robustnosti. To vyplývá z jejich principu, kde nedochází k fyzickému kontaktu se snímacím elementem a tudíž se snímací element v podstatě neopotřebovává. Tato vlastnost dále umožňuje vytvořit vodotěsný LVDT či použít senzor i pro aplikace v náročných podmínkách.



Obrázek. 2.: Typická konstrukce LVDT senzoru.
Převzato z www.geocities.com/icatercera/lvdt/lvdt.html

Typické provozní technické parametry

Frekvence střídavého budícího signálu: 1 až 10 kHz.
Amplituda střídavého budícího signálu: 0,5 až 10 V (efektivní hodnota).

2.2. Měřící obvody

Při měření pomocí LVDT se na jeho výstup připojují přizpůsobovací obvody, které převedou střídavý výstup senzoru na stejnosměrnou hodnotu napětí. Obvody umí definovat různé průběhy převodních charakteristik. Příkladem takového obvodu je AD698 od firmy Analog Devices.

AD698 obsahuje zdroj sinusového signálu pro buzení primárního vynutí LVDT. V obvodu jsou použity dva synchronní demodulační kanály pro detekci napětí na primárním a sekundárním vynutí. Součástka vydělí hodnotu výstupního napětí sekundárního vynutí vstupním napětím na primárním vynutí a vynásobí ho měřítkem. To eliminuje chybu danou driftem amplitudy budícího signálu a zlepšuje teplotní stabilitu obvodu. Více informací o AD698 je k nalezení v [3.]. Princip synchronní detekce je blíže popsán také v [7.].

Příklady měřících obvodů: AD698, AD598 (Analog Devices)

Bližší informace o těchto přizpůsobovacích obvodech a příklady zapojení jsou k dispozici na stránkách výrobce www.analog.com.

3. Možné varianty realizace simulačního obvodu

3.1. Mechanické vychylování jádra reálného senzoru

V tomto případě by se k senzoru použitému firmou AERO Vodochody připojilo další mechanické zařízení, které by zajistilo požadované vychýlení jádra senzoru. Jako jedna z možností připadá v úvahu vychylování pomocí solenoidní cívky.

Vzhledem k malému zdvihu senzoru by bylo možné použít vychylovací cívky v reproduktoru, která je umístěna v lineárním magnetickém obvodu a má přesně popsanou dynamiku.

Výhodou tohoto přístupu je, že by se pracovalo a měření by probíhalo přímo na reálně použitém senzoru. Projevily by se všechny jeho vlastnosti včetně případných negativních vlastností.

Na druhé straně je zde velký počet obtíží, které je nutné vyřešit při návrhu vychylovacího zařízení. Zařízení by muselo být velmi přesné, což představuje velmi náročné mechanické řešení. Absolutní výchylka senzoru je přibližně 1,2 mm. Vezmeme-li v úvahu, že potřebujeme nastavovat výchylku s přesností řádově na tisíciny milimetru, jsou požadavky na vychylovací soustavu enormně náročné.

3.2. Číslicová simulace s využitím mikroprocesoru

Jako jednodušší varianta se jeví simulace senzoru pomocí elektrického obvodu. Požadavek komunikace zařízení po CAN sběrnici vyústí v použití poměrně výkonného procesoru. Tento procesor by měl z velké části nevyužitou výpočetní kapacitu a simulace by se mohla provádět číslicovou syntézou pomocí použitého mikroprocesoru. Budící signál by se převedl do digitální podoby pomocí AD převodníku, dále by byl zpracován uvnitř procesoru a následně pomocí externího DA převodníku převeden zpět na analogový signál odpovídající výstupu LVDT senzoru s danou výchylkou jádra.

U této varianty odpadá problém komplikované mechanické realizace zařízení. Jsme schopni nastavit výchylku (formovat vstupní signál) na velké množství hodnot pomocí jednoduchého algoritmu.

Problémem tohoto způsobu simulace je zkreslení vznikající při AD a DA převodu. Výsledné zkreslení výstupního signálu by mohlo mít nežádoucí vliv na funkci přizpůsobovacího obvodu pro LVDT senzory, na který se simulátor bude připojovat.

3.3. Simulace analogovým obvodem

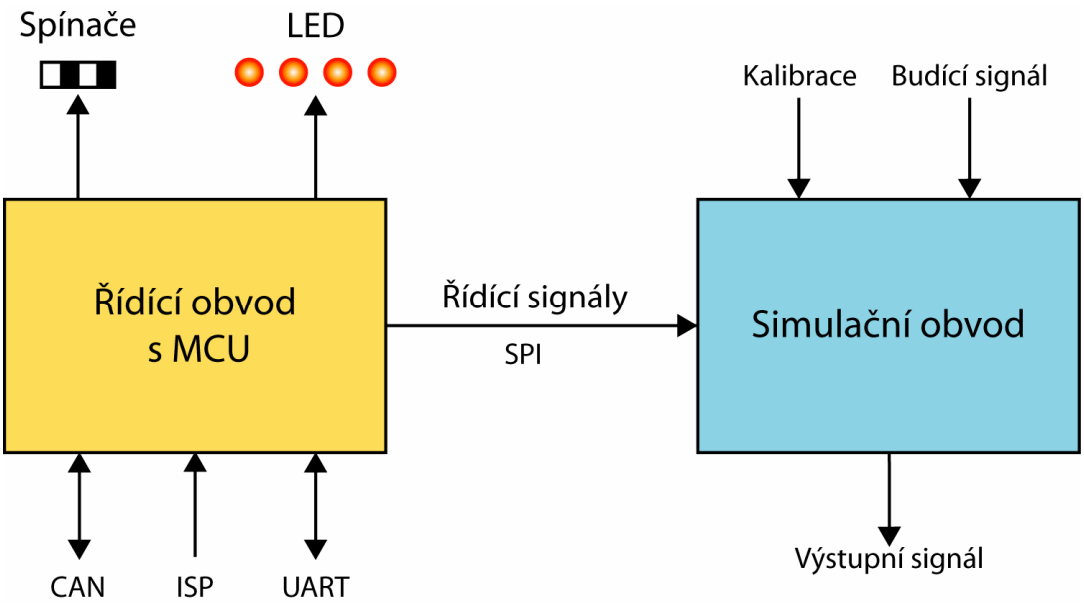
Obvod této varianty se skládá z řídící části s mikroprocesorem a poté simulační analogové části. Simulační část tvoří soustava operačních zesilovačů a digitální potenciometr. Vstupem je budící střídavý signál, který je analogově zpracováván a formován podle požadavku na velikost simulované výchylky. Proces je řízen procesorem v řídící části.

Tímto přístupem k problému odpadá jak problém s náročným mechanickým zpracováním zařízení, tak problém zkreslování budícího signálu při zpracování. Rozlišení simulačního zařízení (tedy počet hodnot výchylky jádra LVDT, které jsme schopni simulovat) je závislý na použitém digitálním potenciometru. Zařízení je schopno simulovat tolik hodnot výchylky, kolik hodnot odporu může být nastaveno na potenciometru.

Tuto variantu jsem zvolil jako nejvhodnější pro řešení daného problému. V obvodu je použit potenciometr AD5235, díky němuž je možné simulovat 1024 hodnot výchylky.

4. Principiální řešení obvodu

Obvod je možné logicky rozdělit do dvou hlavních částí. Řídící (digitální) část tvořenou mikroprocesorem (MCU) a obslužnými obvody, a poté simulační (analogovou) část tvořenou simulačním obvodem. Principiální schéma obvodu názorně ilustruje obrázek 3.



Obrázek 3.: Principiální schéma obvodu.
Kompletní zapojení obvodu je v příloze 1.

4.1. Řídící část

Podívejme se nejprve na řídící část obvodu. Jejím základem je procesor Philips LPC2119. Ten je dále doplněn o obslužné napájecí obvody, přizpůsobovací obvody pro rozhraní RS233 (UART přenos) a pro rozhraní sběrnice CAN.

Pomocí CAN sběrnice komunikuje zařízení s dalšími částmi systému. Komunikace obnáší řídící příkazy pro řízení simulačního obvodu a různé servisní příkazy. Mezi ně patří zejména sledování stavu zařízení, případně jeho aktivity, a sledování aktuálního nastavení simulačního obvodu.

Dále je vyvedeno rozhraní RS232 pro UART přenos. Na tomto rozhraní je definován speciální protokol, který umožňuje provést servisní nastavení obvodu a „manuální“ ovládání obvodu v případě, že z nějakého důvodu nebude dostupné ovládání přes CAN. Pro zprovoznění této komunikace postačuje standardní terminálový program. Rozhraní je dále použito pro sledování aktuálního stavu zařízení. Základní stavy zařízení (zapnuto, aktivní, apod.) jsou také indikovány rozsvícením patřičných LED diod.

Komunikace řídící a simulační části probíhá pomocí rozhraní SPI. Po přijetí požadavku na aktualizaci stavu simulačního obvodu je přes SPI nastavena nová hodnota požadované výchylky.

Řídící obvod dále disponuje dvěma spínači, které se dají použít pro spínání externích signálů (například simulace koncových spínačů dráhy jádra LVDT). Umístění těchto spínačů byl jeden z požadavků zadavatele. Dále je vyvedeno rozhraní ISP (In-circuit Serial Programming), přes které se zavádí program do procesoru. Podrobnosti o ISP budou popsány v kapitole 6.2. ISP a UART jsou připojeny na jeden konektor, čímž je ušetřeno místo na plošném spoji.

4.2. Simulační část

Základem simulační části je obvod tvořený soustavou operačních zesilovačů a digitální dvoukanálový potenciometr AD5235 od firmy Analog Devices. Princip tohoto zapojení je takový, že změnou odporu kanálu AD5235 dochází ke změně výstupního napětí stejným způsobem, jako u reálného LVDT senzoru. Je-li nastaven odpor kanálu na ½ rozsahu je simulována nulová poloha. Zvětšováním (zmenšováním) odporu kanálu je simulována výchylka jádra mimo nulovou polohu. Detaily zapojení jsou blíže specifikovány v kapitole 6.3.

Vstup a výstup simulačního obvodu je vybaven speciálně navrženými oddělovacími transformátory sloužícími ke galvanickému oddělení obvodu od zbytku měřícího systému. Zároveň realizují přizpůsobení, které je nezbytné k tomu, aby bylo možné simulátor senzoru připojit k přizpůsobovacím obvodům pro LVDT senzory (například AD698).

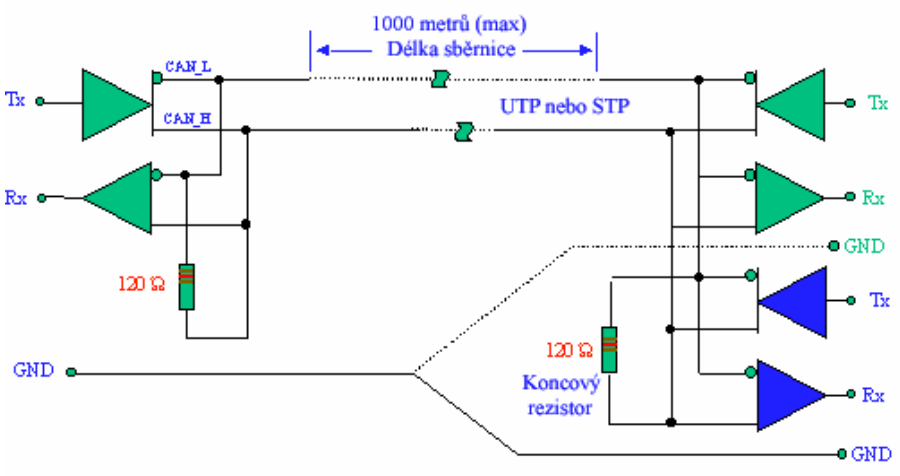
Dalším vstupem obvodu je kalibrace sloužící k přesnému doladění nulové polohy, respektive k eliminaci chyby způsobené konečným rozlišením potenciometru AD5235.

Simulační část je ovládána řídícím mikroprocesorem přes SPI rozhraní. Pomocí SPI je ovládán přímo AD5235. Ten je kromě schopnosti nastavit určitou hodnotu odporu na dvou kanálech vybaven dalšími užitečnými funkcemi. Mezi ně patří hlavně možnost uložit použité hodnoty odporu a další servisní údaje do 16 bitové EEPROM a tak uchovat důležité hodnoty i po odpojení napájení bez nutnosti použít další externí součástky. Podrobnosti o AD5235 jsou k dispozici v [4.]..

5. Použité technologie

5.1. Sběrnice CAN

Controll Area Network (CAN) definuje linkovou vrstvu na fyzické vrstvě definované normou ISO 11898. Sběrnice CAN je dvouvodičové rozhraní fungující jak na kabelech typu stíněný (STP), tak nestíněný (UTP) kroucený pár. CAN je možné zprovoznit i na vícežilových kabelech. Elektrické zapojené CAN sběrnice je znázorněno na obrázku 4. Na sběrnici je použito NRZ (Non Return to Zero) bitové kódování (s bitovým stuffingem). Využití NRZ kódování zaručuje kompaktní zprávy s minimálním počtem přenosů a velkou odolností vůči vnějšímu rušení.



Obrázek 4.: Obvod elektrického rozhraní sběrnice CAN.
Převzato z http://www.interfacebus.com/Design_Connector_CAN.html

Pro sběrnici je definována řada hodnot přenosových rychlostí, od 10 kpbs (minimální hodnota) až po 1 Mbps (maximální hodnota). Všechny moduly musí podporovat rychlost 20 kpbs. Přenosová rychlost závisí na délce použitého vedení. Maximální délka sběrnice je 1 km. Pro rychlost 1 Mbps je maximální délka vodičů limitována na 40 m. Na každém konci vedení jsou použity zakončovací rezistory.

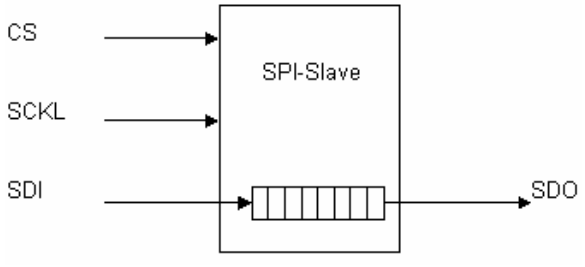
Rozhraní CANu využívá asynchronní přenos kontrolovaný start a stop bity na konci každého bytu. Informace jsou předávány mezi vysílačem a přijímačem v datových rámcích. Jak je znázorněno na obrázku 5, rámec se skládá z následujících částí: Arbitration, Control, DATA, CRC a ACK. Rámec začíná bitem SOF (Start of frame) a je ukončen bitem EOF (End of frame). Rámce jsou zabezpečeny cyklickým CRC kódem. CAN implementuje 5 mechanismů detekce chyb: 3 na úrovni zpráv a 2 na bitové úrovni.

Obrázek 5.: Schéma CAN rámce.
Převzato z http://www.interfacebus.com/Design_Connector_CAN.html

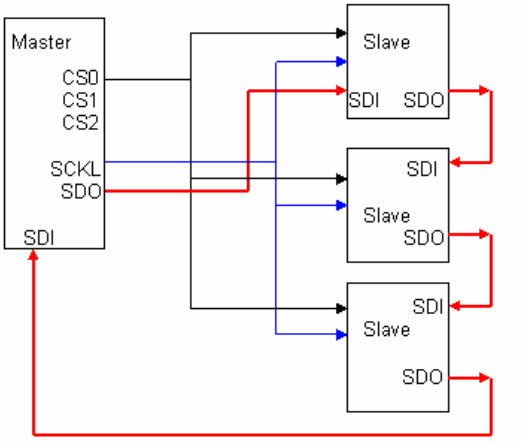
V rámci této práce je rozhraní CAN implementováno přímo v procesoru LPC2119. Pro přizpůsobení pinů Tx a Rx na normované logické úrovně CAN_H a CAN_L je použit obvod PCA82C250. Detaily viz kapitola 6.2. Více informací o sběrnici CAN je možné získat z [9.].

5.2. SPI – Serial Peripheral Interface

Rozhraní SPI je využíváno především pro synchronní komunikaci mezi řídícím procesorem a různými periferními zařízeními. Standardní konfigurace pro podřízená (slave) zařízení využívá dva řídící a dva datové vodiče, viz obrázek 6. Datový výstup SDO sloužící ke zpětnému čtení dat z SPI periferie dovoluje také řadit zařízení kaskádovitě za sebe. V tomto případě datový výstup jednoho zařízení slouží jako vstup dalšího.



Obrázek 6.: SPI slave zařízení.



Obrázek 7.: Kaskádní řazení více SPI slavů.

SPI funguje v master a slave módu. Master zařízení generuje hodinový signál a zároveň aktivuje (deaktivuje) slavy, se kterými chce komunikovat. Slave zařízení obdrží od mastera hodinový signál a signál chip select. Pokud SPI zařízení není vybráno (aktivní), jeho datový výstup se přepne do stavu vysoké impedance, tudíž nekoliduje se signály aktivních zařízení. Při kaskádovitém řazení se více zařízení chová jako jeden slave, a proto jsou připojeny všechny na stejný signál chip select.

Více informací ohledně SPI lze získat například na [8.].

5.3. ISP – In-Circuit Serial Programming

ISP je technologie umožňující programování součástek jako jsou mikroprocesory apod., které jsou již osazené na nějaké desce plošného spoje. Bez použití této technologie by se musel procesor odpájet z plošného spoje, naprogramovat v programátoru a poté znovu přiletovat.

U procesoru LPC2119 je ISP vyvedeno na stejných pinech jako UART0. Pokud chceme ISP zprovoznit, je potřeba připojit tyto piny na přizpůsobovací obvod MAX232 pro rozhraní RS232. Firma Philips vyvinula bezplatný software, LPC2000 Flash Utility, pro programování svých procesorů přes ISP. Použití tohoto programu představuje jednoduchý a pohodlný způsob programování.

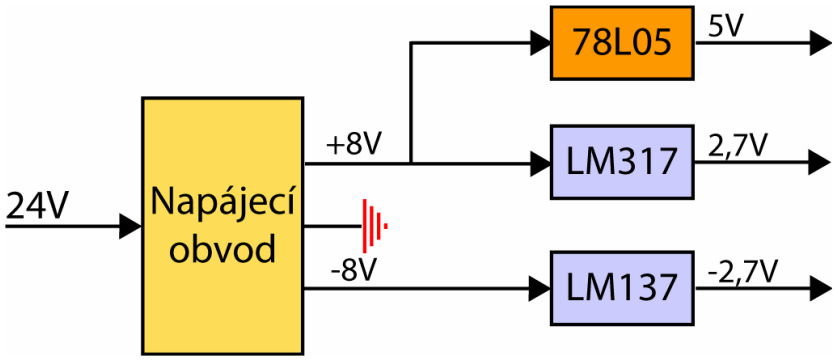
Podrobnější informace jsou dostupné v manuálu k LPC2119 [1.], který je přílohou této práce. Pokyny pro práci s LCP2000 Flash Utility jsou popsány v kapitole 8.1 nebo v přiloženém manuálu.

6. Realizace obvodu

Detaily zapojení obvodu jsou obsaženy příloze v 1. Obvod je navržen pro budící střídavý signál o maximální efektivní hodnotě 2,8 V a s frekvencí v rozmezí 2 – 5 kHz.

6.1. Napájecí obvod

Obě části, jak řídící tak simulační, jsou realizovány na jednom plošném spoji. Celé zařízení je napájeno ze sběrnice CAN stejnosměrným napětím 24 V. Z tohoto napětí se pomocí napájecí obvodu, obsahující DC-DC měnič Aimtec AM5T-2415D-NZ, vytvoří napětí ±8 V (obvod je blíže popsán v příloze 1). Toto napětí je poté ještě upraveno napěťovými stabilizátory LM317 a LM137 na hodnoty +2,7 V a -2,7 V. Na kladnou napájecí větev je dále připojen napěťový stabilizátor 78L05 poskytující na výstupu napětí o hodnotě +5 V. Napětí 2,7 V v kladné i záporné větvi (podrobné schéma obvodu je nakresleno v příloze 1) je použito pro napájení simulačního obvodu. Napětí +5V je použito pro napájení digitální řídící části obvodu. Napájecí obvod ilustruje názorně obrázek 8.



Obrázek 8.:Blokové schéma napájecího obvodu.

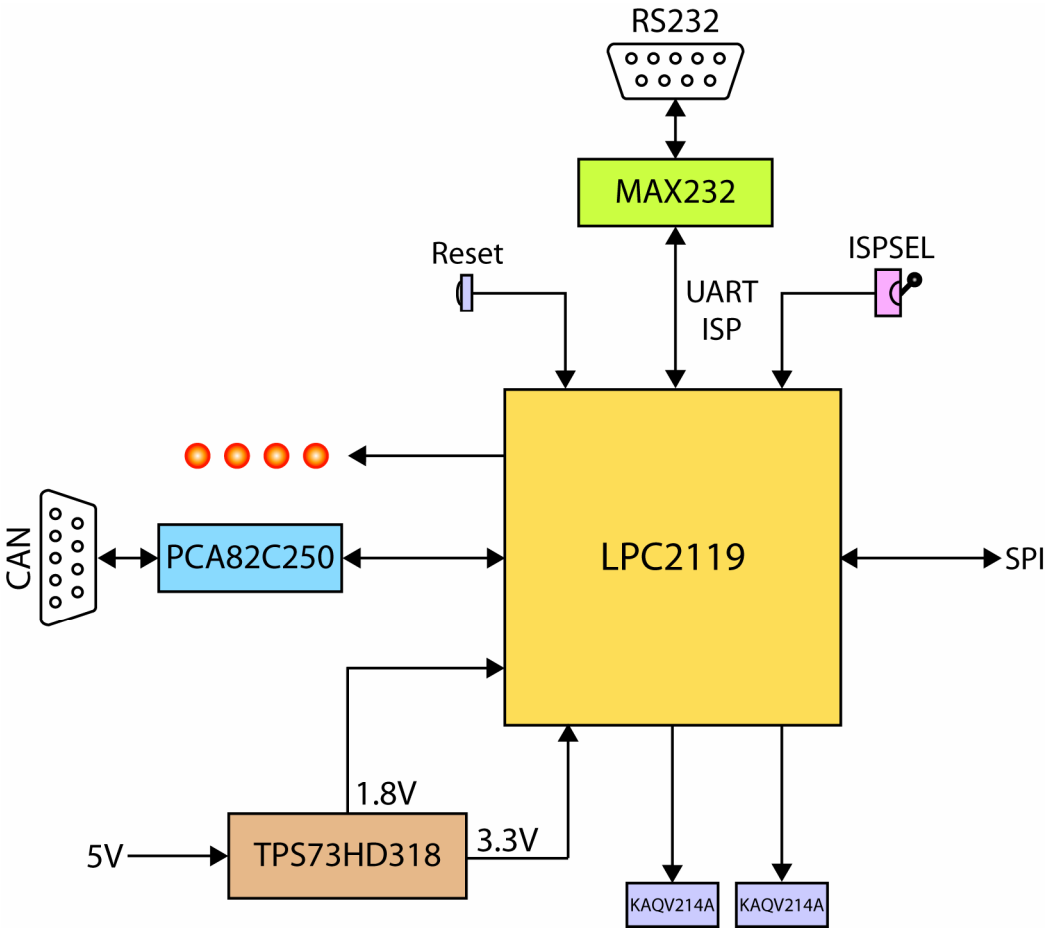
V průběhu oživování obvodu jsem se potýkal s problémem, že stabilizátor LM317 stabilizoval na nesprávnou hodnotu napětí i přesto, že k němu byly spočítány správné hodnoty odporů. Nakonec se ukázalo, že simulační obvod, pro který je tento stabilizátor použit, představuje velmi malou zátěž, řádově jednotky mA. Za těchto okolností nemusí fungovat stabilizátor spolehlivě a u LM317 se tento problém projevil. Řešení je vcelku jednoduché. Stačí zvětšit zátěž stabilizátoru. V mém případě jsem připojil k oběma stabilizátorům zátěž přibližně 600 Ω.

6.2. Řídící část

Srdcem řídící části je, jak už bylo dříve zmíněno, mikroprocesor Philips LPC2119. Na něj jsou připojené různé obslužné obvody a přizpůsobovací obvody rozhraní použitých technologií. Procesor je dále vybaven čtyřmi LED diodami pro indikaci základních provozních stavů. Obrázek 9 ukazuje blokové schéma řídící části, na němž je názorně vidět, jak je tento obvod uspořádán.

Procesor vyžaduje dvě **napájecí úrovně**, a to **1,8 V** a **3,3 V**. Pro vytvoření těchto napěťových úrovní je použit speciální napěťový stabilizátor **TPS73HD318** od firmy Texas Instruments. Pro

správnou funkci tohoto integrovaného obvodu je potřeba zajistit konstantní úroveň napájecího napětí, a to 5 V. Napětí 5 V je vytvořeno stabilizátorem 78L05 uvedeným v obrázku 8.



Obrázek 9.: Blokové schéma řídící části simulačního zařízení.

Procesor je vybaven pro budoucí využití dvěma **optickými spínači KAQV214A**. V použitém zapojení je každý spínač schopen sepnout napětí 400V AC/DC při maximální zátěži 130 mA. Bližší informace o součástce je možné dohledat v příslušném datasheetu, který je přiložen k této práci.

Program se do procesoru nahrává pomocí **ISP zavaděče (zařízení implementované přímo v LPC2119)**, který se aktivuje přepínačem ISPSEL. Detaily programování jsou popsány v kapitole 8.1.

Na **rozhraní RS232** je definován speciální servisní protokol. K používání tohoto protokolu postačí standardní terminál. Přesto doporučuji používat přiložený terminál Hercules, protože poskytuje lepší uživatelský komfort a informace se budou vždy zobrazovat ve správném formátu.
Bližší popis servisního protokolu je možné najít v kapitole 7.3.
Rozhraní RS232 také slouží, jak již bylo zmíněno, ke sledování aktuálního stavu zařízení.

Parametry UART přenosu:

- Přenosová rychlost 19200 baudů
- 1 stop bit, žádná parita, žádné řízení toku, velikost dat 8 bitů

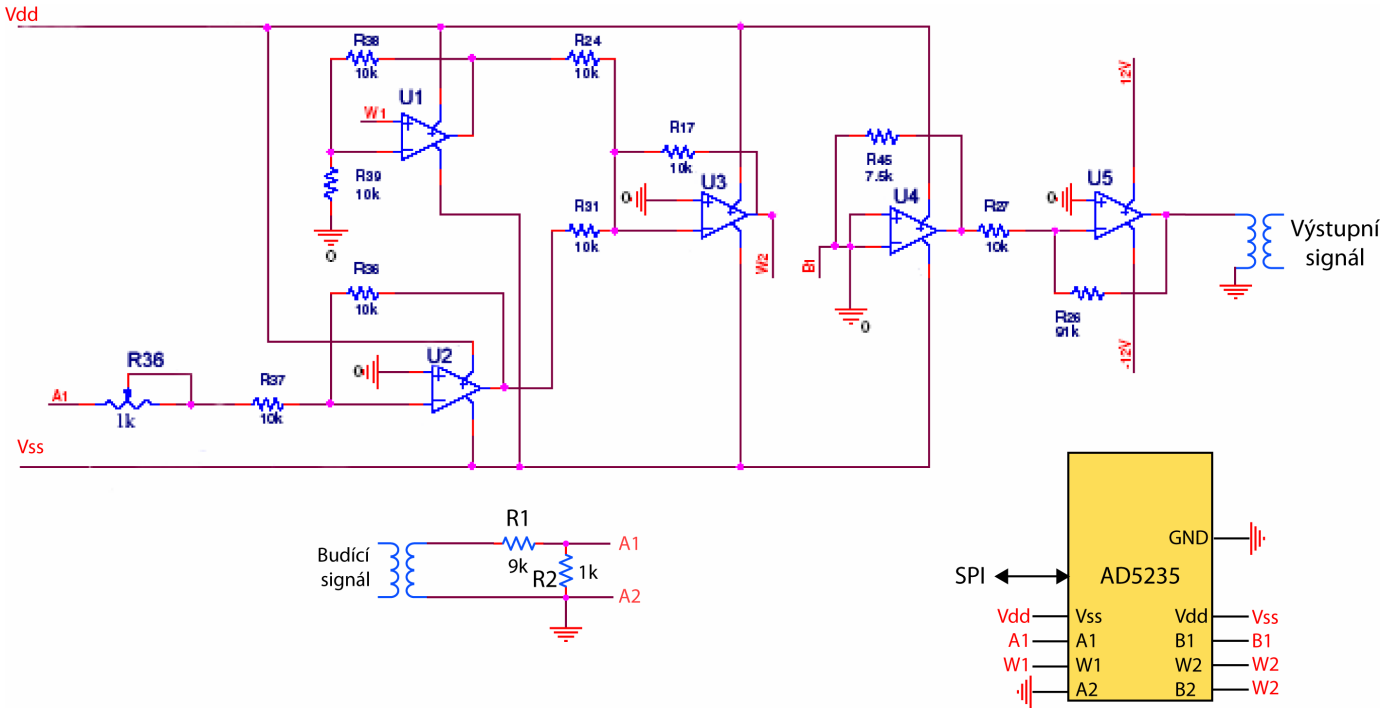
Komunikace řídící části se zbytkem měřícího systému probíhá přes sběrnici **CAN**. Pro tu je v obvodu použit speciální převodník **PCA82C250** od firmy Philips. Procesor zpracovává pouze rámce s předem definovanými ID (11 bitové ID). Tyto ID se dají nastavit přes sériové rozhraní. Typy rámců a jejich struktura je blíže popsána v kapitole 7.2.

Procesor se simulační částí komunikuje přes **rozhraní SPI**. LPC2119 je nastaven jako master, určuje tedy parametry komunikace, a AD5235 je nastaven jako slave. Na procesor jsou napojeny všechny řídící piny potenciometru AD5235, a tím je mu umožněno řídit úplně všechny funkce potenciometru AD5235 sloužícího také jako zálohovací paměť nastavených provozních hodnot sběrnice CAN. Detaily SPI komunikace jsou popsány v kapitole 7.4.

Detaily zapojení jsou k nalezení v příloze 1.

6.3. Simulační část

Simulační obvod je tvořen soustavou čtyř operačních zesilovačů a dvoukanálovým digitálním potenciometrem AD5235. Principiální schéma tohoto zapojení ilustruje obrázek 10.



Obrázek 10.: Principiální schéma simulačního obvodu.

Obvod je na vstupu a výstupu osazen malými oddělovacími transformátory s následujícími parametry:

- Převod 1:1
- Izolační napětí 100 V
- Impedance 140Ω při 3 kHz
- Provedení SMD

Tyto transformátory slouží jako přizpůsobení pro externí obvody typu AD698 apod. Díky nim se simulační obvod chová navenek jako reálný LVDT senzor.

Nyní přejděme k vysvětlení principu činnosti simulačního obvodu. Na vstup obvodu je přiveden budící signál. Ten je desetkrát zeslaben, aby se operační zesilovače nedostaly do saturace. Operační zesilovače jsou napájeny stejným napětím jako AD5235 (±2,7V, což je maximum potenciometru).

Obvod je dále tvořen dvěma větvemi, z nichž jednu tvoří invertující zesilovač se zesílením 1 (na obrázku 12 větev s OZ U2). Ve druhé větvi (OZ U1) je na vstup U1 připojen kanál A digitálního potenciometru. Operační zesilovač U3 je součtový zesilovač sčítající napětí předchozích dvou větví. Pokud je na A kanálu potenciometru nastavena polovina odporového rozsahu, výstupní napětí na U3 je rovno nule. Je-li odpor kanálu A nastaven do krajní polohy, je na výstupu U3 napětí rovno napětí U_{R2} respektive $-U_{R2}$. Na vstup zesilovač U4 je připojen 2. kanál Ad5235, který umožňuje regulovat úroveň výstupního signálu oproti vstupnímu. Na výstupu simulačního obvodu je díky němu možno nastavit úroveň výstupního signálu na hodnotu 0,3 až teoreticky 125 násobek úrovně vstupního signálu. Prakticky je velikost výstupního signálu omezena saturačním napětím operačního zesilovače U5, tedy přibližně na ± 1,2 V. Zesilovač U5 nakonec zesílí upravený signál desetinásobně (na vstupu byl signál zeslaben).

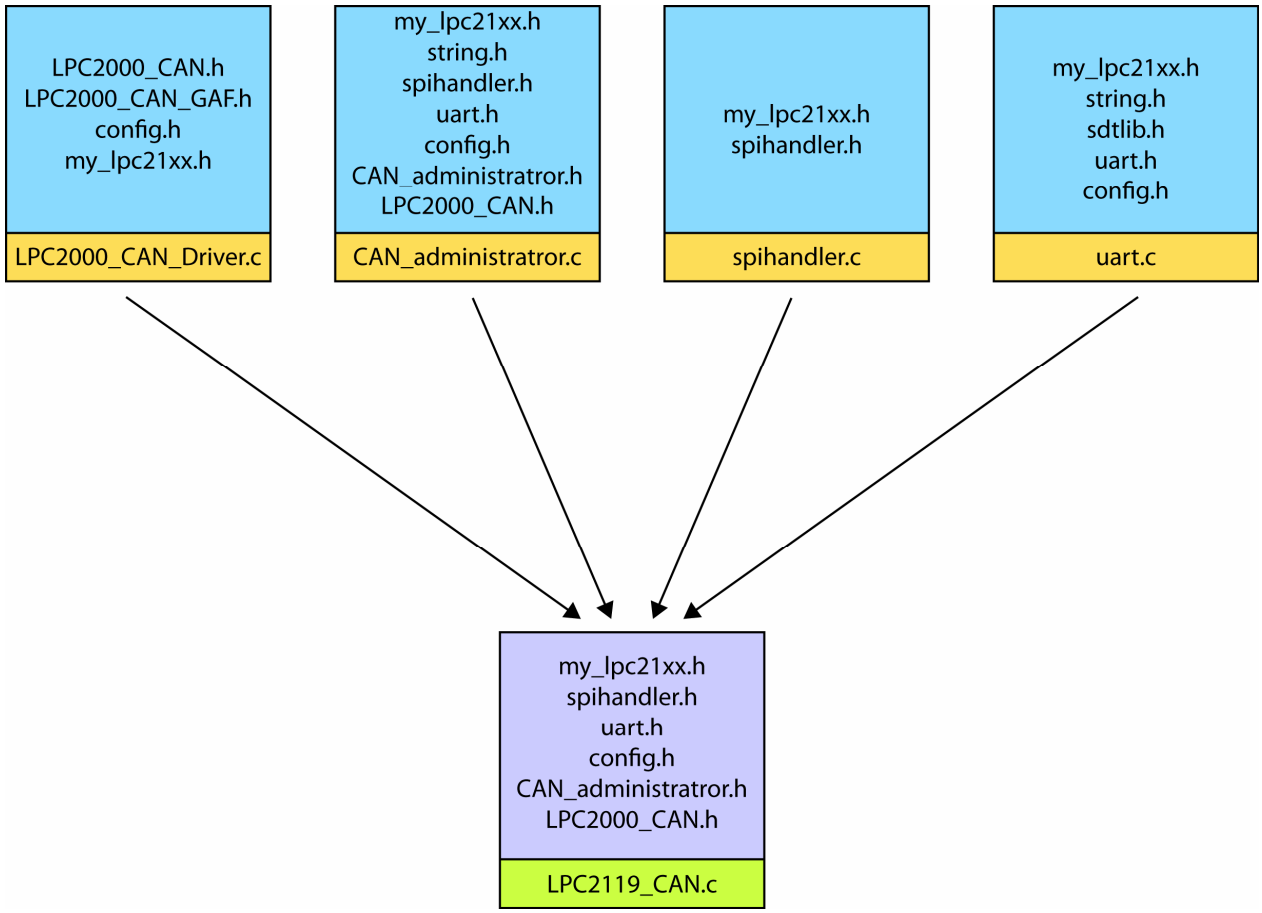
Trimr R36 z obrázku 10 slouží jako kalibrační člen pro přesné nastavení nulové polohy simulačního obvodu. Jeho velikost 1 kΩ, je navržena tak, aby bez problémů kompenzovala chybu jak AD5235, tak ostatních použitých odporů. Chyba těchto odporů je 1%. Kalibrace má smysl provádět pouze tehdy, pokud je kanál A AD5235 nastaven na polovině svého rozsahu.

Na každém kanálu AD5235 je možno nastavit 1024 hodnot odporu v rozsahu 25 kΩ. Takovýto počet hodnot dovoluje simulovat 512 poloh jádra na každou stranu od nulové polohy. Změna odporu o jeden krok (24,4 Ω) simuluje změnu polohy jádra o 0,0023 mm (reálně používaný senzor má absolutní výchylku 1,2 mm). Takovéto rozlišení simulátoru je dostačující i pro náročnější měřící procesy.

Přesný popis zapojení obvodu a schéma zapojení je popsáno v příloze 1.

7. Programové vybavení procesoru

Programová výbava je tvořena knihovnami spravujícími jednotlivé periferie a poté ještě dalšími obslužnými knihovnami. Ty jsou zakomponovány do hlavního programu. Jeho hlavní náplň je převážně čekání na přerušení od nějaké periferie. To je posléze patřičně zpracováno. Schéma programu s jeho komponenty je znázorněno na obrázku 11. Program je tvořen knihovnami LPC2000 CAN Driver (CAN driver), CAN Administrator (další obslužné procedury sběrnice CAN), SPI Handler (obslužné procedury pro SPI) a UART (obsluha rozhraní RS232 a komunikace s uživatelem). Podrobný popis jednotlivých knihoven a jejich procedur je v přiložené programové dokumentaci.



Obrázek 11.: Schéma programu pro LPC2119.

Driver pro CAN sběrnici je převzatý ze stránek výrobce, firmy NXP, včetně přidružených header souborů. Všechny ostatní zdrojové soubory jsou pro tuto aplikaci nově napsány.

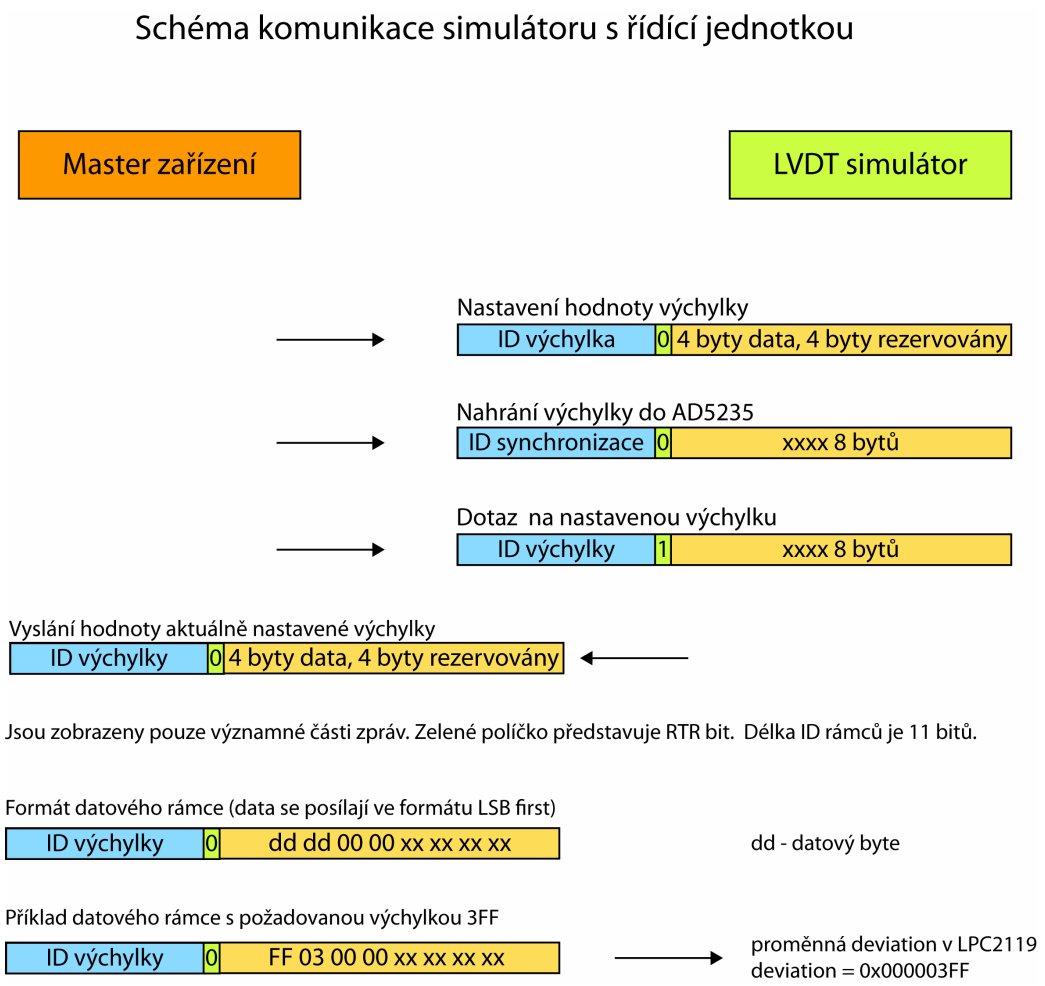
7.1. LPC2000 CAN Driver

Tento driver je součástí volně stažitelné demo aplikace pro demonstraci komunikace přes sběrnici CAN. Tato aplikace je k dispozici přímo na stránkách výrobce www.nxp.com a je určena pro vývojovou desku KEIL MCB21000 firmy Keil. Driver poskytuje procedury pro vysílání a příjem zpráv na všech CAN periferiích procesoru. Dále implementuje kompletní inicializaci sběrnice a možnost nastavení akceptačních filtrů a snadnou možnost jejich editace.

Driver také obsahuje indikaci chybových stavů, které mohou vzniknout při provozu sběrnice, které si programátor může v případě potřeby nějak ošetřit připsáním svého vlastního kódu.

7.2. CAN Administrator

Tato knihovna obsahuje další obslužné procedury pro zpracování CAN zpráv specifických pro aplikaci LVDT simulátoru. Simulátor v podstatě reaguje pouze na zprávy s předem definovanými ID. Tyto ID si uživatel nastaví pomocí protokolu definovaném na rozhraní RS232. Způsob, jak tyto hodnoty nastavit, je popsán v kapitole 7.3. Zbytek obsahu knihovny je tvořen procedurami pro inicializaci sběrnice na správné provozní parametry a procedurou pro obsluhu přerušení.



Obrázek 12.: CAN rámce definované pro LVDT simulátor

Nejzajímavější a zároveň nejdůležitější z výše uvedených funkcí je zpracování CAN zpráv. Simulátor umí zpracovat následující typy zpráv:

- Rámec se zadanou velikostí simulované výchylky.
- Dotazovací rámec na aktuální velikost simulované výchylky.
- Synchronizační rámec, který spustí simulaci zapsáním hodnoty výchylky do AD5235 přes SPI.

Na zmíněný dotazovací rámec pošle simulátor zpět zprávu s hodnotou aktuálně simulované výchylky. Formát a obsah důležitých částí rámců zpráv je zachycen na obrázku 12. Z tohoto obrázku byly některé části rámců vynechány, protože nejsou podstatné pro pochopení problematiky funkce systému. Obrázek 12 dále ukazuje formát a příklad rámce, který nastaví do RAM simulátoru určitou hodnotu výchylky.

ID výchylky a ID synchronizace jsou hodnoty definované uživatelem. Tyto hodnoty se dají libovolně kdykoliv měnit. Po zadání jsou uloženy do EEPROM AD5235, aby byly dosažitelné i po resetu zařízení či při ztrátě napájení.

Systém komunikace je navržen podle protokolu CANopen. Díky tomu je možné simulátor zapojit i do sítí využívajících tento protokol.

7.3. UART

Jak již bylo dříve řečeno, v LPC2119 je zprovozněna UART komunikace umožňující servisní nastavení LVDT simulátoru. Uživatel je schopen přes toto rozhraní definovat ID CAN rámce pro nastavení výchylky (dotaz na výchylku) a ID synchronizačního rámce. Dále je mu umožněno nastavit jednu z předdefinovaných přenosových rychlostí sběrnice CAN a manuálně simulovanou výchylku. U všech těchto veličin je možné kdykoli zjistit jejich hodnotu.

Zprávy z uživatelského terminálu jsou dvou typů. Nejdřív bych se zmínil o **nastavovacích příkazech**. Příkaz je tvořen čtyřmi znaky, které definují typ příkazu, mezerou a hodnotou příkazu zadanou 4 znaky. Délka příkazu je konstantní a příkaz nemůže být zadán kratší (výjimkou je lspix). Pokud je tedy hodnoty malá, tak nevyužité znaky hodnoty příkazu je potřeba doplnit nulou. Hodnota příkazu je zadávána v dekadické soustavě. Definovány jsou následující nastavovací příkazy:

- sdid [hodnota: 4 chars] — nastaví ID CAN zprávy s výchylkou
- ssid [hodnota: 4 chars] — nastaví ID synchronizační CAN zprávy
- sdev [hodnota: 4 chars] — nastaví simulovanou výchylku
- lspix (bez parametrů) — nastaví simulovanou výchylku do AD5235
- scan [hodnota: 4 chars] — nastaví přenosovou rychlost CANu v kbps
- sout [hodnota: 4 chars] — nastaví úroveň výstupního signálu

Dále jsou definovány **dotazovací příkazy** umožňující sledovat hodnotu servisních parametrů. Tyto příkazy jsou kratší než nastavovací, protože neobsahují v sobě žádnou hodnotu. Definovány jsou následující dotazovací příkazy:

- help — vypíše seznam příkazů a jejich použití
- gdidx — vrátí hodnotu ID CAN rámců s výchylkou
- gsidx — vrátí hodnotu ID synchronizačních CAN rámců
- gdevx — vrátí výchylku nastavenou v AD5235
- gcanx — vrátí nastavenou přenosovou rychlost CANu
- goutx — vrátí nastavený poměr úrovně výstupu ku vstupu

Přes toto rozhraní se realizuje také výpis událostí, které by mohly uživatele zajímat. Jedná se o výpis chybových stavů a indikaci přijetí CAN zprávy, respektive vyslání CAN zprávy a výpis hodnot z jednotlivých částí rámce.

Po resetu vypíše aplikace na terminál „uvítací“ zprávu, což je také jeden z ukazatelů, že zařízení je v pořádku a začalo správně fungovat.

7.4. SPI Handler

SPI Handler je jednoduchá knihovna obsahující všechny procedury obsluhující SPI periferii AD5235. Jedná se o procedury pro inicializaci, čtení a zápis do AD5235. Podrobnosti o SPI komunikaci s AD5235 lze dohledat ve [4.].

8. Uživatelské pokyny

8.1. Programování LPC2119

LPC2119 je programován pomocí ISP rozhraní, které komunikuje s vnitřním zavaděčem programu (boot loadrem). ISP komunikaci zajišťuje program distribuovaný výrobcem LPC2000 Flash Utility. Tuto aplikaci je potřeba nejprve nainstalovat na lokální disk.

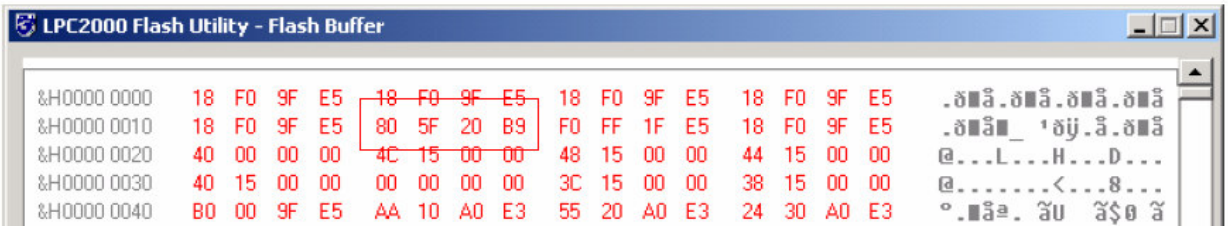
Nyní můžeme začít se zavedením vygenerovaného HEX souboru do procesoru. U tohoto souboru je nutné před zaváděním vypočítat kontrolní součet tzv. **checksum**, protože jinak nebude program správně fungovat.

Nejprve je potřeba spustit LPC2000 FLash Utility. Zvolíme port, na kterém je připojen procesor, požadovanou přenosovou rychlost a frekvenci oscilátoru. Přepneme ISPSEL do 0, viz obrázek 15. Klikneme na tlačítko Read Device ID, a pokud je všechno nastaveno správně, program načte typ procesoru a jeho ID.

Nyní z menu Buffer zvolíme Flash Buffer Operations a pomocí Load Hex File otevřeme požadovaný soubor. V tomto okně je potřeba na lokaci 0x14 zkontrolovat, je-li vypočítán kontrolní součet pro daný soubor. Na obrázku 13 je ilustrována situace, kdy kontrolní součet vypočítán není.

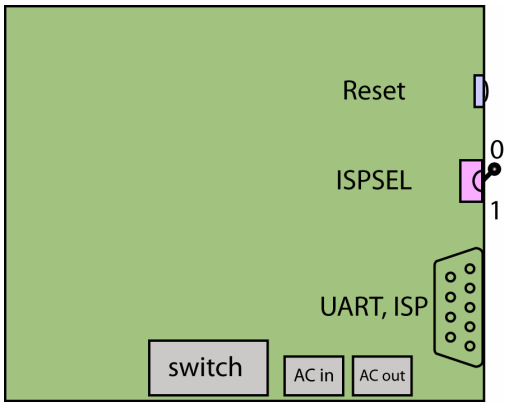
Obrázek 13.: V tomto Hex soboru není spočítán kontrolní součet.

Pro výpočet kontrolního součtu klikneme na tlačítko Vector Calc. Kontrolní součet je spočítán a data v souboru se změní. V obrázku 14 je vypočítán kontrolní součet pro ten samý soubor jako v obrázku 14.



Obrázek 14.: Výsledek výpočtu kontrolního součtu pro daný Hex soubor.

Teď se ujistíme, že ISPSEL je nastaven do 0, klikneme na Upload to FLash, resetujeme procesor a program se zavede do paměti procesoru. Pro spuštění programu v procesoru přepneme ISPSEL do 1 a resetujeme procesor. Pokud by ISPSEL zůstal v 0, vždy by se po resetu spustil ISP zavaděč a ne uložený program.

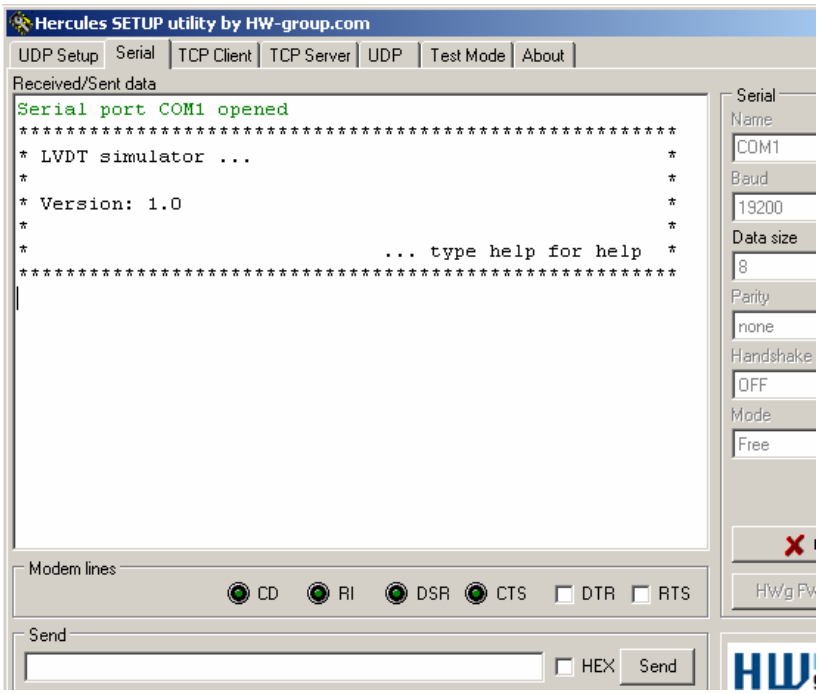


Obrázek 15.: Polohy přepínače ISPSEL vzhledem k orientaci desky plošného spoje.

8.2. Obsluha terminálu

Terminálový přístup je určen k počátečnímu servisnímu nastavení provozních hodnot. Protokol definovaný na rozhraní RS232 poskytuje příkazy zmíněné již dříve v kapitole 7.3. Komunikace s procesorem probíhá následujícím způsobem.

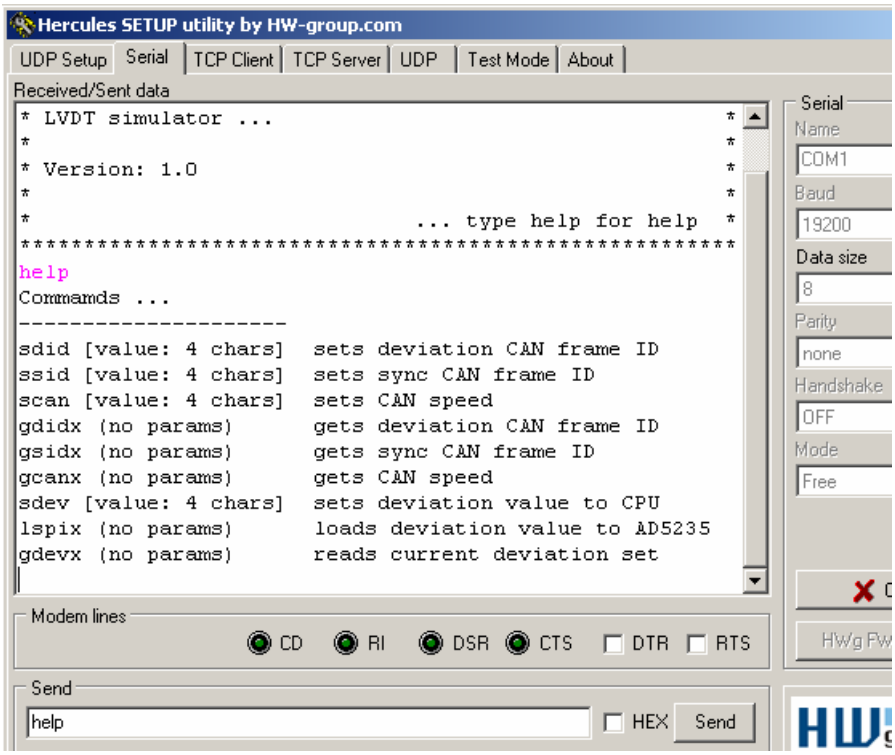
Za předpokladu, že je v LPC2119 zaveden program LPC2119_CAN, terminál má otevřený příslušný sériový port a ISPSEL přepínač procesoru je v poloze 1, procesor se po resetu (zapnutí napájení) přihlásí „uvítací“ zprávou, kterou vypíše na terminál, viz obrázek 16. Pokud se tato zpráva po resetu (zapnutí procesoru) neobjeví, není splněna jedna nebo více z uvedených podmínek.



Obrázek 16.: Správné odezva LVDT simulátoru po resetu..

Pokud se v okně terminálu vypíše změť nic neříkajících znaků, jsou výše uvedené podmínky splněny, ale jsou špatně nastavené parametry sériového přenosu. V tomto případě je nutné zkontrolovat, zda parametry jsou opravdu nastaveny takto: přenosová rychlost 19200 baudů, velikost dat 8 bitů, žádná parita, žádné řízení datového toku.

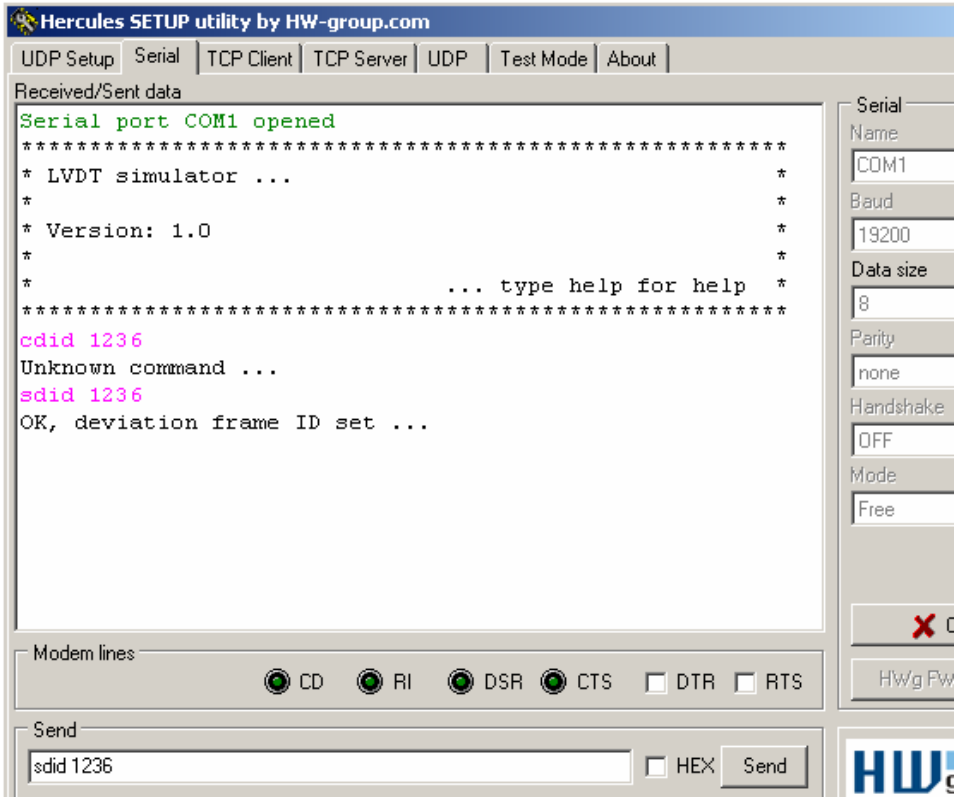
Nyní lze zadávat příkazy definované v kapitole 7.3. Pokud je uživatel nezná, příkazem **help** se mu zobrazí jejich seznam a popis použití, viz obrázek 17.



Obrázek 17.: Výpis dostupných příkazů pomocí příkazu help.

Každý z uvedených nastavovacích příkazů je potvrzen. U dotazovacích příkazů je vrácena požadovaná hodnota s popiskem. Pokud uživatel zadá nepodporovaný příkaz, simulátor odpoví hláškou „Unknown command …“. Standardní chování simulátoru ilustruje obrázek 18.

Pokud by z nějakého důvodu došlo k poruše komunikace simulátoru s terminálem, je možné simulátor beze ztráty informací resetovat a poté dále pokračovat v zadávání příkazů. Hodnoty jednou zadané (ID rámců atd.) se hned uloží do paměti EEPROM a zůstanou zde i po resetu zařízení.



Obrázek 18.: Standardní chování simulátoru vzhledem k terminálu.

Funkčnost komunikace je možné otestovat pomocí libovolného zařízení, které je schopno vyslat CAN zprávu dříve definovaných parametrů. Pokud přijde zpráva s předem definovaným ID (ID rámce výchylky nebo synchronizačního rámce), zařízení potvrdí příjem zprávy výpisem hlášky „CAN message with Deviation Frame ID (Sync Frame ID) received“.

9. Závěr

V této práci byl navržen a realizován simulační obvod LVDT senzoru polohy. Byla zvolena varianta simulace speciálním elektrickým obvodem, který je řízen procesorem Philips LPC2119. Byl sestaven funkční výrobek schopný simulovat 1024 poloh výchylky reálného senzoru.

V průběhu vývoje, kdy již byla zhotovena deska plošného spoje obvodu, byla změněna koncepce napájení simulačního obvodu. Byla vyrobena další destička plošného spoje, na které je osazen nový napájecí obvod. Deska simulačního obvodu nebyla znova zhotovena, protože připojení externího napájecího obvodu vyžadovalo jen drobné zásahy do této desky.

Na desce simulačního obvodu bylo dále po zhotovení a osazení provedeno několik drobných úprav pro zlepšení vlastností a funkce simulátoru. Tyto úpravy jsou popsány v příloze 1 popisující blíže konstrukci hardwaru.

Pro procesor LPC2119 byl zhotoven obslužný program umožňující komunikaci simulátoru s řídící jednotkou přes sběrnici CAN využívající protokol CANopen. Součástí programového vybavení je převzatý driver pro sběrnici CAN vyvinutý jako demonstrační aplikace pro vývojové desky firmy Keil. Dále bylo nutno softwarově implementovat komunikaci přes rozhraní SPI. Důvodem je to, že při návrhu desky plošného spoje jsem vycházel z oficiálního dokumentu výrobce procesoru, který se týkal této problematiky a byly v něm obsaženy chyby. Důsledkem je nedostatečný počet zapojených pinů procesoru pro správnou funkci jeho SPI periferie.

Simulátor lze konfigurovat i přímo ovládat přes standardní terminál, který je schopen obsluhovat sériový port. Simulátor lze tedy využít i v případě, že není připojen k řídící jednotce přes sběrnici CAN.

10. Použitá literatura

[1.] LPC2119 User Manual, Philips, 2004 May 03
[2.] LPC2119 Data Sheet, Philips, 2004 December 22
[3.] AD698 Data Sheet, Analog Device
[4.] AD5235 Data Sheet, Analog Device, 2004
[5.] CAN Specification version 2.0, Robert Bosch GmbH, 1991
[6.] AN10438, Philips LPC2000 CAN driver, 2006 March 02 – Dokumentace k použitému CAN driveru
[7.] *Ripka, Ďaďo, Kreidl, Novák :* **Senzory a převodníky**, Vydavatelství ČVUT, Praha 2005.
[8.] SPI, http://www.mct.net/faq/spi.html
[9.] CAN bus, http://www.interfacebus.com/Design_Connector_CAN.html
[10.] Prof. Dr.-Ing. Dr. H.c. P. Goehner: Tudory: **CAN bus,** Universität Stuttgart, Instute of Industrial Automation and Software Engineering, 2006

11. Seznam příloh

Příloha 1 – Popis hardwarové části a schéma zapojení
Příloha 2 – Dokumentace k softwaru
Příloha 3 – Obsah přiloženého CD

Příloha 1 – Popis hardwarové části

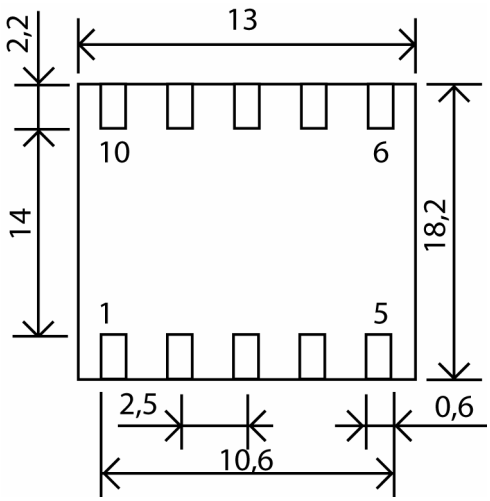
- Obvod je navržen pro používání v síti CAN využívající protokol CANopen, ze které je také napájen. Napájecí napětí obvodu se může pohybovat v rozsahu 18 – 36 V, což je rozsah vstupního napětí použitého DC-DC měniče AM5T 2415D-NZ. Obvod je navržen pro budící střídavý signál o maximální efektivní hodnotě 2,8 V (8 V špička-špička) s frekvencí v rozmezí 2 – 5 kHz.

- Střídavý vstup a výstup obvodu je osazen na zakázku vyrobenými transformátory. Tyto transformátory zhotovila firma PV Elektronik (www.pvelektronic.com).

Parametry transformátorů:

- Převod 1:1
- Izolační napětí 100 V
- Impedance 140 Ω při 3 kHz
- Provedení SMD

Rozměry transformátorů v mm:



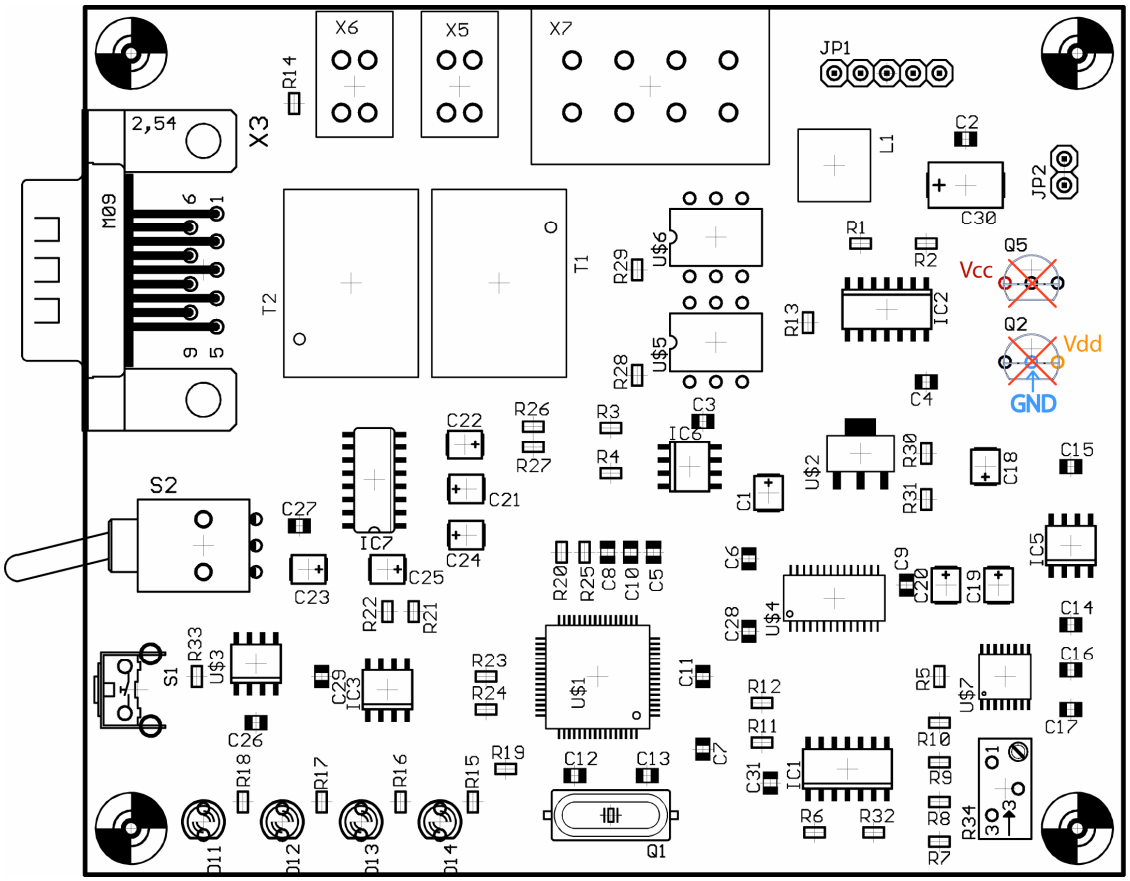
Obrázek 19.: Rozměry transformátorů.

- V obvodu není vyveden z LPC2119 pin SSEL, který by měl být zapojen do logické 1. Z tohoto důvodu nelze použít SPI periferii v procesoru, protože pokud není SSEL zapojen, jak bylo řečeno, tak se procesor nikdy nebude chovat jako SPI master a SPI komunikace nebude fungovat. Tato chyba je způsobena chybnými údaji v některých dokumentech k SPI, podle kterých byl obvod navržen. Z tohoto důvodu bylo nutné SPI implementovat softwarově.

- Na desce plošného spoje jsou použity konektory CANNON9 pro RS232 a CAN komunikaci s následujícím zapojením pinů:

RS232		CAN		
Pin	**Popis**	**Pin**	**Popis**	**Funkce**
1	Nezapojen	1	Nezapojen	
2	RXD	2	CAN_L	Dominant low
3	TXD	3	CAN_GND	Ground
4	Nezapojen	4	Nezapojen	
5	GND	5	CAN_SHLD	Shield
6	Nezapojen	6	Nezapojen	
7	Nezapojen	7	CAN_H	Domininant high
8	Nezapojen	8	Nezapojen	
9	Nezapojen	9	CAN_V+	Power

- Podklady pro výrobu plošného spoje a jeho osazení jsou na přiloženém CD. V důsledku rozhodnutí o změně systému napájení bylo nutné lehce upravit plošný spoj. Protože se jednalo o malou úpravu, nebyl vyroben nový plošný spoj, ale pouze vyrobena další doplňující destička s napájecím obvodem. Na obrázku jsou křížkem označené součástky, které nejsou osazeny. Na vyznačené místa jsou přivedeny vodiče Vdd (+8 V), Vcc (-8 V) a GND.



Obrázek 20.: Rozmístění součástek na desce plošného spoje.

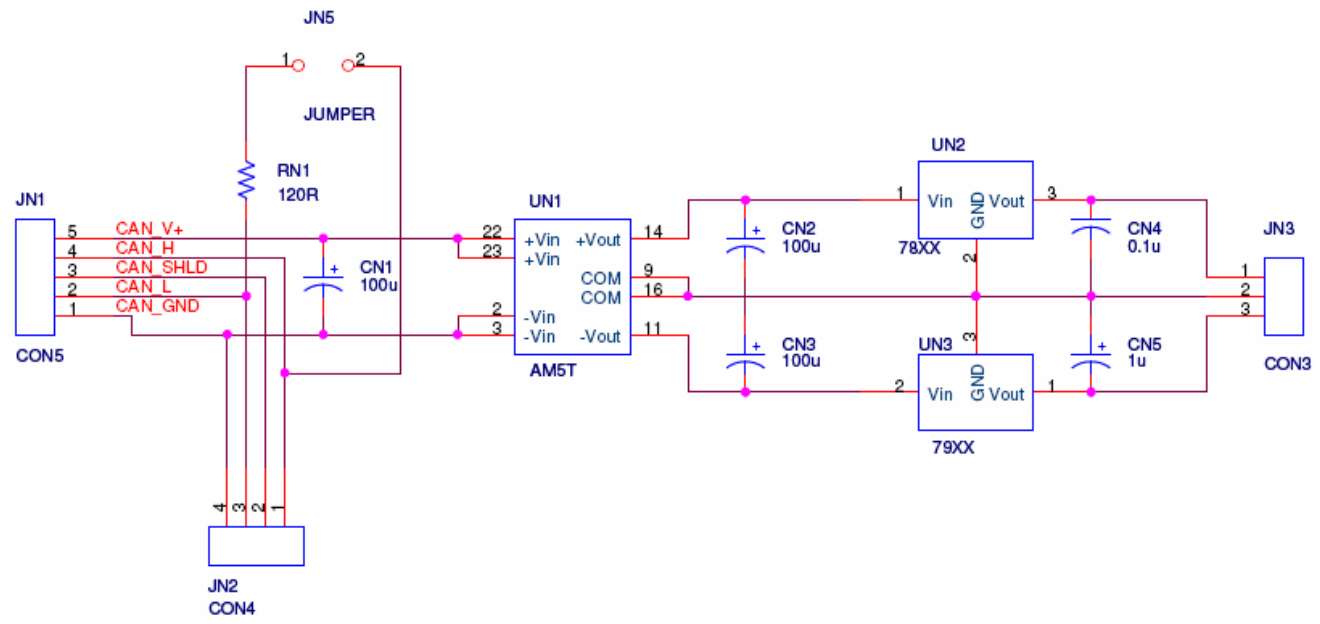
- Ke každému z dvojice kondenzátorů C16 a C17 je dodatečně připojen paralelně odpor velikosti 600 Ω z důvodu zajištění správné funkce napěťových stabilizátorů LM317(IC6) a LM137(U$2). Bez nich jsou tyto stabilizátory málo zatíženy a nemusí správně fungovat. Paralelní připojení odporů je realizováno přiletováním odporů na vršky kondenzátorů.

- **Schéma zapojení**

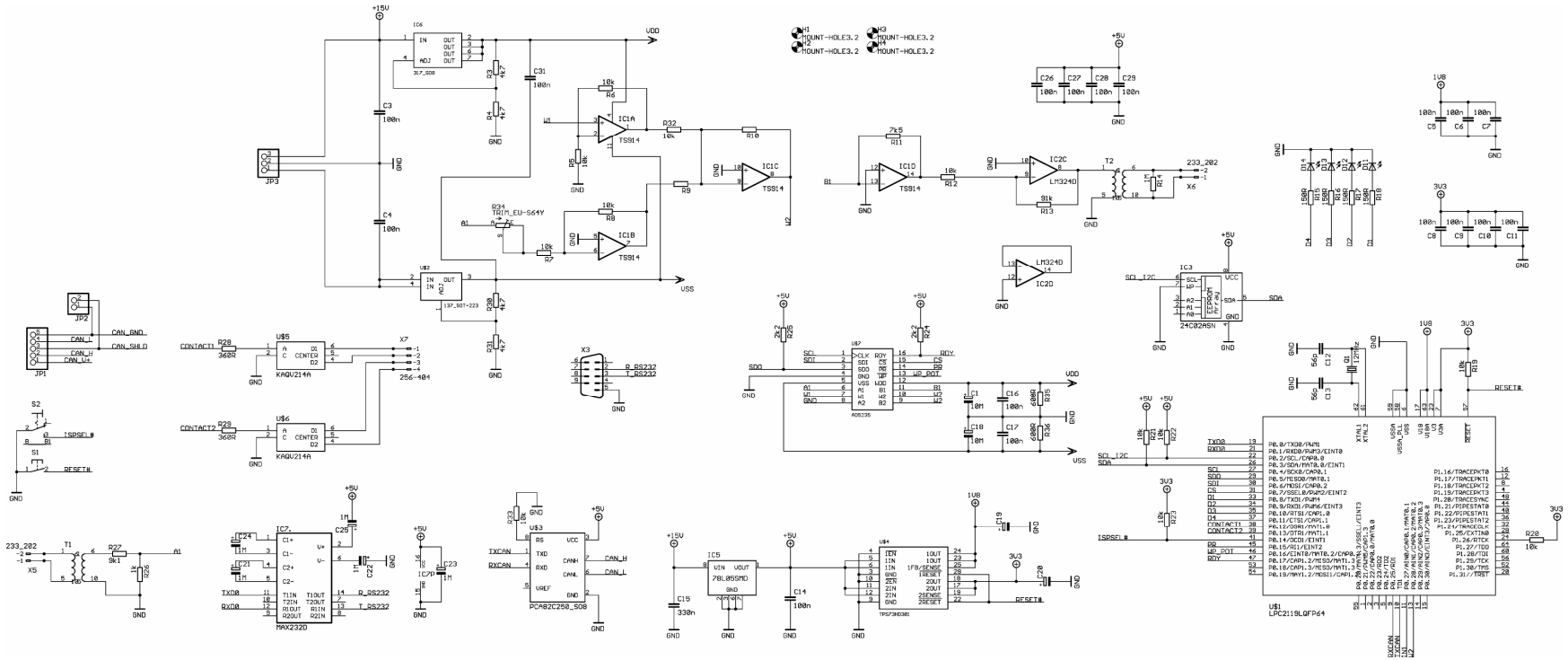
  Ve schématu na obrázku 22 je již zahrnuta změna koncepce napájení obvodu, tedy použití DC-DC měniče. Externí destička s napájecí částí (viz obrázek 21) se připojuje k JP3. V tomto obvodu je použit měnič AM5T-2415D-NZ, protože splňuje technické požadavky a byla možnost ho získat za velmi výhodných podmínek. Vzhledem k tomu, že výstupní napětí tohoto měniče je ±15 V, což je pro LVDT simulátor značně velká hodnota, je tento obvod osazen stabilizátory 7808 a 7909, které zmenší velikost výstupního napětí na ±8 V.

  Na obrázku 23 je uveden upravený návrh zapojení tak, aby bylo možné vyrobit simulační obvod na jedné desce plošného spoje.

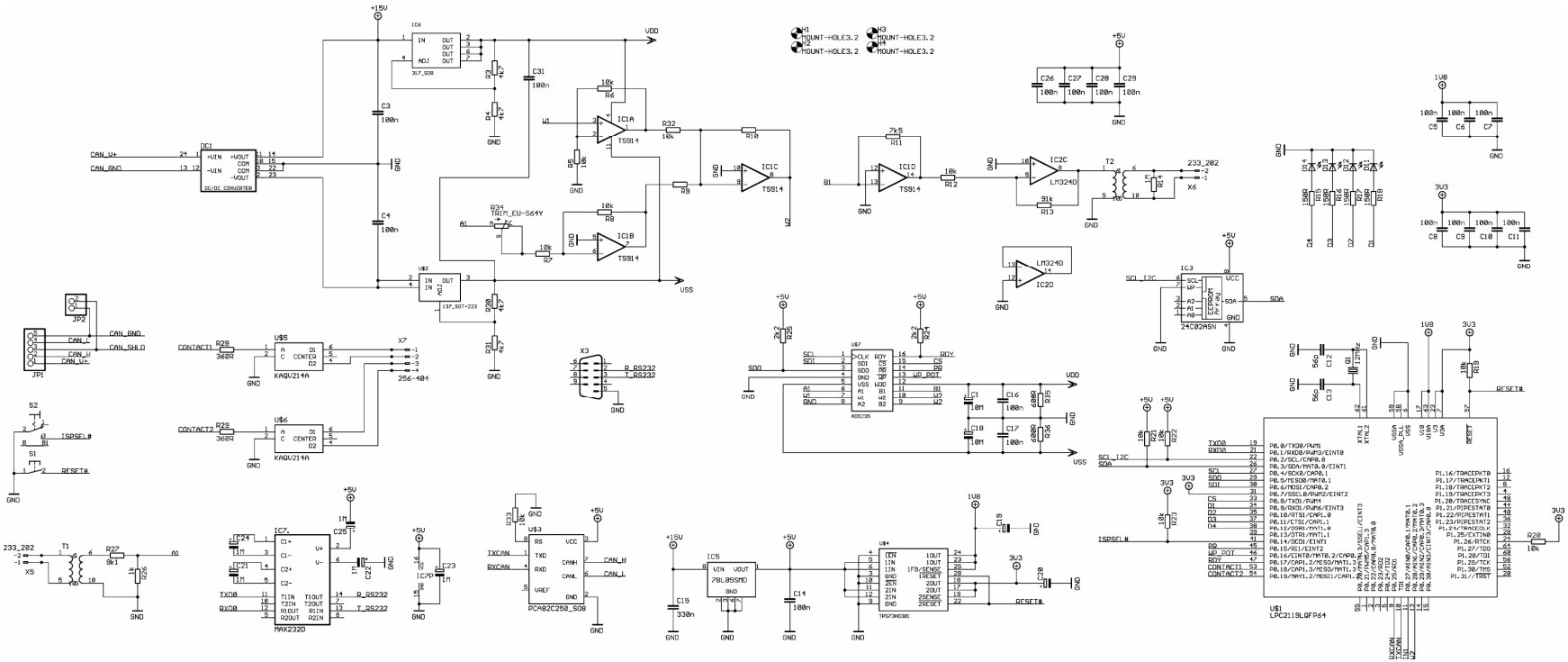
  Obvod je dále osazen odporem o velikosti 120 Ω, který slouží jako zakončovaní odpor pro CAN sběrnici. Tento odpor se dá připojit ke sběrnici pomocí jumperu JN5.



Obrázek 21.: Schéma napájecího obvodu.



Obrázek 22. Kompletní schéma zapojení simulátoru LVDT senzoru.



Obrázek 23.: Návrh zapojení obvodu na jedné desce plošného spoje.

Příloha 2 – Dokumentace k softwaru

Dokumentace k softwarovému vybavení procesoru LPC2119 je součástí CD, které je přiložené k této práci. Dokumentace se nachází v adresáři \doc a lze zobrazit v libovolném internetovém prohlížeči otevřením souboru index.html v adresáři \doc\html.

Příloha 3 – Obsah přiloženého CD

1. Podklady pro výrobu plošného spoje a schéma zapojení.
2. Seznam použitých součástek.
3. Program do mikroprocesoru. Přiloženy jsou samostatné zdrojové kódy ale i projekt pro vývojové prostředí Keil µVision.
4. Demo verze Keil µVision.
5. Terminálový program Hercules.
6. Philips LPC2000 Flash Utility.
7. Manuál k LPC2000 Flash Utility.
8. Vygenerovaná dokumentace ke zdrojovým kódům.
9. Datasheety pro AD5235, LPC2119, AD698, PCA82C250, TPS73HD318, KAQV214 a AMT5T.
10. Dokument bakalářské práce.