

Česká Zemědělská Univerzita v Praze

Technická fakulta



**Měřicí systém pro výukový simulátor
na bázi mikrokontroléru**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Bohuslav Peterka, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Rudolf VACEK

Obor: Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Rudolf Vacek

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Měřicí systém pro výukový simulátor na bázi mikrokontroléru

Název anglicky

Microcontroller based measurement system for teaching model

Cíle práce

Cílem práce je navrhnout, prakticky realizovat a vyzkoušet řídicí jednotku pro výukový model používaný při výuce diagnostických metod. Důraz bude kladen zejména na softwarové řešení a komunikaci mezi použitými měřicími moduly a nadřazeným systémem.

Metodika

Student vyhledá odbornou literaturu a související informační zdroje k tématu práce. Student zpracuje literární rešerši, v které zmapuje současný stav poznání v oblasti zadané problematiky. Dále se student seznámí s pokyny Technické fakulty pro vypracování a odevzdání diplomové práce. Student bude pracovat systematicky a průběžné výsledky bude konzultovat s vedoucím práce. Student vypracuje čistopis práce a ten v řádném termínu odevzdá na sekretariátu katedry.

Doporučený rozsah práce

50-60 stran

Klíčová slova

diagnostika, výuka, mikrokontrolér, tenzometr, teploměry, ložiska, vibrace, frekvenční měnič

Doporučené zdroje informací

+ další firemní literatura, normy, internetové zdroje

HRBÁČEK, Jiří. Komunikace mikrokontroléru s okolím. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999, 159 s. ISBN 80-86056-42-21.

KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.

KREIDL, Marcel. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.

MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0077-6

MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR AT90S: senzory a měřicí obvody. 2. vyd. Praha: BEN, 2006, 375 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0209-4.

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

Ing. Bohuslav Peterka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 7. 12. 2013

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Měřicí systém pro výukový simulátor na bázi mikro kontroléru“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. 4. 2015

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Bohuslavovi Peterkovi, Ph.D. za trpělivost a cenné rady při psaní této práce.

Abstrakt

Rešeršní část práce probírá fyzikální zákony a děje vibrodiagnostiky, měření teploty a měření síly, které jsou následně aplikovány v praktické části. Praktická část dokumentuje vývoj výukového měřicího systému včetně popisu funkce jednotlivých použitých prvků. Sjednocuje jednotlivé průmyslové měřicí a řídicí prvky do celkového systému. Vše je koncipováno tak, aby další vývoj výukového systému byl co nejsnazší.

Klíčová slova

Diagnostika, výuka, mikro kontrolér, tenzometr, teploměr, ložiska, vibrace, frekvenční měnič

Microcontroller based measurement system for teaching model

Abstract

The research part discusses the laws of physics and actions of vibrodiagnostics, temperature and force measurement, which are then applied in the practical part. The practical part documents the development of an educational measurement system including a description of the function of each of the used elements. Unify's industrial measurement and control elements within the overall system. Everything is designed for further development of the educational system to be as easy as possible.

Keywords

Diagnosis, teaching, microcontroller, strain gauge, thermometer, bearings, vibration, frequency inverter.

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Účel výukového modelu.....	1
1.2	Výchozí stav výukového modelu.....	2
2	Literární rešerše.....	3
2.1	Technická diagnostika - Základní pojmy.....	3
2.1.1	Technický stav objektu.....	4
2.1.2	Defektoskopie.....	5
2.2	Základní defektoskopické metody.....	6
2.2.1	Vizuální metody.....	6
2.2.2	Kapilární metody.....	6
2.2.3	Magnetické metody.....	6
2.3	Vibrodiagnostika - Základní pojmy.....	6
2.3.1	Absolutní vs. relativní senzory vibrací.....	7
2.3.2	Akcelerometry.....	8
2.3.3	Použití vibrodiagnostiky v praxi.....	11
2.3.4	Senzory otáček ve vibrodiagnostice.....	11
2.4	Metody měření teploty v průmyslu.....	12
2.4.1	Napětíové aktivní senzory s PN přechodem.....	12
2.4.2	DS18B20 digitální teploměr.....	14
2.5	Metody měření síly.....	15
2.5.1	Typy odporových tenzometrů.....	16
2.5.2	Měření síly a pružné (deformační) členy typu S.....	16
2.6	Sběrnice RS485.....	18
3	Vlastní práce.....	20
3.1	Obecné cíle pro tvorbu řídicího systému.....	20
3.2	Měřicí prvky a měřené veličiny.....	22
3.2.1	Protokol SPINEL pro zařízení výrobce Papouch.....	22
3.2.2	Teploměry.....	24
3.2.3	Tenzometr a tenzometrický převodník.....	26
3.2.4	Měření otáček.....	27
3.2.5	Elektroměr.....	29
3.3	Akční prvky.....	33
3.3.1	Frekvenční měnič NORD.....	33
3.4	Ostatní prvky.....	36
3.4.1	LED Displej.....	36
3.4.2	Asynchronní motory.....	37

3.5	Řídicí jednotka	38
3.5.1	Hardware řídicí jednotky.....	38
3.5.2	Software řídicí jednotky	43
3.5.3	Závěrečný test navrženého řešení řídicí jednotky	48
4	Diskuse	49
5	Závěr.....	50
6	Použitá literatura.....	51
7	Seznam použitých obrázků a tabulek	54
8	Přílohy	56

1 Úvod

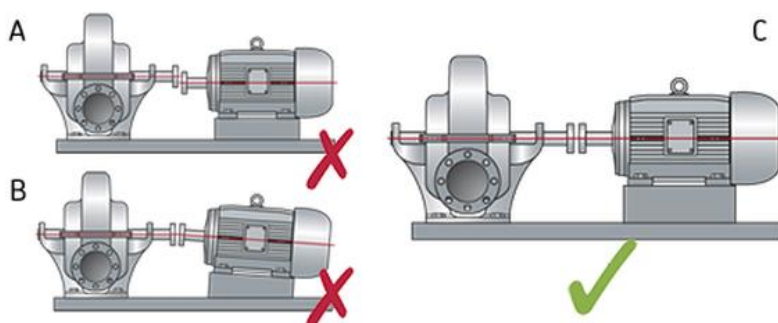
Kapitola stručně představuje účel a výchozí stav výukového modelu před začátkem práce na centrální řídicí jednotce.

1.1 Účel výukového modelu

Výukový model (simulátor nesouososti) bude sloužit při výuce předmětů Katedry jakosti a spolehlivosti strojů, zejména předmětů zaměřených na vibrodiagnostiku a související témata. Model bude schopen fungovat samostatně bez jednotky vibrodiagnostiky – akcelerometru a A/D převodníku, toto příslušenství se bude připojovat následně. Měření a vyhodnocování vibrací by vydalo na samostatnou práci. Práce na modelu začíná ve stavu kdy je model osazen základním hardwarem, ale bez centrální řídicí jednotky. Požadavkem je, aby řídicí jednotka byla schopná pracovat samostatně nebo pomocí ovládání z příkazové řádky terminálu.

Předmětem funkce celého zařízení je simulovat nesouosost hřídele a jevy, které nesouosost doprovází. Účinky nesouososti hřídelů mají vážný dopad na provoz a potažmo ekonomiku. Účinky nesouososti zahrnují:

- Zvýšené tření a tím i zvýšení spotřeby energie.
- Předčasné poruchy ložisek a těsnění.
- Předčasné poruchy hřídelí a spojek.
- Zvýšené úniky maziva těsněním.
- Poruchy šroubů spojek a základů stroje.
- Zvýšené vibrace a hluchost.

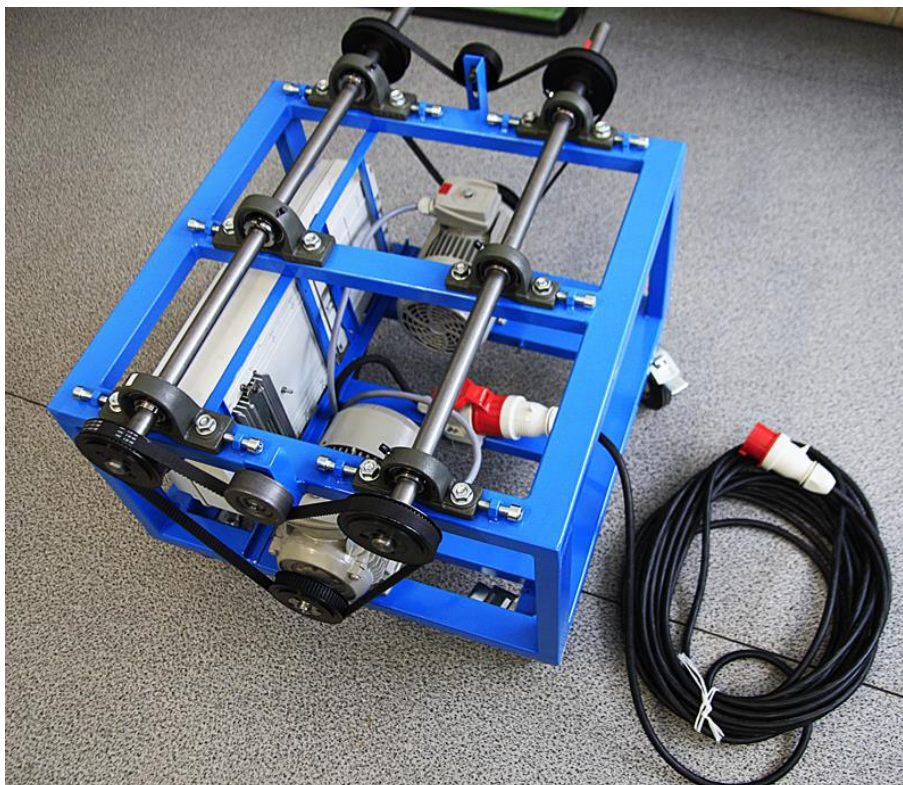


Obr. 1 - Nesprávné a správné ustavení hřídelí [1]

A. Rovnoběžná nesouosost (nebo přesazení) B. Úhlová nesouosost C. Správné ustavení

1.2 Výchozí stav výukového modelu

Kostrou modelu je svařovaný ocelový rám postavený na otočných kolečkách, umožňující jednodušší manipulaci s modelem. Kolečka jsou opatřena brzdou. Více viz Obr. 2.



Obr. 2 - Výchozí stav výukového modelu

Na kostře modelu najdeme ložiska, ve kterých jsou uloženy hřídele. Ložisková tělesa (tzv. ložiskové domky) mají vyvrtaný otvor pro měření teploty ložisek. Ve středu hřídele je připraven úpon pro šroub a tenzometr. Šroub slouží k vytvoření síly působící na střed hřídele. Hřídele jsou přes řemenice spojeny s dvěma třífázovými asynchronními motory. Jeden motor funguje v motorickém režimu a druhý v režimu brzdy.

2 Literární rešerše

Rešeršní část shrnuje základní pojmy, měřicí principy a komunikační prostředky následně aplikované ve vlastní práci.

2.1 Technická diagnostika - Základní pojmy

Technická diagnostika je samostatný obor, zabývající se bezdemontážními a nedestruktivními metodami a prostředky stanovení technického stavu objektu nebo zařízení.

Spolehlivost, jako jeden ze základních znaků jakosti každého technického zázemí, je podmíněná racionálním sledováním technického stavu objektu a včasným detekováním fyzikálních změn a procesů tj. obecná vlastnost objektu plnit požadované funkce podle stanovených technických podmínek.

Diagnóza je vyhodnocení okamžitého technického stavu objektu. Z hlediska terminologie spolehlivosti se jedná o vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných technických podmínek. Cílem technické diagnostiky je zjistit provozu schopnost objektu, nebo určit místa vzniku poruch a příčiny jejich vzniku.

Prognóza je extrapolace (přiblížení, přechod z užší na širší oblast) vývoje technického stavu do budoucnosti. Cílem prognózy je např. stanovení na základě statistických vyhodnocení pravděpodobnost bezporuchového chodu v následujícím období nebo na základě vad stanovení termínu dílčích a generálních oprav.

Geneze (vznik, zrod, původ) je analýza možných a pravděpodobných příčin vzniku poruchy nebo vady, a tím předčasného zhoršení technického stavu objektu.

Pracovní postup je diagnostický algoritmus (sled elementárních úkolů diagnostikování) včetně programového vybavení pro vyhodnocení dat, aplikace pokročilých metod vyhodnocení signálu, metod vyhodnocení výběru jednotlivých diagnostických parametrů, sestavení matematických modelů.

Diagnostické prostředky tvoří soubor technických zařízení a pracovních postupů pro analýzu a vyhodnocení stavu diagnostikovaného objektu. Na jedné straně technické vybavení – měřicí, diagnostické vybavení, na druhé vybavení programové – programy pro automatická diagnostická zařízení.

Diagnostické prostředky lze dělit na ON-LINE a OFF-LINE. ON-LINE prostředky umožňují diagnostikovat objekt při provozu. Trvalé nebo průběžné připojení se nazývá monitorování. [2], [3]

2.1.1 Technický stav objektu

Obecně objekt považujeme za systém daný množinou elementárních prvků, množinou vzájemných vazeb (relací) mezi těmito prvky a prvky okolního (vnějšího) prostředí. Takto definovaný systém označujeme jako relační strukturu objektu.

Tribologie (v praxi tribotechnika) je nauka, která se zabývá chováním dotýkajících se povrchů ve vzájemném pohybu. Mluvíme o tření, opotřebením a mazání. Tření a opotřebením se zmenšuje mazáním, přitom mazivem může být látka jakéhokoliv skupenství.

Technický stav objektu je dán množinou vybraných vlastností prvků objektu (prvky jsou rozděleny dle požadovaného diagnostického rozlišení) a odpovídajících relacím v daném časovém okamžiku.

Vlastnosti objektu se časem mění (zvětšuje se vůle v uložení mechanických dílů, klidový proud operačního zesilovače atd.) až do okamžiku, kdy elementární prvek svým chováním způsobí poruchu části nebo celého objektu.

Parametry lze dělit na strukturní a procesní.

Strukturní parametr charakterizuje kvalitativně nebo kvantitativně fyzikální, chemické nebo geometrické vlastnosti prvku zvoleného subsystému tj. elementárních, dále již nedělitelných prvků nebo skupin prvků. Strukturní parametry nesouvisí přímo s chováním objektu, ale jsou podstatné pro bezporuchový stav objektu, při překročení určitých mezí dochází k narušení chování objektu.

Procesní parametry charakterizují procesní vlastnosti prvku, tj. vlastnosti podstatné pro cílové chování objektu. Chování systému je časově proměnná reakce na vstupní podněty a je tedy projevem specifických funkcí systému. Procesní parametry lze dále členit na vstupní a výstupní, vnitřní a u dynamických systému na stavové. Procesním parametrem je tedy i každý provozní parametr.

Objekt je provozuschopný, jestliže je schopen vykonávat stanovené funkce dle technických podmínek.

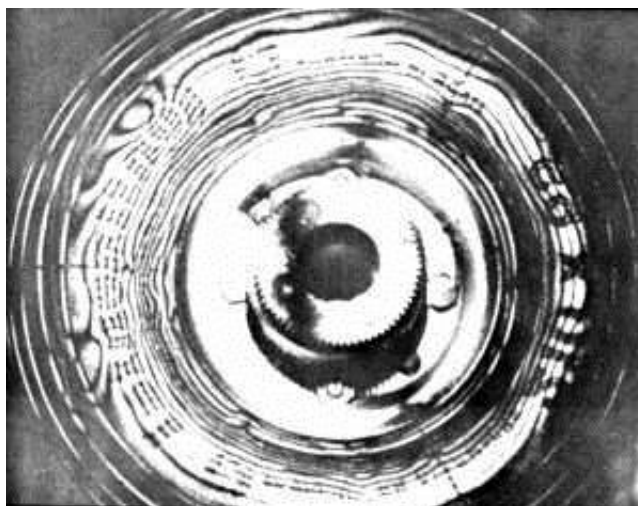
Porucha je fenomén (jev) způsobující ukončení provozuschopnosti objektu.

Funkčnost objektu je schopnost objektu vykonávat specifickou funkci dle daných technických podmínek. Objekt může být ve stavu funkčním, ale pokud není schopen vykonávat všechny funkce dle daných technických podmínek, není provozuschopný. [2], [3]

2.1.2 Defektoskopie

Bez nedestruktivní defektoskopie by nebylo možné zaručit bezpečný provoz např. v letectví, jaderné energetice, v chemickém průmyslu, stavbě mostů atd. Ukázka na Obr. 3.

Za vadu výrobku nebo materiálu považujeme např. nesprávné chemické složení, vady struktury, necelistvosti (trhliny, praskliny), dutiny (bubliny, póry, sraženiny) a tvarové vady. Jinak řečeno odchylky od požadovaných mechanických nebo fyzikálních vlastností.



Obr. 3 - Mechanická deformace pneumatiky (příklad nedestruktivní defektoskopie)

Manuální testování přináší řadu výhod vyplývajících z intuice a zkušenosti kvalifikovaného pracovníka, nelze ovšem vyloučit lidské pochybení, s možnými nedozírnými následky. Proto zavádíme do výrobního procesu zcela automatizované defektoskopické systémy.

Cílem defektoskopie není jen vyřazení vadných výrobků, ale také ujištění, že dobré výrobky jsou dle technických podmínek provozuschopné.

Existuje řada defektoskopických metod, ale žádná není univerzální. Při volbě defektoskopické metody je nutné vycházet z řady faktorů např. mechanického uspořádání, elektromagnetické vlastnosti testovaného materiálu, rozměry objektu, prostředí, umístění z hlediska přístupnosti atd. [2]

2.2 Základní defektoskopické metody

2.2.1 Vizuální metody

Světlo odražené od diagnostikovaného objektu vyhodnocuje přímo zkušený pracovník (svým zrakem) nebo světlocitlivým detektorem.

Výhody: nežádoucí změny, tj. vady materiálu, tvarové odchylky a odchylky rozměrů, kvalitativní úroveň jakosti povrchu apod. jsou při vizuálním zkoušení vyhodnocovány přímo a okamžitě, materiálově neomezené možnosti použití, přenosné vybavení, bez přípravy objektu, minimální zaškolení.

Nevýhody: lze vyhodnotit pouze povrchové defekty, je nutné kvalitní osvětlení a přístup k objektu.

2.2.2 Kapilární metody

Kapalina obsahující viditelné nebo fluorescenční barvivo je nanášena na povrch objektu a necelistvosti se zviditelní na základě kapilárního působení.

Výhody: použitelné praktický pro všechny nesavé materiály bez povrchového pokrytí a čisté, metoda je citlivá na velmi malé necelistvosti, požadavek minimální zkušenosti, přenosné vybavení.

Nevýhody: lze vyhodnotit pouze povrchové otevřené necelistvosti, nutná předcházející příprava objektu, rychlost metody do 30 minut, unavující vizuální hodnocení.

2.2.3 Magnetické metody

Objekt je zmagnetizován a je vyhodnocováno magnetické rozptylové pole buď zviditelněním necelistvostí nebo prostřednictvím malých feromagnetických částic nanesených na povrch nebo elektrickými senzory magnetického pole.

Logickou nevýhodou je nutnost, aby objekt byl z materiálu, který je možno zmagnetizovat, to je problém nekovových materiálů. [2]

2.3 Vibrodiagnostika - Základní pojmy

Mechanické kmitání je ekvivalentní termínu vibrace, jedná se dynamický jev, kdy hmotné těleso nebo hmotné body vykonávají vratný pohyb kolem rovnovážné polohy - kmitají. Hodnoty jsou dány budící silou, kmitočtem a směrem budící síly. Kmitání můžeme popsat

fází a amplitudou v daném čase. Vibrace jsou kombinací šesti pohybů v ortogonální soustavě x, y, z a rotací kolem os x, y, z, vycházíme z toho, že mechanický systém má šest stupňů volnosti.

Vlna je změna vlastností nebo fyzikálního stavu prostředí, šířící se v tomto prostředí a přenášející energii, aniž by současně docházelo k přemístování prostředí.

Mechanické vibrace jsou také způsobeny rázy, jako důsledek střetu dvou navzájem se pohybujících těles.

Podle časových změn může rozlišovat charakter vibrací periodického, neperiodického nebo náhodného. U periodických vibrací se časový průběh pravidelně opakuje. [2]

Harmonické vibrace jsou periodické vibrace o jediné frekvenci, ostatní veličiny lze dopočítat ze vztahu pro harmonické vibrace (1).

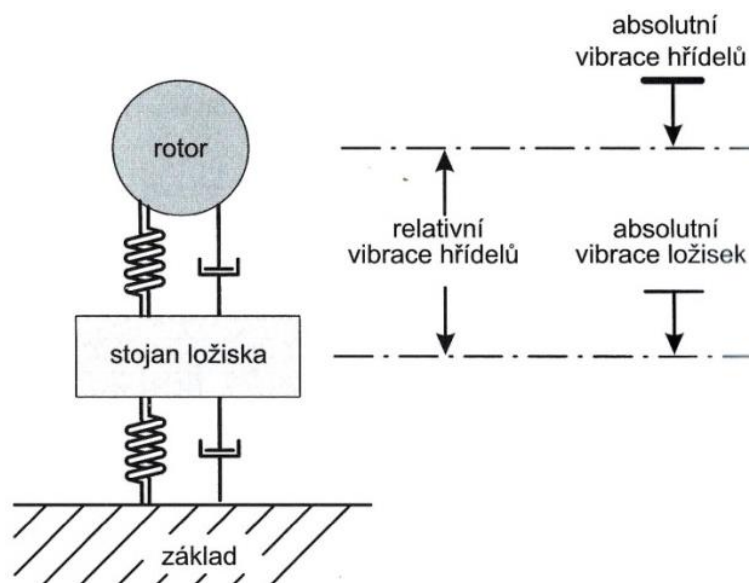
$$y = y_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Kde je:

y... okamžitá výchylka y_m ... amplituda výchylky
 ω .. uhlová frekvence ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) t.. čas (s) φ .. uhlová rychlost (rad)

2.3.1 Absolutní vs. relativní senzory vibrací

Absolutní senzory měří pohyb tělesa vůči gravitačnímu poli zeměkoule, k pevnému a fixnímu bodu, viz Obr. 4.



Obr. 4 - Absolutní a relativní vibrace [2]

Relativní senzory měří pohyb vůči zvolenému reálnému bodu, který může být v pohybu.

Absolutní senzor vibrací měří veličinu mechanických vibrací vzhledem k vlastní setrvačné tzv. seismické soustavě. Využití najde tam, kde není žádný relativní retenční bod.

Relativní senzor vibrací najde uplatnění při vyhodnocování vibrací např. jen jedné části stroje vůči druhé. V současnosti se pro relativní měření používají zejména bezdotykové senzory. [2]

2.3.2 Akcelerometry

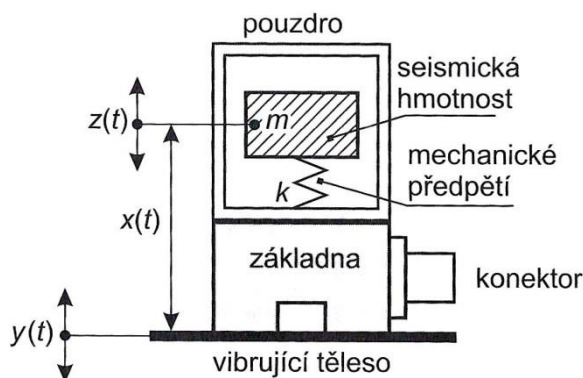
Akcelerometr je elektromechanické zařízení, které měří zrychlení sil. Tyto síly mohou být statické (tíhová síla), nebo dynamické (způsobeny pohybem nebo vibrováním akcelerometru)

Podle použité technologie výroby můžeme akcelerometry dělit na:

- piezoelektrický;
- piezorezistivní;
- kapacitní.

Piezoelektrický akcelerometr

Piezoelektrické akcelerometry patří ve vibrodiagnostice k nejrozšířenějším. Jejich funkce je odvozena z piezoelektrického jevu tj. deformace krystalické nebo polykrystalické látky v závislosti ke krystalové mřížce vytváří elektrickou polarizaci krystalu, viz Obr. 5



Obr. 5 - Model piezoelektrický akcelerometru [2]

Základem výroby piezoelektrických prvků jsou nejčastěji modifikace křemíku (SiO_2).

Z elementárního pohledu se chová piezoelektrický krystal jako kondenzátor o kapacitě C , dielektriku a dvěma elektrodami. Potom platí vztah pro elektrické napětí na elektrodách (2).

$$U = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

Kde: U .. elektrické napětí (V), Q .. elektrický náboj (C), C .. elektrický náboj (F).

Nevýhodou akcelerometrů využívající podélný jev (tj. s tlakovou deformací) je současný účinek příčného jevu, kde dochází k indukci přídavného náboje způsobující nežádoucí směrovou citlivost. V praxi se tento problém řeší užitím stříhového (smykového) piezoelektrického jevu kde je senzor necitlivý na tlakové deformace základové desky způsobené např. rušivým přenosem mechanických napětí z povrchu měřeného objektu nebo kolísáním teploty.

Důležitými parametry piezoelektrických akcelerometrů jsou:

- Dynamický rozsah $\pm a_v$ ($m \cdot s^{-2}$) výkmitu zrychlení nebo násobku normálního trakčního zrychlení g_n ($m \cdot s^{-2}$), ($g_n = 9,80665 m \cdot s^{-2}$);
- Frekvenční rozsah: dolní a horní mez pracovní oblasti;
- Nábojová citlivost nebo napěťová citlivost;
- Teplotní rozsah;
- Vliv okolního prostředí (elektromagnetické pole, vlhkost, akustický tlak).

Piezorezistivní akcelerometry

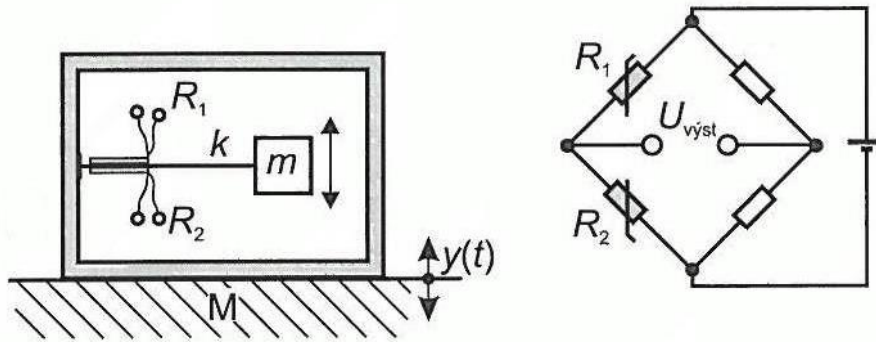
Pracují na principu piezorezistivního jevu, který je charakteristický vlivem orientace krystalografické hmoty na rezistivitu materiálu. Jako materiál se používá obohacený polovodič Si-p⁺. Pro změnu odporu platí vztah (3).

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t \quad (3)$$

Kde jsou:

$\pi_l, \pi_t \dots$ piezorezistivní součinitelům, $\sigma_l, \sigma_t \dots$ složky napětí v podélném a příčném směru.

Piezorezistivní elementy se nejčastěji (jak už to v praxi bývá u rezistivních senzorů) zapojují do Wheatstoneova můstku na Obr. 6 (zapojení pro zvýšení citlivosti s teplotní kompenzací odpovídají rezistory R_1 a R_2).



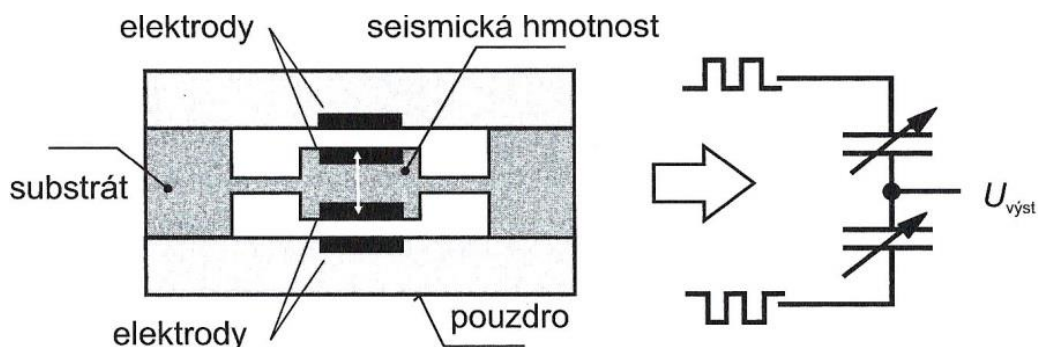
Obr. 6 - Wheatstoneův můstek s piezorezistivními elementy na vetknutém nosníku [2]

Za všech akcelerometrů mají piezorezistivní senzory nejvyšší citlivost, nevýhodou je jejich teplotní závislost. Používají se pro dlouhodobé testy. [2]

Kapacitní akcelerometry

Pro nízké dynamické rozsahy jsou velmi přesné a citlivé. Pracují tak, že při pohybu seismické hmoty se jedna kapacita zvětšuje a druhá zmenšuje, vyhodnocuje se diference kapacit.

Tento druh akcelerometrů založený na technologii MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) je velmi rozšířený ve spotřební elektronice, zejména v mobilních telefonech jako doplňková funkce.



Obr. 7 - Uspořádání kapacitního akcelerometru [2]

Základem uspořádání kapacitního akcelerometru, je monokrystalický substrát, na kterém je z polycrystalického křemíku na dvou pružných upevněních zavěšena seismická hmotnost ve tvaru hřebínku. Každý z velkého počtu hřebínku představuje střední pohyblivou elektrodu soustavy diferenciálních kapacitních senzorů s proměnou vzduchovou mezerou a pevnými elektrodami, viz Obr. 7.

2.3.3 Použití vibrodiagnostiky v praxi

Použití vibrodiagnostiky se obecně zaměřuje na oblasti:

1. Celkové vibrace stroje

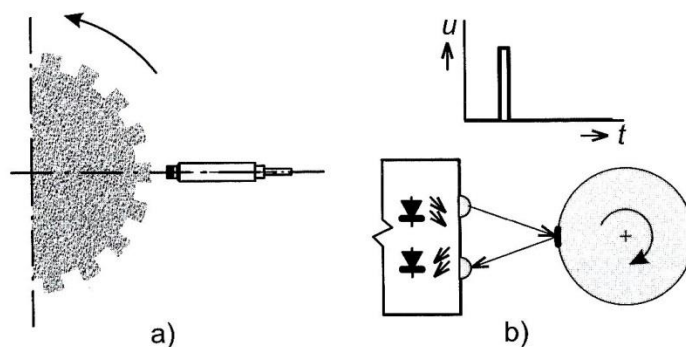
Mluvíme zde o celkové energii, která souvisí se všemi frekvencemi vibrací v daném bodě. Výhodou je rychlost vyhodnocení a nízké pořizovací náklady. Nevýhodou je šum způsobený přenosem vibrací z okolí a velmi omezená možnost lokalizace zdroje a příčiny vibrací. V praxi se vyhodnocují hodnoty bezporuchového stavu a hodnoty na poplachové úrovni. Existují zde orientační meze vibrací stroje podle, kterých lze určit orientační úroveň vibrací a orientační stav stroje.

2. Kinematická dráha hřídele

Při umístění dvou bezdotykových senzorů výchylky, kdy tyto dva senzory svírají úhel 90° , lze získat dráhu rotujícího hřídele.

2.3.4 Senzory otáček ve vibrodiagnostice

Při zpracování vibrodiagnostického signálu je velmi důležitá znalost otáček a polohy rotujícího objektu. Setkáváme se zde s pojmem keyphasor, což je vztažný bod na rotujícím objektu.



Obr. 8 - Senzory otáček a referenčního bodu [2]

a) Indukční senzor b) optoelektronický senzor

Je známo mnoho způsobů určování otáček a polohy, v praxi převládají bezdotykové senzory (mimo jiné nedochází k mechanickému opotřebenění a únavě senzoru), indukční na principu vířivých proudů, optoelektronické na principu odrazu záření na odrazné ploše s použitím infračervených nebo laserových diod, viz Obr. 8.

2.4 Metody měření teploty v průmyslu

Teplotu a měření teploty lze považovat nejen v průmyslu na základní měřenou a regulovanou fyzikální veličinu.

Při rozvoji číslicových obvodů se měření teploty skládá ze dvou bloků, měřicí prvek, využívající nějakého známého fyzikálního jevu (např. vliv teploty na vodivost materiálu) a převodník z analogové hodnoty na číslicovou, hodnota se v číslicové podobě lépe přenáší a zpracovává.

Senzory pro měření teploty lze podle [4] dělit na:

Dotykové

Elektrické	(odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové)
Dilatační	(kapalinové, plynové, parní a bimetalové)
Speciální	(akustické, šumové, magnetické, tekuté krystaly, teploměrné barvy a jiné)

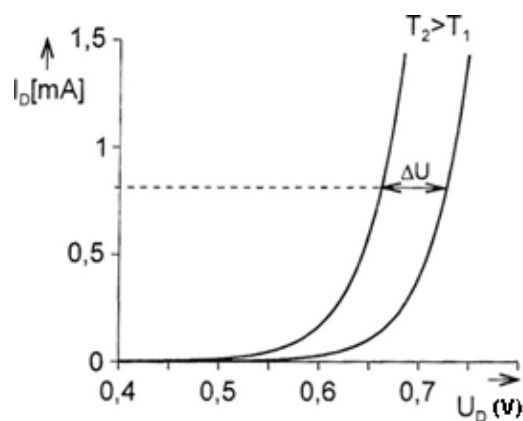
Bezdotykové

Tepelné	(infračervené termočlánky, bolometry, pyroelektrické senzory)
Kvantové	(polovodičové infračervené fotodiody a fotovodivostní detektory)
Akustické	(ultrazvukové)

Pro účel práce se budeme zabývat hlavně senzory napěťově aktivními s polovodičovým PN převodem.

2.4.1 Napěťové aktivní senzory s PN přechodem

U napěťově aktivních senzorů platí, že výstupem je přímo napěťový signál. Jejich polovodičový základ dovoluje integraci dalších obvodů (zesilovač, A/D převodník, základní komparátor, v komunikační rozhraní, alarm...) na jednom čipu, stávají se tak velice užitečnými sami o sobě. Např. některé obvody mají integrovanou I2C sběrnici nebo tzv. one wire sběrnici pro digitální čtení dat. Můžeme se také setkat s funkcí alarm, kdy po nastavení příslušné hodnoty do registrů, může integrovaný komparátor vyvolat samostatně nějakou událost. Typickým reprezentantem těchto integrovaných „chytrých“ senzorů je např. obvod Texas Instruments TMP275 [5]. Další výhodou napěťově aktivních senzorů je velká citlivost a možnosti linearizace.



Obr. 9 - Teplotní závislost $\Delta U_D=f(T)$ PN přechodu [4]

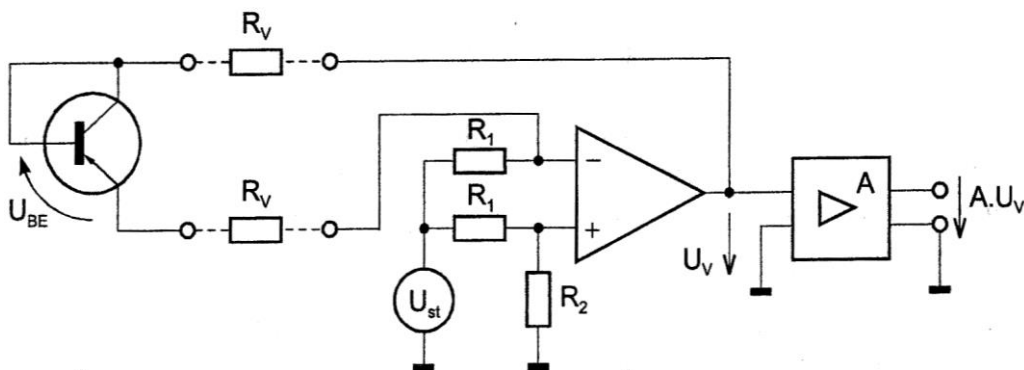
Jejich nevýhodou je pak nízký měřitelný rozsah teplot daný materiálem (do 125°C).

Oproti tomu termočlánky se naopak vyznačují velkým rozsahem teplot (až 2000°C) a miniaturními rozměry, ale nízkou citlivostí. Výstupní napětí je dáno vztahem (4) :

$$U_v = -U_{BE} - U_{st} \frac{2R_v}{R_1} + U_{st} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

Kde je: U_v ... výstupní napětí (V), U_{BE} ... prahové napětí přechodu báze-emitor (V), U_{st} ... stejnosměrné napájecí napětí (V), R_v ... odpor vedení (Ω), R_1 , R_2 ... odpory komparátoru (Ω).

Na Obr. 10 je vidět jednoduché základní zapojení s tranzistorovou diodou, v praxi se používají složitější konstrukce jako integrovaný PN senzorový můstek, skládající se z více PN přechodů. Výstupní napětí aktivního můstku s tranzistorovou diodou je dáno vztahem (4).



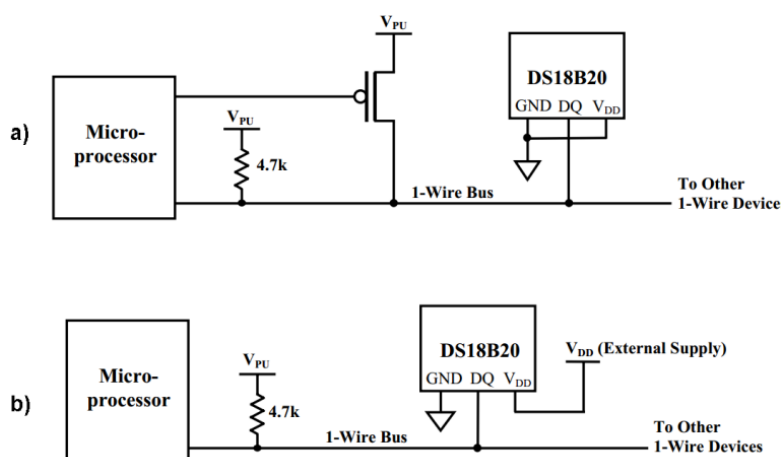
Obr. 10 - Aktivní můstek s tranzistorovou diodou [4]

2.4.2 DS18B20 digitální teploměr

Měřicím prvkem teploměrů použitých na výukovém modelu je obvod DS18B20 od firmy MAXIM (Dallas semiconductor) je tedy vhodné uvést jeho krátký popis a charakteristiky.

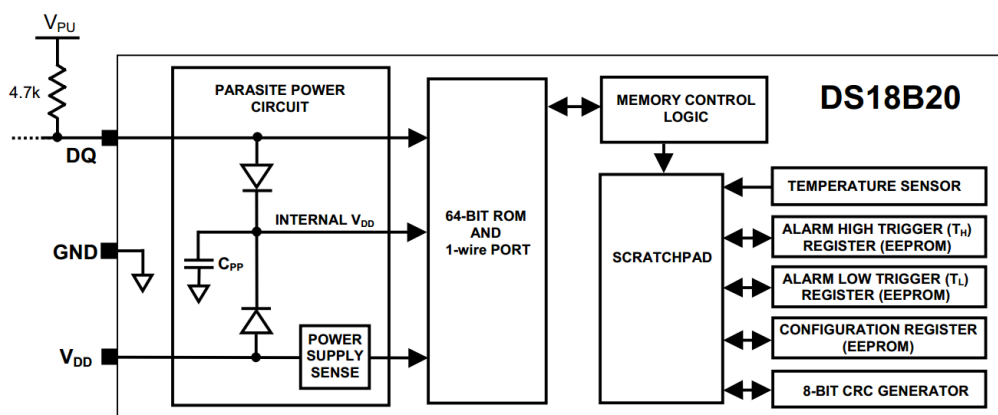
DS18B20 používá klasické tranzistorové pouzdro TO-92. Má tedy 3 piny (GND, VDD a DQ) dva napájecí a jeden datový (one wire sběrnice). Obvykle se tato součástka dává do sítí kde rozlišení každého měřicího bodu je dáno unikátní 64 - bitovou adresou z výroby.

Ve speciálním režimu můžeme dokonce používat dva vodiče, kde jeden je zem a druhý je napájecí a datový zároveň, používá se tzv. parazitního napájení.



Obr. 11 - Napájení DS18B20 a) parazitní b) aktivní [6]

Na blokovém schématu na Obr. 12 můžeme vidět klíčové prvky DS18B20. Mimo LOW/HIGH úrovní alarmu můžeme vidět generátor CRC pro cyklickou kontrolu dat. Na blokovém schématu je také naznačen parazitní napájecí obvod. [6]



Obr. 12 - Blokové schéma DS18B20 [6]

2.5 Metody měření síly

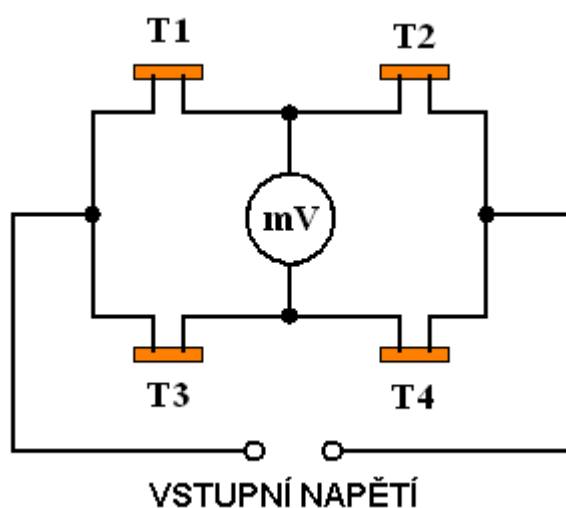
Mechanické napětí lze prakticky zjistit pouze přes jeho závislost na deformaci (Hookův zákon). Existuje způsob měření mechanického napětí, který nevyužívá Hookova zákona – tzv. strunové tenzometry pro napínání ocelových lan, v praxi se ovšem díky vysoké ceně nepoužívá.

Změnu elektrického odporu vodiče zjistil Wheatstone (Wheatstonenův můstek). Odpor vodiče R je dán délkou l průřezem S a materiálovou konstantou měrného odporu ρ , podle vztahu pro měrný elektrický odpor vodiče (5).

$$R = \frac{l}{S} \rho \quad (5)$$

Kde je: R .. Výsledný odpor měřícího tenzometrického prvku (Ω), l .. délka prvku (m), S .. průřez prvku (m^2), ρ ... materiálová konstanta měrného odporu ($\Omega.m$).

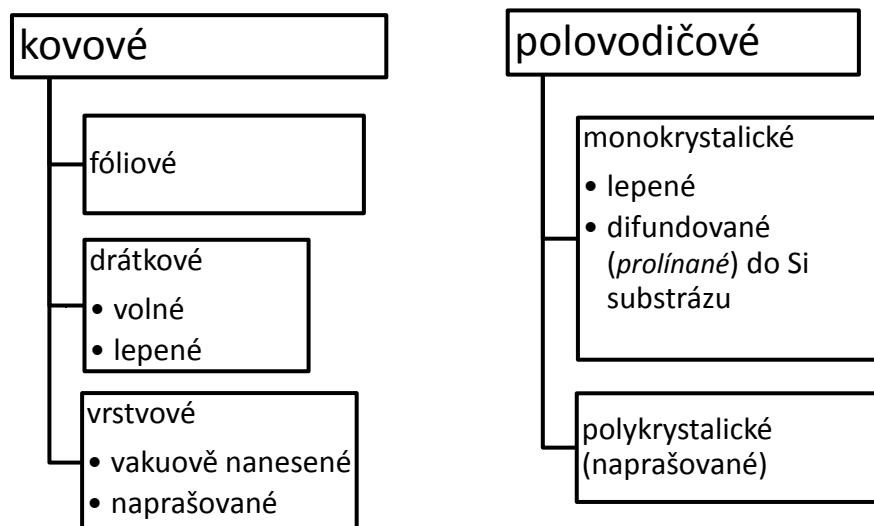
Pokud se tedy působením síly (napětí) deformuje průřez a délku vodiče, změní se jeho odpor a pokud je zapojen do tenzometrického – Wheatstonenova - můstku na Obr. 13, dojde k nevyvážení můstku, které můžeme změřit jako elektrické napětí.



Obr. 13 - Obecné zapojení plného tenzometrického můstku

2.5.1 Typy odporových tenzometrů

Dle materiálu, konstrukčního tvaru, a způsobu upevnění na měřený objekt můžeme tenzometry dělit:



Nejpoužívanějšími kovovými tenzometry jsou v současné době lepené fóliové tenzometry, drátkové tenzometry jsou využívány jen málo, je to zejména dáno snadnou výrobou.

Fóliové tenzometry jsou vyráběny fotolitografickou metodou, proto je lze dobře přizpůsobit potřebnému tvaru a rozměrů (v řádu mikrometrů), další výhodou je, že po nalepení na izolační materiál skvěle kopírují povrch (velmi dobře kopíruje měřenou deformaci), projevují se také vysokých zátěžovým proudem a vysokou životností. Dále se často používají naprašované kovové tenzometry pro měření tlaku, monokrystalické difundované a polykrystalické se používají pro hromadné aplikace (automobilový průmysl, domácí spotřebiče). [4]

2.5.2 Měření síly a pružné (deformační) členy typu S

Principem téměř všech senzorů síly (tíhy) je převod síla – deformace – fyzikální účinky deformace.

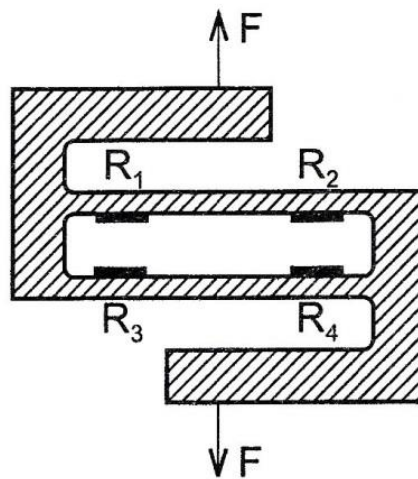
Jako deformační členy pro měření síly se používají téměř výhradně odporové tenzometry. Materiály pro pružné členy musí splňovat požadavky na minimální teplotní roztažnost, teplotní koeficient Youngova modulu pružnosti (také modul pružnosti v tahu), dobrou teplotní vodivost, malou hysterezi, jemnozrnnou homogenní strukturu, malé účinky tečení, a odolnost proti korozi. [4]

Geometrie pružných členů musí odpovídat požadavkům na [4]:

- Směrovost – co největší poddajnost ve směru měřené síly tj. optimální směrová poddajnost.
- Převod měření síly na deformace opačných znamének tak, aby bylo možné použít čtyř aktivních tenzometrů.
- Transformace měřené deformace na hodnoty v rozsahu linearity použitých tenzometrů a ochrana proti přetížení.

Pružný člen typu S je v praxi velmi rozšířený. Tvar umožňuje umístění fóliových tenzometrů v hermeticky uzavřeném prostoru a chrání tak senzory před vnějším vlivem. Uspořádání lze vidět na Obr. 14. [4]

Tlaková nebo tíhová síla se aplikuje uprostřed vnějších ramen písmene S, rozměry zařízení s rozsahem do 50 kN obvykle nepřekročí 100 mm.



Obr. 14 - Pružný člen typu S [4]

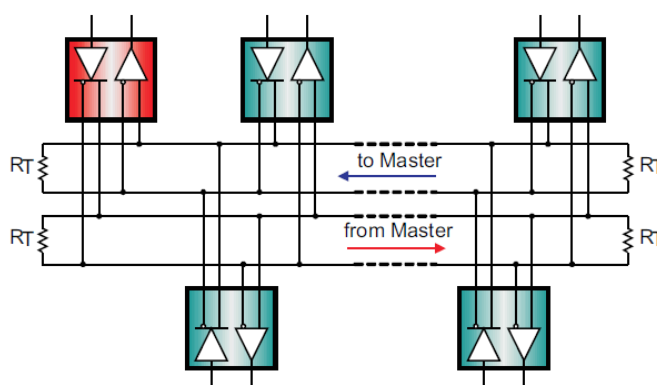
Při měření sil do 50 kN můžeme očekávat relativní přesnost řádově 0,1 % a rozlišovací schopnosti 0,02 %.

Senzory toho typu se běžně uplatňují v průmyslových aplikacích.

2.6 Sběrnice RS485

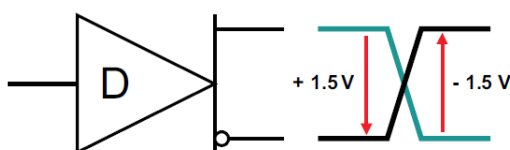
V roce 1983 byl EIA (Electronics Industries Association) schválen nový standard diferenciální komunikace RS485, který měl najít využití v průmyslu, medicíně a spotřebitelských aplikacích.

Standard RS 232 je vzhledem k popularitě dnešních PC velice známý. Pro standardy RS422 a RS485 je situace poněkud odlišná: používá se spíše v průmyslovém prostředí a v systémech pro řízení a přenos dat (jednotky Mb/s, max. 10 Mb/s). RS232 bylo vyvinuto pro komunikaci lokálních zařízení a podporuje jeden vysílač a jeden přijímač. RS485 se používá pro multipoint komunikaci, více zařízení vedení (např. jako ETHERNET). Většina RS485 systémů používá Master/Slave architekturu, kde má každá slave jednotka svojí unikátní adresu a odpovídá pouze na jí určené pakety. Tyto pakety generuje Master (například PC) a periodicky obesílá všechny připojené slave jednotky. RS485 předpokládá maximálně 32 uzlů/zařízení na jedné síti. Standard definuje full-duplex Obr. 15 a half-duplex Obr. 17 komunikaci. [7]



Obr. 15 - Full-Duplex struktura RS485 [7]

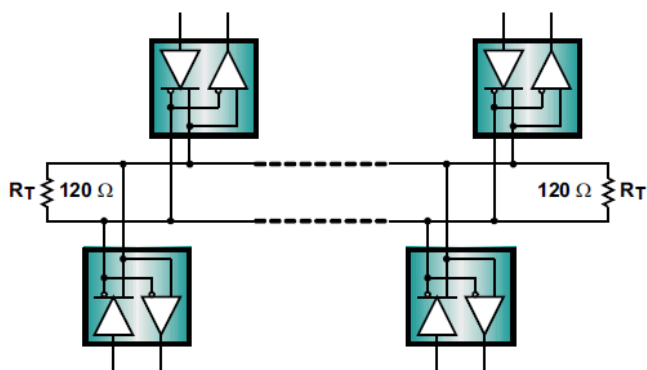
Díky diferenciálnímu signálu (např. jako USB) jsou eliminovány přeslechy ze sousedních vodičů, a pro jakékoli jiné zdroje šumů, dokud nejsou překročeny napěťové hranice vstupních obvodů přijímacího obvodu. Diferenciální vstup také eliminuje rozdíl zemních potenciálů vysílače a přijímače. Dříve byla nevýhoda diferenciální signálu nutnost složitějšího obvodu přijímače/vysílače.



Obr. 16 - Specifikace minimální úrovně signálu [7]

Do přenosového vedení se indukuje šum a rušení. Protože se však signál přenáší twisted párem vodičů jdoucích stejnou trasou, je napěťová diference (rozdíl napětí mezi A a B) tohoto rušení téměř nulová.

Existují další dvě zapojení sběrnice RS485 (s terminačními kondenzátory a tzv. Failsafe zapojení) v praxi se však nejvíce setkáme se zapojením podle Obr. 17, uvedeného pod textem.



Obr. 17 - Nejobvyklejší zapojení sítě RS485 Half-Duplex struktura [7]

Odrazy na konci vedení eliminujeme přidáním terminačního odpor $100\ \Omega$ na konec vedení. Je-li na vedení připojeno více přijímačů, můžeme odpor zvětšit na $120\ \Omega$. V klidu má vodič B kladnější hodnotu než vodič A. Důležitým faktorem je také poměr délky kabelu a přenosová rychlost. Platí nepřímá úměrnost čím delší kabel tím menší přenosová rychlost. Standard definuje elektrické parametry, fyzickou vrstvu a topologii RS485, komunikační protokol nedefinuje, proto existuje celá řada protokolů (Spinel, USS...), které pracují na sběrnici RS485. Souběh různých protokolů může v praxi způsobovat problémy, řešení je např. použití více kanálů – sítí. [8]

Nejdůležitější parametry sběrnice RS 485 jsou shrnuty v Tab. 1 - Důležité parametry RS 485.

Tab. 1 - Důležité parametry RS 485

Topologie:	Multipoint, sběrnicevá
Pracuje již při napájení:	5 V
Rozsah nejčastějších pracovních napětí:	-7 V až +12 V
Počet uzlů/zařízení na jedné síti:	32
Maximální přenosová rychlost:	10 Mb/s
Maximální délka vodiče:	1200 m (při rychlosti 100 kb/s)
Značení vývodů:	A (Tx+, Rx+), B (Tx-, Rx-)

3 Vlastní práce

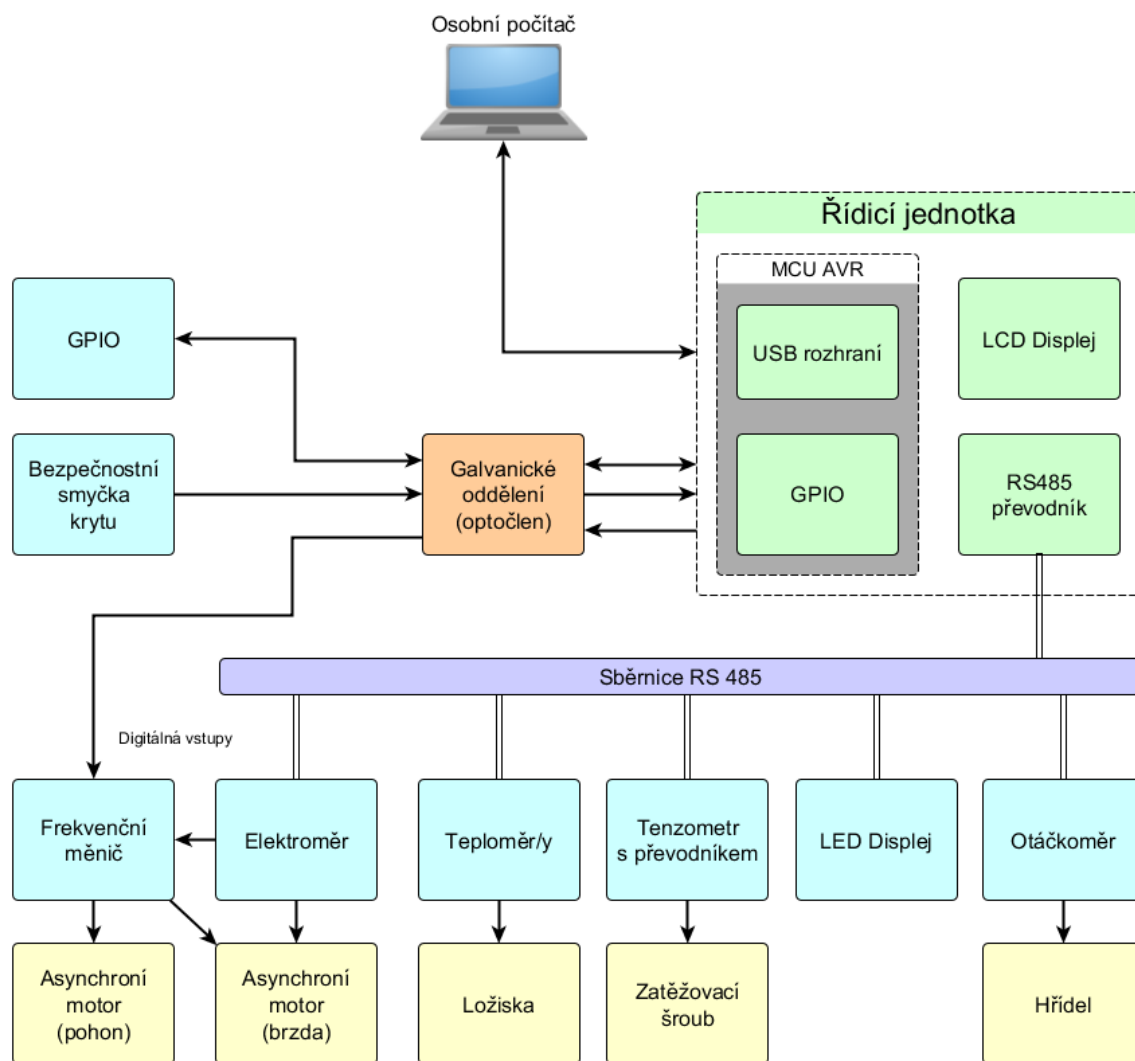
Kapitola začíná uvedením obecných cílů pro tvorbu řídicího systému, dále pokračuje stručným přestavením jednotlivých komponentů.

Přehled technických parametrů lze nalézt v příloze E, v případě potřeby detailnějších informací lze nahlédnout do katalogového listu výrobce. Poslední dvě podkapitoly se věnují popisu hardwaru a softwaru řídicí jednotky.

3.1 Obecné cíle pro tvorbu řídicího systému

1. Systém bude založený na mikrokontroléru ATMEL rodiny AVR.
2. Program řídicí jednotky bude napsán v jazyce C/C++.
3. Řídicí jednotka bude schopná obsluhovat zařízení a subsystémy:
 - Teploměry TQS3 (Papouch),
 - Tenzometrický převodník TE485 (Papouch),,
 - LED displej TDS (Papouch),
 - Elektroměr ED310 (ZPA),
 - Frekvenční měnič Sk 500e (NORD).
4. Cílem je také vytvoření jednoduchého otáčkoměru, u kterého lze odečítat otáčky pomocí USB sběrnice, prostřednictvím displeje a sběrnici RS 485 tj. mít možnost používat otáčkoměr samostatně nebo v rámci většího systému.
5. Řídicí jednotka bude schopna pracovat autonomně v omezeném režimu.
6. Řídicí jednotka bude mít k dispozici obecné vstupně výstupní piny (GPIO **General-purpose input/output**) pro další rozšiřování možností systému.
7. Cílem je také detekce otevření krytu zařízení.
8. Upřednostňovaná komunikační sběrnice je RS485 (podpora je u všech výchozích zařízení).
9. Jako rozhraní mezi osobním počítačem (dále jen PC) a řídicím systémem bude sběrnice USB.

Pro celkovou představu koncepce a hierarchie systému viz Obr. 18.



Obr. 18 - Koncepční diagram celého systému

3.2 Měřicí prvky a měřené veličiny

3.2.1 Protokol SPINEL pro zařízení výrobce Papouch

Základní komunikační protokol v textové (ASCII) verzi (označené číslem 66) a také binární variantě pro strojové použití (označené číslem 97). Výchozí komunikační protokol nastavený v zařízení je Spinel. [9]

Protokol Spinel je protokolem firmy Papouch a byl navržen tak, aby bylo možné jej dále rozšiřovat nebo modifikovat, a aby bylo možné různá zařízení s různými modifikacemi protokolu Spinel propojovat bez kolizí.

Protokol funguje na principu dotaz - odpověď, řídicí jednotka se vždy zeptá senzoru a ten odpoví, odešle změřenou hodnotu nebo chybový kód.

Data jsou přenášena v rámcích (paketech) s definovaným začátkem a koncem. Nastane-li při příjmu prodleva mezi kterýmikoli bajty delší než 5 sekund, příjem se ukončí.

Příklady komunikace na protokolu Spinel:

*B2TR<CR>	Požadavek naměřené hodnoty teploty senzoru na adrese 2
*B1TR<CR>	Požadavek naměřené hodnoty teploty senzoru na adrese 1
*B5DDW 25.8<CR>	Na displeji s adresou 5 zobrazí „28.5“
*BTMR0<CR>	Požadavek naměřené hodnoty tenzometru na adrese T

Formát 66 je ASCII protokol pro jednoduchá zařízení, kdy mají být všechna data čitelná, například pro teplotní čidla, senzory, apod. Používají se jen dekadické proměnné nebo znaky, které lze psát na běžné klávesnici. Formát 66 není vhodné kombinovat s binárním formátem u stejného zařízení, protože je v některých proměnných omezen na ASCII znaky.

Modifikace protokolu jsou označovány jako formáty, každý formát má svoje číslo. Čísla 0 až 96 jsou vyhrazena pro formáty s kódováním ASCII, čísla 97 až 255 pro binární kódování. Jednotlivá zařízení mohou podporovat několik formátů protokolu Spinel, nebo mít svůj zcela specifický formát, přesto zůstane zachována vzájemná kompatibilita. [9]

Pakety jsou rozděleny na dotaz odpověď [9]:

Dotaz:

PRE FRM ADR INST DATA... CR

Odpověď:

PRE FRM ADR ACK DATA... CR

Popis jednotlivých částí paketu viz Tab. 3.

Tab. 2 - Popis prvků paketu Spinel protokolu [9]

PRE	Prefix (znak “*”), viz obecný popis protokolu
FRM	Číslo formátu 66 (znak „B“), viz obecný popis protokolu
ADR	Adresa zařízení, kterému je posílán dotaz nebo které posílá odpověď.
INST	Kód instrukce – Kódy instrukce daného zařízení. Jsou jimi ASCII kódy písmen „A“ až „Z“ a „a“ až „z“ a číslice „0“ až „9“.
ACK	Potvrzení dotazu (Acknowledge) – Potvrzení dotazu, zda byl proveden/neproveden apod.
DATA	Data instrukce. ASCII vyjádření přenášených proměnných. Doporučuje se data přenášet v běžném tvaru a jednotkách. Nesmí obsahovat prefix ani CR.
CR	Zakončovací znak (0DH)

3.2.2 Teploměry

Modul TQS3 na Obr. 19 je digitální teplotní čidlo výrobce Papouch s. r. o. založené na napěťovém aktivním senzoru DS18B20, jde o polovodičový křemíkový senzor s PN přechodem. Výhodou je snadná integrace spolu se zpracovávajícími obvody, logikou a AD převodníkem přímo na jenom čipu. Další výhodou je velká citlivost $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ a linearita. Celé zařízení je potom obsluhováno mikro kontrolérem, který zajišťuje komunikaci s teplotním senzorem a komunikaci dotaz-odpověď na RS485. [10]



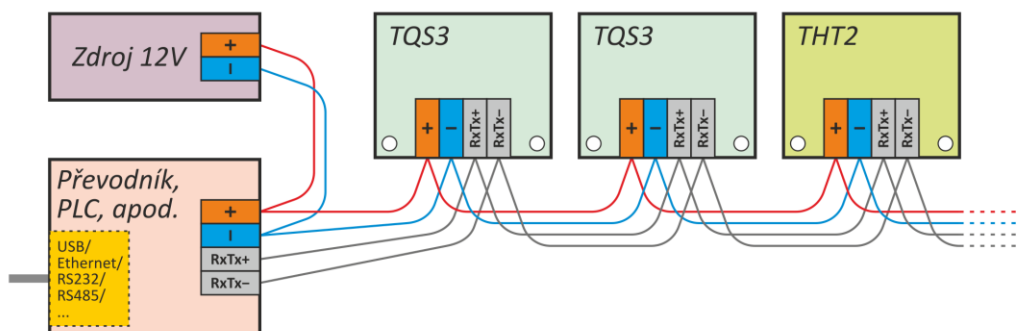
Obr. 19 - Senzor teploty TQS3 [10]

Vstup má ochranu proti přepólování. Komunikuje po sběrnici RS485 standardizovanými protokoly Spinel nebo Modbus RTU. Tyto vlastnosti umožňují propojení více senzorů čtyřvodičovou sběrnicí, obsahující linku RS485 a napájecí vedení, na vzdálenost 1200 m. Na modulu TQS3 je umístěna kontrolka, která signalizuje bliknutím právě probíhající měření teploty. [6]

Doporučený kabel pro počítačové sítě obsahuje čtyři páry kroucených vodičů:

- První pár použijte pro datové vodiče. Jeden vodič zvolte jako **Tx+** (RxTx+), druhý jako **Tx-** (RxTx-).
- Druhý pár: Propojte oba vodiče a použijte je pro kladný pól napájení (**PWR**).
- Třetí pár: Propojte oba vodiče a použijte je pro zem napájení (**GND**).
- Čtvrtý pár: Ponechte nezapojený. Může sloužit jako případná rezerva pro budoucí použití.
- S ostatními zařízeními se komunikační vodiče RS485 propojují 1:1. Tedy Tx+ (RxTx+) na TQS3 k RxTx+ na protějším zařízení, respektive Tx- (RxTx-) na RxTx-.

Ukázka propojení TQS3, převodníku a případných dalších zařízení je na následujícím Obr. 20.

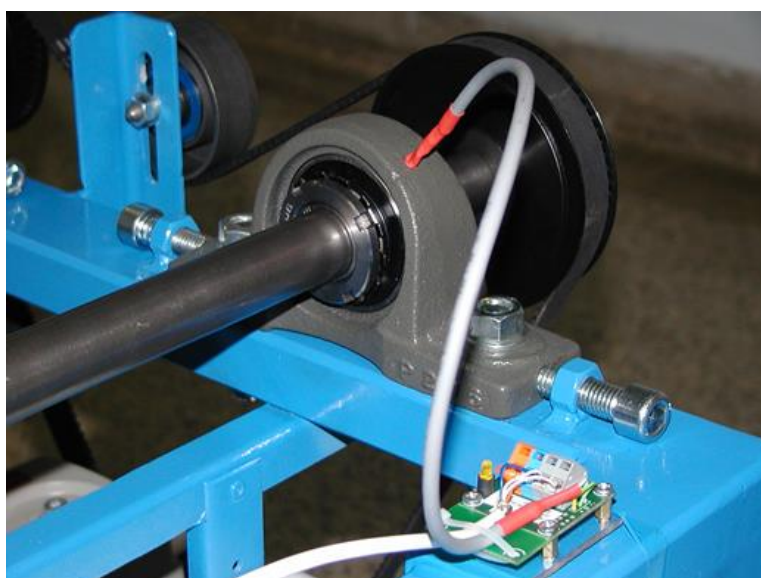


Obr. 20 - Ukázka zapojení zařízení na RS 485 [10]

Tab. 3 - Nastavení komunikační linky pro Spinel protokol

Typ	RS485
Doba odezvy	2,5 ms
Komunikační protokol	Spinel nebo Modbus RTU (přepíná se uživatelsky)
Výchozí komunikační protokol	Spinel
Rychlost	až 115,2 kBd
Z výroby nastavená adresa	31H (znak: „1“)
Počet datových bitů	8
Parita	žádná
Počet stopbitů	1

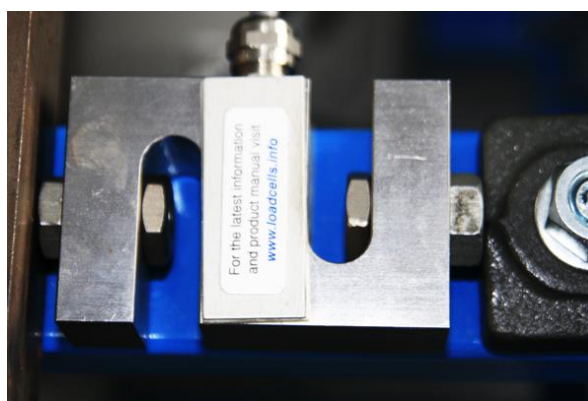
Na Obr. 21 je vidět instalace teploměru TQS3 s prodlouženým kabelem ve vyvrtaném otvoru ložiskového tělesa.



Obr. 21 - Instalovaný teploměr TQS3

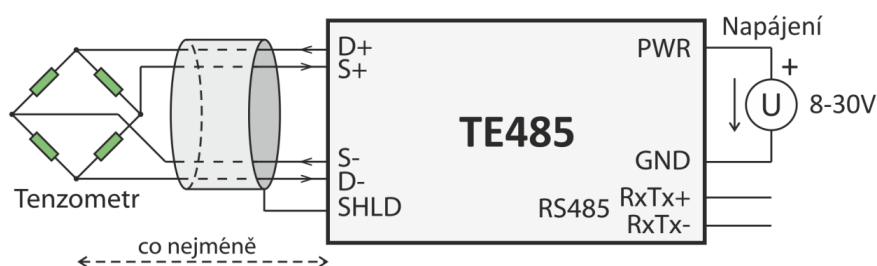
3.2.3 Tenzometr a tenzometrický převodník

Pro měření působící síly byl použit celokovový tenzometrický pružný člen typu "S" LC101-2k na Obr. 22 (2k jako 2000 lb = 907,18474 kg) výrobce OMEGA ENG. Člen je charakteristický vlastnostmi jako prachotěsná a odolná celokovová konstrukce vhodná pro průmyslové aplikace, vysoká přesnost, pětibodová kalibrace a jiskrová bezpečnost. [11]



Obr. 22 - Vážní čidlo - tenzometr - na výukovém modelu

K vyhodnocení výstupní hodnoty můstku byl použit převodník Papouch TE485. Tenzometrický převodník TE485 umí hodnotu ze snímačů síly (tenzometrů) převést na digitální číslo, čitelné například z PC nebo jiného nadřazeného systému přes digitální linku RS485. Měření v TE485 provádí přesný nízkošumový A/D převodník. Výstupem je hodnota přímo v nastaveném zatížení, ale pro důkladnější analýzu signálu je možné číst také přímo "surovou" hodnotu z převodníku. [12]



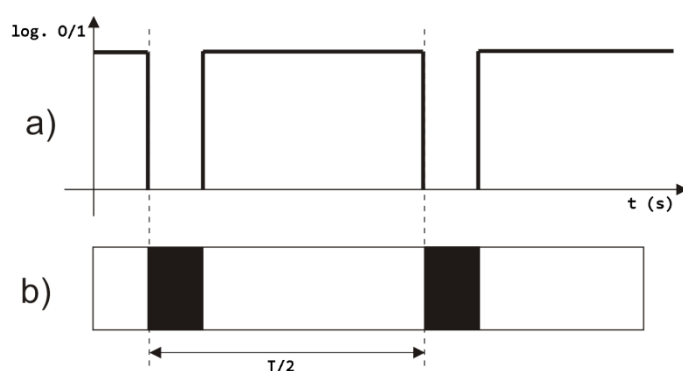
Obr. 23 - Zapojení tenzometru a převodníku [12]

Článek o testu převodníku lze najít zde [13]. Závěrem testu je, že převodník tenzometrických snímačů pro měření zatížení (vážení), představuje velmi cenově výhodnou alternativu ke konkurenčním převodníkům, které se obvykle cenově pohybují velmi vysoko a přitom někdy ani o moc více nenabízejí.

3.2.4 Měření otáček

Frekvenční měnič popsaný níže samozřejmě umožňuje zjišťovat otáčky pomocí dopočtu ze zadaných parametrů motoru (Parametr 717 Aktuální otáčky [min^{-1}]) nebo pomocí připojeného snímače otáček (Parametr 735 Otáčky ze snímače otáček [rpm]) jako příslušenství, ale ze zadání vyplývá požadavek na samostatnou jednotku pro měření otáček, a to z důvodu dalšího využití na jiných zařízeních katedry. [14]

Byl tedy vypracován, na základě požadavku maximální jednoduchosti a univerzálnosti, jednoduchý a přitom dobře použitelný otáčkoměr. Vyznačuje se především snadnou instalací (stačí přilepit pásek s černobílými značkami na rotující hřídel), viz Obr. 24.



Obr. 24 - Průběh měření otáčky a) výstupní signál b) měřicí pásek

Dalším požadavkem bylo, aby otáčkoměr uměl komunikovat po sběrnici RS485, a aby bylo možné otáčkoměr použít samostatně i pro jiné aplikace než jen řídicí systém výukové jednotky. Proto bylo použito mimo RS485 rozhraní také USB rozhraní, které dokáže zařízení připojit pomocí virtuálního sériového portu k PC a otáčkoměr má vlastní LED displej, zobrazující aktuální měřené otáčky.

Snímání je založeno na reflexním optočlenu CNY70 [15] [16], optočlen reaguje na přechod měřicího proužku. Měřicí proužek je bílá páska o šířce 10 mm s černými značkami, přilepená na točící se hřídeli. Optočlen při přechodu černá - bílá barva vyvolá vnější přerušení v mikrokontroléru spádovou hranou. Počet otáček je dále dopočítán a na dotaz odeslán po sériové lince.

Reflexní senzor CNY70 lze nahradit jakýmkoliv snímačem, který má jako výstup obdélníkový signál např. indukční senzor se zubovým kotoučem, optická závora ve tvaru U se zubovým kotoučem, reflexní optická závora s prizmatickou odrazkou. Poslední možnost (polarizovaná reflexní detekce) nabízí největší měřicí vzdálenost při zachování jednoduchosti instalace (nalepení dvou proužků reflexních odrazek na hřídel).

Pro komunikaci na sběrnici RS485 bylo nutné použít převodník UART/RS485 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) konkrétně uvedeno v [17]. Oproti ostatním převodníkům vyniká nízkou cenou, pouzdem DIP, dostupností a jednoduchostí.

Softwarové řešení otáčkoměru

Při měření otáček můžeme aplikovat dva základní přístupy:

1. měřit počet otáček za sekundu (zde činí problém otáčky s velmi dlouhou periodou)
Otáčkoměr je navržený pro měření otáček v rozsahu 500 ot.min^{-1} až 3000 ot.min^{-1} .
2. měřit čas jedné otáčky a dopočítat kolik otáček je za sekundu

Po výpočtu je vhodné použít mediánový filtr (nebo aritmetický průměr) hodnot otáček, pro eliminaci náhlých skokových změn měřené hodnoty.

Vzhledem k tomu, že 7 segment LED displej potřebuje neustálé obnovování, ukázal se druhý způsob jako efektivnější.

Otáčkoměr počítá dvě přerušení – dvě značky na otáčku.

Dále už jsou součástí programu jen rutiny na obsluhu dotazu na počet otáček. Otáčkoměr odpovídá na dotaz "**rpmcount <ADR><CR>**", kde za mezerou následuje adresa **<ADR>** otáčkoměru a **<CR>** carriage return – tzv. návrat vozíku – návrat na začátek řádku.

Adresa otáčkoměru se nastavuje pomocí jumper propojek, kde žádná propojka odpovídá součtu binárních vah 1, 2, 4. Např. žádná propojka $ADR = 0$, první propojka $ADR = 1$, první a třetí $ADR = 1+4 = 5$ tj. $(001_{\text{BIN}} + 100_{\text{BIN}} = 101_{\text{BIN}})$ atd.

Kód programu lze nalézt na přiloženém CD.

Závěrečný test otáčkoměru

Ve spolupráci s Katedrou elektrotechniky a automatizace byl otáčkoměr se zapůjčeným generátorem funkcí a osciloskopem vyzkoušen pro konkrétní frekvence signálu obdélníkového tvaru, střídy 80%, s výsledkem:

Pro 50 Hz odpovídající 1500 ot.min^{-1} (dvě přerušení na otáčku) změřil otáčkoměr 1501 ot.min^{-1} .

Pro 100 Hz odpovídající 3000 ot.min^{-1} (dvě přerušení na otáčku) změřil otáčkoměr 3002 ot.min^{-1} .

Schéma a kód otáčkoměru lze nalézt na přiloženém CD.

3.2.5 Elektroměr

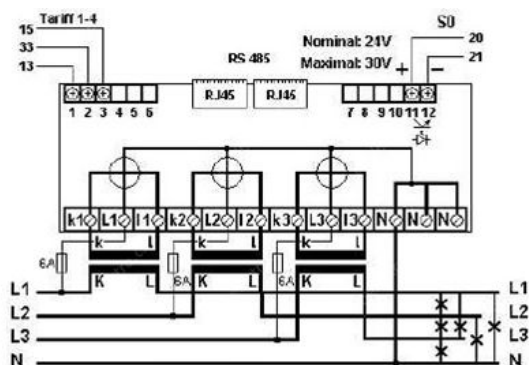
Pro měření spotřeby byl použit elektroměr ED 310 na Obr. 25, od firmy ZPA doplněný o komunikační modul RSM 310 pro sběrnici RS485.

Elektroměr kromě měření spotřeby provádí výpočty, disponuje displejem, snímá tarifní vstupy, elektroměr lze odečítat přes infračerveného optorozhraní pomocí příručního terminálu (tzv. handheld unit zk. HHU.), RS485 a M-Bus. Vybrané hodnoty a údaje ukládá do paměti a umožňuje přepínat tarify.



Obr. 25 - Elektroměr ED 310 [18]

Měřicí systém umožňuje měření i za přítomnosti stejnosměrných a harmonických složek v měřeném obvodu (napětí i proud) v celém měřicím rozsahu elektroměru. Negativní působení stejnosměrných složek je eliminováno v každé měřicí periodě. Kalibrace měřicího systému se uskutečňuje programově, elektroměr neobsahuje žádné mechanické nastavovací prvky. Měřicí systém zabezpečuje s rezervou deklarovanou přesnost elektroměru. Výrobce doporučuje zapojení je na Obr. 26. [18]



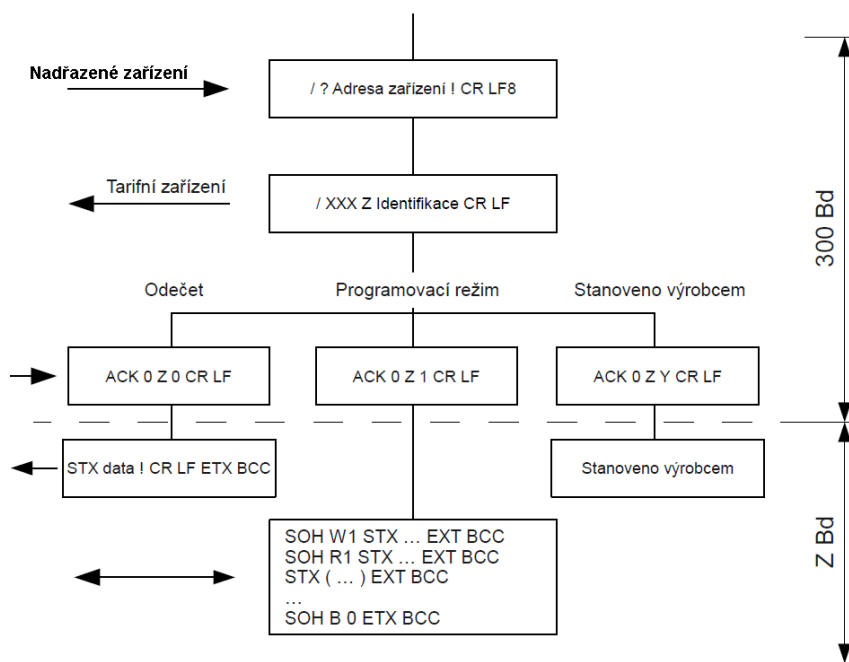
Obr. 26 - Zapojení elektroměru ED310 [18]

Protokol dle normy ČSN EN 62056-21 (režim C)

Jak uvádí výrobce, komunikace modulu RSM 310 probíhá podle protokolu, který je součástí normy ČSN EN 62056: Měření elektrické energie – Výměna dat pro odečet elektroměru, řízení tarifu a regulaci zátěže – části 21: Přímá místní výměna dat, v režimu C.

Komunikační režim C zajišťuje obousměrnou výměnu dat s přepínáním přenosové rychlosti. Tento režim umožňuje odečet dat, programování se zvýšeným zabezpečením a přepnutí do režimů stanovených výrobcem.

Odečet dat probíhá tím způsobem, že řídicí systém pošle rámeček s požadavkem na elektroměr. Elektroměr (tarifní zařízení) poté přenáší rámeček s identifikací. Po přenesení rámečku s identifikací čeká elektroměr na „rámeček s volbou potvrzení/možnosti“ od řídicího systému. Tou může být požadavek na odečet dat, přepnutí do programovacího režimu nebo přepnutí do režimu stanoveného výrobcem, viz Obr. 27. [19]



Obr. 27 - ČSN EN 62056-21: Schéma režimu protokolu C [19]

Řídicí systém elektroměru nepotvrzuje úspěšnost přenosu. Pokud přenos selže, může řídicí systém opakovat odeslání požadavku a tím se opakuje celý přenos.

Jak je vidět z Obr. 27, počáteční komunikační rychlost je vždy při zahájení komunikace 300 Bd, na vyšší rychlosti je třeba pokaždé při zahájení přenosu přepnout příkazem.

Rámec s požadavkem od řídicího systému na elektroměr. Adresa zařízení je nepovinná.

/	?	Adresa zařízení	!	CR	LF
---	---	-----------------	---	----	----

Rámec s identifikací

/	X	X	X	Z	\	W	Identifikace	CR	LF
---	---	---	---	---	---	---	--------------	----	----

Rámec s daty

STX	Datový blok	!	CR	LF	ETX	BCC
-----	-------------	---	----	----	-----	-----

Tab. 4 - Vysvětlivky obsahu rámců

Znak „/“	Start znak (dopředné lomítko, kód 2Fh)
Znak „?“	Povel s požadavkem na přenos (otazník, kód 3Fh)
Pole „Adresa zařízení“	Nepovinné pole, specifikováno výrobcem, maximálně 32 znaků
Znak „!“	Koncový znak (vykřičník, kód 21h)
Znaky „CR“ a „LF“	Ukončovací znak (CR – návrat vozíku, kód 02h, LF – posun o řádku, kód 0Ah)
Znak „X“	Označení výrobce skládající se ze tří velkých písmen

Tab. 5 - Nastavení komunikační linky

Typ komunikace:	Asynchronní sériově bitový přenos znaků podle ISO/IEC 1177:1985, poloduplexní
Výchozí přenosová rychlost:	300 baud
Normalizované přenosové rychlosti:	300 bit/s, 600 bit/s, 1200 bit/s, 2400 bit/s, 4800 bit/s, 9600 bit/s, 19200 bit/s.
Formát znaků:	1 start bit, 7 datových bitů, 1 paritní bit, 1 stop bit
Zabezpečení znaků:	paritní bit - sudá parita (even)

Podrobnější popis komunikačních rámců lze nalézt v [20].

Platí, že navázání komunikace s elektroměrem může být adresné nebo neadresné. Šestimístná adresa je uložena v paměti elektroměru a je možné ji nastavit nebo změnit pomocí konfigurace elektroměru. Pokud je adresa v elektroměru prázdná, elektroměr reaguje na neadresný povel. Prázdnou adresu však nelze použít v případě, že na sběrnici RS485 je umístěno více zařízení. V takovém případě je adresa nastavena již při výrobě.

Výpis ukázkové komunikace lze nalézt v příloze D.

Software pro odečítání elektroměru ReadEn výrobce ZPA

Pro úplnost zde bude popsána komunikace s elektroměrem pomocí programu od výrobce.

Výrobce přímo neinformuje o existenci programu ReadEn verze 1, přestože je to velmi užitečný nástroj pro základní seznámení se a ladění komunikace s elektroměrem.

Software včetně českého manuálu je dostupný z [21].

Při zapojování konektoru RJ-45 pro komunikaci po sběrnici RS485 je nutné zapojit napájecí vodiče, na polaritě nezáleží, ale jsou nutné pro funkci diferenciální sběrnice RS485.

Při konfiguraci je potom nutné znát zákaznickou konfiguraci elektroměru a to hlavně komunikační adresu tj. posledních 6 číslic výrobního čísla (výrobní číslo: 05-**013195**).

Software výrobce umožňuje mimo pravidelného odečítání více elektroměrů také test komunikace. Více informací o softwaru výrobce lze nalézt v českém návodu: [21]

Maximální komunikační rychlost elektroměru je 4800 Bd, při této rychlosti trvá odečet 4 sekundy (viz výpis v příloze D). Tato řada elektroměrů nepodporuje selektivní odečet.

3.3 Akční prvky

3.3.1 Frekvenční měnič NORD

Frekvenční měnič SK 500E na Obr. 28, je základním typem své řady. Mimo tlačítek na hlavním panelu disponuje dalšími vstupy/výstupy (digitální vstup, releový výstup, analogový vstup, analogový výstup) a rozhraním RS485 na konektoru typu RJ12 a svorkách 73, 74. Řídicí svorky (digitální a analogové vstupy) jsou galvanicky oddělené.

Frekvenční měnič umožňuje číst a konfigurovat velké množství parametrů viz [22]. Minimálně je nutné nakonfigurovat DATA MOTORU / PARAMETRY CHARAKTERISTIK.



Obr. 28 - Frekvenční měnič NORD SK 500E [14]

Možnosti ovládání měniče

Existují čtyři možnosti jak ovládat frekvenční měnič. [14]

1. Hlavní panel s tlačítky a displejem Obr. 29. (problém může být špatná přístupnost ovládacího panelu, jako v případě výukového simulátoru nesouososti).

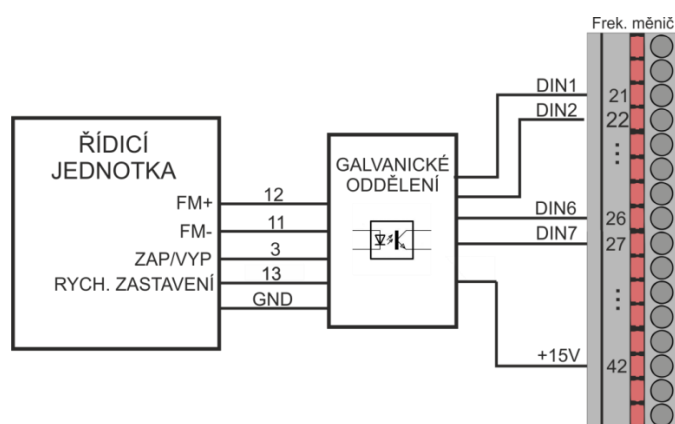


Obr. 29 - Ovládací panel tzv. ControlBox

2. Ovládání pomocí analogových vstupů. V případě ovládání napětovým vstupem lze potenciometrem nastavit žádané otáčky. (Nevýhodou mohou být úbytky na vedení, pokud jsou ovládací prvky příliš daleko od frekvenčního měniče). Měnič umožňuje nastavovat otáčky také pomocí proudového vstupu (reostatem), zde je problém podobného charakteru.
3. Digitální vstupy. Některé digitální vstupy lze konfigurovat pro předurčené funkce. Tlačítka start/stop, reverzace máme k dispozici základní ovládání, další ovládání lze nastavit, např. použít vstupy DIN1 Spínač, ZAP/VYP (funkce P420 = 1), DIN6 (P425 = 71) a DIN7 (P470 = 71) kde 71 = Frekvenci zvýšit 72 = Frekvenci snížit.
4. Ovládání pomocí sběrnice. Nejkomplexnější způsob ovládání. Dovoluje konfigurovat všechny parametry měniče pohodlně pomocí počítače nebo nadřazeného PLA (Programovatelný logický automat). V potaz je nutno brát ohled na to, že po zadání úkolu měniči, měnič nekomunikuje do splnění úkolu. Frekvenční měnič disponuje sběrnici RS 485 a CAN, pro komunikaci používá protokol USS. Sběrnice je vhodná pro prvotní nastavení parametrů měniče pomocí PC, ale stejné nastavení lze provést pomocí panelu. Pro aplikace kde je nutno pouze omezeného ovládání (zapnout/vypnout motor, zvýšit – snížit frekvenci) je implementace poměrně komplexního USS protokolu zbytečná.

Ovládání frekvenčního měniče NORD SK 500e pomocí digitálních vstupů

Jako kompromisní varianta bylo zvoleno ovládání pomocí digitálních vstupů.



Obr. 30 - Konceptní propojení svorek řídicí jednotky a digitálních vstupů frek. měniče

Ovládání pomocí digitálních vstupů není zbytečně složité pro tento účel jako ovládání pomocí sběrnice, úbytky napětí na vedení jako u analogového ovládání nepředstavují problém a obsluha nemusí být přímo u měniče jako v případě ovládání pomocí panelu.

Podle Obr. 30 máme možnost zapínat a vypínat motor, zvyšovat a snižovat frekvenci výstupního třífázového signálu. Pokud jsou vstupy FM+ a FM- oba aktivní nedochází ke kolizi, navíc je tento stav ošetřen programově.

Každý digitální vstup může plnit jednu z funkcí podle nastaveného parametru. Výběr z funkcí je v Tab. 6. [14]:

Tab. 6 - Výběr z funkcí digitálních vstupů

1	Běh vpravo (ZAP./VYP.)
2	Běh vlevo (ZAP./VYP.)
3	Změna směru
4	Pevné frekvence F1
5	Pevné frekvence F2
6	Pevné frekvence F3
7	Pevné frekvence F4
8	přepnutí parametrové sady,
10	Blokování napětí
11	Rychlé zastavení
12	Reset poruchy
13	Termistor/y
19	Analog1 On/Off
20	Analog2 On/Off,
71	Frekvenci zvýšit
72	Frekvenci snížit

Konkrétně tedy jsou použity vstupy:

DIN1 (funkce P420 = 1) pro zapínání/vypínání motoru, [14] Str. 14
DIN2 (funkce P421 = 11) pro rychlé zastavení
DIN6 (funkce P425 = 71) pro zvyšování frekvence,
DIN7 (funkce P470 = 72) pro snižování frekvence.

Galvanické oddělení je nutné z hlediska ochrany řídicí jednotky, která pracuje na úrovni 5 V a digitální vstupy frekvenčního měniče pracují na úrovni 15 V. Zapojení galvanického oddělení a přepětové ochrany je stejné jako u GPIO svorek řídicí jednotky.

Předpokládá se, že bezpečnostní STOP tlačítko je zapojeno nezávisle na ostatních systémech přímo na svorky měniče podle doporučení v manuálu.

3.4 Ostatní prvky

3.4.1 LED Displej

Displej Papouch TDS je čtyřmístný 7 segmentový displej se zobrazovači typu LED a dvěma univerzálními kontrolkami. Některé verze mají také dvojtečku pro zobrazení hodin. Dle varianty umí zobrazovat také teplotu, čas a datum. Komunikují po sběrnici RS485, která umožňuje propojení více zařízení čtyřvodičovou sběrnicí, obsahující linku RS485 a napájecí vedení, na vzdálenost 1200 m. S displejem se komunikuje protokolem Spinel. [23]



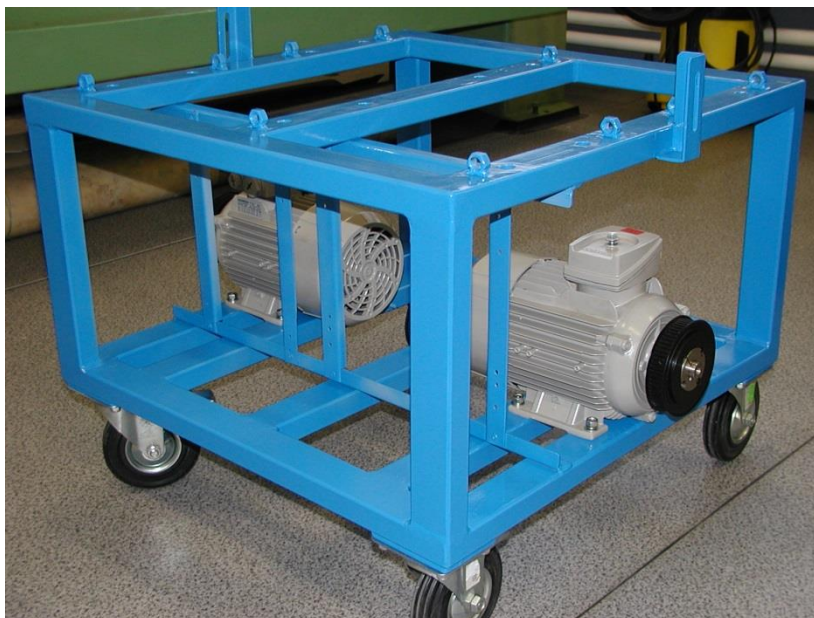
Obr. 31 - Display TDS [23]

Displej poskytuje jako odpověď na zprávu požadující zobrazení určitých znaků jednoduchý chybový kód, kde jednotlivé chybové kódy mají následující význam:

- 50 bez chyby,
- 51 až 53 Jedna až tři chyby ve formátu zápisu hodnoty.

3.4.2 Asynchronní motory

Jako pohon a brzda byly použity třífázové asynchronní motory s kotvou na krátko (Obr. 32). Zapojení pohonu a brzdy je podle manuálu frekvenčního měniče, viz [14].



Obr. 32 - Rám s elektromotory

Konkrétní označení: **1LE1001-0DB32-2AB4**.

Tab. 7 - Tabulkové parametry motoru [24]

U [V]	Δ / Y	f [Hz]	P [kW]	P [hp]	I [A]	n [1/min]	M [Nm]	
230	Δ	50	0.75	- / -	3.15	1440	5.0	
400	Y	50	0.75	- / -	1.79	1440	5.0	
460	Y	60	0.86	- / -	1.72	1740	4.7	
NOM. EFF at ... load [%]			Power factor at ... load			I_A/I_N	M_A/M_N	M_K/M_N
4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	I_f/I_N	T_f/T_N	T_B/T_N
79.6	79.6	78.6	0.76	0.70	0.58	5.6	2.2	3.1
79.6	79.6	78.6	0.76	0.70	0.58	5.6	2.2	3.1
82.5	82.5	81.5	0.76	0.70	0.58	6.2	2.2	3.3

Motory jsou podle zákaznického požadavku doplněny o PTC termistory, které jsou připojeny k frekvenčnímu měniči, který umí vyhodnotit případné přehřívání motorů.

3.5 Řídicí jednotka

3.5.1 Hardware řídicí jednotky

Jak vyplývá z požadavků, celý systém je založen na mikro kontroléru AVR od společnosti Atmel. Důraz je kladen zejména na softwarové řešení, viz zadání, proto bylo ve většině případů hardwaru použito hotových vývojových řešení.

Atmel se soustředí na vývoj a výrobu RISC (redukovaná instrukční sada - Reduced Instruction Set Computer) mikro kontrolérů, větve 8051 (Intel), využívá licencovaného jádra ARM a vlastní architekturu AVR. Dále pak vyrábí paměti, bezdrátová řešení, dotyková řešení a další specifická zařízení.

Pro účely vývoje byla použita deska Arduino Leonardo s mikrokontrolerem ATmega32u4 (viz Obr. 33). Řešení vývojové desky je volně dostupné jako tzv. open hardware, proto je další vývoj a reprodukce řešení snadnější. Deska je také dobře cenově dostupná. Obsahuje všechny základní komponenty pro vývoj, další nadstavby se zasouvají do konektorů po stranách, nazývají se jako tzv. shield(-y).



Obr. 33 - Vývojová deska Arduino Leonardo

Existuje více typů Arduino vývojových desek. První Arduino byla deska Uno, existuje deska specifická velkou flash pamětí Mega 2560 (256 KB).

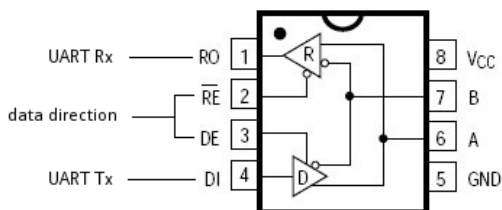
Pro účel této práce byla vybrána deska Leonardo, protože obvod ATmega32u4 disponuje integrovaným obvodem pro obsluhu USB. Není tak třeba dalšího převodníku (např. FTDI) a jsou tedy k dispozici dvě sériová rozhraní, proto se na straně USB se může zařízení chovat jako sériový COM port, zařízení typu HID atd.

Nespornou výhodou tzv. shield modulů je jejich modularita. Rozložení konektorů Arduina tzv. Arduino Form Factor začínají využívat i jiné konkurenční vývojové prostředky. Tím

vzniká jednotná sada dostupných vývojových modulů nezávislá na platformě (např. pcDuino, Intel Galileo nebo Edison, PICduino, netduino, TI LaunchPad + IDE Energia).

Komunikace po RS 485

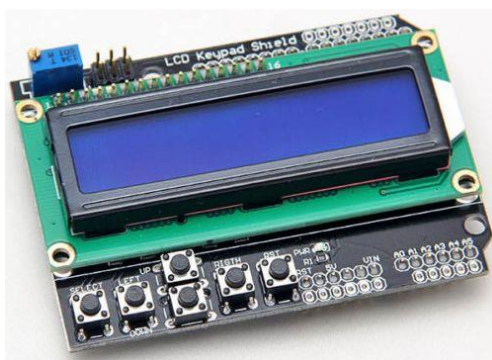
Pro převod úrovní UART sběrnice (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) na úrovně sběrnice RS 485 byl použit modul s integrovaným obvodem MAX485. Funkce je znázorněna na Obr. 34.



Obr. 34 - RS 485/UART převodník

LCD Keypad modul

Pro zobrazování průběžných hodnot byl použit dvou řádkový maticový LCD (2x16 znaků) na Obr. 35, doplněný o šest tlačítek pro základní ovládání.



Obr. 35 - Použitý displej + tlačítka

Displej používá standardní řadič HD44780, pro který jsou snadno dostupné knihovny. Display využívá čtyř datových linek (komunikuje po paralelní sběrnici) a tří ovládacích vodičů (včetně ovládání podsvícení).

Tlačítka používají pouze jeden analogový vstup (A0) protože jsou zapojena v napěťovém děliči – najednou lze vyhodnotit jen jedno tlačítko.

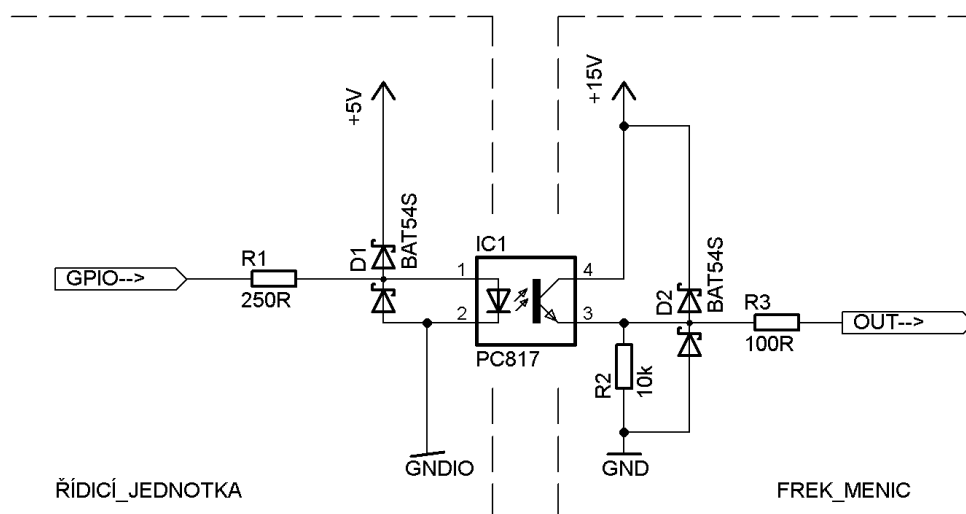
Vstupně/výstupní piny (GPIO)

Sadu analogových vstupů (Analog Input) lze používat také v režimu digitálních vstupů/výstupů (GPIO). V základním nastavení řídicí jednotky jsou A1 až A3 výstupní, A4 až A5 vstupní.

GPIO jsou chráněny pomocí galvanického oddělení (optočlen s tranzistorem), dvěma antiparalelně zapojenými diodami (BAT54S) a rezistorem.

Galvanické oddělení je nutné také pro ovládání frekvenčního měniče protože, řídicí jednotka pracuje na úrovních 0 V/5 V a digitální vstupy měniče pracují na úrovních 0 V/15 V.

Na Obr. 36 je příklad ochrany jednoho z výstupů. Pro vstupní piny je zapojení zrcadlově otočené.



Obr. 36 - Zapojení ochrany výstupních svorek

Bezpečnostní smyčka krytu

Na digitální svorce D3 řídicí jednotky je připojena bezpečnostní smyčka krytu celého zařízení. Smyčka se skládá z několika **spínacích** kontaktů a rezistoru v sérii, viz Obr. 37.

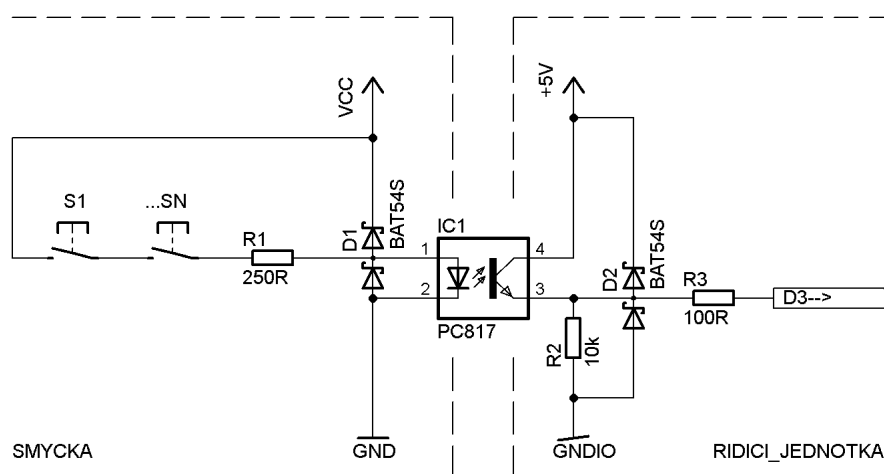
Otevřením krytu vznikne spádová hrana, která vyvolá vnější přerušení na vstupu mikrokontroléru, vnější přerušení je následně vyhodnoceno programem.

Stav: kryt zavřený (OK):

Kontakt spojený, LED svítí, tranzistor je otevřený, na pull-down rezistoru je +5V proti GND. Na vstupu je logická 1.

Stav: kryt otevřený (POPLACH):

Kontakt rozpojený, LED **nesvítí**, tranzistor je uzavřený, pull-down rezistor uzemnil vstupní pin. Na vstupu je logická 0. Proběhla spádová hrana.



Obr. 37 - Zapojení bezpečnostní smyčky

Podrobněji je funkce popsána v Tab. 8.

Tab. 8 - Pravdivostní tabulka bezpečnostní smyčky

PRAVDIVOSTNÍ TABULKA BEZPEČNOSTNÍ SMYČKY					
Kontakt "tlačítko"	LED	Báze tranzistoru	Pull-down rezistor	Vstupní pin	Poplach
SEPNUTÝ	SVÍTÍ	OTEVŘENÁ	5V	LOG 1	NE
ROZEPNUTÝ	NESVÍTÍ	UŘAVŘENÁ	0V	LOG 0	ANO
1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1

Rezistor R_1 pro LED v optočlenu je nutné uzpůsobit napájecímu napětí smyčky a případně celkové délce smyčky. Požadavek LED v optočlenu je proud v propustném směru $I_F=20\text{ mA}$, při $V_F=1,2\text{ V}$.

Pro napájecí napětí +15 V:

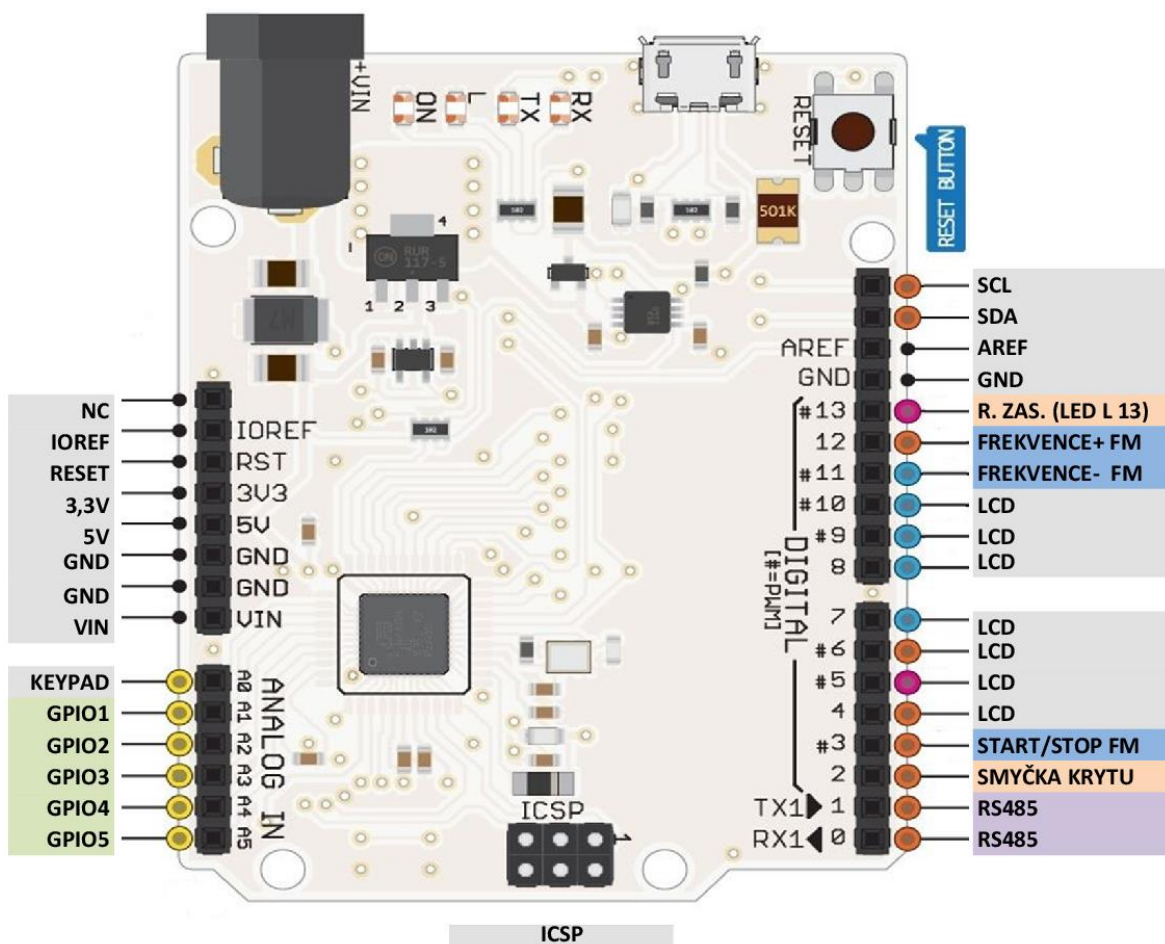
Předřadný rezistor R_1 by měl mít odpor 690 Ω

Měl by být dimenzován na minimálně 0,28 W

Napětí na rezistoru U_R 13,8 V

Přehled použitých pinů řídicí jednotky

Pro větší přehlednost je na Obr. 38 nakreslen přehled využití pinů vývojové desky řídicí jednotky. Jsou využity téměř všechny piny, resp. zbývající piny jsou využity pro GPIO.



Obr. 38 - Přehled využití pinů desky řídicí jednotky

Schéma zapojení všech částí lze nalézt na přiloženém CD.

3.5.2 Software řídicí jednotky

Dle požadavků byl program napsán v jazyce C/C++ s využitím vnitřních knihoven Arduino, které jsou založeny na velice známých a celkem optimalizovaných knihovnách AVR Libc. Systém je navržen jako terminálový systém, kde řídicí jednotka vyčkává na příkaz z příkazového řádku, který představuje připojený sériový COM port emulovaný USB sběrnici.

Arduino v porovnání s C/C++

Když porovnáme jednoduchý program v klasickém jazyce C/C++ a tzv. "Arduino jazyce", na první pohled se příliš neliší. Arduino totiž není programovací jazyk jako takový, to je jen určité zjednodušení. Arduino je sada optimalizovaných knihoven pro úzkou skupinu hardwaru postavená na jazyce C/C++.

Výhodou knihoven a hardwaru Arduino je možnost přemýšlet a pracovat na vyšší úrovni abstrakce.

Na Obr. 39 je porovnání dvou programů. Programy mají stejnou funkci, v periodě dvou vteřin rozsvěcí a zhasínají LED L3 integrovanou na Arduino desce. Rozdíl je v tom, že klasický kód v jazyce C/C++ (.cpp) má hlavní smyčku (main) a u tzv. Arduino kódu (.ino) nemá programátor možnost měnit hlavní smyčku resp. smyčka je předdefinována v knihovnách Arudina. Obsahem hlavní smyčky Arudina je volání rutin USB a nastavení programových přerušení.

Pokud je potřeba přistoupit k nízko úrovněovému programování (na úrovni jednotlivých registrů) nic nebrání psát takové příkazy přímo do kódu Arduino. Kompilátor je pro oba případy (.cpp a .ino) úplně stejný.

Knihovny Arduino jsou dnes integrovány do vývojových prostředí zk. IDE (Integrated Development Environment) jako Eclipse nebo AVR Studio, v Arduino IDE můžeme naopak používat knihovny C/C++.

Použití jiného IDE než Arduino, nám umožní přístup k výkonnějším programovacím a ladícím nástrojům a také získáme výstupní hexadecimální kód (.hex).

Dalším vlastností Arudina je jeho specifický zavaděč (bootloader). Zavaděč není nutné používat, pokud mikrokontrolér programujeme pomocí rozhraní ISP (In-System Programming).

```

// Do not remove the include below
#include "test3.h"
#include <Arduino.h>

int ledPin = 13;    // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);                // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // set the LED off
  delay(1000);                // wait for a second
}

int main(void) {
  init();
  setup();

  while(true) {
    loop();
  }
}

```

```

/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second,
  then off for one second, repeatedly.
  This example code is in the public domain.
*/

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off
  delay(1000);             // wait for a second
}

```

Obr. 39 - Porovnání .cpp a .ino kódu

Popis funkcí programu řídicí jednotky

V hlavní smyčce programu dochází pouze k obsluze přijatých příkazů a ověření zda je zapnutý autonomní režim nebo došlo k jeho vypnutí.

Pro obsluhu příkazového řádku byla použita knihovna [25]. Implementace SPINEL protokolu proběhla podle implementačního popisu výrobce [26]. Kód a vývojové diagramy programu lze nalézt také na příloženém CD

Autonomní režim

Autonomní režim řídicí jednotky je omezený. V autonomní režim nepracuje řídicí jednotka s frekvenčním měničem ani s elektroměrem, nebo otáčkoměrem. Tyto zařízení mají vlastní manuální ovládání nebo zobrazovací část.

V autonomním režimu pracuje řídicí jednotka pouze se zařízeními protokolu SPINEL. Kde cyklicky odečítá hodnoty z jednotlivých prvků a zobrazuje odečtené hodnoty na LCD a LED displeji. Zobrazování odečtených hodnot elektroměru na dvouřádkovém LCD by nebylo příliš praktické.

Program je rozdělen do šesti logických částí:

- 1) Funkce pro práci se zařízeními na protokolu SPINEL (odečítání teploměrů, tenzometrického převodníku, ovládání LED displeje Papouch).
- 2) Funkce pro odečítání elektroměru (ČSN EN 62056-21).
- 3) Funkce pro ovládání GPIO.
- 4) Funkce pro ovládání frekvenčního měniče (zapnutí/vypnutí elektromotoru, zvýšit/snížit výstupní frekvenci).
- 5) Funkce bezpečnostní smyčky.
- 6) Funkce pro odečet otáčkoměru (vlastní výroby).

1) Softwarová implementace SPINEL protokolu

Implementace zahrnuje obsluhu tři zařízení používaných v systému (teploměr, displej, tenzometr resp. tenzometrický převodník) od stejného výrobce využívající stejný protokol.

Funkce pro odečet teploty “gettemp <ADR>“

Přijímá jeden, nebo žádný argument. Argumentem je adresa konkrétního teploměru. Pokud není žádný argument, zeptá se systém teploměru na adrese 1 a o později 100 ms na adrese 2 na teplotu. Před odečtem je nutná prodleva, odezva teploměru TQS3. Potom následuje čtení UART bufferu do řetězce. Když přijde zakončovací znak “\r“ je zpráva kompletní. Následuje výpis hodnoty na USB včetně adresy odečtu a vyčištění řetězce.

Funkce pro odečet tenzometru “getforce <ADR>“

Přijímá jeden, nebo žádný argument. Argumentem je adresa konkrétního převodníku. Pokud není žádný argument, zeptá se systém teploměru na adrese T. Před odečtem je nutná prodleva, odezva převodníku TE485. Potom následuje čtení UART bufferu do řetězce. Když přijde zakončovací znak “\r“ je zpráva kompletní. Následuje výpis hodnoty na USB včetně adresy odečtu a vyčištění řetězce.

Funkce nastavení LED displeje TDS “setpapdsp <NUM>“

Parametr příkazu je číslo ve formátu “00.0“. Program umí vyhodnotit chybové kódy displeje a oznámí úspěch/neúspěch zápisu na terminál.

2) Softwarová implementace odečítání elektroměru “getelmer <ADR>“

Parametrem příkazu je posledních 6 číslic výrobního čísla elektroměru jako adresa zařízení. Program přepíná z počáteční komunikační rychlosti 300 Bd na maximální komunikační rychlost 4800 Bd. Při příjmu dat z elektroměru je každý údaj (řádek) uložen to jednorozměrného pole. Následně jsou všechny údaje vypsány na terminál. Po ukončení odečtu elektroměru přepne program zpět na komunikační parametry pro ostatní zařízení.

3) Softwarová implementace ovládání GPIO

Po zapnutí řídicí jednotky jsou všechny vstupy a výstupy nastaveny na logickou úroveň LOW.

Nastavení hodnoty výstupního GPIO “setgpio1 <ARG>“

Pokud uživatel zadá argument (0/1) nastaví řídicí jednotka požadovanou logickou úroveň na výstupu. Pokud uživatel nezadá argument, funguje příkaz jako přepínač logické úrovně na výstupu.

Čtení hodnoty vstupního GPIO “getgpio4“

Funkce bez argumentu. Po přijetí příkazu zjistí logickou úroveň. V případě log. úrovně LOW vypíše na terminálu "GPIO_4 state LOW", v případě log. úrovně HIGH vypíše na terminálu "GPIO_4 state HIGH" (příklad je pro GPIO číslo 4).

4) Softwarová implementace ovládání frekvenčního měniče

Zapnutí/vypnutí motoru startmotor/ stopmotor

Pokud je na vstupu DIN1 logická úroveň HIGH elektromotor je v běhu, pokud je na vstupu DIN1 logická úroveň LOW elektromotor je zastaven. Nejedná se o rychlé zastavení, ale o náběh a doběh podle nastavené rampy.

Funkce pro zapnutí a vypnutí motorů se tedy chovají jako dvoupolohový vypínač.

Frekvence zvýšit “setfup“

Funkce bez argumentu. Nastaví logickou úroveň HIGH pro digitální vstup DIN6 měniče (zvýšit), LOW pro digitální vstup měniče DIN7 (snížit) a elektromotor začne po definované době (podle parametrů nastavené rampy) akcelarovat.

Frekvence snížit “setfdown“

Funkce bez argumentu. Nastaví logickou úroveň HIGH pro digitální vstup měniče DIN7(snížit), LOW pro digitální vstup DIN6 měniče (zvýšit) a elektromotor začne po definovanou dobu (podle parametrů nastavené rampy) decelerovat (zpomalovat).

Pokud jsou digitální vstupy měniče na stejné úrovni (HIGH-HIGH, LOW-LOW) nedochází k akceleraci nebo deceleraci. Výstupní frekvence měniče zůstává stejná.

5) Funkce bezpečnostní smyčky

Při zapnutí řídicí jednotky se nastaví sledování vnějšího přerušení na pinu 2 (INT 1), které při spádové hraně zavolá funkci “otevrenKryt()“. Funkce otevrenKryt()“ uloží stav motoru vypnut a nastaví pin pro ovládání motoru na úroveň LOW, potom rozsvítí LED L1 (HIGH pin 13, lze také využít pro akustickou signalizaci). Systém je nutné resetovat po uvedení do stavu poplachu.

Funkce vstupu DIN2 (P421 = 11) pro rychlé zastavení elektromotoru pomocí frekvenčního měniče je aktivní při úrovni HIGH a rychle zastaví motor.

6) Funkce pro odečet otáčkoměru “getrpm <ADR>“

Parametrem příkazu je adresa zařízení. Pokud není parametr uveden, program odečítá hodnotu na adrese nula. Popis funkce otáčkoměru a nastavení adresy otáčkoměru najdeme v kapitole Měření otáček.

Program zabírá 14 098 bytů (49%) úložného místa flash paměti. Maximum je 28 672 bytů.

Globální proměnné zabírají 1 276 bytů (49%) dynamické paměti, 1 284 bytů zůstává pro lokální proměnné. Maximum je 2 560 bytů.

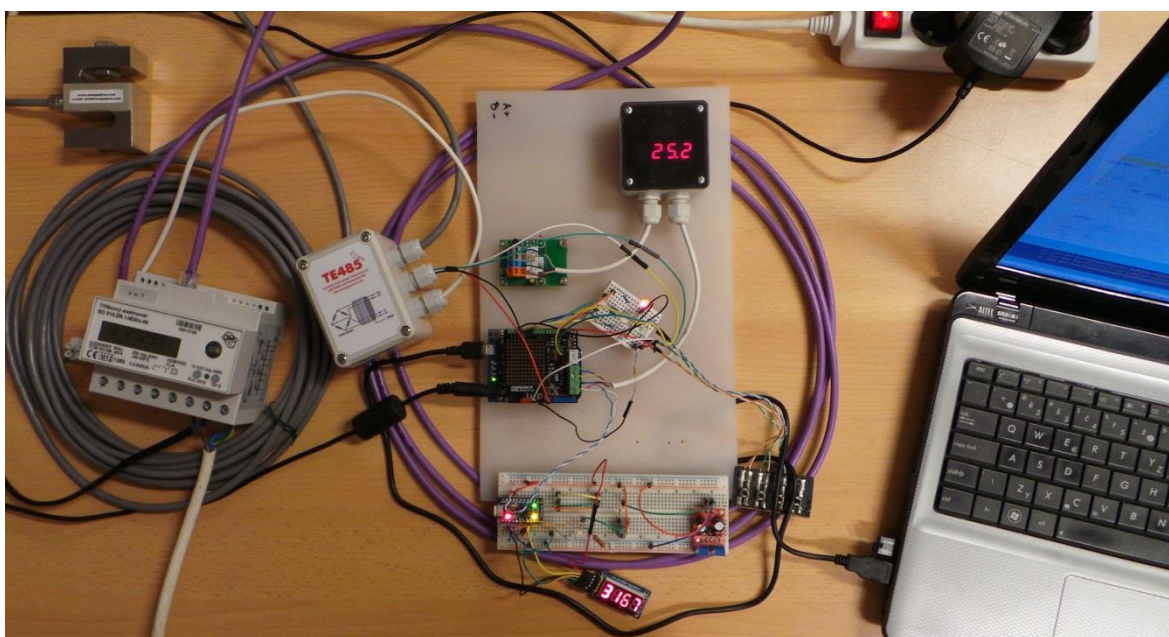
Nastavení terminálu a obecné rady pro práci s terminálem je popsáno v příloze A. Seznam a popis příkazů je lze nalézt v příloze B.

Vývojové diagramy funkcí lze nalézt v příloze F.

Kód a vývojové diagramy programu lze nalézt také na přiloženém CD.

3.5.3 Závěrečný test navrženého řešení řídicí jednotky

Ve zkušebním zapojení jsou z bezpečnostních důvodů digitální vstupy simulovány pomocí LED na malém nepájivém kontaktním poli, které indikují logické úrovně výstupů řídicí jednotky (svítí/nesvítí). Zkušební zapojení je tedy bez frekvenčního měniče a asynchronních elektromotorů. Bezpečnostní smyčku představují čtyři mikrotlačítka a rezistor zapojená v sérii. V zapojení je dále použitý pouze jeden ze dvou teploměrů, (nezatížený) tenzometr s převodníkem, elektroměr, otáčkoměr (velké nepájivé kontaktní pole) a LED display. Vrchní LCD displej byl pro přehlednost vynechán. Zapojení je vidět na Obr. 40.



Obr. 40 - Testovací zapojení systému

Při testování se podařilo úspěšně odzkoušet následující funkce systému jako celku:

- ✓ Odečítání teploměru.
- ✓ Odečítání tenzometru za pomoci tenzometrického převodníku.
- ✓ Odečítání hodnot elektroměru.
- ✓ Odečítání otáček (vstupní impulzy generoval jednoduchý frekvenční generátor).
- ✓ Simulace logických hodnot na výstupních pinech určených pro frekvenční měnič.
- ✓ Simulace otevření krytu pomocí mikrotlačítek.
- ✓ Po přepojení LED a tlačítka byli vyzkoušeny také GPIO.

Výpis terminálu při závěrečném testu lze najít v příloze C.

4 Diskuse

Z pohledu nízké komunikační rychlosti je slabou stránkou systému použitý elektroměr. Ostatní zařízení umožňují komunikovat minimálně na rychlosti 9600 Bd, to je také hlavní komunikační rychlost celého systému. Elektroměr má maximální komunikační rychlost 4800 Bd, a nepodporuje selektivní odečet jednotlivých údajů, přestože poskytuje nejvíce dat (odečet trvá 4 sekundy). Možností by bylo nastavit pravidelné odečítání v době nečinnosti nebo v pravidelných intervalech.

Použití integrovaného USB obvodu v mikro kontroléru jednoznačně usnadňuje vývoj a práci. Zda by mikro kontrolér dokázal zpracovávat data při plné komunikační rychlosti, není pro tuto práci důležité, protože ostatní prvky neposkytují tak velké množství dat nebo je jejich komunikační rychlost příliš malá. Systém také funguje na principu dotaz – odpověď, kdy je nutné respektovat prodlevy v komunikaci díky době odezvy každého zařízení.

Bezpečnostní smyčka určitě neslouží jako primární ochrana. Frekvenční měnič umožňuje připojit bezpečnostní tlačítko a další bezpečnostní prvky. Bezpečnostním tlačítkem lze okamžitě skrze frekvenční měnič zastavit motor. Není zde žádné komunikační prodleva nebo jiné zpoždění.

Při výpadku proudu a obnovení dodávky se řídicí jednotka uvede do výchozího stavu. Z hlediska bezpečnosti je jediný kritický subsystém frekvenční měnič motory. Ovládání motorů v případě výpadku dodávky proudu je plně v kompetenci frekvenčního měniče. Měřené data budou ztracena a vzhledem k přerušení měření ztracení v takovém případě význam a celé měření je v takové mimořádné situaci jako je výpadek proudu nutné opakovat, proto si řídicí jednotka neukládá stavy nebo výsledky do EEPROM paměti mikro kontroléru.

Integrovaná paměť mikro kontroléru by šlo využít pro uložení a čtení přednastavených stavů a parametrů měření, zde se otevírají možnosti pro další vývoj systému v budoucnu. Můžeme se zamyslet také nad ukládáním provozních dat, jako je tomu třeba u elektroměru, ale za předpokladu, že řídicí jednotka bude fungovat vždy souběžně s elektroměrem, jednalo by se o vytváření duplicitních dat.

V dlouhodobém provozu se jistě ukáže nutnost pozměnit některé sekvence a používání v praxi ukáže některé mezní stavy systému, které nemusí mít nutně původ v řídicím systému.

5 Závěr

Tvorba centrální řídicí jednotky a společného uživatelského rozhraní zpřehledňuje práci s celým výukovým modelem (simulátor nesouososti). Integruje jednotlivé subsystémy průmyslového charakteru, jejich rozličné komunikační protokoly a způsoby ovládání (frekvenční měnič, asynchronní elektromotory, elektroměr, tenzometr, teploměry a zobrazovací elementy) do jednoho funkčního celku.

Vybraná vývojová sada je nezávisle ověřena velkou komunitou. Ostatní prvky hardwaru byly vytvořeny se snahou ukázat co nejjasněji princip řešení. Byl také vzat ohled na ochranu jednotlivých prvků proti zkratu a přepětí.

V průběhu práce vznikl také požadavek na jednoduchý a všestranný otáčkoměr. Všestranný z pohledu odečítání hodnot (USB + RS485 + LED displej) a samotného senzoru. Otáčkoměr byl vytvořen na základu stejné vývojové sady jako řídicí jednotka.

Softwarové řešení vychází maximálně vstříc všem požadavkům vznesených během konzultací. Přestože jde o terminálový systém typu dotaz – odpověď, byl vytvořen systém, jehož ovládání je intuitivní a pro uživatele co možná nejpohodlnější. Dosavadní úroveň řešení představuje kvalitní první verzi, avšak jistě bude nutno v počátku plného provozu udělat drobné úpravy na základě zpětné vazby uživatelů (studentů).

Při závěrečném testu navrženého řešení řídicí jednotky se úspěšně podařilo vyzkoušet všechny dílčí funkce systému jako celku.

6 Použitá literatura

1. **SKF.** Ustavovací nářadí . *SKF.* [Online] [Citace: 20. 8 2014.]
<http://www.skf.com/cz/products/maintenance-products/alignment-tools/index.html>.
2. **Kreidl, Marcel a Šmíd, Radislav.** *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu -- 4. díl edice Senzory neelektrických veličin.* Praha : BEN-Technická literatura, 2006.
3. **Burkovič, Jan.** *SPOLEHLIVOST, DIAGNOSTIKA, JAKOST.* OSTRAVA : VŠB-TU OSTRAVA, 2001. ISBN 80-7078-838-0.
4. **Ripka, Pavel.** *Senzory a převodníky.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2005.
9788001031230.
5. **TMP275.** *Texas Instruments.* [Online] [Citace: 2. 17 2015.]
<http://www.ti.com/product/TMP275/description>.
6. **DS18B20.** <http://www.gme.cz/>. [Online] [Citace: 20. 1 2015.]
<http://www.gme.cz/img/cache/doc/530/067/ds18b20-datasheet-1.pdf>.
7. **Texas Instruments.** *The RS-485 Design Guide.* [Online] 5 2008. [Citace: 21. 12 2014.]
<http://www.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf>.
8. **Redakce HW serveru.** RS 485 & 422. *HW.cz.* [Online] 15. 1 1998. [Citace: 22. 10 2014.] <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>.
9. **Papouch s.r.o.** Spinel - Univerzální komunikační protokol. *papouch.com.* [Online] [Citace: 25. 1 2015.]
http://www.papouch.com/cz/website/mainmenu/spinel/spinel_obecne.pdf/_downloadFile.php.
10. **Papouch s.r.o..** TQS3 elektronika teploměru s RS485. <http://www.papouch.com/>. [Online] [Citace: 25. 1 2015.] <http://www.papouch.com/cz/shop/product/tqs3-e-elektronika-teplomeru-s-rs485/>.
11. **OMEGA ENG.** <http://www.omegaeng.cz/>. *Celokovová vážní čidla typu "S".* [Online] [Citace: 25. 1 2015.] <http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=LC101&Nav=pref05>.

12. **Papouch s.r.o.** TE485 - převodník pro tenzometr. <http://www.papouch.com/>. [Online] [Citace: 25. 1 2015.] <http://www.papouch.com/cz/shop/product/te485-prevodnik-pro-tenzometr/>.
13. **Vojáček, Antonín.** TEST – Převodník tenzometrických vážních snímačů TE485 – 1.díl. *HW.cz*. [Online] 15. 8 2013. [Citace: 5. 2 2015.] <http://automatizace.hw.cz/test-prevodnik-tenzometrickych-vaznich-snimacu-te485-1dil>.
14. **NORD Drive systems** - stručný manuál. <https://www.nord.com>. [Online] [Citace: 25. 1 2015.] https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/BU0540_CZ_1511.pdf.
15. Reflexní optočlen CNY70. *GME*. [Online] 22. 10 2014. <http://www.gme.cz/cny70-p532-006>.
16. **MikroElektronika.** RS485 5V click - Example. <http://www.mikroe.com/>. [Online] 22. 10 2014. <http://www.libstock.com/projects/view/202/rs485-5v-click-example>.
17. Differential bus transceiver pro RS422/RS485. *GME*. [Online] 22. 10 2014. <http://www.gme.cz/sn75176bp-dip8-texas-instruments-p433-014>.
18. **ZPA Smart Energy a.s.** ED 310 - třífázový elektroměr na DIN lištu. <http://www.zpa.cz/>. [Online] [Citace: 2. 14 2015.] <http://www.zpa.cz/files/files/ED-310-12-09-2014-C-7-25-07-web.pdf>.
19. **Cvek, Martin.** Automatizované odečty fakturačních elektroměrů. [Online] 5 2012. [Citace: 5. 2 2015.] https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/cvekm1_2012bach.pdf.
20. **Novotný, Michal.** Komunikace s elektroměry dle normy ČSN EN 62056-21 . <http://www.amit.cz/>. [Online] 2010. [Citace: 5. 2 2015.] http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0039_cz_01.pdf.
21. **ZPA Smart Energy a.s.** ZPA Software. *Software Support Pages*. [Online] 2010. [Citace: 5. 3 2015.] <http://sw.zpa.cz/>.
22. **NORD.** USS PROTOCOL - MANUAL. <https://www.nord.com>. [Online] [Citace: 1. 25 2015.] https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/BU0050_GB_3111.pdf.
23. **Papouch s.r.o.** TDS - LED displej. *papouch.com*. [Online] [Citace: 25. 1 2015.] <http://www.papouch.com/cz/shop/product/tds-segmentovy-displej-pro-rs485/#productGallery>.

24. **Siemens.** *siemens.com*. [Online] [Citace: 25. 1 2015.]

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/1LE1001-0DB32-2AB4>.

25. <https://github.com>. *CmdArduino*. [Online] Fakufaku, 29. 12 2011. [Citace: 15. 10

2014.] <https://github.com/fakufaku/CmdArduino>.

26. SPINEL - Popis pro implementaci. *www.papouch.com*. [Online] 2015. [Citace: 3. 10 2014.]

https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.papouch.com%2Fcz%2Fwebsite%2Fmainmenu%2Fspinel%2Fspinel_implementace.pdf%2F_downloadFile.php&ei=32EcVaPMDcvvaPb-gfgO&usg=AFQjCNHE3LdamcD-VaPXs.

7 Seznam použitých obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obr. 1 - Nesprávné a správné ustavení hřídelí [1]	1
Obr. 2 - Výchozí stav výukového modelu	2
Obr. 3 - Mechanická deformace pneumatiky (příklad nedestruktivní defektoskopie)	5
Obr. 4 - Absolutní a relativní vibrace [2]	7
Obr. 5 - Model piezoelektrický akcelerometru [2]	8
Obr. 6 - Wheatstoneův můstek s piezorezistivními elementy na vetknutém nosníku [2] ...	10
Obr. 7 - Uspořádání kapacitního akcelerometru [2]	10
Obr. 8 - Senzory otáček a referenčního bodu [2].....	11
Obr. 9 - Teplotní závislost $\Delta U_D=f(T)$ PN přechodu [4].....	13
Obr. 10 - Aktivní můstek s tranzistorovou diodou [4]	13
Obr. 11 - Napájení DS18B20 a) parazitní b) aktivní [6]	14
Obr. 12 - Blokové schéma DS18B20 [6].....	14
Obr. 13 - Obecné zapojení plného tenzometrického můstku	15
Obr. 14 - Pružný člen typu S [4]	17
Obr. 15 - Full-Duplex struktura RS485 [7]	18
Obr. 16 - Specifikace minimální úrovně signálu [7]	18
Obr. 17 - Nejobvyklejší zapojení sítě RS485 Half-Duplex struktura [7].....	19
Obr. 18 - Koncepční diagram celého systému.....	21
Obr. 19 - Senzor teploty TQS3 [10].....	24
Obr. 20 - Ukázka zapojení zařízení na RS 485 [10]	25
Obr. 21 - Instalovaný teploměr TQS3.....	25
Obr. 22 - Vážní čidlo - tenzometr - na výukovém modelu	26
Obr. 23 - Zapojení tenzometru a převodníku [12].....	26
Obr. 24 - Průběh měření otáčky a) výstupní signál b) měřicí pásek	27
Obr. 25 - Elektroměr ED 310 [18].....	29
Obr. 26 - Zapojení elektroměru ED310 [18]	29
Obr. 27 - ČSN EN 62056-21: Schéma režimu protokolu C [19].....	30
Obr. 28 - Frekvenční měnič NORD SK 500E [14]	33
Obr. 29 - Ovládací panel tzv. ControlBox.....	33
Obr. 30 - Koncepční propojení svorek řídicí jednotky a digitálních vstupů frek. měniče....	34
Obr. 31 - Display TDS [23].....	36
Obr. 32 - Rám s elektromotory.....	37

Obr. 33 - Vývojová deska Arduino Leonardo.....	38
Obr. 34 - RS 485/UART převodník.....	39
Obr. 35 - Použitý displej + tlačítka.....	39
Obr. 36 - Zapojení ochrany výstupních svorek.....	40
Obr. 37 - Zapojení bezpečnostní smyčky.....	41
Obr. 38 - Přehled využití pinů desky řídicí jednotky.....	42
Obr. 39 - Porovnání .cpp a .ino kódu.....	44
Obr. 40 - Testovací zapojení systému.....	48
Obr. 41 - Program Hercules v3.2.8.....	56

Seznam tabulek:

Tab. 1 - Důležité parametry RS 485.....	19
Tab. 2 - Popis prvků paketu Spinel protokolu [9].....	23
Tab. 3 - Nastavení komunikační linky pro Spinel protokol.....	25
Tab. 4 - Vysvětlivky obsahu rámců.....	31
Tab. 5 - Nastavení komunikační linky.....	31
Tab. 6 - Výběr z funkcí digitálních vstupů.....	35
Tab. 7 - Tabulkové parametry motoru [24].....	37
Tab. 8 - Pravdivostní tabulka bezpečnostní smyčky.....	41

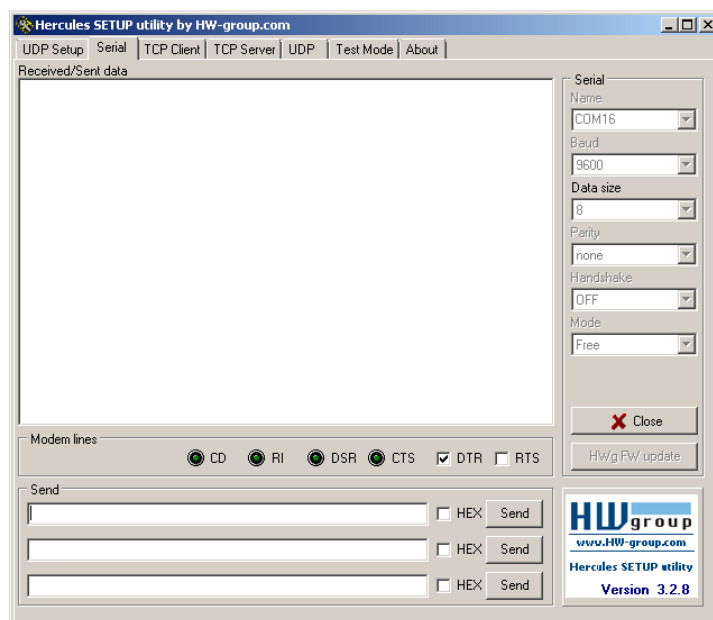
8 Přílohy

A. Nastavení terminálu

Program pro práci na COM konzoli a jeho nastavení

Pro práci na konzoli byl zvolen program Hercules v3.2.8, největší výhodou jsou tři políčka (textbox) kam je možné si napsat často používané příkazy. Program je dostupný z webové stránky: http://www.hw-group.com/products/hercules/index_en.html

Je také možné použít programy jako Putty, TeraTerm apod.



Obr. 41 - Program Hercules v3.2.8

Důležité je nastavit číslo COM portu, komunikační rychlost (9600) a zaškrtnout Data Terminal Ready (DTR), viz obrázek.

Každý příkaz je nutné zakončit znakem Carriage return v podobě: "<CR>".

B. Seznam příkazů a popis použití

“gettemp <ADR>“

Přečte hodnotu teploty teploměru na adrese <ADR>, povinný argument.

“setpapsd <NUM>“

Zapíše hodnotu <NUM> na LED displej, povinný argument. Formát zápisu hodnoty XY.Z.

“getforce <ADR>“

Přečte hodnotu tenzometrického převodníku na adrese <ADR>, povinný argument.

“setauto <ARG>“

Zapíná/vypíná autonomní režim. Bez argumentu funguje jako přepínač, s argumentem (0/1) nastaví hodnotu argumentu.

“getelmer <ADR>“

Přečte údaje elektroměru na adrese <ADR>, povinný argument. Odečet trvá 4 sekundy!

“getrpm <ADR>“

Přečte hodnotu otáčkoměru na adrese <ADR>, povinný argument.

“setgpio <ARG>“, “setgpio2 <ARG>“, “setgpio3 <ARG>“

Slouží k nastavení výstupů GPIO. Bez argumentu funguje jako přepínač, s argumentem (0/1) nastaví hodnotu argumentu.

“getgpio4“, “getgpio5“

Slouží k přečtení hodnoty GPIO vstupu. Funkce je bez argumentu.

“startmotor“

Zapne motor pomocí frekvenčního měniče. Funkce je bez argumentu.

“stopmotor“

Vypne motor pomocí frekvenčního měniče. Funkce je bez argumentu.

“setfup“

Zvýší výstupní frekvenci frekvenčního měniče. Funkce je bez argumentu.

“setfdown“

Sníží výstupní frekvenci frekvenčního měniče. Funkce je bez argumentu.

C. Výpis terminálu při závěrečném testu

```
setauto 1
autonomous mode ON

***** CMD *****
CMD >> setauto
autonomous mode OFF

***** CMD *****
CMD >> gettemp 1
25.2C on addr 1

***** CMD *****
CMD >> getforce T
-1N on addr T
***** CMD *****
CMD >> startmotor
MOTOR RUNNING!

***** CMD *****
CMD >> stopmotor
MOTOR OFF

***** CMD *****
CMD >> startmotor
MOTOR RUNNING!

***** CMD *****
CMD >> MOTOR OFF - CASE OPENED! - ALARM!
startmotor
MOTOR RUNNING!

***** CMD *****
CMD >> getelmer 013195

***** CMD *****
CMD >> MOTOR OFF - CASE OPENED! - ALARM!
MOTOR OFF - CASE OPENED! - ALARM!

***** CMD *****
CMD >> setgpio1 1
GPIO_1 state ON

***** CMD *****
CMD >> setgpio1 0
GPIO_1 state OFF

***** CMD *****
CMD >> getgpio4
GPIO_4 state HIGH

***** CMD *****
CMD >> getgpio4
GPIO_4 state LOW

***** CMD *****
CMD >> getrpm 0
3004 rpm on addr 0
```

```
CMD >> getelmer 013195
*****ELMER*****
2.8.1(0000000.1#kwh)
21.8.0(0000001.5*kwh)
41.8.0(0000001.5*kwh)
61.8.0(0000002.5*kwh)
22.8.0(0000000.0*kwh)
42.8.0(0000000.0*kwh)
62.8.0(0000000.0*kwh)
C.9.3(07-01-13 11:41)
C.7.1(0025)
C.7.2(0026)
C.7.3(0008)
C.7.0(0123)
0.3.3(00250.000*i\kwh)
0.2.1(ED310_DR_30)
C.8.1(00000037:46#h:min)
C.82.1(00000000:47#h:min)
C.50(00000115:18*h:min)
32.7(000.2*v)
52.7(000.4*v)
72.7(231.8*v)
31.7(000.000*A)
51.7(000.000*A)
71.7(000.000*A)
91.7(000.000*A)
1.6.1(00.0000*kwh)
33.7(0.000*cos)
21.6.0(000.000*kwh)
!
```

```
*****
CMD >> getelmer 013195
*****ELMER*****
2.8.1(0000000.1#kwh)
21.8.0(0000001.5*kwh)
41.8.0(0000001.5*kwh)
61.8.0(0000002.5*kwh)
22.8.0(0000000.0*kwh)
42.8.0(0000000.0*kwh)
62.8.0(0000000.0*kwh)
C.9.3(07-01-13 11:41)
C.7.1(0025)
C.7.2(0026)
C.7.3(0008)
C.7.0(0123)
0.3.3(00250.000*i\kwh)
0.2.1(ED310_DR_30)
C.8.1(00000037:48#h:min)
C.82.1(00000000:47#h:min)
C.50(00000115:22*h:min)
32.7(000.1*v)
52.7(000.3*v)
72.7(232.2*v)
31.7(-000.004*A)
51.7(-000.005*A)
71.7(000.039*A)
91.7(000.039*A)
1.6.1(-00.0001*kwh)
33.7(0.000*cos)
21.6.0(000.000*kwh)
!
```

D. Ukázkový výpis komunikace elektroměru ZPA ED310

```
069: Nastavení kanálu: COM18, 4800,7,E,1
069: Připojování...
069: Připojena na COM18, 300 bps, 7E1
069: 17.3.2015 12:44:08, ovladač kanálu ZPA-Flag, start odečtu
069: Nastavení měřidla: ZPA Smart Energy Electro Meter Single Tariff, 013195
069: Odečítání měřidla s adresou 013195... (Sign On)
069: >> /?013195!<CR><LF>
069: << /ZPA4ZE310.v30_012<CR><LF>
069: >> <ACK>040<CR><LF>
069: Změna přenosové rychlosti na 4800 bps...
069: Připojena na COM18, 4800 bps, 7E1
069: Odečítání měřidla s adresou 013195...
069: << <STX>F.F(000000)<CR><LF>
069: << C.1.0(05013195)<CR><LF>
069: << C.90(013195)<CR><LF>
069: << 1.8.1(0000005.4#kwh)<CR><LF>
069: << 2.8.1(0000000.1#kwh)<CR><LF>
069: << 21.8.0(0000001.5*kwh)<CR><LF>
069: << 41.8.0(0000001.5*kwh)<CR><LF>
069: << 61.8.0(0000002.2*kwh)<CR><LF>
069: << 22.8.0(0000000.0*kwh)<CR><LF>
069: << 42.8.0(0000000.0*kwh)<CR><LF>
069: << 62.8.0(0000000.0*kwh)<CR><LF>
069: << C.9.3(07-01-13 11:41)<CR><LF>
069: << C.7.1(0020)<CR><LF>
069: << C.7.2(0021)<CR><LF>
069: << C.7.3(0008)<CR><LF>
069: << C.7.0(0118)<CR><LF>
069: << 0.3.3(00250.000*i\kwh)<CR><LF>
069: << 0.2.1(ED310_DR_30)<CR><LF>
069: << C.8.1(00000028:58#h:min)<CR><LF>
069: << C.82.1(00000000:47#h:min)<CR><LF>
069: << C.50(00000104:07*h:min)<CR><LF>
069: << 32.7(000.1*v)<CR><LF>
069: << 52.7(000.4*v)<CR><LF>
069: << 72.7(230.3*v)<CR><LF>
069: << 31.7(-000.005*A)<CR><LF>
069: << 51.7(-000.006*A)<CR><LF>
069: << 71.7(000.110*A)<CR><LF>
069: << 91.7(000.109*A)<CR><LF>
069: << 1.6.1(-00.0001*kW)<CR><LF>
069: << 1.6.2(-00.0000*kW)<CR><LF>
069: << 1.6.3(00.0256*kW)<CR><LF>
069: << 1.7.0(0000.0256*kW)<CR><LF>
069: << 33.7(0.000*cos)<CR><LF>
069: << 53.7(0.000*cos)<CR><LF>
069: << 73.7(1.000*cos)<CR><LF>
069: << 31.6.0(000.062*A)<CR><LF>
069: << 51.6.0(000.023*A)<CR><LF>
069: << 71.6.0(000.109*A)<CR><LF>
069: << 21.6.0(000.000*kW)<CR><LF>
069: << 41.6.0(000.000*kW)<CR><LF>
069: << 61.6.0(000.025*kW)<CR><LF>
069: << !<CR><LF>
069: << <ETX><NAK>
069: Příkaz úspěšně proveden.
069: Událost měřidla (17.3.2015 13:44:12): Neplatná hodnota počítadla. Pořadí počítadla: 1
(Počítadlo nenalezeno. (1.8.0)).
069: Událost měřidla (17.3.2015 13:44:12): Neplatná hodnota počítadla. Pořadí počítadla: 2
(Počítadlo nenalezeno. (21.6.1)).
069: Událost měřidla (17.3.2015 13:44:12): Neplatná hodnota počítadla. Pořadí počítadla: 3
(Počítadlo nenalezeno. (21.6.2)).
069: Událost měřidla (17.3.2015 13:44:12): Neplatná hodnota počítadla. Pořadí počítadla: 4
(Počítadlo nenalezeno. (21.6.3)).
069: 17.3.2015 13:44:12, ovladač kanálu ZPA-Flag, odečet ukončen
069: -----
069: Odpojování
069: Odpojeno od COM18, 4800 bps, 7E1
```

E. Vybrané technické parametry jednotlivých prvků

TECHNICKÉ PARAMETRY TEPLoměRU PAPOUCH TQS3

Pracovní teplota elektroniky	-40 °C až +85 °C
Teplotní rozsah čidla	-55 °C až +125 °C s rozlišením 0,1 °C
Přesnost	± 0,5 °C v rozsahu -10 °C až +85 °C, jinak ± 2 °C
Měřicí prvek	polovodičový senzor DS18B20
Zakončení	Ne; odpory 10 kΩ definující klidový stav linky.
Napájecí napětí	7 V až 20 V stejnosměrných s ochranou proti přepólování
Odběr	typ. 2 mA, max. 3 mA (viz pozn. 9 na straně 18)

TECHNICKÉ PARAMETRY TENZOMETRICKHO PŘEVODNÍKU OMEGA LC101-2k:

Jeden vstup pro tenzometr (čtyřvodičové zapojení).
Nízkošumový $\Sigma\Delta$ A/D převodník.
Výstupem je hodnota přímo v nastaveném zatížení.
Měřicí rozsah odpovídá ± 32767 dílků.
Rychlost měření je 50 vzorků za sekundu.
Rozsahy: 2 mV/V, 5 mV/V a 10 mV/V
Komunikace přes RS485.
Komunikační protokoly Spinel a Modbus RTU.
Napájení z externího zdroje 8 až 30 V.

TECHNICKÉ PARAMETRY TENZOMETRU PAPOUCH TE485:

Napájení:	10 Vss (max. 15 Vss)
Výstup:	3 mV/V $\pm 0,0075$ mV/ ζ kalibrováno pro 0%, 50%, 100%
Přesnost:	$\pm 0,03\%$ z rozsahu
Linearita:	$\pm 0,03\%$ z rozsahu
Opakovatelnost:	$\pm 0,01\%$ z rozsahu
Kolísání nuly:	$\pm 1\%$ z rozsahu
Provozní teplota:	-40 až +93°C
Kompenzovaný teplotní rozsah:	17 až 71°C
Hystereze:	$\pm 0,02\%$ z rozsahu
Vliv teploty:	Nula: 0,0013% rozsahu/°C - Rozpětí: 0,0008% rozsahu/°C
Bezpečná přetížitelnost:	150% rozsahu
Mezní přetížitelnost:	300% rozsahu
Výstupní odpor:	350 Ohm ± 5 Ohm
Konstrukce:	ocel třídy 17

TECHNICKÉ PARAMETRY ELEKTROMĚRU ZPA ED310:

Základní údaje

Třída přesnosti	Třída A nebo B podle ČSN EN 50470-1,50470-3
Konstanta elektroměru	(zkušební LED výstup) programovatelná, obvykle 10 000 imp/1 kWh
Připojení:	přímé čtyřvodičové i nepřímé (přes transformátory)
Jmenovité napětí U_n	3 x 230 V
Rozsah provozního napětí	0,75 U_n až 1,15 U_n
Vlastní spotřeba každého napěťového obvodu (bez vloženého modulu)	max. 0,7 W , max. 8VA cap.
Vlastní spotřeba každého proudového obvodu max.	0,01 VA
Jmenovitý kmitočet f_n	50 Hz
Provozní kmitočet:	45 až 55 Hz
Náběhový proud (přímé připojení) I_{st}	menší než 15 mA
Náběhový proud (nepřímé připojení) I_{st}	menší než 5 mA
Minimální proud (přímé připojení) I_{min}	200 mA
Referenční proud (přímé připojení) I_{ref}	podle požadavku : 5 A nebo 10 A
Jmenovitý proud (nepřímé připojení) I_n	5 A
Maximální proud I_{max} (přímé připojení) trvale podle požadavku možný v celistvých násobcích I_b :	od 40 A do 60 A
Maximální proud I_{max} (nepřímé připojení) podle požadavku :	6 A nebo 7,5 A
Maximální rozsah měření (přímé připojení)	15 mA až 63 A
Maximální rozsah měření (nepřímé připojení)	5 mA až 7,5 A

Přepínání sazeb – vnější svorky

Přepínací napětí U_i	230 V
Povolený rozsah	0,75 U_i až 1,15 U_i
Max. spotřeba při $U_i = 230$ V	1,5 mA

Výstupy

Zkušební LED v S0 Třída A dle ČSN EN 62053-31	
připojení výstupu	přímé, dvou vodičové, výstup typu otevřený kolektor
počet impulzů programovatelný	od 0,15 do 10 000 imp./1 kWh
šířka impulzů	programově nastavitelná, obvykle 40 ms
napájecí napětí jmenovité	24 Vss
napájecí napětí maximální	30 Vss

TECHNICKÉ PARAMETRY FREKVENČNÍHO MĚNIČE NORD SK500E

Přesné typové označení:	SK 500E-750-323-A
Jmenovitý výkon motoru:	0,75 kW
Síťové napětí:	1/3AC 200..240V, +-10%, 47...63Hz
Vstupní proud:	8,7 a (1 AC) / 5,6 A (3 AC)
Výstupní napětí:	3 AC 0 - síťové napětí
Jmen. výstupní proud:	4 A
Výstupní frekvence:	0 Hz ... 400 Hz
Stupeň krytí	IP20
Teplota okolí	0°C ... +40°C
Rozměry (LxSxV v [mm])	186*74*153
Hmotnost cca.	1,4 kg

TECHNICKÉ PARAMETRY DISPLEJE PAPOUCH TDS:

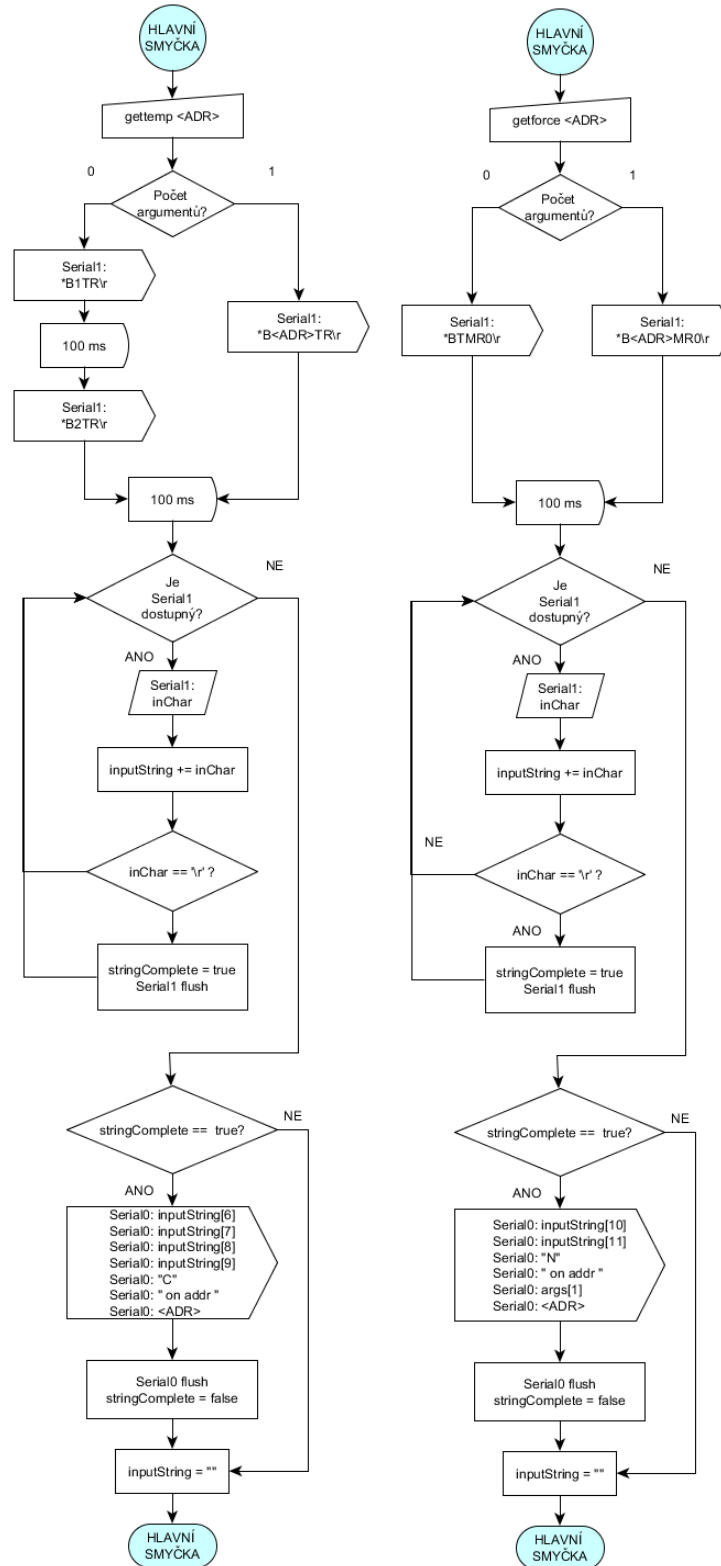
Zakončení:	Ne, odpory 22 kΩ definující klidový stav linky.
Napájecí napětí:	7 až 30 V stejnosměrných
Odběr:	typicky 30 mA při 12 V
Zobrazitelné znaky:	0 až 9, mezera, pomlčka a většina znaků abecedy
Výška znaku	10 mm
Stupeň krytí	IP64
Pracovní teplota	-20 °C až +70 °C
Rozměry krabičky (včetně průchodek):	62 mm x 62 mm (84 mm) x 32,5 mm

TECHNICKÉ PARAMETRY OBVODU ATmega32u4 a VÝVOJOVÉ DESKY:

Název vývojové desky	Arduino Leonardo R3
Pracovní napětí	5V
Vstupní napětí	7-20V
Počet digitálních I/O pinů	20
Počet PWM kanálů	7
Počet analogových vstupů	12
Max. proudové zatížení pinu	40 mA
Flash paměť	32 KB
SRAM	2,5 KB
EEPROM	1 KB
Pracovní frekvence	16 MHz
Délka desky	68,6 mm
Šířka desky	53,3 mm

F. Vývojové diagramy funkcí řídicí jednotky

Diagram implementace SPINEL protokolu



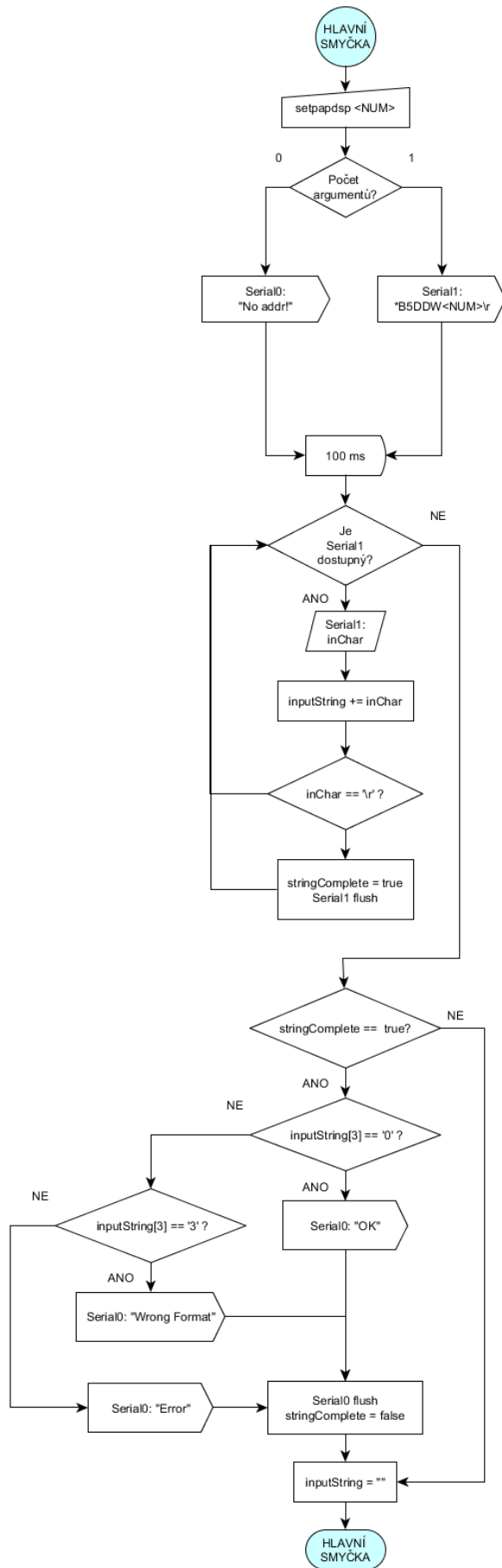


Diagram implementace odečítání elektroměru

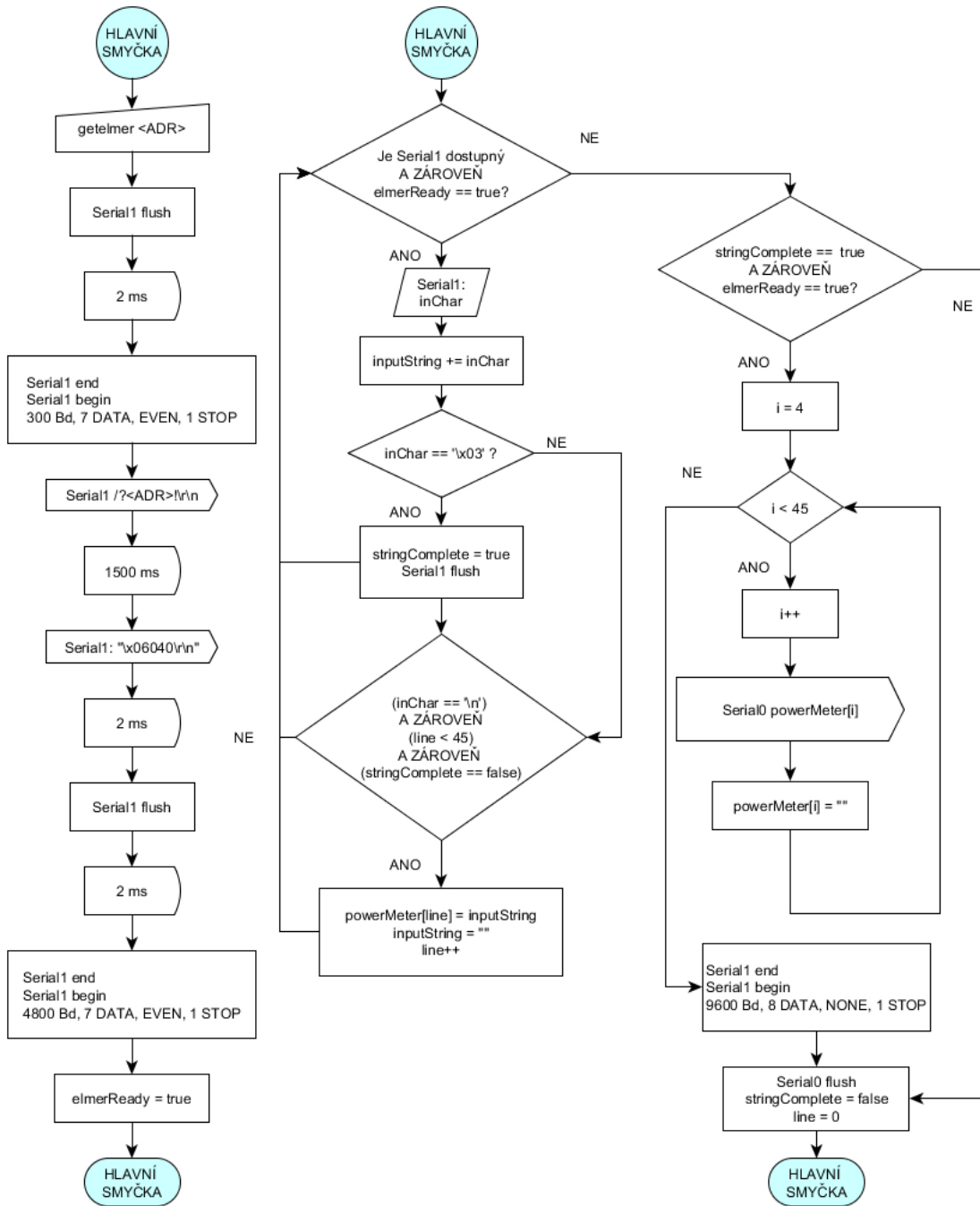


Diagram implementace ovládání GPIO

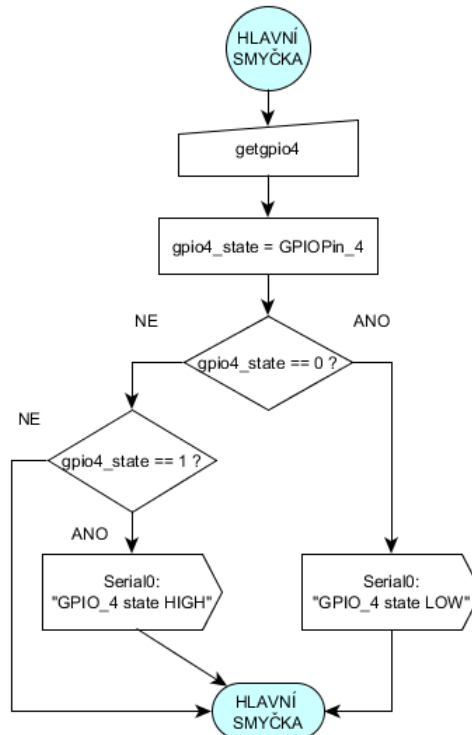
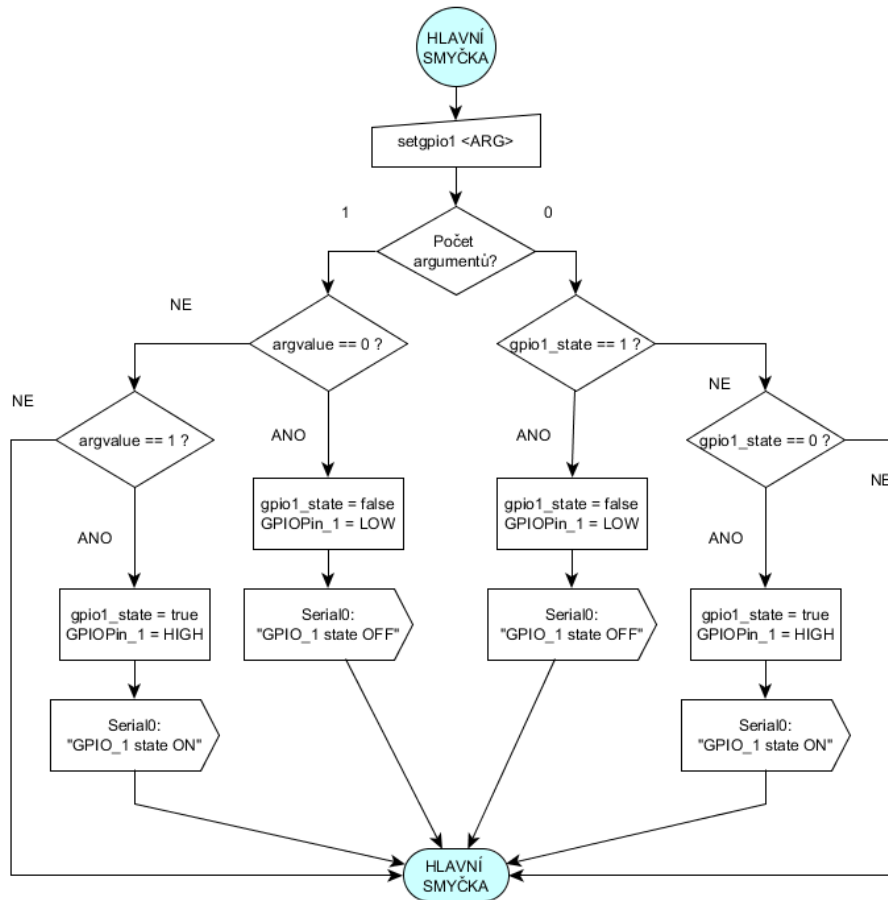


Diagram implementace ovládání frekvenčního měniče
Diagram bezpečnostní smyčky

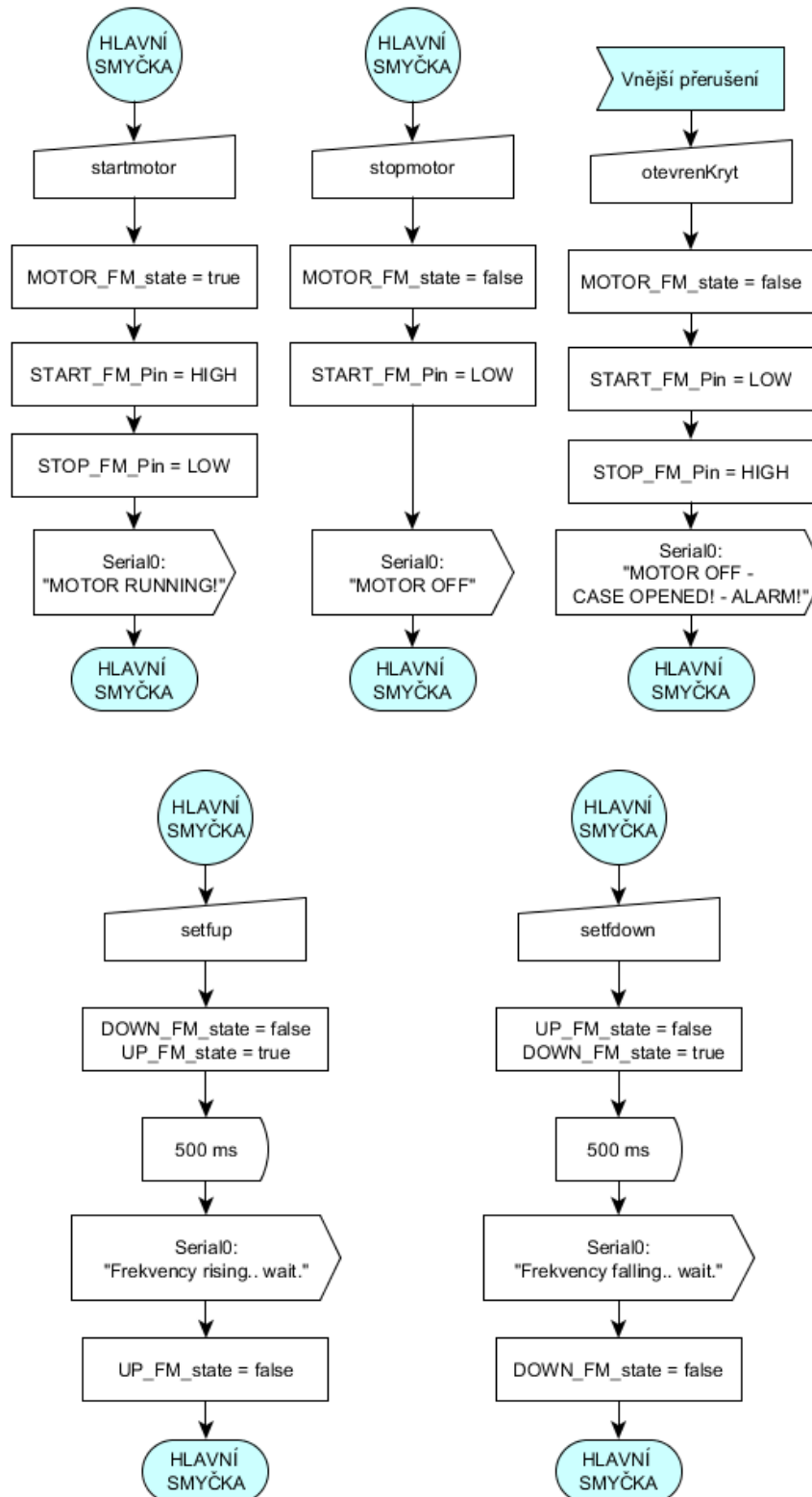


Diagram pro odečet otáčkoměru

