

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Univerzální řídicí deska pro automatickou
pračku**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

Autor: Bc. Adam Franc

Praha 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Adam Franc

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Univerzální řídicí deska pro automatickou pračku

Název anglicky

Universal control board for Laundromat

Cíle práce

Cílem práce je analýza senzorů a dalších komponent běžného modelu pračky na trhu. Za použití stávajících komponent navrhnete a realizujete prototyp řídicí desky, která by měla být s menšími modifikacemi použitelná v dalších běžných typech praček. Řídicí desku vybavte přehledným uživatelským prostředím a ovládáním. Software by měl být schopen vykonávat základní prací program.

Metodika

1. Analyzujte funkci senzorů, ovládacích prvků a dalších komponent zařízení.
2. Navrhnete a realizujete prototyp řídicí desky.
3. Řídicí desku vybavte softwarem.
4. Otestujte funkčnost celého zařízení a diagnostikujte chyby.
5. Vyhodnoťte funkčnost zařízení.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

mikropočítač, řízení, automatická pračka

Doporučené zdroje informací

<http://www.manualslib.com/manual/741752/Electrolux-Ewm2100.html?page=38#manual>

Martinek, R.: Senzory v průmyslové praxi, BEN – technická literatura, 2011, ISBN 978-80-7300-354-8

Matoušek, D., Brtník, B.: Programování mikrokontrolérů s jádrem 8051 v jazyce C: názorné příklady a funkční programy pro AT89S52, BEN – technická literatura, 2010, ISBN: 8073002647

Zbyšek Voda a tým HW Kitchen: Průvodce světem Arduina, Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice, 2015, ISBN 978-80-87106-90-7

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2016

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

Univerzální řídicí deska pro automatickou pračku

vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 ods. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

.....

(podpis autora)

V Praze dne

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce doc. Ing. Stanislavě Papežové, CSc. za odbornou pomoc a praktické rady při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl touto cestou poděkovat své rodině za podporu.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou návrhu univerzální řídicí desky pro běžnou automatickou pračku na trhu. Cílem práce je analýza jednotlivých komponent běžného modelu pračky. Na základě této analýzy navrhnout funkční řídicí desku vybavenou jednoduchým základním pracím programem. V závěru práce je shrnutí celkové funkčnosti zařízení a rozebrání tohoto problému.

Klíčová slova

mikropočítač, řízení, automatická pračka

Universal control board for Laundromat

Abstract

This thesis deals with the proposal for universal control board for a conventional automatic washing machines on the market. The aim is to analyze the various components of common washing machine models. Based on this analysis, suggest functional control board with a simple basic wash program. In the conclusion is a summary of the overall functionality of the product and the resolving this issue.

Key words

microcomputer, control, automatic washing machine

Obsah

Úvod.....	1
1. Cíl práce.....	3
1.1. Analýza stávajících komponent	3
1.2. Návrh zařízení	3
1.3. Vybavení zařízení softwarem.....	3
2. Analýza komponent pračky AEG Electrolux L46210.....	4
2.1. Zámek dvířek	5
2.2. Senzor polohy bubnu.....	7
2.3. Motor pračky (EWM 2100)	8
2.4. Topné těleso	10
2.5. Teplotní senzor.....	11
2.6. Napouštěcí ventily.....	12
2.7. Tlakový spínač	14
2.8. Vypouštěcí čerpadlo.....	16
2.9. Ovládací panel.....	16
3. Návrh a realizace prototypu řídicí desky	18
3.1. Napájení	18
3.2. WM-main board Rev.5.....	19
3.2.1 Arduino Nano V3.0.....	19
3.2.2 DS1307 - I2C časový modul.....	21
3.2.3 MCP23017-I2C GPIO expandér.....	22
3.2.4 Ovládání (tlačítka, rotační enkodér)	23
3.2.5 Nokia 5110 displej.....	24

3.3.	Triac module Rev.4.....	25
3.3.1	Triakový spínač.....	26
3.3.2	Detekce napájení výkonové části.....	26
3.3.3	Řízení otáček motoru	27
3.3.4	Tachometrický generátor	28
3.4.	Relé modul	29
3.5.	Blokové schéma komponent	31
4.	Software	33
4.1.	Použité knihovny.....	33
4.1.1	SensorsWM.....	36
4.2.	Inicializace	39
4.3.	Popis funkcí použitých v programu	40
4.4.	Blokové schéma programu.....	44
5.	Zhodnocení výsledků.....	45
5.1.	Testování funkčnosti zařízení	45
5.1.1	Hardware.....	45
5.1.2	Software	46
5.1.3	Časová náročnost	48
5.2.	Náklady na zhotovení zařízení	49
	Závěr.....	51
	Seznam použitých zdrojů	53
	Seznam obrázků	55
	Seznam grafů a tabulek	56
	Seznam příloh.....	57

Úvod

Velké domácí spotřebiče, které dříve téměř bez poruchy nebo jen s minimálními servisními zásahy sloužily i několik desítek let, dnes někdy končí svou životnost po pár letech od uplynutí záruční doby. Přitom v současné době není ani vyšší cena zárukou delší životnosti produktu. Pokud se uživatel obrátí na odborný servis a požaduje opravu, na kterou se již nevztahuje záruka, vzápětí zjišťuje, že samotná oprava přesahuje někdy i polovinu nákladů, které by vložil do novějšího spotřebiče, anebo oprava není vůbec možná. Většina uživatelů se proto rozhodne pro nový výrobek, který nabízí nové funkce a cenový rozdíl mezi opravou staršího a koupí nového není zas až tak markantní. Uživatel má navíc pocit, že získal něco nového a neopotřebovaného, co by mělo opět nějakou dobu sloužit. Existuje zde i druhá varianta uživatele, kterému se spotřebič nemusí ani porouchat, a přesto si po relativně krátké době pořídí nový. Pro tyto uživatele spotřebič „morálně zastarává“, jelikož ho nahradil modernější model, u kterého výrobce změnil design a přidal nové funkce, jenž uživatel ve většině případů vůbec nevyužije.

Takto se generuje značné množství elektroodpadu, který se pak musí recyklovat a dále problematicky zpracovávat. Je to tedy i zátěž pro životní prostředí, i když nyní téměř každý větší obchod s elektrospotřebiči nabízí jeho odvoz nebo odběr.

U většiny dnešních velkých domácích spotřebičů je jejich chod řízen pomocí elektroniky. Zpravidla obsahuje řídicí desku, na kterou jsou napojeny senzory a další komponenty potřebné ke svému fungování. Tyto řídicí desky jsou v mnoha případech příčinami poruch, které donutí uživatele ke koupi nového produktu. Cena této komponenty tvoří někdy i 30 % ceny celého spotřebiče. Je-li závada způsobena poruchou řídicí jednotky, je vysoká šance, že ostatní komponenty jsou v pořádku a výměna této desky by tuto poruchu vyřešila. Pokud bude závada mechanického charakteru, závisí na konstrukci vadné části, zda umožňuje jednoduchou opravu či nikoliv.

Tato práce se zabývá možností, zda lze vytvořit alespoň trochu univerzální řídicí desku (hardware). Ta by měla být schopna po nahrání software pro určitý typ pračky nahradit originální jednotku různých modelů praček od různých výrobců.

V následujících kapitolách je provedena analýza jednotlivých originálních komponent pračky AEG Electrolux L46210 s horním plněním, u které došlo k fatální poruše na řídicí desce. Poté je popsán návrh hardware řídicí desky na základě získaných informací z analýzy. Následuje zprovoznění pomocí testovacího software, který tento systém otestuje funkčním pracím programem v běžné zátěži.

V závěru práce je vyhodnocena funkčnost vyrobené řídicí desky a kalkulace nákladů na její vyhotovení.

1. Cíl práce

Cílem práce je návrh alternativního řešení pro uživatele, kteří nechtějí investovat nebo měnit spotřebič s originální vadnou řídicí deskou, kdy ostatní komponenty pračky jsou v pořádku.

1.1. Analýza stávajících komponent

Před návrhem řídicí desky je potřeba provést analýzu jednotlivých komponent a senzorů běžného typu pračky na trhu. Nejprve je nutné zjištění základních informací, které je možno vyhledat v datasheetech nebo servisních manuálech daného výrobku. Tyto informace se dají sehnat nejčastěji na stránkách výrobce. V případě, že nelze některé parametry dohledat, je nutné provést měření, které určí tyto hodnoty.

1.2. Návrh zařízení

Dalším krokem je na základě provedené analýzy navrhnout funkční prototyp řídicí desky za použití stávajících komponent. Z tohoto návrhu poté provést realizaci samotné desky, která by měla svou konstrukcí umožnit co největší univerzálnost.

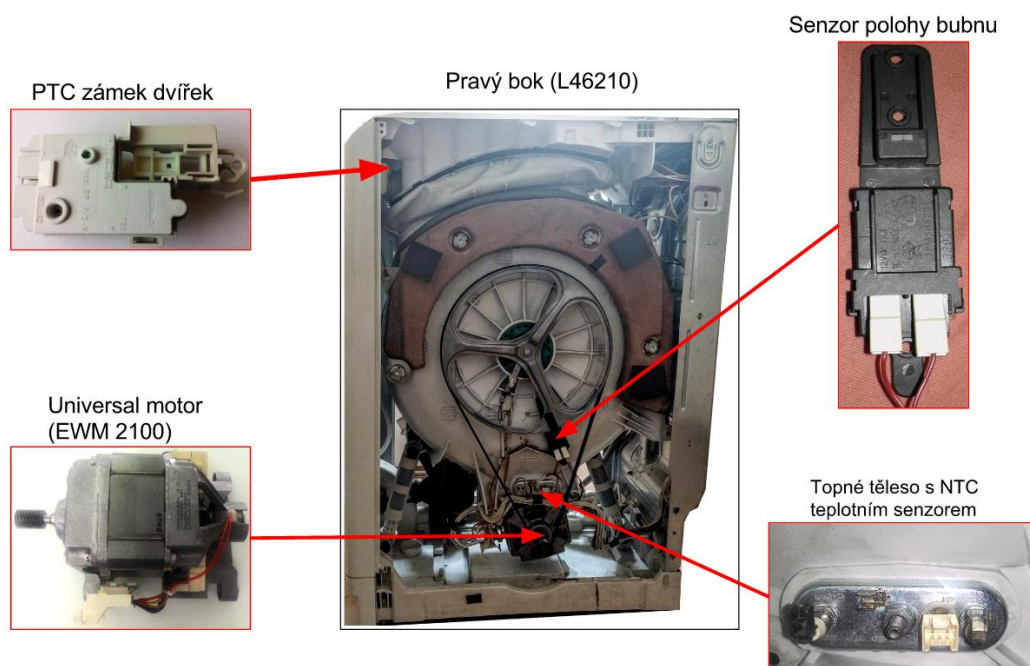
1.3. Vybavení zařízení softwarem

Nezbytnou výbavou mikrokontroléru na této desce je software, který bude celý systém obsluhovat. Tento software by měl být navržen tak, aby jeho struktura byla snadno pochopitelná a umožňovala jednoduchou konfiguraci pro různé modely praček. Nezbytnou součástí by měl být jednoduchý funkční prací program, který otestuje celý systém.

2. Analýza komponent pračky AEG Electrolux L46210

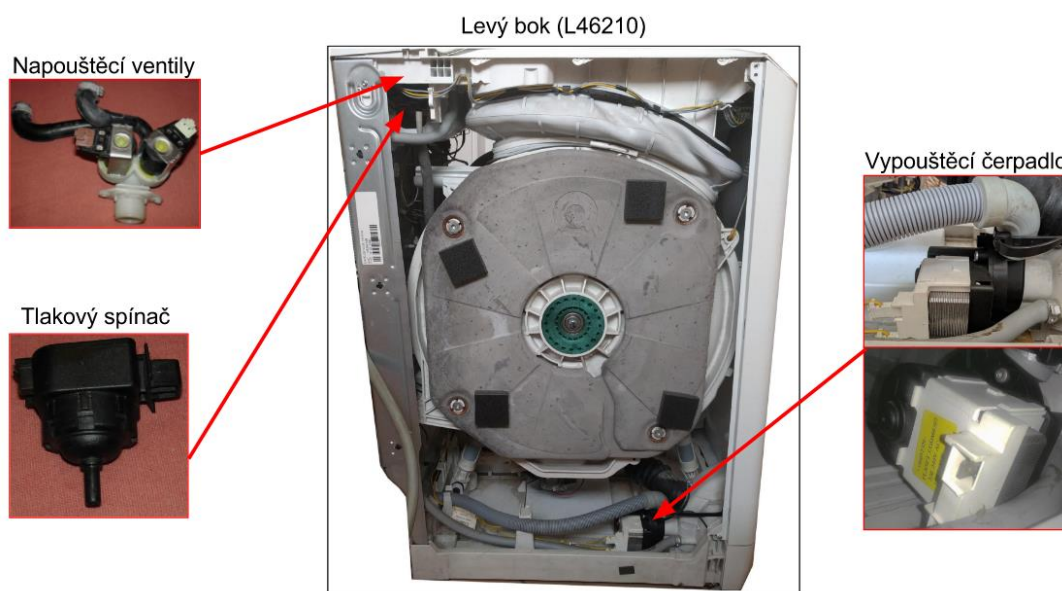
Aby bylo možné pro daný typ pračky vytvořit řídicí desku, je nejdříve potřeba zanalyzovat všechny komponenty potřebné k řízení a zjistit a změřit jejich parametry. Tyto informace se mohou nacházet, buď přímo na dané komponentě, nebo v servisním manuálu (*FSM*), pokud je k dispozici. Popřípadě přímo v datasheetech jednotlivých součástek. Servisní manuál daného spotřebiče bývá rozsáhlejší a podrobnější než uživatelský manuál a je určen především pro servisní pracovníky. Jsou zde uvedeny jednotlivé komponenty, jejich popis, účel, schémata a tovární parametry. Na Obrázcích č.1 a č.2 je naznačeno umístění komponent u typu AEG Electrolux L46210 s horním plněním. Ty samé komponenty, jen na jiném místě z důvodu jiného konstrukčního provedení u předního plnění obsahují například pračky s řídicím systémem ENV06, EWM2100 a EWM 2500.

[CARLINER, 1985], [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]



Obrázek 1: Umístění analyzovaných komponent-pravý bok

Pro tyto systémy je charakteristické použití elektronického analogového tlakového spínače uvedeného na obrázku č.2. Tento spínač má tu výhodu, že neustále posílá řídicí jednotce informaci o aktuální hodnotě výšky hladiny v bubnu pračky na rozdíl od dvoustavových nebo třístavových. Analýza jednotlivých komponent je uvedena níže.

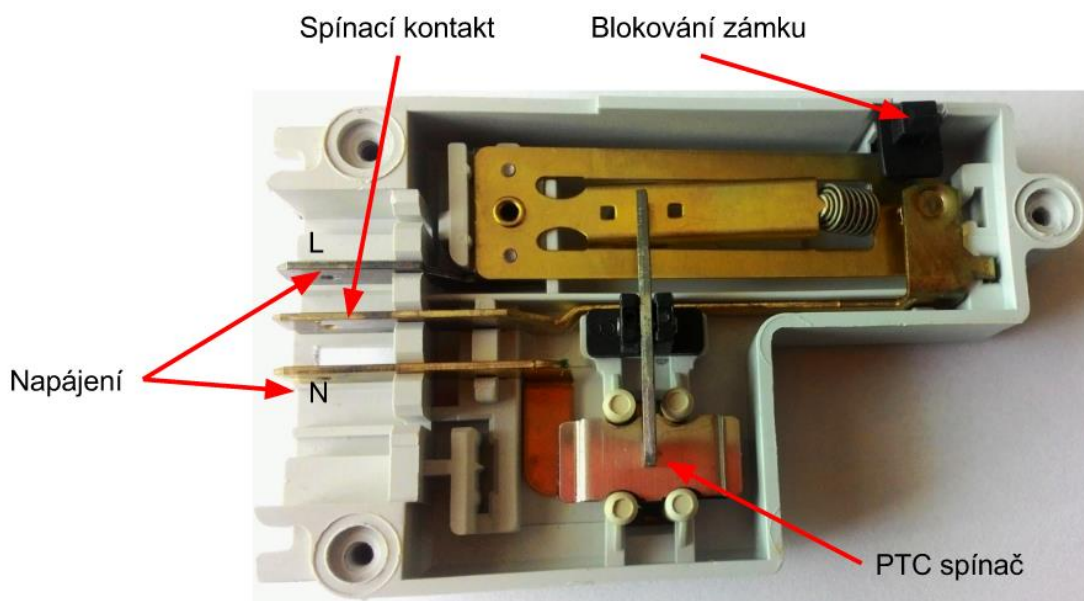


Obrázek 2: Umístění analyzovaných komponent-levý bok

2.1. Zámek dvířek

Zámek dvířek funguje na principu pozistoru (PTC – positive temperature coefficient). Uvnitř zámku je bimetalový PTC spínač (obrázek č.3), na který se přivede proud a následkem zahřátí se zvýší odpor a PTC spínač se vychýlí. Jakmile se pozistorový spínač vychýlí, nadzvedne kotvu a ta zároveň sepne rozpínací kontakty a nadzvedne blokování zámku. Tímto se sepne celý zbývající okruh a uzamkne se víko pračky, dokud prochází PTC spínačem proud. Po odpojení napájení nedochází k okamžitému otevření víka, ale musí se počkat dvě až tři minuty na vychladnutí, a teprve poté se vrátí PTC spínač do původní polohy. Parametry zámku modelu L46210 jsou uvedeny v tabulce č.1.

[ResistorGuide.com, 2017], [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]



Obrázek 3: Schéma zámku dvířek

Existuje i druhá varianta tohoto zámku, kde okamžitě po odpojení napájení se zámek odemkne bez časové prodlevy. Jeho provedení je však složitější na řízení. Pro uzavření dvířek a sepnutí napájení do dalších komponent je potřeba nejprve přivést napájení na PTC člen. V této fázi jsou dvířka stále otevřená a je potřeba poslat impuls s šířkou 20ms na kontakt cívky. Poté se sepne spínač, který uzavře dvířka a sepne napájení ostatních komponent. Otevření se provede posláním dvou pulzů 20 a 200 ms.

[Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

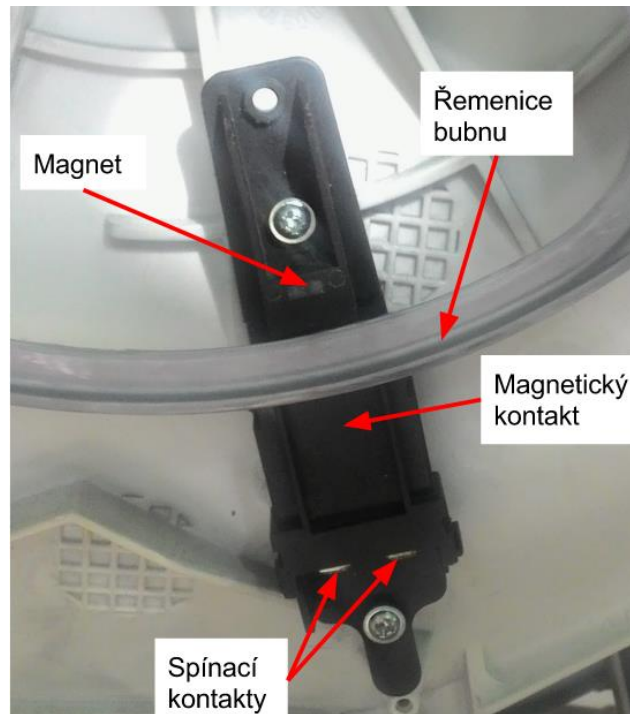
Zjištěné parametry:

Výrobce:	Bitron
Typ:	BP P/P-R
Napájení:	~250 V
Doba sepnutí kontaktů:	2-5 s
Doba rozpojení kontaktů:	1-3 min.

Tabulka 1: Parametry PTC zámku dvířek

2.2. Senzor polohy bubnu

Tento senzor se umísťuje do praček s horním plněním a předává informaci řídicí desce, zda jsou dvířka bubnu umístěna v horní poloze, tak aby bylo možno pračku jednoduše vyprázdnit. Z vnitřní strany řemenice bubnu je umístěn silnější ocelový plech na místě, kde jsou dvířka bubnu otočena v horní poloze. Část řemenice se otáčí mezi magnetem a magnetickým kontaktem. Jakmile se dostane silnější plech mezi tyto dva prvky, magnetické pole se zvýší a kontakt se sepne. Jak jsou tyto prvky umístěny na vaně pračky, je znázorněno na obrázcích č. 1 a 4 .



Obrázek 4: Senzor polohy bubnu s procházející řemenicí

Zjištěné parametry senzoru polohy bubnu jsou uvedeny v tabulce č.2.

Zjištěné parametry:

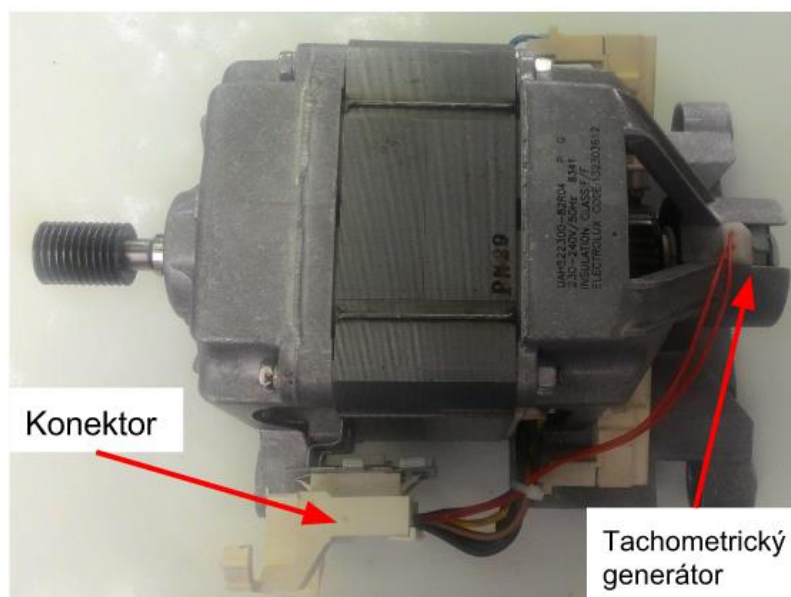
Výrobce	Bitron (ELBI)
Typ:	33920
U_{max}	12 Vdc
I_{max}	10 mA

Tabulka 2: Parametry senzoru polohy bubnu

2.3. Motor pračky (EWM 2100)

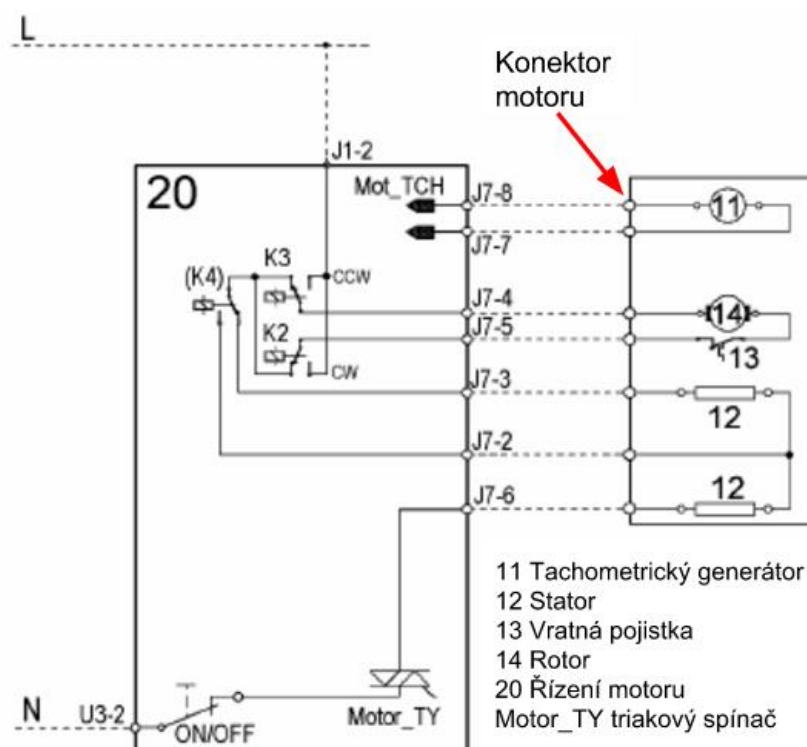
Pro pohon bubnu pračky u modelu L46210 je použit univerzální komutátorový motor. Tento typ motoru je nejčastějším pohonem u domácích spotřebičů (vysavače, pračky, myčky, lednice, aj.). U tohoto stroje je vyžadovaná minimální údržba v podobě výměny sběracích kartáčků „uhlíků“ motoru. Na konci hřídele motoru je umístěn tachometrický generátor viz obrázek č. 5. Na tachometrickém generátoru se indukují napětí, které se s rychlostí otáček zvyšuje. Tento signál je zpracován v řídicí desce, kde slouží jako zpětná vazba pro řízení otáček motoru. Samotné řízení motoru je prováděno změnou napětí, popřípadě u starších modelů přepínáním zapojení vinutí cívky statoru na polovinu nebo celou. U staršího řízení otáček tak bylo možné nastavit pouze dvě rychlosti. Tento typ motoru je vybaven vratnou tepelnou pojistkou, která zabraňuje přehřátí. Parametry motoru jsou uvedeny v tabulce č.3.

[VOJÁČEK,2014], [ROUBÍČEK,2004]



Obrázek 5: Motor EWM 2100

Na obrázku č.6 je zobrazeno schéma zapojení motoru EWM 2100. Relé K4 na tomto obrázku je pouze u starších typů a slouží pro přepínání vinutí. Relé K2 a K3 slouží k reverzaci motoru.



Obrázek 6: Schéma zapojení motoru EWM2100 [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

Jako pohon bubnu může být u některých typů praček použit třífázový asynchronní motor. Ten je přímo vybaven elektronickým měničem, který je připojen sběrnici k řídicí desce. Tento typ je bezúdržbový a používá se u dražších modelů praček.

[Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

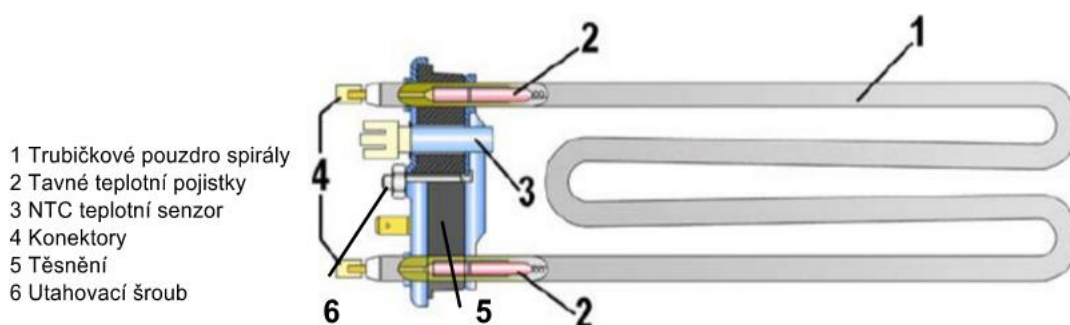
Zjištěné parametry:

Výrobce	ECM
Typ:	UAH522300-82R04
Napájení:	~230-240 V /50HZ
Vinutí statoru:	1,46Ω;½ 0,73Ω ±7%
Vinutí rotoru:	2 Ω ±7%
Tachometrický generátor:	91 Ω ±7%
Třída izolace:	F/F
Electrolux kód:	132303612

Tabulka 3: Parametry EWM 2100 [4mcculloch.co.uk, c2017]

2.4. Topné těleso

Ohřev vody je realizován topnou spirálou, která je spínána přes relé. Vedle utahovacího šroubu je umístěn senzor na snímání teploty vody ve vaně pračky. Spirála má dvě tavné teplotní pojistky kalibrované na určitou teplotu, pro případ selhání řídicího obvodu nebo při poruše teplotního senzoru. Pokud se tyto pojistky přetaví, musí se vyměnit celé topné těleso. Na obrázku č. 7 je znázorněno topné těleso použité u modelu L46210.



Obrázek 7: Topné těleso s teplotním senzorem [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

Topná tělesa u různých druhů praček a od rozdílných výrobců se odlišují svou konstrukcí, výkonem a rozměry. Umístění teplotního senzoru může být realizováno u každého typu jinak, u modelu L46210 je umístěn přímo na konstrukci topného tělesa. Parametry topného tělesa jsou uvedeny v tabulce č.4.

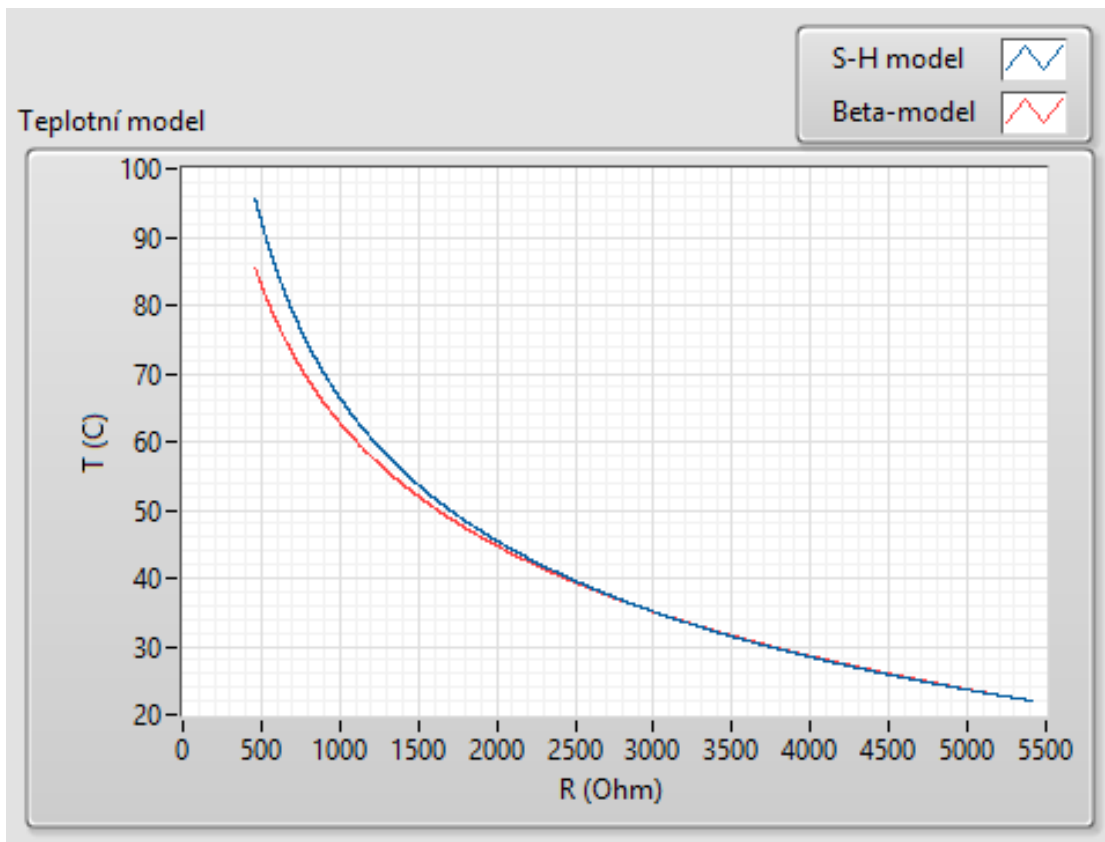
Zjištěné parametry:

Výrobce	IRCA (Zoppas industries)
Typ:	132506421
Napájení:	~230 V
Příkon:	1950 W
Počet tavných pojistek:	2

Tabulka 4: Parametry topného tělesa

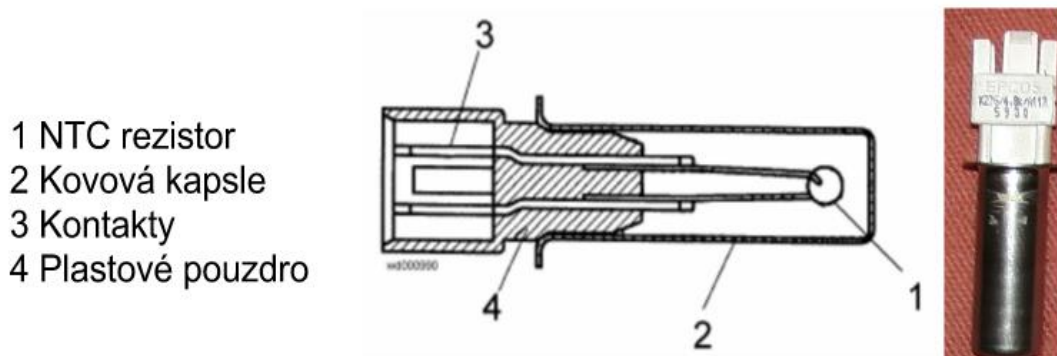
2.5. Teplotní senzor

Jak už bylo uvedeno na obrázku č.7 výše, je teplotní senzor umístěn v blízkosti topné spirály. Pro měření teploty vody v bubnu pračky mohou být použity různé druhy termistorů, u modelu L46210 je to termistor negastorového typu NTC (Negative Temperature Coefficient). U NTC termistorů se vzrůstající teplotou klesá jeho odpor, naopak u PTC termistorů odpor stoupá. Většinou se tyto senzory vyrábí pro teploty od -50 do 150°C . Závislost odporu NTC termistorů je nelineárního charakteru (graf č.1) a je tedy potřeba k vyjádření teploty použít přibližný vztah. Na určení aktuální teploty lze použít Stein-Hartovu rovnici nebo její zjednodušený a méně přesný β -model. Jak získat koeficienty a celkový model pro konkrétní NTC termistor bez znalosti těchto údajů od výrobce, je uvedeno v semestrální práci Kalibrační měření pro PTC a NTC termistory. Parametry od výrobce a zjištěné hodnoty koeficientů jsou uvedeny v tabulce č.5. [Špringl, 2004], [Franc,2016]



Graf 1: Model závislosti teploty na odporu u NTC termistoru [Franc, 2016]

Pokud není potřeba snímat teplotu v celém jejím průběhu, ale pouze v určitých přednastavených bodech, může se použít tabulka pro naměřené hodnoty v těchto bodech. Na obrázku č.8 je schéma použitého teplotního senzoru.



Obrázek 8: Schéma NTC senzoru [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

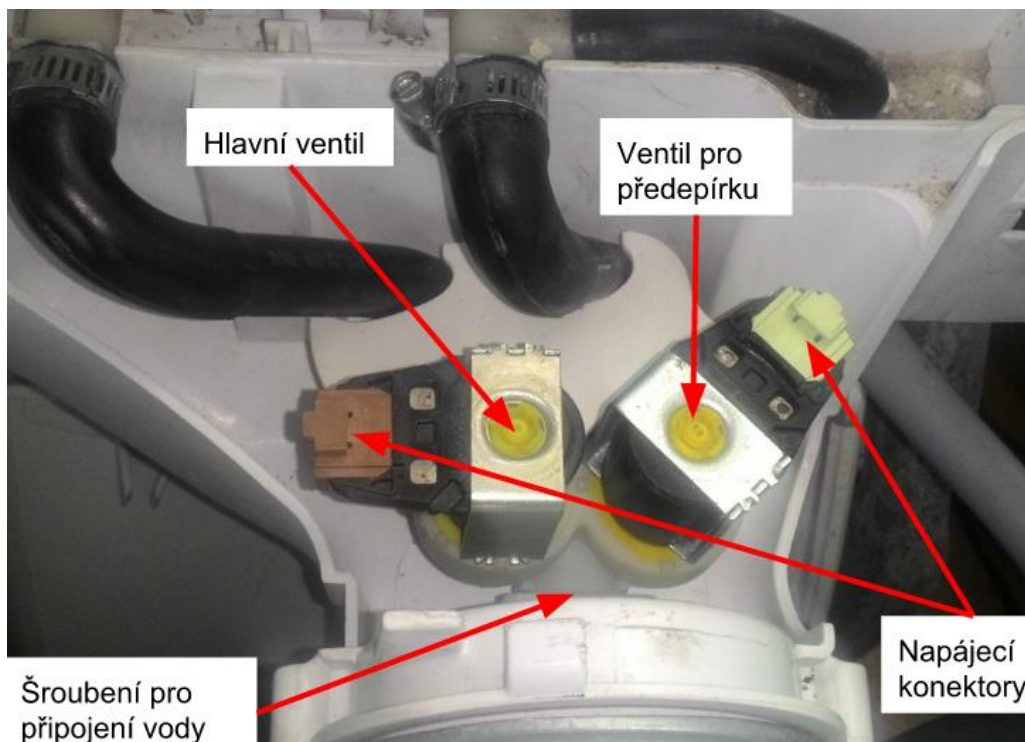
Zjištěné parametry:

Výrobce	TDK (EPCOS)
Typ:	K276
Odpor při 25°C:	4,8k Ω
Koeficient A:	0.000789787
Koeficient B:	0.000324949
Koeficient C:	-3.07362e-007
Beta koeficient:	3826.36
Typ konektoru:	RAST 5

Tabulka 5: Parametry NTC senzoru

2.6. Napouštěcí ventily

Napouštění vody do vany pračky je řešeno dvěma elektromagnetickými ventily, často označované také jako ventily solenoidové. Ventily jsou v jednom celku s filtrem a vstupním šroubením. Umístění tohoto celku se nachází v horní části pračky (obrázek č.2). Jakou funkci má který ventil, je popsáno na obrázku č.9. Při odpojení napájení jsou oba ventily v zavřeném stavu „NC-normally closed“, tímto je zajištěno jištění při výpadku napájení, kdy se ihned automaticky uzavře přívod vody do spotřebiče. Ventily jsou pouze dvoustavové a nelze ovládat jejich přivírání. Parametry elektromagnetických ventilů použitých u modelu L46210 jsou uvedeny v tabulce č. 6.



Obrázek 9: Funkce napouštěcích ventilů

Jako zpravidla u všech ostatních komponent může výrobce zvolit jiný typ napouštěcích ventilů, pro domácí spotřebiče jsou však nejrozšířenější právě ventily elektromagnetické.

Zjištěné parametry:

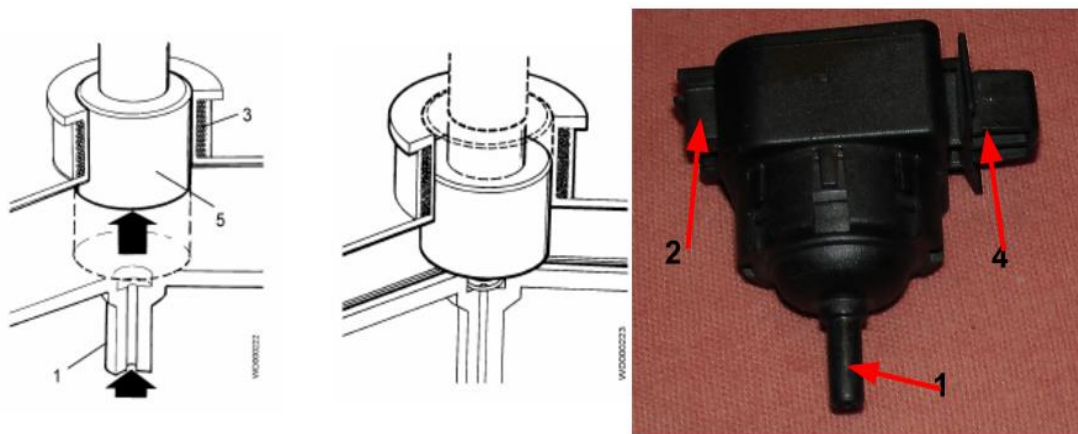
Výrobce	Bitron (ELBI)
Typ:	1325186110
Napájení:	~220/240 V; 50/60Hz
Tlak vody min.	0,05MPa (0,5 bar)
Tlak vody max.	1MPa (10 bar)
Připojení k vodovodní síti:	Typ 20x27

Tabulka 6: Parametry elektromagnetických ventilů

2.7. Tlakový spínač

K určování stavu hladiny vody ve vaně pračky je u modelu L46210 použit analogový tlakový spínač, označovaný také jako pressostat. Tlakový spínač je připojen hadicí k tlakové komoře. Je-li vana naplněna vodou, tlak vytvořený uvnitř hydraulického okruhu rozšiřuje membránu. Ta mění polohu jádra uvnitř cívky, čímž se mění indukčnost a frekvence oscilačního obvodu viz obrázek č.10. Na obrázku č.2 je naznačena poloha spínače v konstrukci pračky.

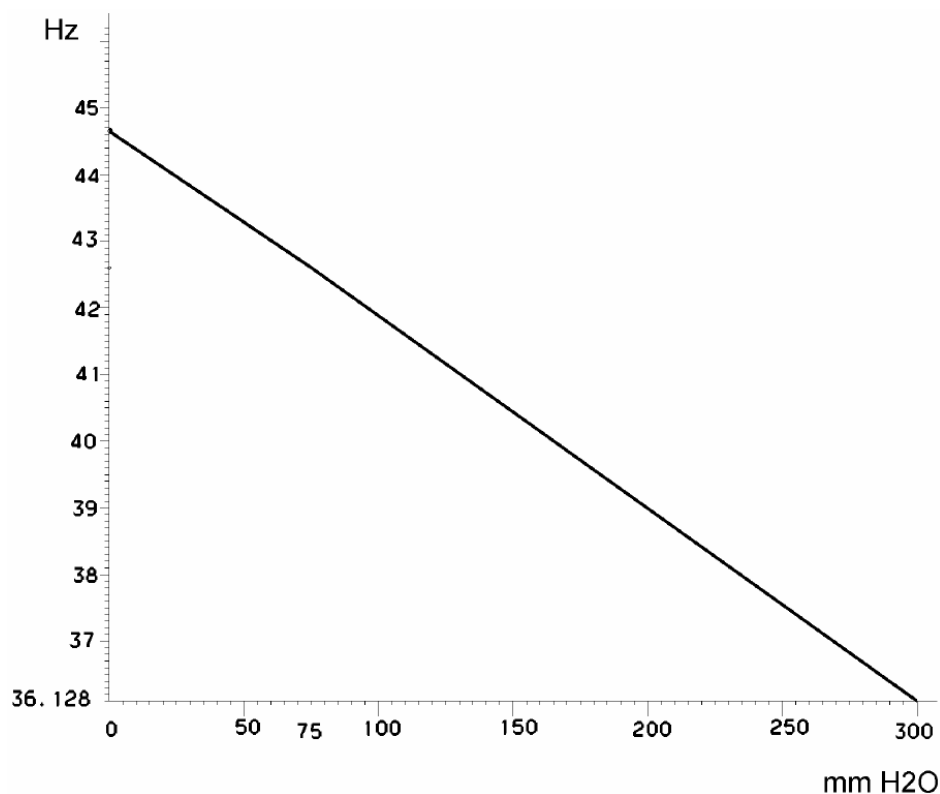
[Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]



- 1 Připojení na hadici k tlakové komoře
- 2 Konektor
- 3 Cívka
- 4 Uchycení do vodorovné polohy
- 5 Jádro

Obrázek 10: Popis tlakového spínače [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

Takto je spínač schopen určovat průběžný stav hladiny vody ve vaně pračky. Přímou z oscilačního obvodu je pak frekvence posílána řídicí desce, která vyhodnocuje závislost kmitočtu na množství vody ve vaně. Závislost frekvence na množství vody je zobrazena v grafu č.2. Parametry spínače jsou pak uvedeny v tabulce č. 7.



Graf 2: Závislost frekvence na množství vody [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

V rozličných modelech se opět může objevit celá řada tlakových spínačů. Většina levnějších modelů používá dvou nebo tří stavové spínače, které předávají desce pouze informaci, zda je vana vypuštěná nebo dosáhla požadované hladiny. U některých typů praček může mít na starosti napouštění a vypouštění samotný spínač. U třístavových je většinou posledním stavem jištění proti přetečení, kdy přímo tlakový spínač odpojí napájení. Takovéto spínače obsahuje například většina praček řady AWE od firmy Whirlpool.

Zjištěné parametry:

Výrobce	Bitron (ELBI)
Typ:	7640; 37640504; 132516203
Napájení:	5 Vdc
Rozsah:	36,128-44,7 Hz; 0-300mm H ₂ O

Tabulka 7: Parametry tlakového spínače [Electrolux EWM2100 Service Manual, 2007]

2.8. Vypouštěcí čerpadlo

Na vypouštění použité vody z pračky slouží jednoduché čerpadlo, výhodou této komponenty je především její univerzálnost. Spousta výrobců používá stejný druh čerpadla, liší se pouze technika uchycení v konstrukci pračky. U modelu L46210 je použito čerpadlo firmy PLASET, tyto druhy čerpadel vyrábí více výrobců a jsou zpětně kompatibilní, například firma Askoll. Motor čerpadla je vybaven vratnou tepelnou pojistkou pro případ přehřátí čerpadla. Vypouštěcí čerpadlo je umístováno do spodní části pračky viz obrázek č.2. A pro správnou funkčnost čerpadla je nutné odpadovou hadici instalovat na úroveň horní části vany pračky. Podrobné parametry vypouštěcího čerpadla jsou v tabulce č.8.
[Elektrometal.cz, c2007-2015]

Zjištěné parametry:

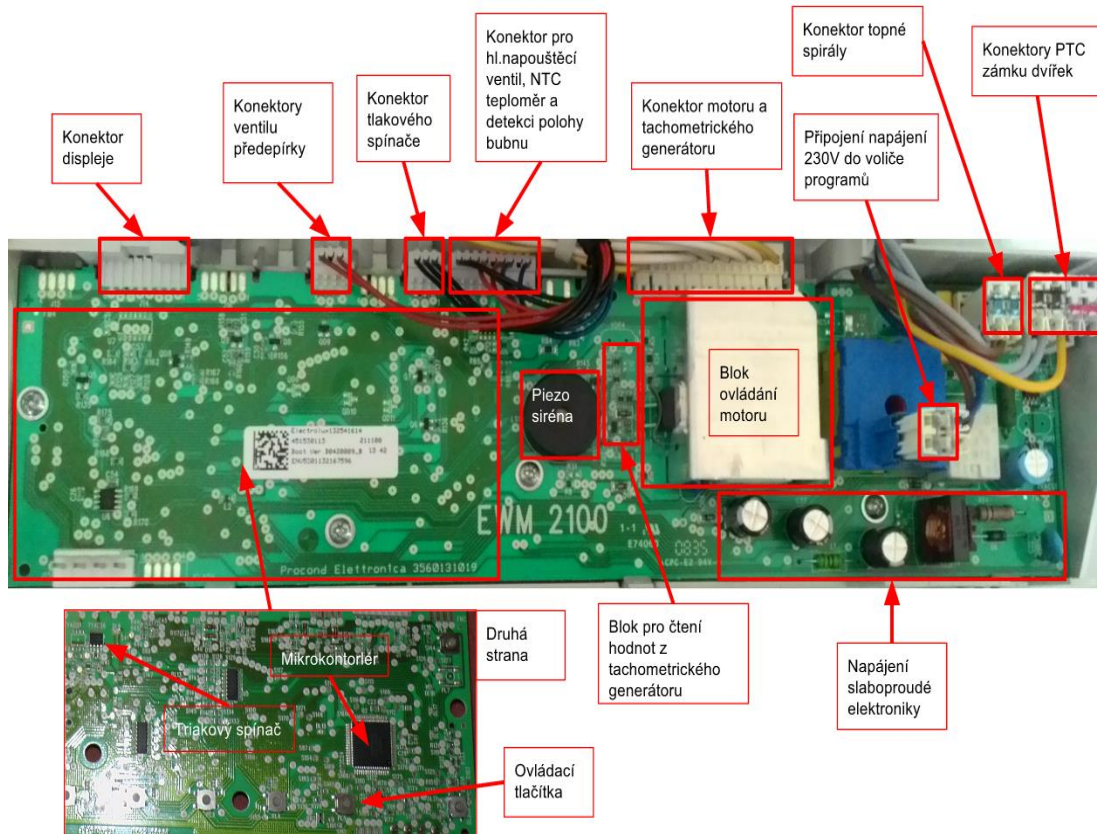
Výrobce	PLASET
Typ:	CODM0707
Napájení:	~220-240 V 50Hz
Příkon:	30W

Tabulka 8: Parametry vypouštěcího čerpadla

2.9. Ovládací panel

Ovládací panel je uživatelsky nejpoužívanější část pračky, a tak by po krátkém zhlédnutí ovládacích prvků a popisků mělo být jasné, na co který ovládací člen slouží. Rozhraní originálního ovládacího panelu s popisem jednotlivých částí a funkcí ovládacích prvků je popsáno v uživatelském manuálu příloha č.1.

Pod krytem ovládacího panelu je umístěna řídicí deska pračky. Na obrázku č.11 jsou popsány funkce konektorů a hlavních ovládacích bloků.



Obrázek 11: Originální řídicí deska s popisem hlavních komponent

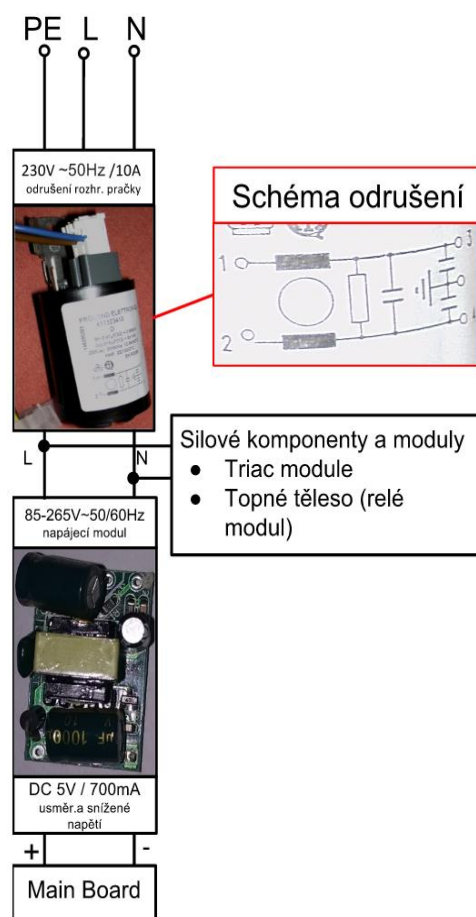
Řídicí deska EWM2100 je určena pro řady praček s podobnými komponentami. V horní části desky je umístěno několik neobsazených konektorů, které mohou umožňovat částečnou univerzálnost této desky.

3. Návrh a realizace prototypu řídicí desky

Na základě analýzy jednotlivých komponent vznikl komplexní návrh řídicích modulů pro pračku AEG Electrolux L46210. V závislosti na požadavku univerzálnosti řídicí desky je celý systém rozdělen do 4 modulů: main board (deska s mikrokontrolérem), triac module (převážně ovládání silových komponent), modul displeje, a modul s ovládacími prvky. Tento navržený systém lze s menšími úpravami firmware použít pro pračky podobné kategorie s obdobnými komponentami. V podkapitolách níže budou podrobněji rozebrány jednotlivé moduly a napájení.

3.1. Napájení

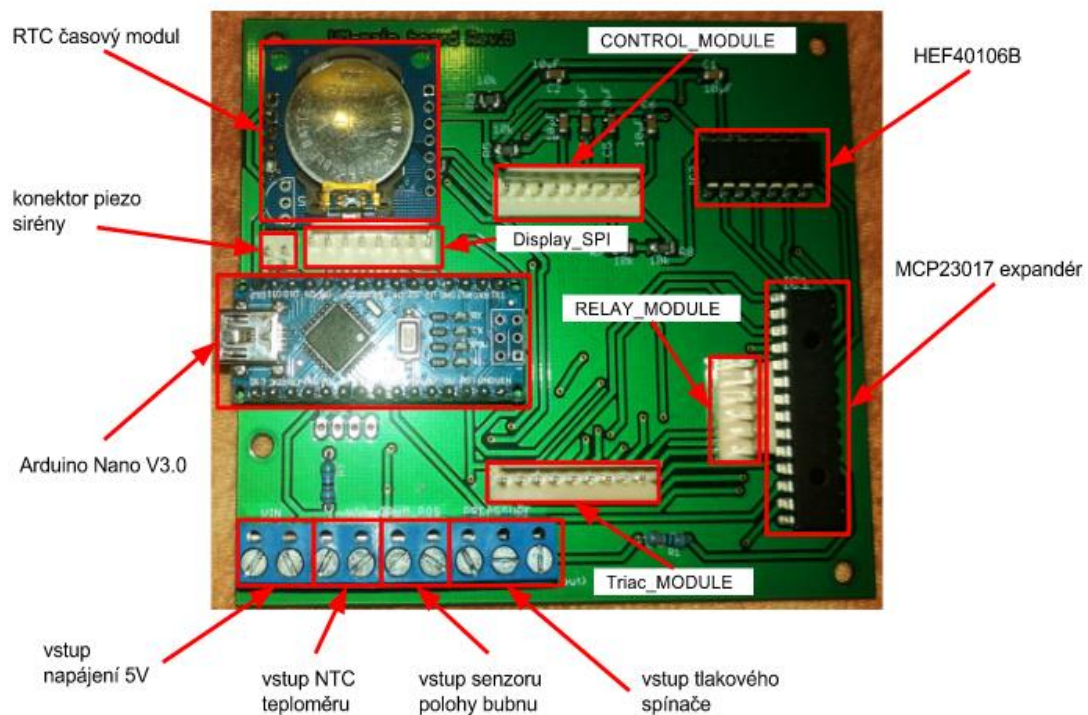
Pračku je možné napájet standardní zásuvkou na 230V s jističem 10A. Část zjednodušeného napájecího schématu je vidět na obrázku č.12. Na vstupu je umístěno původní originální odrušovací rozhraní firmy Procond Electronica. Z tohoto rozhraní je napájen step-down modul, který usměrní a sníží napětí pro napájení Main board. Integrované obvody a moduly na deskách jsou voleny ve verzi pro pětivoltovou logiku a není zde potřeba snižovat napětí na nižší úroveň. Dále je za odrušovacím členem napájeno topné těleso, které je spínáno přes relé modul. Odtud je také přivedeno napájení do Triac modulu, který spíná jednotlivé výkonové komponenty (PTC zámek dvířek, napouštěcí ventily, řízení motoru a vypouštěcí čerpadlo).



Obrázek 12: Zjednodušené schéma napájení

3.2. WM-main board Rev.5

Hlavní řídicí deska je určena k řízení ostatních modulů pračky a komunikaci mezi nimi. Měla by umožňovat variabilitu jednotlivých modulů, které jsou k ní připojeny. Ty by pak měly zajišťovat co možná nejjednodušší implementaci ovládacích prvků pro komponenty od různých výrobců. Na základě přehrání firmware a vhodné volby příslušného modulu pro konkrétní typ spotřebiče by bylo možné nahradit původní řídicí desku. Na obrázku č.13 je pohled shora na osazený prototyp main board desky s popisem jednotlivých součástí. V příloze č.2 je pak elektronické schéma a osazení jednotlivých součástek.



Obrázek 13: Osazená Main Board deska s popisem

3.2.1 Arduino Nano V3.0

Jako řídicí mikropočítač bylo vybráno Arduino Nano ve verzi 3.0 pro jeho snadné osazení do prototypové desky, dostupnost a jednoduchost programování. Specifikace je uvedena v tabulce č.9 níže.

Technické parametry:

Mikrokontrolér	ATmega328
Architektura	AVR
Napájení	5 V
Flash paměť	32 KB, 2 KB použity pro bootloader
SRAM	2 KB
Clock Speed	16 MHz
Analogové I/O piny	8
EEPROM	1 KB
Proud pro každý I/O Pin	40 mA (I/O Pin)
Vstupní napětí regulátoru	7-12 V
Digitální I/O Piny	22
PWM výstup	6x
Proudový odběr	19 mA
Velikost PCB	18 x 45 mm
Hmotnost	7 g

Tabulka 9: Parametry Arduino Nano V3.0 [Arduino.cc, c2017]

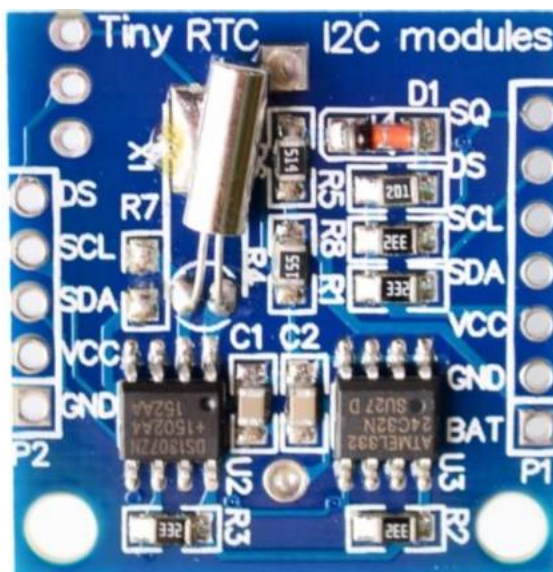
Arduino je spolu s ostatními komponentami a moduly, které jsou připojeny k Main Board desce, napájeno 5 volty přímo z napájecího modulu. Připojení vstupů a výstupů je vidět na schématu v příloze č.2. Celkově jsou využity čtyři analogové piny, z toho dva (A4, A5) používá I2C sběrnice. Na pinu A1 je připojen výstup z obvodu tachometrického generátoru, který je umístěn na Triac modulu. Na pinu A0 je připojen NTC teplotní senzor jako napěťový dělič s rezistorem 4,7kΩ. Vnější přerušeni D2 je obsazeno I2C expandérem a na přerušeni D3 je připojen výstup z optotranzistoru, který detekuje průchod nulou na střídavém vedení. K pinům D4 až D8 je připojen přes SPI sběrnici displej. K displeji se váže ještě pin D13, který spíná podsvícení. V tabulce č.10 níže je uvedeno přehledné obsazení pinů.

arduino pin	Prvek
5V	Vstupní napájení z napájecího modulu
A5	I2C (SCL)
A4	I2C (SDA)
A1	Vstup-obvod tachometrického generátoru
A0	Vstup-NTC teploměr
D13	Výstup-podsvícení displeje
D12	Výstup-zámek dvířek
D11	Výstup-ovládání motoru
D10	Vstup-Tlakový spínač
D9	Výstup-piezo siréna
D8	SPI-RST
D7	SPI-CS
D6	SPI-D/C
D5	SPI-DIN
D4	SPI-SCLK
D3	Vstup-zero-cross detector
D2	Vstup-INTA,B I2C expandér (mcp23017)

Tabulka 10: Obsazení pinů arduina

3.2.2 DS1307 - I2C časový modul

Pro časování pracích programů je na Main Board desce připojen přes I2C sběrnici časový modul Tiny RTC (obrázek č.14). Na Main Board desce se nachází v levé horní části (obrázek č.13). Tento modul by mohl být nahrazen jednodušším vnitřním časovačem arduina. V případě tohoto řešení se však nabízí více možností při konfiguraci různých odložených startů a programů. Časový modul je možno používat s nabíjecí baterií LIR2032, pokud je potřeba udržovat aktuální datum a čas. Obvod zajišťuje i dobíjení baterie. Specifikace je uvedena v tabulce č.11.



Obrázek 14: Spodní strana časového modulu Tiny RTC

Technické parametry:

RTC čip:	DS1307 (I2C)
EEPROM:	24C32 32K (I2C)
Baterie:	LIR2032
Udržení času při plném nabití:	1 rok
Provozní teplota:	-40 až 80°C
Rozměry:	27x28x8,4 mm

Tabulka 11: Parametry časového modulu Tiny RTC [Fasstech.com, 2012]

3.2.3 MCP23017-I2C GPIO expandér

Jelikož samotné arduino nemá dostatečný počet I/O portů pro požadovanou aplikaci, bylo třeba použít expandér. Konkrétně se jedná o typ MCP23017 s 16 I/O porty, který lze připojit na sběrnici I2C. Expandér je označen na obrázku schématu č.13. Výhodou tohoto expandéru je existence několika knihoven, které umožňují rychlou implementaci do programu. Expandér má defaultní adresu, kdy jsou porty A0, A1 a A2 přivedeny na zem. Osazení jednotlivých pinů je uvedeno v tabulce č.12.

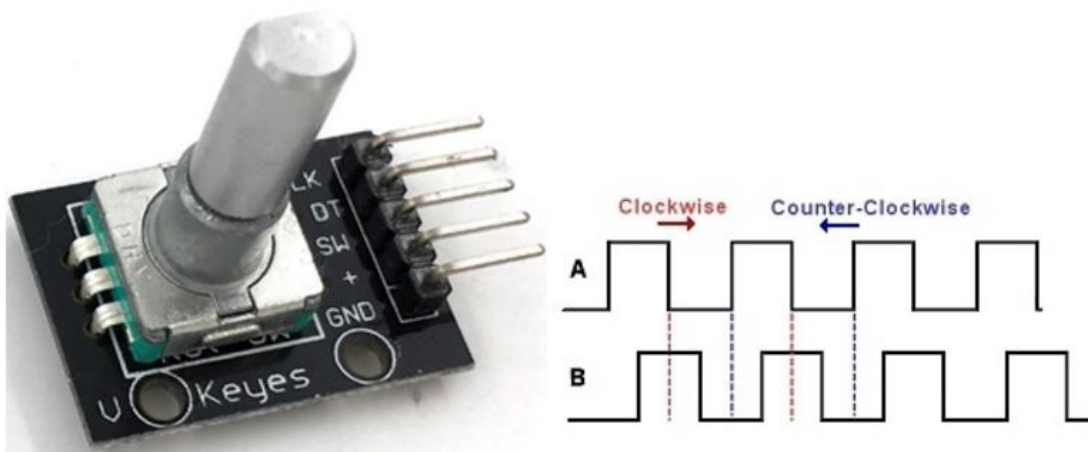
MCP23017 pin	Prvek
GPA0	Vstup-tlačítko č.0
GPA1	Vstup-tlačítko č.1
GPA2	Vstup-tlačítko č.2
GPA3	Vstup-tlačítko č.3
GPA4	Vstup-tlačítko č.4 (rotační enkodér)
GPA5	Vstup-rotační enkodér (CLK)
GPA6	Vstup-rotační enkodér(DT)
GPA7	Vstup-senzor polohy bubnu
GPB0	Vstup-detekce sepnutí zátěžového okruhu
GPB1	Výstup-ventil 1 (halvní napouštění)
GPB2	Výstup-ventil 2 (předepírka)
GPB3	Výstup-vypouštěcí čerpadlo
GPB4	Výstup-relé modul In1 (NC)
GPB5	Výstup-relé modul In2 (topná spirála)
GPB6	Výstup-relé modul In3 (změna směru motoru)
GPB7	Výstup-relé modul In4 (změna směru motoru)

Tabulka 12: Obsazení pinů expandéru MCP23017

Piny INTA a INTB jsou spojeny a vyvedeny na vnější přerušení arduina D2. Při každém vyvolaném přerušení na jakémkoli pinu GPA nebo GPB je poslán signál na pin D2. Z jakého pinu přerušení signál přišel a jaká je hodnota na tomto pinu, je řešeno v knihovně zpětným dotazem do registru přerušení.

3.2.4 Ovládání (tlačítka, rotační enkodér)

Main board umožňuje přes konektor Control_module připojení čtyř tlačítek „mikrospínačů“ a jednoho rotačního enkodéru (obrázek č.15 vlevo). Vstupy tlačítek jsou doplněny o obvod, který eliminuje záchvěvy levnějších tlačítek. Tento obvod je v příloze č.2 umístěn v elektrickém schématu vpravo nahoře. Integrovaný obvod HEF40106B má v sobě umístěn šest Schmittových invertních klopných obvodů. Po stisknutí tlačítka se signál pomocí hystereze převede na nezkreslenou hodnotu. Pro rotační enkodér jsou piny ponechány bez ošetření záchvěvu. Na obrázku č.15 vpravo je vidět princip odečítání směru otáčení enkodéru.



Obrázek 15: Rotační enkodér a jeho průběh

3.2.5 Nokia 5110 displej

Jedná se o grafický displej s řadičem PCD8544, uvedený na obrázku č.16 s popisem jednotlivých pinů. Displej se připojuje k Main Board desce přes konektor Display_SPI. Komunikace s arduinem probíhá přes sběrnici SPI. Pro tento řadič displeje existuje několik knihoven s různou složitostí a nároky na paměť. K desce mohou být podle potřeby připojeny rozdílné druhy displejů, je však nezbytností přidat podporu pro nový displej do firmware. Parametry displeje Nokia 5110 jsou uvedeny v tabulce č.13.



Obrázek 16: Displej Nokia5110

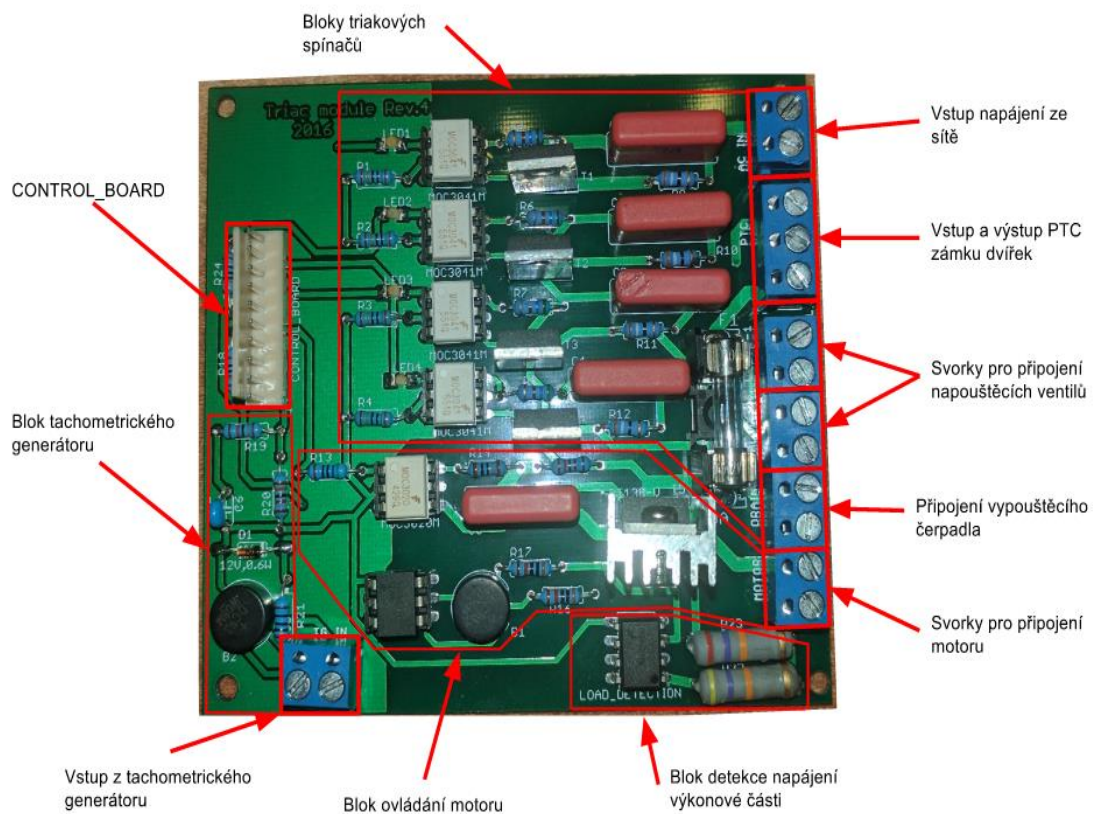
Technické parametry:

Napájení:	2,7-5V
Rozlišení:	84x48 bodů
IC řadič:	PCD8544
Typ:	LCD
Rozměry:	43.6 x 43.1mm

Tabulka 13: Parametry displeje Nokia5110 [Arduino-shop.cz, c2010-2016]

3.3. Triac module Rev.4

Jak už bylo řečeno dříve, triac modul je zaměřen na ovládání výkonových komponent pračky (motor, ventily, vypouštěcí čerpadlo a zámek dveří). Do tohoto modulu se připojuje i výstup z tachometrického generátoru. Součástí je i obvod pro detekci sepnutí výkonového okruhu. Osazená deska s popisy je zobrazena na obrázku č.17.



Obrázek 17: Osazená Triac module deska s popisem

3.3.1 Triakový spínač

Elektrické schéma v příloze č.3 je poskládáno z jednotlivých bloků ovládacích prvků odshora dolů. Do prvního bloku, kde je umístěna LED1 je přivedeno na svorky AC_IN-1 a AC_IN-2 vstupní napájení ~230V z odrušovacího členu (obrázek č.12). Celý tento blok funguje následujícím způsobem: Pokud je přiveden na vstup s LED diodou signál z digitálního pinu arduina nebo expandéru, začne obvodem OK1 (optotriak MOC 3041) procházet proud. Ten poté začne napájet gate výkonového triaku T1. Dokud je napájen triak T1, prochází přes něj proud a napájí zámek dvířek na svorce PTC-2. Na tomto principu fungují všechny další bloky s triakovými spínači (optotriaky OK1 až OK5). Ochrana proti rušení z indukčních zdrojů je zajištěna paralelním zapojením kondenzátoru a rezistoru na výstupu triakového spínače.

Jakmile jsou napájeny svorky PTC-2 a PTC-3, zámek dvířek přes výstupní pin začne napájet svorku PTC-1 a tím i celý zbytek výkonových komponent.

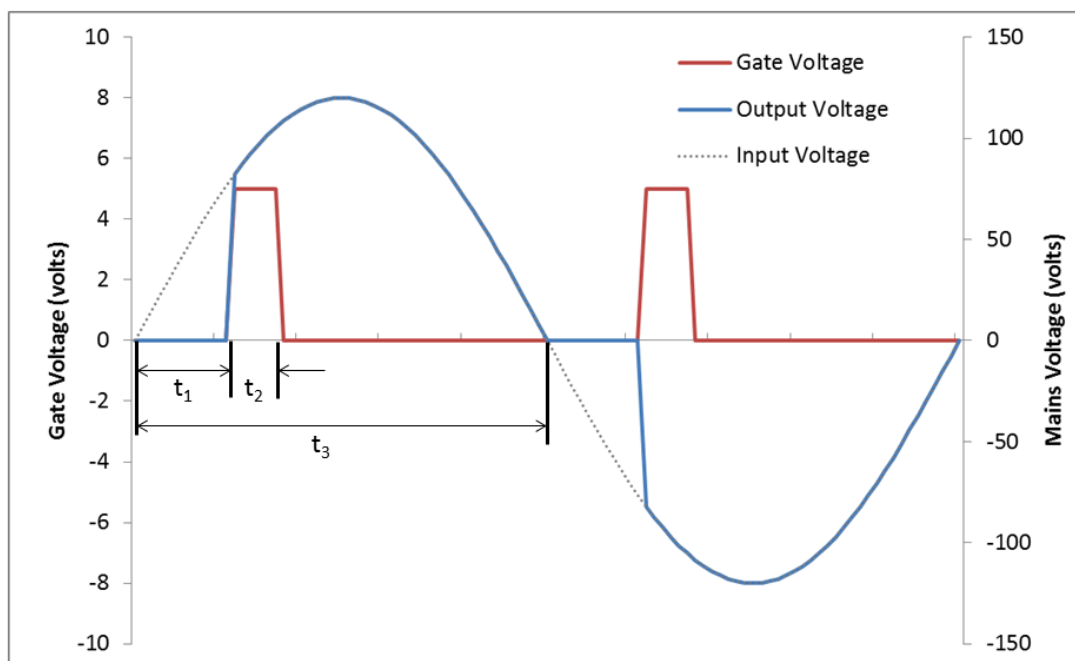
3.3.2 Detekce napájení výkonové části

Ověření, zda jsou dvířka pračky zavřená a uzamčená obstarává zpětná vazba LOAD_DETECTION. Zároveň kontroluje i funkčnost 10A pojistky na výstupu napájení ze svorky PTC-1. Obvod LOAD_DETECTION sleduje napětí ve výkonové části pomocí integrovaného obvodu MID400. Celý obvod má galvanické optické oddělení od Main Board. Na vstupu obvodu MID400, kde je germaniová LED dioda, jsou sériově umístěny dva předřadné rezistory. Ačkoli podle výpočtu z datasheetu (příloha č.3) by měl být jeden rezistor dostačující, docházelo u něj ke značnému přehřívání. Řešením bylo rozdělit tento rezistor na dva výkonově větší zapojené do série. Výstup z MID400 je přiveden na vstup expandéru viz tabulka č.12 . Výstup je v tomto případě při zapnutém napájení výkonové části jako logická nula. Integrovaný obvod MID400 byl vybrán kvůli malým rozměrům a jeho galvanickému optickému oddělení od ostatních částí elektroniky.

3.3.3 Řízení otáček motoru

Řízení otáček motoru je realizováno bloky s integrovanými obvody OK5 a OK6. Část schématu s obvodem OK5 funguje stejně jako předchozí triakové spínače. Tento je ale na rozdíl od předchozích řízení přes vnitřní časovač arduina v určitých intervalech, které určují rychlost otáček motoru. Aby bylo možné správné časování, je zde umístěn blok s integrovaným obvodem OK6 (optotranzistor 4N25M). Na vstupu LED diody u OK6 je umístěn diodový můstkový usměrňovač. Výstup z obvodu je přiveden na vstup externího přerušení arduina, kde se vyhodnocuje. Pokud je zaznamenán průchod nulou na sinusovém průběhu střídavého proudu, je vyvolána výstupem z OK6 aktivita na přerušení INT1. Jakmile zareaguje přerušeni, spustí se vnitřní časovač, který po dosažení nastaveného času t_1 , sepne triakový spínač v určité části sinusového průběhu. Popisovaný průběh řízení otáček je vidět na obrázku č.18. V závislosti na této době (t_1), čím je doba delší, tím méně energie je ze sítě přijímáno. Průběh signálu na gate triaku je v obrázku znázorněn červeně. Doba t_2 je minimální potřebná doba k sepnutí triaku. Po každém sepnutí triaku musí být vždy zajištěno jeho vypnutí v dané půlčlenně t_3 . Tento princip řízení se dá využít mimo jiné třeba i ke ztlumení světla u žárovky.

[Alfadex.com, 2014]



Obrázek 18: Průběh regulace otáček triakovým spínačem [Alfadex.com, 2014]

3.3.4 Tachometrický generátor

Jednou z vlastností univerzálního komutátorového motoru je, že i při stabilním napájení neudrží stejnou rychlost otáček. Není bezpečné tento druh motoru provozovat bez zátěže, jelikož se pak jeho otáčky neustále zvyšují. [VOJÁČEK,2014]

Řešením řízení rychlosti otáček je tedy zpětná vazba, která odečítá aktuální rychlost. Existuje opět několik způsobů měření otáček motoru například optickým enkodérem, hallovou sondou atd. Stávající motor EWM2100, který je součástí pračky AEG Electrolux L46210, má na konci hřídele připevněn tachometrický generátor. Je to jednoduchý generátor střídavého napětí, který se zvyšujícími se otáčkami generuje lineárně vyšší napětí.

U prvních prototypů bylo čtení otáček motoru měřeno na základě doby pulsu mezi střídáním jednotlivých pólů tachometrického generátoru. Zde nastával problém s rozjezdem motoru do konstantních otáček. Doba pulzu nebyla na počátku žádná a hodnota byla nulová, jakmile se motor roztočil, hodnota doby pulzů se po chvíli rychle dostala nad požadovanou hodnotu. Znamenalo to tedy, že čím vyšší hodnota byla na vstupu, tím byly otáčky pomalejší. Další problém pak nastal při čtení hodnot vyšších otáček, kde nestačil vstup dostatečně rychle vyhodnotit délku pulzu a vznikaly zde velké odchylky. Tyto odchylky následně způsobovaly neschopnost dosáhnout pravidelných otáček. Bylo tedy zapotřebí vyhodnocovat data z tachometrického generátoru jiným způsobem. U posledního prototypu je již čtení otáček řešeno na základě generovaného napětí. Na schématu uvedeném v příloze č.3, je tento blok úplně dole. Výstup z tachometrického generátoru je přiveden na svorky TG_IN-1 a TG_IN-2. Střídavý signál je poté převeden pomocí diodového můstkového usměrňovače na stejnosměrné napětí. Jelikož motor bez zátěže může generovat vyšší a vyšší napětí, je zde pro kontrolu tohoto signálu přidán omezovač napětí „voltage limiter“. Ten je řešen připojením Zenerovy diody mezi výstupní svorky diodového můstku. Hodnota Zenerovy diody je zvolena tak, že její Zenerovo napětí odpovídá maximálním otáčkám motoru pro dané použití. V tomto případě je to 12 V dioda, která zároveň chrání analogový vstupní pin arduina před přepětím. Za omezovačem napětí je umístěn jednoduchý napěťový dělič, který převádí rozmezí

0-12V na rozmezí 0 - 5V pro A/D převodník arduina. Toto řešení již umožňuje celkem plynulou a spolehlivou regulaci otáček motoru.

3.4. Relé modul

Posledním prvkem k ovládání směru otáčení motoru a topné spirály je modul se čtyřmi relé (obrázek č.19). Ten je připojen do konektoru RELAY_MODULE na desce Main Board. Tak jako ostatní moduly má i tento opticky oddělenou výkonovou část. Topné těleso není připojeno přes triakový spínač, z důvodu úspory místa pro chladič, který by byl vyžadován, jelikož odebíraný proud topného tělesa je větší než u ostatních (kolem 8 A) komponent. Je tedy ovládána přes relé 2. Relé 3 a 4, jak je patrné z tabulky č.12, přepínají směr průchodu proudu na rotoru a tím mění i směr otáčení motoru. Parametry relé modulu jsou uvedeny v tabulce č.14.



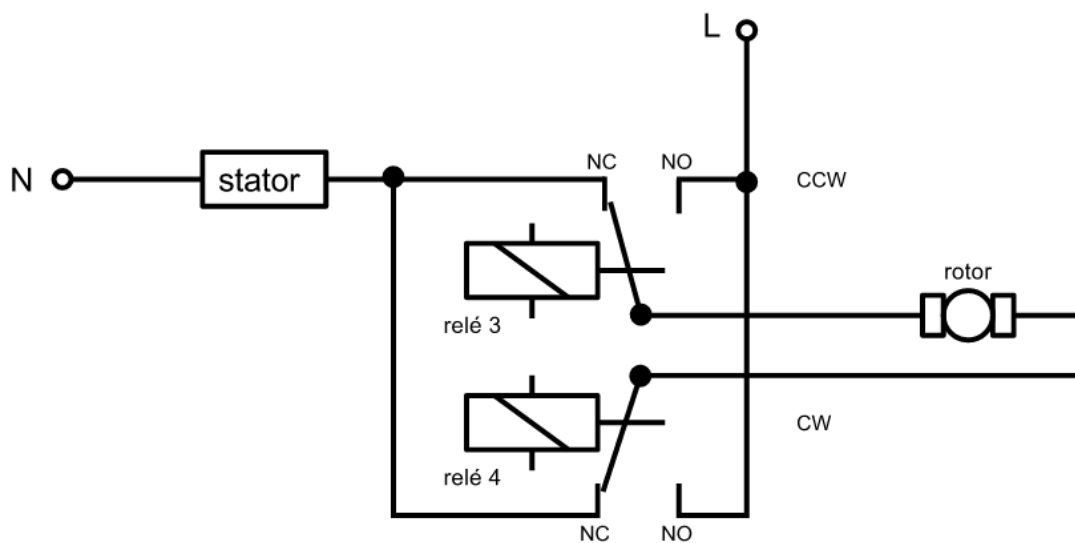
Obrázek 19: Modul se čtyřmi relé pro arduino

Technické parametry:

Napájení:	5 V
Spínání:	v logické nule
Výrobce relé:	Songle
Spínaná zátěž AC (U):	250 V
Spínaná zátěž AC (I):	10 A
Spínaná zátěž DC (U):	30 V
Spínaná zátěž DC (I):	10 A

Tabulka 14: Parametry relé modulu

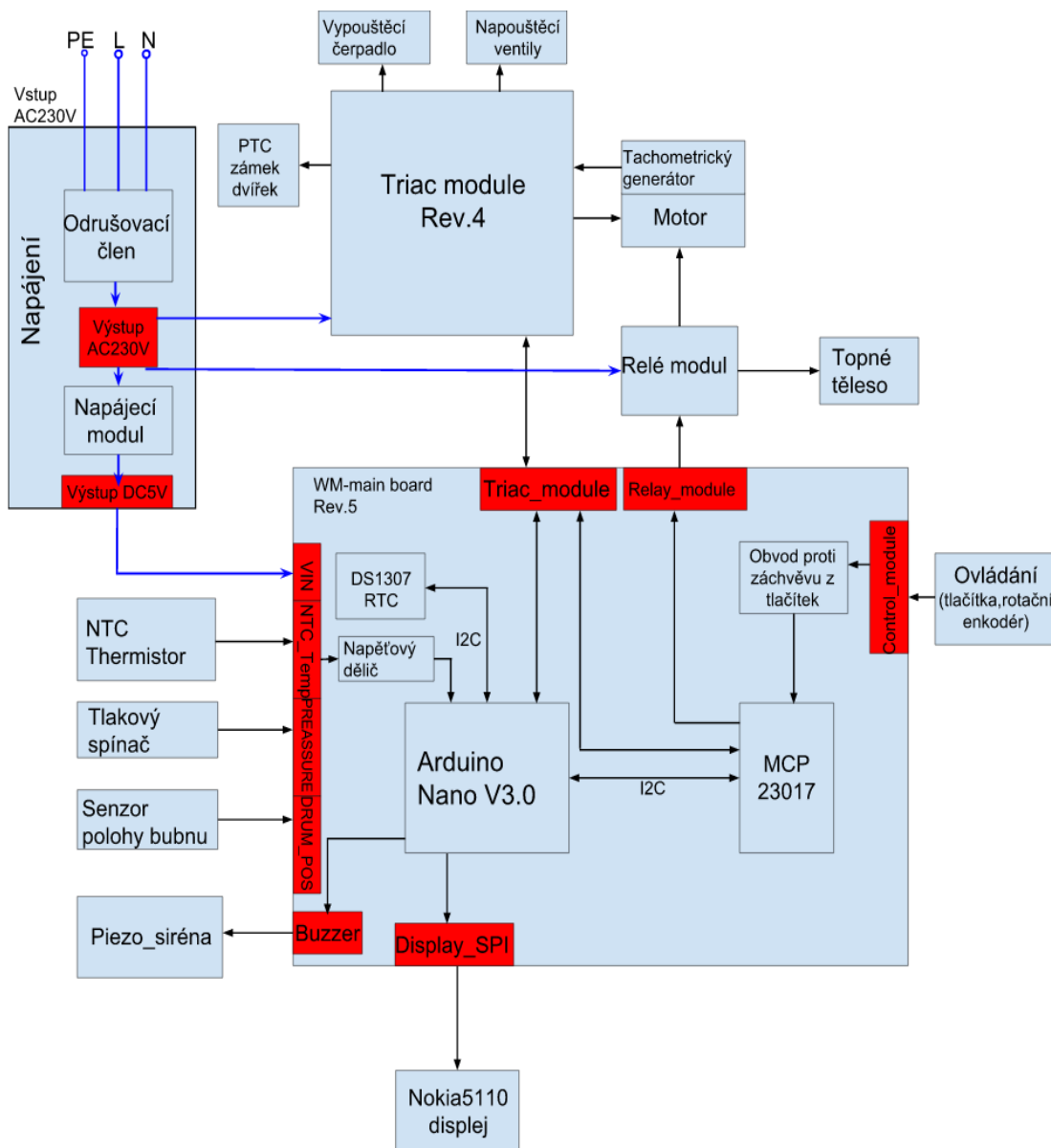
Na obrázku č.20 je vidět zapojení relé tak, aby nedošlo ke zkratu při přepínání. Je tedy důležité vždy před každou změnou směru nechat motor zastavit a vypnout triakový spínač, teprve poté je možné překlopit relé do dané pozice. Relé 1 se nevyužívá.



Obrázek 20: Zapojení reverzace chodu motoru

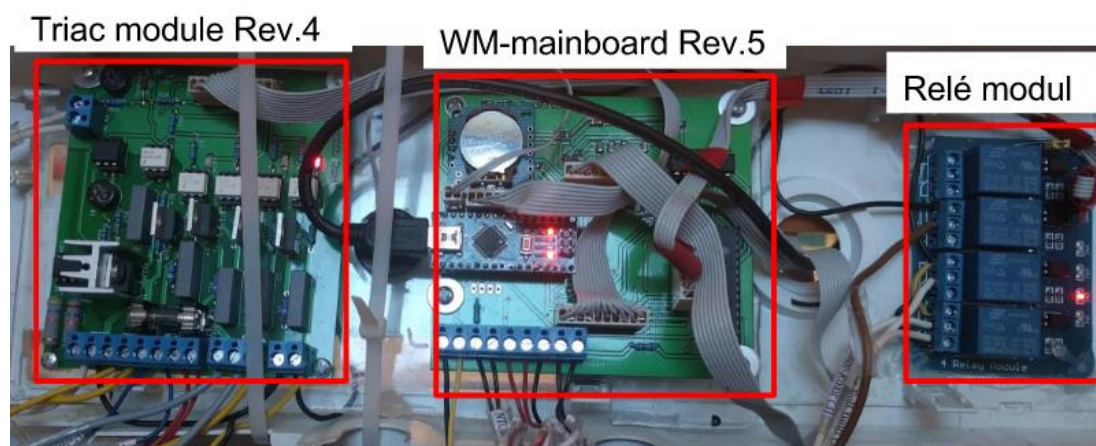
3.5. Blokové schéma komponent

Zjednodušené blokové schéma znázorňuje na obrázku č.21 celý řídicí systém pračky. Každý blok představuje komponentu a šipky mezi bloky znázorňují buď komunikaci, nebo směr napájení. Napájení je znázorněno modrými šipkami a komunikace černými. U černých šipek mohou být znázorněny oba směry, kdy blok je vstupní i výstupní.



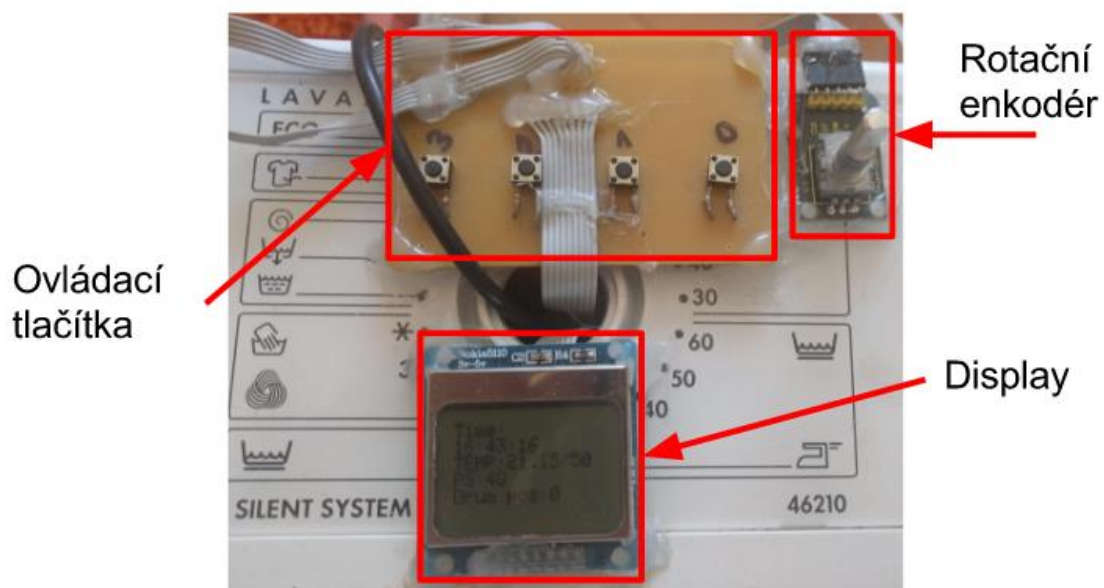
Obrázek 21: Blokové schéma komponent

Zapojení kompletního systému je s popisem jednotlivých komponent uvedeno na obrázku č.22.



Obrázek 22: Zadní strana ovládacího panelu se zapojenými moduly

Na obrázku č.23 níže je zobrazeno testovací ovládání prototypového systému.



Obrázek 23: Ovládací panel prototypového systému

4. Software

Poslední verze prototypu řídicí desky WM-main board Rev.5 je vybavena firmwarem, který testuje funkčnost jednotlivých komponent pračky. Obsahuje pouze několik základních diagnostických a kontrolních prvků, zabráňujících jen některým chybám. Zdaleka není pokrytá celá řada situací, které se mohou v případě poruchy některé komponenty nebo vlivem špatného čtení ze senzoru vyskytnout. Firmware také obsahuje jeden základní prací program, určený k otestování v reálném provozu. Ten má pevnou statickou strukturu (nelze měnit parametry programu), jediným parametrem, který je možné nastavit, je teplota ohřevu. Tento testovací firmware tedy není zatím určen pro běžný provoz a je vyžadována přítomnost osoby, která by v případě fatální chyby zasáhla. Popis jednotlivých částí kódu firmware bude podrobněji popsán níže. Všechny verze kódu firmware jsou uvedeny na <https://github.com/suefro/openWM> . Pro psaní kódu a nahrávání firmware do arduina bylo použito oficiální prostředí Arduino IDE ve verzi 1.6.12.

4.1. Použité knihovny

Ve firmware je použito několik knihoven pro usnadnění a zpřehlednění kódu. Některé knihovny jsou již přímo součástí prostředí Arduino IDE, nebo se dají snadno doinstalovat ze správce knihoven, popřípadě vložit jako další zdroj. Názvy používaných knihoven v projektu se vždy vkládají na začátek.

TimerOne

Knihovna TimerOne konfiguruje 16 bitový hardwarový převodník na mikrokontroléru ATmega 328. V případě tohoto projektu se používá na časování pulzů, které ovládají spínání triakového spínače při řízení rychlosti otáček motoru. Konkrétně jsou používány tyto funkce „metody“ knihovny:

- initialize(freqStep) - tuto metodu je nutno volat jako první v pořadí, aby bylo možné používat další metody. Hodnota freqStep nastavuje dobu časovače v mikrosekundách.

- `attachInterrupt(dim_check, freqStep)` - volá periodicky funkci `dim_check` v přednastaveném intervalu `freqStep`. Hodnota `freqStep` je v mikrosekundách.

[Arduino.cc, c2017]

SPI

SPI knihovna umožňuje komunikaci s dalšími zařízeními komunikovat přes synchronní sériovou SPI sběrnici. V základu využívá tři vodiče MISO (Master In Slave Out), MOSI (Master Out Slave In) a SCK (Serial Clock). Knihovnu SPI využívají další dvě knihovny `Adafruit_PCD8544` a `Adafruit_GFX` pro komunikaci s displejem `Nokia5110`.

[Arduino.cc, c2017]

Adafruit_PCD8544

Jak už bylo uvedeno dříve, displej obsahuje řadič `PCD8544`, k tomuto řadiči existuje více knihoven s různou náročností na paměť a počtem metod. Knihovna od `Adafruit Industries` šířená pod BSD licenci je nenáročná na paměť a obsahuje funkce dostačující k jednoduchému zobrazení základních hodnot. V projektu jsou použity následující funkce:

- `Adafruit_PCD8544(4, 5, 6, 7, 8)` - definování portů arduina, na kterých je připojen display.
- `begin()` - inicializace displeje v části `setup`
- `setContrast(43)` - nastavení úrovně kontrastu displeje
- `clearDisplay()` - smazání obsahu vykresleného na displeji
- `setTextSize(1)` - nastavení velikosti zobrazovaných znaků
- `setTextColor(BLACK)` - nastavení zobrazení (černé na bílém)
- `setCursor(0, 0)` - nastavení pozice kurzoru na displeji sloupec, řádek
- `println()` - vypsání hodnoty nebo řetězce s odřádkováním nebo pouze `print()` bez odřádkování
- `display()` - vykonání předchozích metod, tak jak jdou za sebou

Adafruit_GFX

Je svázaná s předchozí knihovnou a obsahuje funkce pro grafické vykreslování. Obsahuje například fonty a metody pro vykreslení textu, který je použit k zobrazení vstupů a výstupů nastavovaných na displeji.

Wire

Knihovna Wire je určena ke komunikaci se zařízeními na I2C sběrnici. I2C sběrnice používá dva vodiče SDA (data line), SCL (clock line). Tak jako předchozí SPI knihovna, je i tato využívána dalšími knihovnami ke komunikaci. V tomto projektu ji používá Adafruit_MCP23017 a RTCLib, kdy obě periferie jsou připojeny přes I2C sběrnici.

[Arduino.cc, c2017]

Adafruit_MCP23017

Další použitá knihovna od Adafruit Industries je knihovna pro komunikaci s expandérem MCP23017. Ta umožňuje čtení a zápis na jednotlivých digitálních portech expandéru ve značně zjednodušené podobě, než kdyby zápis probíhal přímo přes registry. Použité funkce jsou podrobněji rozepsány níže:

- `begin()` - inicializace MCP23017 v části `setup`
- `setupInterrupts(true, false, LOW)` - nastavení systému přerušování na expandéru. První hodnota nastavuje zrcadlení skupin pinů GPA a GPB. Výhodou zrcadlení je, že po svedení obou pinů přerušování z expandéru dohromady je obsazení pouze jednoho přerušování na arduinu viz schéma v příloze č.2. Druhá hodnota připojuje pullup rezistor k výstupu přerušování. Poslední hodnota nastavuje logickou úroveň, jaká bude při vyvolání přerušování poslána na výstup INTA a INTB.
- `pinMode(pin, OUTPUT)` - nastavení konkrétního pinu jako vstupní nebo výstupní. Za pin se dosazuje konkrétní číslo fyzického pinu.
- `pullUp(pin, HIGH)` - aktivace vnitřního 100kΩ pullup rezistoru pro určitý pin expandéru

- `setupInterruptPin(pin, FALLING)` - nastavení reakce přerušeni konkrétního vstupního pinu na přivedeném signálu
- `digitalWrite(pin, HIGH)` - nastavení logické hodnoty na výstupu pinu
- `digitalRead(pin)` - čtení hodnoty na vstupním pinu
- `getLastInterruptPin()` - pokud je vyvoláno přerušeni na některém pinu expandéru, expandér pošle na vstup vnějšího přerušeni arduina signál, který volá přiřazenou funkci. V této funkci je potřeba zjistit, ze kterého pinu expandéru informace přišla. Tato metoda zpětně zjišťuje v registru expandéru, ze kterého pinu přerušeni přišlo.
- `getLastInterruptPinValue()` - tato metoda se váže k předchozí, kdy je zapotřebí přečíst i logickou hodnotu, která na pin přišla.

4.1.1 SensorsWM

Knihovna `SensorsWM` byla napsána pro zpřehlednění kódu a jednodušší konfiguraci jednotlivých senzorů. Knihovna nyní obsahuje pouze jednotlivé metody pro model AEG Electrolux L46210. Podle potřeby by byla přidávána podpora pro další modely s různými senzory. Ve výsledku by pak bylo možno vybrat pouze typ pračky a nahrát kód. Nyní knihovna podporuje tyto metody:

- `SensorsWM NTCtemp("4k7", A0, dim, cycle_regul, cycle_speed)` - inicializace teplotního senzoru, kde položky postupně za sebou představují: model senzoru, pin na kterém je připojen, další globální proměnné vstupující do knihovny. Inicializace je u všech senzorů stejná, jen obsahuje jiný název pro typ senzoru: `SensorsWM PS` (tlakový senzor), `SensorsWM TG` (tachometrický senzor).
- `temp()` - přečte aktuální teplotu a vypíše ve °C
- `preassw()` - přečte aktuální výšku hladiny ve vaně pračky. Vypisuje hodnoty spojitě v rozmezí od 43Hz až 50Hz. Hodnota 50Hz znamená prázdno, nižší hodnoty znamenají vyšší hladinu ve vaně (graf č.2 v kapitole 2.7).
- `getDim()`-vrací hodnotu nastavující rychlost otáček motoru
- `setDim()` - mění hodnotu, která nastavuje rychlost otáček

- `getCycle_regul()` - čte omezení minimální rychlosti dim
- `setCycle_regul()` - mění omezení minimální rychlosti dim
- `getCycle_speed()` - čte hodnotu, která určuje, v jaké části cyklu se regulace nachází
- `setCycle_speed()` - mění hodnotu pro přepnutí do dalšího cyklu
- `speedcontrol(180, 250, 110)` - reguluje otáčky bubnu v daném rozmezí. První a druhá hodnota určuje hranice otáček. Třetí hodnota udává maximální možné nastavení rychlosti.

temp()

Funkce `temp` v knihovně `SensorsWM` využívá ke čtení teploty z analogového NTC termistoru Steinhart-Hart rovnici, ze které počítá aktuální teplotu. Jak probíhá výpočet je vidět na obrázku č.24.

```
double SensorsWM::temp()
{
    if (_type == "4k7")
    {
        // Inputs ADC Value from Thermistor and outputs Temperature in Celsius
        // requires: include <math.h>
        // Utilizes the Steinhart-Hart Thermistor Equation:
        //   Temperature in Kelvin = 1 / {A + B[ln(R)] + C[ln(R)]^3}
        //   where A = 0.001129148, B = 0.000234125 and C = 8.76741E-08
        long Resistance; double Temp; // Dual-Purpose variable to save space.
        Resistance = 4700 * ((1024.0 / analogRead(_pin)) - 1);
        // Assuming a 10k Thermistor. Calculation is actually: Resistance = (1024 / ADC - 1) * BalanceResistor
        // For a GND-Thermistor-PullUp--Varef circuit it would be Rtherm=Rpullup/(1024.0/ADC-1)
        Temp = log(Resistance); // Saving the Log(resistance) so not to calculate it 4 times later.
        // "Temp" means "Temporary" on this line.
        //Serial.print(Temp);
        Temp = 1 / (0.000789787 + (0.000324949 * Temp) + (-0.000000307362 * Temp * Temp * Temp));
        // Now it means both "Temporary" and "Temperature"
        Temp = Temp - 273.15; // Convert Kelvin to Celsius
        return Temp; // Return the Temperature
    }
}
```

Obrázek 24: Výpočet teploty ve funkci `temp()` [MALESEVIC, 2011]

Postup získání konstant A, B, C potřebných k výpočtu teploty je uveden v kapitole 2.5. Pro konečný výpočet konstant byl použit program, který je dostupný se zdrojovým kódem na https://github.com/suefro/openWM/tree/master/Steinhart-Hart_Equation.

preassw()

Čtení hodnot z tlakového spínače je realizováno měřením pulzů, které generuje tlakový spínač viz kapitola 2.7. Měření pulzů je zpracováno metodou `PulseIn(pin, HIGH)`, která měří dobu změny na vstupním pinu z hodnoty HIGH na hodnotu LOW. Tato metoda je schopná měřit délku pulzů od 10 mikrosekund do 3 minut. Převod na přibližné hodnoty v Hz korespondující s grafem č.2 v kapitole 2.7 je realizován výpočtem v programu uvedeným na obrázku č.25. Konstanta x je vypočtena jako $x = \text{výstup PulseIn}(\mu\text{s}) \cdot \text{hodnota na multimetru(Hz)}$.

[Arduino.cc, c2017]

```
unsigned long SensorsWM::preassw()
{
    if (_type == "L46210")
        /*
         * AEG-Electrolux
         * Mod.L46210
         * Typ.210C4430
         */
        {
            return (619751.5 / pulseIn(_pin, HIGH));
        }
}
```

Obrázek 25: Funkce pro čtení výšky hladiny vody ve vaně pračky

speedcontrol(int TG_low, int TG_high, int dim_min)

Tato metoda je používána k regulaci otáček motoru bubnu pračky. V závislosti na hmotnosti praného prádla v bubnu pračky se mění pokaždé požadavky na energii, která roztáčí motor. Ve funkci `speedcontrol` jsou zde prováděny postupně tři cykly:

- `cyklus1` – roztáčení motoru a určení hodnoty `cycle_regul`, která zamezí nerovnoměrné regulaci při různém rozložení hmotnosti v bubnu.

- Cyklus2- vstup otáček do regulovaného rozmezí, znovu se upravuje hodnota `cycle_regul` pro toto rozmezí. Jakmile přesáhne hodnotu `TG_high`, změní `_cycle_speed` na `false` a vstupuje do cyklu3. Tímto je dokončena kalibrace mezi `TG_high` a `TG_low` pro aktuální hmotnost a rozložení prádla v bubnu.
- Cyklus3 - udržování konstantních otáček v požadovaném rozmezí sníženém o hodnotu 10, hodnota `dim` se mění jen minimálně.

4.2. Inicializace

Na začátku kódu se nastavují knihovny a výchozí proměnné. Prvně se vkládají knihovny, které se budou v programu používat „includes“. Výčet vložených knihoven a jejich funkcí byl uveden na předchozích stránkách. Není zde uvedena základní knihovna `Arduino.h`, která je automaticky vkládána vždy do každého projektu. Ta obstarává například nastavení digitálních vstupů a výstupů, jejich čtení nebo zápis. Pod komentářem „rename library“ se mohou názvy knihoven měnit na vhodnější označení a zároveň se tu provádí nastavení vstupních parametrů, nutných ke správné funkci knihovny. Poté následuje nastavení používaných globálních proměnných a definování názvů proměnných k jednotlivým pinům pro větší přehlednost kódu.

[VODA, 2015]

setup()

Funkce `setup()` se provádí vždy pouze jednou po startu arduina. Zde se provádí inicializace funkcí, které je nutné provést pouze jednou. Nejdříve se nastavuje funkce pinů jak u arduina, tak i u expandéru(`mcp`). Pod komentářem „set relays to right position“ jsou relé nastavena do výchozích pozic. Na konci je zaznamenán čas pro automatické vypínání podsvícení.

loop()

Je nekonečná smyčka, ve které běží hlavní program. V testovacím programu je zde umístěno zobrazování informací na displeji (čas, teplota a výška hladiny vody

v bubnu, pozice bubnu), automatické vypínání podsvícení displeje a kontrola, zda nebylo zaznamenáno přerušení na některém z tlačítek. Jednotlivé funkce vázané na přerušení `handleInterrupt()` jsou popsány v následující kapitole.

4.3. Popis funkcí použitých v programu

Použití funkcí značně zpřehledňuje a zjednodušuje používání opakujících se částí programu v kódu. Jednotlivé body níže vysvětlují, k čemu funkce slouží a popřípadě jsou zde vysvětleny její jednotlivé části. Funkce jsou řazeny, tak jak jsou uvedeny v kódu.

zero_cross_detect()

Funkce je volána, pokud je zaznamenán v napájecí střídavé soustavě průchod nulou. Následně vypne triakový spínač ovládající rychlost otáček motoru a změní hodnotu proměnné `zero_cross` na `true`.

dim_check()

Je funkce výstupem přerušení vnitřního časovače `Timer1`. V závislosti na předchozí změně hodnoty proměnné `zero_cross` a hodnoty `dim` je spínán v určitém časovém intervalu triakový spínač motoru.

intCallback()

Při vyvolání přerušení z tlačítka nebo rotačního enkodéru je volána tato funkce, která pouze mění globální proměnnou `INTsig` na hodnotu `true`. V hlavní smyčce programu je periodicky prováděna kontrola, a pokud je `INTsig` nastavena na `true`, je volána funkce `handleInterrupt()`.

handleInterrupt()

Zajišťuje vyhodnocování stisku tlačítek a otáčení rotačního enkodéru. V závislosti na stisknutém tlačítku je provedena další operace. Princip zpětného vyhodnocení stisku tlačítka z expandéru `MCP23017` je vysvětlen v kapitolách 3.2.3 a 4.1. V této funkci se provádí nastavení požadované teploty pro praní.

cleanInterrupts()

Po provedení akce tlačítka změní INTsig na false a nastaví značku registru přerušeni na výchozí hodnotu.

in_washing()

Je v podstatě totožná s funkcí handleInterrupt(), jen se volá při přerušeni v zapnutém pracím programu, kde slouží k nastavování testovacích hodnot během praní. Tlačítka v této funkci mají rozdílné operace.

drum_load(level, temp)

Počínaje touto funkcí, všechny následující jsou určeny k vykonávání jednotlivých cyklů pracího programu. Funkce drum_load naplní vanu pračky do požadované výšky hladiny, která se určuje vstupním parametrem level. Pro ušetření času, již v této fázi začíná ohřev vody na požadovanou teplotu (temp). Je zde také pomocí ošetření nastavena jednoduchá diagnostika. Jednotlivé kroky plnění:

- Napájení zámku dvířek pračky
- Kontrola, zda jsou dvířka skutečně zavřena
- První napouštění na požadovanou výšku hladiny
- Zapnutí ohřevu vody
- Cyklus plnění s promícháním prádla
- Po skončení plnění hladina zůstane po promíchání na požadované hodnotě, vypnutí ohřevu

heating (temp, time_heating, time_motor_set, level)

Řídí ohřívání vody topnou spirálou ve vaně pračky. Vstupní parametry v pořadí za sebou nastavují požadovanou teplotu, čas ohřívání, čas otáčení motoru při míchání vody a požadovanou výšku hladiny vody. Jednotlivé kroky při ohřevu vody:

- Kontrola zavření dvířek pračky
- Kontrola hladiny vody ve vaně pračky
- Zapnutí topné spirály

- Cyklus ohřívání vody – otáčení bubnu na obě strany, zahřívání, kontrola hladiny vody
- Když je dosaženo požadované teploty, vypnutí topné spirály a zastavení otáčení

drum_unload(level)

Vypouštění vody z bubnu je realizováno touto funkcí, a jejím vstupem je hodnota při úplném vypouštění vody. Postup při vypouštění vody:

- Kontrola zavření dvířek pračky
- Zapnutí vypouštěcího čerpadla
- Cyklus vypouštění vody – zapínání čerpadla, otáčení bubnu a kontrola hladiny vody
- Po vypouštění vody, vypnutí vypouštěcího čerpadla a otáčení bubnu.

reverse_motor(dir)

Reverzace otáčení motoru, jak už bylo uvedeno v kapitole 3.4 se provádí pomocí dvou relé nastavených do určité polohy. Při překlápění relé musí být motor vypnutý. Jako jistění je tu úplné odpojení jak motoru, tak i napájení zámku. Jelikož je změna provedena v řádu milisekund, PTC spínač se nestačí ochladit a odemknout zámek. Po přehození do druhé polohy se napájení zámku obnoví.

drum_position()

Pokouší se nastavit uzavírací víko bubnu do horní polohy, tak aby uživatel mohl jednoduše vyprázdnit obsah bubnu, aniž by s ním musel otáčet. Zde je celkem problematické buben takto nastavit, pokud je prádlo na konci programu špatně rozloženo. V testovacím programu není tato funkce použita z důvodu neošetření ukončení programu, pokud se buben nedostane do správné polohy.

washing_motor (time_total, heat, level)

Samotný prací cyklus, kdy motor otáčí bubnem po danou dobu. Vstupní parametry nastavují dobu otáčení, přihřívání vody (pokud klesne o pět stupňů celsia) a požadovanou hladinu vody. Tento cyklus se také používá pro máchání, kdy není potřeba vodu ohřívát.

spin_motor(time_total)

Cyklus pro odstředění prádla v bubnu. Nastavuje se doba odstředění. Před použitím této funkce a po skončení je nutné vodu vždy vypustit.

test_program_phases ()

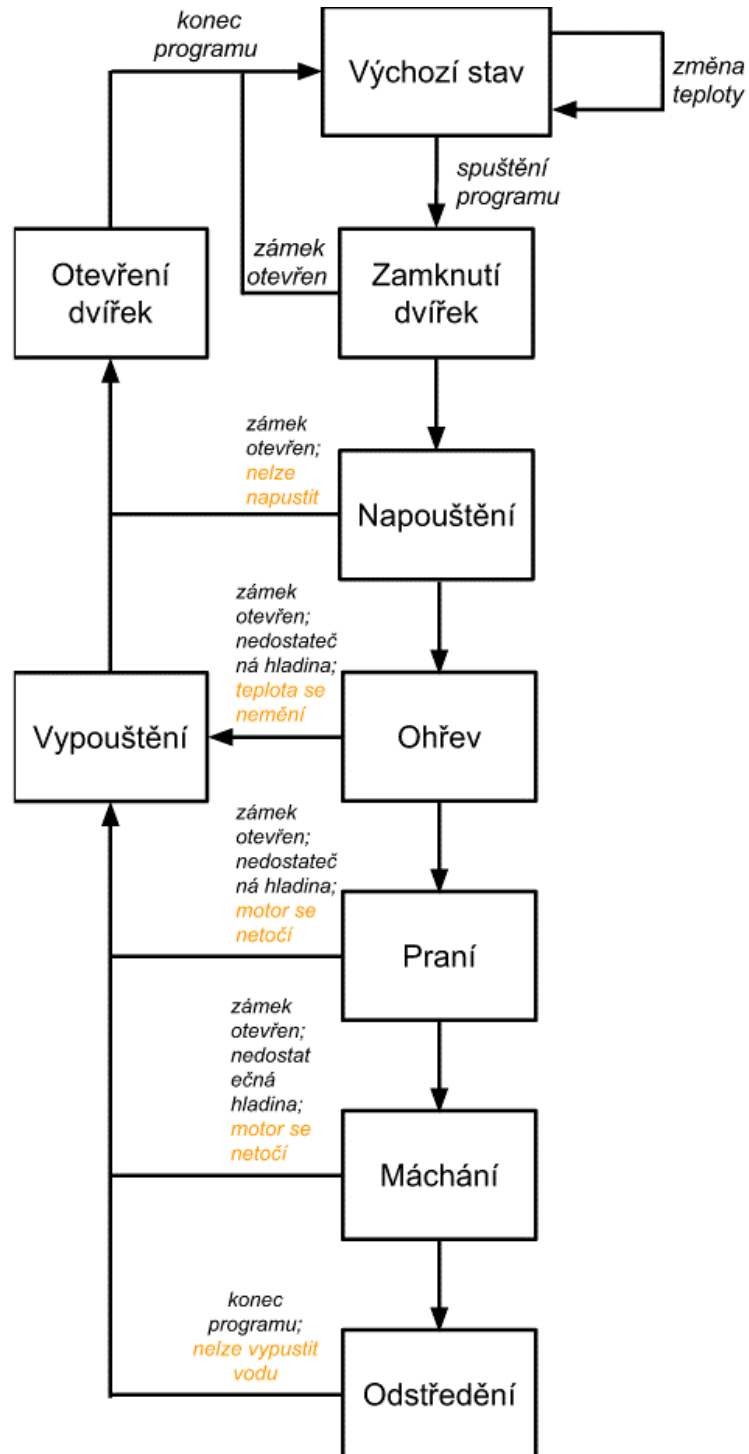
Skupina funkcí test_program_phases testuje celkový jeden prací program. Ten je pevně dán a dá se měnit pouze hodnota teploty, na kterou se ohřívá voda.

Program postupně vykonává tyto úkony:

- Napájení a uzamknutí dvířek pračky
- Kontrola, zda jsou dvířka zavřená
- Vypouštění vody (pokud by zůstala stará voda v pračce, například z důvodu přerušení el. Energie)
- Napouštění vody
- Ohřev vody
- Prací cyklus (změny směru otáčení bubnu po dané době)
- Vypuštění použité vody
- Napuštění studené vody
- Máchání (stejně jako prací cyklus bez ohřevu)
- Vypuštění použité vody
- Odstředění
- Napuštění studené vody
- Máchání
- Vypuštění použité vody
- Odstředění (3x po každém cyklu odstředění následuje vypuštění odstředěné vody)
- Vypuštění použité vody
- Umístění víka bubnu do horní polohy
- Odpojení napájení zámku dvířek pračky
- Po vychladnutí PTC spínače se odblokuje zámek

4.4. Blokové schéma programu

Struktura programu je znázorněna ve zjednodušeném blokovém schématu na obrázku č.26. Oranžově zvýrazněný text zobrazuje kontrolní stavy, které z důvodu testování musely být odstraněny.



Obrázek 26 :Blokové schéma programu

5. Zhodnocení výsledků

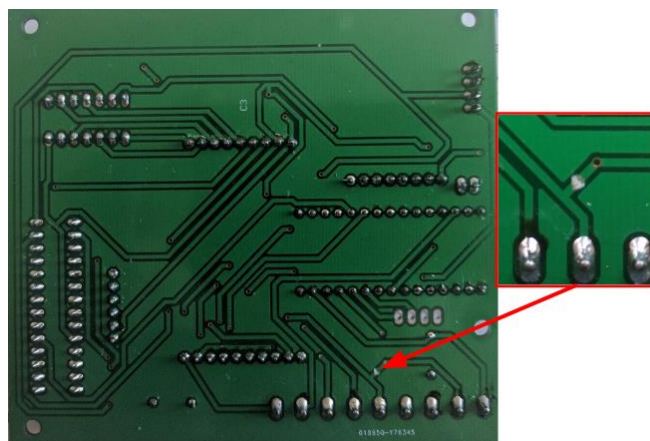
Tato kapitola je zaměřena na vyhodnocení celkové funkčnosti navrženého systému a jeho cenu. V první části je popsáno testování na konečném prototypu řídicí desky. Druhá část se zabývá kalkulací nákladů na výrobu a nákup použitých součástek a komponent v zařízení.

5.1. Testování funkčnosti zařízení

V průběhu vývoje finálních prototypových řídicích modulů, vzniklo několik verzí meziproduktů. Na těchto verzích byly postupně odlaďovány a testovány jednotlivé metody čtení ze sensorů a řízení komponent. Jelikož je testování funkčnosti celého systému časově náročné, jsou ve výsledku testování zaneseny i chyby vzniklé úpravami software a testováním nových funkcí.

5.1.1 Hardware

Finální prototyp obsahoval opravené chyby z předchozích verzí. Hlavní změna byla v modulu Triac module Rev.4, kde byl vyměněn obvod, který četl z tachometrického generátoru. Při zpracování podkladů pro výrobu plošného spoje WM-main board Rev.5 vznikla chyba, která byla pak zanesena i do výsledného výrobku. Chybné propojení je označeno na obrázku č.27. Tento nedostatek lze však celkem jednoduše odstranit, přerušením spojení. Další chyby nebyly při testech hardware zaznamenány, což může být způsobeno malým počtem testů, které byly provedeny.



Obrázek 27: Opravená chyba na plošném spoji

5.1.2 Software

Většina chyb, která se v průběhu pracího cyklu vyskytovala byla způsobena převážně implementací nových funkcí, které ještě nebyly řádně odladěny. Přehled chyb je uvede v tabulce č.15. Z dvanácti testovacích cyklů byly tři přerušeny kvůli neodladěným částem. Po opravě těchto chyb byl prací program řádně proveden až do konce. V průběhu testu nebyla za standardních podmínek nalezena již žádná jiná chyba.

Je zde však předpoklad, že při vzniku nestandardních situací může docházet k chybám, které nejsou v tomto testovacím programu ošetřeny. Některá z ošetření, která v programu chybí, jsou označena oranžovým textem na obrázku č.26. Příkladem neschopnosti dokončit prací program v této verzi může být v případě odpojení přívodu vody. Jestliže není připojen přívod vody, tak se hladina nemění a nemůže dosáhnout požadované hodnoty, tímto se program dostane do nekonečného cyklu.

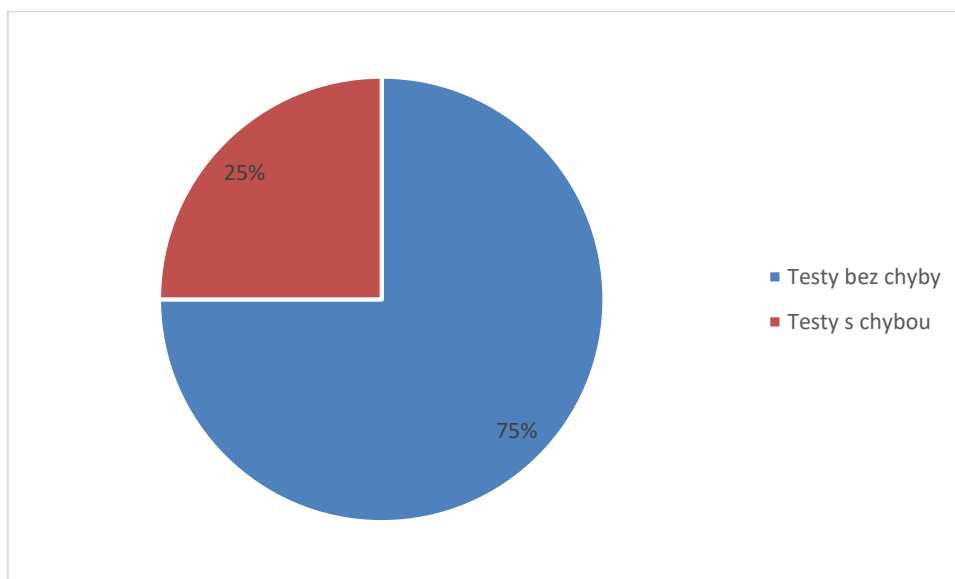
Datum:	Hmotnost prádla [Kg]:	časová náročnost [min]:	Požadovaná teplota vody [°C]	Chyby:	Poznámka:
19.11.2016	2,56	48	65	software- chyba řízení rychlosti otáček (oscilace)	test nového způsobu řízení otáček (opraveno)
27.11.2016	1,46	35	60		
04.12.2016	3,25	42	60		test čtení teploty, přidány nové S-H koeficienty
10.12.2016	3,42	47	60		
17.12.2016	2,83	43	60		
28.12.2016	3,57	56	90		
07.01.2017	4,65	75	60		
14.01.2017	3,4	51	60	software- chyba čtení výšky hladiny a teploty z knihovny	test knihovny SensorsWM (opraveno)
22.01.2017	3,24	58	80		změny ve funkci test_program_phases
04.02.2017	3,6	55	60		
11.02.2017	2,92	52	60	software - chyba řízení otáček motoru	test PID regulátoru (vrácení k původní verzi)
25.02.2017	3,15	45	60		

Tabulka 15: Výsledek testů

Nalezené chyby:

- 19.11.2016 – Chyba se projevila velkou oscilací otáček při rozjezdu motoru. Chyba byla opravena rozdělením roztáčení motoru do třech cyklů ve funkci speedcontrol.
- 14.01.2017 – Teplota a výška hladiny nereagovaly na změny. Chybná definice globálních proměnných ve třídě SensorsWM.
- 11.02.2017 – Otáčky motoru po roztočení se ustálí, ale po určité době se začnou zvyšovat. Tato chyba nebyla opravena a zřejmě se jedná o špatné nastavení PID regulátoru. Z časových důvodů byla vrácena zpět původní verze řízení otáček.

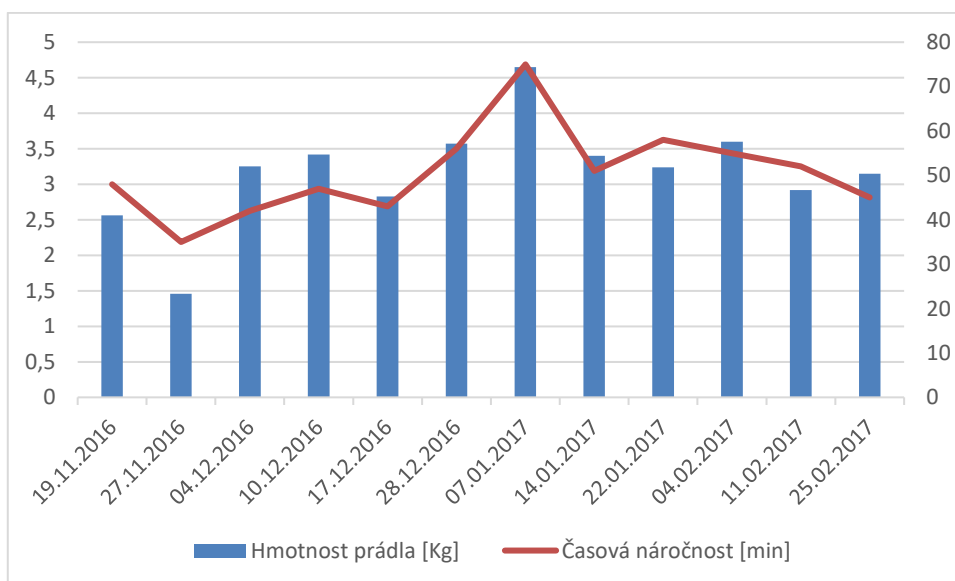
V grafu č.3 je procentuální zobrazení celkové úspěšnosti dokončení pracího programu bez potřeby zásahu a s potřebou nutné opravy. Na tento graf je potřeba nahlížet s vědomím, že při každém testu mohly být zavedeny v kódu změny, a tudíž všechny testy neprobíhaly se stejným kódem. Tento graf se týká pouze chyb v software.



Graf 3: Úspěšnost dokončení pracíh cyklů v průběhu vývoje

5.1.3 Časová náročnost

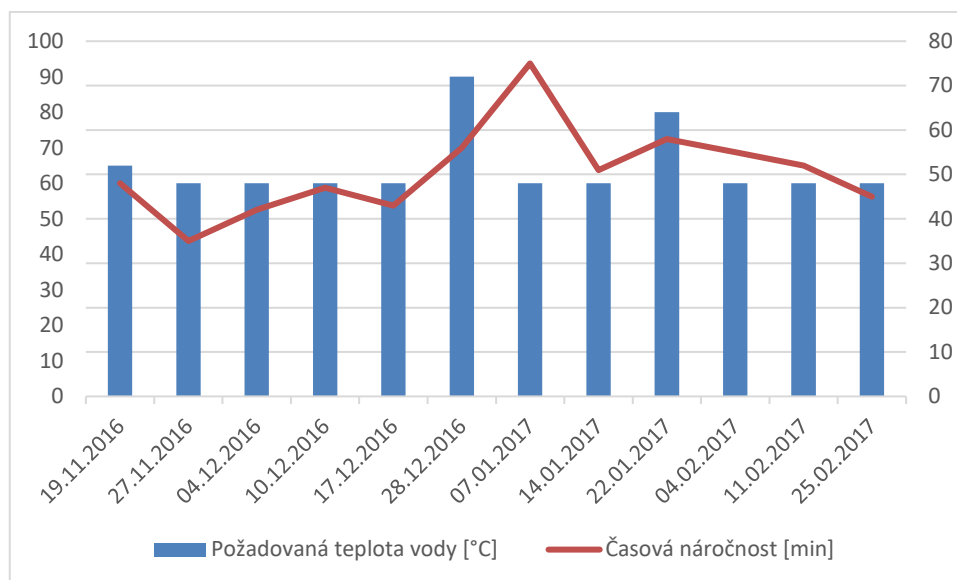
Časy pracích cyklů nejsou pevně dané, jelikož závisí na podmínkách, které pro konkrétní práci proces nastanou. Nejvíce ovlivní výsledný čas napouštění a ohřev vody, jenž ovlivňuje tlak a teplota ve vodovodním potrubí. Dalším prvkem ovlivňujícím tyto dva procesy je hmotnost prádla. V grafu č.4 je zobrazena časová náročnost pracího programu v závislosti na hmotnosti prádla vloženého do bubnu pračky.



Graf 4: Závislost časové náročnosti na hmotnosti prádla

Jak je patrné z grafu č.4, že značný vliv na dobu pracího programu má téměř ve všech případech hmotnost prádla. Při napouštění je to způsobeno především schopností nasáknutí většího množství vody. Pračka proto musí neustále prádlo promíchávat a dorovnávat hladinu, aby byla naplněna do požadované hodnoty.

Další prodloužení programu je svázáno s nastavenou teplotou vody, kdy dosáhnout vyšší teploty trvá déle. Z grafu č.5 je zřejmé, že teplota přibližně kopíruje časovou náročnost. Jelikož tato měření byla prováděna vždy s rozdílnou hmotností prádla, je časová náročnost součtem těchto členů navyšující konečný čas.



Graf 5: Závislost časové náročnosti na požadované teplotě vody

V porovnání obou grafů je to vidět u testu z 7.1.2017, kde je časová náročnost nejvyšší a převažuje zde hmotnost prádla. Z tohoto lze soudit, že větší podíl na prodloužení konečného času nese hmotnost prádla umístěného do bubnu pračky.

5.2. Náklady na zhotovení zařízení

Vypočtené a přehledně zobrazené náklady v tabulce jsou uvedeny v příloze č.4. Ve zmíněné tabulce jsou ve sloupci „položka“ uvedena u součástek označení, která korespondují s označením součástek v přílohách č.2 a č.3 na schématech. Většina součástek byla nakoupena v České republice od firem TME s.r.o. a GM Electronic s.r.o., odkud pochází i ceny v kalkulaci. Sloupec „Nákup v cizině“ udává cenu položky nakoupenou mimo Českou republiku. V tomto případě byly tyto položky nakoupeny v Číně z důvodu úspory finančních prostředků a nedostupnosti některých komponent v ČR.

Celková cena jednoho prototypu modulu WM main board Rev.5 vychází na 506,95 Kč. U tohoto modulu by se dala cena snížit jen velmi málo, pouze vynecháním patic integrovaných obvodů nebo výměnou konektorů za levnější variantu. Cena modulu Triac module Rev.4 je 534,68 Kč. Zde by bylo možné cenu eventuálně snížit, jelikož jsou triakové spínače pro některé komponenty zbytečně

naddimenzované. V ostatních položkách a komponentách je ještě započítán zdroj pro slaboproudou elektroniku a cena dopravy v celkové hodnotě 230,75 Kč.

V kalkulaci se nepočítá s pracovní silou, která by zde tvořila značnou finanční položku. Ve výsledku cena celého prototypového zařízení je 1272,40 Kč. V kalkulaci se také nepočítá s cenou pračky. Pro představu, samotná cena originální řídicí desky se pohybuje okolo částky 3556 Kč.

[Mamlux.cz, 2017]

Závěr

Výsledný systém, který byl zhotoven za účelem nahrazení originální řídicí jednotky, není integrován na jedné řídicí desce, ale je tvořen systémem modulů. Tyto moduly by měly zajišťovat požadovanou univerzálnost a variabilitu při aplikování na rozdílné modely praček. Míra univerzálnosti nebyla zatím ověřena prakticky na jiném modelu, pouze některé komponenty. Teoreticky, podle nastudovaných informací o komponentách ze servisních manuálů, by kompatibilita s běžnými typy měla být zajištěna s menší úpravou software.

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, zhotovený hardware složený ze dvou hlavních modulů je vybaven pouze testovacím softwarem, který zatím není vhodný pro běžné použití. Výhoda oproti originální desce je především v optickém oddělení výkonové části od zbytku elektroniky a naddimenzování výkonových členů, což značně zvyšuje její odolnost vůči vnějším výkyvům v síti. Za celou dobu testování poslední verze systému nebyl zaznamenán problém ze strany hardware.

Při vývoji vzniklo několik dílčích problémů, které musely být vyřešeny. Jedním z problémů, který zabral nejvíce času na ladění, bylo bezpochyby čtení otáček motoru z tachometrického generátoru. Tento problém po testování a ladění několika metod byl vyřešen a čtení otáček nyní funguje spolehlivě. Další problém, který se objevil až ke konci vývoje, je malá paměť mikrokontroléru pro nahrávání programů s rozsáhlejšími knihovny. Jedná se především o univerzální knihovny ke grafickému displeji, které v sobě mají například složitější systémy různých uživatelských prostředí a menu. Problém lze vyřešit optimalizací grafického prostředí přímo pro dané použití bez univerzálních prvků, což je časově náročnější. Do budoucna by také bylo vhodné řešit řízení regulace otáček např. PID regulátorem.

Výsledná cena navrženého systému je pouze cena součástek a výroby plošného spoje. Je tedy výrazně nižší než u originálu. Na místě je však nutno podotknout, že tento systém je pouze prototyp, bez certifikace a nároku na jakoukoli záruku, není zde započítána také cena za práci.

Tato práce slouží především jako nastínění řešení problému s dnešními poruchovými spotřebiči, které se místo oprav ihned likvidují. Výroba nových a

likvidace starých spotřebičů s sebou přináší opakované investice uživatelů do dalších nových spotřebičů a také značnou zátěž pro životní prostředí.

V průběhu zpracování práce bylo zjištěno, že tento systém by mohl být použit i na další spotřebiče, nejenom pračky. Podobné komponenty rovněž používají například sušičky nebo myčky nádobí. Pokud by tedy v budoucnu došlo k realizaci takového projektu a vznikla by silná základna uživatelů, která by přidávala novou podporu pro další spotřebiče, mohlo by to vést ke snížení vyprodukovaného elektroodpadu.

Celý projekt, včetně kódu a schémat je volně dostupný na webové stránce <https://github.com/suefro/openWM>, jako open-source pod licencí GPL -3.0. V tuto chvíli je jasné, že systém není zatím určen pro běžného uživatele, ale pro uživatele, který má hlubší znalosti této problematiky. Doufám tedy, že tento projekt zaujme alespoň někoho a bude mu k užítku.

Seznam použitých zdrojů

4mcculloch.co.uk. *McCulloch* [online]. Birmingham, c2017 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.4mcculloch.co.uk/images/mediator/553/599706597.pdf>

Alfadex.com. [online]. Pyrgos: alfadex.com, 2014 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.alfadex.com/wp-content/uploads/2014/02/ACWave.png?w=960>

Alfadex.com. [online]. Pyrgos: alfadex.com, 2014 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.alfadex.com/2014/02/dimming-230v-ac-with-arduino-2/>

Arduino.cc. [online]. Arduino.cc, c2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>

Arduino.cc. [online]. Arduino.cc, c2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/reference/wire>

Arduino.cc. [online]. Arduino.cc, c2017 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/pulseIn>

Arduino.cc. [online]. Arduino.cc, c2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>

Arduino.cc. [online]. Arduino.cc, c2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://playground.arduino.cc/Code/Timer1>

Arduino-shop.cz. [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA, c2010-2016 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://arduino-shop.cz/arduino/878-arduino-lcd-display-nokia-5110-modre-podsviceni-1420491028.html>

CARLINER, Saul. *Technical Communication: Help on a Shelf: Developing a Customer Service Manual* [online]. 2. Society for Technical Communication, 1985, **1985**(32) [cit. 2017-03-4]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/43095636>

Electrolux EWM2100 Service Manual. *Manualslib* [online]. Porcia: manualslib.com, 2007 [cit. 2017-03-8]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/741752/Electrolux-Ewm2100.html#manual>

Elektrometal.cz. [online]. Praha: Elektrometal, c2007-2015 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <https://nahradni-dily.elektrometal.cz/nahradni-dil/cerpadlo-do-pracky-plaset>

Fasttech.com. [online]. fasttech.com, 2012 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.fasttech.com/product/1012004-arduino-compatible-tiny-i2c-rtc-ds1307-at24c32>

FRANC, Adam. *Kalibrační měření pro PTC a NTC termistory.* Praha, 2016. Dostupné také z: https://github.com/suefro/openWM/blob/master/Steinhart-Hart_Equation/Kalibrační%20měření%20pro%20PTC%20a%20NTC%20termistory.pdf

MALESEVIC, Milan a Zoran STUPIC. Reading a Thermistor. *Arduino.cc* [online]. Arduino.cc, 2011 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://playground.arduino.cc/ComponentLib/Thermistor2>

Mamlux.cz. [online]. Praha: mamlux.cz [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <https://www.mamlux.cz/nahradni-dily-electrolux/nahradni-dily-pracky-electrolux/nahradni-dily-pracka-electrolux-ews-10670-w-20090424/elektronika-ewm2100---c-5872016-04-10-07-16-57823369566-detail>

ResistorGuide.com. [online]. Eindhoven: Resistor Guide, 2017 [cit. 2017-03-6]. Dostupné z: <http://www.resistorguide.com/ptc-thermistor/>

ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů.* Praha: BEN-technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0092-X.

ŠPRINGL, Vít. Měření teploty: polovodičové odporové senzory teploty. *Vyvoj.hw.cz* [online]. Praha: HW server, 2004 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>

VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina.* Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.

VOJÁČEK, Antonín. El. motory a jejich řízení: základní přehled - 1.díl. *Automatizace.hw.cz* [online]. Praha: HW server, 2014 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Umístění analyzovaných komponent-pravý bok.....	4
Obrázek 2: Umístění analyzovaných komponent-levý bok	5
Obrázek 3: Schéma zámku dvířek	6
Obrázek 4: Senzor polohy bubnu s procházející řemenicí	7
Obrázek 5: Motor EWM 2100	8
Obrázek 6: Schéma zapojení motoru EWM2100	9
Obrázek 7: Topné těleso s teplotním senzorem	10
Obrázek 8: Schéma NTC senzoru.....	12
Obrázek 9: Funkce napouštěcích ventilů	13
Obrázek 10: Popis tlakového spínače	14
Obrázek 11: Originální řídicí deska s popisem hlavních komponent.....	17
Obrázek 12: Zjednodušené schéma napájení.....	18
Obrázek 13: Osazená Main Board deska s popisem.....	19
Obrázek 14: Spodní strana časového modulu Tiny RTC	22
Obrázek 15: Rotační enkodér a jeho průběh.....	24
Obrázek 16: Displej Nokia5110	24
Obrázek 17: Osazená Triac module deska s popisem.....	25
Obrázek 18: Průběh regulace otáček triakovým spínačem.....	27
Obrázek 19: Modul se čtyřmi relé pro arduino	29
Obrázek 20: Zapojení reverzace chodu motoru	30
Obrázek 21: Blokové schéma komponent	31
Obrázek 22: Zadní strana ovládacího panelu se zapojenými moduly	32
Obrázek 23: Ovládací panel prototypového systému	32

Obrázek 24: Výpočet teploty ve funkci temp()	37
Obrázek 25: Funkce pro čtení výšky hladiny vody ve vaně pračky	38
Obrázek 26 :Blokové schéma programu.....	44
Obrázek 27: Opravená chyba na plošném spoji.....	45

Seznam grafů a tabulek

Graf 1: Model závislosti teploty na odporu u NTC termistoru.....	11
Graf 2: Závislost frekvence na množství vody	15
Graf 3: Úspěšnost dokončení pracích cyklů v průběhu vývoje	47
Graf 4: Závislost časové náročnosti na hmotnosti prádla	48
Graf 5: Závislost časové náročnosti na požadované teplotě vody	49
Tabulka 1: Parametry PTC zámku dvířek.....	6
Tabulka 2: Parametry senzoru polohy bubnu	7
Tabulka 3: Parametry EWM 2100	9
Tabulka 4: Parametry topného tělesa.....	10
Tabulka 5: Parametry NTC senzoru	12
Tabulka 6: Parametry elektromagnetických ventilů	13
Tabulka 7: Parametry talkového spínače	15
Tabulka 8: Parametry vypouštěcího čerpadla	16
Tabulka 9: Parametry Arduino Nano V3.0.....	20
Tabulka 10: Obsazení pinů arduina	21
Tabulka 11: Parametry časového modulu Tiny RTC	22
Tabulka 12: Obsazení pinů expandéru MCP23017	23

Tabulka 13: Parametry displeje Nokia5110.....	25
Tabulka 14: Parametry relé modulu.....	30
Tabulka 15: Výsledek testů.....	46

Seznam příloh

Příloha 1: Popis ovládacího panelu z uživatelského manuálu pračky AEG Electrolux L46210

Příloha 2: Osazení a schéma modulu WM-main board Rev.5

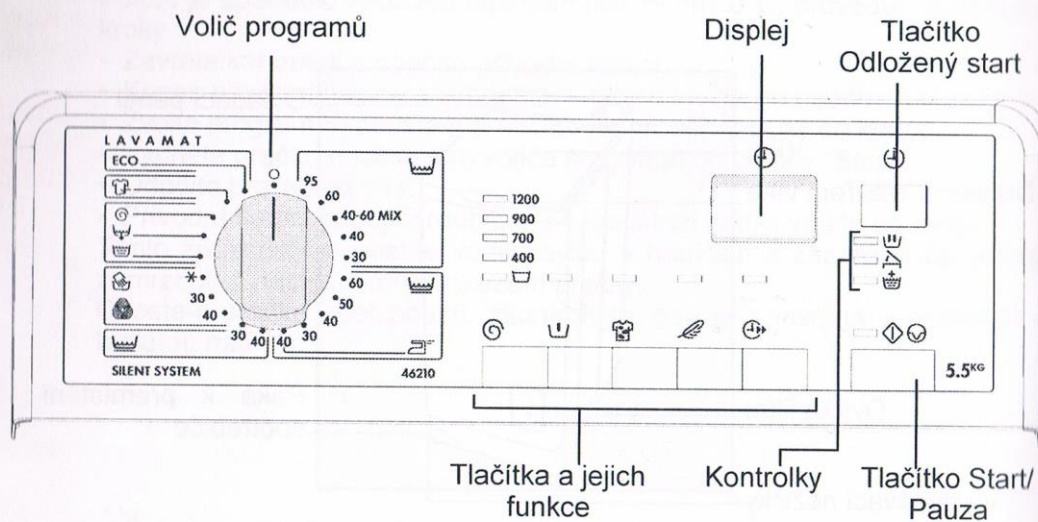
Příloha 3: Osazení a schéma modulu Triac module Rev.4

Příloha 4: Seznam součástek a kalkulace nákladů

Příloha 1: Popis ovládacího panelu z uživatelského manuálu pračky AEG

Electrolux L46210

Ovládací panel



Displej

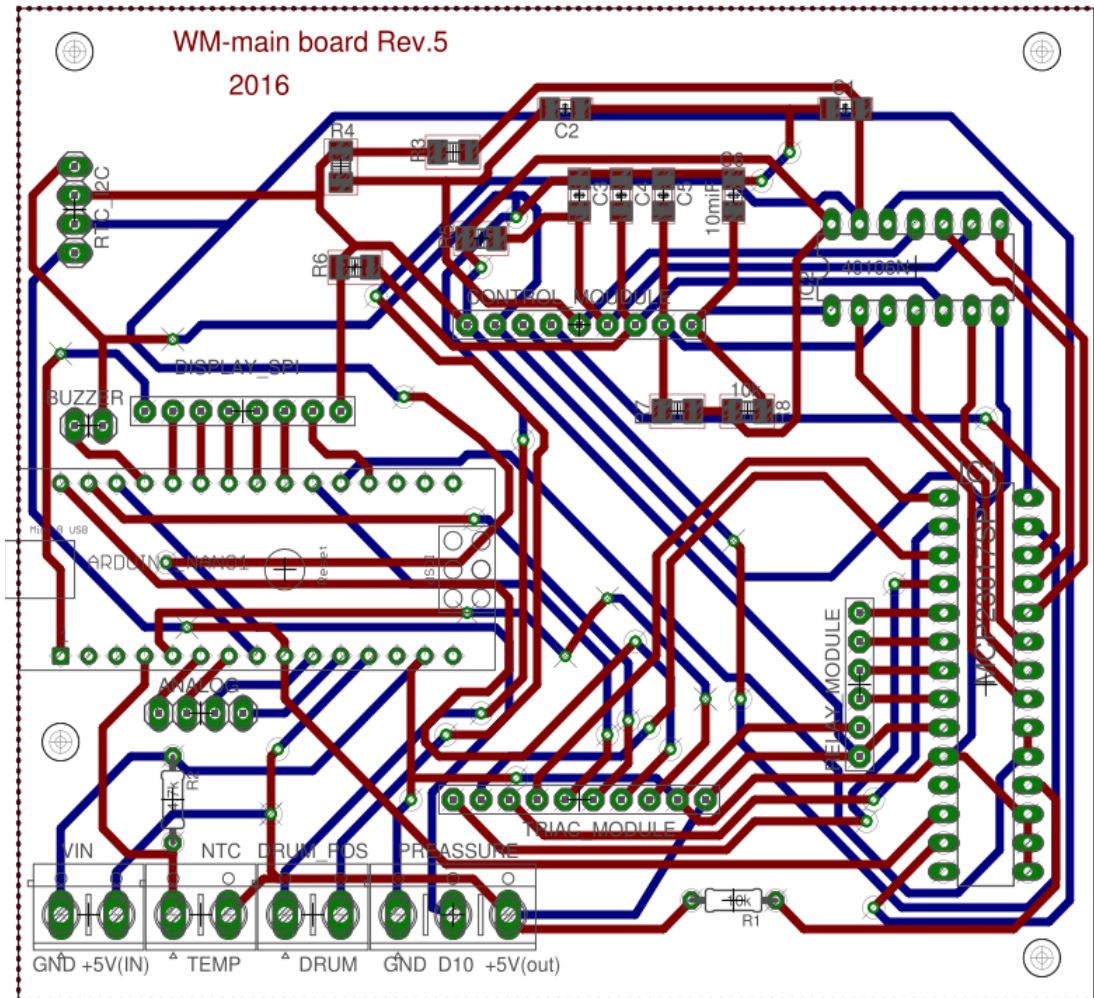
Délka cyklu nebo odpočítávání odloženého startu

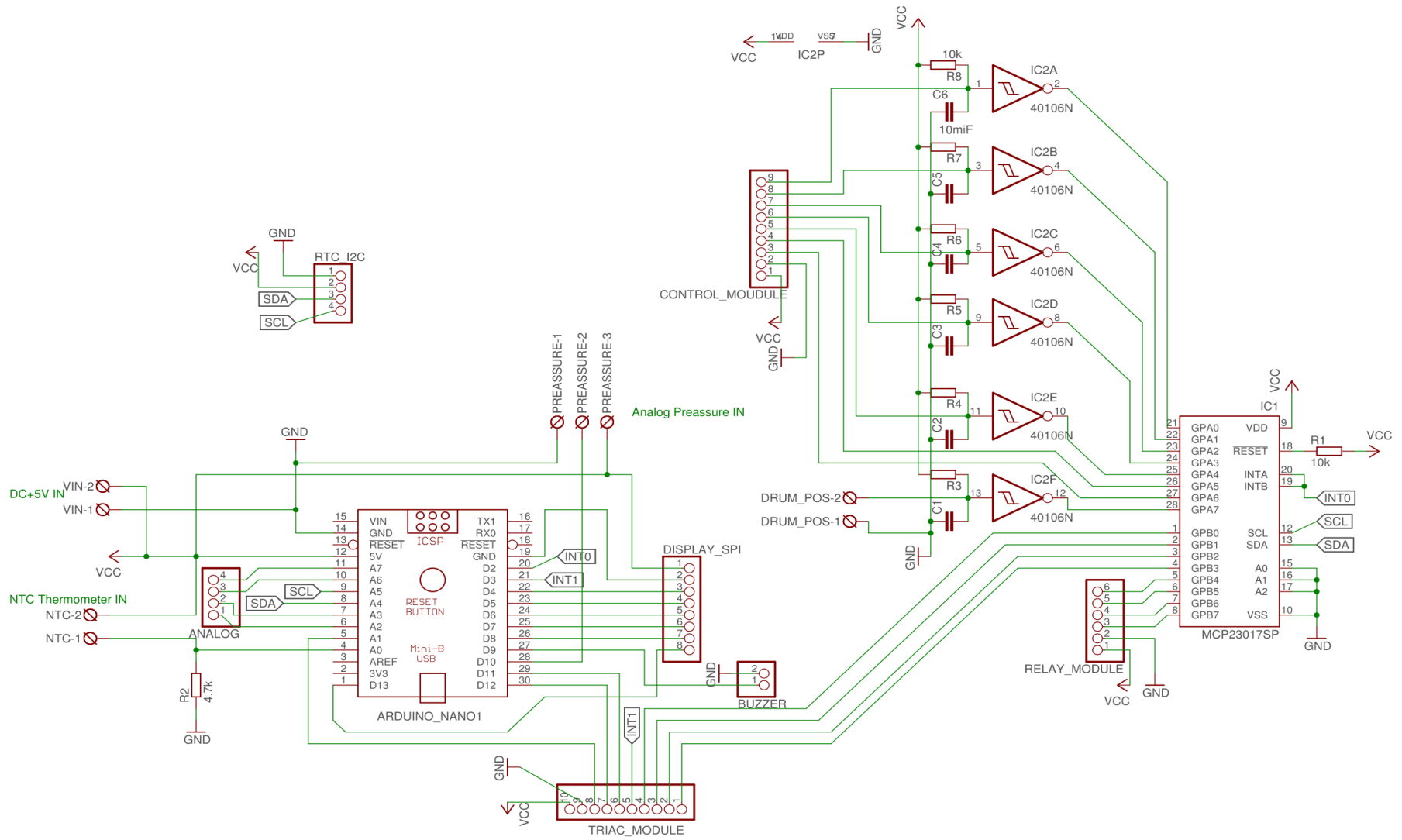


Odložený start

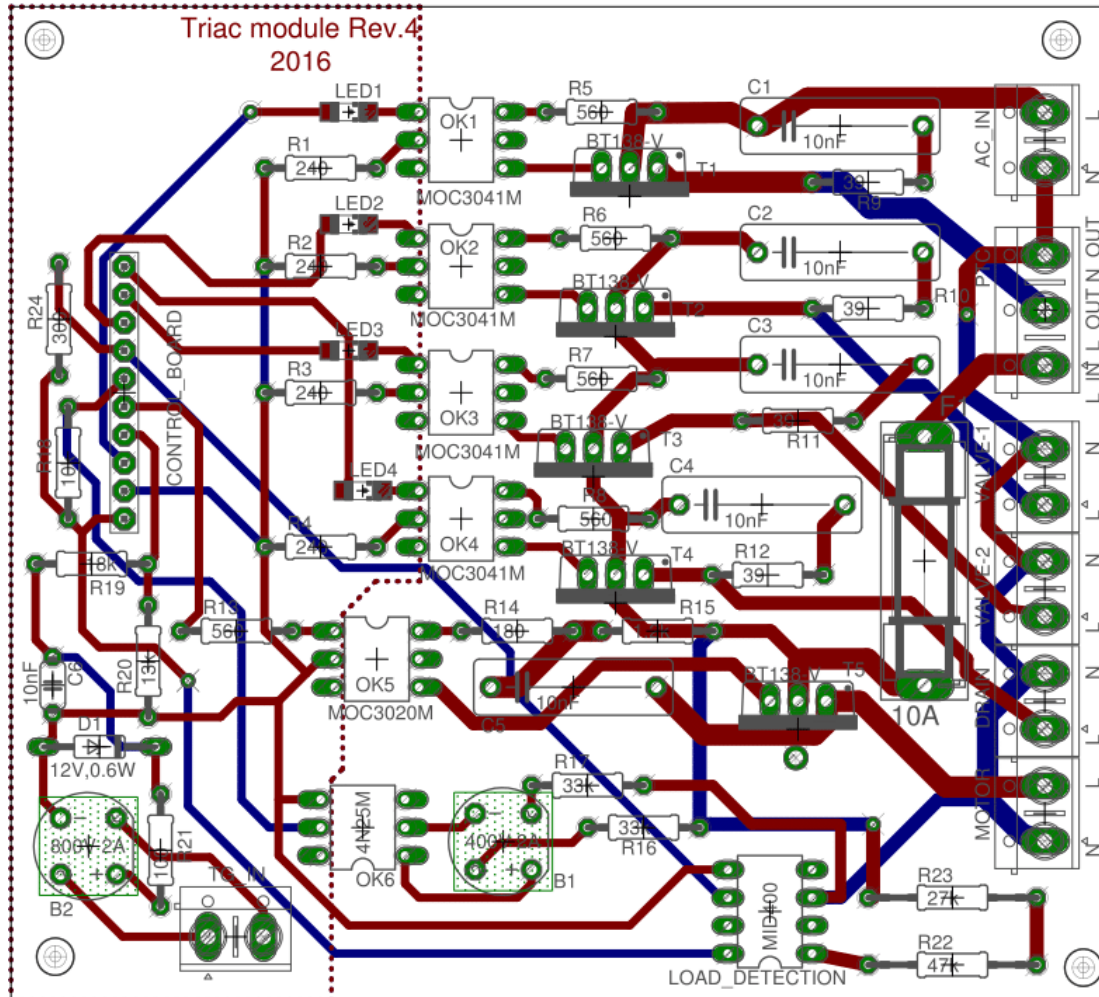
Dětská pojistka

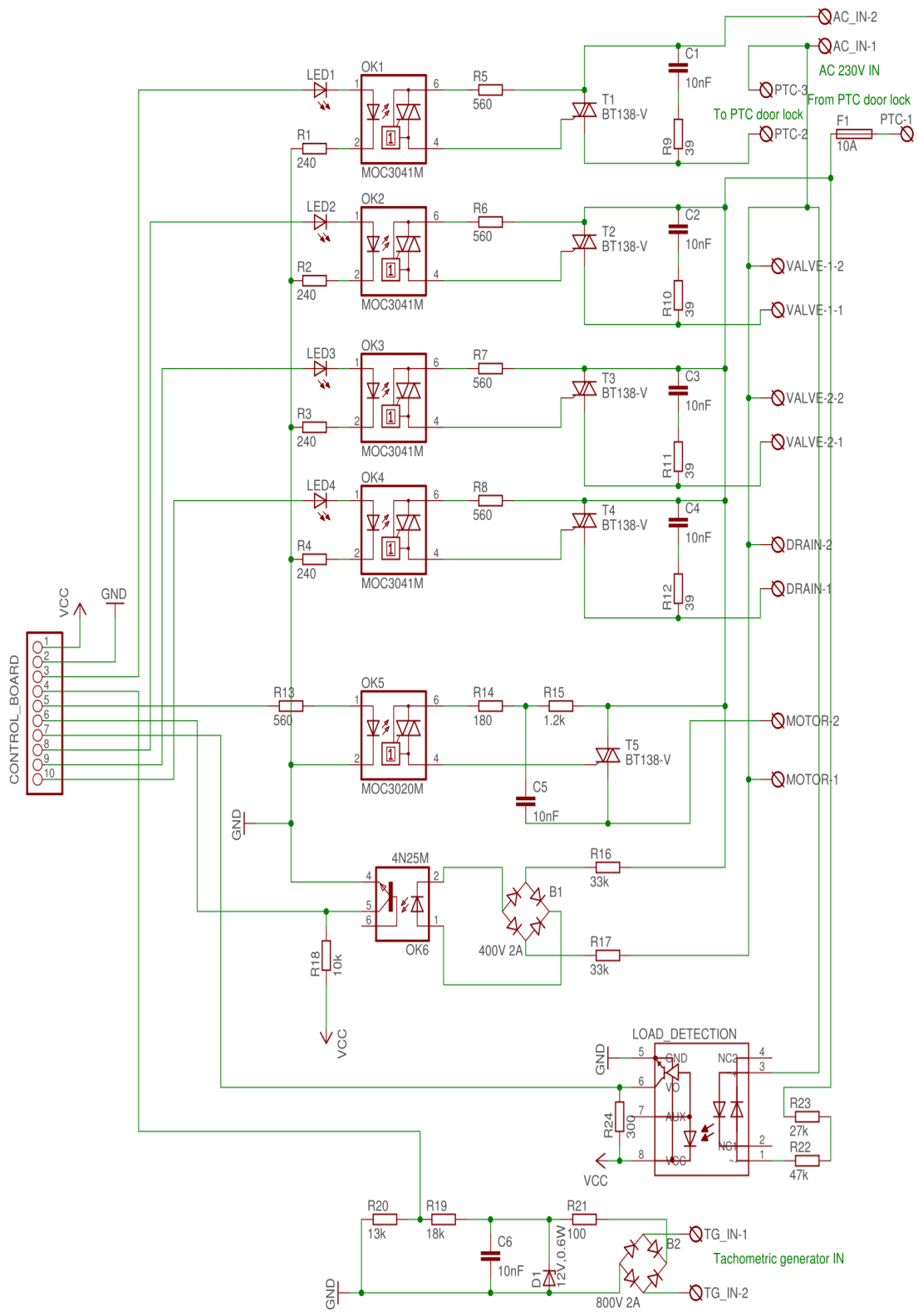
Příloha 2: Osazení a schéma modulu WM-main board Rev.5





Příloha 3: Osazení a schéma modulu Triac module Rev.4





Description/Applications

The input of the MID400 consists of two back-to-back LED diodes which will accept and convert alternating currents into light energy. An integrated photo diode-detector amplifier forms the output network. Optical coupling between input and output provides 2500 VRMS voltage isolation. A very high current transfer ratio (defined as the ratio of the DC output current and the DC input current) is achieved through the use of high gain amplifier. The detector amplifier circuitry operates from a 5V DC supply and drives an open collector transistor output. The switching times are intentionally designed to be slow in order to enable the MID400, when used as an AC line monitor, to respond only to changes in input voltage exceeding many milliseconds. The short period of time during zero-crossing which occurs once every half cycle of the power line is completely ignored. To operate the MID400, always add a resistor, R_{IN} , in series with the input (as shown in test circuit 1) to limit the current to the required value. The value of the resistor can be determined by the following equation:

$$R_{IN} = \frac{V_{IN} - V_F}{I_{IN}}$$

Where,

V_{IN} (RMS) is the input voltage.

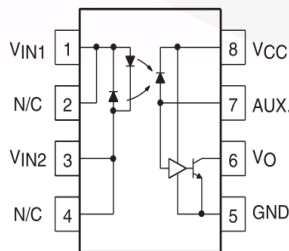
V_F is the forward voltage drop across the LED.

I_{IN} (RMS) is the desired input current required to sustain a logic "O" on the output.

Pin Description

Pin Number	Pin Name	Function
1, 3	V_{IN1}, V_{IN2}	Input terminals
2, 4	N/C	No Connect
8	V_{CC}	Supply voltage, output circuit.
7	AUX	Auxiliary terminal. Programmable capacitor input to adjust AC voltage sensing level and time delay.
6	V_O	Output terminal; open collector.
5	GND	Circuit ground potential.

Schematic Diagram



Glossary

VOLTAGES

$V_{I(ON)}$ RMS On-State RMS Input Voltage

The RMS voltage at an input terminal for a specified input current with output conditions applied that according to the product specification will cause the output switching element to be sustained in the on-state within one full cycle.

$V_{I(OFF)}$ RMS Off-State RMS Input Voltage

The RMS voltage at an input terminal for a specified input current with output conditions applied that according to the product specification will cause the output switching element to be sustained in the off-state within one full cycle.

V_{OL} Low-Level Output Voltage

The voltage at an output terminal for a specific output current I_{OL} , with input conditions applied that according to the product specification will establish a low-level at the output.

V_{OH} High-Level Output Voltage

The voltage at an output terminal for a specific output current I_{OH} , with input conditions applied that according to the product specification will establish a high-level at the output.

V_F LED Forward Voltage

The voltage developed across the LED when input current I_F is applied to the anode of the LED.

CURRENTS

$I_{I(ON)}$ RMS On-State RMS Input Current

The RMS current flowing into an input with output conditions applied that according to the product specification will cause the output switching element to be sustained in the on-state within one full cycle.

$I_{I(OFF)}$ RMS Off-state RMS Input Current

The RMS current flowing into an input with output conditions applied that according to the product specification will cause the output switching element to be sustained in the off-state within one full cycle.

I_{OH} High-Level Output Current

The current flowing into * an output with input conditions applied that according to the product specification will establish a high-level at the output.

*Current flowing out of a terminal is a negative value.

Příloha 4: Seznam součástek a kalkulace nákladů

WM main board Rev.5					
položka	počet ks	cena/ks bez DPH	cena celkem bez DPH	cena celkem Kč s DPH	Nákup v cizině:
R1; rezistor 10k	1	1,90 Kč	1,90 Kč	2,30 Kč	
R2; rezistor 4.7k	1	1,90 Kč	1,90 Kč	2,30 Kč	
IC1; MCP23017	1	29,91 Kč	29,91 Kč	36,19 Kč	
IC2; HEF40106	1	5,45 Kč	5,45 Kč	6,59 Kč	
R3,R4,R5,R6,R7,R8; rezistor smd 10k	6	0,43 Kč	2,61 Kč	3,15 Kč	
C1,C2,C3,C4,C5,C6; kondenzátor smd 10µF	6	1,51 Kč	9,08 Kč	10,99 Kč	
Piezo siréna	1	13,00 Kč	13,00 Kč	15,73 Kč	
zásuvka kolíková pro arduino	2	18,57 Kč	37,14 Kč	44,94 Kč	
patice mcp PIN28	1	5,02 Kč	5,02 Kč	6,07 Kč	
patice hef40106N PIN14	1	3,04 Kč	3,04 Kč	3,68 Kč	
S1,S2S3,S4; mikrosvínače	4	3,47 Kč	13,88 Kč	16,79 Kč	
Svorkovnice DEGSOON 2pólová 24A,300V	3	3,52 Kč	10,56 Kč	12,78 Kč	
svorkovnice DEGSOON 3pólová 24A,300V	1	5,26 Kč	5,26 Kč	6,36 Kč	
konektor zástrčka (piezo siréna) PIN2	1	0,40 Kč	0,40 Kč	0,49 Kč	
konektor vidlice (piezo siréna)PIN2	1	1,76 Kč	1,76 Kč	2,13 Kč	
konektor zástrčka (rele_modul)PIN6	1	0,90 Kč	0,90 Kč	1,09 Kč	
konektor vidlice (rele_modul)PIN6	1	2,68 Kč	2,68 Kč	3,24 Kč	
konektor zástrčka (rele_modul)PIN8	1	1,86 Kč	1,86 Kč	2,24 Kč	
konektor vidlice (rele_modul)PIN8	1	2,42 Kč	2,42 Kč	2,93 Kč	
konektor zástrčka (control_modul)PIN9	1	1,85 Kč	1,85 Kč	2,24 Kč	
konektor vidlice (control_modul)PIN9	1	3,49 Kč	3,49 Kč	4,22 Kč	
konektor zástrčka (rele_modul)PIN10	1	2,22 Kč	2,22 Kč	2,68 Kč	
konektor vidlice (rele_modul)PIN10	1	3,04 Kč	3,04 Kč	3,68 Kč	
kontakt do zástrčky	35	0,35 Kč	12,32 Kč	14,91 Kč	
kolíková lišta	1	10,19 Kč	10,19 Kč	12,33 Kč	
DPS plošný spoj (výroba + doprava)	1			122,48 Kč	\$4,90
Nokia5110 displej	1			51,97 Kč	\$2,08
rotační enkodér	1			11,99 Kč	\$0,48
Arduino Nano V3.0	1			53,22 Kč	\$2,13
relé modul	1			47,22 Kč	\$1,89
Celková cena desky:				506,95 Kč	
Triac module Rev.4					
položka	počet ks	cena/ks bez DPH	cena celkem bez DPH	cena celkem Kč s DPH	Nákup v cizině:
R1,R2,R3,R4; rezistor 240	4	2,15 Kč	8,60 Kč	10,75 Kč	
LED1,LED2,LED3,LED4; dioda LED červená smd 2,6V 20mA	4	2,87 Kč	11,46 Kč	14,33 Kč	
OK1,OK2,OK3,OK4; MOC3041M	4	9,19 Kč	36,77 Kč	45,96 Kč	
OK5; MOC3020M	1	6,49 Kč	6,49 Kč	8,11 Kč	
R5,R6,R7,R8,R13; rezistor 560	5	1,71 Kč	8,56 Kč	10,70 Kč	
R9,R10,R11,R12; rezistor 39	4	1,71 Kč	6,85 Kč	8,56 Kč	
C1,C2,C3,C4,C5; kondenzátor polypropylen 1,6kV 10nF	5	6,06 Kč	30,28 Kč	37,85 Kč	
T1,T2,T3,T4,T5; triak BT138	5	13,32 Kč	66,60 Kč	83,24 Kč	
R14; rezistor 180	1	2,15 Kč	2,15 Kč	2,69 Kč	
R15; rezistor 1,2k	1	1,90 Kč	1,90 Kč	2,37 Kč	
R18; rezistor 10k	1	1,90 Kč	1,90 Kč	2,37 Kč	
R16,R17; rezistor 33k	2	2,15 Kč	4,30 Kč	5,37 Kč	
B1,B2; diodový můstek 800V 2A	2	7,27 Kč	14,54 Kč	18,17 Kč	
R24; rezistor 300	1	2,15 Kč	2,15 Kč	2,69 Kč	
R23; rezistor 2W 27k	1	4,30 Kč	4,30 Kč	5,37 Kč	
R22; rezistor 2W 47k	1	3,22 Kč	3,22 Kč	4,02 Kč	
R20; rezistor 13k	1	2,15 Kč	2,15 Kč	2,69 Kč	
R19; rezistor 18k	1	2,15 Kč	2,15 Kč	2,69 Kč	
C6; kondenzátor keramický 10 nanoF	1	1,32 Kč	1,32 Kč	1,65 Kč	
R21; rezistor 100	1	2,15 Kč	2,15 Kč	2,69 Kč	
D1; zenerova dioda 12V,06W	1	0,99 Kč	0,99 Kč	1,24 Kč	
OK6; 4N25M	1	7,52 Kč	7,52 Kč	9,40 Kč	
F1; pojistka 10A	1	3,06 Kč	3,06 Kč	3,82 Kč	
patice pojistky 10A	1	9,60 Kč	9,60 Kč	11,99 Kč	
patice DIP PIN6	6	1,99 Kč	11,95 Kč	14,94 Kč	
patice MID400 PIN8	1	1,29 Kč	1,29 Kč	1,62 Kč	
svorkovnice DEGSOON 2pólová 24A,300V	6	3,52 Kč	21,13 Kč	26,40 Kč	
svorkovnice DEGSOON 3pólová 24A,300V	1	5,26 Kč	5,26 Kč	6,57 Kč	
konektor zástrčka (rele_modul)PIN10	1	2,22 Kč	2,22 Kč	2,77 Kč	
konektor vidlice (rele_modul)PIN10	1	3,04 Kč	3,04 Kč	3,80 Kč	
kontakt do zástrčky	10	0,35 Kč	3,52 Kč	4,40 Kč	
DPS (výroba + doprava)	1			122,48 Kč	\$4,90
LOAD_DETECTION; MID400	1			52,97 Kč	\$2,12
Celková cena desky:				534,68 Kč	
ostatní komponenty					
položka	počet ks	cena/ks bez DPH	cena celkem bez DPH	cena celkem Kč s DPH	Nákup v cizině:
zdroj AC to DC 5V/700mA	1			115,81 Kč	\$4,64
doprava TME	1	95,00 Kč		114,95 Kč	
Celková cena ostatních položek:				230,76 Kč	
DPH	Kurz dolaru	21	24,9865	Celková cena:	1 272,40 Kč