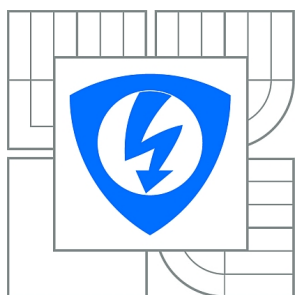


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

VZDÁLENÁ LABORATOŘ PRO DOZIMETRICKÁ MĚŘENÍ

REMOTE LABORATORY FOR DOSIMETRIC MEASUREMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VLADIMÍR HAMADA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ FLORIÁN

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Vladimír Hamada

ID: 125436

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Vzdálená laboratoř pro dozimetrická měření

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a sestavte vzdálenou laboratoř pro měření ionizujícího záření v závislosti na vzdálenosti od zářiče pomocí Geigerova-Müllerova počítače. Laboratoř bude připojena a používána v reálném čase prostřednictvím sítě internet. Při návrhu a realizaci dbejte na bezpečnost celého zařízení, jednoduchost konstrukce, jednoduchost ovládání, snadnou správu a minimalizujte spotřebu elektrické energie.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Mann, B.: C pro mikrokontroléry, BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6

[2] KOFLER, Michael; ÖGGL, Berndt .PHP 5 a MySQL 5: průvodce webového programátora, Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2007. 607 s., ISBN: 978-80-251-1813-9

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 28.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Florián

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Petr Sadovský, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem a realizací vzdálené laboratoře pro dozimetrická měření v reálném čase přes síť internet. Práce zahrnuje návrh a realizaci vzdálené laboratoře z hlediska mechanické konstrukce, elektronického zařízení a programového vybavení včetně uživatelského rozhraní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vzdálená laboratoř, Dozimetrie, Geigerův-Müllerův počítač, Ethernet modul, AVR, PHP, JavaScript, JAVA

ABSTRACT

The main aim of this thesis is to design and realise realtime remote laboratory for dosimetric measurements, controlled through internet network. This thesis includes design and realisation of the remote laboratory in mechanical, electrical and software ways. A design of user interface is also included.

KEYWORDS

Remote laboratory, Radiation dosimetry, Geiger-Müller counter, Ethernet module, AVR, PHP, JavaScript, JAVA

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAMADA, Vladimír *Vzdálená laboratoř pro dozimetrická měření*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2012. 63 s. Vedoucí práce byl Ing. Tomáš Florián

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vzdálená laboratoř pro dozimetrická měření“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Floriánovi a konzultantovi panu Ing. Petru Sadovskému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděloval panu Miroslavu Sadovskému za pomoc s mechanickou konstrukcí a doc. Ing. Pavlu Koptavému, CSc. Ph.D. za pomoc s připojením vzdálené laboratoře k internetu. Děkuji také všem ostatním zaměstnancům Ústavu fyziky, kteří se jakkoli podíleli na přípravě či realizaci tohoto projektu.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	10
1 Fyzikální experiment	11
1.1 Popis úlohy	11
1.2 GM čítač	11
1.3 Zdroj ionizujícího záření	11
2 Popis koncepce konstrukce	14
2.1 Ethernetový modul	14
2.2 Mikrokontrolér	15
2.3 Kamera	16
3 Mechanická konstrukce	18
3.1 Souřadnicový zapisovač	18
3.2 Posuv z tiskárny	18
3.3 Finální podoba mechanické konstrukce	19
4 Elektronická konstrukce	21
4.1 GM čítač	23
4.2 Zdroj	24
4.3 Základní deska	24
4.4 Koncové spínače	25
4.5 Snímač referenční polohy	25
4.6 Modul budiče krokového motoru	25
5 Programové vybavení	26
5.1 Nastavení IP kamery	26
5.2 Nastavení ethernetového modulu	27
5.3 Komunikační protokol	28
5.4 Firmware mikrokontroléru	30
5.5 Automatická kalibrace posuvu	31
5.6 Webová aplikace	32
6 Uživatelské rozhraní	35
6.1 Popis servisního rozhraní	35
6.2 Popis uživatelského rozhraní	35
6.3 Typický provozní cyklus vzdálené laboratoře	37

7 Závěr	42
Literatura	43
Seznam symbolů, veličin a zkratk	45
Seznam příloh	46
A Elektrotechnická schémata	47
A.1 Modul napájení	47
A.2 Snímač referenční polohy	47
A.3 Základní deska	48
A.4 Koncový spínač	49
A.5 Modul budiče krokového motoru	49
B Předlohy DPS	50
B.1 Modul napájení	50
B.2 Snímač referenční polohy	50
B.3 Základní deska	51
B.4 Modul budiče krokového motoru	52
B.5 Koncový spínač	52
C Osazovací plány DPS	53
C.1 Modul napájení	53
C.2 Koncový spínač	53
C.3 Snímač referenční polohy	54
C.4 Základní deska	55
C.5 Modul budiče krokového motoru	56
D Seznam součástek	57
D.1 Modul napájení	57
D.2 Snímač referenční polohy	58
D.3 Koncový spínač	58
D.4 Základní deska	59
D.5 Modul budiče krokového motoru	61
E Fotodokumentace	62

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Geiger-Müllerova trubice - princip.	12
1.2	Geiger-Müllerův počítač PHYWE s trubicí.	12
1.3	Kobaltový zářič Co-60.	13
2.1	Koncepce realizace vzdálené laboratoře.	14
2.2	Ethernetový modul NanoLan [5].	15
2.3	IP-kamera TP-LINK TL-SC3130 [7].	17
3.1	Souřadnicový zapisovač TESLA TZ4030.	19
3.2	Lineární posuv instalovaný na rámu z dřevotřísky.	20
3.3	Finální podoba mechanické konstrukce.	20
4.1	Blokové schéma elektronického vybavení vzdálené laboratoře.	21
4.2	Box s elektronikou vzdálené laboratoře.	22
4.3	Přední strana boxu - z levé strany konektor pro Ethernet, napájecí konektor a vypínač s indikací zapnutí.	22
4.4	Zadní strana boxu - z levé strany konektor pro připojení krokového motoru, konektor snímačů posuvu, konektor GM čítače.	23
4.5	GM čítač.	23
4.6	Spínaný zdroj 12 V/4 A.	24
5.1	Diagram programového vybavení vzdálené laboratoře.	26
5.2	Webové rozhraní pro nahrání nastavení do kamery.	27
5.3	Vývojový diagram firmware mikrokontroléru.	31
5.4	Vývojový diagram automatické kalibrace posuvu.	32
5.5	Schéma posuvu.	32
5.6	Vývojový diagram funkce technologie AJAX.	33
5.7	Vývojový diagram funkce webové aplikace.	34
6.1	Servisní rozhraní.	36
6.2	Webová stránka - klidový stav.	38
6.3	Webová stránka - změna polohy.	39
6.4	Webová stránka - čítání impluzů.	40
6.5	Webová stránka - dokončená úloha.	41
A.1	Modul napájení, schéma.	47
A.2	Snímač referenční polohy, schéma.	47
A.3	Základní deska, schéma.	48
A.4	Koncový spínač, schéma.	49
A.5	Modul budiče krokového motoru, schéma.	49
B.1	Modul napájení, DPS M 1:1 (65 x 52 mm).	50
B.2	Snímač referenční polohy, DPS M 1:1 (22 x 38 mm)	50
B.3	Základní deska, DPS vrstva BOTTOM M 1:1 (126 x 74 mm).	51

B.4	Základní deska, DPS vrstva TOP M 1:1 (126 x 74 mm).	51
B.5	Modul budiče krokového motoru, DPS vrstva BOTTOM M 1:1 (83 x 51 mm).	52
B.6	Modul budiče krokového motoru, DPS vrstva TOP M 1:1 (83 x 51 mm).	52
B.7	Koncový spínač, DPS M 1:1 (13 x 17,5 mm).	52
C.1	Modul napájení, osazovací plán.	53
C.2	Koncový spínač, osazovací plán vrstva TOP.	53
C.3	Koncový spínač, osazovací plán vrstva BOTTOM.	53
C.4	Snímač referenční polohy, osazovací plán vrstva TOP.	54
C.5	Snímač referenční polohy, osazovací plán vrstva BOTTOM.	54
C.6	Základní deska, osazovací plán vrstva TOP.	55
C.7	Základní deska, osazovací plán vrstva BOTTOM.	55
C.8	Modul budiče krokového motoru, osazovací plán vrstva TOP.	56
C.9	Modul budiče krokového motoru, osazovací plán vrstva BOTTOM.	56
E.1	Kompletní zařízení - pohled na celou sestavu.	62
E.2	Kompletní zařízení - pohled z místa kamery.	62
E.3	Kompletní zařízení - vše potřebné k instalaci pohromadě.	63

ÚVOD

V dnešní době jsme obklopeni komunikačními technologiemi. Můžeme pracovat nebo se bavit téměř odkudkoliv a kdekoliv. V renomovaných firmách se setkáváme s pružnou pracovní dobou, v čím dál větší míře jsou používány VPN tunely pro připojení do podnikové sítě z místa mimo areál podniku a podobně. Všem společně nahrává masová rozšířenost sítě internet. Není tedy žádným překvapením, že i měření je možno provádět dálkově.

Důvodem pro budování vzdálených laboratoří je potřeba sledovat průběh experimentu v širokém časovém horizontu, nutnost zprostředkovat nepřetržitý přístup k unikátnímu nebo jinak exkluzivnímu experimentu pro větší počet experimentátorů, spolupráci geograficky diferencovaných pracovních týmů a nebo ochrana zdraví experimentátora, či snaha o zlepšení či zjednodušení práce na experimentu. Významnou motivací může být také zjednodušení zpracovávání výsledků.

Z výše zmíněných motivací pro budování vzdálených laboratoří se pro předkládaný projekt nejvíce hodí zpřístupnění laboratoře velkému počtu uživatelů, zjednodušení obsluhy experimentu a v neposlední řadě též ochrana zdraví. Při klasickém měření dochází ke kontaktu s ionizujícím zářením radioizotopu instalovaného v aparatuře. Toto záření je sice slabé a úloha je koncipována tak, aby byly při měření splněny hygienické normy, ale každé omezení styku s tímto typem záření je žádoucí. Dalším důvodem pro vznik této vzdálené laboratoře jsou propagace VUT na středních školách.

Úkolem této práce tedy bylo vybudovat vzdálenou laboratoř pro dozimetrická měření, kterou je možno ovládat pomocí počítače, prostřednictvím sítě internet. Pod pojmem vzdálené laboratoře se rozumí spojení experimentu, elektronického zařízení a uživatelského rozhraní. Předmětem této práce byla realizace všech částí vzdálené laboratoře. Problematika volby koncepce konstrukce vzdálených laboratoří byla prezentována vloni na studentské konferenci EEICT 2011 viz [1], tato konkrétní vzdálená laboratoř potom na letošní konferenci EEICT 2012 viz [2]. V obou ročnících se projekty umístily na 2. místech ve svých kategoriích.

1 FYZIKÁLNÍ EXPERIMENT

1.1 Popis úlohy

Tuto úlohu měří studenti v rámci fyzikálního praktika, podrobný popis se nachází v [3]. Úkolem je změřit počet impulzů Geiger-Müllerovým počítačem (dále jen GM) v závislosti na vzdálenosti GM trubice od zdroje ionizujícího záření γ . Aby do GM trubice procházel jenom tento typ záření, je vybavena hliníkovou krytkou. Kvůli nerovnoměrnosti vyzařovaného ionizujícího záření je dobré pro každou vzdálenost měřit po dobu cca 100 s.

Výstupem z experimentu má být potvrzení teoretické závislosti počtu impulzů na vzdálenosti reprezentované vztahem:

$$N = \frac{k}{r^2} = kr^{-2}$$

kde N je počet impulzů, k konstanta úměrnosti a r vzdálenost od zdroje záření.

K nastavené vzdálenosti je třeba přičíst polovinu délky GM trubice (42mm), protože v tomto bodě je nejcitlivější na procházející částice.

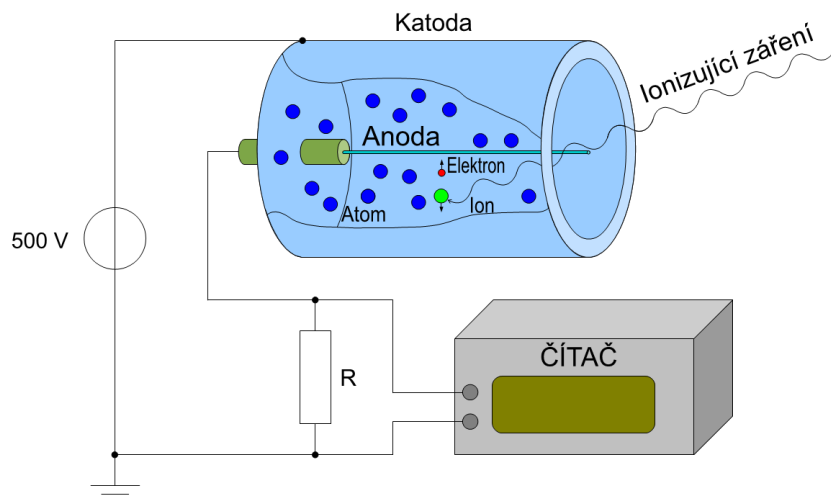
1.2 GM čítač

Geiger-Müllerova trubice je kovová plynová trubice s dvěma koaxiálními elektrodami a jednou stranou z propustného materiálu (sklo, plast, ...), kterou vstupuje ionizující záření. Na jednu elektrodu je připojen kladný, na druhou záporný pól pracovního vysokého napětí cca 500V a v sérii s trubicí je zapojen snímací rezistor. Princip spočívá v ionizaci částic plynu způsobené průletem částice (ionizujícího záření) a následným elektrickým výbojem mezi elektrodami, který je registrován jako napěťový impulz na snímacím rezistoru. Na obrázku obr.1.1 je znázorněn princip funkce GM detektoru.

Z výše uvedeného vyplývá, že GM detektor reaguje na všechny typy ionizujících záření, proto pokud chceme snímat jenom některý druh, musíme ostatní nežádoucí záření odstínit (např. hliníkovým stínítkem jako v této úloze).

1.3 Zdroj ionizujícího záření

V laboratoři je k dispozici kobaltový zářič Co-60 viz obr.1.3. Kobaltové zářiče jsou synteticky vytvořené zdroje ionizujícího záření γ a β , přičemž β záření lze snadno



Obr. 1.1: Geiger-Müllerova trubice - princip.



Obr. 1.2: Geiger-Müllerův počítač PHYWE s trubicí.

odstínit (viz. předchozí, pomocí hliníkového plechu). Jsou vytvořeny neutronovou aktivací radioizotopu železa $^{59}_{26}\text{Fe}$.

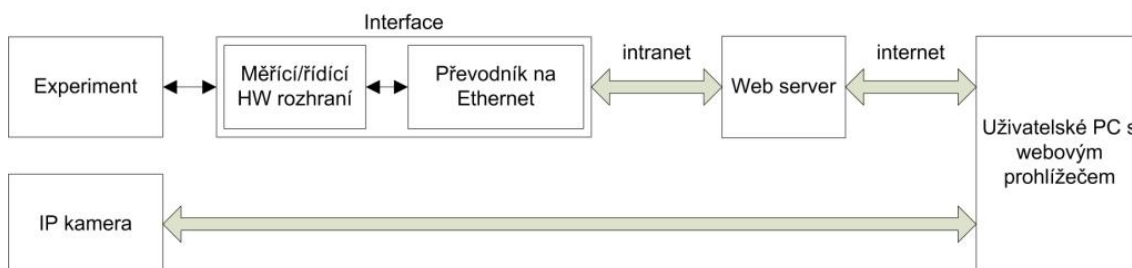
Kobaltové zářiče se běžně používají např. pro radio terapii v lékařství, sterilizaci medicínského vybavení, nebo defektoskopii v průmyslu.



Obr. 1.3: Kobaltový zářič Co-60.

2 POPIS KONCEPCE KONSTRUKCE

Koncepce návrhu vzdálené laboratoře byla zvolena s důrazem na minimalizaci provozních nákladů a co možná nejjednodušší administraci. Z těchto požadavků vyplynulo, že není možné použít běžný osobní počítač jak z hlediska spotřeby elektické energie, tak z důvodu možného napadení virem. Osobní počítač pak také obsahuje množství pohyblivých částí (ventilátory, pevný disk, ...), které mohou být dalším zdrojem problémů při dlouhodobém provozu.



Obr. 2.1: Koncepce realizace vzdálené laboratoře.

Zvolená koncepce konstrukce vzdálené laboratoře je zachycena na obrázku 2.1. Pro ovládání experimentu a samotné měření je použit jednočipový mikrokontrolér (blok Měřicí/řídící HW rozhraní), který je pomocí ethernetového modulu¹ (blok Převodník na Ethernet) připojen do univerzitního intranetu. Ke univerzitnímu intranetu je připojen také server Ústavu fyziky (blok Web server), ke kterému je možno přistupovat jak z vnitřní sítě tak z veřejné sítě internet. Na tomto serveru je umístěna webová stránka, ke které přistupují uživatelé a prostřednictvím webového rozhraní mohou provádět měření.

Pro zprostředkování náhledu na průběh experimentu je, vzhledem k absenci počítače, použita IP-kamera². IP-kamera je charakteristická tím, že obsahuje vlastní web server a tak je možné ji přímo připojit do sítě internet. Proto je také na diagramu znázorněna její komunikační cesta zvlášť. Podrobnější informace o IP kaměře jsou uvedeny v kapitole 2.3.

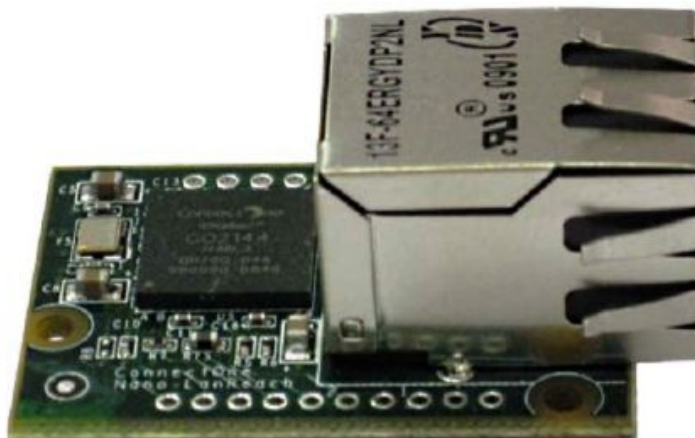
2.1 Ethernetový modul

Ethernetový modul je klíčovou součástí vzdálené laboratoře, protože zajišťuje spojení s uživatelem, prostřednictvím sítě internet. Vybraný model Nano SocketLan

¹ethernet — fyzická vrstva internetového protokolu

²IP-kamera — kamera s vlastním webovým serverem

firmy ConnectOne disponuje velkým množstvím funkcí (viz [5]), ovšem v této aplikaci je použit pouze režim práce, kdy modul připojí Network socket³ na fyzický kanál USART⁴, v dokumentaci modulu zvaný SerialNET. Network socket je identifikován IP adresou a číslem portu. Tento režim je výhodný, protože je vytvořen virtuální USART port, který je obzohován přes Network socket. S Network socketem se pracuje jako s běžným souborem v počítači, takže se (z programátorského hlediska) zjednoduší celá síťová komunikaci na čtení a zapis do souboru. Původně bylo plánováno použití jiného režimu práce, a sice využití modulu jako samostatného webového serveru. Tato varianta ovšem nabízí velmi omezené možnosti zpracování získaných dat a k řízení přístupu uživatelů by bylo nutné opět vytvořit aplikaci pracující na serveru Ústavu fyziky. Bližší informace ohledně konkrétního nastavení ethernetového modulu se nalézají v kapitole 5.2.



Obr. 2.2: Ethernetový modul NanoLan [5].

2.2 Mikrokontrolér

Požadavky na výběr mikrokontroléru, který má obsluhovat experiment a zajišťovat sběr dat, jsou následující:

- USART pro komunikaci s ethernetovým modulem
- časovač pro přesné dodržení doby měření a časování kroků krokového motoru
- čítač impulzů z GM počítače

³Network socket — koncový bod meziprocesového komunikačního toku

⁴USART — Synchronní / asynchronní sériové rozhraní – Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter

- digitální vstupy a výstupy pro řízení krokového motoru a připojení snímačů na posuvu zářiče.

Tyto požadavky splňuje dnes v podstatě jakýkoliv mikrokontrolér. Byl vybrán mikrokontrolér ATmega16, který navíc disponuje dalšími periferiemi a rozhraními standardních sběrnic (viz [9]), které by bylo možno použít pro případné rozšíření stávající konstrukce o další funkce.

2.3 Kamera

Jak již bylo řečeno dříve, pro zajištění vizuálního kontaktu s experimentem je použita IP-kamera. Na parametry kamery nebyly kladeny žádné speciální požadavky, a tak byl zakoupen model TL-SC3130 od firmy TP-Link. Zprovoznění kamery se ukázalo jako poměrně komplikovaný úkol.

Videosignál lze z kamery získat ve formátech MJPG⁵, MPEG-4⁶ a nebo 3gp⁷ (viz [7], [8]). V současné době je pro provoz laboratoře využíváno video ve formátu MJPG, přenášené pomocí http⁸ protokolu.

Nevýhodou tohoto řešení je, že prakticky může sledovat video současně pouze jeden uživatel. Teoreticky je to až 5 uživatelů, ale už při dvou současně připojených užívatelích je video viditelně nespojitě. Kvalita videa, ve smyslu spojitosti, je také velmi závislá na rychlosti internetového připojení uživatele.

Další nevýhodou je, že maximální frekvence snímaného videa je 15 snímků za sekundu, což také přispívá k hoší spojitosti obrazu.

Zásadní nevýhodou je ovšem nulová kompatibilita s internetovým prohlížečem Microsoft Internet Explorer a také nemožnost skrýt fyzickou adresu kamery před uživatelem, která je uvedena přímo ve zdrojovém textu webové stránky a nastavení kamery je tedy chráněno pouze heslem. U většiny ostatních prohlížečů je přehrávání MJPG souborů podporováno, testovány byly Mozilla Firefox, Google Chrome a Apple Safari, nicméně Microsoft Internet Explorer je v našich končinách standartem.

Řešení těchto problémů slibuje použití MPEG-4 videa přenášeného pomocí rtsp⁹ protokolu. Zde je možné použít vyšší hustotu přenosu obrazu, a sice 30 snímků za sekundu. Navíc je přenášeno nižší množství dat díky kompresi formátu MPEG-4. Na webové stránce také nikde nefiguruje fyzická adresa kamery a není tedy žádná možnost se pokoušet o změnu nastavení. Další výhodou tohoto řešení by byla možnost použití přehrávače založeného na technologii Adobe Flash Player.

⁵ MJPG —Motion JPEG - proud obrázků ve formátu JPG

⁶MPEG-4 —Moving Picture Experts Group - norma pro multimediální data

⁷3gp —kontejner pro přenos multimediálních dat

⁸http —hypertext transfer protocol

⁹rtsp —real time streaming protocol

Na druhou stranu má toto řešení jednu velkou nevýhodu a tou je značné zpoždění obrazu (cca 5 s) kvůli nutnosti převádět video z protoklu rtsp na protokol rtmp¹⁰, který je podporován videopřehrávači. S touto záležitostí je navíc spojen ještě další problém, kde se v průběhu práce na projektu ukázalo, že re-streamovací program [15], který byl původně zamýšlen pro použití nezvládne zpracovat video z kamery kvůli použitému rozdílnému codec-u¹¹. Jiný podobný volně dostupný program se nezdařilo nalézt.

V současné době je tedy video z kamery přenášeno ve formátu MJPG a ve webové stránce je umístěn přehrávač [16] využívající technologii JAVA. Je tedy plně kompatibilní se všemi prohlížeči. Nevýhodou tohoto řešení je, že uživatel musí mít nainstalovanu podporu technologie JAVA. Při použití přehrávače, využívajícího technologii Flash, by byla situace obdobná, ovšem tato technologie je sympatičtější co se týče aktualizací a navíc je lépe zkrývá před uživatelem, na rozdíl od technologie JAVA, která se vždy při startu aplikace prozradí svým logem a obvykle je nutné ji pro danou webovou stránku povolit. Podrobnosti ohledně nastavení IP kamery se nachází v kapitole 5.1.



Obr. 2.3: IP-kamera TP-LINK TL-SC3130 [7].

¹⁰rtmp —real time messaging protocol

¹¹codec —compresor-decompresor - program který zakóduje/dekóduje multimediální data při nahrávání/přehrávání

3 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

Vzhledem k charakteru úlohy je nutné, aby byla dodržena souosost a vzájemná úhlová poloha GM trubice a zářiče. Toto je možné zajisti použitím lineárního posuvu. Vzhledem k zářiči, který je k dispozici, dostačuje rozsah pohybu cca 200 mm, přesnost nastavení polohy ± 1 mm. Průzkumem trhu bylo zjištěno, že komerční lineární posuvy jsou, v rámci rozpočtu tohoto projektu, finančně nedostupné. Zbyly tedy pouze dvě možnosti

1. možnost znamenala kompletně vlastní konstrukci,
2. možnost pak využití vyřazeného zařízení, které obsahuje vhodné mechanické prvky.

Po zvážení možností a náročnosti obou možností byla vybrána druhé z možností.

3.1 Souřadnicový zapisovač

Proběhly dvě etapy vývoje. První pokus spočíval v použití souřadnicového zapisovače TESLA TZ 4030, viz obr. 3.1. Toto zařízení mělo výhodu v jednoduchosti nastavování polohy, kde vzhledem k analogovému vstupu stačil pouze DA-převodník¹. Brzy se ovšem ukázaly nedostatky zařízení spočívající v neodstranitelném nedefinovaném chování při zapnutí, což by mohlo představovat problémy při výpadku elektrické energie. Polohu jezdce bylo nutno vždy po zapnutí ručně zkalibrovat. Další problém, kvůli kterému již nebyly blíže zkoumány příčiny předchozího zmiňovaného a hledalo se jiné řešení, byla značná produkce odpadního tepla a tedy velká spotřeba elektrické energie.

3.2 Posuv z tiskárny

Dosavadní finální řešení spočívá ve využití dílů mechaniky posuvu tiskových kazet z inkoustové tiskárny HP610. Při odstrojení krycích plastů ovšem nebylo kam přimontovat GM trubici a tak byl z dřevotřísky vyroben základní rám, na který byly osazeny komponenty vedení a pohonu vozíku z výše zmíněné tiskárny. Mechanickou konstrukci je možné vidět na obrázku obr. 3.2, kde na levé straně je napínací mechanismus ozubeného řemene a na pravé straně motor s převodovým mechanismem.

Získaná tiskárna měla poškozený optický inkrementální snímač polohy, který je při použití stejnosměrného kartáčového motoru nezbytný, pro zjišťování polohy vozíku. Protože se nepodařilo získat náhradu za tuto součástku, byl stávající motor

¹digitálně—analogový převodník

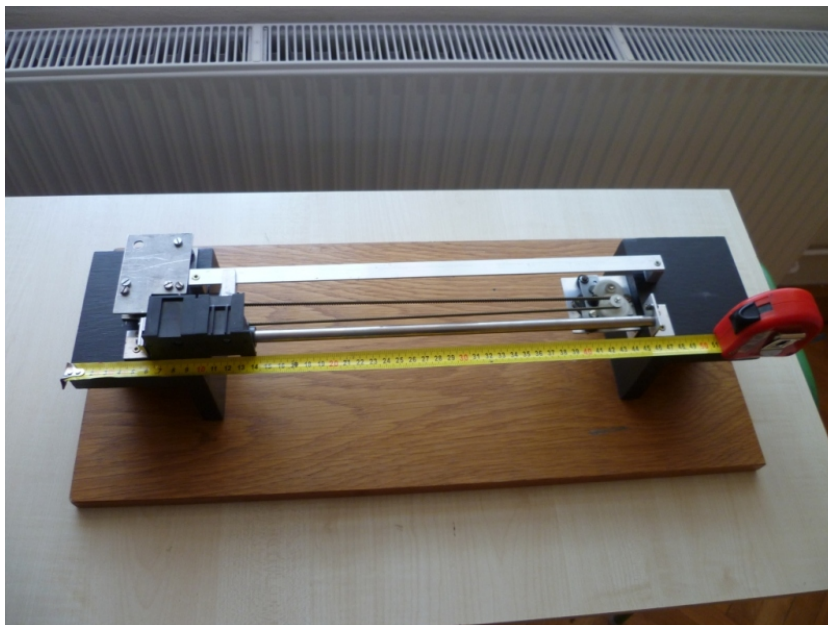


Obr. 3.1: Souřadnicový zapisovač TESLA TZ4030.

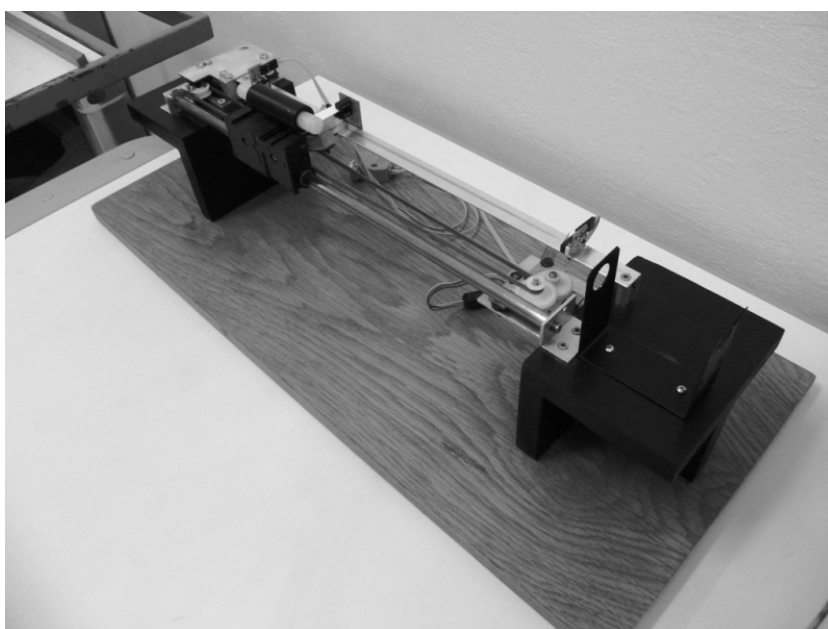
nahrazen krokovým motorem ze scanneru, od stejného výrobce. Výrobce byl dodržen záměrně kvůli kompatibilitě ozubení. Při použití krokového motoru je možné odhadovat uraženou vzdálenost podle počtu kroků. Přesnost odhadu je tím vyšší, čím lépe jsme schopni zajistit, že nedojde k přeskočení kroku. Vzhledem k tomu, že motor není fakticky zatížen, ale pouze překonává pasivní odpory v uložení ozubeného řemene a v převodech, můžeme předpokládat, že k přeskočení kroku nedojde. Tento předpoklad je navíc podpořen v ovládacím programu tím, že při každé změně uživatele je posuv kalibrován. Výměna původního motoru za krokový měla negativní vliv na rychlost posuvu, nicméně i tak zůstává rychlost posuvu dostatečná.

3.3 Finální podoba mechanické konstrukce

K dokončení mechanické části konstrukce bylo nutné osadit posuv koncovými spínači (viz kapitola 4.4) a snímačem referenční polohy (viz kapitola 4.5). Na jednu stranu posuvu byla také nainstalována GM trubice. V neposlední řadě byla též dokončena povrchová úprava hliníkových a ocelových částí zařízení. O tyto finální úpravy se postaral pan Miroslav Sadovský z Ústavu fyziky.



Obr. 3.2: Lineární posuv instalovaný na rámu z dřevotřísky.



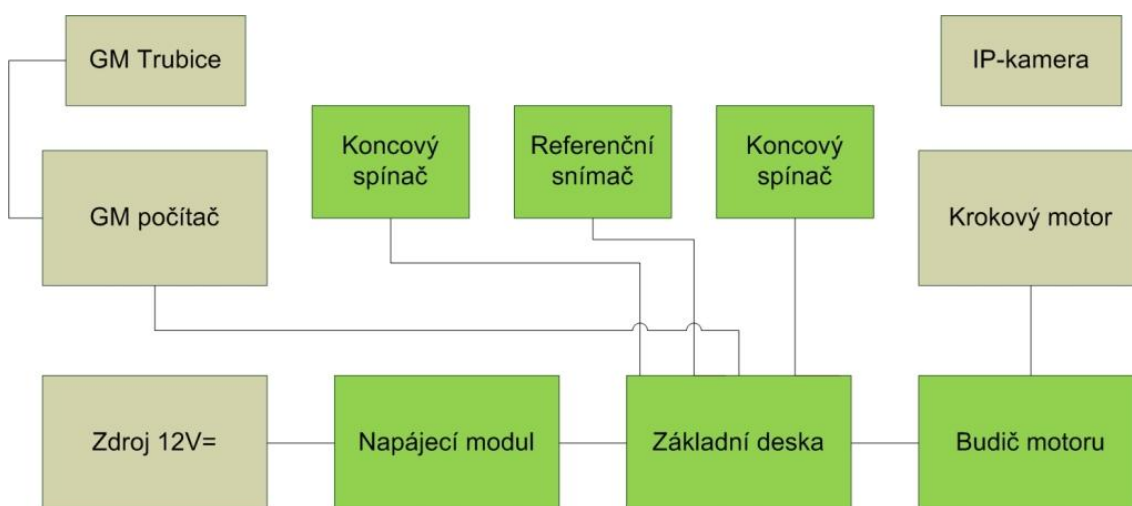
Obr. 3.3: Finální podoba mechanické konstrukce.

4 ELEKTRONICKÁ KONSTRUKCE

Elektronické vybavení vzdálené laboratoře je koncipováno jako modulární systém. Samostatná DPS¹ by vycházela poměrně velká a také by při případné poruše nebo chybě musela být vyráběna celá deska znovu. Při tomto stylu konstrukce stačí vyměnit pouze konkrétní porouchaný modul. Hlavními požadavky na konstrukci byla spolehlivost, bezpečnost a co nejnižší spotřeba elektrické energie. Pro splnění požadavků spolehlivosti a bezpečnosti byl kladen důraz na chlazení exponovaných součástí, dimenzování výkonových cest a vodičů a na zajištění bezpečného klidového stavu zařízení (motorem neteče po zapnutí proud bez odblokování mikroprocesorem, apod.). Pro minimalizaci spotřeby elektrické energie byl pro napájení logické části zařízení (+5 V) použit spínaný stabilizátor místo lineárního.

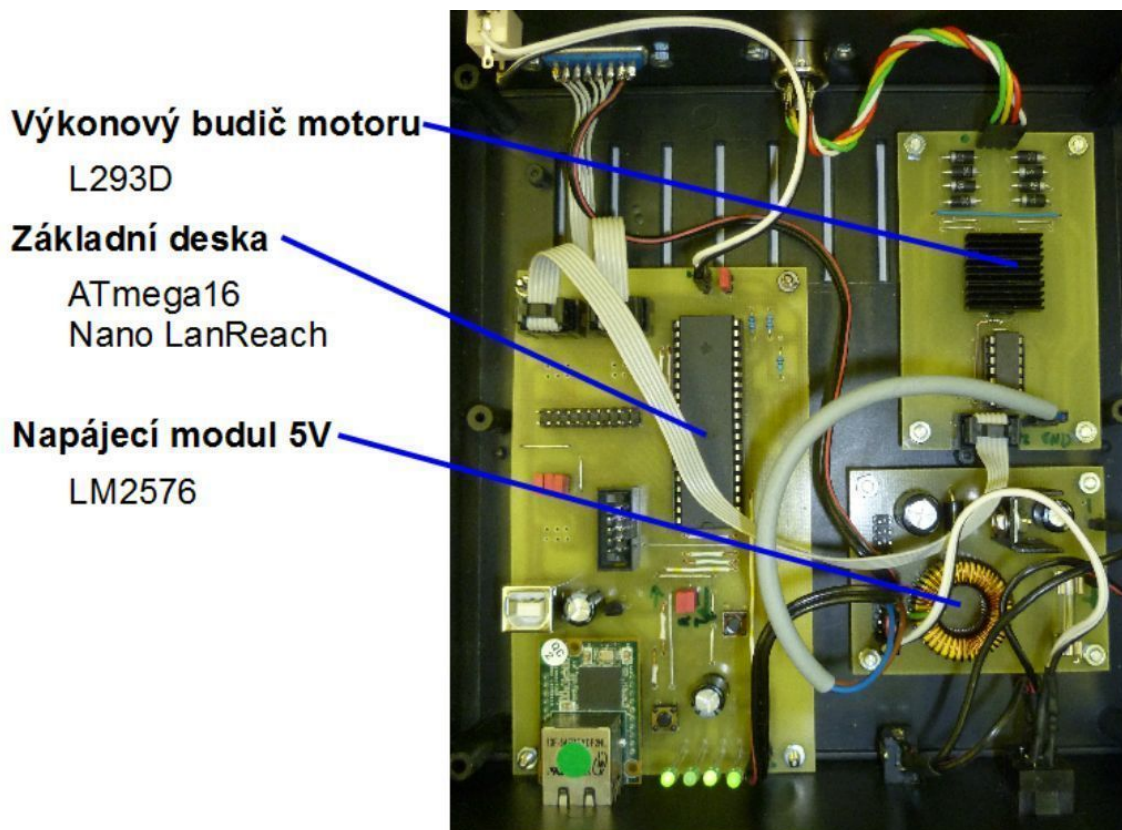
Nejdříve bylo zapojení ověřeno na kontaktním poli. DPS byly vyráběny postupně, až když se zapojení dostalo do finální podoby, nebo alespoň do podoby na které již nebylo nutné provádět změny. Blokové schéma na obr. 4.1 zachycuje strukturu elektronického vybavení vzdálené laboratoře. Bloky vyvedené v šedé barvě reprezentují nakupované zařízení, zelené pak vyráběné. Elektronické moduly, u kterých to bylo možné, jsou instalovány v plastovém boxu. Rozmístění jednotlivých desek je znázorněno na obr. 4.2. Box je osazen potřebnými konektory ze přední i zadní strany (viz obr. 4.3 a obr. 4.4).

Všechny DPS byly navrženy pomocí programu Eagle 5.6.0. V příloze je uvedena příslušná dokumentace pro výrobu a osazení DPS, navíc jsou všechny zdrojové soubory, vytvořené v programu Eagle, obsaženy na přiloženém disku CD.



Obr. 4.1: Blokové schéma elektronického vybavení vzdálené laboratoře.

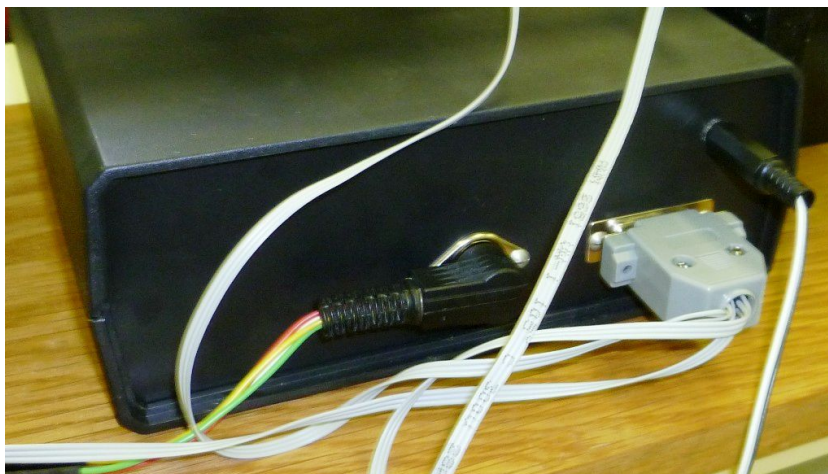
¹DPS—deska plošného spoje



Obr. 4.2: Box s elektronikou vzdálené laboratoře.



Obr. 4.3: Přední strana boxu - z levé strany konektor pro Ethernet, napájecí konektor a vypínač s indikací zapnutí.



Obr. 4.4: Zadní strana boxu - z levé strany konektor pro připojení krokového motoru, konektor snímačů posuvu, konektor GM čítače.

4.1 GM čítač

Pro měření pomocí GM trubice je využíván tovární výrobek firmy PHYWE, který zajišťuje napájení GM trubice a předpřipravuje impulsy na napěťové úrovni vhodné pro řídicí mikrokontrolér, kde jsou čítány a dále zpracovávány. Pro tento účel byl přístroj vybaven konektorem CANNON 9 na který byl vyveden výstup impulsů (viz obr. 4.5).



Obr. 4.5: GM čítač.

4.2 Zdroj

K napájení zařízení je zapotřebí 12 V větev pro napájení krokového motoru a 5 V větev pro ostatní elektroniku. Pro napájení ethernetového modulu je nutná ještě 3,3 V větev, ta je ale vzhledem k nízké spotřebě modulu (130mA, max.150 mA viz [5]) zajištěna lineárním stabilizátorem LF33, umístěným přímo na základní desce poblíž modulu.

Jako zdroj 12 V napětí je použit komerčně vyráběný spínaný zdroj 12 V/4 A (viz obr. 4.6), který odděluje zařízení od rozvodné sítě. Následuje modul stejnosměrného snižujícího spínaného měniče s regulátorem LM2576. Zapojení je převzato z katalogového listu integrovaného obvodu [13], pouze je doplněno o pojistku a konektory. Kompletní schéma je uvedeno v příloze na obr. A.1, kde konektor J1 reprezentuje vstup ze zdroje 12 V a konektory SV1 a SV2 jsou výstupy.



Obr. 4.6: Spínaný zdroj 12 V/4 A.

4.3 Základní deska

Základní deska (viz schéma v příloze na obr. A.3) obsahuje mikrokontrolér ATmega16, ethernetový modul Nano SocketLAN a konektory pro připojení ostatních modulů. Jsou zde vyvedeny i některé nevyužité periferie mikrokontroléru, kvůli podpoře budoucích rozšíření projektu (port A s AD-převodníkem, TWI a SPI sběrnice, pro programování také ICSP a odposlouchávací odbočka rozhraní USART).

Spojení ethernetového modulu s mikrokontrolérem je realizováno přes třístavový budič sběrnice 74HCT125, protože je nutné vytvořit přechod mezi 3,3 V a 5 V logikou. Toto řešení je poměrně elegantní, protože vyžaduje minimální množství

externích součástek a je jím možno vytvořit obousměrný převodník. Jedno hradlo je též využito pro spojení vývodů reset mikrokontroléru a komunikačního modulu. Pro možnost vyvolání resetu uživatelsky je na desce také tlačítko RESET.

Ethernetový modul má navíc vlastní tlačítko, kterým je možno uvést jej do základního pracovního módu, což může být výhodné při chybném nastavení parametrů (více v 5.2).

Vstup GM počítače je osazen zenerovou diodou pro úpravu úrovně signálu a Schmittovým invertorem pro natvarování vstupního signálu.

4.4 Koncové spínače

Koncové spínače (viz schéma v příloze na obr. A.4) jsou osazeny elektronikou pro indikaci sepnutí a připojeného napájení pomocí LED² diod. Připojení napájecího napětí je indikováno zelenou, sepnutí pak červenou LED diodou. Tato úprava zjednodušuje ladění programu a umožňuje rychlé rozeznání porouchaného spínače.

4.5 Snímač referenční polohy

Základem snímače referenční polohy (viz schéma v příloze na obr. A.2) je optočlen TCST1103 - pár infračervené LED diody a optotranzistoru. Na vozíku lineárního posuvu je připevněno stínítko o definovaných rozměrech, čehož se využívá při kalibraci posuvu (viz 5.5). Stejně jako koncové spínače, i tento snímač je vybaven indikací provozních stavů LED diodami.

4.6 Modul budiče krokového motoru

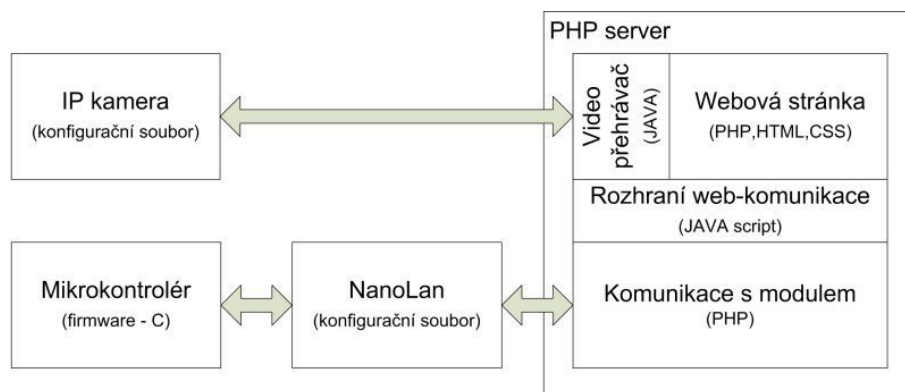
Tento modul je navržen na základě H-můstku L293 [14] (viz schéma v příloze na obr. A.5). Pro redukci řídicích linek je navíc použit logický invertor 74HCT04 - kladný směr proudu vinutím odpovídá jedné logické úrovni na řídicích linkách A, B a opačný směr proudu druhé. Jestli bude daná cívka motoru napájena, nebo ne, je voleno pomocí ALLOW linek. Modul navíc obsahuje společný blokovací vstup DISABLE - logickou úrovní 0 na tomto vývodu dojde k zablokování provozu krokového motoru. Tato funkce může být výhodná při použití více krokových motorů, zejména pokud jsou sdíleny řídicí linky.

Modul dále obsahuje rekuperační diody pro pohlcení špičkového proudu při spínání (rep. rozpínání) indukční zátěže - cívek motoru.

²LED—light emitting diode — svítivá dioda

5 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Do této kapitoly jsou zahrnuty kromě dokumentace samotných zdrojových kódů také klíčové parametry, které je zapotřebí nastavit na použitých zařízeních — IP kameře a ethernetovém modulu. Na obrázku obr. 5.1 je znázorněna struktura programové vybavení vzdálené laboratoře. Pod názvem každého bloku je uvedena technologie, která byla použita. V následujících částech jsou popsány jednotlivé části programového vybavení.



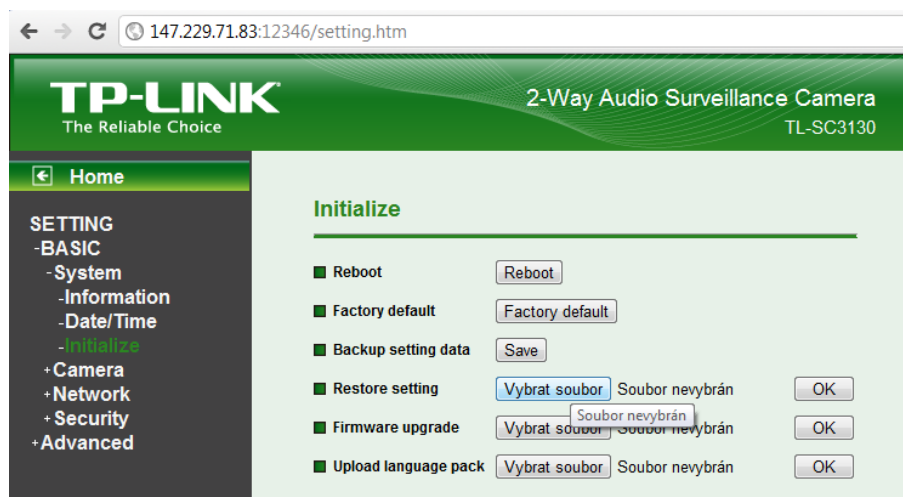
Obr. 5.1: Diagram programového vybavení vzdálené laboratoře.

5.1 Nastavení IP kamery

Nastavení IP kamery bylo provedeno pomocí internetového prohlížeče (viz [7], [8]). Nejprve bylo změněno administrátorské jméno a heslo, následovalo přsměrování portu 80 protokolu http na port 12346 a poslední nastavení spočívalo v nastavení obnovovací frekvence MJPG videa na 15 snímků za sekundu a rozlišení videa na 640×480 pixelů.

Kompletní nastavení je uloženo v konfiguračním souboru, který se nachází na příloženém CD. Na CD je uloženo i heslo a administrátorské jméno, nutné pro změnu nastavení kamery. Obrázek obr. 5.2 zachycuje obrazovku webového rozhraní pro nahrání konfiguračního souboru do kamery.

S tímto nastavením je kamera připravena k provozu. Obecné informace o IP kameře se nachází v kapitole 2.3.



Obr. 5.2: Webové rozhraní pro nahrání nastavení do kamery.

5.2 Nastavení ethernetového modulu

Pro přepnutí modulu do serverového režimu SerialNET [6] (ethernetový modul se chová jako server) je nutné provést nastavení pospané níže. V tomto režimu práce ethernetový modul vytvoří Network socket a naslouchá na nastaveném portu. Pokud jsou na Network socket posnána data, ethernetový modul je předá na kanál USART. Pokud přijdou data opačným směrem (z USART), jsou uložena do bufferu a čeká se na splnění některé z podmínek pro odeslání:

- byl přijat předdefinovaný počet znaků (proměnná MCBF)
- přijatý počet znaků dosáhl maximální velikosti TCP/IP packetu
- byl přijat předdefinovaný odesílací znak (proměnná FCHR)
- nebyl přijat další znak po nastavenou dobu (proměnná MTTF)

V současné verzi firmware je využito poslední možnosti.

Nastavení je možno provádět přes USART pomocí jakéhokoliv univerzálního terminálového programu, nebo je možno použít konfigurační program, který je volně ke stažení na stránkách firmy ConneOne. Zde uvedený postup nastavení je použitelný pro terminálový program, ale jména proměnných v konfiguračním programu si odpovídají. Podrobnější popis a další možnosti nastavení je možné najít v [6]. Zpráva odesílaná přes terminál musí být zakončena znakem ASCII abecedy {CR}.

Pro nastavení parametrů je nutné přepnout modul do základního režimu práce. Toto přepnutí je možné provést dvěma způsoby

- při zapínání napájení se přidrží tlačítko MDSEL (viz kapitola 4.3) po dobu kratší než 5 s,
- nebo je na sběrnici USART 0,5 s bez komunikace následováno sérií +++.

Po této proceduře je možné přes USB konektor, nebo USART (konektor JP2 pin 3-Tx, 1-Rx na základní desce viz C.6) provést nové nastavení parametrů ethernetového modulu.

Nejprve specifikujeme použitý internetový protokol TCP:

```
at+iSTYP=0{CR}
```

Dále jsou nastaveny parametry kanálu USART (baudrate 57600, 8bit zpráva, no parity, 1 stopbit, no dataflow control):

```
at+iSNSI=8,8,N,1,0{CR}
```

Nastavení časového limitu pro odesílání dat (na 1ms):

```
at+iMTTF=1{CR}
```

Nastavení čísla portu, který bude používán ke komunikaci:

```
at+iLPRT=12345{CR}
```

A nakonec je vyslán příkaz pro připojení modulu do sítě internet:

```
at+i!SNMD{CR}
```

5.3 Komunikační protokol

Pro komunikaci mikrokontroléru s webovou aplikací bylo nutno navrhnout vysokoúrovňový (uživatelský) komunikační protokol, který specifikuje formát zprávy a pravidla pro odesílání a přijímání zpráv. Tento protokol existuje nad protokolem nižších úrovní, které se liší podle použitého komunikačního rozhraní (USART, TCP/IP¹, pod.).

Navržený protokol je master-slave, kde slave je mikrokontrolér, takže na každou příchozí zprávu odpovídá odchozí zprávou. Pokud je právě vykonávána nějaká operace odpovídá zprávou o zaneprázdnění a příchozí zpráva není dále zpracovávána, s výjimkou příkazu STOP, nebo dotazů na stavy aktuálních hodnot proměnných polohy při posuvu a hodnot čítače při čítání. Po dokončení operace je nastavena zpráva o kladném či záporném výsledku operace, kterou se reaguje na novou příchozí zprávu. Až po jejím odeslání je mikrokontrolér připraven zpracovávat nové zprávy. Číselné parametry jsou odesílány v dekadickém formátu a až na hodnotu čítače impulsů jsou odesílány s jedním desetinným místem, bez oddělovače. Například číslo 100,1 je přenášeno jako 1001.

Formát příchozí zprávy:

```
#[klíčové slovo] [řídící symbol] [parametr]$
```

Parametr se vyskytuje pouze ve spojení s řídicím symbolem přiřazení =.

Formát odchozí zprávy:

¹Transmission Control Protocol / Internet Protocol

- přiřazení vpořádku — vrací celou zprávu tak jak byla přijata
- neznámý příkaz/špatný formát zprávy —#[přijaté klíčové slovo]@B\$
- zaneprázdněn —#[vykonávaný příkaz] [@U\$
- kladný výsledek příkazu —#OK@U\$
- záporný výsledek příkazu —#KO@U\$
- odpověď na #?\$, pokud není prováděn žádný příkaz (jinak viz zaneprázdněn) —#@\$
- odpověď na #[klíčové slovo]?\$, pokud je klíčové slovo název proměnné —#[klíčové slovo]=[hodnota]\$

Řídící symboly:

- ! — příkaz
- ? — dotaz na hodnotu proměnné
- = — změna hodnoty proměnné
- @ — odpověď na příkaz

Klíčová slova:

- STOP — zastaví provádění vykonávaného úkolu
- RESET — uvedení do stavu po zapnutí
- REBOOT — vyvolá reset mikrokontroléru
- MOVE — pokud jsou splněny podmínky pro provoz posuvu, nastaví se na požadovanou polohu
- MEAS — pokud jsou splněny podmínky pro měření, začne čítání impulsů
- CNT — aktuální hodnota čítače, eventuálně předchozí změřený výsledek
- NTIME — proměnná pro nastavení doby čítání
- TIME — aktuální nastavená doba čítání
- NPOS — nová žádaná pozice posuvu
- POS — aktuální pozice posuvu, eventuálně pozice předchozího měření

Provozní stavy:

- STOP — vše zastaveno (možný návrat pouze pomocí RESET)
- MOVE — nastevování posuvu na požadovanou polohu
- MEAS — čítání impulsů
- CAL — probíhá kalibrace posuvu
- IDLE — žádný úkol

Speciální zprávy:

- START! — zajistí spuštění příkazů pro MOVE a MEAS bezprostředně po sobě
- REP! — vrátí stav všech provozních registrů

5.4 Firmware mikrokontroléru

Pro vývoj programu pro mikrokontrolér byl použit jazyk C s využitím balíku WinAVR, který obsahuje všechny nutné součásti pro vývoj software pro mikrokontroléry Atmel AVR, zejména kompilátor a základní sadu knihoven nutnou pro práci v jazyce C. Podrobné informace o tomto softwarovém balíku je možné nalézt v [10]. Nahrávání programu do mikrokontroléru bylo prováděno pomocí ICSP programátoru USBasp [17]. Díky podpoře toho programátoru vývojovým prostředím je možné jedním kliknutím nahrávat nový program do mikrokontroléru, což značně urychluje práci.

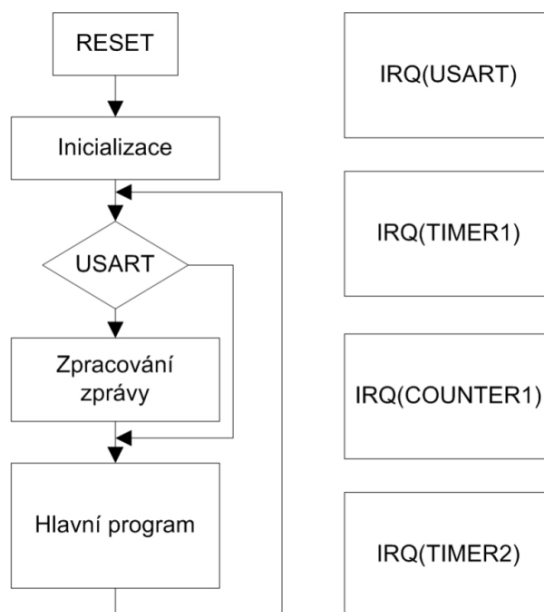
Při testování firmware byl nejprve používán převodník USB -> USART s obvodem FT232RL [18] a terminálového programu [19]. Tento terminálový program je výhodný, protože umožňuje uložit několik předdefinovaných zpráv, které je později možno odesílat stiskem tlačítka, čímž se ušetří oproti standardnímu programu Hyperterminal hodně zbytečného opisování.

Celý projekt je rozdělen do několika zdrojových souborů podle periférie, ke které náleží (timer.c, usart.h, ...). Hlavní část programu se nachází v souboru main.c, který je s ostatními zdrojovými soubory propojen hlavičkovým souborem global.h. Všechny zdrojové soubory i výsledný skopmilovaný soubor pro nahrání do mikrokontroléru se nachází na přiloženém CD.

Strukturu firmware mikrokontroléru zachycuje vývojový diagram na obr. 5.3. Levý sloupec představuje hlavní větev programu, pravý sloupec pak přerušení. V přerušení od USART se pouze přijímají znaky z kanálu USART a až je zpráva kompletní, nastaví se příznak a samotné zpracování přijaté zprávy se provede až v hlavní větvi programu. Pokud je přijata kompletní zpráva, nejsou přijímány další znaky, dokud není zpracována. Časovač 1 (TIMER1) je použit pro časování kroků krokového motoru, Čítač 1 (COUNTER1) pak pro čítání impulsů z GM počítáče. Časovač 2 (TIMER2) je použit pro odpočítávání doby měření.

Hlavní program obsahuje vlastní program, resp. skupinu podprogramů, kde probíhá inicializace periférií, které pak vyvolávají přerušení. Po každém průchodu těla podprogramu se kontroluje zda nepřišla zpráva z kanálu USART.

Zpracování přijaté zprávy je provedeno standardně - nejprve proběhne kontrola formátu přijaté zprávy, pokud proběhne v pořádku, následuje rozpoznání příkazu. Současně s rozpoznáním příkazu je provedena inicializace pro danou úlohu a v hlavní části programu jsou pak pouze části kódu, které je nutno vykonávat opakovaně. Inicializace obsahuje nastavení vstupně výstupních portů mikrokontroléru, resetu proměnných a končí kalibrací posuvu, která bude popsána v následující kapitole 5.5.



Obr. 5.3: Vývojový diagram firmware mikrokontroléru.

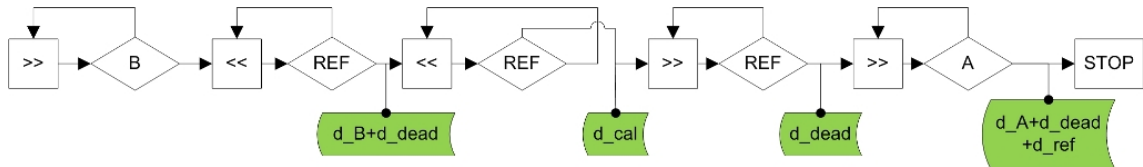
5.5 Automatická kalibrace posuvu

Při použití krokového motoru odpadá nutnost použití snímače polohy, ovšem po zapnutí je nutné provést kalibraci, pro určení definované polohy. Pro automatickou kalibraci je nutné mít alespoň jeden referenční bod (se známou referenční vzdáleností) a kalibrační plošku o definovaných rozměrech (v tomto případě stínítko).

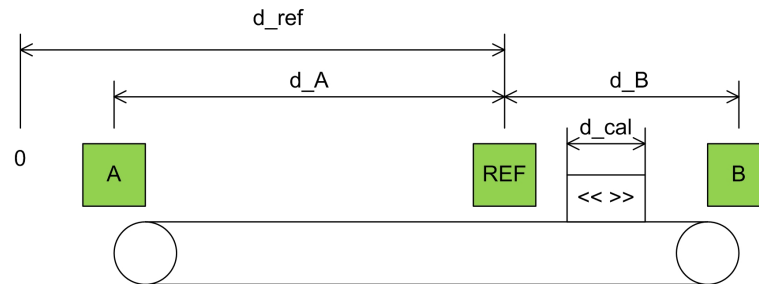
Implementovaný algoritmus (viz obr. 5.4) navíc ještě ověřuje fyzické hranice pracovní oblasti, což ovšem není nevyhnutelně nutné. Teoreticky by stačilo znát vzdálenosti koncových bodů od referenčního a z kalibrační konstanty hranice dopočítat. Kalibrační konstantu získáme „měřením“ délky kalibrační plošky. Celá kalibrace by mohla být zjednodušena na pouhé nalezení referenčního bodu a ostatní parametry by mohly být nastaveny jako konstanty. Vzhledem k požadavku na co nejjednodušší údržbu je vhodné, aby se posuv dokázal nakalibrovat sám i při výměně motoru, což by v předchozím zmíněném případě nemuselo správně fungovat, obzvláště pokud by měl nový motor jiný počet kroků na otáčku.

V poslední verzi programu musí být pouze při výměně motoru dodržen sled fází tak, aby se pohyboval na stejnou stranu jako původní motor.

Na vývojovém diagramu z obr. 5.4 jsou v zelených blocích zobrazeny hodnoty získané při kalibraci. Tyto hodnoty jsou následně přepočítány do absolutního měřítka pomocí známé vzdálenosti referenčního bodu (d_{ref}) od GM trubice, která je na obrázku obr. 5.5 znázorněna jako bod 0. Vůle v převodech se uplatňuje při změně směru pohybu a její velikost reprezentuje proměnná d_{dead} .



Obr. 5.4: Vývojový diagram automatické kalibrace posuvu.



Obr. 5.5: Schéma posuvu.

5.6 Webová aplikace

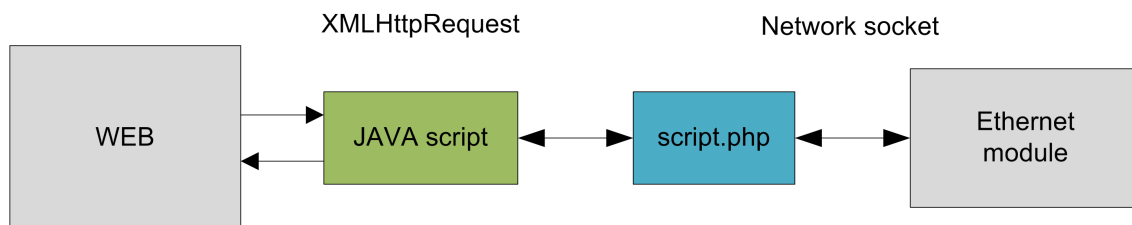
Webovou aplikací je myšlen soubor bloků z obr. 5.1, které zastřešuje PHP server. Tato část programového vybavení umožňuje uživateli obsluhovat vzdálenou laboratoř a slouží k prezentaci výsledků měření. Z diagramu na obrázku je patrné, že programové vybavení okolo IP kamery je samostatná část webové stránky. Při načtení stránky je provedena detekce typu internetového prohlížeče a pokud uživatel nepoužívá některý z prohlížečů které podporují přehrávání videa bez dalších doplňků (Firefox, Safari, Chrome), je spuštěn přehrávač Cambozola (zmiňovaný v sekci 2.3). Video je ve stránce vloženo pouze jako komponenta a není na stránce nijak závislé, ani zbytek stránky na něm. Přehrávač Cambozola využívá technologie JAVA.

Při klasické stavbě webu je nutné vždy při odesílání dat na server obnovit celou stránku, což je pomalé a náročné na přenesená data, proto zde byla použita technologie AJAX². Díky této technologii je možné provádět komunikaci s modulem vzdálené laboratoře na pozadí a obnovovat pouze tu část stránky, ve které se mění příslušná data. Například při pohybu vozíku je v přednastavených časových intervalech obnovována poloha vozíku, nebo při měření počet načtených impulzů.

Mechanismus přenosu dat mezi modulem a webem je zobrazen na vývojovém diagramu viz obr. 5.6. Nejprve je pomocí JAVA Scriptu vytvořen XMLHttpRequest, což je obálka, která zajišťuje celou komunikaci na pozadí. Z něj se spustí PHP script, který se připojí na Network socket ethernetového modulu a zahájí komunikaci. Po

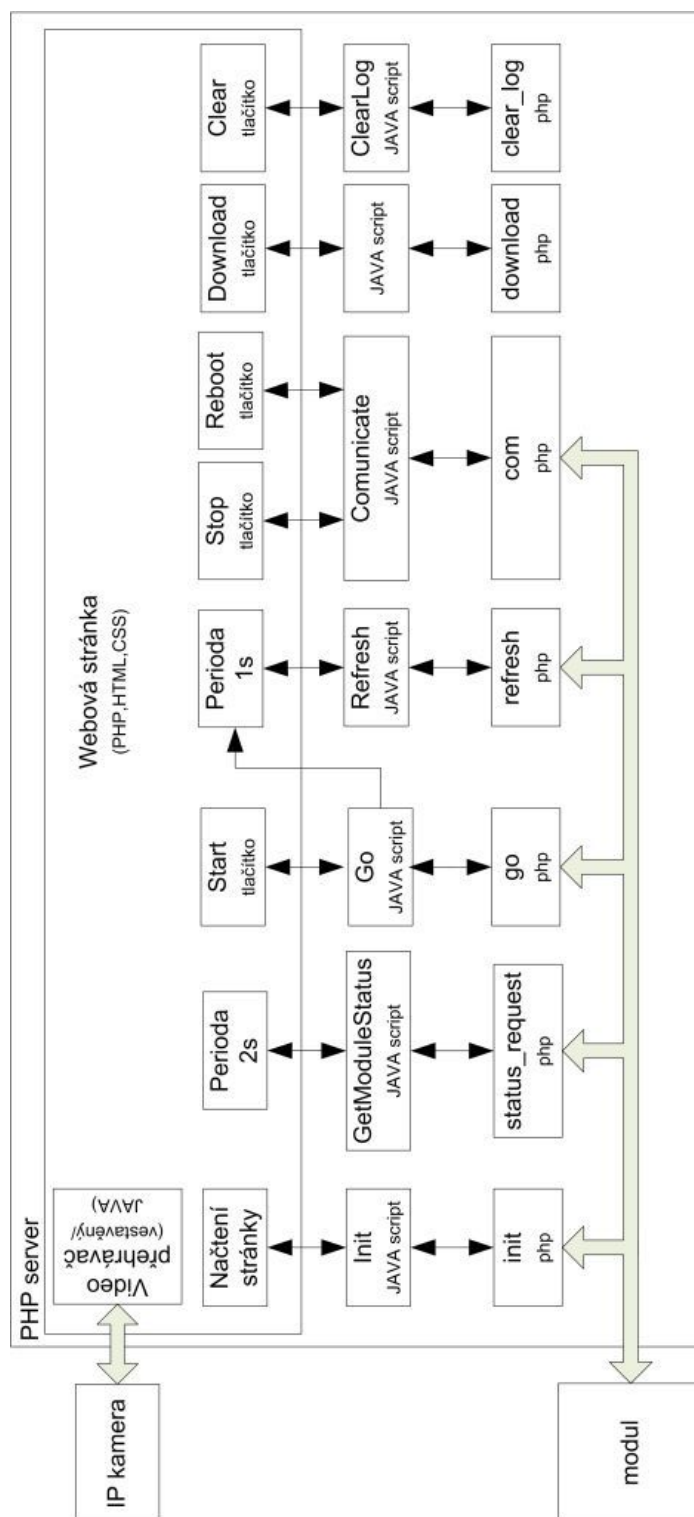
²AJAX — Asynchronous JavaScript and XML

dokončení php scriptu indikovaném změnou stavu XMLHttpRequest-u je spuštěna funkce JAVA Scriptu, která provede změnu obsahu HTML stránky a celá operace končí. Komunikace je takto komplikovaná, protože z JAVA Scriptu není možné obsluhovat Network socket-y přímo a je tedy nutný přechod přes PHP.



Obr. 5.6: Vývojový diagram funkce technologie AJAX.

Pro různé opravy je vytvořeno několik XMLHttpRequest-ů a příslušných php scriptů viz obr. 5.7. Například pro zjištění stavu zařízení se periodicky po 2 s vytváří požadavek a spustí se příslušný php skript. Po přijetí (případně nepřijetí) dat z modulu je na webové stránce změněn stav zařízení. Obdobná situace platí i pro ostatní požadavky, pouze nemusí být vytvářeny periodicky, ale jako reakce na uživatelský vstup. Kompletní zdrojové soubory k webové aplikaci jsou uloženy na příloženém CD.



Obr. 5.7: Vývojový diagram funkce webové aplikace.

6 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ

6.1 Popis servisního rozhraní

Pro ladění komunikace byl nejprve vytvořen nástroj, kde bylo možno sledovat přímo odpovědi komunikačního modulu na odchozí zprávy. Je zachycen na obrázku obr. 6.1. Toto rozhraní je zachováno pro administrátory i nadále a v případě potíží s funkcí vzdálené laboratoře či pozdějších úpravách může být opět využito. V pravém ovládacím panelu jsou umístěna tlačítka pro všechny implementované příkazy a je zde také vstupní pole pro libovolný, uživatelem zadaný, příkaz.

6.2 Popis uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní představuje webová stránka, která se může vyskytovat ve 2 variantách dle aktuálního režimu práce. První varianta (obr. 6.2, obr. 6.5) je zobrazena uživateli pokud je vzdálená laboratoř v klidovém stavu (STATUS: IDLE) - neprobíhá měření. Pokud je spuštěno měření (obr. 6.4, obr. 6.3), webová stránka má jiné ovládací prvky vzhledem ke změněnému pravému panelu.

Interaktivní prvky tedy jsou:

- status pole - napravo nad ovládacím panelem - zobrazuje aktuální stav modulu,
- vstupní pole distance a time - ovládací panel vklidu - nastavení vzdálenosti a doby měření,
- výstup count a time left - ovládací panel při měření - zobrazení aktuální pozice vozíku a aktuálního počtu impulzů,
- tlačítko start - ovládací panel - start měření,
- tlačítko stop - ovládací panel - přerušování probíhající činnosti,
- tlačítko reboot - ovládací panel - tvrdý reset zařízení (stejná funkce jako zapnutí a vypnutí napájení),
- rám videa,
- pole výpisu naměřených hodnot - pod videem,
- tlačítko download - pod výpisem naměřených hodnot - stažení naměřených dat,
- tlačítko clear - pod výpisem naměřených hodnot - smazání naměřených dat.

Po přihlášení uživatele na webovou stránku dojde k resetu zařízení a nastavení vozíku do referenční polohy. Měření je odstartováno pomocí tlačítka start. V případě, že jsou zadány chybné hodnoty, je uživatel upozorněn vyskakovacím oknem a měření není spuštěno. Měření není spuštěno také pokud se zařízení nenachází v klidovém stavu (STATUS: IDLE). Naměřená data jsou ukládána do souboru pod

REMOTE LABORATORY TERMINAL

VIDEO



LOG FILE

```
2012-05-18 08:57:42 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 08:57:41 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 08:09:15 IN: #POS7$ | OUT: #POS=2505$
2012-05-18 08:09:07 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 02:17:02 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 02:17:00 IN: #7$ OUT: NO CONNECTION
2012-05-18 02:17:00 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 02:16:35 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 02:15:29 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 02:15:28 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 02:06:54 IN: #7$ OUT: #0$
2012-05-18 01:52:45 IN: #7$ OUT: NO CONNECTION
```

CLEAR **DOWNLOAD**

TERMINAL

Output

input:

output:

Input

#message\$ **SEND**

STOP

COMPLETE

STATUS\$

IMPULSE COUNT

START CYCLE

START COUNTER

10 1 - 180 s

SET TIME

TIME PRESET ?

TIME REMAIN ?

POS. PRESET ?

50 10 - 250 mm

SET POSITION

POSITION ?

MOVE

REFERENCE

CALIBRATE

RESET

REBOOT

SET REPORT

RES REPORT

REPORT ?

60 s

SET TIMEOUT

TIMEOUT ?

Copyright © UFYZ VUT, 2012

Obr. 6.1: Servisní rozhraní.

přihlašovací jménem uživatele, který zůstává na serveru i po zkončení měření. Je tak zajištěno, že uživatel nepřijde o svá data ani při přerušení spojení. Data je možno kdykoliv v průběhu měření uložit nebo smazat.

V aktuálním stavu je zařízení spuštěno pouze pro interní testování a samotná stránka není uzavřená pod přihlašování do informačního systému. Není tedy implementováno žádné omezení přístupu, předávání řízení nebo omezení času stráveného u pokusu. Tato problematika je vázána na přihlašovací systém a bude muset být realizována dle požadavků pro finální nasazení.

6.3 Typický provozní cyklus vzdálené laboratoře

Výchozím stavem každého měření je vozík s izotopem v poloze nastavené z předchozího měření, s výjimkou nového přihlášení do laboratoře nebo poruchy. Například na obrázku obr. 6.2 je vozík ve vzdálenosti 220mm od detektoru a předchozí měření probíhalo po dobu 10s. Tyto údaje jsou patrné i z výpisu naměřených hodnot pod videem. Pokud je vzdálená laboratoř v klidovém stavu (STATUS: IDLE), je možno začít další měření. Pokud tomu tak není, je možno resetovat zařízení prostým obnovením stránky, nebo (pokud první řešení selže) použít tlačítko REBOOT, které zajistí restart mikrokontroléru. Tlačítko STOP zastaví vykonávání posledního příkazu a uvede zařízení do klidového stavu (STATUS:IDLE).

Po nastavení doby měření, vzdálenosti a odstartování měření tlačítkem START začne přesun zářiče na udanou polohu (obr. 6.3). Vzdálená laboratoř přechází do stavu změny polohy (STATUS: MOVING). Každou sekundu je obnovován údaj o poloze vozíku.

Po dosažení nastavené vzdálenosti přejde webová stránka do stavu čítání impulzů (STATUS: MEASURING) (obr. 6.4). Při čítání je obnovován údaj o aktuálním počtu načtených impulzů a probíhá odpočítávání zbývajících doby měření.


S dokončením měření dojde k zápisu naměřených hodnot do souboru a zobrazí nového řádku ve výpisu naměřených hodnot pod videem (obr. 6.5). Soubor s naměřenými hodnotami je možno uložit tlačítkem DOWNLOAD, a/nebo smazat tlačítkem CLEAR.

Pokud všechno proběhlo v pořádku, laboratoř se nachází v klidovém stavu (STATUS:IDLE) a je tedy možno pokračovat v měření opakovaním výše popsaného cyklu.

REMOTE LABORATORY

STATUS: IDLE

VIDEO



CONTROL PANEL

Time
10 1 - 180 s

Distance
220 10 - 250 mm

START

STOP **REBOOT**

OUTPUTS

```
2012-05-17 12:35:14 | DISTANCE: 220 mm | TIME: 10 s | COUNT: 5
2012-05-17 12:34:40 | DISTANCE: 50 mm | TIME: 10 s | COUNT: 52
```

CLEAR **DOWNLOAD**

Copyright © UFYZ VUT, 2012

Obr. 6.2: Webová stránka - klidový stav.

REMOTE LABORATORY

STATUS: MOVING

VIDEO



CONTROL PANEL

Output

Position: 183 mm

Count: 0

Time left: 10 s

STOP **REBOOT**

OUTPUTS

```
2012-05-17 12:35:14 | DISTANCE: 220 mm | TIME: 10 s | COUNT: 5  
2012-05-17 12:34:40 | DISTANCE: 50 mm | TIME: 10 s | COUNT: 52
```

CLEAR **DOWNLOAD**

Copyright © UFYZ VUT, 2012

Obr. 6.3: Webová stránka - změna polohy.

REMOTE LABORATORY

STATUS: MEASURING

VIDEO



CONTROL PANEL

Output

Position: 50 mm

Count: 19

Time left: 6 s

STOP **REBOOT**

OUTPUTS

```
2012-05-17 12:35:14 | DISTANCE: 220 mm | TIME: 10 s | COUNT: 5  
2012-05-17 12:34:40 | DISTANCE: 50 mm | TIME: 10 s | COUNT: 52
```

CLEAR **DOWNLOAD**

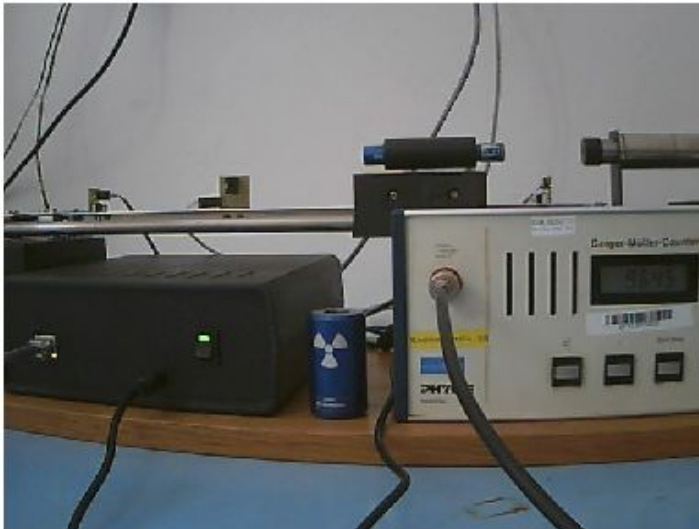
Copyright © UFYZ VUT, 2012

Obr. 6.4: Webová stránka - čítání impluzů.

REMOTE LABORATORY

STATUS: IDLE

VIDEO



CONTROL PANEL

Time

10 1 - 180 s

Distance

50 10 - 250
mm

START

STOP **REBOOT**

OUTPUTS

```
2012-05-17 12:36:27 | DISTANCE: 50 mm | TIME: 10 s | COUNT: 40
2012-05-17 12:35:14 | DISTANCE: 220 mm | TIME: 10 s | COUNT: 5
2012-05-17 12:34:40 | DISTANCE: 50 mm | TIME: 10 s | COUNT: 52
```

CLEAR **DOWNLOAD**

Copyright © UFYZ VUT, 2012

Obr. 6.5: Webová stránka - dokončená úloha.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhotovit vzdálenou laboratoř pro dozimetrická měření tak, aby ji bylo možno ovládat přes internet s důrazem na co nejjednodušší administraci, ovládání a co nejnižší spotřebu energie.

Vzhledem k tomu, že v projektu nefiguruje samostatný počítač, byla administrace omezena na minimum. Ovládání měření je možné po nastavení hodnot a stisknutím jediného tlačítka. Výsledky měření je možné na disk.

Minimalizace spotřeby elektrické energie spočívala ve vhodné volbě součástek pro omezení tepelných ztrát, použití spínaných zdrojů pro místo lineárních, a také vhodným firmwarem mikrokontroléru, který zajišťuje minimální klidové ztráty na krokovém motoru, který je největším spotřebičem elektrické energie v celém zařízení.

Při návrhu webové aplikace byl kladen důraz na co nejlepší kompatibilitu s běžně používanými internetovými prohlížeči, minimalizaci požadavků na nestandardní programové vybavení, které by musel uživatel instalovat, a co nejnižší výpočetní náročnost. K zajištění těchto požadavků byla zvolena technologie AJAX místo běžně používaného uživatelského rozhraní vytvořeného pomocí technologie JAVA. V internetových prohlížečích, jako je například Mozilla Firefox nebo Google Chrome je možné přehrávat video z IP kamery bez jakéhokoliv přehrávače, pro Internet Explorer bylo použito přehrávače Cambozola [16] viz kapitola 2.3.

Vzdálená laboratoř je v současné době spuštěna v testovacím provozu a není uzavřena pod přihlašovacím formulářem webových stránek Ústavu fyziky. Začlenění do systému je plně v kompetenci administrátorů Ústavu fyziky.

Na základě uvedených faktů lze konstatovat, že cíle bakalářské práce byly splněny v celém rozsahu.

LITERATURA

- [1] HAMADA, Vladimír. *Remote laboratory*, In: Proceedings of the 17th Conference STUDENT EEICT 2011 Volume 1, Brno, CZ, FEKT VUT, 2011, s. 82-84, ISBN 978-80-214-4271-9
- [2] HAMADA, Vladimír. *Remote laboratory for dosimetric measurements*, In: Proceedings of the 18th Conference STUDENT EEICT 2011 Volume 1, Brno, CZ, FEKT VUT, 2012, s. 80-82, ISBN 978-80-214-4460-7
- [3] UHDEOVÁ, Naděžda, Jitka BRÜSTLOVÁ, Pavel DOBIS, Vladimír HOLCMAN a Petr SADOVSKÝ. *Laboratorní cvičení z fyziky*. první. Brno: NOVAPRESS s.r.o., 2009. ISBN 978-80-214-3935-1. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně.
- [4] BENEŠ, Petr, Zdenek HAVRÁNEK, Tomáš KOPECKÝ a Miroslav KRUPA. *Měření fyzikálních veličin: návody do laboratorních cvičení*. Verze 1.3.6. Brno, 2011. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] Connect One. *Preliminary Product Brief, Nano SocketLAN* [online]. Publication Number 17-3550-01 Israel : Connect One, 2009, April 2009 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL:<http://www.connectone.com/media/upload/Nano_Socket_LAN_PB.pdf>.
- [6] Connect One. *AT+i programmer's manual : for iChip™ CO2128 with Firmware Version 807B21* [online]. Version 8.40. Israel : Connect One, 2011, July 2011 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL:<http://www.connectone.com/media/upload/ATi_Programmers_Manual_8_40.pdf>.
- [7] TP-LINK Technologies. *TL_sc3130_Datasheet* [online]. 2010, 2010-28-10 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL:<http://www.tp-link.com/resources/document/datasheet/TL-SC3130_ds.zip>.
- [8] TP-LINK Technologies. *Application Guide* [online]. 2010, [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL:<<http://www.tp-link.com/resources/software/201111813552518.zip>>.
- [9] Atmel Corporation. *ATmega16: Datasheet* [online]. rev.2466T-07/10. San Jose 2010, [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL:<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf>.

- [10] Atmel Corporation. *Avr-libc: AVR Libc*. 2011-02-16 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL: <<http://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/index.html>>.
- [11] PHP Group. *PHP: Hypertext Preprocessor*. 2011-12-01 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL: <<http://www.php.net>>.
- [12] JANOVSKEÝ, Dušan. *Jak psát web, návod na html stránky* ISSN 1801-0458. [online] 2011-12-01 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL: <<http://www.jakpsatweb.cz/>>.
- [13] ON Semiconductor. *LM2576: Datasheet* [online]. Phoenix 2008, [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL: <http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/LM2576-D.PDF>.
- [14] SGS-THOMSON Microelectronics. *L293D/L293DD: Datasheet* [online]. June 1996, [cit. 2011-12-01]. Dostupné z URL: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/90/69628_DS.pdf>.
- [15] contact@rtmpd.com. *C++ RTMP Server* 2012-01-01 [cit. 2012-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.rtmpd.com/>>.
- [16] wilcocka@gmail.com. *Cambozola* 2012-01-01 [cit. 2012-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.charliemouse.com/code/cambozola/>>.
- [17] Thomas Fischl *USBasp* 2012-01-01 [cit. 2012-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.fischl.de/usbasp/>>.
- [18] Future Technology Devices International Limited. *FT232RL: Datasheet* [online]. Version 2.10, [cit. 2012-3]. Dostupné z URL: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf>.
- [19] HW group *Aplikace Hercules SETUP* 2012-01-01 [cit. 2012-01-01]. U Pily 3/103, 143 00, Praha 4, Česká Republika Dostupné z URL: <http://www.hw-group.com/products/hercules/index_en.html>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

USART Synchronní / asynchronní sériové rozhraní – Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter

IP-kamera kamera s vlastním webovým serverem

GM Geiger-Müllerův

DPS deska plošného spoje

LED light emitting diode — svítivá dioda

TCP/IP Transmission Control Protocol / Internet Protocol

AJAX Asynchronous JavaScript and XML

http hypertext transfer protocol

rtsp real time streaming protocol

rtmp real time messaging protocol

Network socket koncový bod meziprocesového komunikačního toku

MJPEG Motion JPEG - proud obrázků ve formátu JPG

MPEG-4 Moving Picture Experts Group - norma pro multimediální data

3gp kontejner pro přenos multimediálních dat

codec compresor-decompresor - program který zakóduje/dekóduje multimediální data při nahrávání/přehrávání

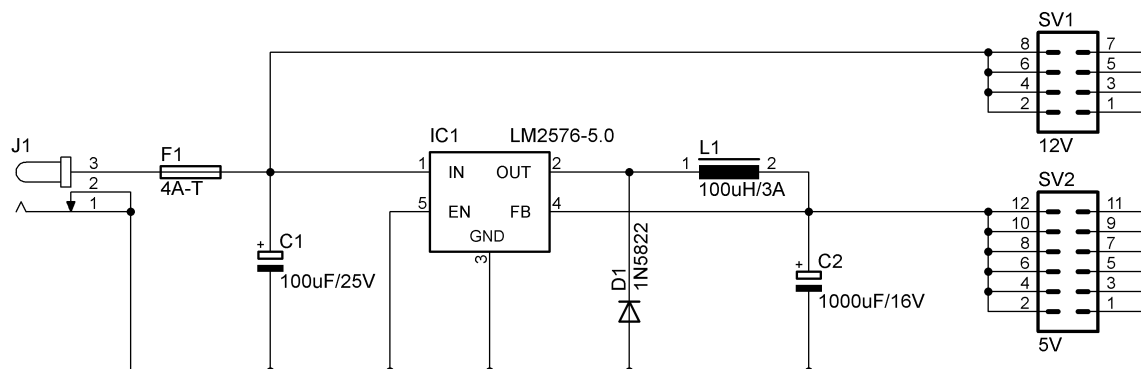
ICSP in circuit serial programming - rozhraní pro sériové programování mikrokontrolérů přímo v zapojení

SEZNAM PŘÍLOH

A	Elektrotechnická schémata	47
A.1	Modul napájení	47
A.2	Snímač referenční polohy	47
A.3	Základní deska	48
A.4	Koncový spínač	49
A.5	Modul budiče krokového motoru	49
B	Předlohy DPS	50
B.1	Modul napájení	50
B.2	Snímač referenční polohy	50
B.3	Základní deska	51
B.4	Modul budiče krokového motoru	52
B.5	Koncový spínač	52
C	Osazovací plány DPS	53
C.1	Modul napájení	53
C.2	Koncový spínač	53
C.3	Snímač referenční polohy	54
C.4	Základní deska	55
C.5	Modul budiče krokového motoru	56
D	Seznam součástí	57
D.1	Modul napájení	57
D.2	Snímač referenční polohy	58
D.3	Koncový spínač	58
D.4	Základní deska	59
D.5	Modul budiče krokového motoru	61
E	Fotodokumentace	62

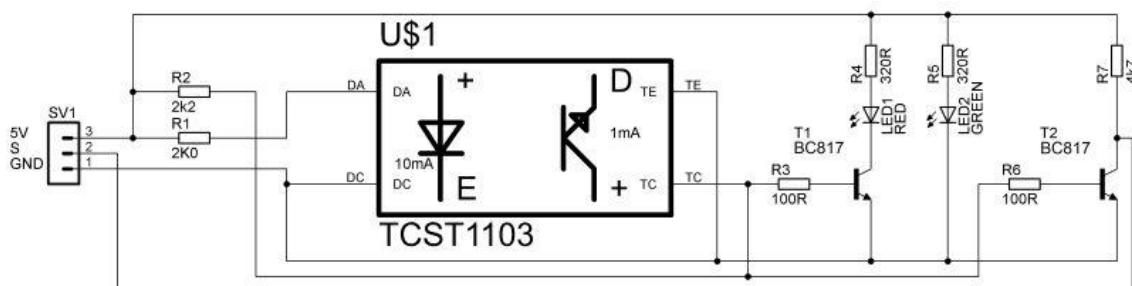
A ELEKTROTECHNICKÁ SCHÉMATA

A.1 Modul napájení



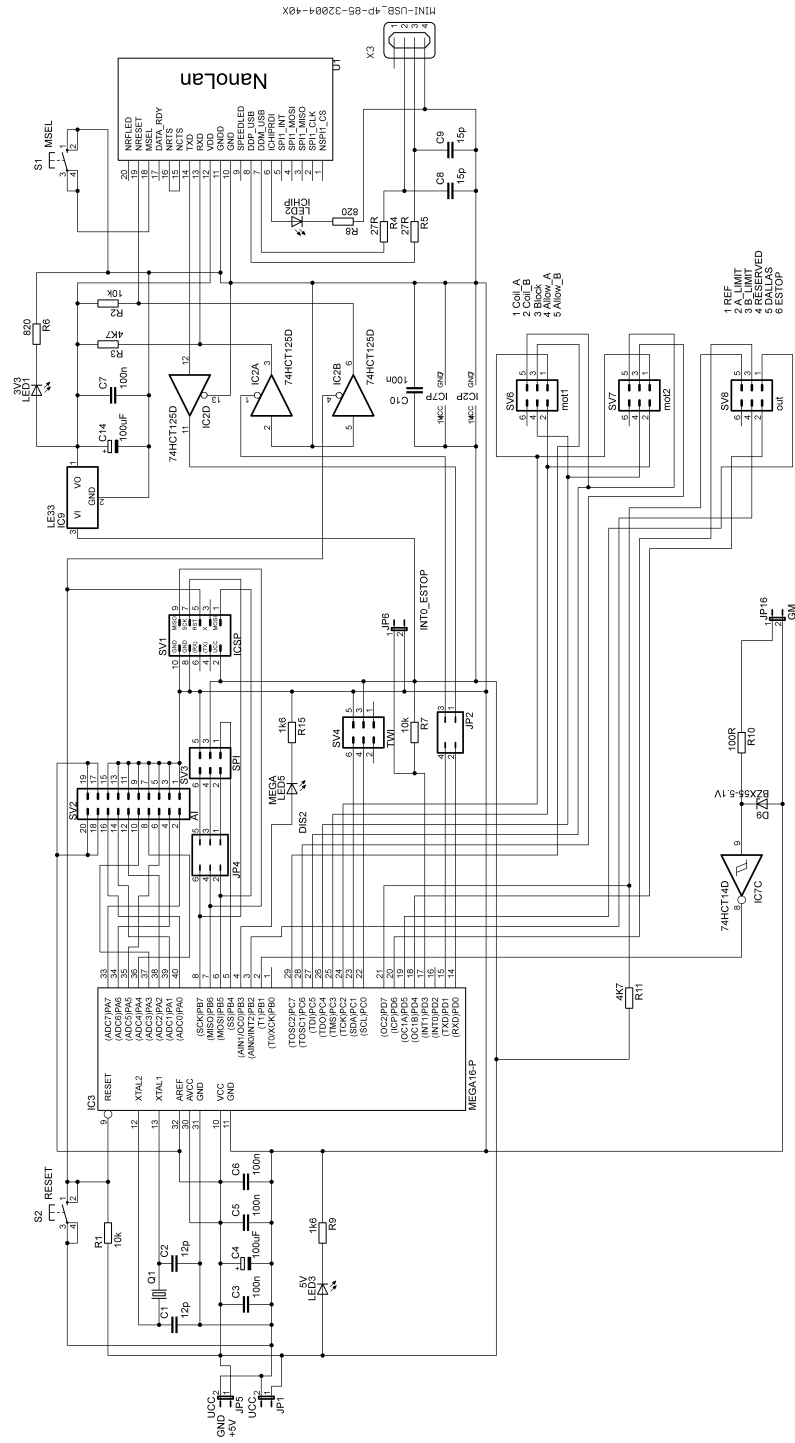
Obr. A.1: Modul napájení, schéma.

A.2 Snímač referenční polohy



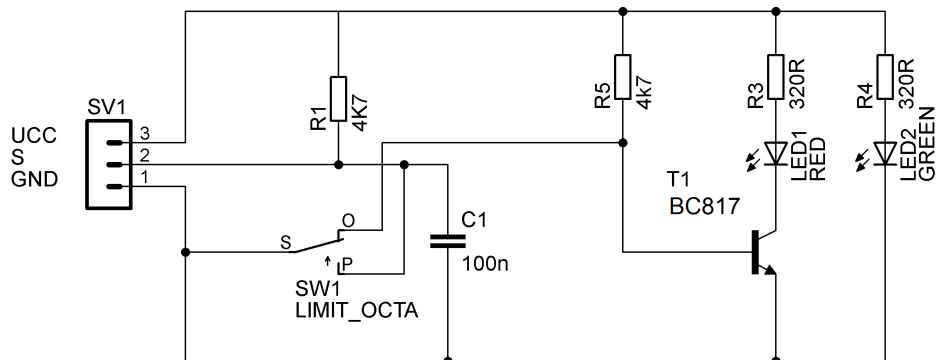
Obr. A.2: Snímač referenční polohy, schéma.

A.3 Základní deska



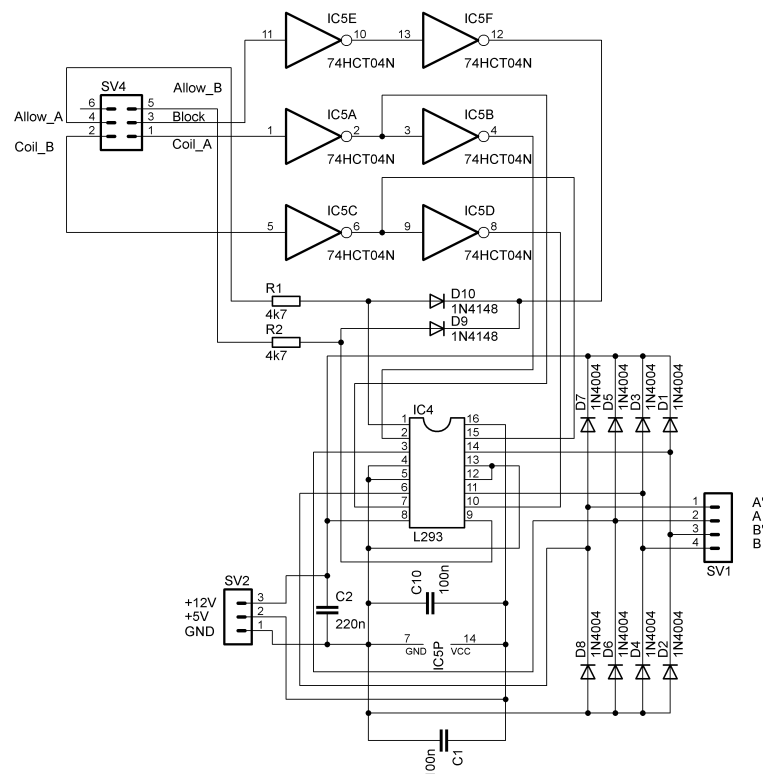
Obr. A.3: Základní deska, schéma.

A.4 Koncový spínač



Obr. A.4: Koncový spínač, schéma.

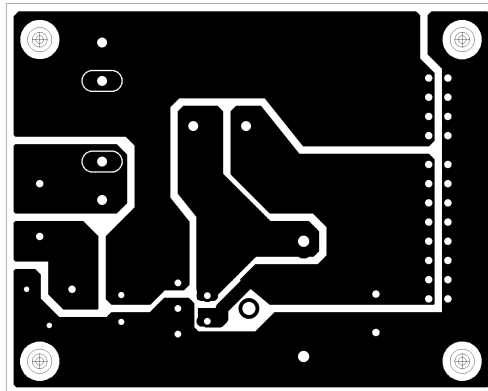
A.5 Modul budiče krokového motoru



Obr. A.5: Modul budiče krokového motoru, schéma.

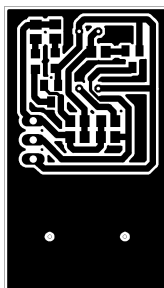
B PŘEDLOHY DPS

B.1 Modul napájení



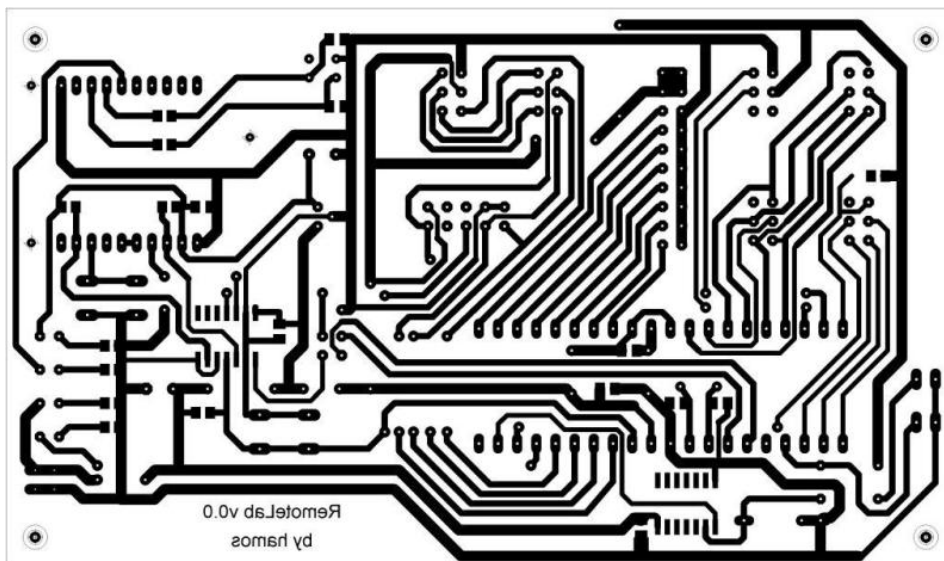
Obr. B.1: Modul napájení, DPS M 1:1 (65 x 52 mm).

B.2 Snímač referenční polohy

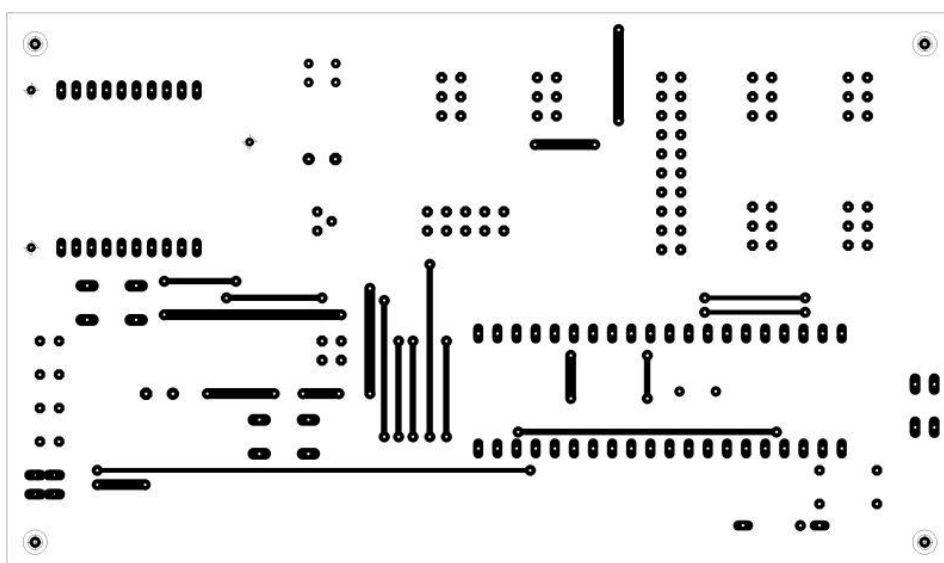


Obr. B.2: Snímač referenční polohy, DPS M 1:1 (22 x 38 mm) .

B.3 Základní deska

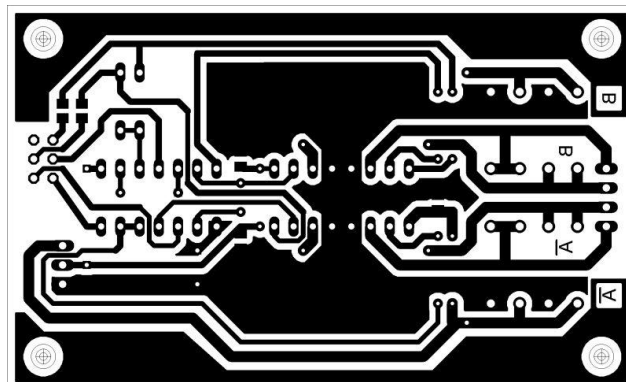


Obr. B.3: Základní deska, DPS vrstva BOTTOM M 1:1 (126 x 74 mm).

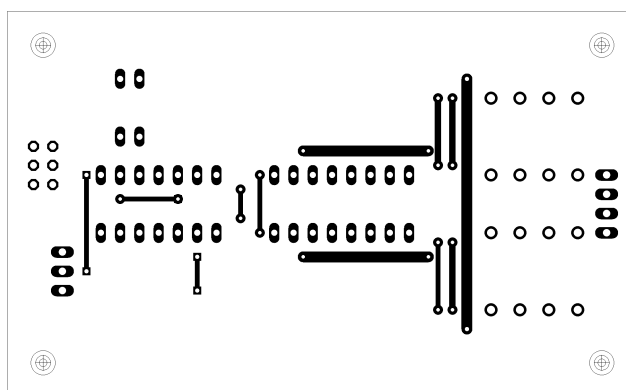


Obr. B.4: Základní deska, DPS vrstva TOP M 1:1 (126 x 74 mm).

B.4 Modul budiče krokového motoru



Obr. B.5: Modul budiče krokového motoru, DPS vrstva BOTTOM M 1:1 (83 x 51 mm).



Obr. B.6: Modul budiče krokového motoru, DPS vrstva TOP M 1:1 (83 x 51 mm).

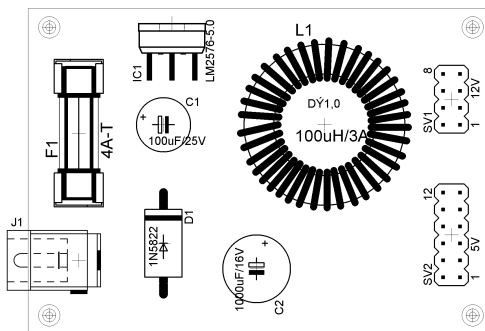
B.5 Koncový spínač



Obr. B.7: Koncový spínač, DPS M 1:1 (13 x 17,5 mm).

C OSAZOVACÍ PLÁNY DPS

C.1 Modul napájení

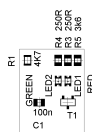


Obr. C.1: Modul napájení, osazovací plán.

C.2 Koncový spínač

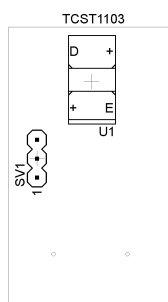


Obr. C.2: Koncový spínač, osazovací plán vrstva TOP.

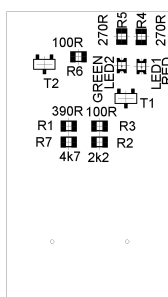


Obr. C.3: Koncový spínač, osazovací plán vrstva BOTTOM.

C.3 Snímač referenční polohy

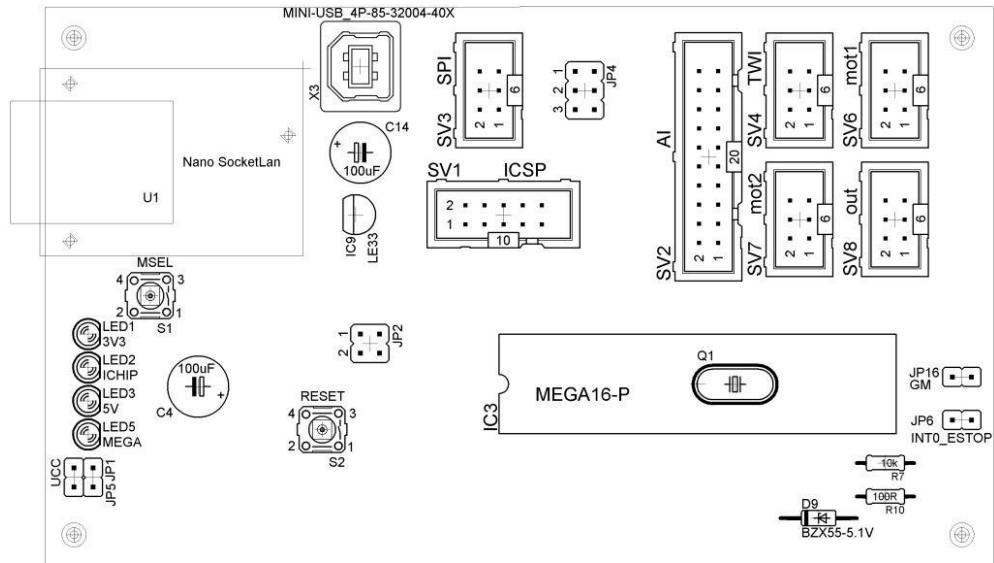


Obr. C.4: Snímač referenční polohy, osazovací plán vrstva TOP.

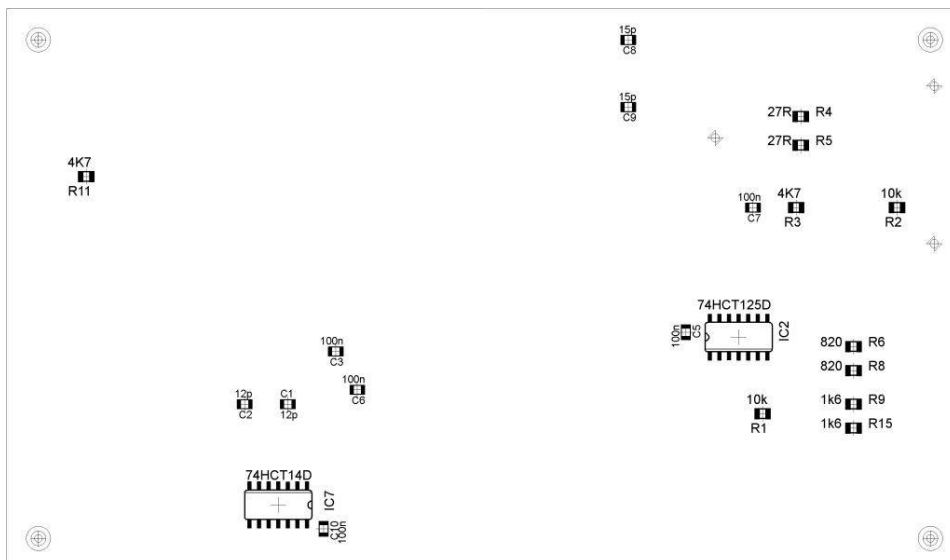


Obr. C.5: Snímač referenční polohy, osazovací plán vrstva BOTTOM.

C.4 Základní deska

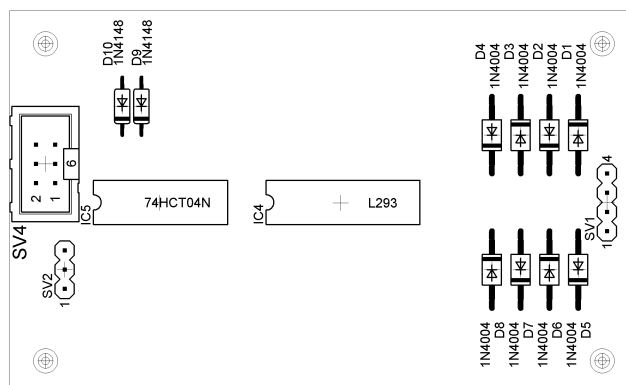


Obr. C.6: Základní deska, osazovací plán vrstva TOP.

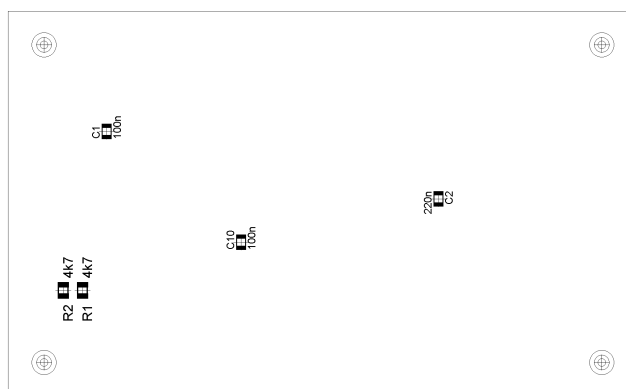


Obr. C.7: Základní deska, osazovací plán vrstva BOTTOM.

C.5 Modul budiče krokového motoru



Obr. C.8: Modul budiče krokového motoru, osazovací plán vrstva TOP.



Obr. C.9: Modul budiče krokového motoru, osazovací plán vrstva BOTTOM.

D SEZNAM SOUČÁSTEK

D.1 Modul napájení

Tab. D.1: Modul napájení, seznam součástek

Název	Hodnota/Význam	Pouzdro
C1	100uF/25V	E3,5-8
C2	1000uF/16V	E5-10,5
D1	1N5822	DO201-15
F1	4A-T	SHK20L
IC1	LM2576-5.0	TO220-51
J1	JACK-PLUG0	con-jack
L1	100uH/3A	ED26
SV1	12V/výstup	MA04-2
SV3	5V/výstup	MA08-2
KK1	chladič	na TO-220

D.2 Snímač referenční polohy

Tab. D.2: Snímač referenční polohy, seznam součástek

Název	Hodnota/Význam	Pouzdro
LED1	červená	0805
LED2	zelená	0805
R1	390R	R0805
R2	2k2	R0805
R3	100R	R0805
R4	270R	R0805
R5	270R	R0805
R6	100R	R0805
R7	4k7	R0805
SV1	konektor	con-lstb
T1	BC817	SOT23
T2	BC817	SOT23
U1	TCST1103	TCST1.0

D.3 Koncový spínač

Tab. D.3: Koncový spínač, seznam součástek

Název	Hodnota/Význam	Pouzdro
C1	100n	C0805
LED1	červená	0805
LED2	zelená	0805
R1	4K7	M0805
R3	250R	R0805
R4	250R	R0805
R5	3k6	R0805
SV1	konektor	con-lstb
SW1	LIMIT_OCTA	LIMIT_OCTA
T1	BC817	SOT23

D.4 Základní deska

Tab. D.4: Základní deska, seznam součástek

Název	Hodnota/Význam	Pouzdro
C1	12p	C0805K
C2	12p	C0805K
C3	100n	C0805K
C4	100uF	E3,5-8
C5	100n	C0805K
C6	100n	C0805K
C7	100n	C0805K
C8	15p	C0805K
C9	15p	C0805K
C10	100n	C0805K
C14	100uF	E3,5-8
D9	BZX55-5.1V	DO35Z10
IC2	74HCT125D	SO14
IC3	MEGA16-P	DIL40
IC7	74HCT14D	SO14
JP1	UCC	JP1
JP2	JP2Q	jumper
JP4	JP3Q	jumper
JP5	UCC	JP1
JP6	INT0_ESTOP	JP1
JP16	GM	JP1
LF33	IC9	TO92
LED1	3V3	LED3MM
LED2	ICHIP	LED3MM
LED3	5V	LED3MM
LED5	MEGA	LED3MM
Q1	HC49U70	crystal

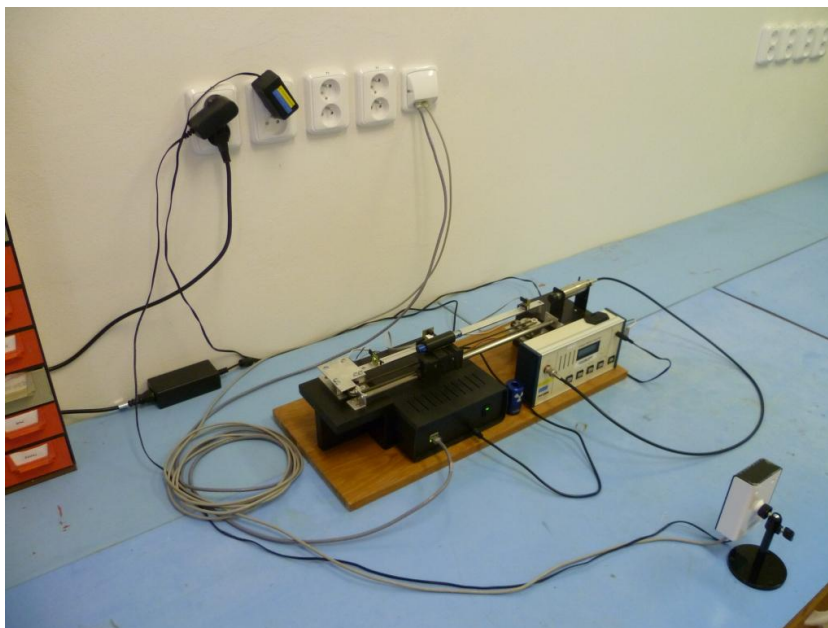
Název	Hodnota/Význam	Pouzdro
R1	10k	R0805
R2	10k	R0805
R3	4K7	R0805
R4	27R	R0805
R5	27R	R0805
R6	820R	R0805
R7	10k	0204/7
R8	820R	R0805
R9	1k6	R0805
R10	100R	0204/7
R11	4K7	R0805
R15	1k6	R0805
S1	tlačítko MSEL	B3F-10XX
S2	tlačítko RESET	B3F-10XX
SV1	ICSP	ML10
SV2	analogové vstupy	ML20
SV3	SPI	ML6
SV4	TWI	ML6
SV6	motor 1	ML6
SV7	motor 2	ML6
SV8	out	ML6
U1	MODUL-SOCKETLAN	-
X3	MINI-USB_4P-85-32004-40X	85-32004-40X

D.5 Modul budiče krokového motoru

Tab. D.5: Modul budiče krokového motoru, seznam součástek

Název	Hodnota/Význam	Pouzdro
C1	100n	C0805K
C2	220n	C0805K
C10	100n	C0805K
D1	1N4004	DO41-10
D2	1N4004	DO41-10
D3	1N4004	DO41-10
D4	1N4004	DO41-10
D5	1N4004	DO41-10
D6	1N4004	DO41-10
D7	1N4004	DO41-10
D8	1N4004	DO41-10
D9	1N4148	DO35-7
D10	1N4148	DO35-7
IC4	L293	DIL16
IC5	74HCT04N	DIL14
R1	4k7	R0805
R2	4k7	R0805
SV1	MA04-1	con-lstb
SV2	MA03-1	con-lstb
SV4	ML6	con-harting-ml

E FOTODOKUMENTACE



Obr. E.1: Kompletní zařízení - pohled na celou sestavu.



Obr. E.2: Kompletní zařízení - pohled z místa kamery.



Obr. E.3: Kompletní zařízení - vše potřebné k instalaci pohromadě.