

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Digitální intenzimetr

Ondřej Klvač

Třebíč 2015

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Digitální intenzimetr

Autor: Ondřej Klvač

**Škola: Střední průmyslová škola Třebíč; manželů Curieových 734,
674 01 Třebíč**

Kraj: Kraj Vysočina

Konzultant: Pavel Veselý

Třebíč 2015

Prohlášení

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

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Třebíči dne 20. 3. 2015

podpis:
Ondřej Klvač

Poděkování.

Děkuji panu Ing. Pavlu Veselému a Ing. Jaroslavu Dostálovi za obětavou pomoc a podnětné připomínky, které mi během práce poskytovali.

ANOTACE:

Práce popisuje konstrukci přístroje měřícího intenzitu ionizujícího záření. Obsahuje jeho technickou dokumentaci, následuje pojednání o radioaktivních předmětech mezi námi včetně výsledků vlastního měření.

Klíčová slova: Dozimetr; intenzimetr; měření; radioaktivita; Geiger-Müllerův čítač.

ANOTATION:

This work describes a construction of a device measuring the intensity of an ionising radiation. Work also comprises technical documentation of this appliance with following disquisition about radioactive objects between us including the results of the own measurements.

Key words: Dosimeter; intensimeter; measuring; radioactive; Geiger-Müller counter.

Obsah:

Seznam obrázků:	7
Seznam tabulek:	9
Úvod.....	10
1 Popis zařízení	11
1.1 Obecná charakteristika	11
1.2 Charakteristika vlastního výrobku	13
2 Teoretický rozbor výrobku.....	14
2. 1 Napájení	14
2.2 Detekce ionizujícího záření.....	15
2.2.1 Snímač.....	15
2.2.2 Zdroj vysokého napětí.....	15
2.3 Řídící obvod.....	17
2.4 Programové řízení přístroje.....	19
2.4.1 Nastavení frekvence procesoru	19
2.4.2 Displej.....	19
2.4.3 Záznam impulsů.....	20
2.4.4 Měření teploty	25
3 Konstrukční část.....	26
3.1 Rozmístění součástí zařízení	26
3.1.1 Spodní část přístroje.....	26
3.1.2 Vrchní panel	28
3.1.3 Přední panel.....	29
3.1.4 Boční panel	30
4 Využití zařízení v praxi.....	31
4.1 Teoretická část	31
4.2 Vlastní měření	34

Závěr	36
Seznam zkratek	37
Citace a odkazy	38
Seznam příloh	39
Příloha A — Desky plošných spojů.....	40
Příloha B — Rozmístění součástek.....	41
Příloha C — Tabulky součástek.....	43
Příloha D — Technické výkresy	44

Seznam obrázků:

Obr. 1: Popis GM trubice.....	11
Obr. 2: Fotografie intenzimetru RBGT-62.....	12
Obr. 3: Fotografie zhotoveného digitálního intenzimetru.....	13
Obr. 4: Schéma obvodu pro stabilizaci napětí.....	14
Obr. 5: Schéma zapojení vysokofrekvenčního vysokonapěťového zdroje.....	16
Obr. 6: Schéma zapojení řídicího obvodu.....	18
Obr. 7: Schéma zapojení tlačítek.....	18
Obr. 8: Osciloskopický snímek signálu na GM trubici a komparátoru.....	20
Obr. 9: Fotografie displeje v základním módu měření.....	23
Obr. 10: Fotografie displeje v módu sčítání impulsů.....	24
Obr. 11: Fotografie displeje při nabíjení po zapnutí zařízení.....	24
Obr. 12: Fotografie displeje při měření teploty.....	25
Obr. 13: Rozmístění součástí v dolní části zařízení.....	26
Obr. 14: Rozmístění součástí vrchní části zařízení.....	28
Obr. 15: Fotografie předního panelu přístroje.....	29
Obr. 16: Fotografie bočního panelu přístroje.....	30
Obr. 17: Fotografie uranového skla ve formě korálek z náhrdelníku.....	32
Obr. 18: Fotografie vzorku smolince.....	33
Obr. 19: Graf závislosti intenzity záření smolince na vzdálenosti.....	35
Obr. 20: Návrh desky plošných spojů pro stabilizaci napětí.....	40
Obr. 21: Návrh plošného spoje vysokofrekvenčního vysokonapěťového zdroje.....	40
Obr. 22: Návrh plošného spoje pro obvod řídicího obvodu.....	40
Obr. 23: Návrh plošného spoje pro zapojení tlačítek.....	40
Obr. 24: Rozmístění součástek obvodu pro stabilizaci napětí.....	41
Obr. 25: Rozmístění součástek vysokofrekvenčního vysokonapěťového zdroje.....	41
Obr. 26: Rozmístění součástek obvodu řídicího obvodu.....	41

Obr. 27: Rozmístění součástek pro zapojení tlačítek	42
Obr. 28: Technický výkres spodní části konstrukční krabičky	44
Obr. 29: Technický výkres vrchního panelu	45
Obr. 30: Technický výkres předního panelu	45
Obr. 31: Technický výkres bočního panelu	46

Seznam tabulek:

Tab. 1: Parametry GM trubice Philips 18504.	15
Tab. 2: Popis součástí spodní části zařízení dle Obr. 13.	27
Tab. 3: Popis součástí vrchní části zařízení dle Obr. 14.	28
Tab. 4: Popis součástí předního panelu přístroje dle Obr. 11.	29
Tab. 5: Seznam radioaktivních předmětů z dřívějších dob.	32
Tab. 6: Seznam radioaktivních předmětů užívaných v dnešní době.	33
Tab. 7: Seznam součástek pro stabilizaci napětí.	43
Tab. 8: Seznam součástek pro vysokofrekvenční měnič.	43
Tab. 9: Seznam součástek pro obvod řídicího obvodu.	43

Úvod

Když jsem se poprvé doslechl o ionizujícím záření a jeho účincích, bylo to v souvislosti s jadernou havárií v Černobylu. Tento záhadný fyzikální jev mne fascinoval a rozhodl jsem se prozkoumat jej více. Většina informací však vedla právě k haváriím jaderných elektráren či zbraním.

V dnešním vyspělém světě jsou přísné normy pro zacházení s předměty vyzařující ionizující záření. Hodně lidí je tak přesvědčeno, že s ním lze přijít do styku pouze výjimečně za bezpečných situací (u lékaře, na letišti, ...) a jinak s radiací nelze přijít do styku, pokud nedojde k již zmíněným katastrofám.

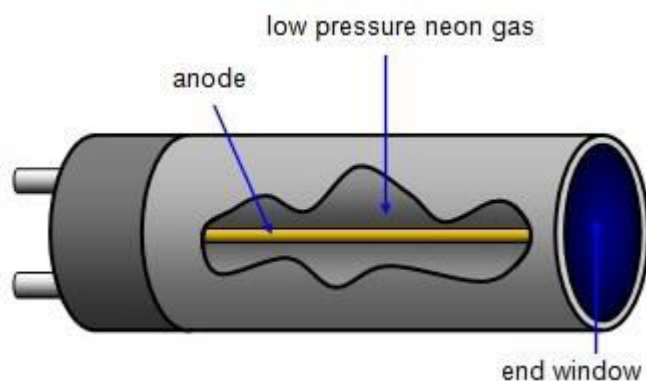
Jelikož jsem studentem střední průmyslové školy v oboru slaboproudé elektroniky a tomuto tématu se dlouhodobě věnuji, rozhodl jsem se pro konstrukci intenzimetru, se kterým lze najít zdroje ionizujícího záření, určit přibližnou intenzitu a lépe pochopit jeho fyzikální vlastnosti. Lze tak v praxi dokázat, že s ionizujícím zářením přicházíme běžně do styku i mimo kontrolovaných situací, intenzita záření může být poměrně vysoká i u zdánlivě obyčejných předmětů a radiaci jsme nepřetržitě vystaveni.

1 Popis zařízení

1.1 Obecná charakteristika

Intenzimetr je zařízení, které měří intenzitu ionizujícího záření. Tato fyzikální veličina vyjadřuje počet radioaktivních přeměn atomů měřeného zářiče za 1 sekundu a její jednotkou je Becquerel (značeno Bq). Nerozlišuje se při tom, o jaký typ záření se jedná. Jelikož tato veličina určuje počet radioaktivních přeměn v celém vzorku a snímač má pouze určitou plochu, kterou zaznamenává, je hodnota na intenzimetrech udávána jako počet přeměn za sekundu na určitou plochu (např.: $3\text{Bq} \times \text{cm}^2$).

Přesnost měření závisí na typu užitého snímače. Nejdostupnějším je snímač nazývaný samozhášecí ionizační komora, též známá jako Geiger-Müllerova trubice (dále jen GM trubice). Nákres tohoto snímače je na Obr. 1.



Obr. 1: Popis GM trubice.

(převzato z [1]).

Jedná se o součástku s dvěma elektrodami, přičemž jednu z nich tvoří vodič umístěný uprostřed a druhou samotný obal trubice. Na tyto elektrody je přivedeno vysoké napětí, čímž mezi nimi vznikne elektrické pole. V momentě kdy proletí radioaktivní částice a narazí do atomu plynu obsaženého v trubici nebo elektrody, způsobí její ionizační schopnosti spolu s elektrickým polem výboj mezi elektrodami, který lze registrovat. Výboj se pak musí zhasit, k čemuž se užívají různé páry organických látek. V době zhášení není trubice schopna registrovat další částice a tento čas se označuje jako mrtvý čas. Ten by měl být co nejkratší, aby nedocházelo k velkému zkreslení výsledku měření, které se projevuje hlavně při vysoké intenzitě záření. Přesnost měření však nikdy není příliš vysoká, jelikož pravděpodobnost střetu částice s atomem plynu či elektrodou je nízká. Tento nedostatek příliš neřeší ani snaha o konstrukci elektrod z kovu s velkým protonovým číslem, u kterého se zvyšuje pravděpodobnost střetu. Též záleží na stínících vlastnostech materiálu tvořící povrch trubice v místech snímání.

Aby byly měřené výsledky přesnější, uvádí se často rozpady atomů měřeného vzorku za určitý čas. Setkal jsem se s analogovým přístrojem RBGT-62, jehož fotografie se nachází na Obr. 2. Výchylka zde ukazuje počet rozpadů za minutu, intenzitu záření v jednotce Bq x plocha bychom tedy získali podělením naměřené hodnoty 60 (počet vteřin).



Obr. 2: Fotografie intenzimetru RBGT-62.

1.2 Charakteristika vlastního výrobku

Zhotovené zařízení slouží k měření intenzity záření alfa, beta, gama i neutronového.

Zařízení je schopno měřit intenzitu ve dvou módech, výběr lze provést tlačítkem. Základním módem je měření intenzity po dobu deseti sekund. Je nutno měřit po celou tuto dobu a výsledek je průměrem měřeného časového úseku. Druhým módem je sčítání impulsů po libovolnou dobu. Každá zaznamenaná částice je zároveň signalizována pomocí LED a charakteristického „cvaknutí“ na piezo siréně, kterou je možno vypnout. Výsledná hodnota je zobrazena na OLED displej.

Zařízení je doplněno o funkci měření teploty, která se po stisknutí tlačítka na 3 sekundy zobrazí na displej. V této době nelze provádět měření intenzity záření.

Intenzimetr je možno napájet čtyřmi akumulátory typu AA s napětím 1,2V nebo externě přes adaptér s napětím od 7V do 16V. Pro tuto možnost je zařízení vybaveno dvěma typy konektorů.

Obr. 3. představuje fotografii zhotoveného zařízení.



Obr. 3: Fotografie zhotoveného digitálního intenzimetru.

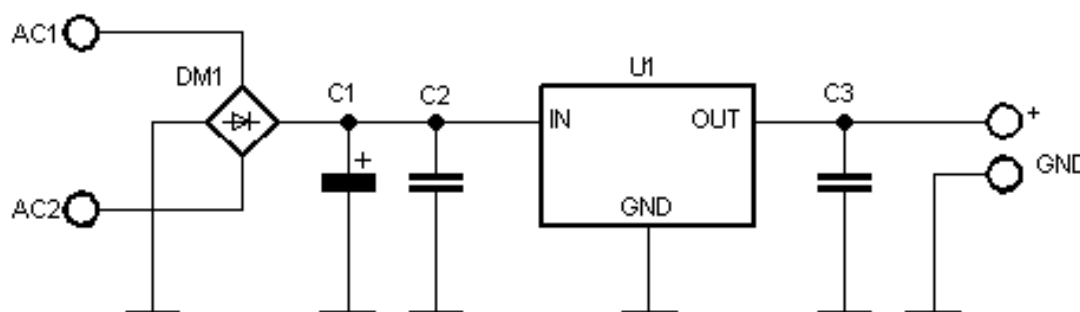
2 Teoretický rozbor výrobku

2.1 Napájení

Pro využití v terénu, je zařízení vybaveno držákem na 4 články akumulátorů typu AA. Požadované napětí každého kusu je 1,2V. Odebíraný proud se pohybuje okolo 100mA. Nelze jej přesně stanovit, jelikož se přímo úměrně zvyšuje s měřenou intenzitou. Též při zapnutí je výrazně vyšší oproti stálému provozu. Doba provozu je nejvíce závislá na kapacitě užitých akumulátorů.

Pokud je měření prováděno v místech s možností připojení adaptéru do sítě, je možné provádět napájení pomocí něj. Zařízení je k tomu vybaveno dvěma nejčastěji používanými konektory s průměrem 2,1mm a 2,5mm. Jelikož adaptér může mít různé napětí, je nutné ho stabilizovat na provozní hodnotu.

Ke stabilizaci napětí slouží obvod na Obr. 4, návrh plošného spoje je na Obr. 20 v příloze A.



Obr. 4: Schéma obvodu pro stabilizaci napětí.

Na svorky AC1 a AC2 se přivede napětí z adaptéru. Diodový můstek usměrní napětí v případě, že přiváděné napětí není stejnosměrné. Úbytek napětí je zde přibližně 2V. U1 je stabilizátor, který udržuje konstantní napětí 5V. Pro správnou funkci musí být vstupní napětí minimálně o 1,7V větší a nesmí přesáhnout 16V. Kondenzátory C2 a C3 jsou přidány dle doporučeného zapojení a brání rozkmitání obvodu. Svorky označené + a GND jsou výstupem. Kompletní seznam součástek je uveden v Tab. 7 v příloze C a jejich rozmístění na Obr. 24 v příloze B.

2.2 Detekce ionizujícího záření

2.2.1 Snímač

Jako snímač ionizujícího záření je užitá GM trubice Philips 18504. Obal trubice tvoří 28% chromu a 72% železa, je válcového tvaru s aktivní délkou 40mm a šířkou 15mm. Vepředu se nachází slídkové okénko s plochou 63,5mm². Tento materiál má schopnost lépe propouštět záření alfa. Trubice je také vybavena krytem proti poškození. Podrobnější parametry jsou uvedeny v Tab. 1.

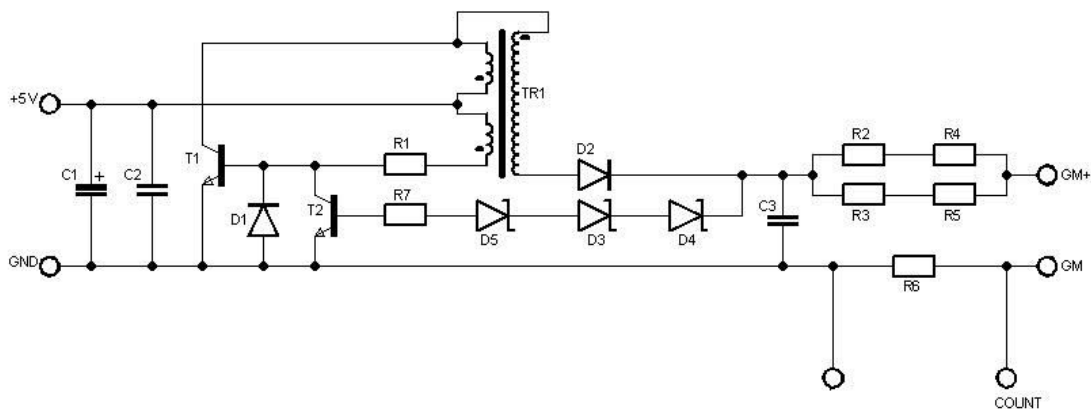
Tab. 1: Parametry GM trubice Philips 18504.

Minimální provozní napětí	300V
Doporučené provozní napětí	425-675V
Doporučený zatěžovací odpor	10MΩ
Mrtvý čas	100μs
Životnost	5 x 10 ¹⁰ pulsů
Provozní teplota	-55°C — +75°C

Jelikož je použitá trubice více než 50 let stará, nebylo možno dohledat podrobnější informace. Některé zřejmě vzhledem k jejímu stáří již nejsou přesné.

2.1.2 Zdroj vysokého napětí

Napájecí napětí je pevně nastaveno na 500V. Kvůli možnosti napájení přes baterie je nutné, aby odebíraný proud zdroje byl co nejnižší. Jelikož je užit doporučený zatěžovací odpor o hodnotě 10MΩ, je odebíraný proud maximálně 50μA. Potřebný výkon je tedy velice nízký (max. 25mW). Osvědčilo se zapojení na Obr. 5, u kterého je v momentě sepnutí odebíraný proud přibližně 90mA, po nabití filtračního kondenzátoru výrazně klesne. Návrh plošného spoje je na Obr. 21 v příloze A, rozmístění součástek pak na Obr. 25 v příloze B.



Obr. 5: Schéma zapojení vysokofrekvenčního vysokonapětového zdroje.

(Část schématu převzata z [2])

Jedná se o vysokofrekvenční měnič, kde se využívá elektromagnetických vlastností cívky. Při sepnutí teče proud vinutím a postupně se otevírá tranzistor T1. Vlivem elektromagnetické indukce se na sekundárním vinutí (které je spojeno s primárním) indukuje napětí, jehož hodnota je přímo úměrná počtu závitů. V momentě kdy výstup dosáhne hodnoty zenerova napětí, začne zenerovými diodami procházet proud, který otevře tranzistor T2, čímž se uzavře T1. Když napětí opět klesne, celý proces se opakuje. K usměrnění napětí slouží dioda D2, kondenzátor C3 zajišťuje filtraci. Obvod pracuje na vysoké frekvenci, která působí značné rušení. Tento problém je podrobněji řešen v konstrukční části.

Cívka je tvořena feritovým vysokonapětovým transformátorem užívaného jako zdroj pro podsvícení LCD monitorů. Jelikož nebylo možno dohledat typ užitého transformátoru, bylo nutno s počtem závitů experimentovat. Sekundární vinutí bylo ponecháno, původní primární vinutí bylo převinuto na 2x15 závitů a propojeno dle uvedeného schématu.

Zenerovo napětí je nastaveno třemi sériově zapojenými diodami s celkovým součtem napětí 500V.

Zatěžovací odpor $10\text{M}\Omega$ tvoří 4 rezistory zapojené sérioparalelně z důvodu špatné dostupnosti samostatného rezistoru na požadované napětí. Klasické rezistory jsou konstruovány na trvalé napětí max. 350V a krátkodobé napětí 700V. Díky tomuto zapojení jsou obě hodnoty dvojnásobné.

Výstupem měniče jsou svorky GM+ a GM, zde je připojena GM trubice, která funguje jako spínač spínaný ionizující částicí. Napětí je pro další zpracování nutno snížit, proto je zde rezistor R6, který tvoří společně se zatěžovacím odporem napěťový dělič. V momentě kdy je registrována částice se tedy celý obvod na okamžik sepne a napětí se na rezistoru R6 sníží z původních 500V na 5V.

Dioda D1 slouží k ochraně tranzistoru před proražením, kondenzátory C1 a C2 mají za úkol snížit rušení pronikající zpět do zdroje a následně do ostatních částí zařízení.

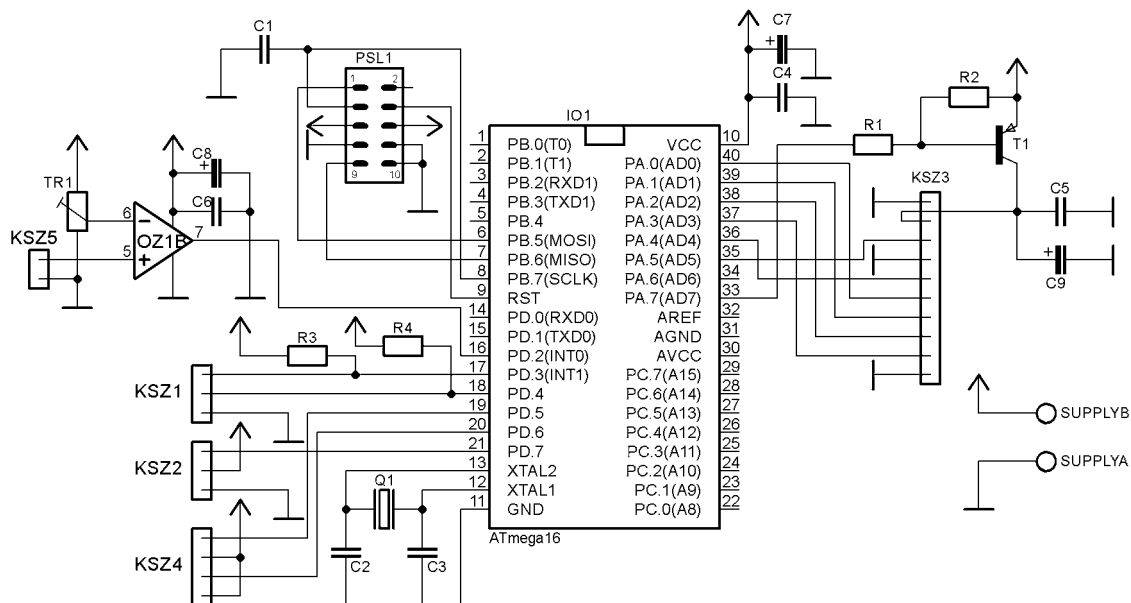
Rezistor R7 byl v závěru nahrazen drátovou propojkou, jelikož se ukázalo, že nemá význam a narušoval stabilitu obvodu.

Seznam součástek je v Tab. 8, která se nachází v příloze C.

2.3 Řídící obvod

Celé zařízení je ovládáno pomocí mikrokontroléru ATMEGA16. Jedná se o jednočipový procesor se čtyřmi vstupními/výstupními osmibitovými porty, je vybaven dvěma osmibitovými a jedním šestnáctibitovým čítačem/časovačem. Procesor pracuje na frekvenci 8MHz, připojením krystalu je možno frekvenci navýšit až na 16MHz. Vnitřní paměť pro program je typu flash o velikosti 16kB, paměť RAM má velikost 1kB. Pro práci je možno využít 32 osmibitových pracovních registrů.

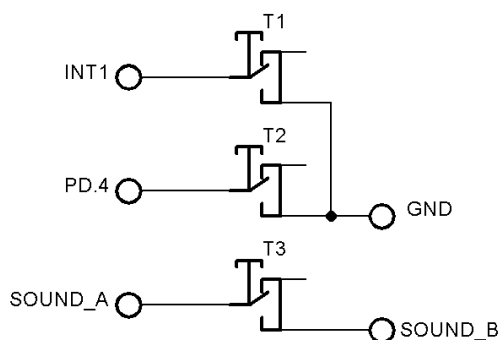
Procesor užitý v zařízení byl programován v jazyce ASSEMBLER. Zapojení celého obvodu je na Obr. 6. V příloze A se pak nachází návrh plošného spoje na Obr. 22, rozmístění součástek na Obr. 26 v příloze B a seznam součástek v příloze C v Tab. 9.



Obr. 6: Schéma zapojení řídicího obvodu.

Mikrokontrolér je programován přes konektor PSL sérioparalelním (SPI) programátorem. Kondenzátory C4 a C7 odstraňují případné rušení způsobené vysokofrekvenčním měničem. Krystal Q1 určuje frekvenci mikrokontroléru.

Aby bylo možné přepínat mezi jednotlivými módy a druhy měření, jsou k mikrokontroléru přes konektor KSZ1 připojeny tlačítka, která jsou zapojena dle schématu na Obr. 7. Návrh plošného spoje na Obr. 23 se nachází v příloze A a rozmístění součástek na Obr. 27 v příloze B.



Obr. 7: Schéma zapojení tlačítek.

Názvy svorek u tlačítek T1 a T2 jsou pojmenovány dle pinu mikrokontroléru, na které jsou přes KSZ1 připojeny. T3 slouží pouze jako vypínač piezo sirénky a nemá vliv na chod mikrokontroléru. Jedná se o dvoupólová tlačítka, T1 je bez aretace, T2 a T3 jsou s aretací.

2.4 Programové řízení přístroje

2.4.1 Nastavení frekvence procesoru

Aby bylo možno využít externě připojeného krystalu a zajistit tak rychlejší, i pro měření přesnější chod mikrokontroléru, je nutné zapsat do programu příkazy uvedené níže.

```
.HIFUSE      0B11001111  
.LOFUSE      0B11101111  
.LOCK       0B11111111
```

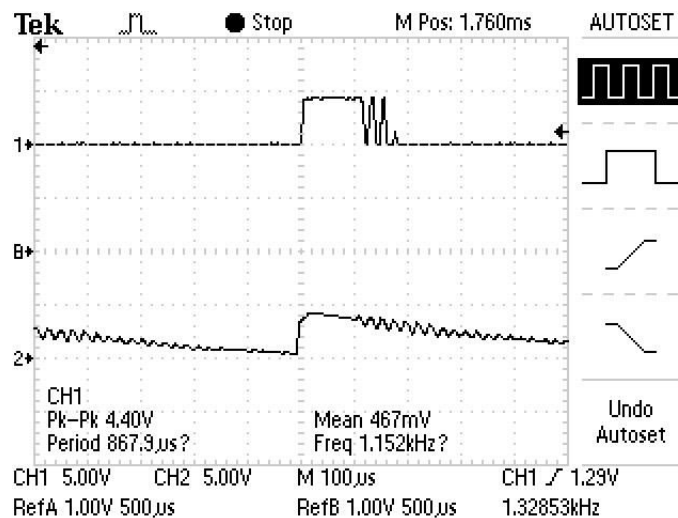
2.4.2 Displej

Pro zobrazení naměřených hodnot slouží dvouřádkový OLED displej WINSTAR. Každý řádek umožňuje zobrazení 16ti znaků, které jsou složeny z bodů 5 x 8. Oproti klasickým LCD displejům má OLED několikanásobně vyšší účinnost, nižší spotřebu energie a také výraznější kontrast umožňující širší úhel pohledu. Displej obsahuje i řadič WS0010 umožňující zobrazení předem definovaných znaků a tudíž snadnější programování. Zvolený displej je zelené barvy, požadované napětí pro napájení je 5V a maximální odebíraný proud 30mA.

Displej je připojen k procesoru na portu A přes konektor KSZ3 a probíhá zde 4 bitová komunikace. T1 spolu s R1 a R2 zajišťují napájení, C5 a C9 mají za úkol eliminovat případné rušení.

2.4.3 Záznam impulsů

K čítání impulsů, je třeba nejprve upravit analogový signál přicházející od GM trubice. Aby z analogového signálu vznikla logická hrana, je signál přiveden na operační zesilovač, který je zapojený jako neinvertující komparátor s nastavitelnou rozhodující úrovní (napětí, při kterém vznikne logická hrana). Tu je možno nastavit pomocí trimru TR1, který funguje jako napěťový dělič. Obr. 8 znázorňuje snímek z osciloskopu, kde CH2 představuje signál přicházející od GM trubice a CH1 signál po zpracování komparátorem.



Obr. 8: Osciloskopický snímek signálu na GM trubici a komparátoru.

Náběžná hrana na CH2 znázorňuje analogový signál po detekci částice. Postupné klesání je způsobeno postupným zhasínáním výboje v GM trubici a je zvlněné. To má za následek zákmity při sestupné hraně komparátoru. Jelikož má trubice čas uvedený jako mrtvý čas (viz Tab. 1), je možné po tuto dobu neměřit a předejít tak počítání zákmitů. Dobu, po kterou se neměří, však bylo potřeba prodloužit, protože výboj nedosáhne maxima při každé zaznamenané částici. Rozhodovací úroveň byla tedy za účelem počítání těchto částic snížena. Tím však při vyšších intenzitách záření dochází k nezapočítání impulsů, které se v tuto dobu detekovaly. Bylo potřeba experimentovat a vybrat nejvhodnější úroveň a čas.

Osvědčilo se, že pro největší možnou přesnost je ideální komparační hodnotou napětí 3,5V, čas po který se neměří je tedy nutno nastavit na 200 μ s. Při těchto parametrech byl osciloskopický snímek (Obr. 8) pořízen a je zřetelně vidět, že po uplynutí nastavené doby, již zákmity ustaly.

Logické hrany komparátoru jsou přivedeny na vstup pro vnější přerušení INTO. Aby bylo možno jej využít, je nutno toto přerušení v programu povolit a po zaregistrování impulsu zakázat na dobu potřebnou k eliminaci čítání zákmitů. Přitom je zajištěno nastavení pinů obsluhující světelnou a zvukovou signalizaci připojenou přes KSZ4 na PORT D. Zdrojový kód pro tyto funkce je zapsán níže včetně popisů.

```
.ORG 0X002          ;přerušovací vektor INTO
RJMP PULZY         ;pokud dojde k přerušení, program pokračuje v
                    ;sekci PULZY

.EQU SIGNAL=PORTD ;pojmenuje port D

LDI R16,0B01100000 ;bity v log. 1 se nastaví do výstupního režimu
OUT DDR(SIGNAL),R16
LDI R16,0B11111111
OUT SIGNAL,R16

IN R16,MCUCR
ORI R16,0B00000011
OUT MCUCR,R16      ;nastavení přerušení INTO na náběžnou hranu

IN R16,GICR
ORI R16,0B01000000
OUT GICR,R16      ;povolení vnějšího přerušení INTO

.SECT PULZY

IN R16,GICR
ANDI R16,0B10111111
OUT GICR,R16      ;zakáže vnější přerušení

LDI R16,0
OUT SIGNAL,R16    ;zapne zvukovou signalizaci

LDS16 R16,PULZ
INC16 R16
STS16 PULZ,R16    ;inkrementuje proměnnou pro čítání impulsů

RCALL CHVILKA     ;vykoná se program pro zpoždění (200 $\mu$ s)

LDI R16,255
OUT SIGNAL,R16    ;vypne zvukovou signalizaci
IN R16,GIFR
```

```

ORI R16,0B01000000
OUT GICR,R16 ;vymaže příznak přerušení vyvolaný zámkity

IN R16,GICR
ORI R16,0B01000000
OUT GICR,R16 ;povolení vnějšího přerušení

RETI ;návrat z podprogramu

.ENDSECT

```

Déle je nutné zajistit, aby počítání probíhalo po dobu 1s. K tomuto účelu je využito vnitřního přerušení šestnáctibitového časovače T1, též je nutné nastavit povolení tohoto přerušení. Aby bylo možno udělat průměr z deseti sekund, je potřeba načítat při každém přerušení do jedné z deseti proměnných, u kterých vždy dojde k načtení nové a vymazání poslední naměřené hodnoty. Poté následuje výpočet průměru a zobrazení na display (viz Obr. 9). Zdrojový kód s popisem je uveden níže.

```

.ORG OC1AADDR ;přerušovací vektor časovače TCNT1
RJMP CAS ; pokud dojde k přerušení, program pokračuje v
; sekci CAS

IN R16,TIMSK
ORI R16,0B00010000
OUT TIMSK,R16 ;povolení přerušení při rovnosti časovače TCNT
; komparačním registrem OCR1A

LDI R16,0B00000000
OUT TCCR1A,R16

LDI R16,0B00001101
OUT TCCR1B,R16 ;nastavení módu časovače a děliče f/1024

LDI R16,HI(15624)
OUT OCR1AH, R16

LDI R16,LO(15624)
OUT OCR1AL,R16 ;zápis komparační hodnoty do registru OCR1A

.SECT CAS

MOV16 PULZ10,PULZ9
MOV16 PULZ9,PULZ8
MOV16 PULZ8,PULZ7
.
.
.
MOV16 PULZ1,PULZ ;načtení nové hodnoty a vymazání poslední

```

```

CLR16 R16
STS16 PULZ,R16           ;vynulování proměnné, kam se přímo sčítají
                             impulsy

CLR32 ACC
LDS16 ACC,PULZ1
CLR16 BCC
LDS16 BCC,PULZ2
ADD16 ACC,BCC
LDS16 BCC,PULZ3
ADD16 ACC,BCC
.
.
.
LDS16 BCC,PULZ10
ADD16 ACC,BCC           ;součet všech deseti proměnných (všechny pulsy
                             za 10s)a zápis do registru ACC

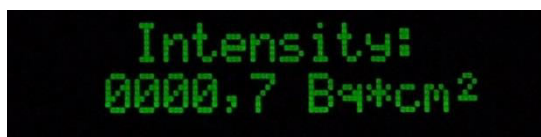
BCD32 DISP,ACC,5       ;převod registru ACC do proměnné DISP v BCD
                             kódu (kvůli zápisu na display)

CLRLCD                 ;vymaže poslední hodnoty na displeji

LCD_PAS DISP+4,RAD2,2
LCD_PAS DISP+3
LCD_PAS DISP+2
LCD_PAS DISP+1
LCD1 ', '
LCD_PAS DISP+0
LCD_TEX 'Intensity:',RAD1,4
LCD_TEX 'Bq*cm',RAD2,9
LCD1 0                 ;zapiše hodnoty na display (včetně popisků)

RETI                 ;návrat z podprogramu

```



Obr. 9: Fotografie displeje v základním módu měření.

Výpočet nezpracovává hodnoty týkající se plochy, kterou GM trubice přijímá impulsy, jelikož přední část netvoří jeden materiál a stínění je pro každý druh záření jinak silné. Pokud vezmeme v úvahu vlastnosti jednotlivých záření a plochy tvořící slídové okénko či celou přední část, museli bychom výsledek přepočítávat pro každý druh záření, ovšem při měření neznáme jejich jednotlivý podíl. Pro obvyčejné aplikace je přibližná průměrná hodnota 1cm^2 plně dostačující.

Výpočet komparační hodnoty, která je nastavena do OCR1 se provede pomocí následujícího vzorce

$$OCR1A = \frac{F_{clk} * T}{N} - 1$$

(Vzorec 1: Výpočet komparační hodnoty pro OCR1A)

kde F_{clk} vyjadřuje frekvenci mikrokontroléru (nastavenou krystalem), T je periodou a N vyjadřuje nastavení děliče.

V případě stisknutí tlačítka TL2 se zakáže časové přerušení a zařízení pracuje v módu sčítání impulsů. Tento mód se hodí v případě, že je intenzita velmi nízká a je nutné měřit po dobu delší než 10 sekund. Fotografie displeje v tomto módu je na Obr. 10.



Obr. 10: Fotografie displeje v módu sčítání impulsů.

Jelikož se při startu zařízení nabíjí vysokonapěťový kondenzátor C3 (viz Obr. 5) a signál je v tuto chvíli značně rozkmitaný, je na displeji po dobu jeho nabíjení zobrazeno „Charging...“ (viz Obr. 11) a v této chvíli není možno provádět žádné měření.



Obr. 11: Fotografie displeje při nabíjení po zapnutí zařízení.

2.4.4 Měření teploty

Jako snímač teploty je užit jednočipový převodník teploty na střidu SMT160—30—92, který je schopen měřit od -45°C do 130°C . Je uložen v pouzdře TO92 a provozní napětí činí 4,75V - 7V. Absolutní chyba se pohybuje do $1,2^{\circ}\text{C}$. Převod střidy na teplotu je v technické dokumentaci snímače (převzato z [3]) popsán následujícím vzorcem

$$D.C.=0,320+0,0047*t$$

(Vzorec 2: Převod střidy na teplotu)

kde D.C. značí poměr logické jedničky ku celé periodě, t je teplotou.

Snímač je k mikrokontroléru připojen přes KSZ2 k pinu 7 na portu D. Pokud je stisknuto tlačítko pro měření teploty dojde k využití vnějšího přerušení INT1, které zakáže všechna ostatní přerušení po dobu 3s. Následuje výpočet teploty, její zobrazení (viz Obr. 12) a po uplynutí 3s se opět povolí přerušení a dále probíhá měření ionizujícího záření.



Obr. 12: Fotografie displeje při měření teploty.

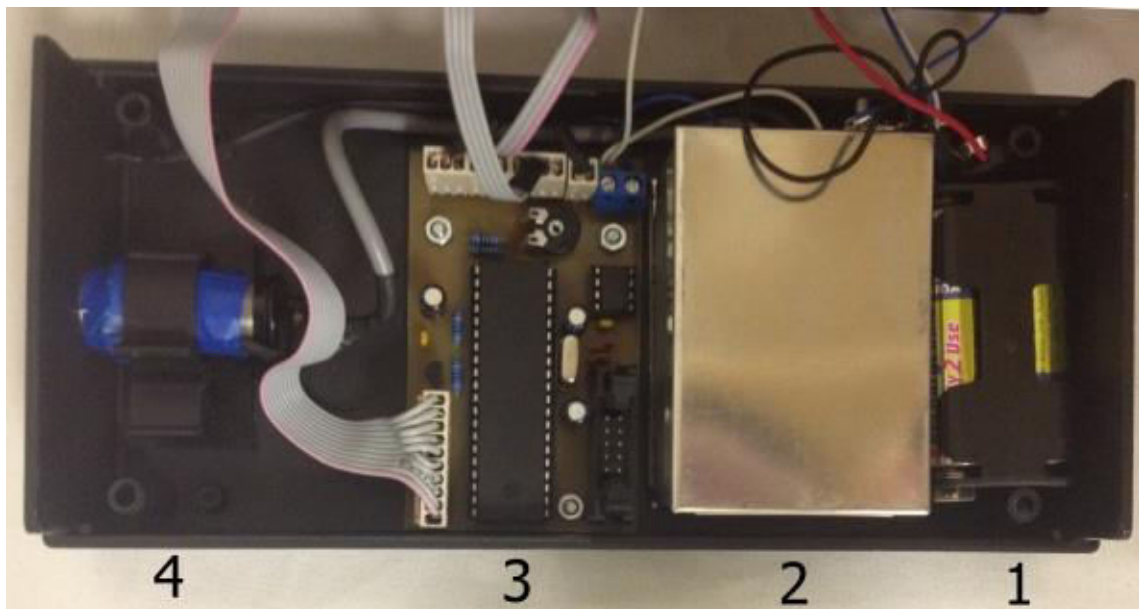
3 Konstrukční část

3.1 Rozmístění součástí zařízení

Jelikož se jedná o ruční měřicí přístroj, je požadavkem jeho přiměřená velikost. Celé zařízení je umístěno v plastové krabičce černé barvy s rozměry 200x90x50mm. Skládá se ze čtyř dílů, které se dají čtyřmi samořeznými šrouby spojit. Zároveň jsou přichyceny i plastové nožičky zajišťující stabilitu zařízení na většině povrchů. K lepší manipulaci při měření je zařízení vybaveno chromovaným držadlem.

3.1.1 Spodní část přístroje

Rozmístění součástí v konstrukční krabičce musí být úsporné a je nutno stínit rušení přicházejícího od vysokofrekvenčního měniče. Na Obr. 13 je fotografie rozmístění součástí spodní části přístroje a jsou popsány čísla 1 – 4, jejichž vysvětlení je v Tab. 2.



Obr. 13: Rozmístění součástí v dolní části zařízení.

Tab. 2: Popis součástí spodní části zařízení dle Obr. 13.

Označení	Popis
1	Držák pro akumulátory AA
2	Vysokofrekvenční měnič
3	Řídící obvod
4	Snímače (GM trubice, SMT160—30—92)

Zamezení rušení přicházejícího od vysokofrekvenčního zdroje bylo zamezeno kompletním odizolováním této součásti uzemněným kovem. Za tímto účelem je užitá pocínovaná krabička s rozměry 67x46x35 [mm]. Na krabičce je také uchycen šroub, přes který jsou spojené země ostatních součástí obvodu.

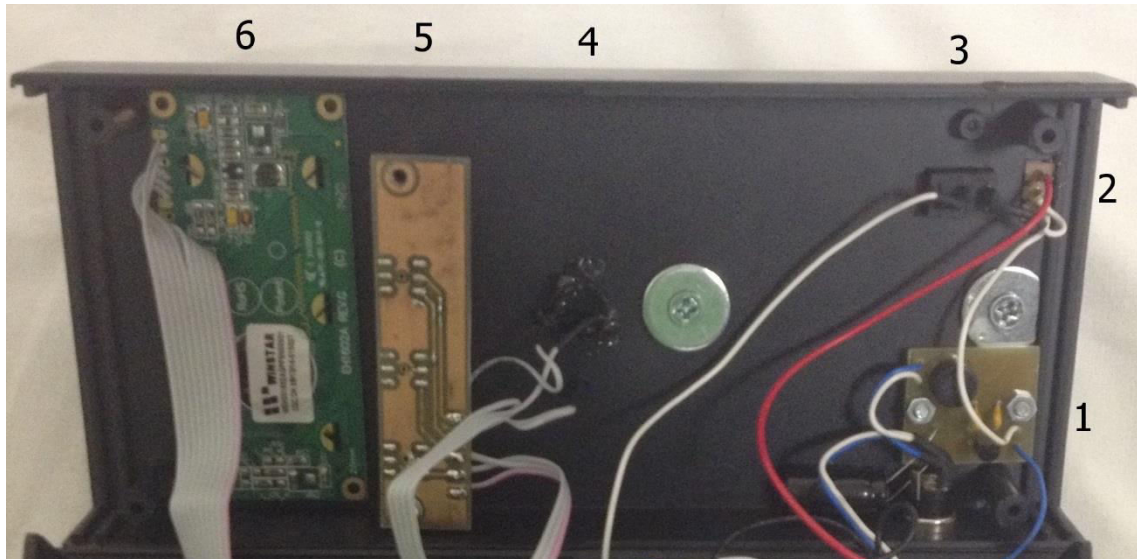
Bylo snahou umístit propojovací vodiče k jednomu okraji. Vodiče přenášející informaci o teplotě, impulsy z GM trubice a její napájecí vodič jsou stíněny, jelikož vysílají rušení či jsou náchylné k jeho příjmu.

Celkově je tato část navržena tak, aby snímače byly v přední části a zdroje v zadní. Ukázalo se, že tímto způsobem je zajištěna perfektní odolnost proti rušení celého zařízení.

Měnič a řídicí obvod jsou s krabičkou spojeny šrouby M3. GM trubice je přichycena v samolepicím kabelovém držáku, snímač teploty je zajištěn smršťovací bužirkou. Akumulátorový držák není přichycen, aby bylo možno s ním snáze manipulovat, při uzavření mu malý prostor nedovoluje volný pohyb. Technický výkres celé spodní části je v příloze D na Obr. 28.

3.1.2 Vrchní panel

Vrchní část krabičky je vyfocena na Obr. 14, její popis v Tab. 3. Nachází se zde všechny prvky potřebné k ovládání zařízení.



Obr. 14: Rozmístění součástí vrchní části zařízení.

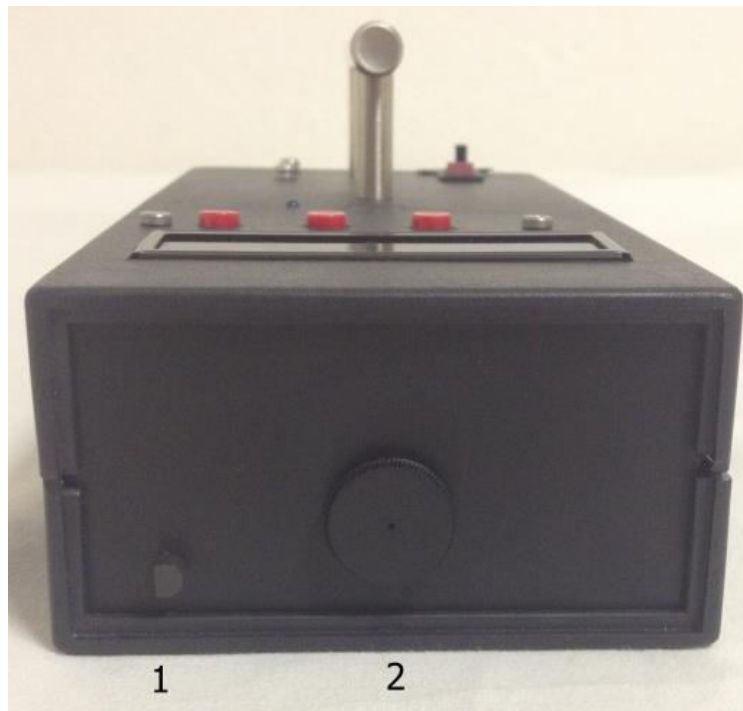
Tab. 3: Popis součástí vrchní části zařízení dle Obr. 14.

Označení	Popis
1	Obvod pro stabilizaci napětí
2	Přepínač pro volbu zdroje
3	Hlavní vypínač
4	Signalizace (LED, piezo)
5	Deska plošných spojů s tlačítky
6	OLED displej

Piezo sirénka je přilepena silikonovým lepidlem, tlačítka a stabilizační obvod jsou připevněny pomocí šroubu M3. Ostatní součásti drží díky velmi přesně zhotoveným otvorům. Technický výkres vrchního panelu je v příloze D na Obr. 29.

3.1.3 Přední panel

Zde se nachází snímače, které nesmí být v krabičce uzavřeny, aby nedocházelo k ovlivnění výsledků měření. Fotografie tohoto panelu je na Obr. 15, popis v Tab. 4. Technický výkres je v příloze D na Obr. 30.



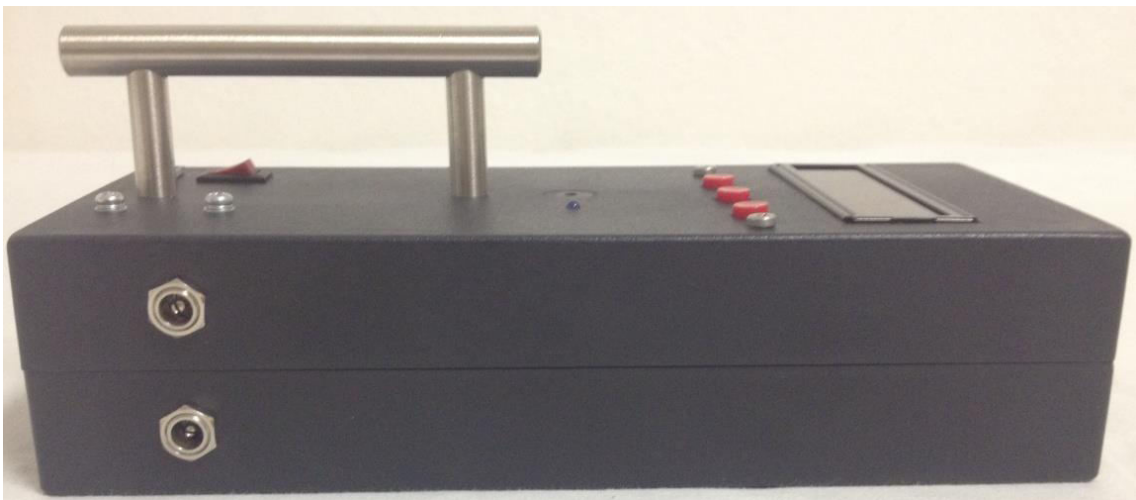
Obr. 15: Fotografie předního panelu přístroje.

Tab. 4: Popis součástí předního panelu přístroje dle Obr. 11.

Označení	Popis
1	Snímač teploty
2	GM trubice

3.1.4 Boční panel

Na bočním panelu jsou umístěny dva typy nejčastěji užívaných napájecích konektorů. Fotografie bočního panelu s konektory je na Obr. 16, technický výkres na Obr. 31 v příloze D.



Obr. 16: Fotografie bočního panelu přístroje.

4 Využití zařízení v praxi

4.1 Teoretická část

V minulém století, kdy se začaly radioaktivní prvky využívat, nebyla oproti dnešní době příliš řešena bezpečnost (především z důvodu neznalosti) a některé počítání tak bylo značně nebezpečné. Za zmínku stojí pokus kanadského vědce Louise Slotina, který experimentoval s plutoniem tvaru koule obklopeného dvěma dutými polokoulemi beryllia tvořícího neutronové zrcadlo. Pokud by došlo k úplnému uzavření (obklopení) plutonia berylliem, vytvořila by se tzv. kritická hranice, za níž nastává nekontrolovatelná štěpná reakce. Aby se tak nestalo, použil Louis obyčejný šroubovák zaražený do škvíry mezi jednotlivými poklopy. Šroubovák mu však vyklouzl, stihl polokoule rozdělit ještě před výbuchem. Dodal jen „*a je to...*“ a zanedlouho zemřel na následky ozáření.

Radioaktivní prvky se nevyužívaly pouze ve výzkumu, ale začaly se přidávat i do běžně dostupných předmětů. U nás tak začala v roce 1927 činit firma Radiumchema. Ta přidávala radioaktivní látky (převážně radium) ve vysoké koncentraci téměř do všech výrobků od kosmetiky, toaletních vod, mýdel až po potraviny a nápoje. Výrobky byly velice drahé, jelikož radium je poměrně vzácný prvek, a tak si je mohli dovolit pouze bohatí lidé. Ti však umírali na chronickou nemoc z ozáření. Firma si nebyla vědoma následků svého počínání, o negativních dopadech těchto produktů se nevědělo. Poptávky byly velmi vysoké, panovaly například názory, že aktivita výrobku jim dodá energii při nemocech a tak se dříve uzdraví.

V dnešní době jsme naštěstí již dostatečně seznámeni s účinky radioaktivního záření a takto nebezpečné produkty se již nevyrábí. Většina lidí si tak není vědoma široké spousty zářičů, které se mezi námi stále vyskytují. Ty totiž měly uplatnění i v jiných aplikacích, než bylo zmíněno a dodnes se uchovávají předměty, které mohou vykazovat i velkou intenzitu záření. V Tab. 5 je několik takových předmětů uvedeno. Na Obr. 17 je jeden z nich vyfotografován.

Tab. 5: Seznam radioaktivních předmětů z dřívějších dob. (Převzato z [4])

Předmět	Popis
Hromosvody	Zářič na vrcholu měl za úkol ionizovat vzduch a tím zvýšit vodivost vzduchu.
Čistící kartáče na prach	Obsahovaly polonium, které díky radiaci přitahovalo prach.
Uranové sklo	Sklo bylo barveno oxidem uranitým a získalo tak žlutozelený odstín, velice ceněno pro jeho optické vlastnosti.
Čočky pro optoelektroniku	Přidáváno thorium, které zlepšilo optické vlastnosti (index lomu).
Punčošky pro plynové lampy	Přidáváno thorium.
Nádobí	K barvení glazury se užívaly sloučeniny uranu.
Ciferníky měřících přístrojů	Užívalo se radia, které spolu s fluorescenčními látkami svítilo ve tmě.



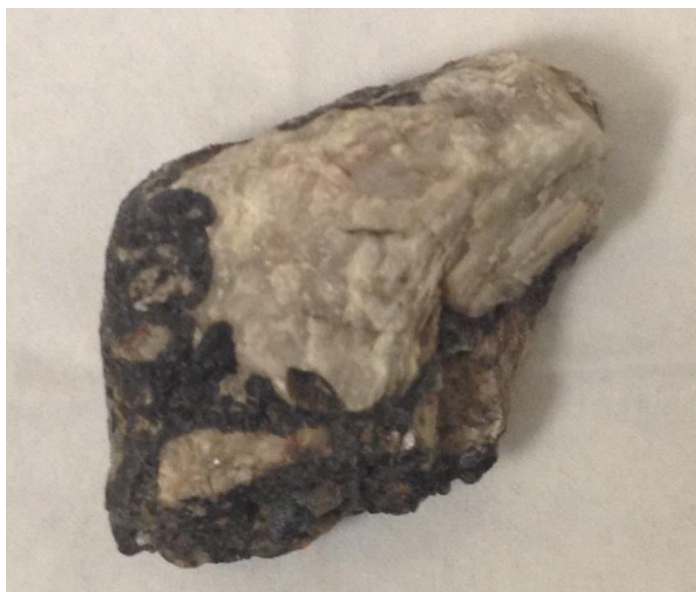
Obr. 17: Fotografie uranového skla ve formě korálků z náhrdelníku.

Aplikace radioaktivních látek u běžných předmětů se dnes omezila kvůli neblahým zdravotním účinkům na minimum. I v domácnosti jsou však zařízení, které se bez těchto látek neobejdou. Několik z nich je uvedeno v Tab. 6.

Tab. 6: Seznam radioaktivních předmětů užívaných v dnešní době. (Převzato z [4])

Předmět	Popis
Wolframové svářecí elektrody	Obsahují thotium, užívají se pro TIG způsob svařování.
Tritiové svítící přívěsky	Obsahují těžký vodík, který ve tmě svítí (bez nutnosti předem „nasvítit“).
Katoda magnetronu z mikrovlnky	Katoda obsahuje malé množství thoria.
Ionizační detektory kouře	Obsahují Americium, zářič je pro funkci nezbytný.

Vyhnout se záření úplně není možné i v případě, že tyto předměty nezakoupíme. Například v Brazílii se nachází pohoří Minas Gerais, kde jsou rostliny obsahující extrémně vysoké množství radia a jsou tak schopny poskvřnit fotografický film. Pokud však pomineme podobné extrémy a budeme se bavit o naší republice, můžeme se setkat s minerálem pojmenovaným smolincec. Jedná se o oxid uraničitý UO_2 , který se zpracovává pro využití v jaderných aplikacích. Fotografie tohoto minerálu pořízeného z okolí Příbrami je na Obr. 18.



Obr. 18: Fotografie vzorku smolincec.

Tyto prvky vyskytující se v přírodě spolu s kosmickým zářením tvoří tzv. přirozené radiační pozadí. Radioaktivní izotop uhlíku se zcela přirozeně vyskytuje i v našem těle. Významně se na hodnotách radiačního pozadí také podílí plyn zvaný radon unikající ze zemského povrchu. Ionizujícímu záření se tedy nikdy nedá zcela vyhnout.

4.2 Vlastní měření

Po zapnutí zařízení je patrné, že menší aktivita je měřitelná i bez jakéhokoli testovacího zářiče. Tato hodnota je však zanedbatelná a způsobuje jí právě zmiňované radiační pozadí.

Měření radiačního pozadí bylo provedeno v okolí jaderné elektrárny Dukovany a Brna. V okolí Dukovan byla naměřená hodnota 0,23 pulzů za sekundu, v okolí Brna hodnota činila 0,45 pulzů za minutu. (Jednotka Becquerel zde není záměrně uvedena, jelikož neznáme původ záření). Občas zmiňované názory, že jaderné elektrárny způsobují kontaminaci přírody se ukázaly jako zcela mylné.

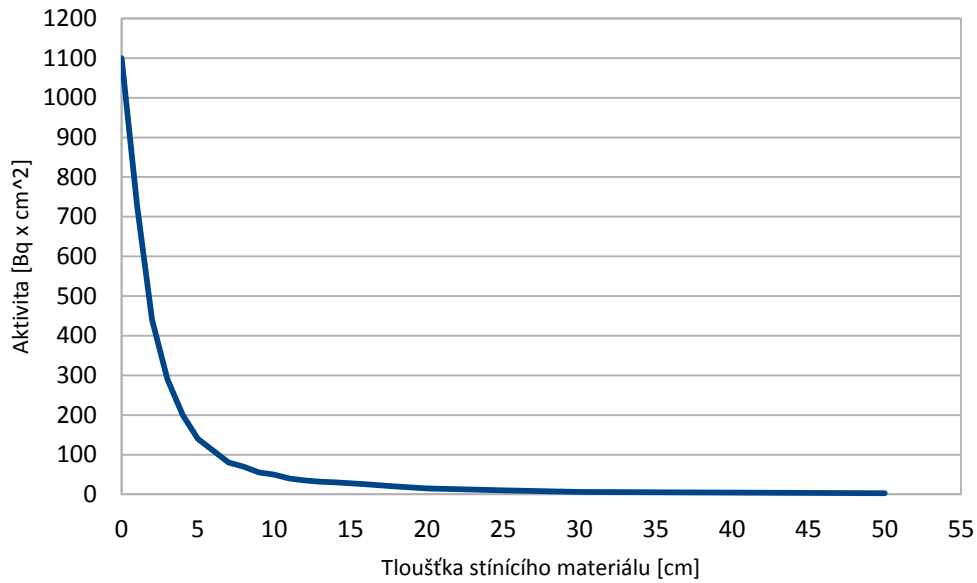
Prvním měřeným předmětem vykazující aktivitu bylo uranové sklo (Obr. 17). Intenzita je u něj zanedbatelná a měřitelná pouze z bezprostřední blízkosti. Z tohoto důvodu bylo využito režimu sčítání impulsů. Měření probíhalo po dobu 1 minuty a naměřená hodnota je celkem 86 pulsů, tedy $1,43\text{Bq} \times \text{cm}^2$.

Druhým předmětem byl vzorek smolince z okolí Příbrami (Obr. 18). Ten vykazoval podstatně vyšší intenzitu. Z těsné blízkosti se naměřená hodnota pohybovala okolo $1100\text{Bq} \times \text{cm}^2$. Po odstínění alfa záření hodnota klesla na $510\text{Bq} \times \text{cm}^2$, gama záření představovalo $240\text{Bq} \times \text{cm}^2$. Tento údaj je však podezřele vysoký, jelikož hodnoty gama u těchto minerálů se pohybují daleko níže. Stínící materiál zřejmě nebyl dostatečně kvalitní.

Smolincec je znám především jako alfa zářič (obsahuje ^{238}U). Při jeho odstínění by tedy intenzita měla výrazněji klesnout. Nestalo se tak, hlavními typy snímaného záření jsou hlavně beta a gama. I přes slídové okénko trubice zřejmě příliš nesnímá záření alfa. Možnost, že by došlo již k přeměně většiny atomů ^{238}U na další rozpadové prvky je velice nepravděpodobná.

Pro tento vzorek bylo provedeno ještě měření intenzity v závislosti na vzdálenosti. Výsledkem je graf na Obr. 19.

Závislost intenzity záření vzorku smolince na tloušťce stínícího materiálu (vzduch)



Obr. 19: Graf závislosti intenzity záření smolince na vzdálenosti.

Ani jeden z předmětů nevykazuje takovou intenzitu ionizujícího záření, aby vzniklo při bezpečném manipulování nějaké závažné zdravotní riziko i za předpokladu vystavení po několik hodin. Problém by mohl nastat pouze za předpokladu, že by byl požit kousek smolince, který se značně drolí.

Závěr

Realizace intenzimetru přinesla užitečné poznatky v oblasti návrhu, konstrukce a programování elektronických přístrojů. Výsledné zařízení neměří intenzitu příliš přesně, není příliš citlivé na záření alfa. I při této skutečnosti však měří přesněji, než bylo předpokládáno a formou porovnávání lze získat dobrou představu o této fyzikální veličině.

Pomocí zařízení bylo dokázáno, že zdánlivě obyčejné předměty mohou vykazovat radioaktivitu. Došlo též k zajímavému zjištění, že přírodní minerál vykazoval 769x vyšší intenzitu, než tomu bylo u uměle vytvořeného předmětu. Z aktivity vzorku smolince byl pak sestaven graf závislosti intenzity na vzdálenosti. Při srovnání s tabulkami tyto výsledky lze považovat za nadprůměrné. Též byly ověřeny základní fyzikální vlastnosti ionizujícího záření.

V budoucnu by mohl být užit přesnější snímač a výkonnější procesor, přesnost zařízení by pak dosahovala úrovně profesionálních měřicích přístrojů a mohlo by se provést podrobné měření ostatních zmiňovaných předmětů.

Seznam zkratek

GM trubice — Geiger Müllerova trubice

LED — Light emitting diode (Dioda emitující světlo)

OLED — Organic light emitting diode (Organická dioda emitující světlo)

LCD — Liquid crystal display (Displej z tekutých krystalů)

RAM — Random-access memory (paměť s volným výběrem)

SPI — Serial peripheral interface (sérioparalelní rozhraní)

INT — Interrupt (vnější přerušení mikrokontroléru)

OCR — Output compare register (porovnávací registr časového přerušení mikrokontroléru)

D. C. — Duty cycle (střída)

TIG — Tungsten inert gas (Způsob svařování wolframovou elektrodou v ochranné Atmosféře)

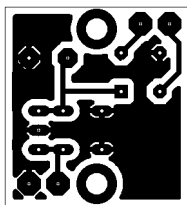
Citace a odkazy

- [1] SchoolPhysics. . [online]. © 2015 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: schoolphysics.co.uk
- [2] GM Počítadlo – měřič radioaktivity . *danyk.cz*. [online]. 14.9.2014 [cit. 2014-10-26]. Dostupné z: <http://danyk.cz/gm.html>
- [3] GM electronic. *elektronika, kterou znáte*. [online]. Copyright 1990–2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
- [4] Radioaktivní předměty . *danyk.cz*. [online]. 26.10.2014 [cit. 2014-11-01]. Dostupné z: <http://danyk.cz/ion.html>
- [5] iDNES.cz. *blogy čtenářů iDNES.cz*. [online]. 13.1.2012 [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://blog.idnes.cz/>
- [6] JÁCHYMOV. *průřez historií i současností*. [online]. [2011] [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.jachymov-joachimsthal.cz/>
- [7] Becquerel. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Becquerel>
- [8] Atomová energie, zpravodajství. *Radiační bezpečnost*. [online]. © 2012 [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/>
- [9] FYZMATIK. *Atomová a jaderná*. [online]. 3.9.2014 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/atomova-a-jaderna>
- [10] Displej z tekutých krystalů. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Displej_z_tekut%C3%BDch_krystal%C5%AF
- [11] OLED. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/OLED>
- [12] Operační paměť. *Počítače – Hardware*. [online]. [2005] [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://hardware.brych.cz/ram.php>
- [13] Střída (elektronika). *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99%C3%ADda_%28elektronika%29
- [14] Externí sériové sběrnice SPI a I²C. *Root.cz*. [online]. 30.12.2008 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [15] TIG svařování I – základní principy.. *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování*. [online]. 07.01.2009 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
- [16] Část zdrojového kódu v příloze E převzata ze školních materiálů SPŠT. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: I:\EI\AVR\PROGRAMY
- [17] Školní materiály SPŠT. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z I:\EI\AVR\texty

Seznam příloh

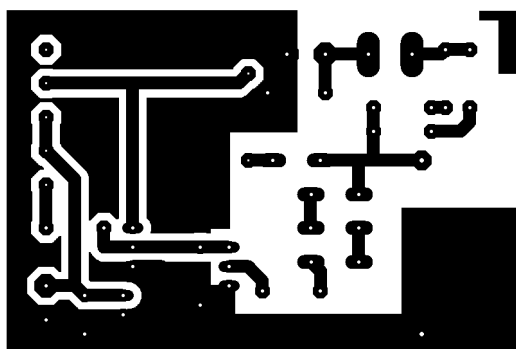
Příloha A — Desky plošných spojů.....	40
Příloha B — Rozmístění součástek.....	41
Příloha C — Tabulky součástek.....	43
Příloha D — Technické výkresy.....	44
Příloha E — Kompletní zdrojový kód v jazyce ASSEMBLER.....	Příložené CD
Příloha F — Videokázka měření se zhotoveným zařízením.....	Příložené CD

Příloha A — Desky plošných spojů



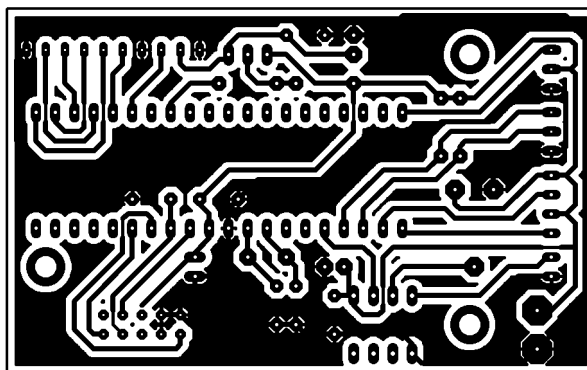
Obr. 20: Návrh desky plošných spojů pro stabilizaci napětí.

(Rozměr desky 24,2 x 26,7 [mm], měřítko M1:1)



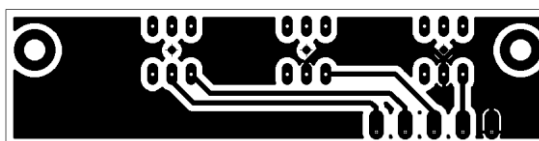
Obr. 21: Návrh plošného spoje vysokofrekvenčního vysokonapěťového zdroje.

(Rozměr desky 67,3 x 45,7 [mm], měřítko M1:1)



Obr. 22: Návrh plošného spoje pro obvod řídicího obvodu.

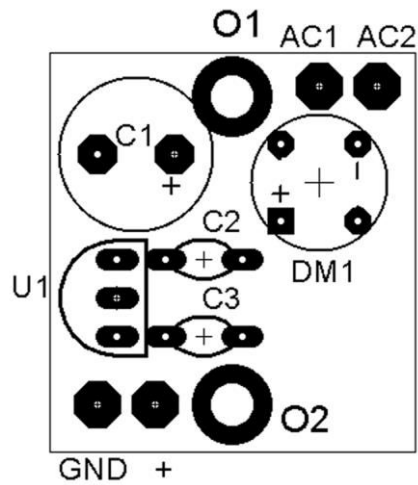
(Rozměr desky 77,5 x 48,3 [mm], měřítko M1:1)



Obr. 23: Návrh plošného spoje pro zapojení tlačítek.

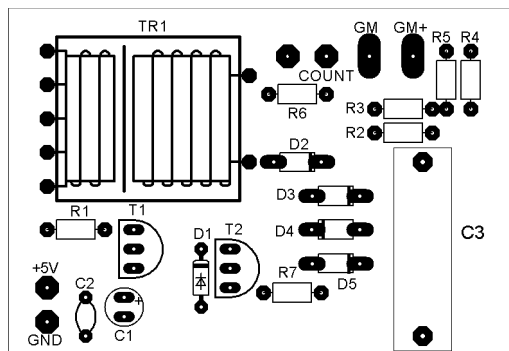
(Rozměr desky 71,1 x 17,8 [mm], měřítko M1:1)

Příloha B — Rozmístění součástek



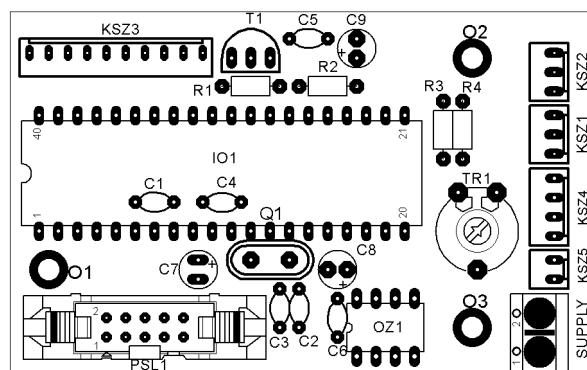
Obr. 24: Rozmístění součástek obvodu pro stabilizaci napětí.

(Měřítko M2:1)



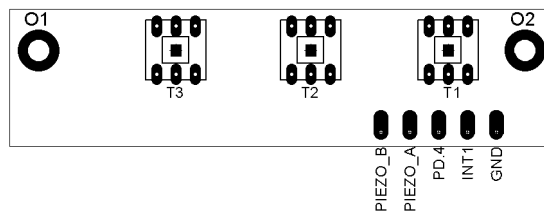
Obr. 25: Rozmístění součástek vysokofrekvenčního vysokonapěťového zdroje.

(Měřítko M1:1)



Obr. 26: Rozmístění součástek obvodu řídicího obvodu.

(Měřítko M1:1)



Obr. 27: Rozmístění součástek pro zapojení tlačítek.

(Měřítko M1:1)

Příloha C — Tabulky součástek

Tab. 7: Seznam součástek pro stabilizaci napětí.

Označení	Popis	Parametry
C1	Kondenzátor elektrolytický	1000 μ F/16V
C2, C3	Kondenzátor keramický	100nF/63V
U1	Stabilizátor	78L05/SEMT
DM1	Diodový můstek	B250C1500
O1, O2	Šroub	M3

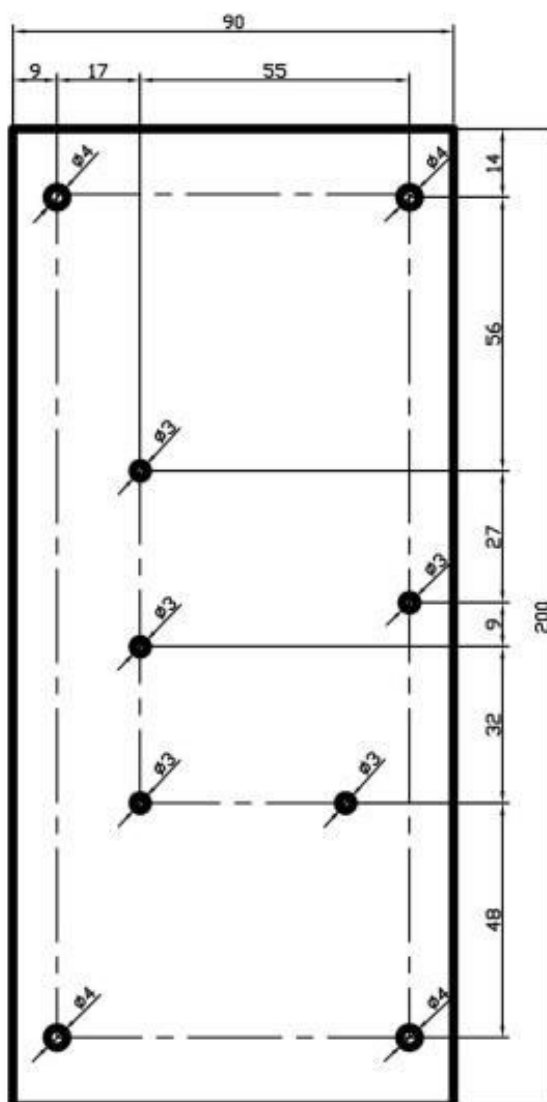
Tab. 8: Seznam součástek pro vysokofrekvenční měnič.

Označení	Popis	Parametr
R1	Metalizovaný rezistor	1k Ω
R2, R3, R4, R5	Metalizovaný rezistor	10M Ω
R6	Metalizovaný rezistor	100k Ω
R7	Drátová propojka	—
C1	Elektrolytický kondenzátor	100 μ F/16V
C2	Keramický kondenzátor	100nF/63V
C3	Svitkový kondenzátor	100nF/1000V
T1, T2	Bipolární NPN tranzistor	BC550C
D1	Dioda	1n4148
D2	Dioda	UF4007
TR1	Vysokofrekvenční vysokonapěťový transformátor	Viz text

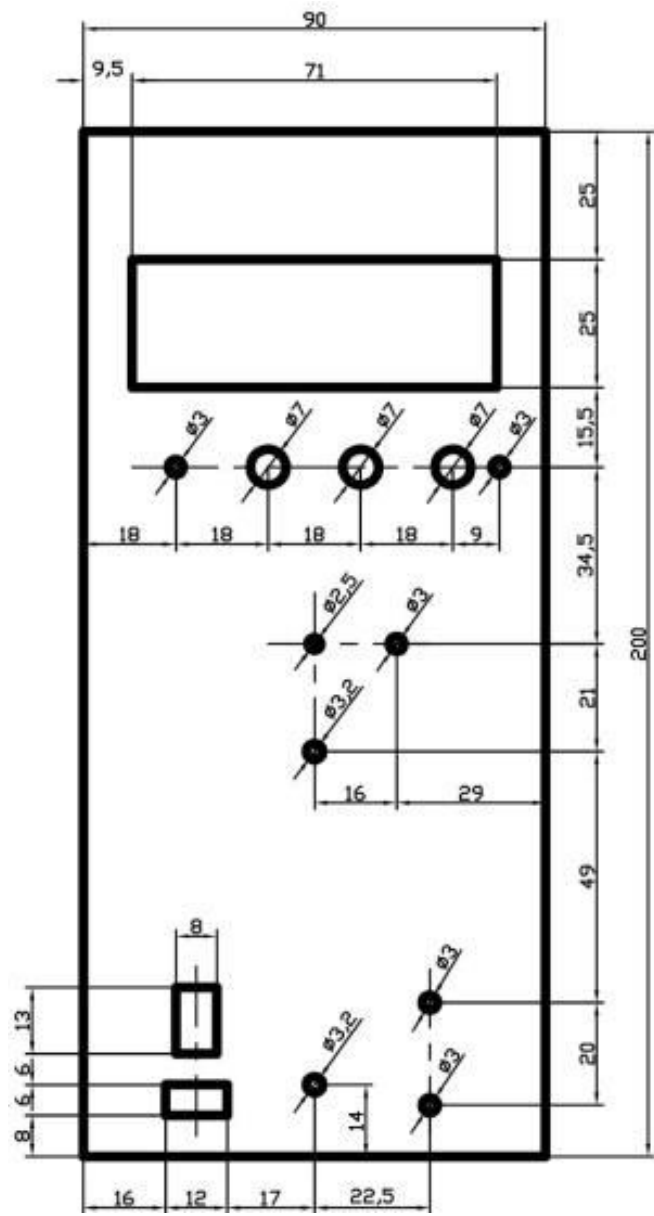
Tab. 9: Seznam součástek pro obvod řídicího obvodu.

Označení	Popis	Parametr
R1	Metalizovaný rezistor	1k Ω
R2, R3, R4	Metalizovaný rezistor	10k Ω
TR1	Odporový trimr lineární	100k Ω
C1, C4, C5, C6	Keramický kondenzátor	100nF/63V
C2, C3,	Keramický kondenzátor	16pF/63V
C7, C8, C9	Elektrolytický kondenzátor	100 μ F/16V
T1	Bipolární PNP tranzistor	BC556B
Q1	Krystal	16 MHz
IO1	Mikrokontrolér	ATMEGA16
OZ1	Operační zesilovač	TLC272CP
SUPPLY	Svorkovnice	ARK500/2EX
PSL1	Konektor	PSL10
KSZ1, KSZ2	Konektor se zámkem	PSH02-03PG
KSZ3	Konektor se zámkem	PSH02-10PG
KSZ4	Konektor se zámkem	PSH02-04PG
KSZ5	Konektor se zámkem	PSH02-02PG
O1, O2, O3	šroub	M3

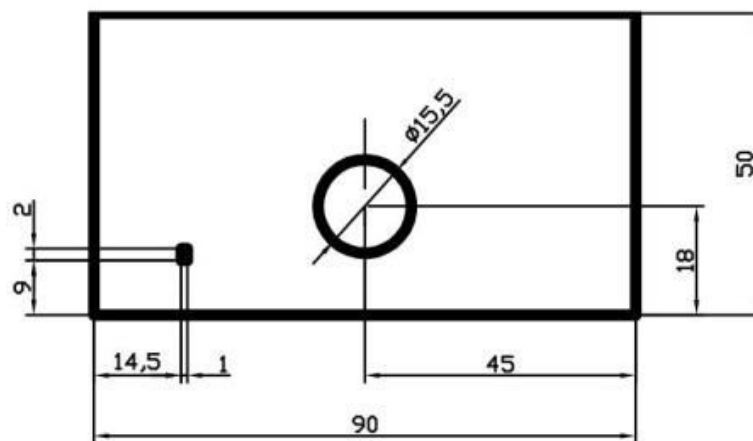
Příloha D — Technické výkresy



Obr. 28: Technický výkres spodní části konstrukční krabičky.



Obr. 29: Technický výkres vrchního panelu.



Obr. 30: Technický výkres předního panelu.



Obr. 31: Technický výkres bočního panelu.