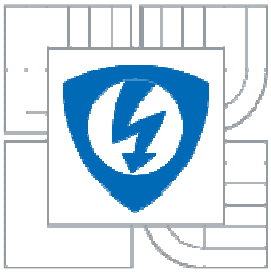
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MĚŘIČ RADIOAKTIVNÍHO ZÁŘENÍ SE SOUČASNÝM SNÍMÁNÍM POZICE ČIDLA POMOCÍ GPS

RADIOACTIVE RADIATION METER WITH SIMULTANEOUS GPS POSITION SENSING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER´S THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. STANISLAV TKÁČ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — DOC. ING. MILAN CHMELAŘ, CSC.
SUPERVISOR

BRNO 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské a ekologické inženýrství

Student:	Bc. Stanislav Tkáč	***ID:***	72794
Ročník:	2	***Akademický rok:***	2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Měřič radioaktivního záření se současným snímáním pozice čidla pomocí GPS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Rozeberte možnosti snímání různých druhů radioaktivního záření i s ohledem na jeho vliv na životní prostředí. 2) Rozeberte vlastnosti GPS systému z hlediska jeho funkce a přesnosti určrní souřadnic daného místa. 3) Navrhněte blokové schéma systému pro měření radioaktivního záření a současné snímání polohy čidla pomocí GPS. 4) Navrhněte jednoduchý systém pro měření radioaktivního zaření se současným snímáním polohy čidla.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KNOLL, G. F.: Radiation Detection and Measurement. Wiley; 4 edition, 2010.
[2] HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J.: GPS Theory and Practice. 5th revised edition, Springer, Wien, 2001, 382 s.

Termín zadání:	6.2.2012	***Termín odevzdání:***	18.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.
Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Účelem této diplomové práce je sepsat teorii snímání radioaktivního záření, popsat funkci GPS a vytvořit návrh měřícího systému, který umožňuje měřit přirozené radioaktivní pozadí a k těmto hodnotám přiřadit aktuální souřadnice GPS.

Klíčová slova

Ionizující záření, GPS, Měření, Radioaktivita, Mikropočítač, SD karta

Annotation

The task of this master´s thesis is to write a theory of radiation sensing, describe the function of GPS and design the measuring system which can measure the radioactive background and these values assigned to the current GPS coordinates.

Keywords

Ionizing radiation, GPS, Measurements, Radioactivity, SD card

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Měřič radioaktivního záření se současným snímáním pozice čidla pomocí GPS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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.

V Brně dne 17. května 2012 .....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu panu doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 17. května 2012 .....

podpis autora

Obsah

1. Úvod ... 3
2. Snímání radioaktivního záření ... 3
2.1 Rozdělení ionizujícího záření ... 3
2.2 Rozdělení snímačů ionizujícího záření ... 4
2.3 Vlastnosti snímačů ionizujícího záření ... 4
2.4 Snímače ionizujícího záření ... 8
3. Systém GPS ... 14
3.1 Historie systému GPS ... 14
3.2 Princip určení polohy ... 14
3.3 Struktura systému GPS ... 15
3.4 Metody pro zpřesnění polohy ... 17
4. Návrh měřícího systému ... 19
4.1 Návrh číslo 1 ... 19
4.1 Návrh číslo 2 ... 22
5. Podrobný návrh měřicího systému ... 25
5.1 LCD displej ... 25
5.2 GPS modul ... 26
5.3 NMEA protokol ... 27
5.4 VN zdroj ... 28
5.5 Modul SD paměťové karty ... 31
5.6 G-M trubice ... 32
5.7 Mikropočítač ... 33
5.8 DC-DC měnič ... 39
5.9 Kalibrace G-M trubice ... 41
5.10 Návrh programu ... 42
6. Závěr ... 44
6. Použitá literatura ... 45
7. Seznam zkratek ... 47
8. Odkazy ... 48
9. Použitý software ... 48
10. Přílohy

Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma zapojení Geiger-Müllerovy trubice v elektrickém obvodu 8
Obrázek 2. Nabitý elektroskop 9
Obrázek 3. Vybitý elektroskop 9
Obrázek 4. Čítač jisker 10
Obrázek 5. Schematické znázornění polovodičového detektoru 12
Obrázek 6. Principiální schéma scintilačního detektoru a spektrometru 12
Obrázek 7. Určení polohy GPS přijímače 14
Obrázek 8. Umístění GPS satelitů ve vesmíru 15
Obrázek 9. Struktura systému popsaného protokolem Ntrip 17
Obrázek 10. Blokové schéma celého zařízení 18
Obrázek 11. Blokové schéma celého zařízení (návrh číslo 2) 21
Obrázek 12. Zapojení a funkce pinů LCD 23
Obrázek 13. Úvodní obrazovka 24
Obrázek 14. Blokové schéma GPS modulu 25
Obrázek 15. Rozložení a funkce pinů GPS modulu 25
Obrázek 16. Schéma VN zdroje 27
Obrázek 17. Plošný spoj VN zdroje (měřítko 1:1) 27
Obrázek 18. Osazovací schéma VN zdroje. 28
Obrázek 19. Zapojení pinů modulu SD karty a jejich funkce. 30
Obrázek 20. G-M trubice AGM100 30
Obrázek 21. Zapojení pinů mikropočítače 32
Obrázek 22. Napěťové přizpůsobení 33
Obrázek 23. Schéma MCU části zařízení 34
Obrázek 24. DPS MCU části zařízení 35
Obrázek 25. Osazovací schéma MCU části zařízení 35
Obrázek 26. Schéma DC-DC měniče 37
Obrázek 27. Závislost účinnosti na odebíraném proudu 37
Obrázek 28. DPS DC-DC měniče 38
Obrázek 29. Osazovací schéma DC-DC měniče 38
Obrázek 30. Obecná závislost četnosti impulzů na napětí pro G-M trubici 39
Obrázek 31. Návrh programu 40

Seznam vzorců

(1) Konvoluce skutečného spektra a odezvové funkce spektrometru 6
(2) Soustava rovnic, kterou řeší přijímač GPS signálu 14

Seznam příloh

Příloha 1. Fotografie vývojového kytu.

Zadání diplomové práce

Rozeberte možnosti snímání různých druhů radioaktivního záření i s ohledem na jeho vliv na životní prostředí. Rozeberte vlastnosti GPS systému z hlediska jeho funkce a přesnosti určení souřadnic daného místa. Navrhněte blokové schéma systému pro měření radioaktivního záření a současné snímání polohy čidla pomocí GPS.

1. Úvod

Radioaktivita je samovolná přeměna jader nestabilních nuklidů na jiná jádra. Při této přeměně vzniká radioaktivní záření, což je ionizující záření vznikající při radioaktivním rozpadu. Radioaktivitu je možné rozdělit na přirozenou a umělou.

Přirozená radioaktivita je důsledkem samovolného rozpadu atomového jádra. V přírodě je mnoho látek přirozeně radioaktivních, včetně tkání živých organismů.

Umělou radioaktivitu prvky získají buď transmutací, nebo vlivem řetězové reakce či působením urychlených částic. Umělá radioaktivita tedy vzniká přeměnou jádra, která je způsobena vnějším vlivem. Takováto jádra v přírodě běžně neexistují, ale byla vytvořena uměle. Vlastnosti rozpadu těchto uměle vytvořených jader jsou shodné se zákony rozpadu přirozeně radioaktivních jader. Avšak ke vzniku těchto jader byl nutný vnější umělý zásah a proto hovoříme o umělé radioaktivitě.

V rámci tohoto projektu bude pozornost věnována zejména přirozené radioaktivitě. Umělá radioaktivita má v přírodě význam většinou při havárii radioaktivního zařízení např. jaderné elektrárny. Umělý radioaktivní zářič lze uplatnit v rámci diplomové práce navazující na toto téma. Zářič bude využit při konstrukci samotného zařízení a poslouží ke kalibraci snímače radioaktivního záření.

„Global Positioning System“, neboli GPS je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických, pomocí kterého je možné určit polohu a přesný čas kdekoliv na Zemi, nebo nad Zemí. Tento systém původně vznikl pro vojenské účely, jelikož pro vojenské operace je znalost co nejpřesnější polohy klíčová. Část služeb tohoto systému s omezenou přesností je dostupná i pro civilní uživatele.

Tento projekt se bude zabývat právě civilní částí tohoto systému. Cílem je návrh zařízení, které bude k naměřené hodnotě radioaktivního záření ukládat aktuální souřadnice GPS. Soubor většího množství těchto dat (desítky, stovky měření) by mohl být využit pro zpracování v Geografickém informačním systému, zkráceně GIS.

2. Snímání radioaktivního záření

2.1 Rozdělení ionizujícího záření

- **Záření alfa** - Proud kladně nabitých částic složených ze dvou protonů a dvou neutronů. Jde o jádra helia $_2$He. Má silný ionizační účinek a velmi malý dosah.

- **Záření beta** - Proud kladně (pozitrony), nebo záporně (elektrony) nabitých částic. (1)
- **Záření beta** + - je označováno jako pozitronové. Vzniká při přeměně protonu na neutron (antičástice elektronu). (2)

- **Záření gama** - Elektromagnetické vlnění (fotony). Vzniká jako průvodní jev radioaktivních přeměn alfa nebo beta, uvolněním při deexcitaci atomového jádra - návratu z vybuzeného do základního stavu. Intenzita gama záření klesá se čtvercem vzdálenosti. (1)

Mimo tyto základní druhy záření jsou pro Ekologii významné také následující typy záření:

- **Neutronové záření** - Velké částice bez náboje, které samotnou ionizaci nezpůsobují, ale porušují stabilní stavy atomů. Vyvolávají tak radioaktivitu u látek neradioaktivních či tkání, kterými procházejí. Při stejném množství absorbované energie způsobí rychlé neutrony asi 10 krát a pomalé neutrony 5 krát větší účinek než záření gama.

- **Rentgenové záření** - Krátkovlnné elektromagnetické záření vznikající při přechodu elektronů z vyšších hladin do nižších.

- **Kosmické záření** - Ionizující záření pocházející z mimozemského prostoru.

- **Terestriální záření** - Ionizující záření pocházející ze zemské kůry. (1)

2.2 Rozdělení snímačů ionizujícího záření

Snímače je možné rozdělit podle principu detekce na tři hlavní skupiny:

1. Fotografické detektory - Jsou založené buď na fotochemických účincích záření, nebo využívají fotografické zobrazení stop částic v určitém látkovém prostředí. Do první kategorie patří především filmové dozimetry, rentgenové filmy a jaderné emulze. Do druhé potom patří mlžné a bublinové komory.

2. Elektronické detektory - V nich se část absorbované energie ionizačního záření převádí na elektrické impulzy, které se zesilují a vyhodnocují v elektronických zařízeních. Do této kategorie spadají ionizační komory (včetně proporcionálních a G-M detektorů), scintilační detektory, polovodičové detektory, magnetické spektrometry a další.

3. Materiálové detektory využívají dlouhodobější změny vlastností určitých látek (barva, složení) působením ionizujícího záření. Vzhledem k nízké citlivosti jsou použitelné pouze pro vysoké intenzity záření či dlouhodobou integrační detekci. Do této kategorie spadají např. stopové detektory, založené na tom, že po dopadu částic dochází k drobným lokálním poruchám v krystalové mřížce určitých materiálů (např. slídy, speciální skla, organické polymery). Tyto mikroskopické poruchy lze leptáním zvětšit do makroskopických rozměrů (poškozený materiál je chemicky citlivější). Takto vyleptané stopy se pak pozorují mikroskopem a počítá se jejich hustota. Do této kategorie lze zařadit i tzv. křemíkové diody s dlouhou bází (LBSD). Tyto diody jsou určené pro měření radiační dávky od těžkých částic, především rychlých neutronů. (3)

2.3 Vlastnosti snímačů ionizujícího záření

Tato část práce zahrnuje nejdůležitější vlastnosti snímačů ionizujícího záření. Úplně přesné měření se 100% účinností je jen ideální předpoklad. V měřícím procesu se projevuje řada nepříznivých vlivů, které omezují možnosti měření, či zkreslujících výsledky. U jednotlivých typů detektorů budou níže tyto vlivy konkrétně rozebírány.

Detekční účinnost

Úkolem radiometrických detekčních přístrojů je objektivní měření intenzity záření či počtu jeho kvant v daném místě, nebo z daného vzorku. Optimální situace "100% účinnosti", kdy přístroj bude registrovat každé kvantum analyzovaného záření, je splněna. Důležitým parametrem radiometrického přístroje je jeho detekční účinnost, označovaná též někdy jako citlivost *) přístroje. Rozeznáváme dva druhy detekční účinnosti.

*) Slovo "*citlivost*" však může vyjadřovat i jiné vlastnosti detektoru. Z obecného hlediska *citlivost detektoru* vyjadřuje schopnost detektoru při vstupu daného druhu záření vytvářet zpracovatelný signál. Míra této citlivosti se pak vyjadřuje jako *detekční účinnost*. Někdy se též pod *citlivostí* detektoru rozumí *nejmenší detekovatelná intenzita záření*, nebo *nejmenší detekovatelná aktivita* vzorku, kterou je daný detektor schopen ještě změřit.

Absolutní detekční účinnost

Měření je poměr počtu impulsů zaznamenaných detektorem k počtu kvant vyzářených zdrojem za daný čas, popř. poměr četnosti impulsů z detektoru k celkovému toku (fluenci) v poli či svazku záření. Absolutní detekční účinnost závisí na geometrickém uspořádání zdroje a detektoru, na příp. absorpci záření a dalších okolnostech, samozřejmě též na vlastní vnitřní účinnosti použitého detektoru.

Vnitřní detekční účinnost detektoru

Jedná se o poměr počtu impulsů zaznamenaných detektorem k počtu kvant, která vstoupila do detektoru. Tato detekční účinnost, která je vlastní charakteristikou daného detektoru (jeho typu a dokonce konkrétního kusu), je dána řadou fyzikálních a technických okolností. Především je to **účinný průřez** interakce daného druhu kvant s materiálem detektoru. Dále je to velikost citlivého objemu, absorpční vlastnosti konstrukčních materiálů, "konkurenční" procesy interakce bez produkce užitečného signálu, mrtvá doba, elektronické zpracování a analýza signálu.

Časové rozlišení a mrtvá doba

Jednotlivá kvanta záření přicházejí do detektoru s nepravidelnými "časovými rozestupy", při vyšší intenzitě záření přicházejí částice velmi rychle za sebou, s nepatrnými časovými intervaly. Žádný elektronický detektor nepracuje "nekonečně rychle", má konečnou časovou rozlišovací schopnost.

Časové rozlišení

Je čas, který detektor potřebuje ke zpracování a registraci odezvového signálu od jednoho kvanta záření.

Mrtvá doba

Je časový interval od detekce jednoho kvanta, po kterou detektor není schopen správně detekovat další kvanta. Během této doby je detektor buď necitlivý k záření, nebo příp. druhý odezvový signál by byl složen s prvním. Mrtvá doba detektoru vede ke snižování detekční účinnosti, přičemž tato detekční účinnost **není konstantní**, ale je **závislá na intenzitě** analyzovaného záření. Vzniká tedy nelinearita odezvy. To může vést k výrazným chybám v měřících procedurách.

Pozadí - stínění detektoru

U každého reálného měřícího zařízení, a tedy i snímačů radioaktivního záření, se přes měřený signál překládá a superponuje "nulový" signál pozadí. Toto pozadí má svůj původ jednak v elektrickém šumu přístroje, jednak v záření z okolního prostoru (kosmické záření, zemské záření, radioaktivita konstrukčních dílů spektrometru atd.) Pozadí z vnějšího prostoru lze výrazně omezit důkladným stíněním detektoru. Pro korektní měření musí být pozadí odečteno od výsledného spektra. Problémy nastávají, když měřené záření je natolik slabé, že je srovnatelné s intenzitou pozadí.

Kombinatorické pozadí

U složitějších systémů (více detektorů), kde výsledná měřící odezva vzniká určitou kombinací signálů z jednotlivých detektorů, může při souběžné detekci velkého počtu částic dojít k nesprávnému spárování koincidenčních či antikoincidenčních signálů. Tyto signály pocházejí z různých, vzájemně nesouvisejících procesů. Falešná data vznikající tímto způsobem se někdy označují jako **kombinatorické pozadí**. Hraje negativní úlohu zvláště u složitých detekčních systémů u urychlovačů, kdy při interakcích vzniká prakticky současně velké množství kvant a zkoumané vzácné jevy se pak v kombinatorickém pozadí mohou ztrácet.

Spektrum

V ideálním případě by se měřené (přístrojové) spektrum n = n(E) mělo shodovat se skutečným (fyzikálním) spektrem N = N(E) emitovaného záření. Ve skutečnosti se však měřené spektrum od skutečného liší v důsledku některých zkreslujících přístrojových efektů.

Energetické rozlišení

Především se jedná o nedokonalou rozlišovací schopnost spektrometru, který nedokáže rozlišit blízké energie záření. Měřené spektrum n(E) je pak výsledkem konvoluce skutečného spektra N(E) a odezvové funkce *LSF*(E,E´) spektrometru:

$$n(E) = \int_{-\infty}^{+\infty} LSF(E,E') \,.\, N(E)\, dE' \quad (1)$$

Toto konvoluční zkreslení se projevuje jako **rozmazání spektra**, které zahlazuje příp. jemné detaily ve spektru. Je proto přirozená snaha dosahovat co nejlepšího energetického

rozlišení spektrometrů. Není to však vždy možné, naráží se zde na omezení fyzikálního a technického charakteru. Navíc rozlišení a detekční účinnost (citlivost) spektrometru si vzájemně konkurují, takže snaha o dosažení co nejlepšího rozlišení může neúnosně zhoršit detekční účinnost.

Nelinearita (energetická a účinnostní)

Dalším vlivem, zkreslujícím tvar měřeného spektra, může být případná nelinearita energetické odezvy spektrometru a energetická závislost detekční účinnosti. Tyto vlivy mohou být eliminovány pečlivou energetickou a účinnostní kalibrací spektrometru.

Rozptýlené a sekundární záření

Spolu s primárním zářením, emitovaným studovaným jaderným procesem, je vždy přítomno i sekundární záření vznikající Comptonovým rozptylem, excitacemi a deexcitacemi atomů jak v samotném zdroji záření, tak i v materiálu detektoru (včetně clon vymezujících svazek záření).

Časové nestability

Časová proměnnost elektronických parametrů spektrometru může negativně ovlivnit přesnost měření energií a intenzit jednotlivých složek analyzovaného záření. U špičkových spektrometrů je proto věnována velká pozornost elektrické stabilizaci napětí a proudů, jakož i stabilizaci teploty jednotlivých dílů spektrometru. Používají se i elektronické metody stabilizace ve zpětné vazbě. Vedle elektronických vlivů se zde mohou projevovat i fyzikálně - chemické změny v materiálech detektoru.

Stárnutí a radiační opotřebení detektorů

Jako každý přístroj i detektor ionizujícího záření není neměnný a věčný. Jeho vlastnosti se s časem a během používání mění. Změny vlastností mohou být krátkodobé či dlouhodobé, reverzibilní a ireverzibilní. Náhlé ireverzibilní změny patří do kategorie poruch přístroje. V praxi se rozlišují dva druhy dlouhodobějších ireverzibilních změn (stárnutí).

1. **Samovolné** časové změny vlastností detektoru v důsledku fyzikálních a chemických vlivů uvnitř, nebo působením s okolním prostředím. Typickým příkladem je zde žloutnutí scintilačních krystalů, nebo pozvolné změny tlaku plynu v ionizačních komorách (např. unikání plynu netěsností).

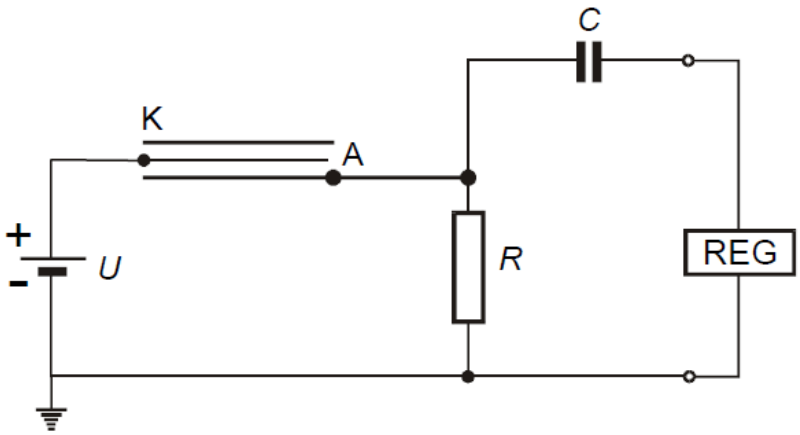
2. **Radiační poškozování a vyčerpání detekčního materiálu** v důsledku fyzikálně - chemických procesů při interakcích s detekovaným zářením. Při detekci záření γ a β nižších a středních energií dochází k excitacím a ionizacím o nízké hustotě, přičemž následná deexcitace a rekombinace většinou vede k obnovení původních vlastností materiálu. Scintilační nebo ionizační detektory γ a β mohou pracovat mnoho let, aniž by docházelo k jejich výraznějšímu opotřebení. Při detekci těžkých nabitých částic a

neutronů dochází k masívním ionizacím, nebo dokonce k jaderným reakcím, při nichž je lokálně předávána značná energie. Dochází k poškozování krystalové mřížky, k chemickým změnám, nebo dokonce k transmutacím atomů materiálu detektoru. Aktivní oblast detektoru se tím **radiačně poškozuje a vyčerpává**. Všechny tyto jevy vedou k postupnému **snižování detekční účinnosti** a u složitějších detektorů i ke zhoršování dalších parametrů jako je energetické rozlišení, prostorové rozlišení, homogenita a linearita zobrazení. Stárnutí a radiační opotřebení detektorů se výrazně projevuje v systémech, kde jsou detektory dlouhodobě vystaveny vysokým tokům energetického záření. Tyto detektory potom mají omezenou životnost. Jsou to kupříkladu monitorovací detektory v jaderných reaktorech, detekční systémy sekundárních částic na urychlovačích, dozimetrické přístroje na ozařovačích v radioterapii atd. (6)

2.4 Snímače ionizujícího záření

Geiger-Müllerova trubice

Tato trubice patří mezi plynové detektory ionizačního záření. Její účinný objem v prostoru mezi dvěma elektrodami je vyplněn plynem a na elektrody je přivedeno vysoké napětí. Vnikne-li do účinného prostoru čítače ionizující částice, ionty vzniklé podél její trajektorie se vlivem elektrického pole pohybují k elektrodám a na své cestě dalšími srážkami ionizují další molekuly, resp. atomy. Na elektrody dopadá značný náboj, který se projeví v elektrickém obvodu proudovým impulzem. Tyto impulzy jsou snadno detekovatelné, ať už přímo jako proudové nebo na odporu R jako napěťové (viz obrázek 1). Impulzy se zaznamenávají v registračním zařízení REG, které je od stejnosměrného obvodu čítače odděleno kondenzátorem C. Geiger-Müllerovy čítače pracují na hranici trvalého výboje. Jelikož částice, které vniknou do čítače v době trvání výboje, nejsou zaregistrovány, je nutno zabránit vzniku trvalého výboje, který by vyřadil čítač z provozu. Kromě toho by trvalým výbojem došlo ke zničení samotné trubice. Proto se Geiger-Müllerovy trubice konstruují jako katoda, která tvoří plášť trubice a anoda konstruovaná jako tenký drát uprostřed trubice. Takto vzniká výrazný gradient napětí jen v malé oblasti kolem anody a omezí se tak oblast výboje. V poslední době se nejčastěji používá tzv. samozhášecích náplní do Geiger-Müllerovy trubice. Do obvyklé náplně (vodík nebo argon) se přidávají v malém množství páry organické látky (např. etylalkoholu). Jejich molekuly se neionizují, nýbrž disociují a tím se lavinovité narůstání výboje zastaví a ten velmi rychle zhasíná. Molekuly organické přísady potom opět regenerují. (4)



Obrázek 1. Schéma zapojení Geiger-Müllerovy trubice v elektrickém obvodu (4)

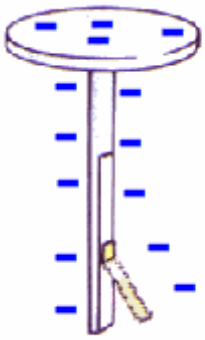
Filmové detektory

V roce 1896 Henri Becquerel objevil, že sloučeniny uranu ztmaví fotografickou desku, i když byly desky zabalené tak, aby se žádné světlo nemohlo dostat dovnitř. Na filmu je po ozáření a vyvolání možné pozorovat vnitřní vady jako tmavší místa. Filmové detektory se používají nejčastěji jako osobní dozimetry pro pracovníky, u nichž je v zaměstnání zvýšené riziko ozáření (nemocnice - radiologie, jaderné elektrárny atd.).

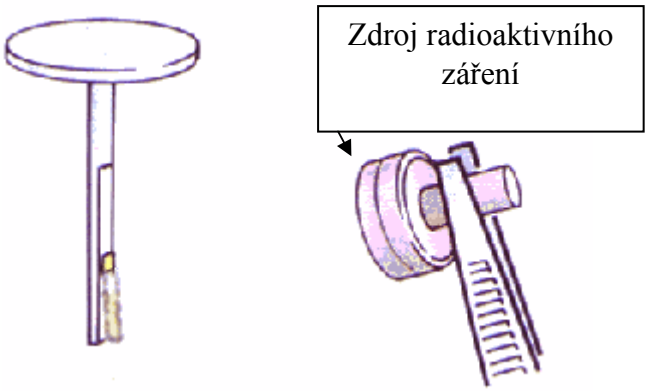
Ionizující záření prochází kovovými filtry a obalem filmu a způsobuje jeho větší či menší zčernání. Filtry slouží k odhadu energie záření, které detektorem prošlo. Míra zčernání se fotometricky vyhodnotí a tak se zjistí dávka záření absorbovaná organismem. Kovové filtry mohou být z různých materiálů a tím je možné rozlišit míru záření alfa, beta či gama. (5)

Elektroskop se zlatými lístky

Suchý vzduch je obvykle dobrý izolátor, takže nabitý elektroskop zůstane v poloze, kdy je zlatý lístek oddálen od základny (obrázek 2). Při přiblížení zdroje radioaktivního záření je ionizován vzduch a začne vést elektřinu. Tím pádem se zlatý lístek přiblíží k základně (obrázek 3). (5)



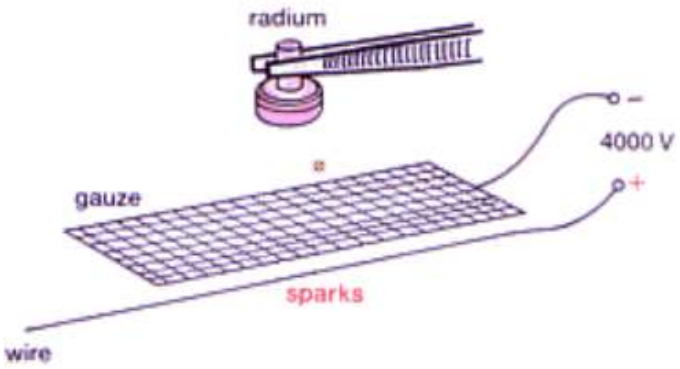
Obrázek 2. Nabitý elektroskop (5)



Obrázek 3. Vybitý elektroskop (5)

Čítač jisker (The Spark Counter)

Jde o časnou formu detektoru. Je to další detektor, který používá ionizující účinek radioaktivity, a proto funguje nejlépe s částicemi. Vysoké napětí je připojeno mezi mřížku a drát (obrázek 4). Velikost tohoto napětí se nastaví na hodnotu, kdy samovolně jiskry nevznikají. Pokud se k mřížce přiblíží zdroj radioaktivního záření, tak v místě průletu radioaktivní částice se ionizuje vzduch a v tomto místě mezi mřížkou a drátem přeskočí jiskra. (5)



Obrázek 4. Čítač jisker (5)

Mlžná komora

Tento detektor se využívá pro zobrazení stop částic. Prvním druhem detektoru, umožňujícím průběžně zviditelnit stopy průletu nabitých částic, byla Wilsonova mlžná komora. Je tvořena uzavřeným skleněným válcem naplněným plynem (například vzduchem) s nasycenými parami vhodných kapalin. Používají se vodní páry s příměsí par organických látek, nejčastěji alkoholu. Někdy se prostor komory plní i vzácnými plyny, např. argonem. Válec je na jedné straně opatřen pístem či membránou, jejíž posun umožňuje rychlou změnu objemu a tlaku uvnitř válce. Je-li provedena rychlá expanze pracovního prostoru komory (na cca 1,2 až 1,4 násobek původního objemu), dojde vlivem adiabatického rozpínání plynu ve válci k poklesu teploty a přítomné nasycené páry se vzniklým ochlazením pod rosný bod stanou parami přesycenými. Přesycené páry mají tendenci srážet se ve formě kapiček (mlhy) jednak na stěnách nádoby, ale i na prachových částečkách a na iontech, které jsou v plynu obsaženy a tvoří kondenzační jádra pro vznik kapiček. Pokud nejsou kondenzační jádra přítomna (bezprašné prostředí ve válci), přesycené páry vydrží určitou krátkou dobu bez kondenzace. Projde-li takovým pracovním prostorem buď těsně před expanzí, nebo během expanze nějaká nabitá částice, vytvoří podél své dráhy množství iontů, které přitahují a tím lokálně koncentrují molekuly páry. Na těchto iontech se jakožto na kondenzačních jádrech srazí přesycené páry - dráha částice se pokryje sledem drobných kapiček. Při vhodném osvětlení ze strany jsou ionizační dráhy dobře patrné jako světlé stopy na temném pozadí a dají se takto i fotografovat. Mlžná komora v přesyceném stavu zůstává citlivá pro registraci drah částic pouze po dobu desetin vteřiny. Po fotografickém zachycení stop částic je třeba uvést komoru do výchozího stavu. Délka mlžné stopy a její "sytost" je charakteristická pro různé druhy ionizujících částic a jejich energie. Aby bylo možno z pozorované dráhy odvodit kvantitativní parametry pohybu částice, pořizují se stereoskopické snímky dráhy dvěma fotografickými přístroji nasměrovanými pod vhodnými úhly. Poté se provádí rekonstrukce sejmutých drah, jejich přesné proměření a vyhodnocení veličin charakterizujících pohyb a

interakce detekovaných částic. Pro zjištění elektrického náboje částic bývá mlžná komora umístěna do silného magnetického pole a vyhodnocuje se i zakřivení drah částic. Nevýhodou klasické Wilsonovy mlžné komory je krátká citlivá doba registrace částic během pracovního cyklu. Proto byly vyvinuty typy mlžných komor pracujících nikoli cyklicky, ale kontinuálně - difuzní mlžné komory. V pracovním válci této komory je dosaženo vertikálního teplotního gradientu tím, že horní deska komory se zahřívá topným tělesem, zatímco dno komory se chladí např. tuhým kysličníkem. Páry alkoholu, vznikající v horké části komory, difundují do studené části komory. V určité části prostoru komory vznikne pásmo, v němž nastává stav přesycené páry, potřebný ke kondenzaci par na iontech podél drah částic. Páry jsou neustále doplňovány kapkami přiváděného alkoholu, difundují proti směru teplotního gradientu, takže difuzní mlžná komora může v ustáleném stavu fungovat nepřetržitě. (6)

Bublinová komora

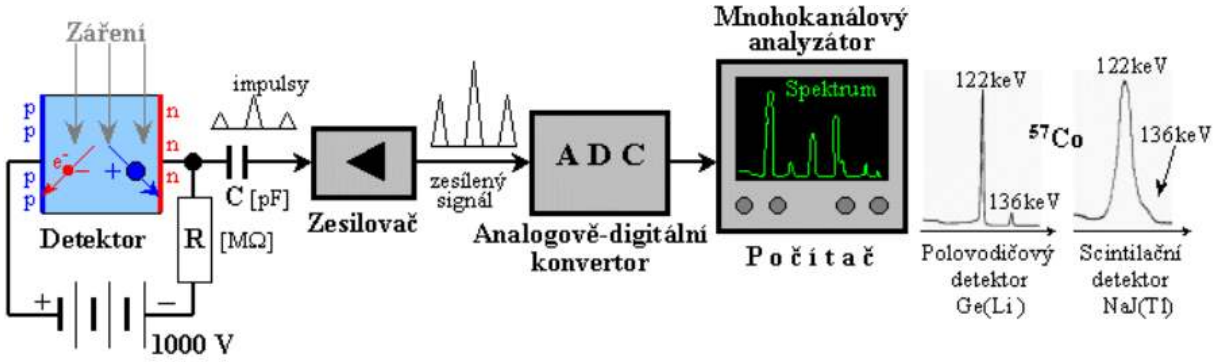
Jedná se o podobnou myšlenku jako v případě Mlžné komory. Rozdíl spočívá v tom, že zde je dráha částice zaznamenaná jako stopa malých bublinek v přehřáté kapalině. Bublinová komora našla uplatnění ve sledování výsledků srážek částic v urychlovačích částic. Jedná se opět o dráhový detektor, umožňující sledovat trajektorii částic. Stopu bublinek je možné fotograficky zaznamenat. Prostor komory je obklopen silnými magnety, které zakřivují dráhu nabitých částic, takže je možné sledovat mimo jiné i nábojové parametry částic. Hlavní parametry, které lze získat pomocí bublinové komory jsou náboj, hmotnost a rychlost procházejících částic. (5)

První typy bublinových komor byly naplněny éterem ohřívaným na teplotu kolem 140°C a regulací tlaku (cca 20 atmosfér) se dosahovalo vhodného stavu přehřátí. Dnešní bublinkové komory jsou plněny kapalným vodíkem, popř. deuteriem (pro sledování interakcí s neutrony), propanem, freonem, tekutým xenonem apod., podle konkrétního druhu studovaných částic a jejich interakcí. Dosahují často značných rozměrů několika metrů a obsahují stovky a tisíce litrů kapalného plynu. Stav přehřátí kapalného plynu se velmi přesně reguluje změnami tlaku. Zvýšením tlaku bublinky zaniknou, var ustane a komora je uvedena do výchozího klidového stavu. Snížením tlaku pak opět vznikne přehřátá kapalina, registrují se dráhy částic periodicky. Téměř vždy bývají bublinové komory umístěny v silném magnetickém poli, aby měřením zakřivení drah v důsledku Lorentzovy síly bylo možno analyzovat nábojové a některé další dynamické parametry registrovaných částic. (3)

Polovodičové detektory

V polovodičovém detektoru dochází k působení záření na částice krystalové mřížky. Detektor je tvořen křemíkovou nebo germaniovou destičkou typu N, na níž je vytvořena vrstva polovodivého materiálu opačného typu. Na jejich rozhraní vznikne oblast s vysokým odporem, tzv. hradlová vrstva. Ionizující částice vytváří v hradlové vrstvě iontový pár elektron - díra. Záporný elektron a kladná díra se přemisťují k opačně nabitým elektrodám a ve vnějším obvodu vznikne krátký elektrický impulz. Velikost závisí na energii dopadající částice ionizujícího záření. To umožňuje využít polovodičové detektory jak pro detekci ionizujícího záření, tak pro spektrometrická měření. Vhodným uspořádáním velkého počtu polovodičových vrstev je možno získat také prostorové informace o pohybu částice. Energie potřebná k tvorbě jednoho páru elektron - díra je asi 10 x nižší než energie potřebná k tvorbě iontového páru v plynu a asi 50 x nižší než energie nutná k uvolnění jednoho elektronu z fotokatody fotonásobiče. Energetická rozlišovací schopnost polovodičových detektorů je proto značně lepší než rozlišovací schopnost detektorů plynových. Nevýhodou

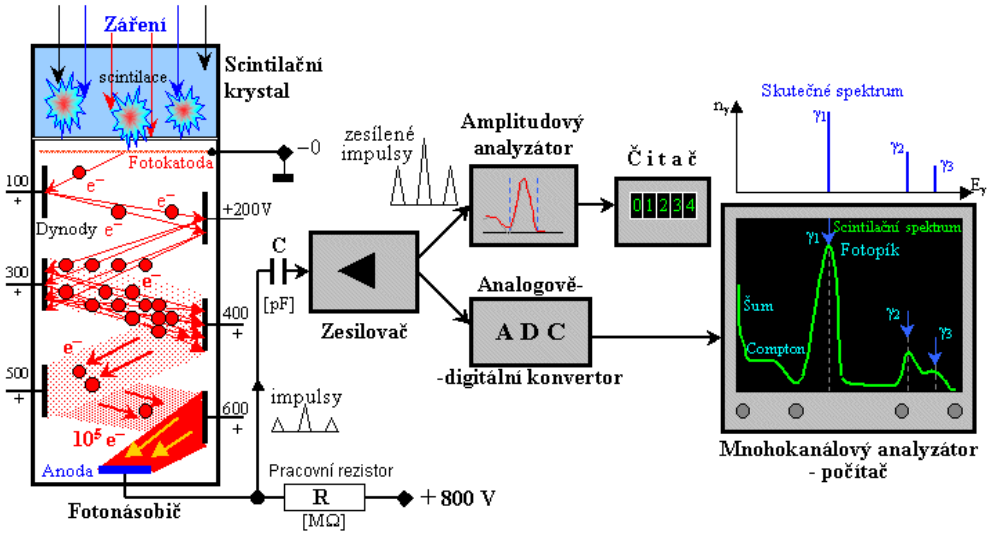
polovodičových detektorů je nutnost nepřetržitého udržování nízké teploty (kapalný dusík - 196 °C), omezení dosažitelných rozměrů a tedy i menší geometrická účinnost. Na obrázku 5 je znázorněn schematicky polovodičový detektor. (7), (8)



Obrázek 5. Schematické znázornění polovodičového detektoru. (6)

Scintilační detektory

Tyto detektory převádějí absorbovanou energii ionizujícího záření na energii fotonů náležejících zpravidla do viditelné krátkovlnné nebo blízké ultrafialové oblasti spektra. Scintilační detektory patří mezi nejpoužívanější detektory ionizujícího záření. Jejich výhoda spočívá vedle dobrých spektrometrických vlastností také v tom, že detekční médium „scintilátor“, může mít různé rozměry a téměř libovolný tvar. Přitom hmotnost scintilačních látek je dostatečné velká, takže lze dosáhnout poměrně velké detekční účinnosti, zejména pro záření gama. Scintilační detektor dává rovněž výstupní signál, jehož další zpracování obvykle nevyžaduje použití citlivých zesilovačů. Vzhledem k rychlé odezvě se uplatňují scintilační detektory tam, kde je rozhodujícím činitelem zpracování velkých četností, nebo kde potřebujeme získat informace o časových relacích emise částic, popř. jejich interakcí s hmotou. Základní uspořádání scintilačního detekčního systému je na obrázku 6. V pravé části tohoto obrázku na obrazovce je typický tvar scintilačního spektra záření gama - ve srovnání se skutečným čárovým spektrem nahoře. (9) První scintilační detektor se nazýval Spintariskop. V roce 1903 využil W. Crookes scintilačních vlastností krystalků sulfidu zinečnatého ZnS. Jeho spintariskop má velmi jednoduchou konstrukci - ve světlotěsné krabičce je stínítko ZnS, zdroj záření je buď uvnitř spintariskopu, nebo záření vniká dovnitř okénkem. Pozorovatel zaznamenává záblesky, jejichž počet je úměrný počtu dopadajících částic. (7)



Obrázek 6. Principiální schéma scintilačního detektoru (horní větev schématu) a spektrometru (dolní větev schématu). (6)

3. Systém GPS

GNSS (Global Navigation Satellite System) je systém, který umožňuje kdekoliv na Zemi určit přesnou polohu a čas. Zařízení pracuje na principu příjmu radiového signálu vysílaného ze skupiny družic obíhajících po velmi přesných drahách kolem Země. Systém je často označován jako GPS.

3.1 Historie systému GPS

Na počátku sedmdesátých let byla myšlenka vybudovat družicový pasivní dálkoměrný systém, se kterým by bylo možné určovat přesnou polohu v trojrozměrném prostoru, spolu s přesným časem. Pojem pasivní systém znamená, že uživatel vlastnící GPS přijímač může data jen přijímat, nikoliv odesílat. Dne 17.12.1973 padlo v USA definitivní rozhodnutí na vybudování prvního tohoto systému. Projekt byl oficiálně pojmenován NAVSTAR – GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS). Současně v osmdesátých letech byl spuštěn projekt GLONASS (SSSR). Sytém GLONASS ale není tolik rozšířen jako NAVSTAR – GPS, a to převážně z finančních důvodů. Z tohoto důsledku není jeho kosmický segment plně obsazen družicemi k celosvětovému pokrytí.

Pro civilní použití byl systém GPS přístupný od 90. let. Do roku 2000 byla ale přesnost pro civilní použití záměrně armádou omezena zhruba na sto metrů a to z důvodu bezpečnosti. Plnohodnotné zpřístupnění GPS pro veřejnost přineslo velké výhody. Podstatně se tak urychlil jeho vývoj. Přišly nové moderní přístroje, které se stále zmenšovaly. Zvýšila se jejich přesnost a staly se i více cenově dostupné. Další velký vývoj byl v podporovaném softwaru. (10)

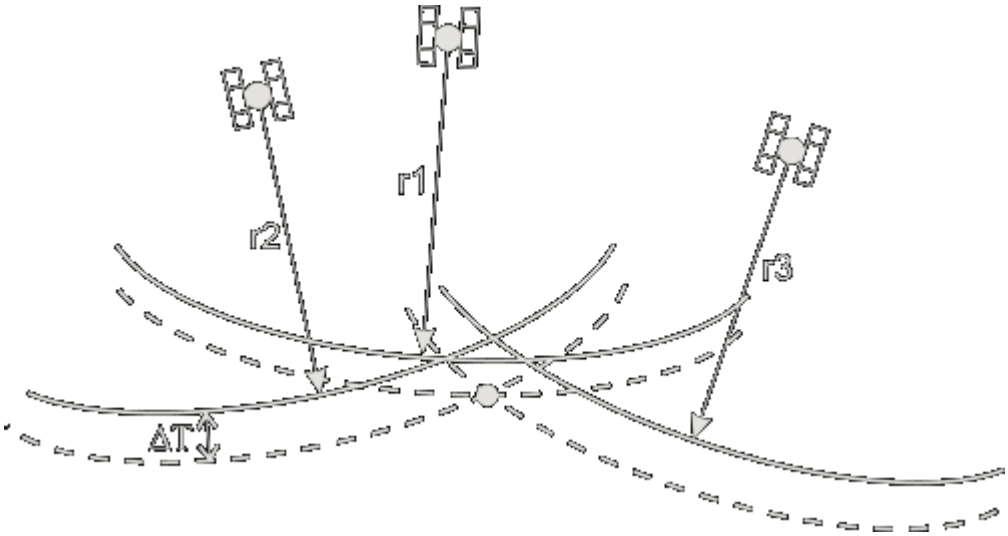
Do této doby je přesnost GPS pro civilní využití stále nižší, než pro vojenské přijímače. Existují však metody, jak přesnost dále zvýšit i s civilním přijímačem. Tyto metody budou popsány v další části této práce.

3.2 Princip určení polohy

GPS je systém pasivní, a proto přijímač určuje svoji vzdálenost vždy vůči několika družicím navigačního systému a svou polohu tedy stanoví protínáním. Určení vzdálenosti přijímače od družice se provádí kódovým měřením.

Využívají se dálkoměrné kódy, které vysílají jednotlivé satelity. Jde o přesné časové značky, které umožňují přijímači určit čas, kdy byla daná značka odvysílána. Přijímač z přijímaného signálu detekuje dálkoměrný kód satelitu. Zjistí tedy čas odeslání a přijetí jedné sekvence kódu a ze zjištěného časového rozdílu určí vzdálenost mezi přijímačem a satelitem. Poněvadž hodiny v přijímači a družici nejsou plně synchronní, tak je časový rozdíl zatížen chybou hodin přijímače. Při výpočtu vzdálenosti se tedy neurčí skutečná vzdálenost, ale jen zdánlivá. Absolutní poloha přijímače v terénu se určuje pomocí zdánlivých vzdáleností získaných kódovými měřeními. Na obrázku 7 je zobrazen způsob určení polohy. Čárkovaně je zobrazeno ideální měření a plnou čarou reálné. Dochází k časové odchylce vzorku o ΔT. Z jednoho změření zdánlivé vzdálenosti je možné určit, že se přijímač nachází někde na kulové ploše se středem v místě satelitu a poloměrem *r1,* který se rovná zdánlivé vzdálenosti mezi přijímačem a satelitem. Stejná měření se provádí i k dalším dvěma družicím. Tím se

plochy protnou a v jejich protnutí se nachází přijímač. V případě ideálního měření se plochy protnou v jednom bodě. U reálného měření ale vzniká oblast, kde se přijímač může nacházet. Proto je potřebný ještě signál ze čtvrtého satelitu, který měří časový posun hodin přijímače a tím se provádí další korekce při určovaní přesné polohy. Chyba určení polohy pomocí GPS pro navigační účely (bez použití upřesňovacích metod) je maximálně 6 m. Přijímače pro armádu dosahují přesnosti 60 cm. (10)



Obrázek 7. Určení polohy GPS přijímače. (10)

Přijímače GPS signálu řeší v podstatě soustavu čtyř rovnic o čtyřech neznámých *X*, *Y*, *Z*, *T*. Tato soustava je uvedena níže.

$$\begin{aligned}(X-x_1)^2+(Y-y_1)^2+(Z-z_1)^2&=[v.(T-t_1)]^2\\(X-x_2)^2+(Y-y_2)^2+(Z-z_2)^2&=[v.(T-t_2)]^2\\(X-x_3)^2+(Y-y_3)^2+(Z-z_3)^2&=[v.(T-t_3)]^2\\(X-x_3)^2+(Y-y_3)^2+(Z-z_3)^2&=[v.(T-t_4)]^2\end{aligned} \quad (2)$$

X, Y, Z – Souřadnice přijímače
x_n, y_n, z_n – Souřadnice satelitu
v – Rychlost šíření signálu
T – t_n – Zpoždění přijímaného signálu

3.3 Struktura systému GPS

GPS se skládá ze tří hlavních segmentů. Kosmického, kontrolního a uživatelského segmentu. Vesmírný a kontrolní segment provozuje armáda Spojených států amerických a spravuje velitelství US Air Force. V podstatě kontrolní segment udržuje integritu družic a data, která přenášejí. Vesmírný segment se skládá z množství satelitů jako celku, které jsou v současné době na oběžné dráze. Satelity jsou provozní, záložní a některé mohou být nefunkční. Segment uživatelů se skládá ze všech koncových uživatelů, kteří si zakoupili některý z mnoha komerčně dostupných přijímačů. (13)

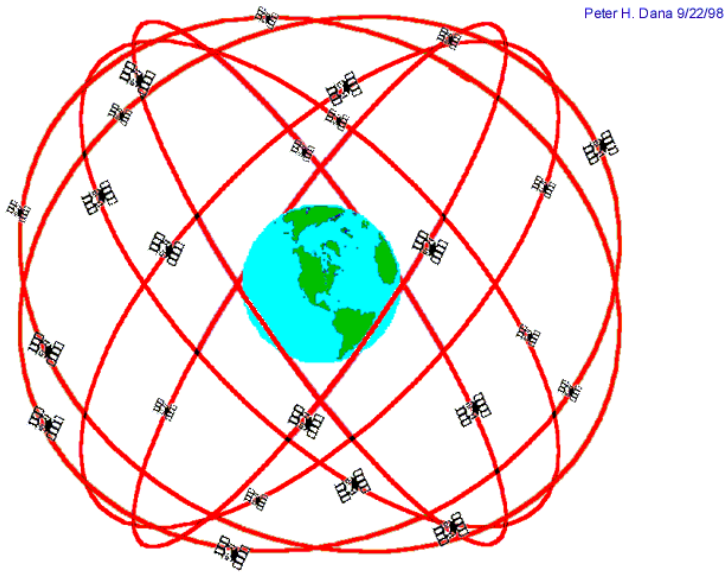
Kontrolní segment

Tento segment se skládá z řídícího střediska, které se nachází v Colorado Springs (Colorado) a monitorovacích středisek umístěných strategicky po celém světě. Kromě toho letectvo provozuje povelové stanice, které se nachází ve více či méně stejné vzdálenosti kolem rovníku. Pro případ selhání některé stanice má systém i stanice záložní (Californie, Maryland).

Bezobslužné monitorovací stanice pasivně sledují všechny GPS satelity, viditelné v danou chvíli pro danou stanici a zachycují jejich signál (data). Tyto data jsou následně předána hlavní řídicí stanici do Colorado Springs prostřednictvím zabezpečeného DSCS. Tato data obsahují zejména informaci o pozici satelitu a času jeho atomových hodin. Čas a pozice satelitu jsou v hlavní řídící stanici odhadovány a předvídány. Pokud se předvídaná data neshodují s naměřenými daty, tak řídící stanice periodicky posílá každému satelitu data opravená. Tímto mechanizmem se minimalizují případné chyby v určování pozic u konečných uživatelů. (13)

Kosmický segment

Tento segment se skládá z GPS satelitů umístěných na orbitu Země. Jmenovitá provozní konfigurace se skládá z 24 satelitů, které oběhnou Zemi za polovinu hvězdného dne (asi 12 hodin). Na orbitu jsou také satelity záložní, které jsou připraveny nahradit nefunkční satelity. Jejich počet je dnes více než 30. Satelity obíhají po šesti rovnoměrně rozložených orbitálních drahách, které jsou nakloněné vůči rovníku o 55° a vzájemně posunuty o 60°. Na každé orbitě jsou umístěny 4 satelity. Přibližná výška satelitů nad povrchem Země je 20200 km a jejich rychlost je 3,8 km/s. Na obrázku 8 je znázorněna vzájemná poloha satelitů vůči Zemi. Důležitou součástí každého satelitu jsou velmi přesné atomové hodiny, antény pro vysílání navigačních dat, komunikační obvody pro kalibraci polohy a času a detektory používané pro vojenské účely. (15)



Obrázek 8. Umístění GPS satelitů ve vesmíru
(24 satelitů, 6 orbitálních drah, 4 satelity na každé dráze) (14)

Uživatelský segment

Základní rozdělení tohoto segmentu je na vojenskou a civilní část. Vojenská skupina může využít maximálního potenciálu systému, a to s přesností na desítky až jednotky centimetrů. Civilní skupina pak přesnost desítek až jednotek metrů (závisí na počtu satelitů, které přijímač v danou chvíli „vidí“). GPS přijímače konvertují přijímané signály do pozice, rychlosti a času. Minimální počet satelitů pro výpočet X, Y, Z (poloha) a času je 4. Navigace ve třech rozměrech je primární funkcí GPS. Navigační přijímače se používají pro letadla, lodě a pro osobní užití jednotlivců (automobilové navigace, turistické navigace, „GPS trackery“). Výzkumné projekty využívají GPS k měření atmosférických parametrů.

3.4 Metody pro zpřesnění polohy

Diferenciální GNSS

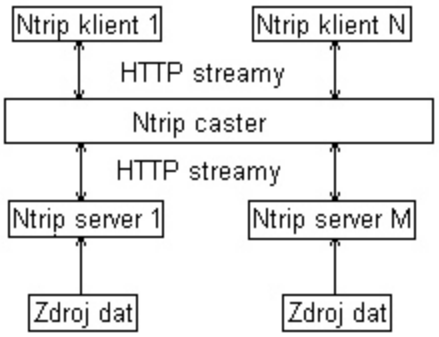
Můžeme narazit na několik důvodů, proč přijímaný signál je nepřesný: Drobné odchylky v čase mezi satelity, drobné nepřesnosti ve vysílané poloze satelitu a zejména různé atmosférické poruchy a nižší rychlost šíření signálu v troposféře a ionosféře. Toto zpomalení je tím citelnější, čím níže se satelit nachází nad obzorem, protože tím delší vzdálenost musí signál urazit atmosférou. Abychom tyto vlivy redukovali, můžeme v pevně zaměřených bodech zjišťovat, nakolik se údaje získané pomocí satelitního měření liší od správné pozice a tyto informace poskytovat GNSS přijímači. Tento postup se označuje jako diferenciální GNSS. Korekční data mohou být poskytována ve formě korekčního vektoru nebo kinematiky reálného času (RTK - Real Time Kinematic). Tato data musí být aktualizována v několika sekundových intervalech, aby včasně reagovala na změny atmosféry.

RTK referenční stanice zasílá v reálném čase přijímači údaje o odchylkách ve fázi nosného GNSS signálu. To v případě GPS umožňuje lokalizační jednotce dosáhnout přesnost až 1 cm v horizontálním směru. Nesmí se však vyskytovat více než 20 - 30 km od referenční stanice. Diferenciální data mohou být přijímači poskytována přes satelit, častěji však jsou šířena pozemním vysíláním – rádiovými přenosy nebo pomocí mobilních sítí jako je GSM, GPRS, EDGE nebo UMTS. (11)

Protokol Ntrip

Pro šíření za pomoci mobilních sítí lze s výhodou využít HTTP protokol, který umožňuje snadnou implementaci (využívá TCP/IP), dobrou průchodnost firewally a proxy servery a podporuje masivní přístup velkého počtu uživatelů. Ačkoliv tento protokol nebyl původně navržen pro streamování dat, při vhodném nastavení serveru toto nečiní problém.
Na tomto řešení je postaven například protokol Ntrip (Network Transport of RTCM via Internet Protokol). Předností tohoto protokolu je, že je nezávislý na typu používaného zařízení i na formátu přenášených korekčních dat. Struktura systému využívajícího systém Ntrip je znázorněna na obrázku 9. Celý systém se skládá ze tří komponent:

1. **Klient**, který přijímá korekční data.
2. **Server**, který je přenáší proud korekčních dat do casteru.
3. **Caster**, který zprostředkovává spojení mezi klienty a servery



Obrázek 9. Struktura systému popsaného protokolem Ntrip. (11)

V tomto pojetí představuje caster serverovou část, servery a klienty klientské aplikace. Při připojování klienta ke casteru je klientovi předána informace o dalších známých casterech a sítích a dále přehled datových proudů poskytovaných tímto casterem, spolu s jejich bližším popisem – jméno, umístění, podporovaný formát korekčních dat, GNSS síť (GPS, GLONASS, GPS+EGNOS), typ autentifikace, zpoplatnění, atd. Nejběžnějšími formáty korekčních dat jsou formáty definované standardizační organizací RTCM. Dalšími formáty jsou různé výměnné formáty a licencované formáty výrobců. (11)

Systémy SBAS

WAAS je americký systém pro přenos GPS korekčních dat a v případě potřeby informuje o chybném provozu satelitů. Systémy pro šíření korekčních dat pomocí satelitů se souhrnně nazývají SBAS. Tyto systémy umožňují pokrytí rozsáhlých oblastí, čímž jsou významné zejména pro lodní a leteckou dopravu. Pokrývá 95 % Spojených států amerických. Do plného provozu byl uveden v roce 2003 a sestává se ze dvou satelitů a sítě 25 pozemních stanic vytvářejících korekční data. GPS přijímače implementující tento systém mohou určovat polohu zhruba pětkrát přesněji než standardní přijímače (v 95 % přesnosti se pohybuje kolem jednoho až dvou metrů horizontálně a dva až tři metry vertikálně). V praxi se zejména využívá jako doplněk k ILS systému zajišťujícímu přiblížení letadel na přistání.

MSAS je japonský systém geostacionárních družic pokrývající východní Asii a Austrálii. Jeho cílem je podpora letového řízení a sledování počasí. Do částečného provozu byl uveden v červnu 2005. Letová část prozatím není aktivní.

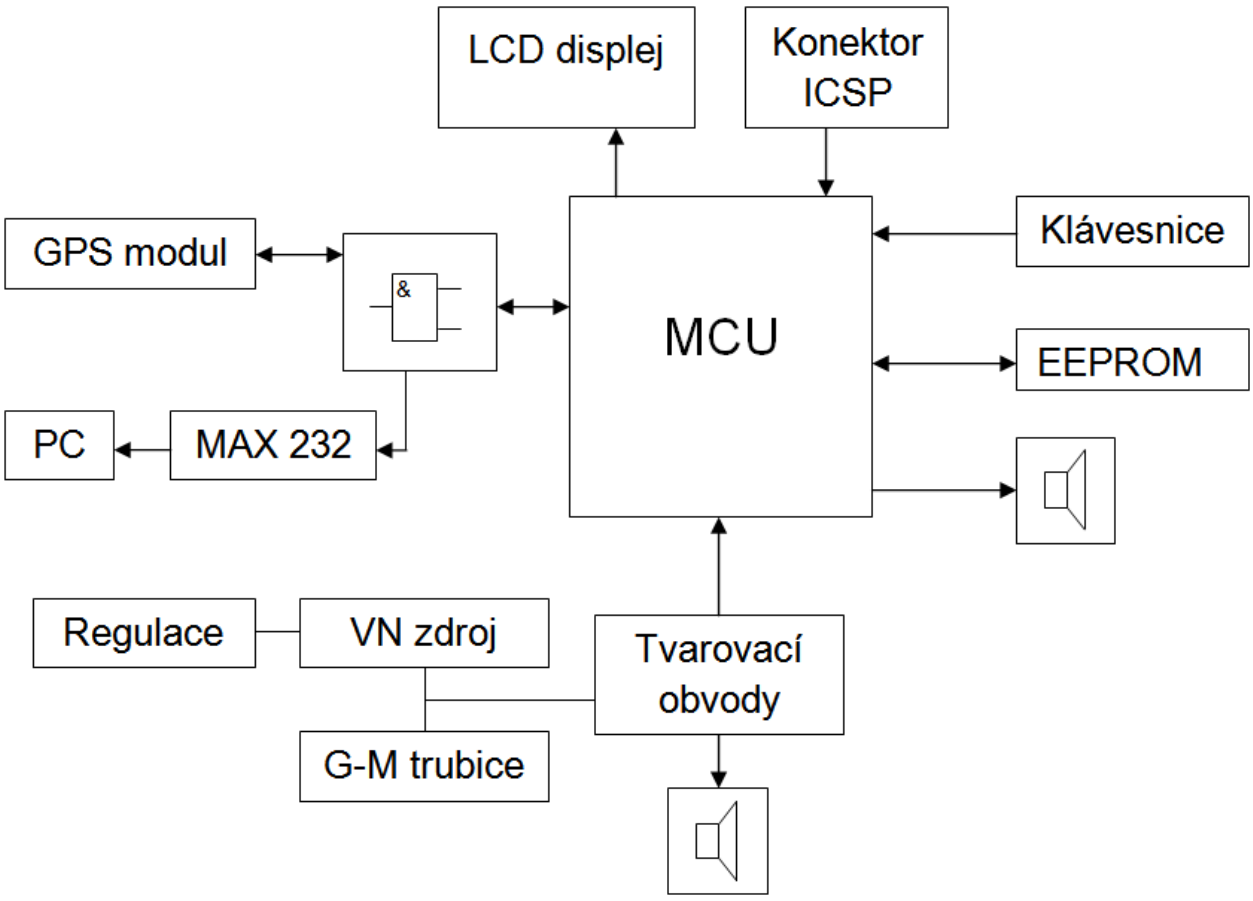
EGNOS je systém využívající se v Evropě. Postaven je na obdobném principu jako americký WAAS. Od října 2009, kdy byl systém EGNOS zpřístupněn veřejnosti, probíhalo jeho testování a schvalování pro leteckou dopravu. Piloti nyní mohou využívat službu pro zajištění bezpečnosti (tzv. "Safety of Life Service" nebo SoL), která je velmi užitečná zejména při přistávání, kdy musí pilot vědět přesnou polohu vůči přistávací dráze. Kromě zvýšení bezpečnosti však EGNOS nabízí mnoho dalších výhod. Piloti budou moci vzlétat a přistávat i za špatného počasí, kdy je špatná viditelnost. Díky systému EGNOS mohou piloti létat kratšími trasami, což ušetří palivo a sníží emise oxidu uhličitého. Letadla také mohou začít sestupovat blíže k přistávací dráze, což sníží hladinu hluku v okolí letišť. (11), (12)

4. Návrh měřícího systému

V této části práce bude naznačen postup a úskalí při konstrukci měřícího systému. Výsledkem by měl být návrh systému s diskuzemi různých možností a variant řešení. Předpokládá se napájení zařízení akumulátorem. Konstruktér zařízení předpokládá, že by měl akumulátor udržet zařízení v chodu nejméně 3 hodiny.

4.1 Návrh číslo 1

Dle zadání bylo navrhnuto blokové schéma celého systému. Hlavní součástí celého systému je mikropočítač (MCU), který zajišťuje zpracování všech signálů přicházejících z periferií. V dnešní době je na výběr velké množství mikropočítačů, které by dokázaly toto zařízení řídit. Jejich cena je také velmi nízká. Výběr mikropočítače je zúžen spíše znalostmi a možnostmi programátora. Vývojové prostředí může být buď JSA, nebo vyšší programovací jazyk, například C. Blokové schéma celého zařízení je na obrázku číslo 10.



Obrázek 10. Blokové schéma celého zařízení (návrh číslo 1).

LCD displej

Nebylo zadáno, co všechno by měl displej zobrazovat a proto jsou zde uvedeny údaje, které jsou považovány za nepostradatelné. Přístroj by měl obsahovat menu, pomocí kterého se nastaví některé hodnoty. Při samotném měření by mělo být na obrazovce zobrazeno následující: Aktuální hodnota naměřené radioaktivity (μS/h), aktuální GPS souřadnice, čas, mód měření (ukládání hodnot po určité vzdálenosti, nebo ukládání hodnot po určitém čase – delší doba měření na jednom místě by měla zajistit naměření přesnějších hodnot radioaktivity), signalizace připojení k PC, signalizace zapnutého či vypnutého ukládání naměřených hodnot, stav baterie, stav GPS přijímače. Jelikož se tvůrce této práce pokouší zařízení vyrobit, tak byl zvolen displej používaný v mobilním telefonu Nokia 3410. Displej má rozlišení 96 x 65 bodů, což se při výše uvedených požadavcích projevilo jako dostatečné.

GPS modul

Tyto moduly lze zakoupit již hotové. Cenové relace se pohybují asi od 600 Kč výše. I nejlevnější moduly však disponují dobrými parametry (přesnost, spotřeba, zpracovávaná data-NMEA věty). V tomto zařízení nejsou kladeny vysoké požadavky na přesnost, ani na rychlost načítání pozice při tzv. studeném startu a proto postačí nejlevnější GPS modul. Důraz bude zřejmě kladen na nízkou spotřebu s ohledem na akumulátorové napájení. Většina těchto levných modulů již obsahuje čipovou sadu SiRF STAR III. Tato sada obsahuje standardizovaný formát přijímaných a odesílaných dat (NMEA-0183 ASC II) a je tedy pro programátora poměrně jednoduché s GPS modulem komunikovat. Jako příklad GPS modulu byl vybrán Leadtek LR9450. Údaje k tomuto modulu jsou dostupné na stránkách www.sectron.cz.

Paměť

Zařízení má za úkol ukládat hodnoty o pozici, naměřené radiaci, času měření, pořadí naměřené hodnoty a případně další údaje. Zvažujeme-li, že je potřeba uložit zmíněné hodnoty 200 krát, tak se dostaneme na desítky či stovky kilobajtů potřebné paměti. Paměť je potřeba samozřejmě opakovaně mazat a zapisovat. Také paměť musí uchovat data i po vypnutí napájení. Z těchto důvodů se jeví jako nejvhodnější použití paměti typu EEPROM, nebo FLASH. V blokovém schématu je uvedena paměť EEPROM, ale pro finální zařízení by byla nejvhodnější paměť typu FLASH v podobě SD paměťové karty. Ovšem výhodou EEPROM paměti je jednoduchá komunikace s mikropočítačem a cena také není vysoká.

Klávesnice

Podoba klávesnice a počet tlačítek není pro zařízení klíčový. Zařízení může být ovládáno buď kompletně přes menu (kurzorové klávesy, potvrzení a návrat z menu), nebo menu plus speciální klávesy pro rychlé spuštění a vypínání často využívaných funkcí. Pro ušetření vstupních pinů MCU by při vyšším počtu tlačítek bylo vhodné klávesnici řídit maticově.

G-M trubice

Z radioaktivních snímačů byla pro toto zařízení vybrána G-M trubice. Pro tento druh měření se jeví jako nejvhodnější (téměř výhradně se používá i u komerčně vyráběných přístrojů). G-M trubice je nejdostupnější snímač radioaktivního záření za přijatelnou cenu (od 300 Kč). Signál z G-M trubice (napěťové impulzy) lze snímat velmi jednoduše a přes optoelektronický oddělovací člen ho přivést na vstup MCU. S navrhovaným přístrojem se předpokládá měření převážně radiačního pozadí (předpokládají se malé hodnoty radioaktivity) a proto se tzv. „mrtvá doba“ trubice uplatní jen minimálně. V zařízení může být použita např. trubice s označením AGM-100 (je dostupná na českém trhu). Údaje udané výrobcem této trubice jsou bohužel jen minimální (napájecí napětí a maximální měřitelná hodnota v R/s - již nepoužívaná jednotka). Proto by bylo potřeba změřit charakteristiku této trubice v laboratoři a nejlépe i zkalibrovat pomocí komerčně vyráběného přístroje a známého radioaktivního prvku.

VN zdroj

Tento zdroj slouží k napájení G-M trubice. Obecně se pro napájení G-M trubic používá napětí stovek až tisíců Voltů. V případě s výše uvedenou G-M trubicí AGM-100 se jedná o zdroj schopný dodat trvale napětí okolo 300 V. Výstupní napětí by mělo být udržováno na stejné hodnotě i při vybíjejícím se akumulátoru. Nízké napětí na výstupu by bylo vhodné signalizovat, protože při nízkém napětí bude G-M trubice fungovat nesprávně nebo vůbec.

ICSP

ICSP je rozhraní, přes které lze mikropočítač programovat přímo v zařízení. Jelikož je navrhované zařízení v podstatě prototyp, tak je výhodné toto rozhraní implementovat na desku plošných spojů v zařízení. Tímto se ušetří mnoho času a práce při nahrávání nového programu.

Rozhraní PC – Měřicí přístroj

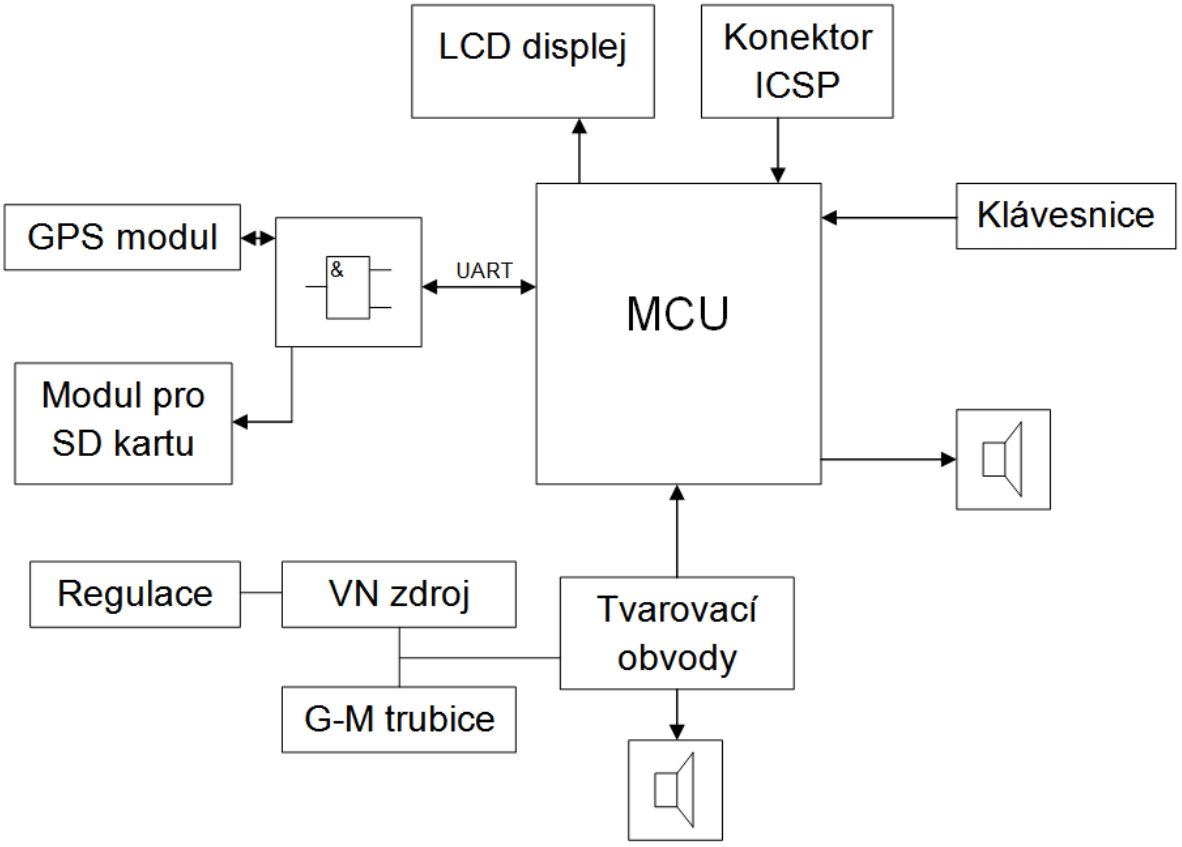
Toto rozhraní by mělo sloužit k přenosu naměřených dat do PC. Pokud by toto rozhraní bylo použito dle blokového schématu, tak by se muselo vyřešit přepínání mezi komunikací s GPS modulem a PC. Obě zařízení totiž využívají sériovou linku RS232. Řada mikropočítačů obsahuje pouze jednu hardwarovou sériovou linku, ale jsou i verze se dvěma linkami. Dalším řešením by bylo naprogramovat druhou sériovou linku do mikropočítače na některé další I/O piny.

Na paměťovou kartu lze ukládat data v podstatě dvěma způsoby. První způsob je tzv. SPI režim. V tomto režimu se přímo na paměťové místo karty ukládají data (podobně jako u EEPROM paměti-bez souborového systému). Potom by ale bylo nutné data opětovně přečíst mikropočítačem a odeslat po RS232 do PC. Toto rozhraní by se nemuselo konstruovat v případě použití programu v PC, který dokáže přečíst data z SD paměťové karty i bez souborového systému. Druhou možností je naprogramovat do zvoleného mikropočítače souborový systém např. FAT16. FAT16 vyžaduje vzhledem k poměrům osmibitových mikropočítačů velké množství paměti RAM a poměrně velký výpočetní výkon. Pokud by se předchozí úskalí přehlédla, tak existuje ještě jeden problém a to, že samotný podprogram pro řízení FAT16 by zabral tolik místa, že by nezbylo mnoho místa pro hlavní program.

Samozřejmě s výkonnějšími mikropočítači je toto řešení přípustné a někteří výrobci již poskytují hotové knihovny pro souborové systémy. Kupříkladu pro mikropočítače PIC řady 18 je možné tyto knihovny stáhnout ze stránek výrobce (Microchip). Knihovny jsou napsány v jazyce C. Pro JSA bohužel výrobce tyto knihovny vytvořeny nemá. Bohužel, protože v JSA by mohl programátor přesně vidět jednotlivé kroky komunikace a jistě by to přispělo k prohloubení znalostí programování a komunikace.

4.2 Návrh číslo 2

Dle zadání bylo navrhnuto druhé blokové schéma celého systému (Obrázek číslo 11). Hlavní součástí celého systému je opět mikropočítač (MCU). Rozdíl oproti návrhu jedna je v ukládání naměřených dat. Jako paměť je použita SD paměťová karta, proto se v návrhu nepočítá s přímým propojením měřicího přístroje a počítače. Tento návrh se pokusí autor této práce zkonstruovat, a proto budou následující stručné podkapitoly daleko podrobněji rozebrány v kapitole 5.



Obrázek 11. Blokové schéma celého zařízení (návrh číslo 2).

LCD displej

LCD displej je možné použít stejný jako v návrhu číslo 1. Jediný rozdíl je v tom, že není potřeba zobrazovat stav připojení k počítači.

GPS modul

GPS modul lze také použít stejný jako v předchozím případě. Pro doplnění – moduly je možné zakoupit pouze s VF vstupem (je potřeba dokoupit anténu-aktivní/pasivní), nebo s integrovanou anténou. Moduly ve většině případů podporují jak aktivní, tak pasivní anténu.

Paměť

V tomto návrhu je pro ukládání dat zvolena SD paměťová karta. Komunikaci mezi kartou a mikropočítačem zajišťuje modul, který dokáže pomocí jednoduchých příkazů řídit paměťovou kartu a vytvořit na ní funkční souborový systém (FAT16, FAT32). Zástupcem těchto modulů je například uSD-G1 od společnosti 4D Systems. V době realizace tohoto projektu existují i platformy, u kterých výrobce podporuje knihovnami přímé připojení paměťové karty na porty mikropočítače. Například v dnešní době se velmi rozvíjející platforma Arduino či Netduino (platformy založené na mikropočítačích Atmel).

Klávesnice

Klávesnice může být řešena obdobně jako v návrhu číslo 1.

G-M trubice

G-M trubice může být použita stejná, jako v návrhu číslo 1. Nicméně je třeba poznamenat, že G-M trubice nejsou schopny rozlišit energii radioaktivní částice, ale pouze četnost radioaktivních částic. Tento fakt tedy vnáší do měření určitou nepřesnost. Přesná měřidla, která měří i energii částic jsou však velmi drahá a překračují rámec této práce.

VN zdroj

Zdroj vysokého napětí pro G-M trubici je taktéž stejného druhu, jako v návrhu číslo 1. Ideální by ovšem bylo navrhnout zdroj tak, aby v případě potřeby bylo možné výstupní napětí měnit v širším rozsahu (výměna G-M trubice za jinou). VN zdroj je možné zkonstruovat například pomocí zvyšujícího transformátoru, nebo násobiče napětí. Obě varianty počítají se střídavým (pulzním) napětím.

ICSP

Určitě je vhodné, aby i druhá varianta obsahovala ICSP rozhraní. Je ovšem zapotřebí počítat u obou návrhů s tím, že při programování pomocí ICSP je přivedeno na napájení

procesoru 5 V. Toto napětí by mohlo zničit některé periferie (např. displej, GPS modul a paměťová karta mají napájecí napětí okolo 3,3 V).

5. Podrobný návrh měřicího systému

Tato kapitola vychází z návrhu číslo 2. Jako řídící mikropočítač byl zvolen PIC 18F4550-I/P. Následující řádky podrobně popisují součástky a komponenty, ze kterých lze měřicí systém vyrobit.

5.1 LCD displej

LCD displej pochází z mobilního telefonu Nokia 3410, zobrazuje černobílý obraz a má rozlišení 96x65 bodů. Displej se připojuje k zařízení řadou osmi pinů. Rozložení pinů, jejich označení a funkce jsou popsány na obrázku č. 12. Displej je řízen řadičem PCD8544. Řadič komunikuje s mikropočítačem skrze sériové rozhraní (Rychlost až 4 Mbit/s). Čip řadiče je vyroben CMOS technologií. Popis funkcí a komunikace s řadičem je velmi dobře popsaná v datových listech dostupných na tomto odkazu [1]. Řadič displeje umožňuje nastavení kontrastu, horizontální i vertikální adresy, teplotního koeficientu, inverzního módu a budícího napětí LCD. Napájecí napětí je 2,7 až 3,3 V. Po počáteční inicializaci displeje se displej řídí velice jednoduše. Stačí zvolit, zda posíláme data, nebo příkaz a poté už jen odesíláme data. V příloze je vytvořená knihovna s ovládacími podprogramy a knihovnou znaků (malá, velká písmena a číslice) pro PIC. V knihovně je i tzv. úvodní obrazovka pro tento měřicí systém (Obrázek 13).

Obrázek 12. Zapojení a funkce pinů LCD.

Obrázek 13. Úvodní obrazovka.

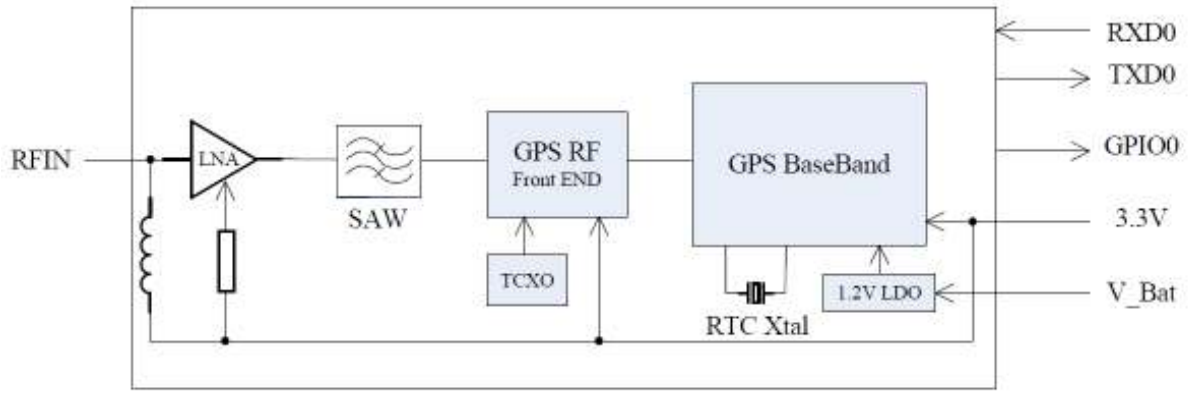
5.2 GPS modul

Pro tuto konstrukci byl vybrán modul GPS03 (Výrobce HOPE MICROELECTRONICS) a anténa ORG9802-150 (Výrobce ORIGIN GPS LTD.). GPS modul disponuje následujícími parametry:

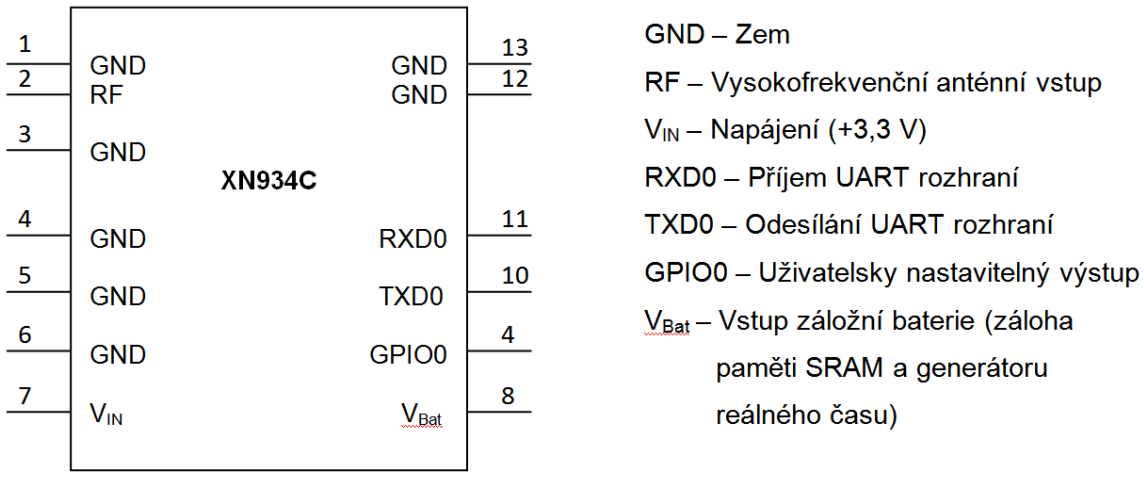
Přesnost měření polohy	±5m
Přesnost měření času	±1μs
Přesnost měření rychlosti	±0,1m/s
Citlivost přijímače	-160dBm
Počet kanálů	65
Napájecí napětí	3.3V DC
Hot start (na volném prostranství)	2 s
Cold start (na volném prostranství)	33 s
Spotřeba proudu	< 50 mA (70 mA – První spuštění)
Obnovovací frekvence	1 Hz
Komunikační protokol	NMEA-0183 V3.01 (GPGGA, GPGLL, GPGSA, GPGSV, GPRMC)
Parametry UART rozhraní	9600 symbolů/s (8 datových bitů, 1 stop bit, bez parity), 3,3 V LVTTL úrovně

Datové listy jsou dostupné na tomto odkazu [2]. V datových listech je popsán velmi jednoduše samotný modul. Podoba sériové komunikace je obsažena v popisu protokolu NMEA. Blokové schéma přijímače je na obrázku číslo 13. Rozložení pinů, jejich označení a funkce jsou zobrazeny na obrázku číslo 14. Modul v podstatě není potřeba řídit, nebo nastavovat. Po přivedení napájecího napětí začne každou vteřinu odesílat na pin TXD0 data. NMEA věty jsou v podstatě prázdné do té doby, než přijímač zachytí dostatečný počet satelitů s dobrým signálem. Poté jsou již věty naplněny přijatými a vypočtenými daty. K modulu je možné připojit baterii, která zálohuje generátor reálného času. S touto baterií je tedy údaj o

čase dostupný ihned po připojení napájení a při načtení údajů ze satelitů se údaj pouze synchronizuje na přesnou hodnotu.



Obrázek 14. Blokové schéma GPS modulu. (16)



Obrázek 15. Rozložení a funkce pinů GPS modulu.

5.3 NMEA protokol

Dokument, který popisuje standard NMEA je chráněn copyrightem. Pokusím se tedy shrnout poznatky dostupné na internetu.

Veškerá data jsou posílána ve formě vět (sentences). Jsou dovoleny pouze tisknutelné ASCII znaky plus znaky konce řádku, tedy <CR> a <LF> (0x0d, 0x0a hexadecimálně). Každá věta začíná znakem $ (dolar) a končí sekvencí <CR><LF>. Existují tři základní druhy vět:

- věty ze strany mluvčího (talker sentences)
- proprietární věty (proprietary sentences)
- dotazovací věty (query sentences)

Obecný formát vět ze strany mluvčího je:

$ttsss,d1,d2,....<CR><LF>

První dvě písmena, která následují po znaku dolar, jsou označená „tt“ a představují identifikátor mluvčího (talker identifier – v tomto případě GP). Další tři písmena „sss“ jsou identifikátor věty (sentence identifier). Následují datové položky oddělené čárkami ",". Po nich následuje nepovinný kontrolní součet. Věta je ukončena znaky <CR><LF>. Význam jednotlivých datových položek je jednoznačně definován pro konkrétní typ věty (ten je určen identifikátorem `sss`). Jestliže určitá datová položka není k dispozici, zůstane datové pole prázdné, ale čárky oddělující datová pole zůstávají (bez mezery). Kontrolní součet začíná znakem „*“ a za ní jsou dvě hexadecimální číslice představující logickou operaci XOR (exkluzivní součet) ze všech znaků mezi „$“ a „*“. Samotný dolar a hvězdička se do kontrolního součtu nezapočítávají. Každá věta může obsahovat nejvýše 80 znaků plus „$“ a <CR><LF>, celkem tedy 83 bajtů.

Věty proprietární umožňují výrobcům nadefinovat vlastní větu. Tyto věty začínají sekvencí „$P“, poté následuje třípísmenný identifikátor výrobce a dále následují jednotlivé datové položky v souladu s přáním výrobce. Obecný formát věty však musí být zachován.

Dotazovací věty představují způsob, kterým může mikropočítač zažádat GPS modul o zaslání konkrétní věty. Obecný formát je:

```
$ttllQ,sss<CR><LF>
```

První dva znaky „tt“ za znakem dolar jsou identifikátorem toho, kdo podává žádost. Následující dva znaky „ll“ označují dotazovaného - tedy toho, komu je žádost posílána. Pátým znakem je vždy písmeno „Q“ (question), které označuje, že se jedná o dotazovací typ věty. Následuje třípísmenná datová položka „`sss`“ určující, o jaký typ věty se žádá. Příkladem dotazovací věty může být následující sekvence:

```
$CCGPQ,GGA<CR><LF>
```

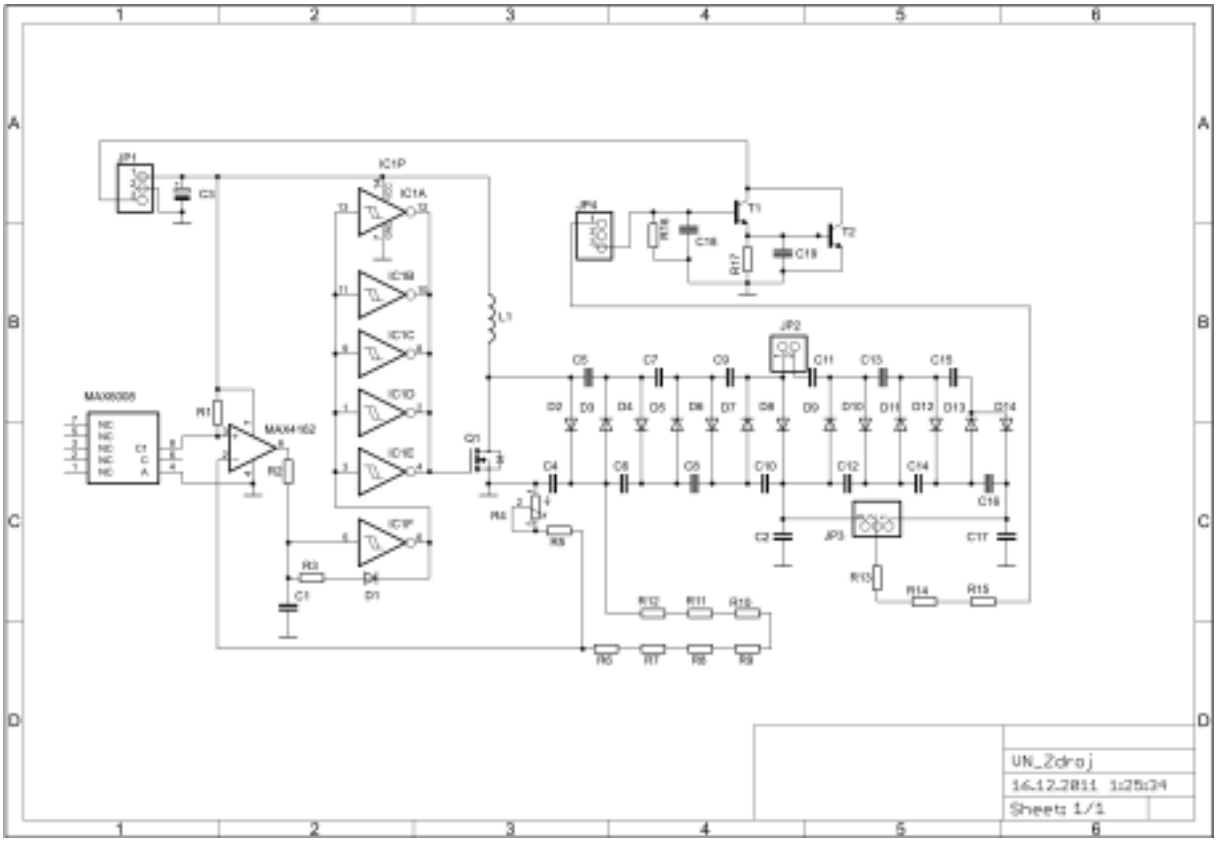
V této větě písmena „CC“ označují počítač, který žádá přístroj „GP“ (tedy GPS modul), aby zasílal věty typu „GGA“. Po této dotazovací větě by měl GPS přijímač zasílat každou sekundu větu typu „GGA“, dokud nedostane povel k zasílání jiného typu věty.(17)

Pro navrhovaný přístroj postačí zpracovávat pouze „RMC“ větu, jelikož obsahuje všechny potřebné údaje (Čas, Datum, Zeměpisná šířka, Zeměpisná délka a další pro tuto aplikaci již nepotřebné údaje).

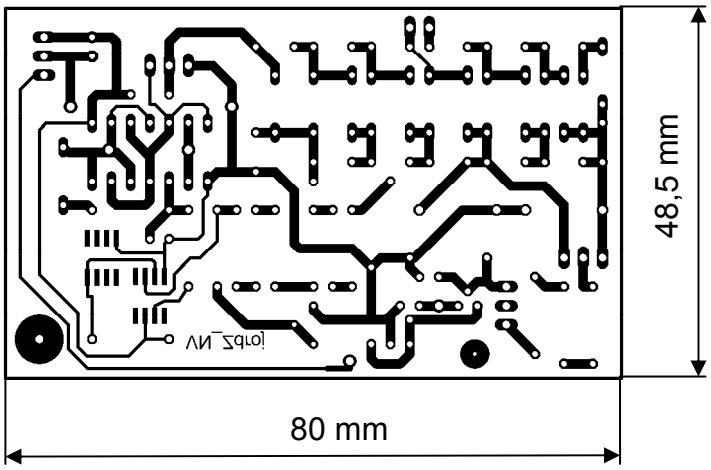
5.4 VN zdroj

Schéma VN zdroje bylo převzato ze stránky firmy MAXIM a mírně upraveno. Jedná se v podstatě o jednoduchý spínaný zdroj s násobičem napětí. Zdroj má možnost regulace napětí trimrem. Zdroj má také zpětnou vazbu a je tedy možné napětí nastavit velice přesně a při změně zátěže zdroj upravuje výkon dle potřeby. Úprava schématu spočívá zaprvé v rozdělení násobiče na dvě části. První část dokáže vygenerovat stejnosměrné napětí okolo 300 V (Toto napětí je potřeba pro napájení použité G-M trubice AGM-100). Po připojení druhé části je zdroj schopný dodat do zátěže až 600 V (Počítá se zde s možnou náhradou G-M trubice za jinou). Druhá úprava schématu zajišťuje převod impulzů z G-M trubice do mikropočítače (Impulzy jsou přivedeny k mikropočítači přes optočlen, který není v tomto schématu). Schéma se nachází na obrázku číslo 16. Původní schéma je možné najít na této stránce [5].

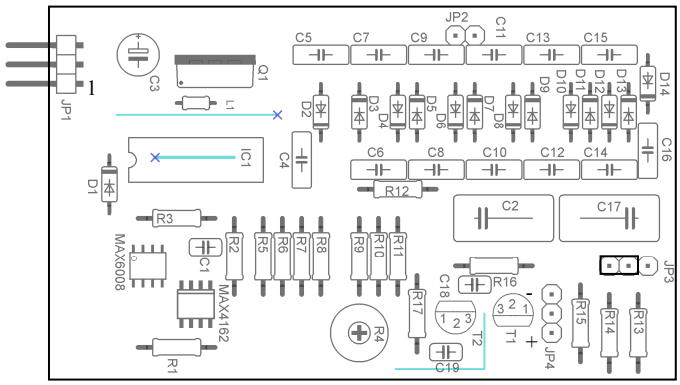
VN zdroj je koncipován jako samostatný modul, a proto je pro něj vytvořen vlastní plošný spoj (Obrázek číslo 17) a samozřejmě i osazovací schéma (Obrázek číslo 18).



Obrázek 16. Schéma VN zdroje.



Obrázek 17. Plošný spoj VN zdroje (měřítko 1:1).



Obrázek 18. Osazovací schéma VN zdroje.

Seznam součástek:

IC1:	74HC14
OZ:	MAX4162 – Pozor obvod se osazuje na spodní straně DPS
Reference:	MAX6008 – Pozor obvod se osazuje na spodní straně DPS
R1:	750 kΩ
R2:	100 kΩ
R3:	10 kΩ
R4 (trimr):	500 kΩ
R5:	2 MΩ
R6 - R11:	10 MΩ
R12:	6 MΩ
R13:	1 MΩ
R14:	1,5 MΩ
R15:	2,2 MΩ
R16:	220 kΩ
R17:	1 kΩ
C1:	100 pF ker
C2:	10 nF (500 V) ker
C3:	10 µF (10 V) elyt
C4 – C16:	0,1 µF (100 V) ker
C17:	10 nF (1000 V) ker
C18:	100 pF
C19:	10 nF
L1:	4,7 µH (I_{SAT} = 1,65 A)
D1 – D14:	1N4148
T1, T2:	BC547
Q1:	IRF540
JP1 – JP4:	Oboustranný kolík (lámací)

5.5 Modul SD paměťové karty

Pro konstrukci byl vybrán modul uSD-G1 (4D systems). Tento modul umí pomocí jednoduchých příkazů (přes rozhraní UART) řídit mikro SD paměťovou kartu. Umožňuje vytvářet, zapisovat, mazat a vyhledávat soubory kompatibilní se systémem DOS (Souborový systém FAT16), nebo práci s kartou na nejnižší úrovni (RAW - Bez souborového systému). V této práci bude využito funkce se souborovým systémem FAT16. Datové listy modulu jsou dostupné na tomto odkazu [3] a sada příkazů na tomto odkazu [4].

Parametry modulu uSD-G1:

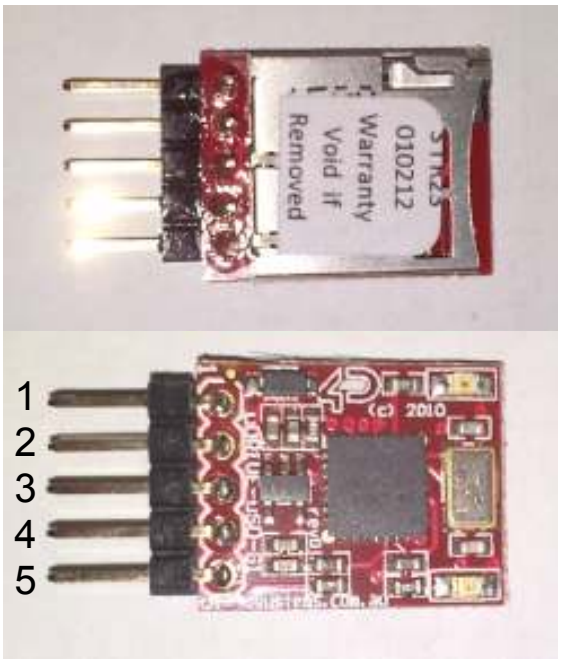
- Kompatibilita se souborovým systémem FAT16
- Komunikace přes UART rozhraní (TTL napěťové úrovně)
- Podpora paměťových karet do velikosti 2 GB
- Rozsah napájecího napětí: 3,6 až 5,5 V
- Automatická detekce komunikační rychlosti (300 až 256k symbolů/s)
- Indikace napájení a komunikace LED diodami

Příklad základních RAW příkazů modulu (ASCII formát):

- @i – Inicializace paměťové karty
- @R – Čtení bloku dat v určitém sektoru
- @W – Zápis bloku dat do určitého sektoru
- @A – Nastavení adresového ukazatele paměti
- @r – čtení jediného bytu (musí být nastavena adresa příslušného bytu)
- @w – zápis jediného bytu (musí být nastavena adresa příslušného bytu)

Modul je takzvané „slave“ zařízení. To znamená, že komunikaci vždy začíná mikropočítač. Po každém příkazu z mikropočítače generuje modul odpověď. První typ odpovědi je ACK (příkaz byl úspěšně zpracován), nebo NAK (nastala chyba).

1 – Reset
2 – GND - Zem
3 – Rx – Příjem dat (UART)
4 – Tx – Odesílání dat (UART)
5 – Vcc (3,6 až 5,5 V)



Obrázek 19. Zapojení pinů modulu SD karty a jejich funkce.

5.6 G-M trubice

Jako G-M trubice byla zvolena nejvíce cenově dostupná trubice AGM100. Výrobce udává jen velmi strohé informace o této trubici, a proto je nutné trubici změřit. Podrobnosti měření budou rozepsány v podkapitole Kalibrace G-M trubice. Trubice má jako vnitřní prostředí plyn, který se při průletu radioaktivní částice stane vodivým. Zhasnutí výboje zajišťuje elektronické zapojení – při výboji klesne na trubici napětí, což vede k poklesu proudu a obnovení izolačního stavu vnitřního plynu (zhasnutí výboje).

Parametry G-M trubice udané výrobcem:

Napájecí napětí:	260 až 340 V
Rozměry:	6 x 25 mm
Maximální měřitelná intenzita:	10,5 ±1,5 µR/s
Typ snímaného záření:	Gama

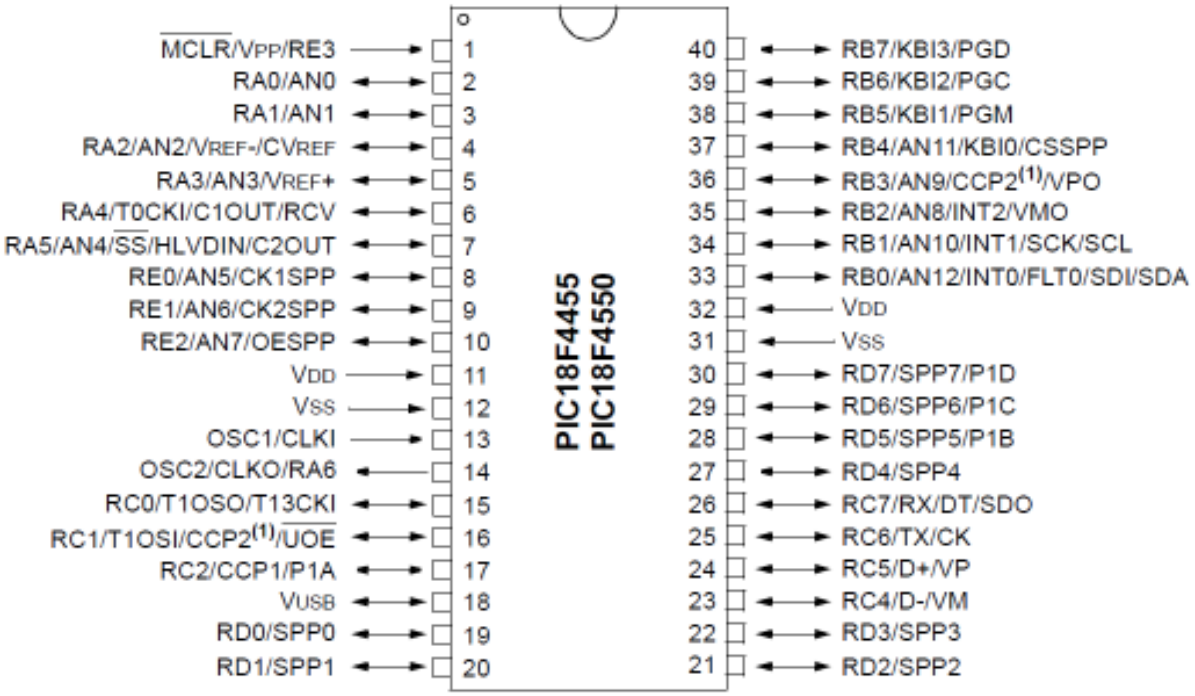
Obrázek 20. G-M trubice AGM100

5.7 Mikropočítač

Mikropočítač je hlavní řídící jednotka celého měřicího přístroje. Z důvodu znalosti autora této práce byl vybrán jako zástupce MCU mikropočítač PIC 18F4550-I/P. Datové listy jsou dostupné na stránkách výrobce [6]. Datové listy jsou velmi precizně zpracovány a po jejich nastudování lze pochopit činnost mikropočítače a jeho periferií. Také jsou zde popsány podrobně všechny instrukce mikropočítače v JSA. Jediným nedostatkem jsou velmi strohé příklady programů. Mikropočítač obsahuje hardwarovou podporu standardu USB 2.0 (Dala by se využít pro přenos dat do PC). Původní myšlenka totiž byla připojovat měřicí přístroj k počítači a stahovat data skrze USB rozhraní. Výrobce bohužel nepodporuje knihovnami využití USB rozhraní v JSA (podporuje pouze jazyk C). Zajímavostí je, že mikropočítač může běžet na vyšší frekvenci, než je frekvence připojeného krystalu. Obsahuje totiž PLL závěs (kvůli USB rozhraní) a je tedy možné například taktovat mikropočítač s připojeným 10 MHz krystalem až na frekvenci 48 MHz. Na obrázku číslo 21 je zobrazeno zapojení pinů mikropočítače. Funkci pinů lze samozřejmě zvolit programově. V datových listech lze najít vnitřní zapojení pinů až na úrovni hradel.

Základní parametry a periferie mikropočítače:

Pracovní frekvence	DC – 48 MHz
Programová paměť (Flash)	32768 Bajtů
Paměť instrukcí	16384 Bajtů
Paměť SRAM (datová)	2048 Bajtů
Paměť EEPROM	256 Bajtů
Počet zdrojů přerušení	20
Počet časovačů	4
Porty k dispozici	A, B, C, D, E
Sériová komunikace	MSSP, Rozšířený USART, SPI, I^2C
A/D převodníky	10 bitů, 13 vstupních kanálů
Počet komparátorů	2
ICSP	Ano
Instrukční sada	75 instrukcí (83 s rozšířenou instrukční sadou)
Patice	PDIP40
Počet přepsání Flash paměti	100 000 (uchování dat >40 let)
Počet přepsání EEPROM paměti	1000 000 (uchování dat >40 let)
Rozsah napájecího napětí	2 až 5,5 V
Maximální proud I/O portů	25 mA/25 mA
Watchdog časovač	Ano
Napájecí napětí	2 až 5,5 V



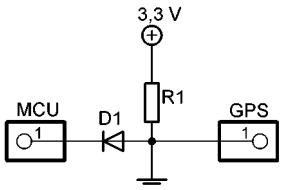
Obrázek 21. Zapojení pinů mikropočítače. (18)

Jelikož mikropočítač zpracovává všechny informace přístroje, tak se všechny moduly připojují právě k DPS, na které je mikropočítač. Navržené schéma je na obrázku číslo 23. Celá deska je napájena napětím 5 V. Některé periferie však vyžadují napájení nižší a proto je do schématu zakreslen stabilizátor na 3,3 V. Pro nižší spotřebu by bylo možná vhodnější využít snižující (Step down) DC-DC měnič. Stabilizátor je však mnohem jednodušší a levnější řešení.

V úvahu samozřejmě přichází i myšlenka, aby zařízení bylo napájeno rovnou napětím 3,3 V, jelikož většině použitých komponent stačí toto napětí pro spolehlivou funkci. Problém se však naskytne při ICSP programování, kdy se používá pro napájení 5 V. Toto napětí by pravděpodobně zničilo LCD displej a GPS modul. Pro jistotu tedy bylo zvoleno napájecí napětí stejné, jako je programovací.

Při tomto řešení je ovšem nutné přizpůsobit napěťové úrovně. Při přechodu z vyššího napětí na nižší je možné využít jednoduché zapojení s rezistorem a diodou. Toto zapojení bylo vyzkoušeno a je naprosto spolehlivé (Obrázek číslo 22). Zapojení funguje tak, že když má MCU na výstupu Log 1, tak je dioda D1 zavřená a na vstupu GPS modulu je tedy přes rezistor R1 přivedeno napětí 3,3 V. Je-li však na výstupu MCU Log 0, tak se D1 otevře a na vstupu GPS modulu je napětí, které se rovná přibližně úbytku napětí na D1 (0,3 až 0,6 V - záleží na použité diodě). Toto napětí modul již považuje za logickou nulu.

Předešlé zapojení by mohlo teoreticky fungovat i bez diody D1. MCU by však musel pracovat ve speciálním režimu, kdy by za Log 1 byl považován stav vysoké impedance a Log 0 by bylo klasicky připojení k zemi. Při špatném naprogramování by však hrozilo poškození, nebo zničení připojeného modulu.



Obrázek 22. Napěťové přizpůsobení.

Napěťové přizpůsobení opačným směrem (3,3 V úrovní řídit 5 V vstup) je už složitější. Tady bylo experimentováno s různými tranzistorovými zapojeními, ale výsledky nebyly dobré (respektive zapojení nefungovalo). Jednou z možností je použití zvyšujícího měniče. Toto by však bylo velmi složité a drahé zapojení. Další možnost je propojit přímo výstup na vstup. Tahle možnost ale předpokládá, že napětí 3,3 V bude pro hradlo MCU znamenat Log 1. Výše zmíněný mikropočítač má na vstupu schmittův klopný obvod a napětí 3,3 V při 5 V napájení nemusí vždy vyhodnotit jako Log 1 (vliv hystereze). Ve schématu je nakonec zakresleno přizpůsobení pomocí optočlenu. Toto přizpůsobení bylo testováno, je plně funkční a spolehlivé.

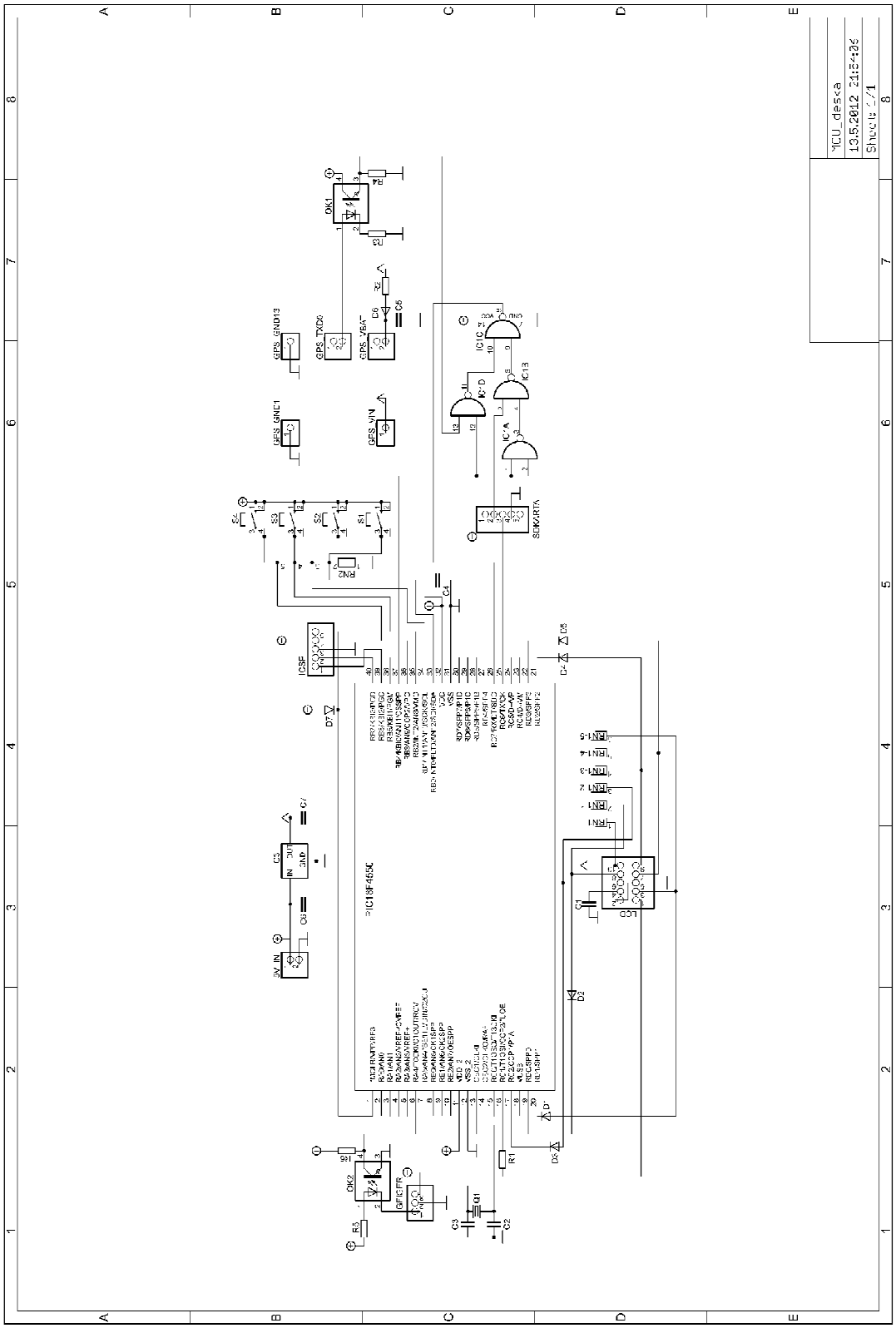
Poslední složitější zapojení ve schématu je multiplexer poskládaný z hradel typu NAND. Multiplexerem se volí příjem dat buď z GPS modulu, nebo modulu paměťové karty. Programátor tedy Log 1 (zvolen GPS) na pinu RB4 mikropočítače, nebo Log 0 (zvolen modul SD karty) volí, odkud potřebuje přijímat data.

Ke schématu byl vytvořen i návrh plošných spojů, osazovací schéma a seznam součástek. GPS modul je ve schématu a na desce plošných spojů naznačen univerzálními piny, jelikož si autor této práce na GPS modul vytvořil redukci ve tvaru viditelném na DPS. Redukce má výhodu, že se DPS může osadit jen paticí (zdířkami) a GPS modul je možné vyjmout a použít v dalších aplikacích.

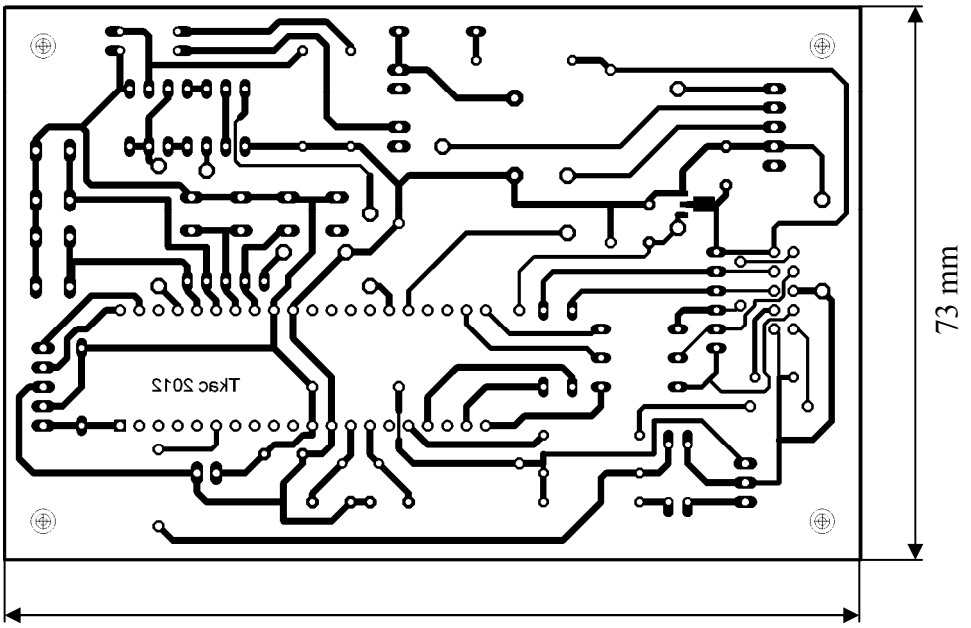
Využité piny MCU a jejich zapojení:

1 MCLR – Programovací napětí
6 RA4 – Vstup pulzů z G-M trubice
11 Vdd – +5 V
12 Vss – GND
13 OSC1 – připojení krystalu
14 OSC2 – připojení krystalu
16 RC1 – LED osvětlení displeje
17 RC2 – LCD S_{CE}
19 RD0 – LCD Data
20 RD1 – LCD Reset
21 RD2 – LCD Clock
22 RD3 – D/C
25 RC6 – TX UART (připojen modul SD karty)
26 RC7 – RX UART (připojen výstup multiplexeru)
31 Vss – GND
32 Vdd – +5 V
33 RB0 – Tlačítko 1
34 RB1 – Tlačítko 2
35 RB2 – Tlačítko 3

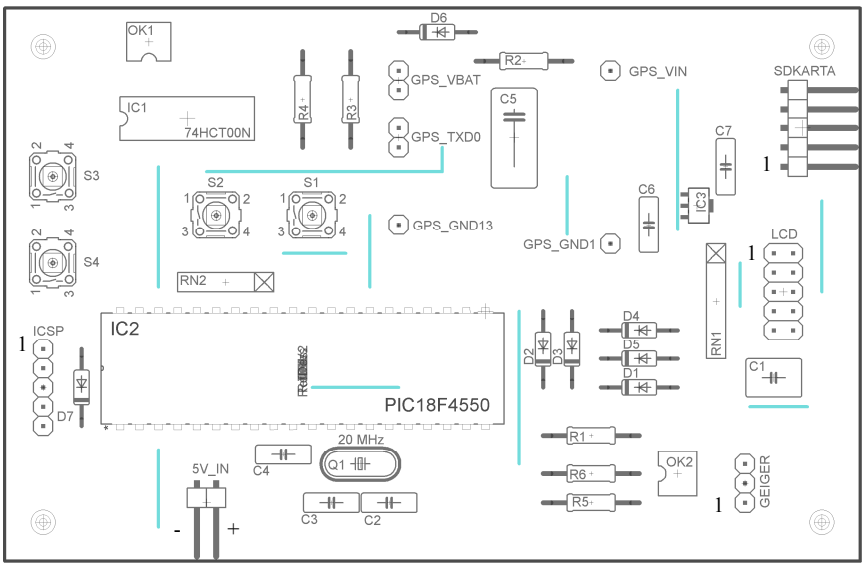
36 RB3 – Tlačítko 4
37 RB4 – Multiplexer (Log 1 GPS modul, Log 0 modul SD karty)
39 RB6 – ICSP Clock
40 RB7 – ICSP Data



Obrázek 23. Schéma MCU části zařízení.



Obrázek 24. DPS MCU části zařízení (měřítko 1:1).



Obrázek 25. Osazovací schéma MCU části zařízení.

Seznam součástek:

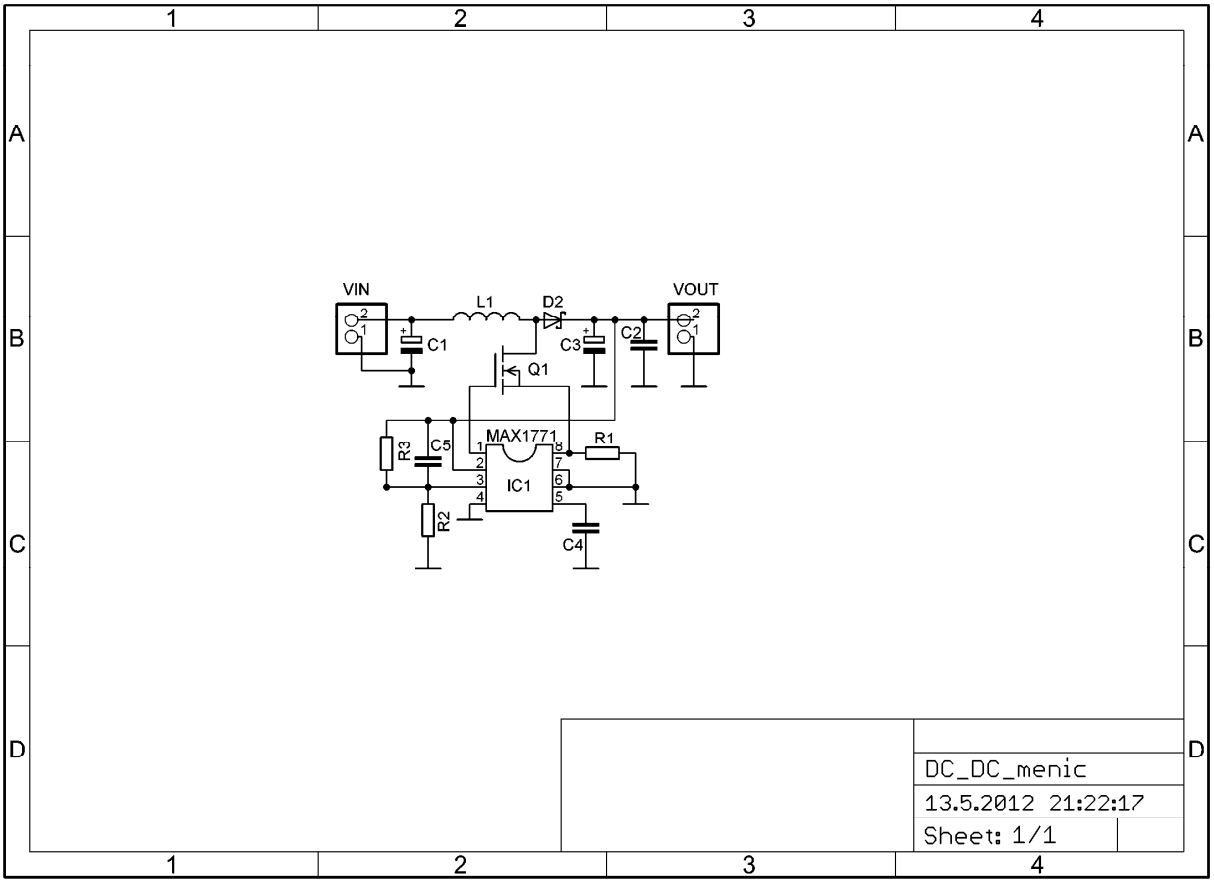
R1, R2	100 Ω
R3, R5	1 kΩ
R4, R6	10 kΩ
RN1	Odporová síť, 10 kΩ, 6 pinů
RN2	Odporová síť, 10 kΩ, 5 pinů
C1	1 µF, 10 V
C2, C3	22 pF, ker
C4, C6, C7	100 nF. ker

C5	1 F, 5 V, záložní kondenzátor
D1 – D7	1N4148
OK1, OK2	PC817, optočlen
Q1	20 MHz, krystal
IC1	74HC00, 4 x NAND
IC2	PIC18F4550
IC3	TS1117CW33, stabilizátor na 3,3 V. Pozor obvod se osazuje na spodní straně DPS
S1 – S4	Spínací tlačítka

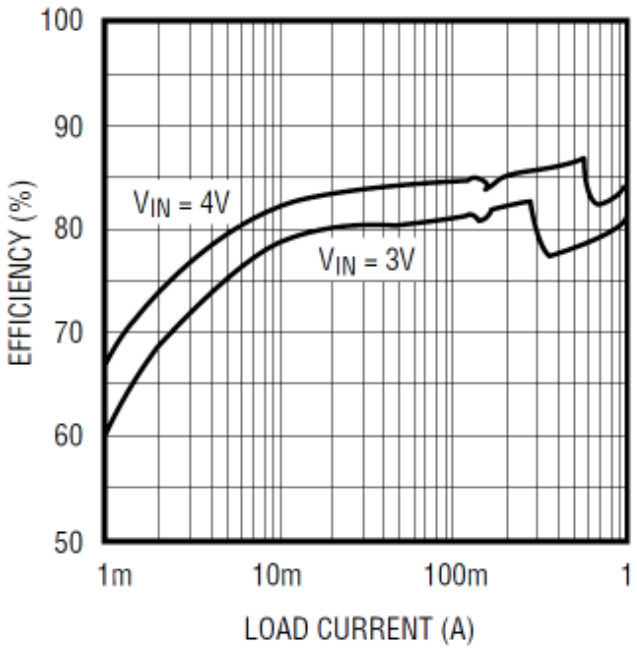
5.8 DC-DC měnič

Tento měnič je zvyšující (Step up) a slouží ke zvýšení napětí akumulátoru na 5 V. V dnešní době je nepřeberné množství integrovaných obvodů, které umí s vysokou účinností zvýšit napětí akumulátoru o jednom a více článcích na volitelné výstupní napětí. Velice kvalitní obvody poskytuje výrobce Maxim Integrated Products. Pro tuto aplikaci byl vybrán obvod MAX1771. Obvod je v pouzdře DIL8. S výstupním napětím 5 V tento obvod dosahuje účinnosti až 87% (účinnost silně závisí na odebíraném proudu a vstupním napětí). Graf závislosti účinnosti na odebíraném proudu je na obrázku číslo 27. Datové listy obvodu jsou dostupné na této stránce [7]. Schéma zapojení je na obrázku číslo 26 a je převzato z datových listů. Pouze tranzistor je vybrán jiný (vzhledem k dostupnosti v České republice).

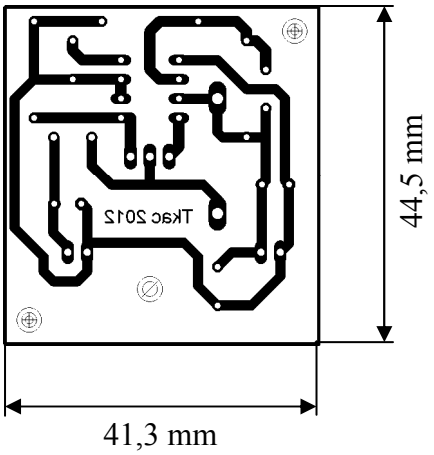
Pro přehled – Integrovaný DC-DC měnič MAX1703 nabízí také velice dobré parametry. Je přímo určen pro použití v mobilních zařízeních. Jeho výhodou je, že se vyrábí v provedení pro povrchovou montáž a má přímo na čipu integrován spínací tranzistor. Počet nutných externích součástek je tedy minimální. Datové listy jsou dostupné zde [8].



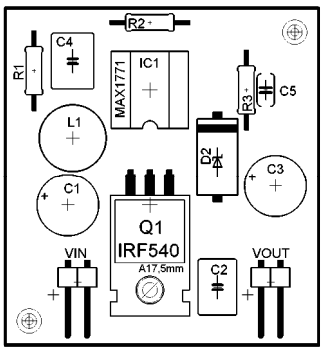
Obrázek 26. Schéma DC-DC měniče (19).



Obrázek 27. Závislost účinnosti na odebíraném proudu. (19)



Obrázek 28. DPS DC-DC měniče (měřítko 1:1)



Obrázek 29. Osazovací schéma DC-DC měniče

Seznam součástek:

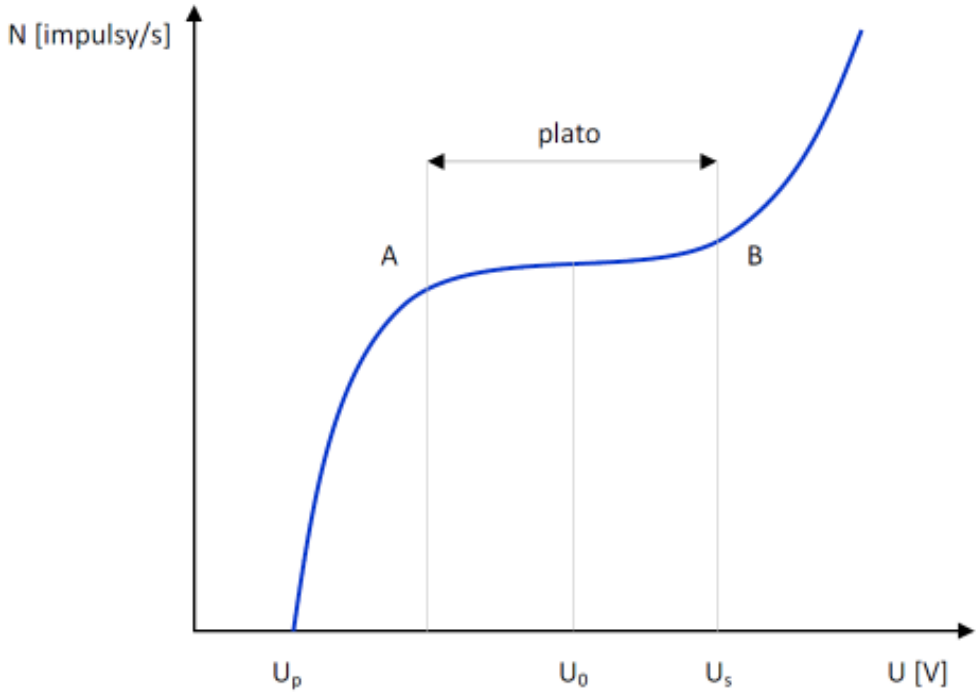
R1	232 kΩ
R2	100 kΩ
R3	0,04 Ω
C1	150 µF, 10 V
C2, C4	0,1 µF, 10 V
C3	330 µF, 10 V, Low ESR
C5	100 pF, ker
D2	1N5908
Q1	IRF540
IC1	MAX1771

5.9 Kalibrace G-M trubice

Jako první je potřeba nastavit pracovní bod G-M trubice. K tomu je potřeba nastavitelný VN zdroj, čítač pulzů a známý radioaktivní materiál (prvek). Výsledkem by měla být křivka, jejíž část se nazývá „Plato“. Pracovní bod trubice je potřeba nastavit do středu

oblasti plata. Obecný průběh měření závislosti impulzů na napětí pro G-M trubici se nachází na obrázku číslo 30.

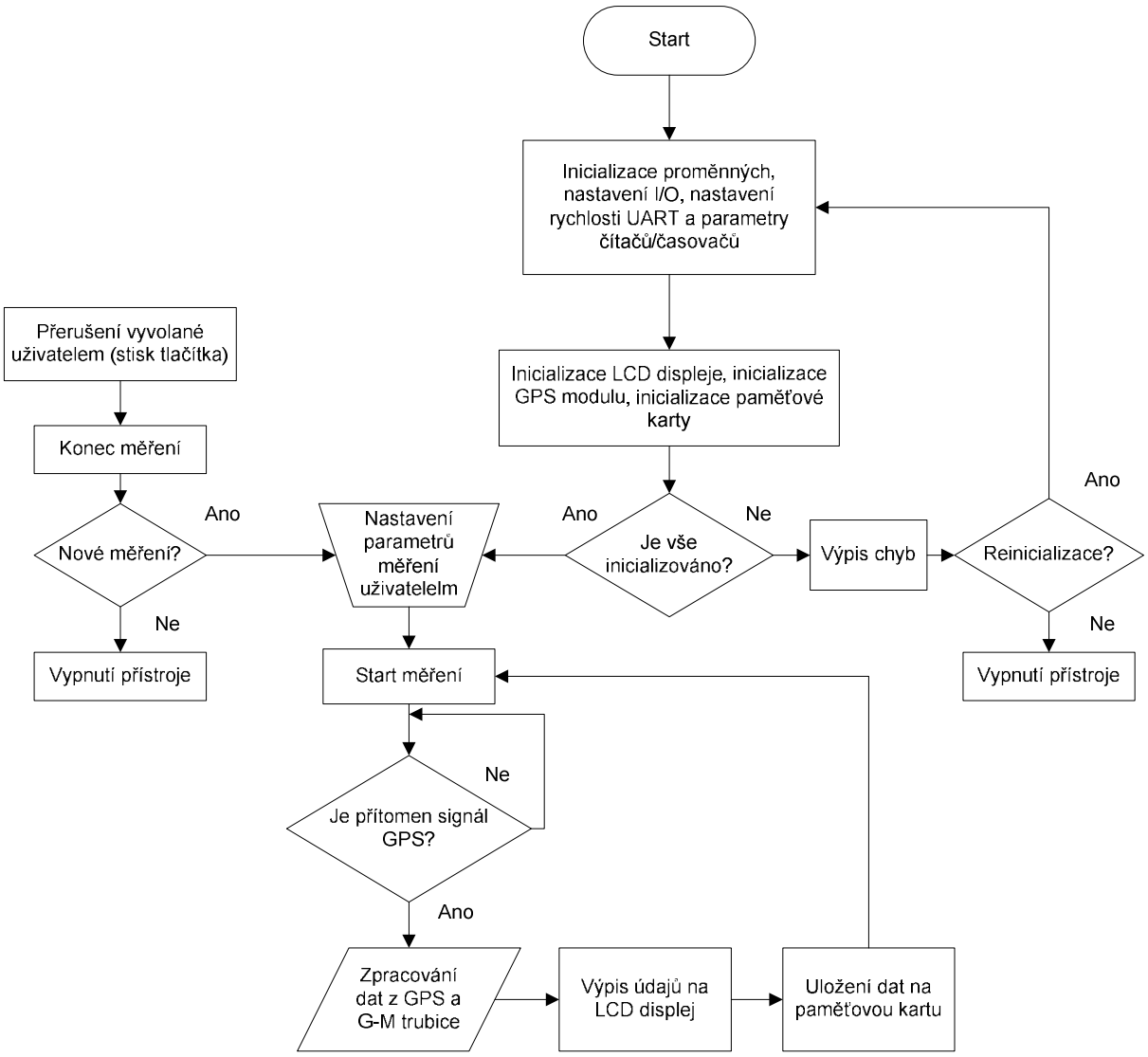
Samotná kalibrace probíhá tak, že máme několik různých zdrojů radioaktivního záření a cejchovaný měřič intenzity radioaktivního záření. U každého zdroje změříme měřicím přístrojem intenzitu záření a počet impulzů za sekundu kalibrované trubice. Po proměření by měla vyjít konstanta (např. 1000 impulzů/s = 0,01 µS/h). Tuto konstantu následně využíváme pro přepočet v našem měřicím přístroji. V žádném případě nesmíme G-M trubici vystavovat větším intenzitám, než je její maximum (může dojít k poškození trubice).



Obrázek 30. Obecná závislost četnosti impulzů na napětí pro G-M trubici. (20)

5.10 Návrh programu

Na obrázku číslo 31 se nachází vývojový diagram hlavního programu pro měřicí přístroj. Diagram je psaný poměrně obecně, aby ho šlo aplikovat na libovolnou platformu. Hotové programy pro určité platformy, ale se stejnou funkcí se samozřejmě liší. Nicméně jejich funkce jako takové jsou obdobné nezávisle na použitém programovacím jazyku. Autor práce dává k dispozici na přiloženém CD knihovnu podprogramů, znaků (malá velká písmena, číslice a několik speciálních znaků) a úvodní obrazovku pro LCD. Knihovna je dílem autora, je psaná v JSA a je určena pro výše zmíněný mikropočítač PIC.



Obrázek 31. Návrh programu.

6. Závěr

Cílem tohoto projektu bylo sepsat teorii snímání radioaktivního záření, popsat funkci GPS a vytvořit návrh měřícího systému, který umožňuje měřit radioaktivní pozadí a k těmto hodnotám přiřadit aktuální souřadnice GPS. Teorií se zabývají kapitoly 2 a 3. Návrhu měřícího systému se věnuje obecněji čtvrtá kapitola a konkrétněji pátá kapitola. Pokoušel jsem se zařízení i realizovat, ale narazil jsem na problémy při programování. Problémy byly toho typu, že assembler program přeložil bez chyb, ale v mikropočítači program nefungoval tak, jak by měl. Část programu, která je funkční a dotažená do konce je knihovna pro LCD displej a je součástí této práce na CD. Fotografie použitého vývojového kytu jsou v příloze 1. Po dotažení celého programu do funkčního stavu nebude problém ho v případě zájmu poskytnout škole. Součástky vývojového kytu vyšly cenově na cca 2500 Kč. Do termínu státní závěrečné zkoušky se pokusím vytvořit demonstrační program, který ukáže, jak si představuji funkci programu.

Tato práce měla pro mě přínos v prohloubení znalostí o snímání radioaktivního záření a také o systému GPS. Při návrhu systému jsem si prohloubil znalosti o pulzních měničích (pro malá i vysoká napětí). Zdroj vysokého napětí pro G-M trubici jsem sestavil a je plně funkční. Bohužel některé součástky se nedají v ČR sehnat a tak bylo potřeba vyzkoušet jiné. Může se také stát, že má člověk štěstí a potřebnou součástku zrovna nabízí výrobce jako vzorek. Poznatek – při objednávání vzorků od společnosti Maxim je rozhodující pro zaslání emailová adresa. Na veřejné domény už si objednalo vzorky tolik lidí, že na ně výrobce vzorky odmítá zaslat. Já mám zkušenost takovou, že doména VUTBR je zřejmě často využívána a nepodařilo se mi na ni vzorky součástek objednat. Další přínos je v prohloubení znalostí programování složitějšího přístroje. Stále jsou zde však věci, se kterými dosud nejsem schopen pohnout. Pokud si vzpomenu na začátky, tak mi trvalo několik dní i rozsvítit LED diodu, než jsem přišel na to, že program je napsaný správně, ale překladač nepřekládá základní konfiguraci (nastavení oscilátoru, watchdog časovače atd.). Kdybych dnes začínal stavět takovéto zařízení, tak bych pravděpodobně využil platformu Arduino. Sice jsem s ní nikdy nepracoval, ale má obrovskou podporu ze strany uživatelů (uživatelů je velké množství a dávají k dispozici své řešení na internetu).

Ještě bych se na závěr zmínil o baterii k tomuto zařízení. Vytvořený vývojový kyt při připojení a zapnutí všech potřebných modulů odebírá ze zdroje cca 200 mA. Podle obrázku číslo 27 má při tomto proudu a napětí 4V DC-DC měnič účinnost 85%. Pokud předpokládám použití tří-článkové baterie s napětím 3,6 V, tak se účinnost sníží na cca 83%. Odběr proudu z baterie se tedy rovná 241 mA. Baterie používané v mobilních telefonech mají kapacity kolem 1000 mAh a z toho vyplývá možný provoz zařízení v terénu až 4 h bez nabíjení.

Dobíjení baterie jsem neřešil, jelikož spousta baterií do mobilních telefonů má potřebné obvody v sobě a po nabití se baterie sama přestane nabíjet (Například baterie do mobilního telefonu Motorola V3 RAZR).

7. Použitá literatura

(1)ČECH, Petr. *Ionizující záření*. VUT Brno, 2008. 21 s. Prezentace k předmětu MEKI. VUT Brno, FEEC DBME BUT.

(2)ROZMAN, Jiří. *Fyzikální aspekty - ionizující záření*. VUT Brno, 2005. 9 s. Prezentace k předmětu MEKI. VUT Brno, FEEC DBME BUT.

(3) DĚDINA, Radim. *DETEKCE IONIZUJÍCÍHO ZÁRENÍ POMOCÍ GEIGER-MÜLLEROVA DETEKTORU*. VUT Brno, 2008. 48 s. Diplomová práce. VUT Brno.

(4) UHROVÁ, Helena. *Detekce ionizačního záření* [online]. VŠCHT v Praze, 2000. 7 s. Skripta. VŠCHT v Praze. Dostupné z WWW: <http://eso.vscht.cz/cache_data/1395/www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/uhrovah/skripta/Uloha%2014b.pdf>.

(5) DARVILL, Andy. *Darvill.clara.net* [online]. 1999, Březen 2011 [cit. 2011-03-15]. Radioactivity. Dostupné z WWW: <http://www.darvill.clara.net/nucrad/detect.htm>.

(6) ULLMANN, Vojtěch. *Astronuklfyzika.cz* [online]. Neznámé datum vydání [cit. 2011-03-16]. Detekce a spektrometrie ionizujícího záření. Dostupné z WWW: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>.

(7) KUSALA, Jaroslav. *Cez.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-03-15]. Detektory a urychlovače. Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/urychl/k22.htm>.

(8) FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana, et al. *Fbmi.sirdik.org* [online]. Změněno 2011 [cit. 2011-03-15]. Elektrické detektory. Dostupné z WWW: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/16/161.html>.

(9) FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana, et al. *Fbmi.sirdik.org* [online]. Změněno 2011 [cit. 2011-04-02]. Elektrické detektory. Dostupné z WWW: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/16/162.html>.

(10) BABČANÍK, Jan. *Hw.cz* [online]. 2006 [cit. 2011-03-18]. Jak funguje GPS?. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1634-Jak-funguje-GPS.html>.

(11) KRAHULÍK, M. *Pandatron.cz* [online]. 26.7.2010 [cit. 2011-04-10]. Diferenciální metody zpřesňování satelitní lokalizace. Dostupné z WWW: <http://pandatron.cz/?1529&diferencialni_metody_zpresnovani_satelitni_lokalizace>.

(12) *Ec.europa.eu* [online]. 07/03/2011 [cit. 2011-04-10]. Satelitní služba zvýší bezpečnost v letecké dopravě. Dostupné z WWW: <http://ec.europa.eu/news/business/110307_cs.htm>.

(13) T. FRENCH, Gregory. *Understanding the GPS : An Introduction to the Global Positioning System*. USA : GeoResearch, Inc., 1996. 264 s. ISBN 0-9655723-0-7.

(14) H. DANA, Peter. *Www.colorado.edu* [online]. 1998 [cit. 2011-04-18]. GPS nominal constellation. Dostupné z WWW: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html>.

(15) H. DANA, Peter. *Www.colorado.edu* [online]. 1994 [cit. 2011-04-18]. Global Positioning System Overview. Dostupné z WWW: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html>.

(16) HOPERF ELECTRONIC. *GPS03.pdf*: *Datasheet GPS03* [online]. 2009 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.tme.eu/dok/G/gps03.pdf

(17) MARTÍNEK, Jan. GPS a komunikační protokol NMEA: GPS a komunikační protokol NMEA - 3 (dekódování dat). [online]. 2006, 10.10.2006 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat

(18) MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*: *28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology* [online]. 2009, 436 s. [cit. 2012-05-06]. DS39632E. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf

(19) MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. *12V or Adjustable, High-Efficiency, Low IQ, Step-Up DC-DC Controller*: *MAX1771* [online]. 2002 [cit. 2012-05-01]. ISBN 19-0263; Rev 2; 3/02. Dostupné z: http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1771.pdf

(20) TAUBINGER, Petr. *GEIGER - MÜLLERŮV DETEKTOR* [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.volny.cz/taubinger/dokumenty/Geiger.pdf

8. Seznam zkratek

GPS – Global positioning system
GIS – Geografický informační systém
LBSD - Long Base Silicon Diode
GNSS - Global Navigation Satellite System
RTK - Real Time Kinematic
GSM - Global System for Mobile communications (globální systém pro mobilní komunikace)
GPRS - General Packet Radio System (Obecný paketový rádiový systém)
EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
RTCM - The Radio Technical Commision for Maritime Services
HTTP - HyperText Transfer Protocol (Hypertextový přenosový protokol)
TCP/IP - Transmission Control Protocol / Internet Protocol
Ntrip - Network Transport of RTCM via Internet Protokol
GLONASS - The Global Navigation Satellite System
EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service
SBAS - Satellite Based Augmentation System
WAAS - Wide Area Augmentation System
ILS - Instrument Landing System (Elektronický přistávací návaděcí systém pro letadla)
MSAS - Multi-Functional Transport Satelite
Egnos - European Geostationary Navigation Overlay System
DSCS (Defense Satellite Communication System)
JSA – Jazyk symbolických adres
PIC - Peripheral Interface Controller (Označení jednočipových počítačů firmy Microchip)
ICSP – In Circuit Serial Programing
EEPROM – Označení elektronicky mazatelné paměti EPROM
SD – Secure Digital (Typ paměťové karty)
PC – Personal Computer (Osobní počítač)
FAT - File Allocation Table (Alokační tabulka souborů)
MCU - Microcontroller unit (Jednočipový mikropočítač)
CMOS – Complementary Metal Oxide Semiconductor (Technologie výroby součástek)
LVTTL – Low voltage TTL (TTL logika pro nízké napětí)
USART – Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter (Univerzální synchronní / asynchronní sériové rozhraní)
MSSP – Master synchronous serial port (Řídící synchronní sériový port)
PLL – Phase Locked Loop (Smyčka fázového závěsu)
NAND – Označení hradel provádějících operaci negovaného logického součinu

9. Odkazy

[1] Datové listy řadiče PCD8544: http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/18170/PHILIPS/PCD8544.html

[2] Datové listy GPS modulu: http://www.tme.eu/dok/G/gps03.pdf

[3] Datové listy modulu SD karty: http://www.sos.sk/a_info/resource/c/4Dsystem/uDRIVE-uSD-G1-DS-rev2.pdf

[4] Sada příkazů pro modul SD karty: http://www.4dsystems.com.au/downloads/Semiconductors/GOLDELOX-DOS/Docs/GOLDELOX-DOS-COMMANDS-SIS-rev3.pdf

[5] Původní schéma VN zdroje: http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/3757

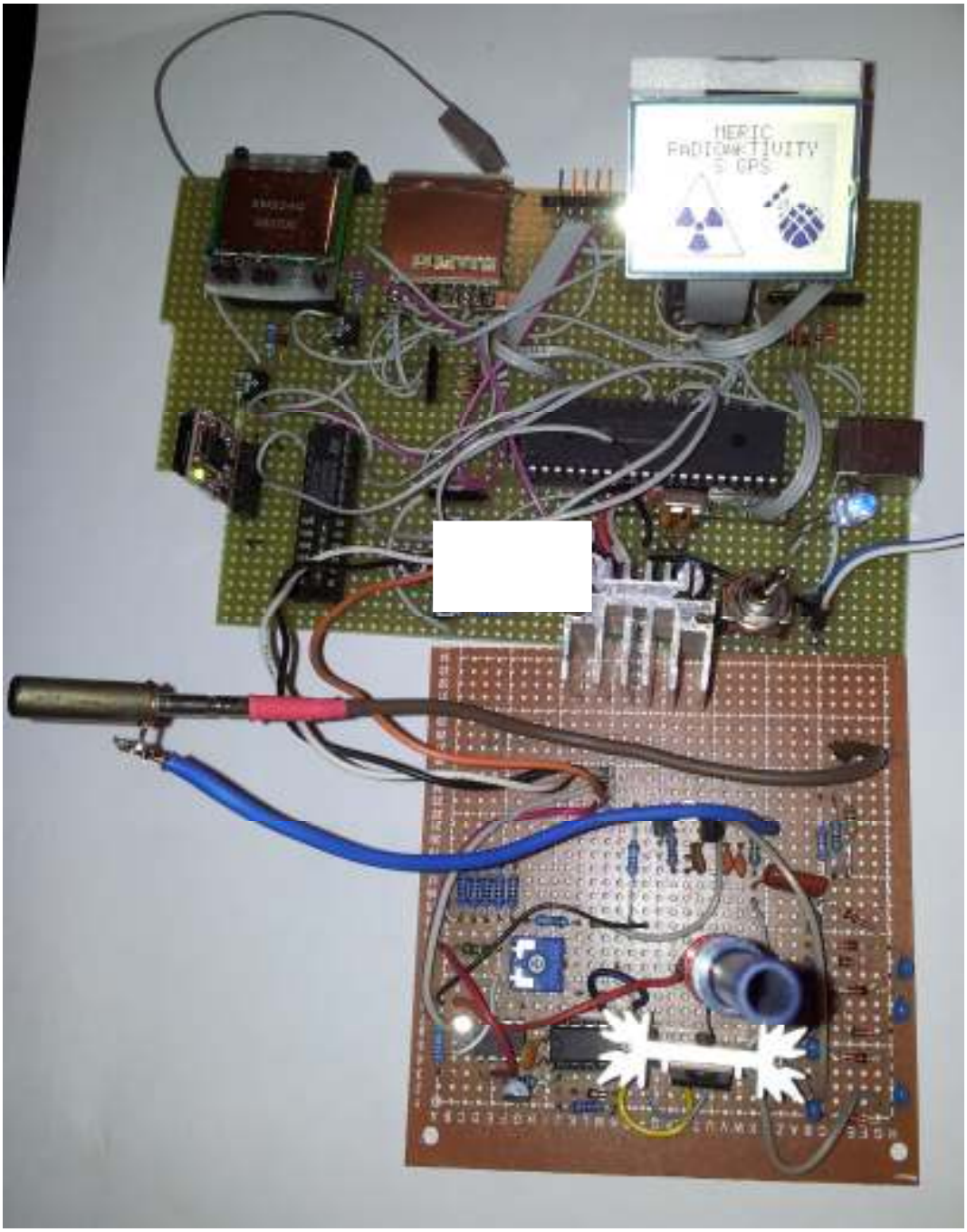
[6] Datové listy mikropočítače: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf

[7] Datové listy DC-DC měniče: http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1771.pdf

[8] Datové listy k obvodu MAX1703: http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1703.pdf

10. Použitý software

MPLAB IDE v8.80 – Microchip Technology Inc. (Volně dostupný pro studenty)
EAGLE 5.8.0 – Cadsoft (freeware verze)
Microsoft office 2007 – Microsoft
XnView pro Windows 1.31 – Verze Libformat – Pierre-e Gougelet (freeware verze)

11. Přílohy

Příloha 1. Fotografie vývojového kitu