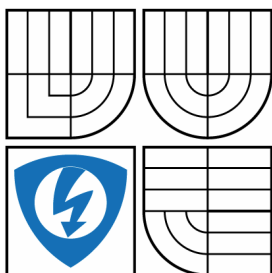


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## INDIKÁTOR BOUŘKY (INDIKÁTOR BLESKŮ)

INDICATOR STORMS (INDICATOR FLASHES)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

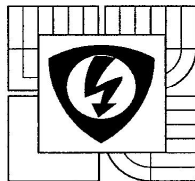
TOMÁŠ TRÁVNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

**Student:** Tomáš Trávníček

**Ročník:** 3

**ID:** 109736

**Akademický rok:** 2010/11

**NÁZEV TÉMATU:**

## Indikátor bouřky (indikátor blesků)

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Pojednejte o projevech bouřek, o nebezpečí, které se při nich vyskytuje a možnostech ochrany před bouřkami. Rozeberte i možnosti indikace bouřky a zaznamenávání četností blesků. Navrhnete jednoduchý indikátor bouřky, který by umožňoval zaznamenávat počty blesků.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] Blesk dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Blesk>

[2] Indikátor blesků, dostupné na:

<http://weather-storms.blogspot.com/2010/03/vlastni-indikator-blesku.html>

**Termín zadání:** 7.2.2011

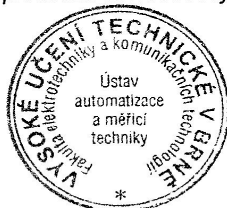
**Termín odevzdání:** 30.5.2011

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**

  
prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

předseda oborové rady



**UPOZORNĚNÍ:**

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

## **Abstrakt**

Cílem této Bakalářské práce je získání znalostí z oblasti bouřky, její projevů, detekce skrze tyto projevy a následně s pomocí takto získaných znalostí navrhnout jednoduchý indikátor bouřky (blesků), který bude pracovat na principu počítání blesků. Ke zpracování návrhu bude využito jednoduchých principů a elektronických součástek. Výsledkem celé práce je zhotovení funkčního vzorku indikátoru.

## **Klíčová slova**

Cumulonimbus, bouřka, blesk, detekce, indikátor, DC/DC měnič.

## **Abstrakt**

The aim of this Bachelor's thesis is to gain knowledge from the storm, its manifestations, detection through these speeches and then using this knowledge gained to design a simple indicator of thunderstorm's (lightning), which will operate on the principle of counting flashes. The drafting of the principles and use of simple electronic component's. The result of all this work is making a functional indicator of the sample.

## **Keywords**

Cumulonimbus, storm, lightning detection, the indicator, DC/DC converter.

### **Bibliografická citace:**

TRÁVNÍČEK, T. *Indikátor bouřky (indikátor blesků)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48s. Vedoucí bakalářské práce byl doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Indikátor bouřky (Indikátor blesků) jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2011

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 23. května 2011

.....

podpis autora

# Obsah

Úvod.....	- 10 -
1 bouřka.....	- 11 -
1.1 Úvod .....	- 11 -
1.2 Cumulonimbus (CB).....	- 11 -
1.3 Dělení bouřek podle místa jejich výskytu.....	- 12 -
1.3.1 Frontální bouřky .....	- 12 -
1.3.2 Nefrontální – uvnitř vzduchové hmoty .....	- 12 -
1.4 Životní cyklus každé bouřky .....	- 12 -
1.4.1 Stádium cumulu.....	- 13 -
1.4.2 Stádium dospělosti .....	- 13 -
1.4.3 Stádium rozpadu.....	- 13 -
1.5 Jak se zachovat při bouřce? .....	- 14 -
2 blesk .....	- 15 -
2.1 Úvod .....	- 15 -
2.2 Vznik blesku .....	- 16 -
2.2.1 Úvod.....	- 16 -
2.2.2 Princip vzniku blesku.....	- 16 -
2.2.3 Další informace o blesku a jeho typy[6] .....	- 17 -
2.3 Negativní blesk .....	- 18 -
2.4 Pozitivní blesk .....	- 18 -
2.5 Hrozící nebezpečí .....	- 18 -
2.6 Člověk po zásahu.....	- 19 -
2.7 První pomoc.....	- 20 -
2.8 Ochrana před bleskem .....	- 20 -
3 Detekce blesků v Evropě.....	- 21 -
3.1 CELDN.....	- 21 -
3.2 EUCLID.....	- 21 -
3.3 Vysvětlení principu detekce blesků .....	- 23 -
3.4 Zobrazení a ukázka dat .....	- 24 -
3.4.1 Legenda pro obrázek č. 4.4 .....	- 25 -
4 Vlastní návrh indikátoru blesků.....	- 26 -
4.1 Základní informace a předpoklady .....	- 26 -

4.2	Napájení.....	- 35 -
4.3	Měnič DC/DC napětí .....	- 35 -
4.3.1	Výpočet indukčnosti cívky L1 .....	- 36 -
4.3.2	Kondenzátory C1 a C2 .....	- 37 -
4.3.3	Dioda D1 .....	- 38 -
4.3.4	Výpočet odporů R1 a R2[17] .....	- 38 -
4.4	Příjem signálu .....	- 26 -
4.4.1	Laděný obvod s anténou(přijímač).....	- 27 -
4.5	Zesílení signálu z přijímače .....	- 29 -
4.6	Úprava signálu .....	- 31 -
4.7	Vyhodnocení signálu .....	- 33 -
5	realizace zkušebního vzorku .....	- 40 -
6	Závěr.....	- 42 -
7	Literatura .....	- 43 -
8	Seznam příloh.....	- 45 -



## Seznam obrázků

Obrázek č. 2.1 Cumulonimbus [3] .....	- 11 -
Obrázek č. 3.1 Blesk[7].....	- 15 -
Obrázek č. 4.1 Rozmístění detektorů blesků v Evropě [12].....	- 22 -
Obrázek č. 4.2 Čidlo pro detekci blesků IMPACT ESP[13].....	- 23 -
Obrázek č. 4.3 Radarový snímek z 26.června 2009[14] .....	- 24 -
Obrázek č. 4.4 Detekce blesků 26.června 2009[14].....	- 25 -
Obrázek č. 5.1 Nabíjecí AA baterie značky Sanyo[15] .....	- 35 -
Obrázek č. 5.2 Zapojení zdroje pomocí měniče LT1111 .....	- 36 -
Obrázek č. 5.3 Část kmitočtového spektra.....	- 26 -
Obrázek č. 5.4Schéma laděného obvodu s anténou (přijímač) .....	- 27 -
Obrázek č. 5.5 Schéma zapojení operačního zesilovače v obvodu .....	- 29 -
Obrázek č. 5.6 Schéma zapojení komparátoru s hysterezí v obvodu .....	- 30 -
Obrázek č. 5.7 Schéma zapojení časovače NE555 v obvodu jako MKO .....	- 31 -
Obrázek č. 5.8 Průběh napětí na vstupu a výstupu MKO .....	- 32 -
Obrázek č. 5.9 Schéma zapojení přední části čítače .....	- 33 -
Obrázek č. 5.10 Schéma zapojení zadní části čítače .....	- 34 -
Obrázek č. 6.1 Indikátor bouřky (indikátor blesků) – zkušební vzorek.....	- 40 -

# ÚVOD

Cílem této práce je seznámení se s bouřkou a jejími projevy. Dále zaměření se na možnost indikace bouřek skrze tyto projevy. Posléze přechod k indikátorům a vlastnímu návrhu jednoduchého indikátoru bouřky, který bude založen na indikaci blesků. Výstupem navrženého indikátoru bude počet blesků. V poslední řadě dojde k sestavení, oživení a odzkoušení navrženého jednoduchého indikátoru bouřky.

Bouřka je vlastně soubor několika jevů, které vznikají mezi oblaky navzájem nebo k nim dochází mezi zemí a těmito oblaky. Pro nás prioritní bude jev elektrický (blesk). Tento jev je pak doprovázen dalšími jevy a sice optickým a akustickým jevem. Samozřejmě je celosvětově známo, že bouřku doprovází další meteorologické jevy, např. přeháňky, slabé i silné nárazy větru.

Při vlastním návrhu se pak bude vycházet z následujícího. Během úderu blesku vznikají světelný a zvukový efekt. Kromě těchto dvou vzniká i elektromagnetické vlnění, které má určité spektrum. Z tohoto elektromagnetického spektra bude indikátor přijímat jen určitou část. Tato část bude ležet v takové oblasti kmitočtů, kde se nebudou nacházet jiné zdroje elektromagnetického vlnění, které by mohli rušit příjem.

# 1 BOUŘKA

## 1.1 Úvod

Pojďme se zamyslet společně nad tím co je to bouřka a jak vlastně vzniká. V podstatě je bouřka soubor několika jevů. Pro účely této práce je nejdůležitějším jevem samozřejmě jev elektrický. Ovšem také nesmíme zapomenout na optický a akustický jev. Ke vzniku těchto jevů dochází dvěma způsoby. V prvním případě vznikají navzájem mezi oblaky a ve druhém mezi oblaky a zemí. Při vzniku bouřky pak musí být splněny některé podmínky vzniku. Mezi takto zmíněné podmínky patří např:

- Instabilní zvrstvení vzduchové hmoty do vysokých hladin
- Vysoká relativní vlhkost při zemi i ve výšce
- Přítomnost vnější síly, která iniciuje vertikální pohyb

Bouřky lze označovat dle místa vzniku, pohybu, doby či vzdálenosti od místa pozorování, samozřejmě i dle intenzity projevů, atd. Bouřky jsou vázány na tak zvané cumulonimby. Na tyto cumulonimby se vážou některé velmi závažné atmosférické jevy, ze kterých se změříme pouze na bleskové výboje.[1]

## 1.2 Cumulonimbus (CB)

Jedná se vlastně o bouřkový oblak. Tento oblak roste do výšek kolem 5 000 až 15 000 metrů. Jeho horní část má typický tvar kovářiny. Tento tvar vzniká díky proudění ve vyšších vrstvách atmosféry. Cumulonimbus je vlastně ve své podstatě příčinou všech bouřek a ostatních jevů.



Obrázek č. 1.1 Cumulonimbus [3]

Vlivem jeho různých tvarů a stupnic intenzity srážek lze tento oblak rozdělit do různých stádií. Tyto stádia jsou popsána latinskými názvy a patří jsem například cumulonimbus mamma, cumulonimbus calvus, cumulonimbus pileus, atd.

Cumulonimbus se obecně vyvíjí z oblačnosti, která je typu cumulus congestus. Tato oblačnost se nejvíce vyskytuje v letních měsících, ve větších vedrech, či jako nástup studené fronty.[2]

### **1.3 Dělení bouřek podle místa jejich výskytu**

Rozlišujeme dva druhy bouřek a to frontální a v místní vzduchové hmotě. Pokud jde o frontální bouřky, tak ty jsou většinou vázány na letní období a to častěji ve dne nežli v noci, dále jsou zejména vázány na přechod studené fronty. Druhý druh bouřek se někdy také nazývá bouřka z tepla. Z toho tedy vyplývá že, k jejich výskytu dochází pouze v teplé části roku. Tento druh pak není vázán na přechod frontálního rozhraní.[4]

#### **1.3.1 Frontální bouřky**

- Bouřky studené fronty
- Bouřky teplé fronty

#### **1.3.2 Nefrontální – uvnitř vzduchové hmoty**

- Kvazifrontální
- Advekční
- Konvekční

### **1.4 Životní cyklus každé bouřky**

Každá bouřka je tvořena bouřkovou buňkou a to nejméně jednou. Tato buňka prochází stádiem cumulu, dále stádiem dospělosti a následně stádiem rozpadu. Díky spolupráci U.S. Army Air Force, U.S. Weather Bureau's a NASA na projektu „The Thunderstorm project“, byl objeven životní cyklus bouřky. Tento objev byl uskutečněn roku 1949 a je považován za historický milník ve výzkumu bouřek.

### **1.4.1 Stádium cumulu**

V tomto stádiu dochází k výstupu teplého a vlhkého vzduchu vzhůru. Tomuto pohybu se odborně říká konvekce, neboli proudění. Vodní páry, které se dostanou do vzduchu, se prudce ochlazují a díky tomu dochází ke vzniku drobných kapek. Tyto kapky jsou pozorovatelem ze země vnímány jako oblak cumulus mediocris. Rychlost výstupných proudů je umocněna tím, že prohřátý vlhký vzduch je mnohem lehčí než vzduch suchý, byť stejně teplý. Na tento vzduch tím pádem působí mnohem větší vztlačové síly. Dále při kondenzaci dochází k uvolňování dalšího tepla. Pod bouřkovým oblakem se také vytváří oblast nízkého tlaku vzduchu. Vzniká cumulus congestus.

### **1.4.2 Stádium dospělosti**

V horních vrstvách troposféry se rozpíná nashromážděná vodní pára a dochází k rozprostírání se do kovádliny. Tento výsledný oblak se nazývá cumulonimbus. Dochází zde ke kondenzaci vodní páry a vznikají těžké kapky a ledové částice. Tyto kapky padají dolů pod oblak a jsou pozorovatelem vnímány jako déšť. Teploty v horních vrstvách troposféry jsou velice nízké. Z toho důvodu se kapky mění v led a padají dolů jako kroupy. V tomto stádiu existují výstupné proudy. Dále pak padající déšť vytváří také sestupné proudy. Díky existenci obou těchto proudů jsou vyvolány vnitřní turbulence. Tyto turbulence jsou příčinou vzniku silného větru, blesků, ale také tornád.

### **1.4.3 Stádium rozpadu**

V tomto pořadí posledním stádiu dochází k ustávání výstupných proudů. Dále však pokračují převážně slabé sestupné pohyby. Jelikož většina vzdušné vlhkosti vypadne z oblaku v podobě srážek, nemůže již být dostatek vlhkosti v nižších vrstvách vzduchu k udržení tohoto cyklu. Buňka tím pádem zaniká.[5]

## 1.5 Jak se zachovat při bouřce?

Při dodržení určitých pravidel chování se míra ohrožení lidí během bouřky zmenšuje. I v případě, že se bouřce nedá už vyhnout, existují ochranné opatření. Díky těmto opatřením se snižuje riziko úrazu člověka při bouřce.

Předzvěstí blížící se bouřky jsou vystupující kupovitá oblačnost, zvedající se vítr, dusno, vzdálené blýskání a hřmění. Pokud se blíží bouřka, neměli by se lidé zdržovat venku. Včas by se mělo vyhledat chráněné místo.

V novějších budovách, které mají dostatečnou ochranu před bleskem, bouřky nepředstavují v zásadě žádné nebezpečí jak pro člověka tak i pro techniku. Přesto je zde několik pravidel.

- Pokud možno netelefonovat
- U drahých elektrických přístrojů vytáhnout anténové a síťové zástrčky
- Během sprchování či koupání nelze vyloučit nebezpečí
- Kovových rozvodů zavedených v domě se raději nedotýkejte

Pokud se jedná o volnou přírodu, můžete se ocitnout v nebezpečí. Ocitnete se v něm pokud je prodleva mezi bleskem a zahřměním kolem 5 vteřin a menší. V takovém to případě se řiďte následujícími radami.

- Snažte se především nebyť nejvyšším bodem okolní krajiny. Jistou ochranou může být hluboká cesta, koryto v terénu nebo pata skalního výběžku. Ovšem v těchto místech se neshlukujte do skupin.
- Rybáři, vodáci a plavci by se měli při prvních příznamech bouřky vzdálit od hladiny vody.
- V lese kde mají stromy rovnoměrnou výši se může člověk cítit relativně bezpečně.
- Lidé by se měli vyhýbat osaměle stojícím stromům a neschovávat se pod nimi. Dále by se měli vyhýbat sloupům nadzemního vedení, vyhlídkovým věžím a udržovat odstup od kovových konstrukcí
- V budovách a to buď kamenných či dřevěných, které nemají hromosvod, se uchylujte doprostřed budovy a sedněte si.
- Dále se neopírejte o zdi a zachovávejte odstup od jiných osob.

## 2 BLESK

### 2.1 Úvod

Blesk je přírodní úkaz. O tento úkaz se lidstvo od svého počátku velice zajímá. Jeho název pochází z indogermánského slova **bhlei** --- svítit. Jedná se o neoddělitelnou součást všech národů a věků. Dále pak je nedílnou součástí úkazů na letní obloze.

Co je to blesk? Blesk je vlastně silný přírodní elektrostatický výboj, který je produkován během bouřky. Tento elektrický výboj je vždy provázen emisí světla. Elektřina, která prochází kanály výboje, velmi rychle ohřívá vzduch v blízkém okolí. Takto ohřátý vzduch pak díky své expanzi vyprodukuje charakteristický zvuk --- **Hrom**.

Podívejme se na blesk s fyzikálního hlediska. Z tohoto hlediska je prakticky každý výboj, tím je myšlen i blesk, tok elektrického proudu. V přírodě vždy vše spěje k rovnováze. V tomto případě se rovnováhy dosahuje tokem z místa přebytku do místa nedostatku. Tím pádem dochází k vyrovnání (rovnováze) tlaků, hmot, nábojů, atd. Samozřejmě i elektrický proud teče z místa kde je přebytek elektronů do místa kde je elektronů nedostatek.[6]



Obrázek č. 2.1 Blesk[7]

## 2.2 Vznik blesku

### 2.2.1 Úvod

Mrak, který je nabit a polarizován nese ve své spodní části záporný náboj. Blesk vyrovnávající náboje může vzniknout buď přímo v mraku, to pozorovatel vidí jako náhlé „vzplanutí“, či mezi mrakem a zemí. V tomto druhém případě se jedná o klasický „svislý“ blesk. Dále pak mohou vznikat blesky mezi mraky, které mají různý potenciál. Jedná se o blesky „vodorovné“, které šlehají po obloze.

Mezi délkou výboje ve vzduchu a k tomu potřebným napětím existuje úměra. Rozhodujícím faktorem je velikost intenzity elektrického pole. Každý materiál má svojí mezní hodnotu  $E$  (jedná se o tzv. dielektrickou pevnost). Pokud je tato pevnost překročena dochází k výboji. Vzduch má dielektrickou pevnost asi 30kV/cm. V překladu řečeno napětí 60 kV je schopné prorazit přibližně 2 cm vzduchu. Samozřejmě nesmíme zapomenout, že dielektrická pevnost závisí na mnoha parametrech. Patří jsem například vlhkost, teplota, doba vystavení materiálu napětí, apod. Tím pádem pokud se jedná o vlhký vzduch, může dielektrická pevnost být jen 10kV/cm. Z toho vyplývá, že při stejném napětí dojde k průrazu až trojnásobné vzdálenosti.

### 2.2.2 Princip vzniku blesku

Jak je uvedeno v předchozí podkapitole, mrak ve své spodní části nese negativní náboj. Naopak kladný náboj se může nashromáždit například na zemském povrchu, stožárech, lidech, stromech či budovách. Pod mrakem dochází ke sbíhání křivolakých záblesků negativního elektrického náboje. Blesk začíná slabým a slabě viditelným výbojem z mraku k zemi jako kaskáda kličkujících dlouhých skoků. Tyto skoky jsou dlouhé 50 až 200 metrů a prodírají si cestu k zemi. Tyto výboje jsou prakticky neviditelné. Potažmo každý z výbojů trvá pouze několik miliontin vteřiny. Dále pak jsou jednotlivé skoky proloženy pauzou, přičemž pauza trvá přibližně 50 miliontin vteřiny. Pokud se negativní výboj dostane na vzdálenost kolem 50-ti metrů od kladného náboje, vyrazí od země vstřícný výboj směrem nahoru naproti sestupnému výboji. S rachotem dojde ke spojení obou výbojů. Během spojení vznikne silně ionizovaný kanál o průměru 5 až 10 cm. Tento kanál svádí proudy 20 až 200 000 ampér prostředím. Toto prostředí nazýváme plazma. Rychlost, kterou blesk letí, je 160 až 1600 km/s. Teploty, kterých dosahuje, dosahují až 30 000 °C. Tato teplota je šestkrát větší než teplota na Slunci.



### 2.2.3 Další informace o blesku a jeho typy[6]

Některé zdroje uvádějí, že zemský povrch každou hodinu zasáhne přes milion blesků. Každý z blesků nese energii, která by stačila ke svícení 100 wattové žárovky na dobu tří měsíců. Tato formulace uvádí v úžas a vypadá velmi impozantně. Ovšem blesk však nese relativně nízkou energii. A to v průměru jen několik kilowatthodin. Každý blesk během svého úderu v délce trvání jedné tisícině sekundy vyprodukuje v místě zásahu velmi vysoké napětí. Zároveň v místě zásahu protékají bleskové proudy, které jsou vyšší jak 200 000 ampér. Tyto faktory udávají, že blesk je tak nebezpečný.

Blesky jsou různé, a proto se podíváme na jejich různorodost.

- **Blesk plošný** – Elektrický výboj vzniká mezi dvěma mraky. Lze ho poznat podle rozptýleného světelného záblesku. Dochází k tzv. „vzplanutí“ celé plochy mraků nebo k ostrému vyrýsování jejich obrysů. Tento druh se liší od blesku čárového a to tím že nedojde k zahřmění. Z fyzikálního hlediska je náboj mezi mraky nedostatečný k vytvoření blesku čárového. Proto vzniká jen doutnavý výboj.
- **Blesk čárový** – Jedná se o dlouhý elektrický výboj, který vzniká buď mezi dvěma mraky a nebo mezi mrakem a zemí. Tento výboj začíná vůdčím výbojem. Ten postupuje cestou nejmenšího odporu směrem z mraku. Jakmile tento výboj dosáhne určité výšky nad zemí, dojde k setkání se vstřícným výbojem, který vzniká a postupuje ze země. V okamžiku setkání vznikne kanál, kterým následně prochází hlavní výboj. Tento blesk obvykle mívá barvu bílou. Může však nastat případ kdy má barvu červenou či modrou.
- **Blesk stuhový** – Tímto názvem bývá označován elektrický výboj u něž jsou kanály jednotlivých složek tohoto výboje posunuty větrem.
- **Blesk růžencový** – ke vzniku elektrického výboje dochází pouze ojedinele. Dochází zde k rozdělení kanálu blesku na světelné úseky. Tyto úseky připomínají kuličky na šňůrce růžence. Každá kulička v tomto úseku vybuchuje sama o sobě. Z toho vyplývá, že zvukový efekt je značný.
- **Kulový blesk** – Jedná se o zvláštní a vzácnou formu elektrického atmosférického jevu. Pokud se jedná o princip, ten nebyl dosud uspokojivě vysvětlen. Svým způsobem se podstatně liší od ostatních blesků. K jeho vzniku může dojít během bouřky, ale také i během jasného počasí.

## 2.3 Negativní blesk

Ke vzniku tohoto blesku obvykle dochází za předpokladu, že neviditelný negativně nabitý impuls z krokového kanálu je vyslán z mraku. Pokud se tento předpoklad vyplní, dojde k vyslání pozitivně nabitého krokového kanálu. Tento kanál je buď poslán z pozitivně nabitého mraku či země. Jakmile se oba kanály střetnou v určité výšce, dojde k značnému vzrůstu elektrického proudu. Oblast vysokého proudu rozšiřuje zpětně pozitivní krokový kanál do mraku. Nejjasnější část výboje tvoří zpětný impuls. Podstatná většina bleskových výbojů má obvykle dobu trvání asi čtvrtinu sekundy. Blikající efekt blesku je způsoben několika výboji, které procházejí opakovaně nahoru a dolů stejným kanálem. Tento typ blesku byl pojmenován negativní proto, že vybíjí negativní náboj z mraku a zahrnuje přes 95 % všech blesků.[8]

## 2.4 Pozitivní blesk

Tato skupina tvoří asi 5 % všech blesků. Výskyt těchto blesků je zapříčiněn tím, že se krokový vodič formuje při kladně nabitých vrcholech mraků. Dalším prvkem vzniku je poslání záporně nabitě proudnice ze země. Výsledkem je vybití kladných nábojů do země. Výzkumy ukázali, že pozitivní blesk je 6 až 10 krát silnější než negativní blesk. Dále bylo zjištěno, že tyto blesky trvají 10 krát déle a mohou udeřit klidně ve vzdálenosti několika kilometrů od mraku. Během působení tohoto typu blesku vznikají radiové vlny o extrémně nízké frekvenci. Díky svým schopnostem jsou tyto blesky mnohem nebezpečnější. K jejich výskytu spíše dochází během zimních bouří a nebo na konci bouřky.

## 2.5 Hrozící nebezpečí

Obecně si můžeme nebezpečí, které pochází od blesku rozdělit na dvě skupiny.

- Technicky podmíněná nebezpečí – jsou způsobena selháním elektrického zařízení po zásahu bleskem. Tyto zařízení pak mohou ohrozit lidský život.
- Nebezpečí pro člověka samotného.

V reálném světě může dojít i k mnoha jiným situacím než k přímému zásahu bleskem. Takové situace mohou bezprostředně ohrozit život člověka. Lidé, kteří se nachází v blízkosti zasaženého objektu bleskem, jsou často ohroženi sekundárními výboji. Sekundární výboje vznikají přeskokem. Dále také mohou lidé být poraněni během požáru, který vznikl díky blesku. Samozřejmě může dojít i k explozi či pádu stromu bezprostředně po úderu blesku. V dnešní době jsou asi nejvíce ohroženi lidé, kteří se schovávají pod korunami stromů nebo u vnějších zdí budov či vedle vysokých

dřevěných stožárů. Velké nebezpečí představuje tzv. krokové napětí. V tomto případě dochází v místě úderu k šíření elektrického proudu v zemi všemi směry paprscitě. Takovýto paprsek si pro tuto chvíli představme jako čáru, která se šíří směrem ven od místa úderu blesku. Na této čáře dochází logicky k poklesu napětí se zvětšující se vzdáleností. Z této skutečnosti vyplývá, že mezi dvěma body na této pomyslné čáře je rozdílný potenciál. Mezi těmito body vzniká samozřejmě napětí. Takže pokud má člověk roztažené nohy, může mezi nimi protékat proud. Protékající proud může být i smrtelné intenzity, z toho důvodu se tento jev nazývá krokové napětí. Pokud tedy udeří blesk tak v okruhu 20 metrů je nebezpečná zóna. Pokud se tedy při bouřce nacházíte ve volné přírodě doporučuji stát nohama těsně u sebe. Tzv. krokové napětí by mohlo být příčinou záhadných úmrtí. K takovým záhadám patří pasoucí se hospodářská zvířata. Ty mají nohy dále od sebe a z toho důvodu jim hrozí větší nebezpečí než lidem.

Mezi další člověku nebezpečná místa patří okolí konstrukcí, budov či předmětů, které jsou zasaženy bleskem. Během úderu blesku vznikají velké proudy, které mohou rozžhavit či roztavit předměty. Může nastat případ, že tyto proudy dovedou předmět k explozi nebo ho ohřejí na zápalnou teplotu. Nejvíce náchylnou skupinou jsou řídicí, sdělovací a napájecí součásti elektronických systémů. Tyto součásti ba i celé systémy jsou propojovány dosti citlivou výpočetní technikou. Pokud tedy do takových to systémů udeří blesk mohou být vážně poškozeny. Poškození některých takto důležitých systémů může vést k obrovské katastrofě.

## 2.6 Člověk po zásahu

Je známo, že lidské tělo klade odpor při průchodu elektrického proudu. Jinak řečeno tělo je vodič druhé třídy, to znamená, že vedení elektrického proudu je zprostředkováno kladnými a zápornými ionty. Tkáň pod kůží se vyznačuje nízkým odporem (desítky ohmů), zatímco kůže klade průchodu proudu větší odpor. Z toho důvodu může dojít během přímého zásahu bleskem ke klouzavému přeskoku výboje po povrchu lidského těla. Díky tomu neprochází většina proudu, vzniklého během úderu bleskem, vnitřními orgány. Nýbrž probíhá jako klouzavý elektrický oblouk po povrchu lidského těla. Díky této skutečnosti přežila spousta lidí přímý zásah bleskem.

Rozsah zranění a jeho následků záleží především na tom kde byl člověk zasažen bleskovým proudem. Samozřejmě záleží jestli proud prošel tělem či po jeho povrchu. Tam kde proud vstupuje a vychází vznikají popáleniny prvního až třetího stupně. Nastávají i takové případy ve kterých popáleniny scházejí. Pokud je oblečení osoby, která je zasažena bleskem, mokré dochází k jeho roztržení. Kovové předměty, které osoba nosí, zanechávají na kůži dosti viditelné stopy. Na místě průchodu elektrického proudu záleží poškození centrální nervové soustavy či orgánů. Svaly a nervy bývají podrážděné. V některých případech může dojít i k jejich ochrnutí. Orgány mohou být

přehřáté. Pokud je člověk po zásahu ochrnut, tak obvykle do několika dnů toto ochrnutí mizí. Ochrnutí, které je spojeno se zástavou dechu, fibrilací komor (rozkmitáním srdce) a ztrátou jeho rytmu či poškozením mozku i centrálního nervového systému je obecně nejvíce nebezpečné. Pokud při tomto není poskytnuta do 4 minut člověku pomoc dochází k úmrtí. Dále může dojít i k zlomeninám a jiným poraněním a to z důvodu selhání svalů a následného pádu.[6]

## **2.7 První pomoc**

Není pravidlem, že by blesk uhořel na stejné místo. Výboj má délku trvání ve většině případů 1 až 2 sekundy. Proto není okamžitá pomoc zasaženému nebezpečná.

Pokud má zachránce podezření na zástavu srdce, je třeba ihned zahájit oživovací pokusy. Postiženou osobu přetočíme na záda, zakloníme mu hlavu a předsuneme bradu. Poté ihned začneme s umělým dýcháním a nepřímou srdeční masáží. Samozřejmě pokud si to situace vyžaduje uvolníme postiženému dýchací cesty.

V oživování postiženého pokračujeme bez přestání i během jeho transportu až do předání lékařům. Pokud zachránce zjistí zástavu dechu a tep je hmatatelný, provádí se pouze umělé dýchání. V případě že jsou dýchání postiženého a jeho tep dostatečné může zachránce ošetřit spáleniny. V každém případě přivolá zachránce lékařskou pomoc.

## **2.8 Ochrana před bleskem**

Zařízení, které je určeno k ochraně budov či jiných objektů před úderem blesku se nazývá „hromosvod“. Vynálezem této ochrany byl Benjamin Franklin (1706 – 1790). Tento pán roku 1750 zkonstruoval první hromosvod své doby. Princip ochrany byl a je platný dodnes. Jednoduše řečeno jímače jsou určeny pro zachycení blesku. Dále pak svody slouží ke svedení blesku směrem k zemi. Uzemnění je poslední v řadě a slouží k rozptýlení bleskového proudu do země.

## 3 DETEKCE BLESKŮ V EVROPĚ

### 3.1 CELDN

Jedná se o středoevropskou síť pro detekci a lokalizaci bleskových výbojů ([CELDN](#)). Tato organizace vznikla v roce 2002. Podmětem ke vzniku byla vysoká poptávka meteorologických služeb a univerzit z východní Evropy na bleskový detekční systém. Firmy Global Atmospheric a Siemens AG již v roce 1999 nainstalovali na území několika států blesková detekční čidla. Mezi tyto státy patřilo Polsko, Maďarsko, Česká a Slovenská republika. Účelem této instalace bylo zlepšení pokrytí těchto států. Díky sloučení s detekčními systémy [BLIDS](#) v Německu a [ALDIS](#) v Rakousku se dospělo k pokrytí regionu střední Evropy. Tento krok umožnil vznik středoevropského systému CELDN, který je součástí celoevropského sdružení EUCLID (European Cooperation for Lightning Detection).[10]

V současné době systém CELDN obsahuje přibližně 20 detekčních senzorů. Tyto detekční senzory jsou rozmístěny na území výše zmíněných států. Jedná se o čidla LPATS III, LPATS IV a IMPACT firmy GAI. Jednotlivé čidlo je schopno identifikovat v reálném čase výboj typu.:

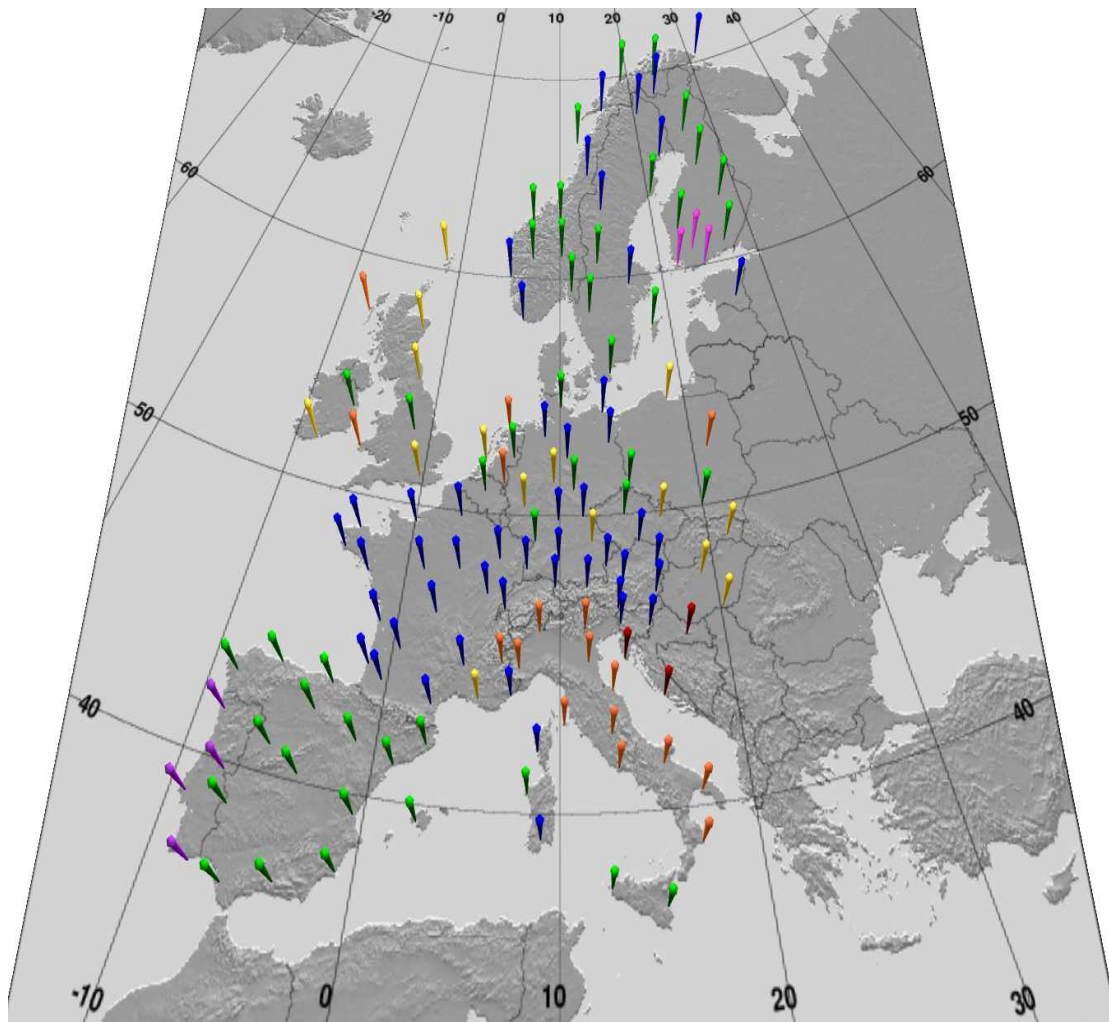
- Mrak – mrak (CC)
- Mrak – země (CG)

Centrální zpracování získaných dat je soustředěno do Německého města Karlsruhe. Na základě získaných dat ze senzorů se zde v reálném čase vypočte poloha, špičková hodnota proudu ve výboji ( v kA), typ, čas, popřípadě i polarita bleskového výboje. Takto získané údaje se ihned zasílají zákazníkům pomocí internetového připojení. Pro Českou republiku jsou tyto data zasílána na Český Hydrometeorologický úřad.[11]

### 3.2 EUCLID

Jedná se o evropskou organizaci pro spolupráci detekce blesků ([EUCLID](#)). Jinak řečeno jedná se o spolupráci Evropských zemí. Cílem této spolupráce je detekce a identifikace blesků v celé Evropě. Mezi státy, které takto spolupracují patří Německo, Rakousko, Maďarsko, Česká republika, Slovinsko, Holandsko, Belgie, Lucembursko, Itálie, Slovensko, Norsko, Finsko, Dánsko, Polsko, Švédsko a Francie. Celou detekční síť tvoří 118 senzorů.

Jednotlivá čidla jsou rozmístěna od Golského zálivu až po Varšavu v Polsku, dále pak od Sicílie až po severní část Norska. Jednotlivé sítě členských států na detekci blesků si zachovávají svoji národní nezávislost.



**Obrázek č. 3.1** Rozmístění detektorů blesků v Evropě [12]

### 3.3 Vysvětlení principu detekce blesků

Základní princip spočívá v rozmístění jistého počtu detekčních čidel na příslušném území. Během bleskového výboje dochází k vyzařování elektromagnetického záření. Toto záření jsou rozmístěná čidla schopna zachytit. Poté čidlo určí směr, kde došlo k výboji, nebo dobu zachycení signálu synchronizovanou pomocí GPS. Existují i čidla které jsou schopny kombinovat tyto dvě metody. Získané informace jsou zaslány v reálném čase do centrálního počítače. Tam dochází k vyhodnocení a určení zda se jedná o blesk a kde došlo k jeho výskytu. Dále je centrální počítač schopen určit zda se jedná o blesk typu CC (mrak – mrak) nebo CG (mrak – země), či polaritu a velikost elektrického proudu ve výboji.[11]

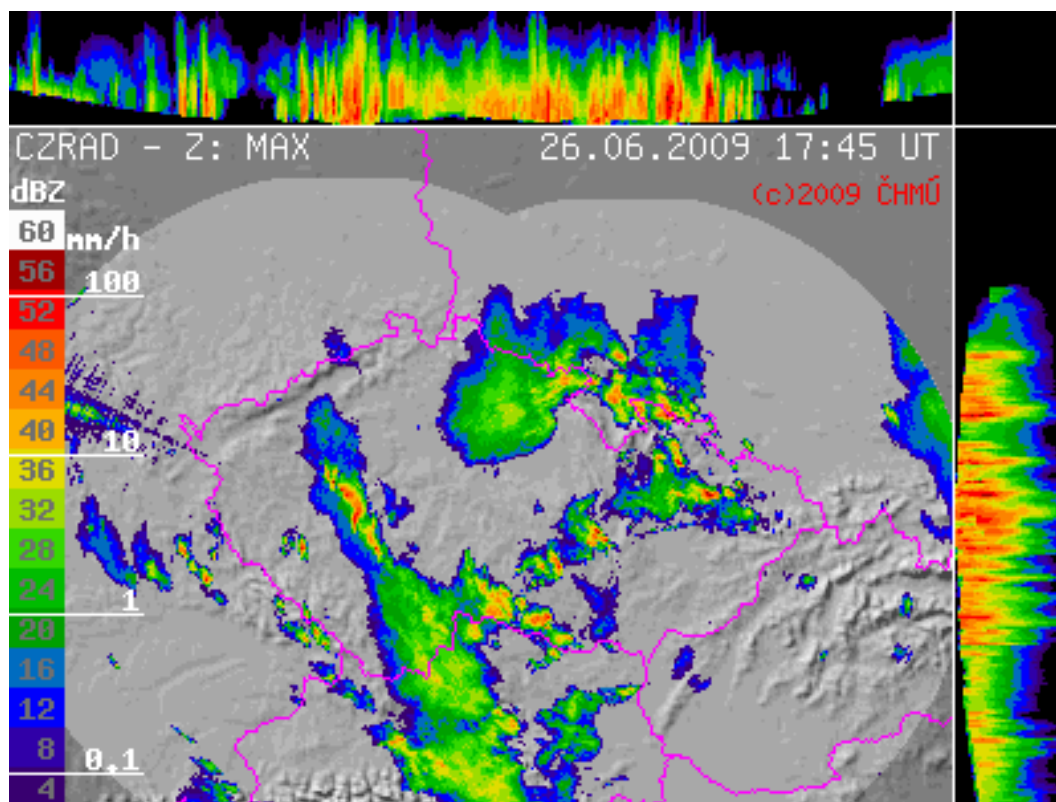


Obrázek č. 3.2 Čidlo pro detekci blesků IMPACT ESP[13]

### 3.4 Zobrazení a ukázka dat

Údaje o okamžité bleskové aktivitě jsou velmi užitečné. S těmito údaji se nepracuje jen v meteorologii, ale i v lesnictví, hydrologii, telekomunikacích, energetice, pojišťovnictví, letectví a dalších jiných oborech. Každý obrázek zachycuje blesky za posledních 90 minut. Nejtmavější barvu mají ty blesky, které jsou časově nejstarší. Naopak nejsvětlejší barvu mají blesky nejnovější. Dále pak lze podle tvaru značky určit typ výboje CG nebo CC.

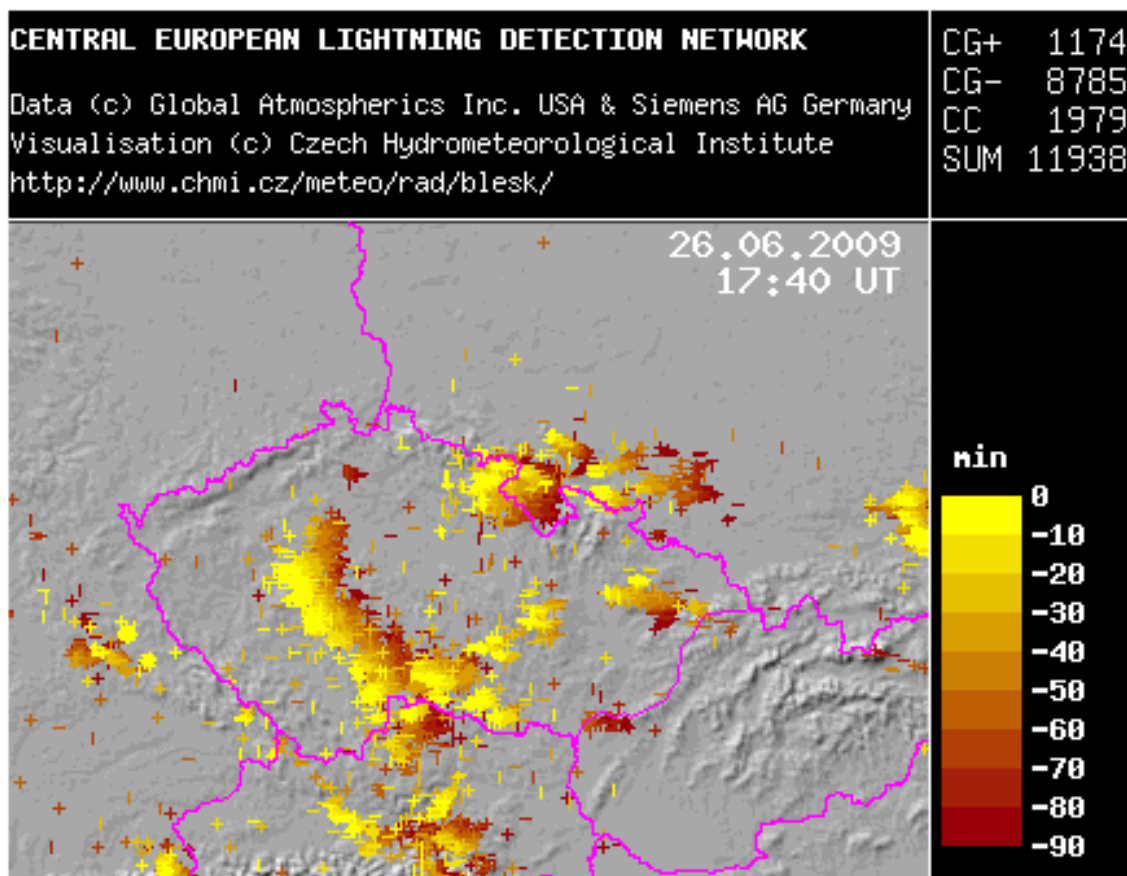
Pro účely této práce se podařilo získat data z amatérské meteorologické stanice [Velké Svatoňovice](#). Na níže uvedeném obrázku je radarový snímek z 26. června roku 2009. Snímek byl pořízen v 17:45 SELČ.



Obrázek č. 3.3 Radarový snímek z 26.června 2009[14]



Další obrázek ukazuje konkrétní hodnoty detekce blesků během bouřky z 26. června 2009 19:40 SELČ.



Obrázek č. 3.4 Detekce blesků 26.června 2009[14]

### 3.4.1 Legenda pro obrázek č. 4.4

- SUM ... celkový počet blesků na obrázku
- CG+ ... výboj typu MRAK – ZEMĚ s kladnou polaritou
- CG- ... výboj typu MRAK – ZEMĚ se zápornou polaritou
- CC ... výboj typu MRAK – MRAK
- Barevná stupnice – číslo uvedené vedle barvy udává stáří blesku v minutách od času udaného v záhlaví obrázku.

Z výše uvedeného obrázku a jeho legendy tedy vyplývá , že během zmíněné bouřky bylo zaznamenáno 1174 výbojů typu mrak – země s kladnou polaritou, dále 8785 výbojů typu mrak – země se zápornou polaritou a 1979 výbojů typu mrak – mrak. Celkem tedy bylo během této bouře zaznamenáno 11938 výbojů různých druhů a polarit.

## 4 VLASTNÍ NÁVRH INDIKÁTORU BLESKŮ

### 4.1 Základní informace a předpoklady

Podstata celého problému je následující. Během úderu blesku vzniká mimo zvukového a světelného efektu také elektromagnetické vlnění. Toto vlnění má své určité spektrum. Z tohoto spektra tedy bude indikátor přijímat jen určitou část. Tato část bude ležet v oblasti kmitočtů, kde se nebudou nacházet jiné zdroje elektromagnetického vlnění, které by příjem rušily. Tento indikátor tedy bude fungovat na principu zachycení předem zvoleného kmitočtu v určitém spektru.

Jednoduše řečeno bude indikátor představovat přijímač, který bude naladěn na určitý kmitočet. Celý indikátor rozdělme z konstrukčního hlediska do několika částí, které budeme postupně procházet až dojdeme k cílovému návrhu, který bude spočívat v počítání jednotlivých úderů blesků.

### 4.2 Příjem signálu

V této části bude muset být vyřešeno na který kmitočet bude indikátor blesků nastaven. Při hledání toho správného kmitočtu nesmíme zapomenout na fakt, že může docházet k rušení jinými vysílacími stanicemi v blízkém okolí. Z toho důvodu bylo nutné v první řadě zjistit rozdělení kmitočtového spektra pro danou oblast.

Celosvětově jsou kmitočtová pásma rozdělena do několika skupin. To proto aby se různé služby či systémy navzájem nerušily. Rozdělení kmitočtového spektra pro Českou republiku má na starosti Český telekomunikační úřad. V tomto případě jsme museli tedy vybrat takovou část spektra ve které nebude docházet k rušení jinými stanicemi. Po zkoumání určitých kmitočtových spekter jsem došel k závěru, že pro indikátor bude vyhovovat spektrum od 280 do 315 kHz. Indikátor bych chtěl navrhnout tedy na kmitočet kolem 280 kHz.[9]

Kmitočet [kHz]	Služby
280	Námořní radionavigační
290	
300	
310	
315	

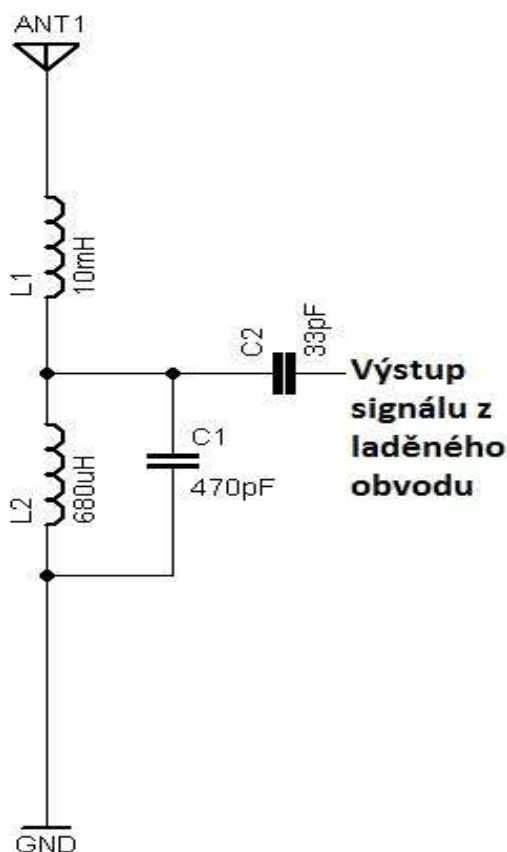
Obrázek č. 4.1 Část kmitočtového spektra

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že výše zvolený kmitočet se nachází ve skupině kmitočtů, která je rezervována pro Námořní radionavigační služby. Jelikož se nacházíme v místě kde není námořní aktivita lze předpokládat, že rušení našeho indikátoru bude zanedbatelné.

Ovšem po hlubším zkoumání jsem narazil na vysílač Topolná, který je umístěn nedaleko Zlína. Tento vysílač vysílá na frekvenci 270 kHz. V případě, že by docházelo k nějakému rušení tímto vysílačem bylo by vhodné posunout zvolený kmitočet ještě výše.

### 4.2.1 Laděný obvod s anténou

Jak víme tak každou elektrickou bouři předchází výrazné statické výboje a poruchy na spodních pásmech. Tento laděný obvod s anténou bude tyto poruchy zachycovat na zvoleném kmitočtu přibližně 280kHz. V podstatě lze prohlásit že laděný obvod s anténou bude pevně naladěný na určitý kmitočet. Statické poruchy, které souvisejí s bleskem jsou na výše zvoleném kmitočtu dosti výrazné a jak je uvedeno dříve bude rušení jinými službami malé.



Obrázek č. 4.2 Schéma laděného obvodu s anténou

Cívka L1, která je umístěna v sérii s anténou plní pomocnou funkci. Jedná se o tzv. indukční vazbu. Tato vazba pomáhá na ladění krátké antény na mnohem větší vlnovou délku. Cívka L2 a kondenzátor C1 spolu tvoří rezonanční laděný obvod. S pomocí těchto dvou součástek lze nastavit kmitočet na kterém bude docházet k zachytávání poruch při úderu blesku. Kondenzátor C2 slouží jako vazba na další část obvodu. Jeho hodnota je volena 33 pF.

#### 4.2.1.1 Výpočet kmitočtu rezonančního laděného obvodu

Kmitočet na který bude laděný obvod naladěn se dá určit s pomocí Thomsonova vztahu:

$$f = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} \quad (12)$$

Pro docílení správné hodnoty zvoleného kmitočtu  $f=280$  kHz musíme postupovat následovně. Nejprve zvolíme hodnotu Cívky L2:

Hodnotu L2 tedy volíme:  $L2 = 680 \mu H$

Ze vztahu (12) lze poté dopočítat hodnotu kondenzátoru následovně:

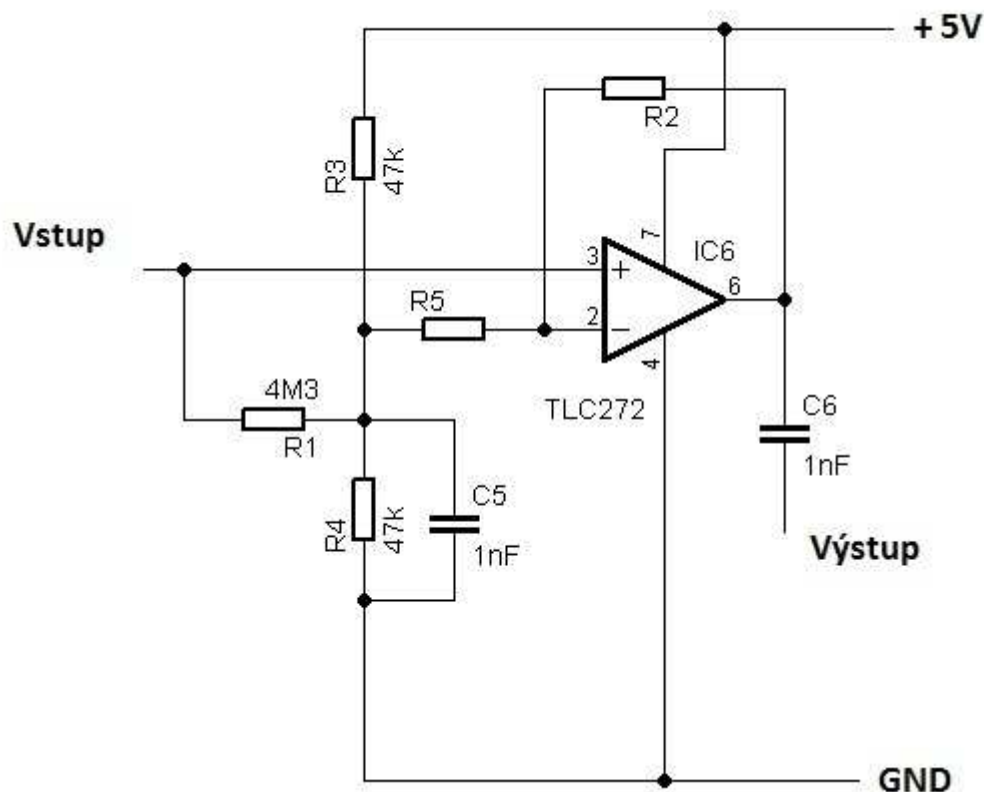
$$C = \frac{1}{4 * \pi^2 * L * f^2} = \frac{1}{4 * \pi^2 * 680 * 10^{-6} * 280 * 10^3} = 4,751 * 10^{-10} = 475 pF \quad (13)$$

Bohužel kondenzátor s kapacitou 475 pF není v řadě. Z toho důvodu je zvolena nejbližší hodnota a to 470 pF. Po dosazení zvoleného kondenzátoru do vztahu (12) vychází kmitočet následovně:

$$f = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{680 * 10^{-6} * 470 * 10^{-12}}} = 281524,8 Hz = 281,5 kHz$$

### 4.3 Zesílení signálu z přijímače

Signál, který přijde z přijímače je nutno ještě před výsledným zpracováním zesílit. V tomto případě je zesílení provedeno pomocí neinvertujícího zapojení operačního zesilovače TLC272. Operační zesilovač TLC272 byl zvolen na základě jeho parametrů a vhodnosti pro navrhovaný obvod. Mezi hlavní požadavky na tento operační zesilovač patřily vstupní odpor, horní mezní kmitočet a napájecí napětí. Všechny zmíněné parametry lze vyčíst z katalogového listu. [18]



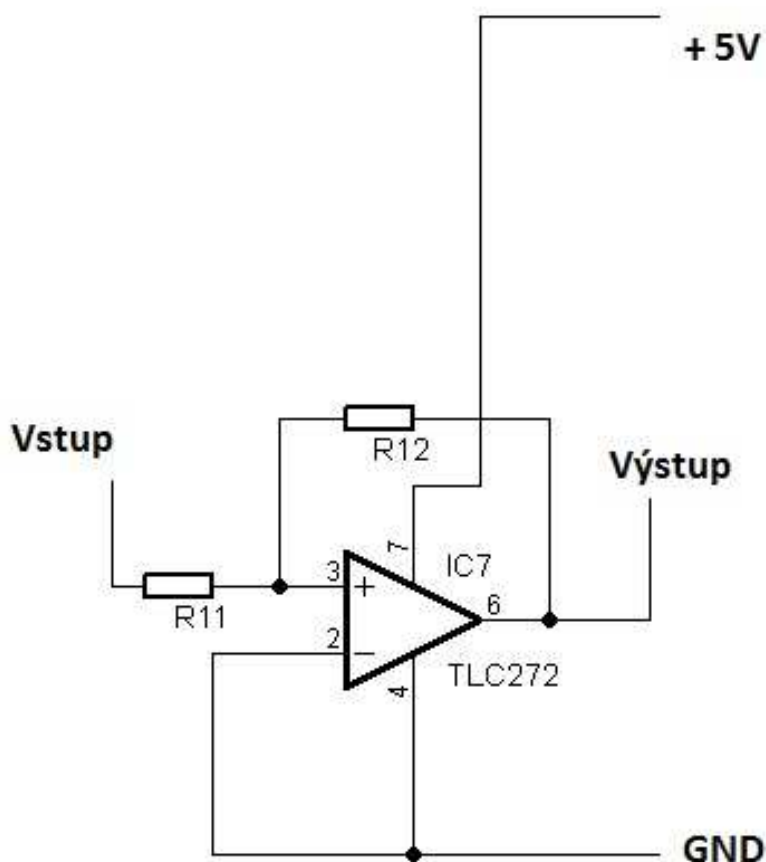
Obrázek č. 4.3 Schéma zapojení operačního zesilovače v obvodu

Rezistor R1, který má hodnotu  $4,3\text{M}\Omega$  je do obvodu zapojen z důvodu zvýšení impedance na vstupu operačního zesilovače TLC272. Kombinace rezistorů R2 a R5 slouží pro nastavení výsledného zesílení operačního zesilovače. Hodnoty těchto dvou rezistorů se musí zjistit experimentálně. Jelikož se jedná o teoretický návrh není možné zjistit hodnotu napětí na vstupu a díky tomu nelze určit hodnotu zesílení.

Neinvertující zesilovač zesiluje (násobí konstantou vždy větší než 1). Oproti invertujícímu zesilovači, který má vstupní impedanci danou velikostí odporu  $R_1$ , se u tohoto zapojení vstupní impedance blíží nekonečnu a nezávisí na hodnotách odporů  $R_1$  a  $R_2$ . Výstupní napětí se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$U_{vyst} = U_{vst} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (14)$$

Signál, který je zesílen bohužel obsahuje šum. Tento šum je nežádoucím účinkem pro správnou funkčnost obvodu. Z toho důvodu je za operačním zesilovačem zapojen ještě komparátor s hysterezí.



**Obrázek č. 4.4 Schéma zapojení komparátoru s hysterezí v obvodu**

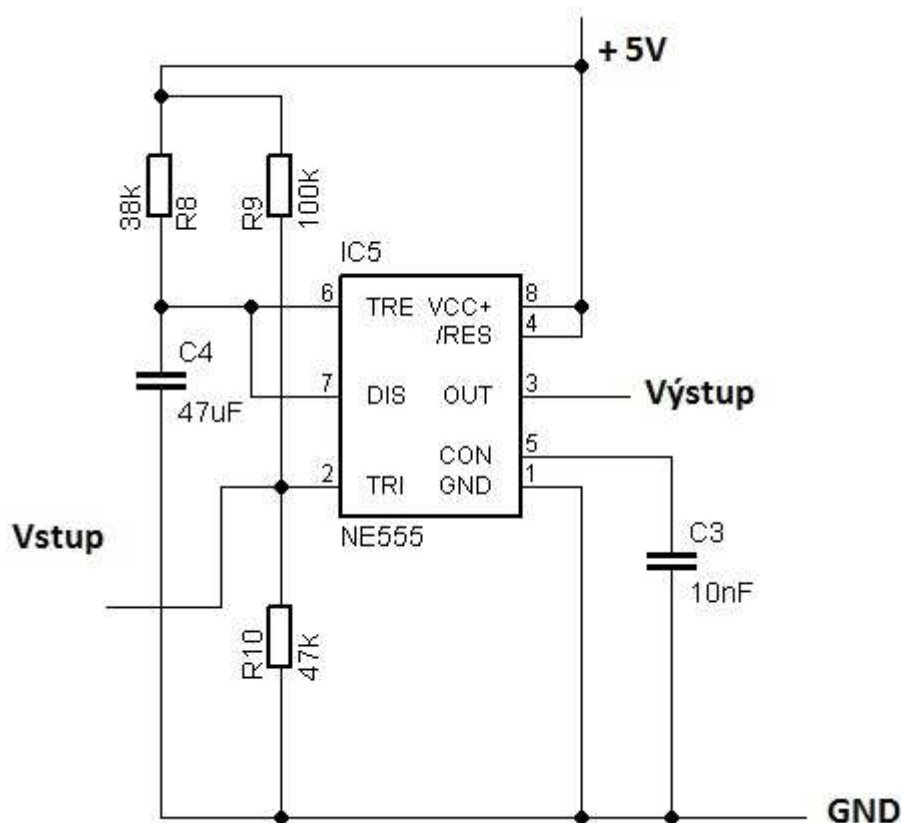
Komparátor slouží k porovnávání napětí na pinu 3 se srovnávacím napětím na pinu 2. Výstup komparátoru je dvoustavový a to buď kladné saturační napětí nebo záporné saturační napětí. Operační zesilovač v tomto zapojení nemá zápornou zpětnou vazbu. Jeho velké zesílení tedy při nepatrném rozdílu napětí mezi vstupy vrhne výstup do limitace. Jelikož je komparátor používán v pulsním režimu je třeba aby zvolený

operační zesilovač měl velkou rychlost přeběhu. Jelikož se jedná o teoretický návrh nelze přesně určit hodnoty odporů R11 a R12. Pro výpočet výstupního napětí v tomto případě lze použít následující vztah:

$$U_P = U_S * \frac{R_1}{R_2} \quad (15)$$

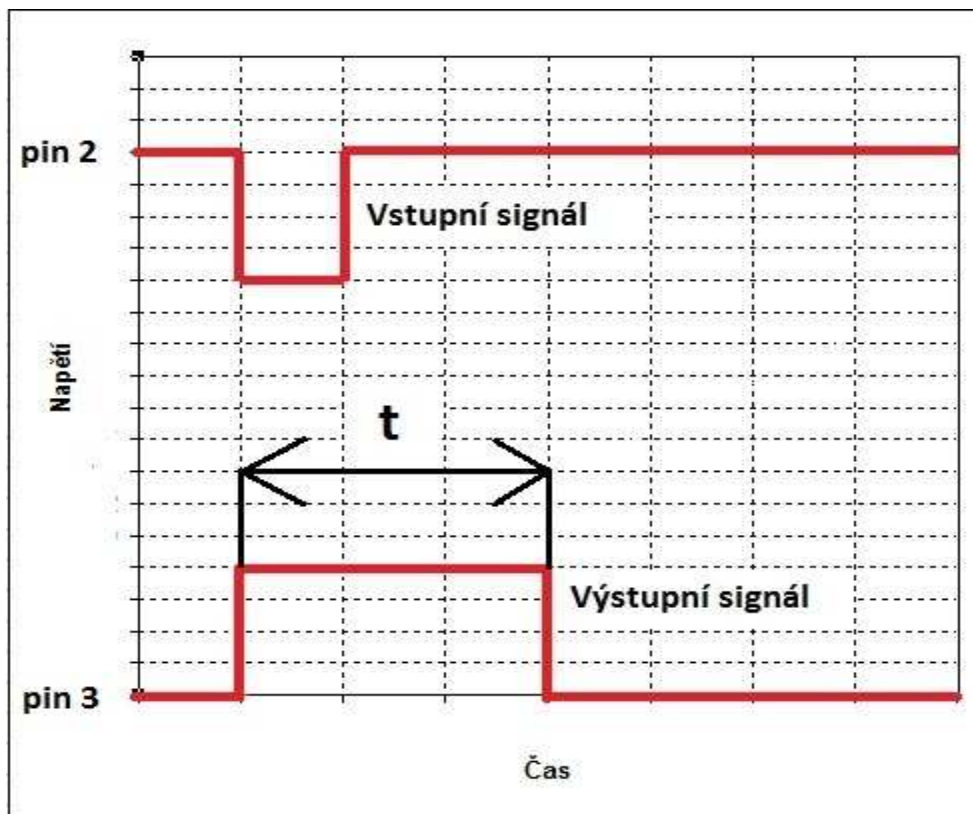
## 4.4 Úprava signálu

Úpravou signálu je rozdělení signálu do jednotlivých impulsů pomocí monostabilního klopného obvodu (dále jen MKO). Důvod takovéto úpravy bude vysvětlen později. K vytvoření MKO bude použit časovač NE555 (zkoušen byl i časovač TS555).



**Obrázek č. 4.5 Schéma zapojení časovače NE555 v obvodu jako MKO**

MKO má jeden stabilní a jeden nestabilní stav. Jakmile přijde na pin číslo 2 sestupná hrana vstupního impulsu dojde k překlopení do nestabilního stavu. V tomto stavu obvod přetrvá předem určenou dobu. Po uplynutí této doby se obvod opět vrací do svého stabilního stavu. Spouštěcí impuls je vždy kratší, než výstupní impuls.



**Obrázek č. 4.6 Průběh napětí na vstupu a výstupu MKO**

Doba „ t “ po kterou zůstane monostabilní klopný obvod v nestabilním stavu se vypočítá podle vztahu.:

$$t = 1,1 * R * C \quad (16)$$

Pro tento obvod byli zvoleny hodnoty rezistoru R8 a kondenzátoru C4 následovně:

$$R_8 = 38k\Omega$$

$$C_4 = 47\mu F$$

Hodnoty těchto dvou součástek se mohou změnit podle potřeby. Zde je jen uvedena ukážka. Po dosazení do rovnice (16) dostáváme:

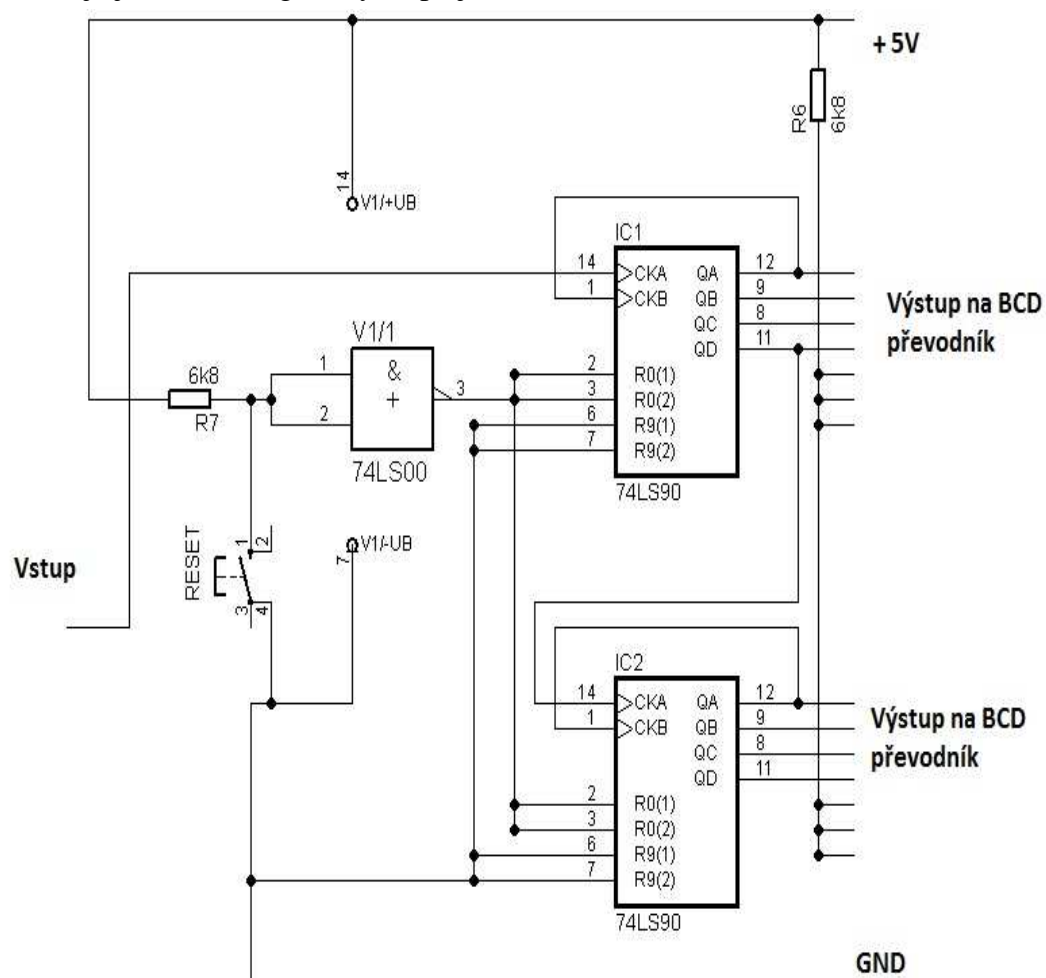
$$t = 1,1 * R * C = 1,1 * 38 * 10^3 * 47 * 10^{-6} = 1,9646s \cong 2s$$

Doba „t“ po kterou zůstane monostabilní klopný obvod v tomto případě v nestabilním stavu se přibližně rovná dvěma sekundám.



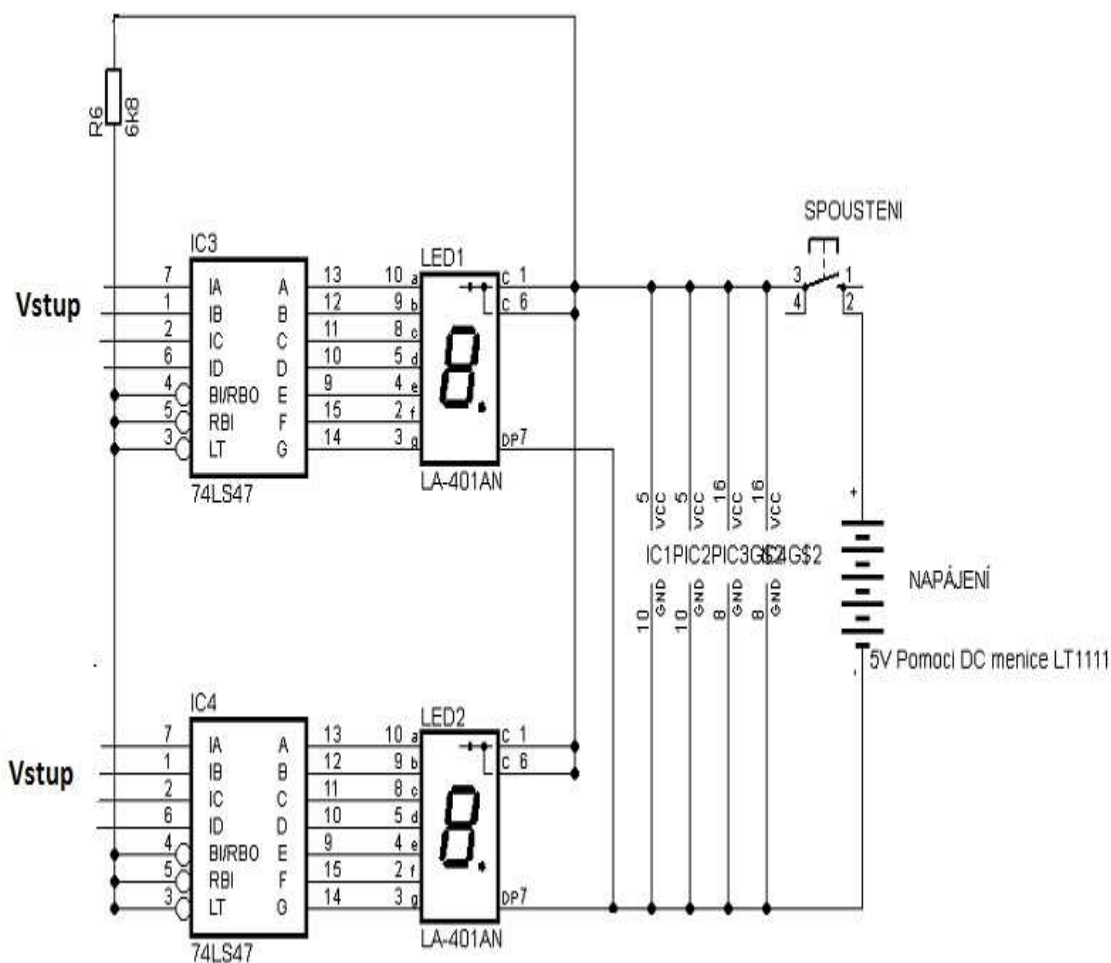
## 4.5 Vyhodnocení signálu

Vyhodnocením signálu je myšleno zobrazení počtu impulsů (zobrazení počtu blesků), které indikátor napočítal během bouřky. Při vyhodnocení je signál přiváděn z monostabilního klopného obvodu na vstup čítače 74LS90. Tento čítač poté posílá signál dále v BCD kódu do převodníku 74LS47. Převodník posléze po převodu z BCD kódu rozsvěcuje jednotlivé segmenty displeje.



Obrázek č. 4.7 Schéma zapojení přední části čítače

Signál z monostabilního klopného obvodu je přiváděn na vstup čítače 74LS90 konkrétně na pin číslo 14. Tlačítko RESET v tomto zapojení funguje jako vynulování čítače. Po stisku tohoto tlačítka čítač počítá od nuly. Pro účely tohoto obvodu byl zvolen dvoustupňový čítač. Čítač je schopen počítat do 99. Ovšem je možné připojit další stupně a teoreticky je čítač schopen počítat do „nekonečna“.



**Obrázek č. 4.8 Schéma zapojení zadní části čítače**

Vraťme se nyní k vysvětlení úpravy signálu pomocí MKO. Pokud by nebyl v našem případě použit MKO a byl by čítač 74LS90 připojen přímo na komparátor, docházelo by na vstupu tohoto čítače k chvění napětí. To znamená, že by se na vstupu tohoto čítače objevilo hned několik impulsů najednou. Čítač by všechny tyto impulsy spočítal. Díky tomu by došlo k znehodnocení přesného počtu impulsů. Proto je před čítač zapojen MKO aby nedocházelo k posílání jednotlivých impulsů na vstup čítače.

Na výše uvedeném obrázku je vidět připojení napájecího napětí. Celý indikátor je spouštěn tlačítkem Spouštění. Napájení je pomocí DC/DC měniče LT1111, jehož funkce bude vysvětlena později v textu. Kompletní schéma zapojení je uvedeno v příloze č.2 na konci této práce.

## 4.6 Napájení

Vlastní indikátor bouřky (blesků) bude využívat bateriového zdroje. Pokud se podíváme na tuto možnost z energetického a finančního hlediska jeví se jako výhodné použití dvou akumulátorů typu AA značky Sanyo.



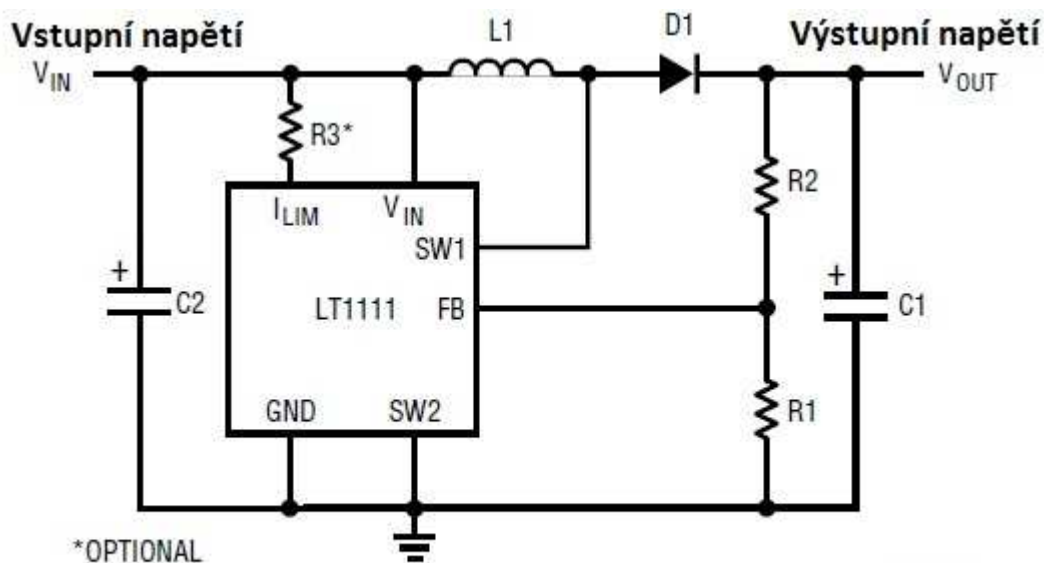
Obrázek č. 4.9 Nabíjecí AA baterie značky Sanyo[15]

Pokud porovnáme tuto baterii s ostatními běžně dostupnými NiMH bateriemi pak tyto baterie disponují neobvyklými vlastnostmi. U těchto baterií je dosaženo nízkého samovybití a i po delší době skladování lze stále využít více jak 70 % z jejich plné kapacity. Z tohoto důvodu lze tyto baterie použít pro přerušované použití. Další výhodou je přínos pro životní prostředí vzhledem k jejich dlouhé životnosti a recyklovatelnosti. Tyto baterie jenž jsou prodávány v nabitém stavu lze po jejich vybití dobít. Jak uvádí výrobce baterie jsou schopné vydržet až 1000 nabití. Hodnota svorkového napětí se pohybuje kolem 1,2 V. Akumulátor můžeme považovat za vybitý pokud jeho napětí klesne na hodnotu 1,10 V. Jak je uvedeno na začátku budeme uvažovat dva akumulátory, které budou zapojeny sériově. Z toho vyplývá, že budeme pracovat s napětím v rozmezí 2,2 až 2,4 V.

## 4.7 Měnič DC/DC napětí

Pro správnou funkčnost indikátoru bouřky (blesků) je potřeba aby napájecí napětí bylo 5 V. Z toho důvodu je připojen k bateriovému zdroji měnič LT1111. Tento měnič umožní zvýšení napětí baterií na hodnotu 5V. Velkou výhodou tohoto měniče je jeho vlastní nízká spotřeba.

Princip tohoto měniče je následující. Vše spočívá v rychlém přepínání cívky z důvodu získání vyššího napětí. Jakmile dojde k sepnutí vnitřního spínače tohoto obvodu začne cívku L1 protékat proud. Dále dochází k ukládání energie v jejím magnetickém poli. Tato energie se následně při rozepnutí spínače přenesse na výstupní kapacitu C1. Aby tedy měnič plnil správnou funkci je zapotřebí určit vhodné hodnoty indukčnosti, stejnosměrného odporu cívky a saturačního proudu.



Obrázek č. 4.10 Zapojení zdroje pomocí měniče LT1111

#### 4.7.1 Výpočet indukčnosti cívky L1[17]

Pokud se jedná o hodnotu této indukčnosti lze ji vybrat z doporučených hodnot uvedených v katalogovém listu obvodu LT1111 [16]. Optimální velikost této indukčnosti je nutné experimentálně ověřit při dodržení stanovených podmínek. Obecně vzato by indukčnost měla být tak nízká, aby cívka pojala potřebné množství energie při minimálních hodnotách vstupního napětí a doby sepnutí. Zároveň by však měla být dostatečně velká, aby nedošlo k nasycení cívky, pokud by vstupní napětí a doba sepnutí dosahovaly svých maximálních hodnot.

Potřebný výkon cívky je dán součinem rozdílového napětí na cívce a maximálního proudu  $I_{out}$ , který bude ze zdroje odebírán:

$$P_L = (U_{out} + U_D - U_{in(min)}) * I_{out} = (5 + 0,5 - 2,2) * 0,0500 = 0,165W = 165mW, \quad (1)$$

Kde  $U_{out}$  je požadované výstupní napětí,  $U_D$  dopředné napětí na schottkyho diodě a  $U_{in(min)}$  minimální využitelné napětí baterie.

K akumulaci energie v cívce dochází jen při sepnutém obvodu LT1111. Dále musí být splněna podmínka, že energie uskladněná v cívce při každém sepnutí musí být rovna nebo větší jak hodnota podílu výkonu cívky  $P_L$  a frekvence spínání  $f_{osc}$ .

$$E_L \geq \frac{P_L}{f_{osc}}$$

$$\frac{P_L}{f_{osc}} = \frac{165mW}{72kHz} = 2,29 * 10^{-6} = 2,3\mu J \quad (2)$$

$$E_L \geq 2,3\mu J$$

Z rovnice vyplývá, že hodnota energie cívky by měla být nejméně 2,3  $\mu$ J. Při sepnutí vnitřního obvodu měniče začne cívku protékat proud  $I_L$ , měnící se v čase podle rovnice (3):

$$I_L(t) = \frac{U_{in}}{R} * (1 - e^{-\frac{R*t}{L}}), \quad (3)$$

Kde  $U_{in}$  je napětí na vstupu posilujícího obvodu,  $R$  součet ekvivalentního odporu spínače (typicky 0,8  $\Omega$  při 25°C) a stejnosměrného odporu cívky (0,2 $\Omega$ ).

Jestliže doba sepnutí měniče obvykle trvá 7  $\mu$ s, lze pro specifickou indukčnost a vstupní napětí definovat špičkovou hodnotu proudu cívku  $I_{L(peak)}$ . Podle katalogového listu byla cívka vhodně určena jako 47  $\mu$ H:

$$I_{L(peak)}(t) = \frac{U_{in}}{R} * \left(1 - e^{-\frac{R*t}{L}}\right) = \frac{2,5}{0,8 + 0,2} * \left(1 - e^{-\frac{(0,8+0,2)*7*10^{-6}}{47*10^{-6}}}\right) = 0,3459A = 346mA \quad (4)$$

Pomocí výše vypočtené hodnoty  $I_{L(peak)}$  je pak možné vypočítat energii cívky na konci spínací fáze:

$$E_L = \frac{1}{2} * L * (I_{L(peak)})^2 = \frac{1}{2} * 47 * 10^{-6} * 0,346^2 = 2,81 * 10^{-6} J = 2,81\mu J \quad (5)$$

Jelikož je 2,81 $\mu$ J > 2,3 $\mu$ J, je tudíž splněna podmínka rovnice (2). Měnič tedy bude schopen dodat potřebnou energii. Aby byla zaručena nejlepší účinnost neměla by hodnota  $I_{L(peak)}$  překročit 1A. Tato podmínka byla dodržena a zvolenou indukčnost 47  $\mu$ H lze považovat za optimální. [17]

## 4.7.2 Kondenzátory C1 a C2

Výběr kondenzátorů je důležitý jako výběr správné cívky. Zvolením špatného kondenzátoru může dojít ke snížení účinnosti nebo dokonce i výstupnímu zvlnění. Výrobce doporučuje použít u měniče LT1111 tantalový elektrolytický kondenzátor. Tyto kondenzátory by měli mít extrémně nízkou hodnotu ekvivalentního sériového odporu ESR. Kapacita těchto kondenzátorů je podle katalogového listu zvolena 10  $\mu$ F.

### 4.7.3 Dioda D1

Pokud chceme určit tuto diodu je třeba brát v úvahu rychlost spínání. Dále pak úbytek napětí v propustném směru a v neposlední řadě i zbytkový proud v závěrném směru. Jakmile dojde k vypnutí měniče musí zvolená dioda ihned sepnout. Z toho důvodu je použití některé běžné univerzální diody nevhodné pro tento případ. Lepší variantou je zvolení shottkyho diody. Tato dioda má při sepnutí mnohem nižší napětí  $U_{AK}$  a dále se vyznačuje rychlým spínáním. Z hlediska námi požadovaných parametrů byla vybrána dioda 1N5818.

### 4.7.4 Výpočet odporů R1 a R2[17]

Kolektor vnitřního spínače je připojen k výstupní části cívky a editor k zemi. Jakmile dojde k sepnutí, vývod měniče LT1111 s názvem SW1 je připojen k zemi. Tato skutečnost vyvolá na cívce napětí velikosti rozdílu vstupního napětí a dále napětí mezi editorem a kolektorem bude při saturaci  $U_{in} - U_{ke(sat)}$ , a cívkou L1 začne protékat proud. Tento proud dosáhne hodnoty:

$$I_{L(peak)} = \frac{U_{in} - U_{ke(sat)}}{L} * t = \frac{2,5 - 0,4}{47 * 10^{-6}} * 7 * 10^{-6} = 0,312A = 312mA \quad (6)$$

V okamžiku kdy dojde k vypnutí spínače zaniká magnetické pole. Tím se změní polarita cívky a proud bude protékat jen diodou D1 do kondenzátoru C1. Výstupní napětí z cívky L1 bude posíleno oproti napětí vstupnímu. Zároveň bude přiváděno napětí do měniče přes odporový dělič R1,R2. V případě poklesu napětí na vývodu FB ( $U_{FB}$ ) pod referenční hodnotu 1,25V, dojde k sepnutí spínače SW1. Tím pádem se celý cyklus opakuje. Výstupní napětí  $U_{out}$  lze tedy vypočítat následovně:

$$U_{out} = U_{FB} * \left(1 + \frac{R2}{R1}\right), \quad (7)$$

Z této rovnice vyjádříme poměr odporů R1 a R2 následujícím způsobem:

$$5 = 1,25 * \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \\ \frac{R2}{R1} = 3 \quad (8)$$

$$R = R1 + R2 \quad (9)$$

Dalším pravidlem, které by mělo být dodrženo je, že proud  $I_R$  tekoucí napětřovým děličem je alespoň 10krát větší než odebíraný proud z děliče  $I_{FB}$ . To proto aby se stal

dělič dostatečně tvrdým zdrojem pro zpětnovazební vstup. Proud  $I_R$ , který teče děličem volíme tedy 150krát větší než je proud  $I_{FB}=70\text{nA}$ .

$$I_R = 150 * I_{FB} = 150 * 70 * 10^{-9} = 1,05 * 10^{-5} \text{ A} = 10,5 \mu\text{A} \quad (10)$$

Odpor děliče lze zjistit jednoduše s použitím Ohmova zákona:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{5}{10,5 * 10^{-6}} = 476190,4762 \Omega = 476 \text{k}\Omega \quad (11)$$

Z výše uvedených rovnic (8), (9), (11) můžeme jednoduše zjistit hodnoty odporů  $R_1$  a  $R_2$ :

$$\frac{R_2}{R_1} = 3$$

$$R_1 + R_2 = 476 * 10^3$$

Úpravou těchto rovnic získáme hodnoty odporů:

$$R_1 = 119 \text{k}\Omega$$

$$R_2 = 357 \text{k}\Omega$$

Správnou hodnotu odporů můžeme ověřit výpočtem výstupního napětí s pomocí vzorce (7):

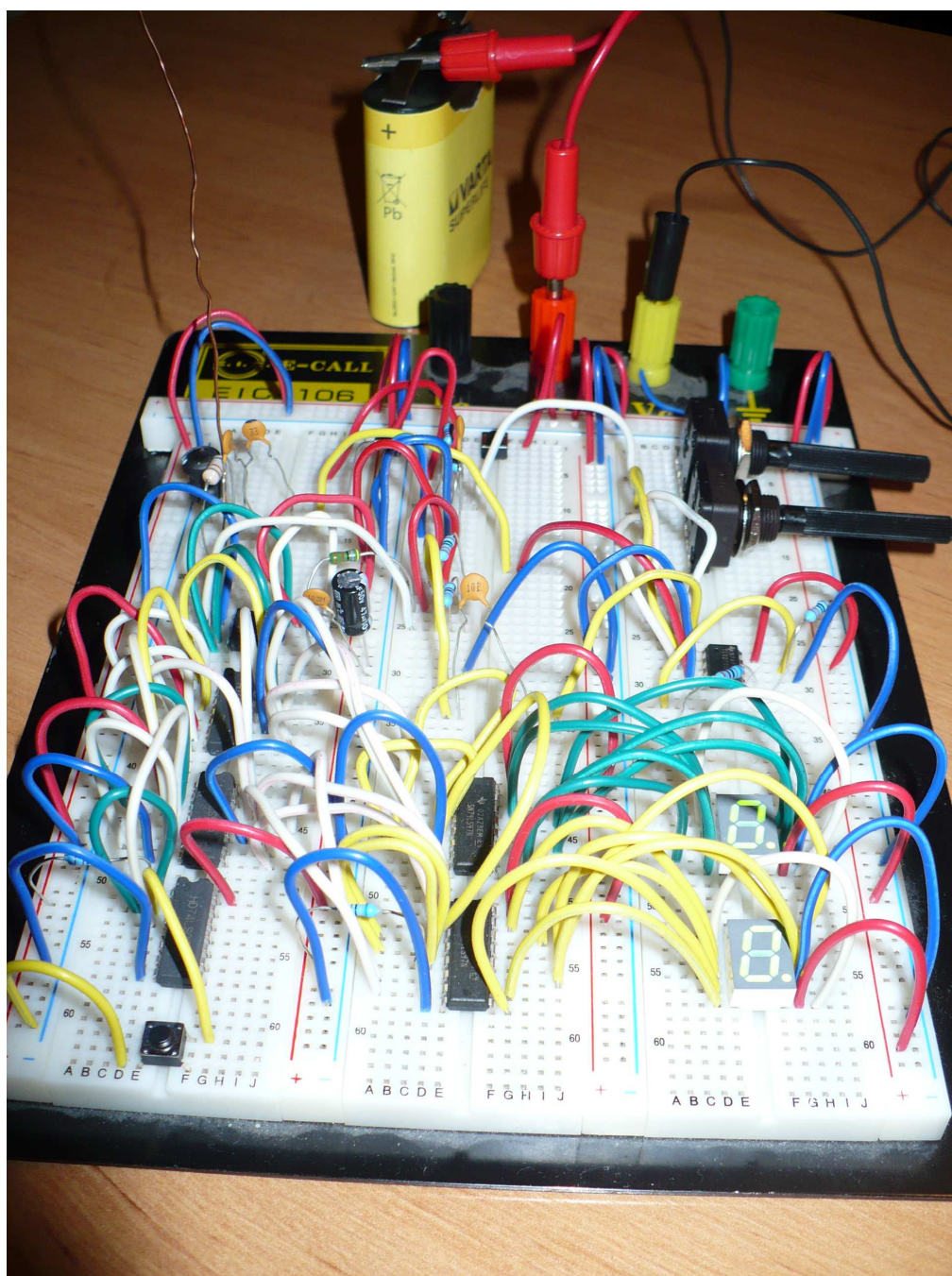
$$U_{out} = U_{FB} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1,25 * \left(1 + \frac{357000}{119000}\right) = 5 \text{V}$$

Jelikož hodnoty odporů  $R_1$  a  $R_2$  nejsou v řadě, lze docílit správné hodnoty těchto odporů s pomocí odporového trimru. U odporu  $R_1$  by se mohl použít odporový trimr s rozsahem  $250 \text{k}\Omega$ . U druhého odporu by se mohl použít odporový trimr s rozsahem  $500 \text{k}\Omega$ . Hodnota rezistoru  $R_3$  je zvolena  $100 \Omega$ .



## 5 REALIZACE ZKUŠEBNÍHO VZORKU

Návrh indikátoru bouřky (indikátoru blesků) neprobíhal pouze na teoretické úrovni. Teoretický základ indikátoru byl aplikován na realizaci zkušební vzorku. Navržený indikátor byl realizován na nepájivém poli. Jako zdroj napájecího napětí byla využita plochá baterie s napětím 4,5 V. Sestavený zkušební vzorek ukazuje následující obrázek.



Obrázek č. 5.1 Indikátor bouřky (indikátor blesků) – zkušební vzorek



Díky sestavení zkušebního vzorku bylo možné sledovat reálné chování celého obvodu. Tento vzorek nemůže být dostatečně vystižen za pomoci simulačního programu. Sestavení zkušebního vzorku umožnilo dokonalejší porozumění obvodu a odhalilo vlastnosti součástek a jejich vztahů. V neposlední řadě bylo také zjištěno, že nepájivé pole na kterém byl vzorek sestaven má své nedostatky. Mezi tyto nedostatky patří například nekvalitní kontakty. Díky této skutečnosti se lze vyvarovat pozdějším chybám při konstrukci vlastního indikátoru.

Za rezistory R2, R5, R11, R12 u zesilovače a komparátoru byli umístěni odporové trimry. Díky této skutečnosti bylo možné optimální nastavení zesilovače a komparátoru zkušebního vzorku.

## 6 ZÁVĚR

V první části této Bakalářské práce jsem se seznámil se vznikem bouřky. Následně jsem se dozvěděl něco více o jejích projevech a v neposlední řadě jsem získal informace, díky kterým jsem prohloubil své znalosti v ochraně před bouřkou a jejími projevy. Po pochopení principu bouřky jsem přešel k jejímu projevu, který byl pro pokračování práce důležitý, a to blesku. Dalším krokem bylo pojednání o detekci blesků. Při tvorbě této části práce jsem narazil na celoevropské společenství zabývající se detekcí blesků.

Po této teoretické části jsem přešel k hlavní části a to vlastnímu návrhu indikátoru bouřky (indikátoru blesků). Při tvorbě vlastního návrhu jsem se snažil využít běžně známých a dostupných postupů. Během průběhu vlastního návrhu jsem se snažil ošetřit možné chyby, které by způsobily nefunkčnost indikátoru. Ovšem tyto chyby mi šly předpokládat velmi těžko a tak jsem dospěl k názoru, že by bylo vhodné sestavit si zkušební vzorek na kterém bych mohl pozorovat reálné chování nejen jednotlivých elektronických součástek ale i celého obvodu. Výsledkem celého snažení je kompletní návrh jednoduchého indikátoru blesků.

Tato práce pro mne byla přínosem v získání praktických znalostí. Mohl jsem si vyzkoušet problematiku vlastního návrhu elektronického obvodu. Domnívám se, že jsem cíle práce splnil. Toto téma jsem zvolil z důvodu zájmu o navrhování elektronických obvodů.

Mnou navržený indikátor by šel vzhledem k možnostem dnešní doby samozřejmě ještě vylepšit. Například by se mohlo uvažovat o propojení indikátoru se stolním PC. Díky tomuto propojení by mohlo docházet k ukládání statických údajů o počtu blesků, které by indikátor zaznamenal během bouřky.

# LITERATURA

- [1] Wikipedie [online]. 200? [cit. 2011-04-28]. Bouřka. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bou%C5%99ka>>.
- [2] Wikipedie [online]. 200? [cit. 2011-04-28]. Cumulonimbus. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus>>.
- [3] Ostrava Poruba : Obrázek cumulonimbus [online]. 2008 [cit. 2011-04-28]. Bouřka. Dostupné z WWW: <[http://ostrava\\_poruba.blogy.in-pocasi.eu/Bourka-1239383236.html](http://ostrava_poruba.blogy.in-pocasi.eu/Bourka-1239383236.html)>.
- [4] DVOŘÁK, Petr. Bouřky a jejich nebezpečí [online]. 200? [cit. 2011-04-28]. Bouřky a jejich nebezpečí . Dostupné z WWW: <<http://www.skyfly.cz/zajimavo/bourky01.htm>>.
- [5] MUDR. Zbyněk Mlčoch [online]. 200? [cit. 2011-04-28]. Jak vzniká bouřka, vznik bouřky, meteorologické fotografie mraků, oblačnosti. Dostupné z WWW: <[http://www.zbynekmlcoch.cz/info/ruzne/jak\\_vznika\\_bourka\\_vznik\\_bourky\\_meteorologicke\\_fotografie\\_mraku\\_oblacnosti.html](http://www.zbynekmlcoch.cz/info/ruzne/jak_vznika_bourka_vznik_bourky_meteorologicke_fotografie_mraku_oblacnosti.html)>.
- [6] Stránky s nádechem tajemna : Zážitky, úvahy a zamyšlení [online]. 200? [cit. 2011-05-03]. Bouře, blesky, hromy. Dostupné z WWW: <[http://druidova.mysteria.cz/TAJEMNO/BLESK\\_CLANEK.htm](http://druidova.mysteria.cz/TAJEMNO/BLESK_CLANEK.htm)>.
- [7] Lidovky.cz : Obrázek blesk [online]. Ostrava : 2009 [cit. 2011-05-03]. Žena přežila zásah bleskem. Dostupné z WWW: <[http://www.lidovky.cz/zena-prezila-zasah-bleskem-d0n/\\_ln\\_domov.asp?c=A090512\\_113520\\_ln\\_domov\\_mtr](http://www.lidovky.cz/zena-prezila-zasah-bleskem-d0n/_ln_domov.asp?c=A090512_113520_ln_domov_mtr)>. ISSN 1213-1385.
- [8] Wikipedie [online]. 2005, 26.3.2011 [cit. 2011-05-03]. Blesk. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Blesk>>.
- [9] Český telekomunikační úřad [online]. 200? [cit. 2011-05-03]. Rozdělení kmitočtového spektra. Dostupné z WWW: <<http://www.lss.fd.cvut.cz/vyuka/tkms/soubor2>>.
- [10] EUCLID : European cooperation for lightning detection [online]. 200? [cit. 2011-05-03]. Síť CELDN. Dostupné z WWW: <<http://www.euclid.org/celdn.html>>.
- [11] ElektriKa.cz [online]. 1998 [cit. 2011-05-03]. Systém detekce blesků. Dostupné z WWW: <<http://elektriKa.cz/data/clanky/sdb030603/view>>.
- [12] EUCLID [online]. 200? [cit. 2011-05-04]. What is EUCLID. Dostupné z WWW: <[http://www.euclid.org/what\\_is.html](http://www.euclid.org/what_is.html)>.
- [13] NASA [online]. 19??, 2007 [cit. 2011-04-25]. Hurricanes/tropical cyklones. Dostupné z WWW: <[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/hurricanes/archives/2007/lightning\\_hurricane.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/hurricanes/archives/2007/lightning_hurricane.html)>.

- [14] Amatérská meteorologická stanice Velké Svatoňovice [online]. 2003 [cit. 2011-04-25]. Podrobné informace o výskytu konvektivních jevů . Dostupné z WWW: <<http://www.meteosvatonovice.unas.cz/Bourky/bourky09.html>>.
- [15] Fotonmag : Obrázek baterie Sanyo 2700 [online]. 200? [cit. 2011-04-27]. Srovnávací test dobíjecích tužkových (AA) baterií. Dostupné z WWW: <<http://www.fotonmag.cz/svitilny/baterie/srovnavaci-test-dobijecich-tuzkovych-aa-baterii/>>.
- [16] Solarbotics [online]. 200? [cit. 2011-04-27]. Katalogový list LT1111. Dostupné z WWW: <<http://www.solarbotics.net/library/datasheets/LT1111.pdf>>.
- [17] TOBOLOVÁ, Marie. MIKROIMPULZNÍ STIMULACE A JEJÍ LÉČEBNÉ VYUŽITÍ VE FYZIATRICKÉ LÉČBĚ [online]. Brno, 2010. 50 s. Bakalářská práce. VUT. Dostupné z WWW: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=30071](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30071)>
- [18] GM Elektronik [online]. 1987, 1994 [cit. 2011-05-08]. TLC272. Dostupné z WWW: <[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/311/311-020/dsh.311-020.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/311/311-020/dsh.311-020.1.pdf)>.

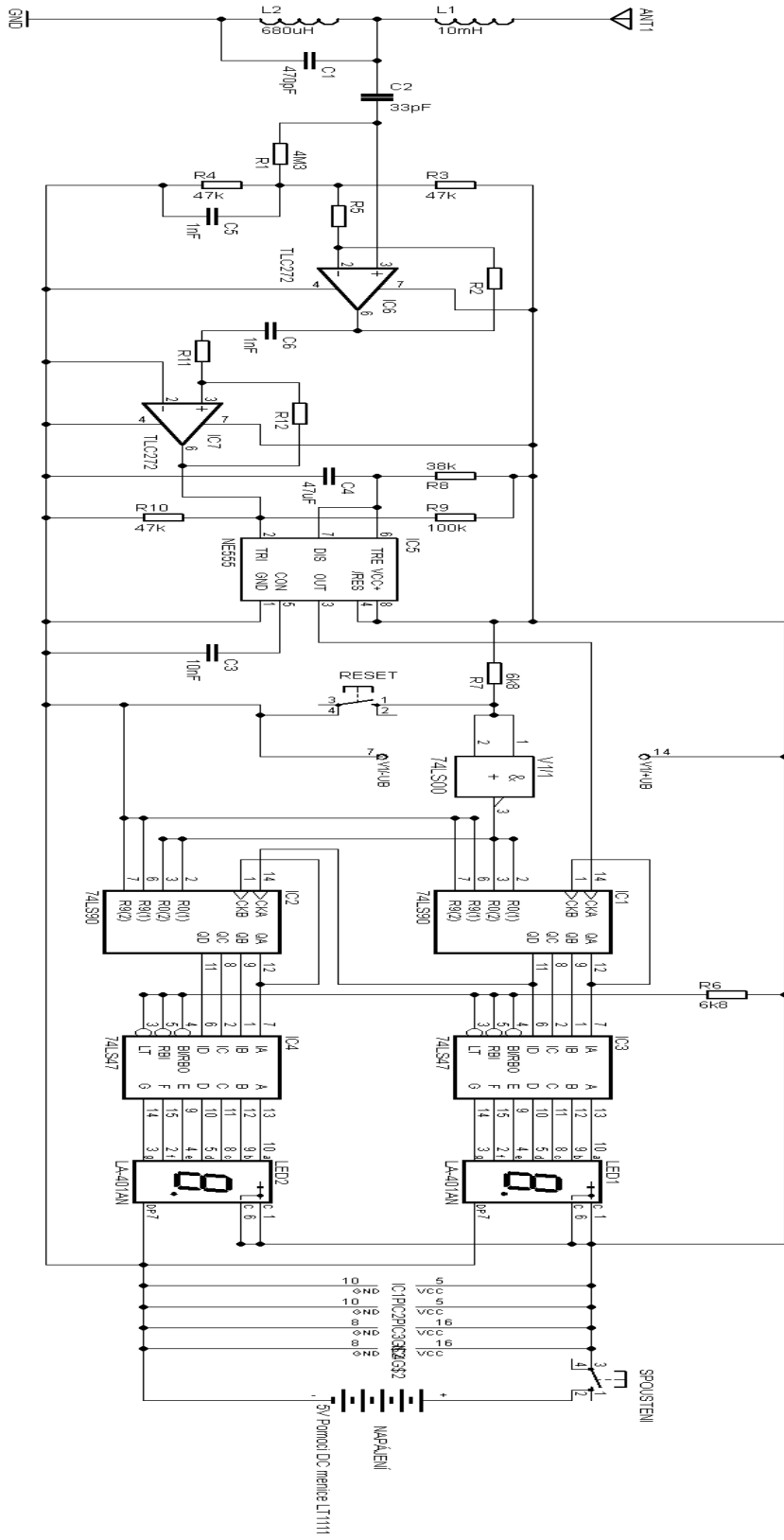
## **7 SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha č.1    Soupiska použitých součástí  
Příloha č.2    Schéma zapojení indikátoru bouřky (indikátoru blesků)  
Příloha č.3    Seznam použitých symbolů a zkratk

# Příloha č.1

Soupiska použitých součástek		
Indikátor		
L <sub>1</sub>	10mH	Radiální tlumivka
L <sub>2</sub>	680μH	Axiální tlumivka
C <sub>1</sub>	470pF	Keramický kondenzátor
C <sub>2</sub>	33pF	Keramický kondenzátor
C <sub>3</sub>	10nF	Keramický kondenzátor
C <sub>4</sub>	47μF	Elektrolytický kondenzátor
C <sub>5</sub>	1nF	Keramický kondenzátor
C <sub>6</sub>	1nF	keramický kondenzátor
R <sub>1</sub>	4M3	Rezistor
R <sub>2</sub>	-	Rezistor
R <sub>3</sub>	47kΩ	Rezistor
R <sub>4</sub>	47kΩ	Rezistor
R <sub>5</sub>	-	Rezistor
R <sub>6</sub>	6k8	Rezistor
R <sub>7</sub>	6k8	Rezistor
R <sub>8</sub>	38kΩ	Rezistor
R <sub>9</sub>	100kΩ	Rezistor
R <sub>10</sub>	47kΩ	Rezistor
R <sub>11</sub>	-	Rezistor
R <sub>12</sub>	-	Rezistor
TLC272	-	Operační zesilovač
NE555	-	Časovač
74LS00	-	Integrovaný obvod
74LS90	-	Integrovaný obvod - čítač
74LS47	-	Integrovaný obvod - BCD převodník
Led1,2	-	Display
S <sub>1</sub>	-	Tlačítko Reset
S <sub>2</sub>	-	Tlačítko spouštění
Napájecí zdroj		
C <sub>1</sub>	10μF	Elektrolytický kondenzátor
C <sub>2</sub>	10μF	Elektorlytický kondenzátor
R <sub>1</sub>	119kΩ	Potenciometr 250kΩ
R <sub>2</sub>	357kΩ	Potenciometr 500kΩ
R <sub>3</sub>	100Ω	Rezistor

# Příloha č.2



## Příloha č.3

Seznam symbolů a zkratk		
Název	Jednotka	Význam
$P_L$	W	Potřebný výkon cívky
$U_{out}$	V	Výstupní napětí
$U_D$	V	Dopředné napětí na dodě
$U_{in(min)}$	V	Minimální napětí baterie
$I_{out}$	A	maximální odebíraný proud zdroj
$E_L$	J	Energie cívky
$f_{osc}$	Hz	Frekvence spínání
$I_L$	A	Proud protékající cívkou
$U_{in}$	V	napětí na vstupu pos. Obvodu
$R$	$\Omega$	Ekvivalentní odpor spínače
$t$	s	doba sepnutí měniče
$L$	H	indukčnost
$I_{L(peak)}$	A	Špičková hodnota proudu cívky
$U_{FB}$	V	Napětí na vývodu FB
$I_R$	A	Proud tekoucí děličem
$I_{FB}$	A	Proud na vývodu FB