

Elektromagnetická odolnost detektorů pohybu

Electromagnetic immunity of motion detectors

Michal Nagy

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal NAGY**
Osobní číslo: **A08360**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Elektromagnetická odolnost detektorů pohybu**

Zásady pro vypracování:

1. **Rozeberte možné typy elektromagnetických zdrojů rušení, které uvádějí jednoduché pohybové detektory do poplachového stavu.**
2. **Diskutujte a měřením prověřte rušení detektorů pomocí intenzivních optických (světelných) rušivých signálů.**
3. **Prakticky prověřte měřením EM odolnost používaných detektorů pohybu (nejlépe PIR,mw+PIR) vůči rušení po vedení.**
4. **Navrhněte možné řešení pomocí vhodných filtrů u jednoduchých/starších detektorů pohybu k potlačení rušení .**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. SVAČINA, J. Elektromagnetická kompatibilita, 2001. VUT Brno. ISBN 80-21418737.
2. FRADEN, J. R. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 2010. Nakladatelství Springer. ISBN 978-1-4419-6465-6. Dostupné z www.books.google.com.
3. KŘEČEK, S. a kolektiv. Příručka zabezpečovací techniky: Physics, Designs, and Applications, 2006. Nakladatelství Criterius. 3. vydání. ISBN 80-902938-2-4.
4. ČSN ETSI EN 50131-2-2 Detektory PIR.
5. ČSN ETSI EN 50131-2-3 Mikrovlnné detektory.
6. DOSTÁL, J. Analogové filtry, 1998. VUT Brno.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

V teoretické části práce se autor věnuje detektorům pohybu a jejich základnímu rozdělení s primárním zájmem o PIR detektory, se kterými v praktické části provádí měření. Dále popisuje problematiku elektromagnetické kompatibility se zaměřením na elektromagnetickou odolnost. V praktické části pak autor čerpá z teoretické části a provádí měření, které mají za úkol zjistit elektromagnetickou a světelnou odolnost vybraných detektorů pohybu. V poslední části práce pak zkoumá filtrační vlastnosti u PIR detektoru.

Klíčová slova: PIR detektor, pyroelement, elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetická odolnost, rušivý signál.

ABSTRACT

In the theoretical part of the work, the author is focusing on the motion detectors and their basic partition with primary focus on a PIR detector, which he used for measurement in the practical part. There is explanation of the problems of electromagnetic compatibility with a focus on electromagnetic immunity. In the particular part of the work, the author is using the knowledge of the theoretical part and there author make measurements, which are designed to detect electromagnetic and light immunity of selected detectors. In the last part of the work, the author is examining the filtration properties of the PIR detector.

Keywords: PIR detector, PIR sensing element, electromagnetic compatibility, electromagnetic immunity, interfering signals.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Stanislavovi Goňovi, Ph.D za vedení, odbornou pomoc a poskytnutí potřebných informací při tvoření mé bakalářské práce.

Dále pak panu Ing. Rudolfu Drgovi za zapůjčení PIR detektorů k provádění měření.

V neposlední řadě bych chtěl ještě poděkovat své rodině, zejména rodičům za morální a finanční podporu při celém studiu na vysoké škole. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni a svým přátelům, kteří mi byli především duševní oporou nejen při vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DETEKTORY POHYBU	11
1.1 TYPY DETEKTORŮ POHYBU	12
1.1.1 Mikrovlnné detektory - MW	13
1.1.2 Ultrazvukové detektory - US	13
1.1.3 Pasivní infračervené detektory - PIR	14
1.1.3.1 Princip PIR detektorů	14
1.1.3.2 Pyroelement	14
1.1.3.3 Optika PIR detektorů	16
1.1.3.4 Výhody a nevýhody PIR detektorů	18
1.1.4 Kombinované (duální) detektory	19
1.1.5 Další pohybové detektory	19
2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	20
2.1 DĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY PODLE SYSTÉMŮ	20
2.1.1 EMC biologických systémů	20
2.1.2 EMC technických systémů a zařízení	20
2.2 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE	22
2.3 ELEKTROMAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA	22
2.3.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti	23
2.3.2 Zkušební signály pro zkoušky elektromagnetické odolnosti	24
2.3.3 Zkušební signály pro testování odolnosti	26
2.4 VAZEBNÍ/ODDĚLOVACÍ OBVODY A PRACOVNÍ MÍSTĚ PRO ZKOUŠKY EMS	27
2.5 ZÁVĚR ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
3 ÚČINKY SVĚTLA NA DETEKTOR	32
3.1 VÝROBA PŘENOSNÉHO NAPÁJECÍHO ZDROJE	32
3.2 FALEŠNÉ POPLACHY ZPŮSOBENÉ BLESKEM FOTOAPARÁTU	33
3.3 RUŠENÍ PIR DETEKTORU POMOCÍ ZÁŘIVKY	33
3.4 RUŠENÍ PIR DETEKTORU POMOCÍ SVĚTLOMETU OD AUTOMOBILU	33
3.5 ZÁVĚR PRO RUŠENÍ SVĚTELNÝMI ZDROJI	34
4 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ (PO VEDENÍ)	35
4.1 POPIS PŘÍPRAVY MĚŘENÍ	36
4.1.1 Návrh cívky L	36
4.1.2 Návrh kondenzátoru C	37
4.2 POPIS MĚŘENÍ	38
4.2.1 Měření vlastností poplachové smyčky	39

4.2.2	Měření vlivu rušivých elektromagnetických signálů po napájecím vedení	39
4.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	41
4.3.1	Výsledky měření vlastností poplachové smyčky.....	41
4.3.2	Výsledky měření vlivu rušivých elektromagnetických signálů po napájecím vedení.....	42
5	FILTROVÁNÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ U PIR DETEKTORŮ.....	46
5.1	ODSTUP UŽITEČNÉHO SIGNÁLU OD RUŠIVÉHO.....	47
5.1.1	Signál vygenerovaný pyroelementem při pohybu člověka.....	47
5.1.2	Velikost rušivého signálu v pyroelementu	48
5.2	PSpICE.....	49
5.3	NÁVRH NAPÁJECÍHO FILTRU	51
	ZÁVĚR	53
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK.....	61

ÚVOD

Se zvyšující se kriminalitou a s rostoucí životní úrovní lidí, stoupá i zájem o jejich bezpečnost. K její ochraně se v dnešní době využívají mimo jiné i poplachové zabezpečovací a tísňové systémy. Detekci narušení hlídaného prostoru tyto systémy provádí za pomoci technických prostředků, mezi které patří i pohybové detektory, jejichž úkolem je detekovat pohyb ve střeženém prostoru.

Pro správnou funkčnost celého bezpečnostního systému je důležitá jeho spolehlivost. Tím mám na mysli, že se musí v co největší míře eliminovat falešné poplachy a zajistit správnou činnost detektorů. K tomuto se přikládá velký důraz už při vývoji i instalaci pohybových detektorů. Je důležité tedy dodržovat pravidla instalace jednotlivých typů detektorů i pokyny výrobce při jejich montáži.

Elektromagnetické záření jsou v určité podobě všude kolem nás a my jeho vlastností mnohdy využíváme (např. mikrovlnka, rentgen, rádio, většina typů detektorů pohybu atd.), ale též jsou častým zdrojem rušení. Rozvoj elektroniky v posledních desetiletích jasně ukázal, že u každého elektronického zařízení je důležitá jeho elektromagnetická kompatibilita v prostředí, ve kterém má správně fungovat. Protože právě elektromagnetické rušení může způsobovat nesprávnou činnost zařízení nebo jeho úplnou provozní neschopnost. Detektory pohybu v tomto ohledu nejsou žádnou výjimkou, a proto budu v této práci prověřovat jejich elektromagnetickou odolnost, přesněji elektromagnetickou odolnost PIR detektorů, které jsou nejpoužívanějšími prostorovými detektory pohybu. [1]

Cílem této bakalářské práce je tedy vyzkoušet elektromagnetickou odolnost PIR detektorů. Na začátku práce je uvedeno základní rozdělení detektorů pohybu a vysvětlený princip zkoumaných PIR detektorů. V druhé kapitole vysvětluje pojem elektromagnetická kompatibilita a popisuje její problematiku, se zaměřením na elektromagnetickou odolnost. V praktické části jsou popsána různá měření rušení způsobené elektromagnetickými zdroji rušení. Nejdříve je prozkoumána odolnost detektorů na rušení pomocí světelných zdrojů. Poté na rušení po vedení a závislost na frekvenci rušivého signálu. Poslední část je zaměřena na filtrační vlastnosti detektoru.

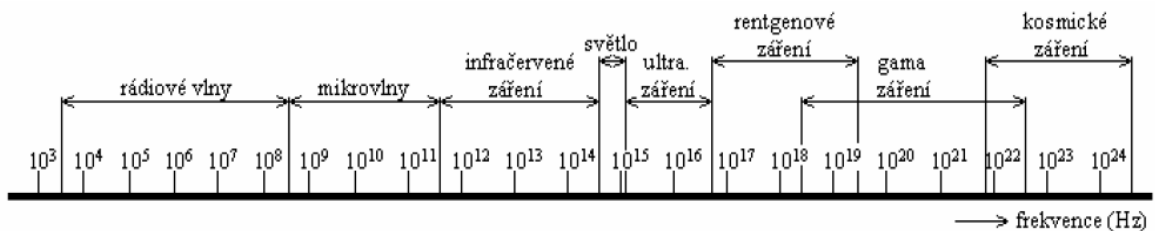
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DETEKTORY POHYBU

Detektory pohybu jsou elektronická zařízení, která mají za úkol zachytit pohyb ve chráněné zóně a poslat poplachový signál ústředně PZTS. K tomu využívají fyzikální změny, které narušitel způsobuje svým pohybem. Rozlišujeme dva druhy detektorů pohybu:

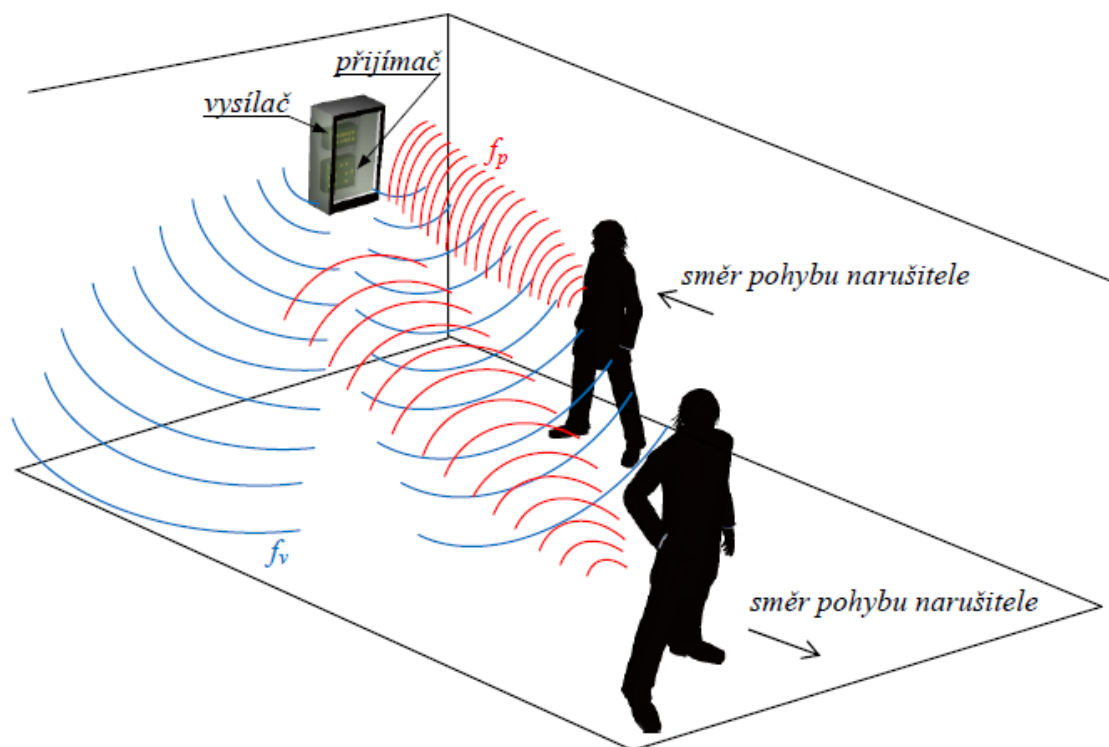
- **Pasivní:** Jsou opatřeny jen přijímačem a pouze detekují změny fyzikálních veličin ve svém okolí. Tím, že do prostoru nevyzařují žádnou energii, je obtížněji zjištělná jejich přítomnost (pokud nejsou viditelně umístěny).
- **Aktivní:** Ke své činnosti si vytvářejí své vlastní elektromagnetická či akustická pole, které vysílají do svého okolí. Tyto pole, pak zpětně detekují a vyhodnocují jejich změny. Jsou tedy vybaveny jak přijímačem, tak i vysílačem.

Na Obr. 1 můžeme vidět rozdělení spektra elektromagnetického vlnění.



Obr. 1 Spektrum elektromagnetického vlnění [6]

Pro činnost aktivních detektorů pohybu se často využívá **Dopplerova jevu**. Jeho princip se nejjednodušeji vysvětlí na praktickém příkladu v oblasti slyšitelného spektra zvuku. Tón houkající sirény se přibližující osobě zdá vyšší. Naopak osobě, která se vzdaluje od sirény, se zdá nižší. Na obr. 2 můžeme prakticky vidět, jak se frekvence zvyšuje při pohybu ke zdroji, ale také to, jak se snižuje při pohybu od zdroje.



Obr. 2 Princip metody Dopplerova jevu [6]

Detektory pohybu obvykle využíváme při perimetrické a prostorové ochraně. Perimetrická má za úkol ochranu přilehlého okolí objektu, přičemž jeho hranice bývají ohraničeny přírodními nebo umělými překážkami a bariérami. Detektory mají za úkol detekovat pohyb při překonávání těchto překážek, ale i na celém území perimetru. Prostorová ochraňuje aktiva uvnitř objektu. Zde detektory reagují na pohyb v jejich určeném prostoru.

1.1 Typy detektorů pohybu

Nejčastějším typem detektorů používaných převážně v prostorové ochraně jsou:

- Mikrovlnné detektory
- Ultrazvukové detektory
- Pasivní infračervené detektory
- Kombinované (duální) detektory

1.1.1 Mikrovlnné detektory - MW

Mikrovlnné detektory do prostoru vyzařují mikrovlnné záření. To znamená, že patří mezi aktivní detektory. Vlnění se odráží od různých překážek zpátky do přijímače. Logický obvod pak vyhodnocuje změny mezi kmitočty vyslaného a přijatého záření. Pracují na kmitočtech 2,5 GHz, 10 GHz a 24 GHz. Přičemž nejčastěji užívaným pásmem je 10 GHz. Pracují na principu Dopplerova jevu.

Při instalaci více detektorů do prostoru je důležité zabezpečit jejich frekvenční oddělení nebo zajistit, aby bylo nemožné jejich vzájemné nežádoucí ovlivňování. Zpravidla se instalují tak, aby mířili v předpokládaném směru pachatele radiálně (směrem od detektoru, nebo k detektoru). Mikrovlny mohou pronikat tenkými stěnami a falešný poplach může vykonat např. plastovou trubkou tekoucí voda ve zdi atd.

1.1.2 Ultrazvukové detektory - US

Ultrazvukové detektory také pracují na principu Dopplerova jevu a patří mezi skupinu aktivních detektorů. Pole, které ke své funkci vytváří, není elektromagnetické, ale ultrazvukové s frekvencí 20 – 45 kHz. Toto pásmo je nad hranicí slyšitelného zvuku pro člověka (16 – 20 kHz, ale horní hranice se s věkem výrazně snižuje), avšak některé zvířata jej mohou slyšet (např. pes nebo netopýr).

Pokud v prostoru není žádný pohyb, vytvoří se tzv. stojaté vlnění. Elektronika vyhodnocuje přijatou vlnu v poměru k vlně vyslané. Jakmile v chráněném prostoru dojde k pohybu, fáze přijaté vlny se změní a po vyhodnocení elektroniky dojde k vyhlášení poplachu.

Pravidla instalace ultrazvukových detektorů:

- Instalují se tak, aby mířili v předpokládaném směru pachatele radiálně (směrem od detektoru, nebo k detektoru), mívají dosah okolo 10 m.
- V uzavřeném prostoru.
- Dávat si pozor na předměty umístěné v blízkosti detektorů až po jeho instalaci, mohou ovlivnit jejich citlivost. Stejně tak jako přemístění předmětů, které absorbují zvuk (pěnové materiály, koberce).

- V prostorech, kde často měníme rozmístění předmětů (např. sklady), bychom je neměli instalovat.
- Při instalaci více detektorů v jednom prostoru je důležité, aby byli frekvenčně oddělené, anebo tak frekvenčně stálé, že není možné jejich nepříznivé ovlivňování.
- Nesmíme je instalovat nad topná tělesa, v prostorách s teplovzdušným topením, v prostoru s volně zavěšenými tělesy nebo u zdrojů zvuku s širokým kmitočtovým pásmem (telefon). [6][7]

1.1.3 Pasivní infračervené detektory - PIR

V praxi jsou nejpoužívanějšími detektory pohybu právě PIR detektory (Passive Infra Red Detector). Často bývají používány i pro zapínání osvětlení. Právě těmto detektorům pohybu se budu v mé bakalářské práci věnovat a zkusím jejich elektromagnetickou odolnost. A proto je popíšu důkladněji než ostatní typy.

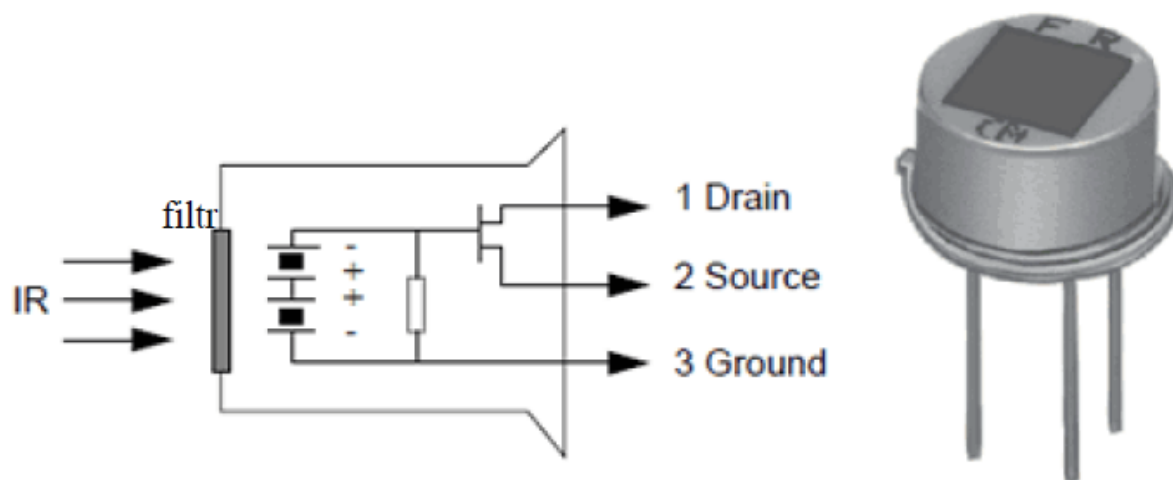
1.1.3.1 Princip PIR detektorů

Na obr. 1 vidíme, že infračervené záření má frekvenci od 10^{12} do 10^{14} Hz. Jeho vlnová délka se pohybuje od 10 mm do 10 μ m. Lidské oko neumí toto záření registrovat, ale člověk ho dokáže pociťovat formou tepla. Každé těleso s teplotou od -273°C (což je absolutní nula) až do 560°C je zdrojem infračerveného vlnění, které odpovídá jeho teplotě. Při větší teplotě tělesa se vyzařované spektrum vlnění posouvá do oblasti viditelného světla. Pro člověka je charakteristická teplota okolo 35°C a tomu odpovídá vlnová délka 9,4 μ m. PIR detektor nezaznamenává stálou úroveň záření, které na něj dopadá, ale jen změny tohoto záření. To znamená, že zachycuje pohyb těles, která mají odlišnou teplotu, než je teplota okolí.

1.1.3.2 Pyroelement

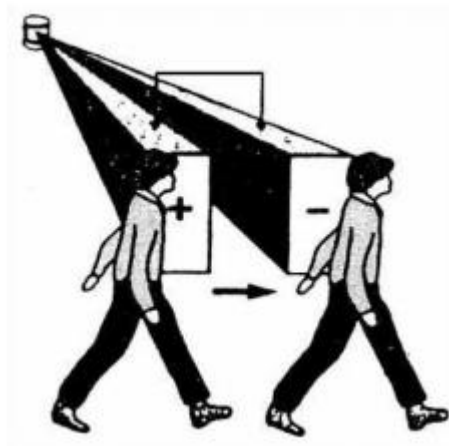
Základem PIR detektoru je pyroelement, což je polovodičová součástka vytvořená ze sloučenin na bázi lithia a tantalu. Je citlivá na infračervené záření, a při jeho dopadu generuje elektrický povrchový náboj. Jakmile se změní hodnota dopadajícího záření, změní se i hodnota generovaného náboje. Tato změna se měří přímo ve snímači pomocí citlivého FET tranzistoru. Protože je pyroelement citlivý v širokém pásmu vlnového rozsahu elektromagnetického vlnění, přidává se před něj filtr, který propouští jen záření o vlnových

délkách v rozsahu 8 až 14 μm . Tak, aby zachycovalo pohyb těles, která mají podobnou teplotu, jaká je teplota lidského těla (odpovídá vlnové délce 9,4 μm).



Obr. 3 Ukázka pyroelementu [7]

Všechny pyroelementy mají zároveň vlastnosti piezoelektrického jevu. Z toho vyplývá, že mohou generovat elektrický náboj i působením jiných vnějších sil, než dopadajícím infračerveným zářením, např. zvukem nebo strukturálními vibracemi. Takto vygenerované napětí je nerozeznatelné od napětí, které je vygenerované infračerveným zářením. Tyto nežádoucí jevy odstraňujeme pomocí dvojitého pyroelementu a optiky, kterou popíšu v další kapitole. Princip dvojitého pyroelementu je jednoduchý, oba se zapojí do série, ale v opačné polarizaci a výsledný signál se sčítá. Když se objekt nepohybuje, dopadá infračervené záření na oba pyroelementy současně, tyto signály se vruší a součtový signál je roven nule. Pokud se však objekt pohybuje jako na obr. 4, záření dopadne na pyroelementy v jiném čase a výsledný signál není nulový. Naopak výsledkem jsou dva opačné signály (např. kladný a záporný). Tím je zajištěné, že pyroelement bude generovat signály způsobené infračerveným zářením, protože ostatní piezoelektrické jevy působí na oba pyroelementy ve stejnou chvíli, a proto je jejich součtový signál roven nule.



Obr. 4 Detekce dvojitým pyroelementem [5]

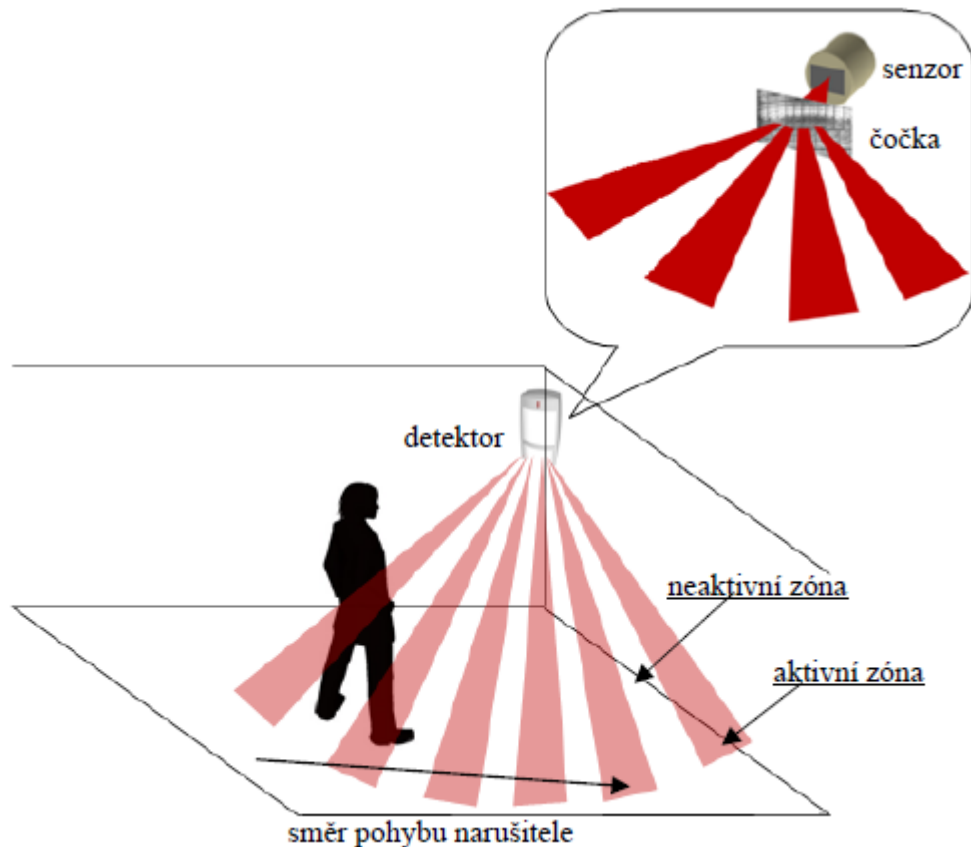
Běžný pyroelement nám jako reakci na pohyb člověka většinou vygeneruje proud okolo $I = 1 \text{ pA}$. Pokud pak chceme mít pro určitou vzdálenost vygenerované napětí $U = 50 \text{ mV}$, tak z Ohmova zákona:

$$R = \frac{U}{I} = 50G\Omega \quad (1)$$

Proto je hodnota odporu R v pyroelementu (obr. 3) velmi vysoká. [2][5]

1.1.3.3 Optika PIR detektorů

Pro přesnější detekci pohybu pachatele se snímaný prostor rozděluje pomocí optiky PIR detektorů do detekčních zón (rozdělení můžeme vidět na obr. 5). Ty se dělí na aktivní a neaktivní. Infračervené záření, jehož zdroj se nachází v neaktivní zóně, nedopadá na pyroelement, i přesto, že leží ve snímaném prostoru. Infračervené záření vyvolané pohybem pachatele, tak dopadá na pyroelement přerušovaně, podle toho v jaké zóně se zrovna nachází. A podle dopadu tohoto záření také pyroelement generuje výstupní signál, který se dále vyhodnocuje. Největší citlivost mají PIR detektory při pohybu pachatele tangentsním směrem, to je směr napříč detekční zónou. Protože při pohybu k detektoru musí zdolat větší vzdálenost, aby prošel dostatečným počtem detekčních zón a pyroelement vygeneroval dostatečný počet impulsů k vyhlášení poplachového stavu.



Obr. 5 Rozdělení do detekčních zón pomocí optiky PIR detektorů [7]

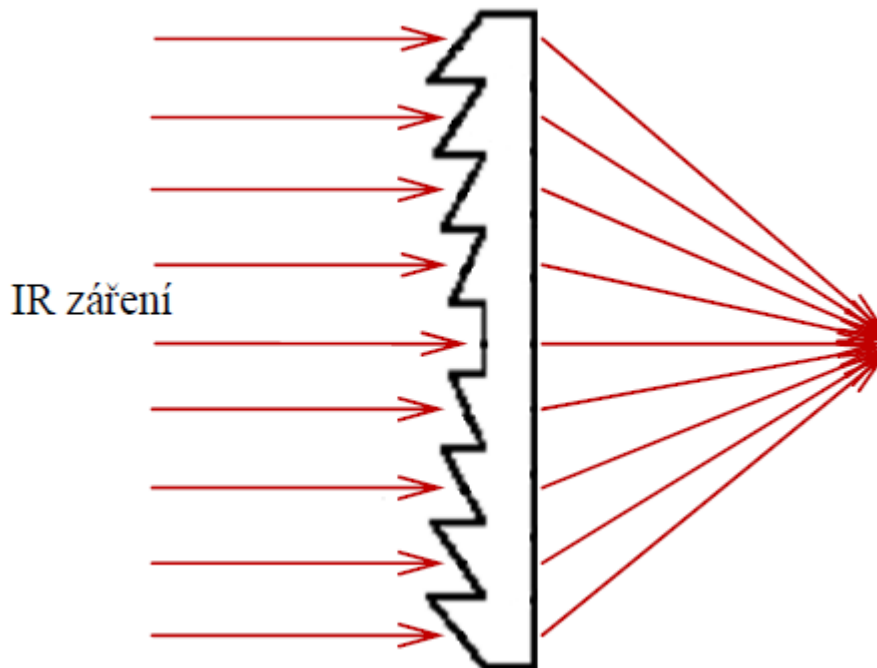
Optika PIR detektorů se dělí na:

- Zrcadlový optický systém
- Fresnelova čočka

Zrcadlový optický systém se vyrábí z plastu, na kterém je napařená kovová odrazná vrstva. K té se ještě přidává černá vrstva tak, aby se na pyroelement odrazilo jen infračervené vlnění a nežádoucí záření bylo odfiltrováno. Černá triplexní zrcadlová optika nám dokáže rozdělit hlídání prostor až na 52 zón, ale charakteristika vykrytí prostoru pomocí zrcadla je dána z výroby a nedá se později snadno měnit v případě nutnosti.

U PIR detektorů je nejčastěji používanou variantou optiky Fresnelova čočka, což je systém využívající lomu paprsků (refrakce). Vyrábí se jako výlisek z plastické hmoty, který rozděluje snímaný prostor do detekčních zón a přímo tvoří průhledové okénko detektoru. Fresnelovy čočky jsou používány především pro svou jednoduchou výrobu, nízkou cenu a

snadnou změnu detekčních charakteristik, kdy jednoduše zaměníme za čočku s jinými detekčními vlastnostmi. Protože nelze zajistit různé ohniskové vzdálenosti pro jednotlivé snímané zóny v detektoru, tak nejsou přesně zaostřeny na pyroelement.



Obr. 6 Ukázka Fresnelovy čočky [7]

Při porovnávání obou optických systémů se dá říct, že použití Fresnelových čoček je mnohem hospodárnější řešení. Mají však velkou nevýhodu, protože nezaostřují přesně na pyroelement a mají horší optické zobrazení než soustavy zrcadel, u kterých je díky parabolickému zrcadlu velmi přesné zaostření. Díky tomu výrobci zaručují větší dosah než u Fresnelových čoček s podobným tvarem a detekčními charakteristikami. Protože je zrcadlová optika náročnější na výrobu a tím pádem i dražší, používají se především u detektorů vyšší cenové kategorie a častěji se můžeme setkat Fresnelovou čočkou. [5]

1.1.3.4 Výhody a nevýhody PIR detektorů

Výhody PIR detektorů:

- Do jednoho prostoru lze nainstalovat více PIR detektorů (navzájem se neovlivňují)
- Spolehlivost, snadná montáž a malá spotřeba energie
- Je obtížně zjistitelná jejich přítomnost, protože se jedná o pasivní systém

Nevýhody PIR detektorů:

- Pohybující se žaluzie či závěsy, které jsou zahřáté slunečním zářením
- Proudění teplého nebo studeného vzduchu v místnosti (klimatizace, topná tělesa, komín nebo ventilace)
- Zvířata
- Rychlé teplotní změny způsobené například podlahovým vytápěním nebo jinými technickými zařízeními
- Nesmí se instalovat naproti oknům (falešné poplachy způsobené slunečním zářením nebo světlometry automobilů)

1.1.4 Kombinované (duální) detektory

Kombinované detektory využívají velmi malé pravděpodobnosti vzniku jevu, který by mohl vyvolat falešný poplach u více detektorů pracujících na jiných fyzikálních principech. Proto se používají v prostředí s velkým nežádoucím vlivem okolí na detektor. Nejčastější spojení jsou PIR+US nebo PIR+MW. Výstupní informace duálních detektorů zpracovává logika. Ta vyhlásí poplach, pouze pokud dojde k pozitivní detekci v obou částech kombinovaného detektoru současně či v krátkém časovém úseku (nejčastěji od 6 do 15s). Při montáži je nutné se řídit instalačními pravidly obou typů detektoru, které jsou součástí duálního detektoru. [6][7]

1.1.5 Další pohybové detektory

Dalšími méně často používanými detektory pohybu, využívanými spíše v perimetrické ochraně jsou například:

- VKV detektory
- Mikrofonní kabely
- Štěrbinové kabely
- Laserové lokátory
- Infračervené závory

2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

O elektromagnetickou kompatibilitu se jedná, pokud je zařízení, systém či přístroj schopen správně fungovat i v prostředí, ve kterém na něj působí okolní rušivé elektromagnetické signály, ať už umělé nebo přírodní, a naopak není zdrojem elektromagnetických rušivých signálů pro okolní přístroje. Všeobecně používaná zkratka pro elektromagnetickou kompatibilitu je EMC, ta pochází z anglického „Electromagnetic Compatibility“.

Zjednodušeně lze říci, že elektromagnetická kompatibilita vyjadřuje schopnost zařízení či systémů existovat v jednom společném elektromagnetickém poli, aniž by se navzájem výrazně ovlivňovali ve své běžné činnosti.

2.1 Dělení elektromagnetické kompatibility podle systémů

EMC můžeme rozčlenit na dvě základní oblasti: EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení. Jedná se o rozdělení podle systému, na který má elektromagnetické pole vliv.

2.1.1 EMC biologických systémů

Tato oblast se zabývá vlivem elektromagnetického prostředí na živé organismy. Tyto vlivy záleží na charakteru a době působení elektromagnetického pole, ale také na vlastnostech organismu.

EMC biologických systémů se věnují výzkumná zdravotnická střediska, a jelikož se netýká mé bakalářské práce, tak se mu nebudu více věnovat.

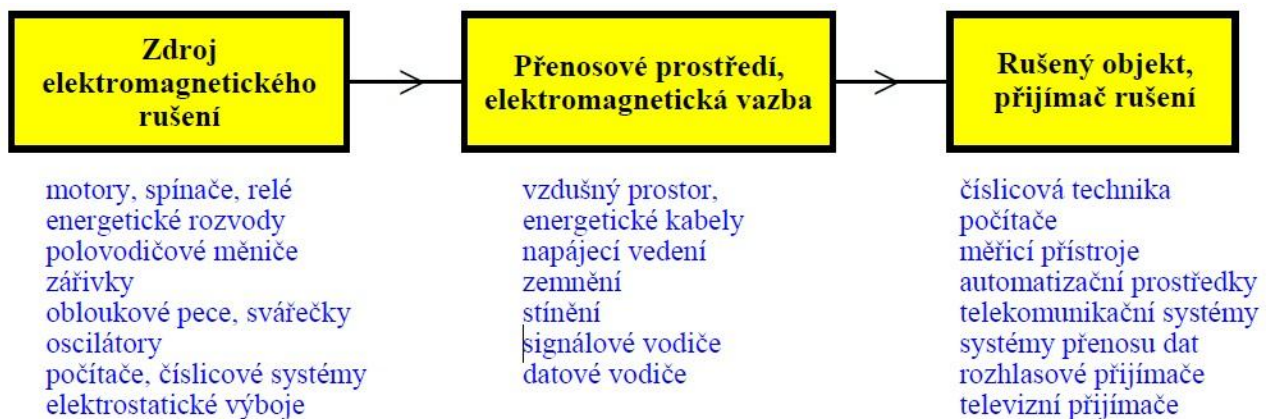
2.1.2 EMC technických systémů a zařízení

Druhá oblast se týká vzájemného působení technických prostředků, nejčastěji elektrotechnických a elektronických přístrojů či zařízení, a jejich schopností správně fungovat bez toho, aby se vzájemně výrazně ovlivňovali.

Na obr. 7 je uveden základní řetězec EMC, který se využívá při zkoumání daných systémů či zařízení. Tento řetězec má 3 části:

- **Zdroj elektromagnetického rušení:** Zkoumá problémy vzniku rušení, jeho intenzity a charakteru. Podle typu zdroje rušení se dělí na:

- Přírodní zdroje rušivých signálů (např. Slunce nebo kosmos)
 - Umělé zdroje rušení (vytvořené z elektronických a technických zařízení – výsledek činnosti člověka)
- **Přenosové prostředí a elektromagnetická vazba:** Zkoumá cesty a způsoby, jakými se elektromagnetické rušivé signály dostávají do rušených objektů. Jako přenosové prostředí může sloužit např. vzduch nebo napájecí vedení k zařízení apod.
- **Rušený objekt a přijímač rušení:** Zkoumá důsledky účinků elektromagnetického rušení na rušený objekt a stanovuje jeho elektromagnetickou odolnost. V podstatě každé elektrické zařízení může být rušeným objektem.

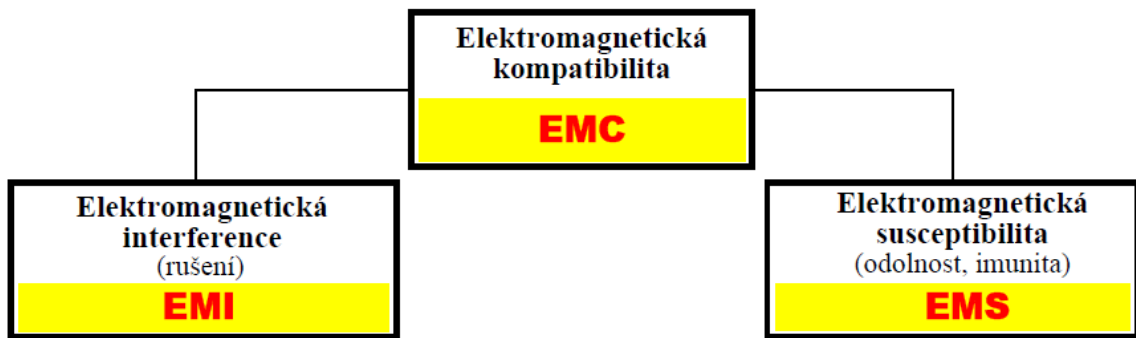


Obr. 7 Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí [1]

V praxi je řetězec EMC mnohem složitější, protože každé zařízení může být současně přijímačem i vysílačem elektromagnetického rušivého signálu. A také nikdy nejde o vzájemné ovlivňování jednoho zdroje a jednoho rušeného objektu, ale vždy na sebe navzájem působí více systémů dohromady.

Na obr. 8 jde vidět, že se problematika elektromagnetické kompatibility rozděluje do dvou základních kategorií:

- Elektromagnetická interference – EMI
- Elektromagnetická susceptibilita – EMS



Obr. 8 Základní členění EMC [1]

2.2 Elektromagnetická interference

Z anglického „Electromagnetic Interference“ se používá zkratka **EMI**, v češtině se často používá výraz „elektromagnetické rušení“. EMI obzvláště zkoumá zdroje rušivých signálů a rozeznává přenosové cesty do rušených objektů. Zjednodušeně lze říci, že se EMI vztahuje na příčiny elektromagnetického rušivého signálu. Ty se snaží odstranit technickými prostředky u jeho vzniku a na jeho přenosové cestě.

Problematika EMI je velice rozsáhlá, není však předmětem mé bakalářské práce, a proto jsem uvedl jen stručný základ a nebudu se jí nadále věnovat.

2.3 Elektromagnetická susceptibilita

Z anglického „Electromagnetic Susceptibility“ se používá zkratka **EMS**, v češtině se často používá výraz „elektromagnetická odolnost“. EMS zkoumá, jak je zařízení a systém schopen pracovat bez poruch nebo jen s přípustným, přesně určeným vlivem prostředí, ve kterém působí elektromagnetické rušení. Z toho vyplývá, že EMS se zaměřuje na přijímač rušení a pomocí technických opatření zvyšuje jeho elektromagnetickou odolnost proti účinku rušivých signálů. Snaží se odstraňovat důsledky rušení a nezabývá se jeho příčinami.

Elektromagnetická susceptibilita zařízení a systémů je velice důležitým odvětvím EMC, neboť nikdy nemůžeme zcela zamezit působení rušivých signálů na rušené objekty. Často se totiž jedná o funkční signály, které nemůžeme pomocí EMI eliminovat. Je proto nutné, aby byla zařízení schopna správně pracovat i v jejich přítomnosti. A proto musí být všechny systémy dostatečně odolné proti veškerým druhům rušení, které mohou při jejich činnosti nastat.

Elektromagnetickou susceptibilitu dělíme na:

- **Interní elektromagnetická odolnost:** Rušivé zdroje se nalézají uvnitř vlastního systému.
- **Externí elektromagnetická odolnost:** Určuje odolnost systému proti cizím (vnějším) zdrojům elektromagnetického rušení.

Určit, zda je zdroj rušení „vnitřní“ nebo „vnější“ je pouze relativní. Záleží na tom, jakým způsobem si určíme zkoumaný systém. A ten rozdělujeme do tří skupin:

- **Rozlehlé (distribuované) systémy:** Mezi jednotlivými subsystémy je zeměpisná vzdálenost. V rámci interní elektromagnetické odolnosti systému se zkoumá, působení rušivých signálů, které se do signálových cest dostávají během provozu. Externí odolnost pak převážně tvoří imunita proti atmosférickým elektromagnetickým vlivům nebo rušení, které vzniká v napájecí energetické síti. Příkladem rozlehlého systému je např. systém pro dálkové zpracování dat, který zahrnuje spoustu subsystémů.
- **Lokální (místní) systémy:** Jsou v okruhu jednoho areálu, budovy nebo místnosti. Rušení zde vzniká z vlastních signálových a napájecích obvodů nebo z dalších subsystémů v areálu, jako jsou výtahy, světla, ostatní stroje apod. Příkladem lokálních systémů jsou výpočetní střediska, dispečerská pracoviště apod.
- **Systémy přístrojového typu:** Jsou to samostatné celistvé zařízení a do této skupiny patří všechny spotřební elektronické přístroje, měřicí přístroje, domácí přístroje, počítače apod.

Při zkoumání systému bereme vždy v potaz jak vnitřní, tak i vnější elektromagnetickou odolnost. V praxi existuje velmi mnoho druhů externího rušení. Proto bereme v potaz jen některé, a to takové, které jsou v tom konkrétním případě nejpravděpodobnější a nejnebezpečnější. Mez externí odolnosti se stanovuje pro každý druh rušení samostatně, podle elektromagnetického prostředí, ve kterém systém pracuje.

2.3.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti

Ještě před začátkem zkoumání elektromagnetické odolnosti daného technického systému se musí určit nebo zjistit meze, které říkají, k jak velkému narušení funkcí systému může dojít. Tyto meze se definují podle kvantitativního nebo kvalitativního kritéria.

Kvantitativní mez odolnosti se stanovuje, podle dosažení jisté hodnoty (hodnot) vybraných veličin. Jeho nejčastější použití je v době vyvíjení elektronického zařízení. V určitých jeho částech se provádí měření rušivých signálů, při kterém zjišťujeme jejich velikost a tvar. Podle výsledků měření se pak určí hodnota měřené veličiny, která by neměla způsobit nežádoucí změnu stavu zařízení. Hodnota určená tímto postupem slouží jako kritérium EMS pro všechna zařízení stejného typu.

Tuto mez jsem sledoval při provádění laboratorních měření detektorů pohybu v kapitole 4.3.2. Kdy jsem sledoval potlačení rušivých signálů v napájecí části.

Kvalitativní (funkční) kritérium posuzuje provozní změny stavu či ovlivnění běžné funkce daného zařízení.

Rozděluje se na tři funkční kritéria:

- **Funkční kritérium A:** Během zkoušky a ani po ní, nesmí dojít k žádnému zhoršení provozu zařízení.
- **Funkční kritérium B:** Během zkoušky je dovolené dočasné zhoršení provozu zařízení. Po jejím skončení, však musí pokračovat ve své činnosti bez následků. Také po skončení není dovolená změna dat v paměti a ani změna aktuálního provozního stavu zařízení.
- **Funkční kritérium C:** Zařízení může dočasně ztratit svou funkci. Ale jen v případě, že se po skončení zkoušky sama obnoví, anebo se obnoví zásahem řídicího systému.

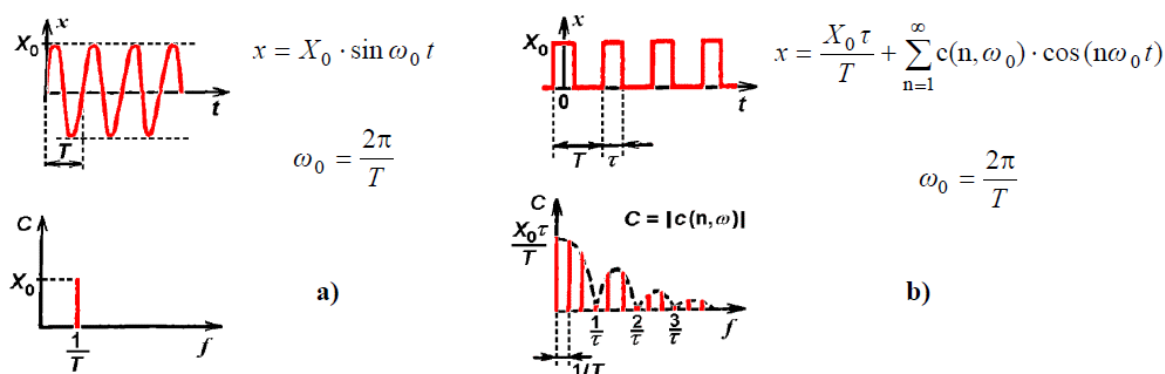
Často se můžeme setkat i s dalším funkčním kritériem označovaném jako nezvratná ztráta funkce. Zde dojde k zničení či větší poruše zkoušeného zařízení. Výsledkem tohoto testování odolnosti tedy není přesná veličina, ale zhodnocení funkčnosti zařízení během zkoušky i po ní. V praxi se musí pro každé zařízení podrobněji přiblížit jednotlivé poruchy či ztráty funkce, které mohou nastat a jsou dovoleny v kritériích A, B nebo C.

2.3.2 Zkušební signály pro zkoušky elektromagnetické odolnosti

Pro zkoušky elektromagnetické odolnosti je nutné generovat zkušební signály, k tomu je určený generátor zkušebního rušivého signálu. Pomocí něj můžeme simulovat

rušení zkoušených systémů. Je důležité co nejvíce napodobit skutečné rušivé signály, které působí v daném elektromagnetickém prostředí. Proto je třeba dát si pozor na velikost signálu, ale i na jeho časový a kmitočtový průběh. Podrobným studiem reálných rušivých signálů se zjistilo, že v podstatě všechny zkušební signály, když vezmeme v potaz jejich časový průběh a rozložení kmitočtového spektra, lze uskutečnit ze čtyř základních průběhů:

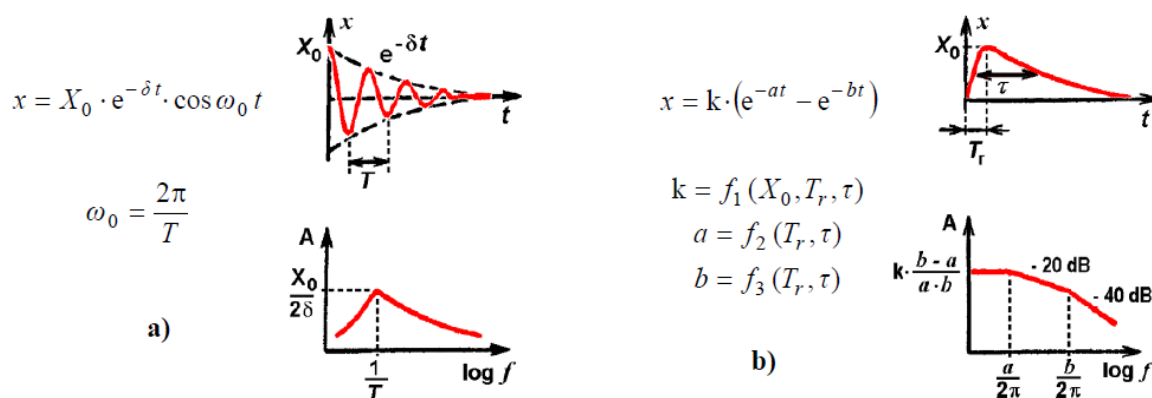
- **Úzkopásmový periodický zkušební signál:** Jeho průběh si můžeme prohlédnout na obr. 9 a. Provádí se pomocí nízkofrekvenčních či vysokofrekvenčních oscilátorů a má harmonický časový průběh, který se dá popsat funkcí „sinus“.
- **Širokopásmový periodický zkušební signál:** Jeho průběh si můžeme prohlédnout na obr. 9 b. Signál se generuje různými typy klopných (astabilních) obvodů číslicové techniky. Tvoří ho periodický impulzní průběh, který je charakterizován Fourierovou řadou se spektrální obálkou typu „sin x/x“.



Obr. 9 Periodický úzkopásmový (a) a širokopásmový (b) zkušební signál a jejich popis v časové a kmitočtové oblasti [1]

- **Úzkopásmový neperiodický zkušební signál:** Jeho průběh si můžeme prohlédnout na obr. 10 a. Tvoří ho časově harmonický signál s exponenciální obálkou, někdy nazývaný jako tzv. tlumená sinusovka. Tento signál získáme jednorázovým impulsem rezonančního obvodu LC a jeho exponenciálním dozníváním následného harmonického kmitání. Pomocí tlumícího faktoru δ můžeme efektivně řídit účinnou šířku spektra, čili „úzkopásmovost“.

- **Širokopásmový neperiodický zkušební signál:** Generuje se jako jednorázový impulz typu dvojitá exponenciála. Její vzhled i matematickou charakteristiku vidíte na obr. 10 b. Pomocí veličin a a b můžeme nastavit dobu čela T_r i čas trvání impulzu T . Tento zkušební signál napodobuje množství různých elektromagnetických rušivých signálů.



Obr. 10 Neperiodický úzkopásmový (a) a širokopásmový (b) zkušební signál a jejich popis v časové a kmitočtové oblasti [1]

Prakticky jakýkoliv zkušební signál, který používáme k testování elektromagnetické odolnosti, můžeme sestavit vhodnou volbou kvantitativních parametrů výše uvedených čtyř průběhů. Tyto zkušební metody dělíme na:

- **Přímé:** Napodobujeme skutečný zdroj rušení a snažíme se simulovat jeho primární příčiny.
- **Nepřímé:** Napodobujeme rušivá napětí nebo proudy, které jsou vyvolané primárním rušivým signálem ve zkoušeném zařízení. Tím simulujeme sekundární důsledky rušení.

2.3.3 Zkušební signály pro testování odolnosti

V tab. 1 můžeme vidět zkušební signály, které se využívají pro testování elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení. Vzhledem k napájení detektorů pohybu je důležité otestovat elektromagnetickou odolnost detektorů pohybu po napájecí síti, protože rušivý signál může způsobit nesprávnou funkci detektoru (falešný poplach).

Zkušební signály č. 1 a 2 (tab. 1), simulují časté poruchy v napájecí síti, jako např. harmonické složky napájecího napětí, kolísání napájecího napětí apod. Zkušební signál č. 3 (tab. 1), slouží k simulaci rušivých impulzních napětí a proudu a vyskytuje se v napájecím vedení v důsledku poruchy.

Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p>1</p> <p>Harmonické a meziharmonické síťového napětí energetické sítě</p> <p>ČSN EN 61000-4-7</p>			$f_1 = 1/T_1 = 50$ Hz kmitočet sítě $f_n = 1/T_n$ kmitočet n-té harmonické složky $n = 2, 3, 4, \dots, 40$
<p>2</p> <p>Krátkodobé poklesy, krátká přerušení síťového napětí</p> <p>ČSN EN 61000-4-11</p>			Pokles napětí $\Delta U = 30\%, 60\% U_N$ $\Delta U = 100\% U_N$ Doba trvání (počet period) 0,5, 1, 5, 10, 25, 50
<p>3</p> <p>Skupiny rychlých přechodných jevů (tzv. rychlé transienty – burst)</p> <p>ČSN EN 61000-4-4</p>	<p>$Z_i = 50 \Omega$</p>		$U_m = 0,25 \dots 4$ kV $T_r = 5$ ns $\tau = 50$ ns $f = 1/T = 2,5$ kHz, příp. 5 kHz $t_B = 15$ ms $T_B = 300$ ms

Tab. 1 Přehled zkušebních signálů [1]

2.4 Vazební/oddělovací obvody a pracoviště pro zkoušky EMS

Při měření elektromagnetické odolnosti zařízení, je důležité správně připojit testovací rušící signál ke zkoušenému objektu, tedy k jeho napájecí části. K těmto účelům se využívá vazební a oddělovací obvod. Z anglického „Coupling-decoupling network“ se používá zkratka CDN.

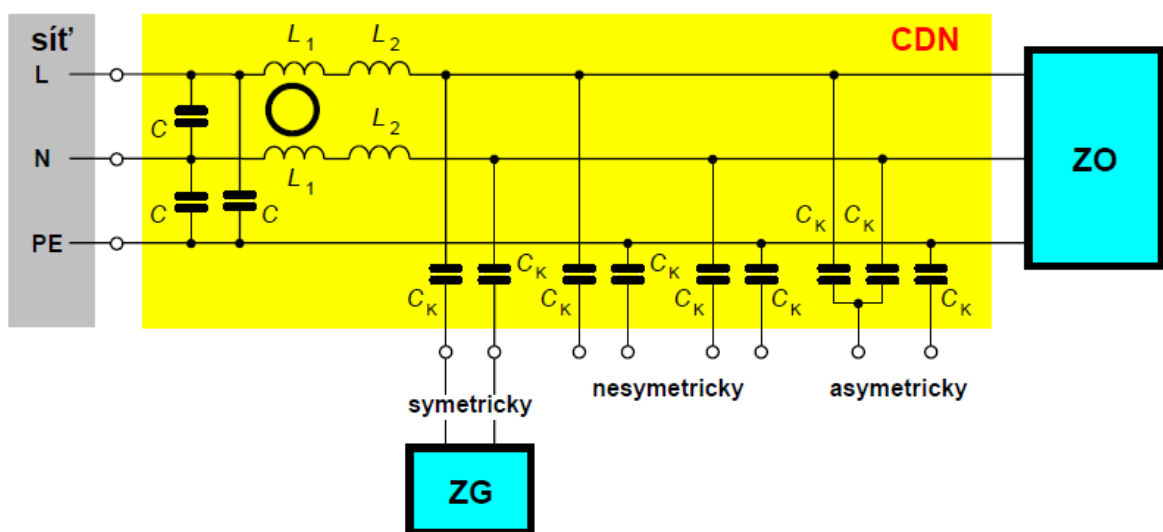
Už z názvu vazební/oddělovací obvody vyplývá, které dvě hlavní funkce plní:

- **Vazební funkce:** Zprostředkovává přenos zkušební rušivého signálu z jeho generátoru do vstupu testovaného zařízení, a protože to je při zkoušce v běžném

provozu, tak současně zabráňuje síťovému nebo signálnímu napětí, aby mělo zpětný vliv na generátor.

- **Oddělovací funkce:** Je z důvodu, aby zkušební signál působil skutečně jen na testované zařízení. Tím že zabráňuje, aby se tento rušivý signál šířil zpět do vnější napájecí sítě. Která je připojena na testované zařízení. Také se tím odstraní vliv impedance, kterou vnější síť má, na tvar či velikost generovaného rušivého signálu.

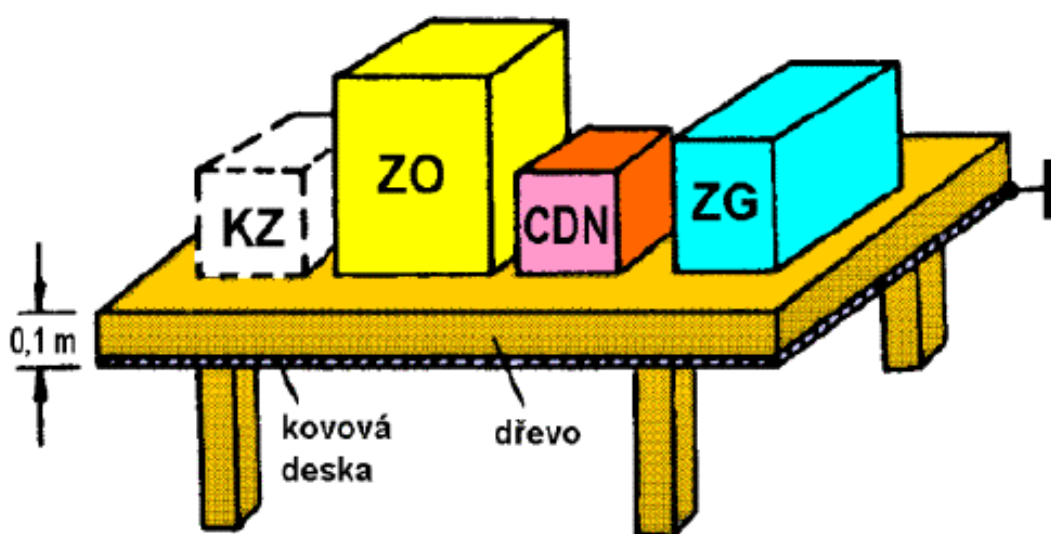
Na obr. 11 vidíme schéma zapojení kapacitního vazebního a oddělovacího obvodu. Také na něm vidíme, že zkušební signál je možné do obvodu přivést symetricky, nesymetricky, anebo asymetricky. Oddělení vnější napájecí sítě pro rušivé signály je realizováno filtrem LC. Tento filtr je typu dolní propusti. Důležité jsou cívky L_1 a L_2 . Kdyby v obvodu nebyli, tak by generátor rušivých signálů pracoval téměř do zkratu, a to kvůli nízké impedanci napájecí sítě. [1]



Obr. 11 Kapacitní vazební a oddělovací obvod se vstupy pro symetrické, nesymetrické a asymetrické navázání zkušebního signálu do napájecího vedení (ZG – zkušební generátor; ZO – zkoušený objekt; CDN – vaz./odd. obvod) [1]

Při provádění zkoušek EMS je i důležité prostorové uspořádání měřícího pracoviště. Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc. principiálně popisuje rozvržení pracoviště ve svých skriptech Elektromagnetická kompatibilita takto: „Zkoušené zařízení a použité měřicí přístroje jsou umístěny 10 cm nad kovovou deskou (Cu, Al) s minimální plochou 1 m² na

dřevěném stole. Kovová deska je přitom spojena s referenční zemí celého systému. Vzdálenost zkoušeného zařízení od všech ostatních vodivých stěn musí být větší než 0,5 m. Zkušební generátor ZG je s vazebním/oddělovacím obvodem CDN spojen kabelem kratším než 1 m a též síťový přívod od zkoušeného objektu ZO k obvodu CDN nesmí být delší než 1 m. Při větších délkách musí být kabely meandrovitě složeny, přičemž délka meandru nesmí přesáhnout 0,4 m. Případné kontrolní zařízení KZ (obr. 12) sleduje zvolené funkční parametry zkoušeného objektu v průběhu a po ukončení zkoušky.“



Obr. 12 Uspořádání zkušebního pracoviště EMS (ZG – zkušební generátor; CDN – vaz./odd. obvod; ZO – zkoušený objekt; KZ – kontrolní zařízení) [1]

2.5 Závěr elektromagnetické kompatibility

Elektrické zařízení může být samo o sobě velmi spolehlivé. V praxi však existuje spousta zdrojů rušení, jejichž kmitočtové pásmo se pohybuje prakticky od 1 Hz až do stovek GHz. A pokud systém nebude dostatečně elektromagneticky kompatibilní v daném prostředí, může být v praxi nepoužitelný. Jako příklad můžu uvést, že řídicí a měřicí ústředna pracující se signály nízké úrovně v mV a μA je spojena kabely, které nesou tyto signály, s měřicími čidly ve výrobních halách, kde se nachází spousta dalších elektronických zařízení čili zdrojů rušení. Pokud se v těchto rušivých polích do přívodních kabelů naindukuje napětí, které může být velké až několik desítek či stovek voltů. Můžou být tyto parazitní signály vyhodnoceny jako informace z technologického procesu a

způsobit chybný zásah spojený s nebezpečím havárie, ale i ohrožením života nebo zdraví lidí. [1]

Některé příklady, kdy porušení EMC mělo za následek tragickou nehodu, uvádí pan Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc. ve svých skriptech Elektromagnetická kompatibilita: „V zahraničním odborném tisku byla publikována řada příkladů, kdy nedodržení požadavků EMC mělo katastrofální následky:

- *Zničení stíhacího letounu NATO typu Tornado v roce 1984. Příčinou bylo rušení elektronického řídicího systému letadla elektromagnetickým vlněním. Letadlo letělo ve výšce 230 m rychlostí 800 km/hod. nad vysílačem velkého výkonu v Holkirchenu u Mnichova v SRN. V důsledku selhání automatického systému řízení se letadlo zřítilo. Hmotná škoda byla 100 miliónů marek.*
- *Potopení britského křižníku Sheffield roku 1982 ve falklandské válce argentinským letadlem. Příčinou bylo nedodržení EMC mezi komunikačním zařízením lodi a jejím rádiovým obranným protiletadlovým systémem určeným k rušení cílové navigace nepřátelských raket. Tento systém způsoboval tak velké poruchy při vlastní rádiové komunikaci křižníku, že musel být během rádiového spojení lodi s velitelstvím ve Velké Británii vypínán. A právě v takovém okamžiku odpálilo argentinské letadlo raketu Exocet, která křižník potopila. Dvacet lidí přišlo o život.*
- *Havárie rakety typu Pershing II v SRN v důsledku elektrostatického výboje. Při převozu rakety byl její pohon neúmyslně odpálen elektrostatickou elektřinou z okolní bouřky.*
- *Havárie v hutích na východě USA v roce 1983. Příčinou havárie bylo rušení mikroprocesorového systému řízení jeřábu přenášejícího pánev s tekutou ocelí příruční vf. vysílačkou. Lící pánev se předčasně převrhla a rozžhavený kov zabil na místě jednoho dělníka a čtyři další vážně zranil.“*

Znalostí z celé této kapitoly o EMC jsem využil při prováděných měřeních v dalších částech mé práce.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 ÚČINKY SVĚTLA NA DETEKTOR

Světlo je elektromagnetické záření s vlnovou délkou v rozmezí 400 – 750nm. A jako takové při dopadu svou energii neztrácí, ale přeměňuje na jinou energii, většinou teplo. Proto jsem provedl sérii pokusů, za účelem vyvolání falešného poplachu za pomoci světelného zdroje.

Všechny měření jsem prováděl pro oba detektory uvedené v kapitole 4 na obr. 14.

3.1 Výroba přenosného napájecího zdroje

Jelikož jsem tyto měření prováděl mimo laboratoře, musel jsem vyřešit přenosný způsob napájení detektoru. Nakonec jsem se i z ekonomických důvodů rozhodl pro zakoupení dvou plochých 4,5 V a dvou 1,5 V baterií, které jsem k sobě připájel do série tak, aby bylo výsledné napětí potřebných 12 V. Celý zdroj je vidět na obr. 13.



Obr. 13 Přenosný napájecí zdroj – vlastní zdroj

3.2 Falešné poplachy způsobené bleskem fotoaparátu

Původní myšlenkou bakalářské práce bylo otestovat PIR detektory, jestli nebudou reagovat na blesk fotoaparátu. Poté zjistit, čím je falešný poplach vyvolán. Jestli intenzivním zdrojem světla či frekvenční charakteristikou blesku, která by působila na pyroelement. Oba dva PIR detektory jsem testoval různými druhy fotoaparátů s jinými blesky a ani jednou nedošlo k falešnému poplachu. Testování jsem prováděl ve tmě, aby byl větší světelný rozdíl při blesknutí.

Z toho vyplývá, že alespoň tyto dva PIR detektory jsou odolné proti falešným poplachům způsobených bleskem fotoaparátu.

3.3 Rušení PIR detektoru pomocí zářivky

Zářivku jsem umístil přibližně půl metru od detektoru a blikáním jsem se pokoušel vyvolat falešný poplach. Ale ten se mi nepodařilo způsobit pomocí rychlého blikání. K falešnému poplachu docházelo pouze, když jsem nechal zářivku déle svítit, anebo naopak po delším svícení jí vypnul.

To znamená, že do poplachového stavu detektor nebyl uveden světelným elektromagnetickým zářením, ale doprovodným tepelným zahříváním či ochlazením zářivky.

3.4 Rušení PIR detektoru pomocí světlometu od automobilu

První sem prováděl měření „v klidu“. Auto stálo na místě přibližně 1,5m od PIR detektoru. Jehož detekční pásmo bylo přímo namířené na jeden světlomet. Poté jsem postupně blikal se světly normálními i dálkovými a pozoroval, jak na ně bude detektor reagovat.

Oba detektory se chovaly velmi podobně. Pouhé blikání je do poplachového stavu neuvádělo. Opět byl falešný poplach vyvolán pouze teplotní změnou světlometu. Čili jen ve chvílích, kdy jsem nechal studené světlo delší dobu svítit, anebo zahřáté světlo delší dobu chladnout.

Druhé prováděné měření bylo „v pohybu“. Auto se zapnutými světly jsem roztlačil tak, aby projelo detekčním polem detektoru a ozářilo ho. Auto nemělo nastartovaný motor a tak nemohl být falešný poplach vyvolán jeho zahříváním. Jelikož jsem auto nechal

projíždět přibližně 2 m od detektoru, byl poplach vyvolán vždy. Ale ze zkušeností z předešlých měření vyvozují, že poplach nebyl vyvolán světelným ozářením detektoru, ale tím že detekčním polem se pohyboval zahřátý objekt – světlomet od auta.

3.5 Závěr pro rušení světelnými zdroji

Z provedených měření vyplývá, že běžné světelné zdroje nevyvolávají falešný poplach pomocí elektromagnetického vlnění ve vlnové délce viditelného světla (400 – 750nm). Ale svým doprovodným tepelným zářením.

Na principu snímání tepla však PIR detektory pracují, a proto se proti takto vyvolaným poplachům bráníme jiným způsobem než filtrací. Například se neinstalují naproti oknům, tím se vyhneme falešným poplachům způsobenými Sluncem, nebo právě světlometry automobilů. Proti nepohybujícím se objektům vyzařující tepelné záření se využívá dvojitého pyroelementů, které jsem popsal v kapitole 1.1.3.2.

I přesto způsobené poplachu nepohybujícími se objekty, si vysvětlují tím, že sem musel provádět měření zdrojů světla od detektoru ve velké blízkosti, abych vůbec dostal nějaké výsledky. Světelný zdroj tak sahá do velkého počtu zón a jeho nestejněměrné zahřívání a tepelné sálání může z tak krátké vzdálenosti způsobit falešné poplachu.

Proto není vhodné, aby PIR detektory byly nainstalovány v blízkosti těchto světelných zdrojů či na ně přímo namířené.

4 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ (PO VEDENÍ)

Měření jsem prováděl na dvou PIR detektorech. Jeden novější od firmy PARADOX a na druhém trochu starším typu detektoru, jehož výrobce se mi bohužel nepodařilo zjistit. Oba detektory jsou na Obr. 14. A už podle konstrukčního provedení jde vidět, že vpravo je starší detektor a dají se od něj čekat horší výsledky než od detektoru PARADOX. Na obr. 17 jsou také vidět plošné spoje těchto detektorů.



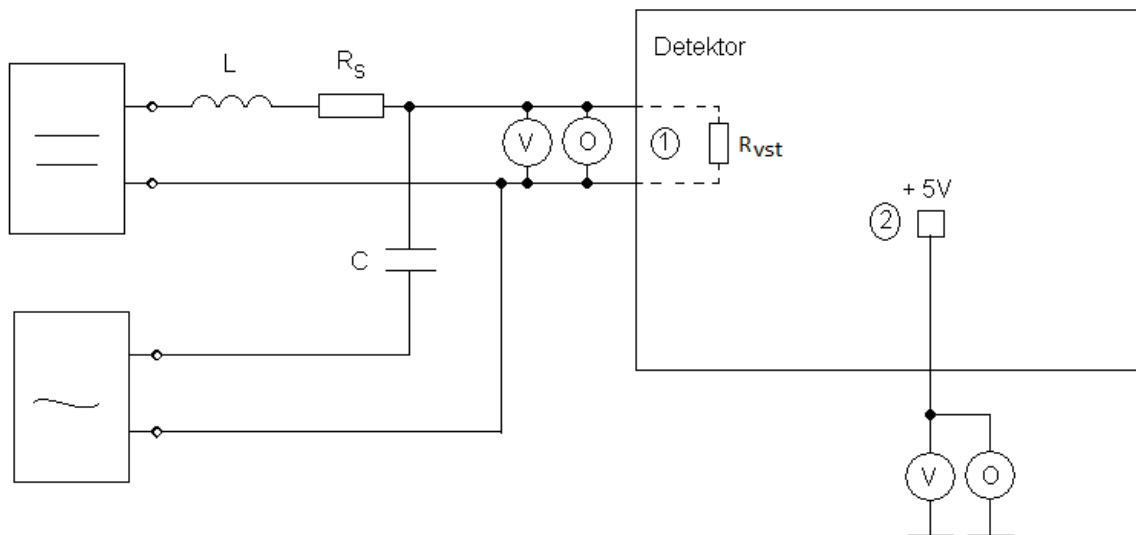
Obr. 14 Zkoušené PIR detektory (vlevo- novější PARADOX; vpravo – starší typ) – vlastní zdroj

Na obou detektorech jsem provedl sérii měření. Změřil odpor poplachové smyčky detektoru v klidovém i poplachovém stavu, dobu poplachového impulsu a hlavně vliv rušivých elektromagnetických signálů po napájecím vedení na detektor, tím zjistil, jak účinné jsou vstupní napájecí filtry obou detektorů.

4.1 Popis přípravy měření

Největší příprava musela proběhnout u měření vlivu rušivých signálů po napájecím vedení na detektor, protože jak je už zmíněno v kapitole 2.4 o vazebních/oddělovacích obvodech, je nutné pro přivedení rušivého signálu do zkoušeného zařízení použít vazební a oddělovací obvody. Tento obvod jsem si pro měření navrhnul, vypočítal hodnotu součástek a v laboratořích sestrojil.

Návrh vazebního a oddělovacího obvodu je vidět na obr. 15, při návrhu je potřeba vypočítat hodnotu indukčnosti cívky (L) a kapacitu kondenzátoru (C). Tak aby se splňovali podmínky z kapitoly 2.4.



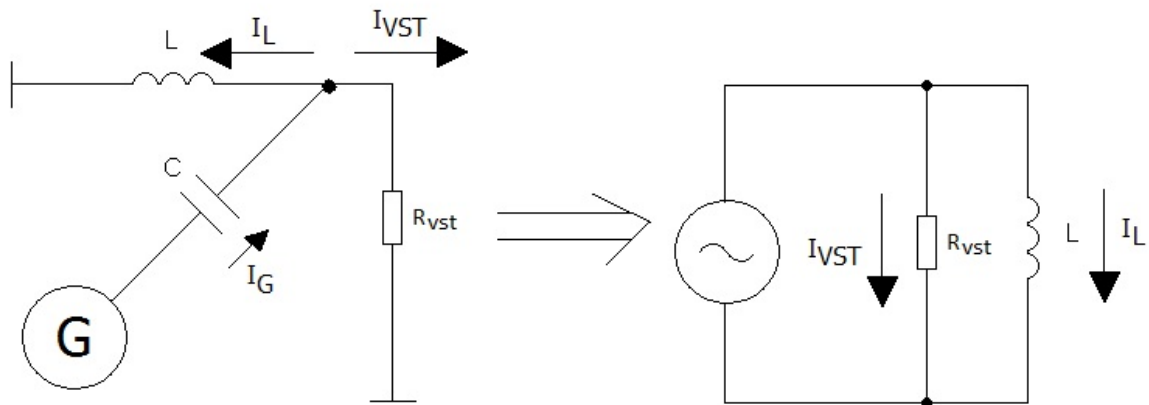
Obr. 15 Návrh vazebního a oddělovacího obvodu – vlastní zdroj

Nejčastější rušivé signály po vedení mívají frekvenční rozsah o velikosti:

$f = \langle 1-10 \text{ kHz}; 10 \text{ MHz} \rangle$. Pro testování detektorů pohybu jsou důležitější menší frekvence. Testovaný rozsah jsem tedy zvolil od 1-10 kHz.

4.1.1 Návrh cívky L

Cívka má v obvodu za funkci, aby rušivý signál přivedený na napájecí vedení, šel do zkoumaného detektoru a ne zpětnou cestou do napájecího zdroje. Z Ohmova zákona pak vyplývá, že R_{VST} musí být mnohokrát menší než reaktance cívky X_L .



Obr. 16 Návrh cívky – vlastní zdroj

Výpočet indukčnosti L pro $f = 1$ kHz:

$$\begin{aligned}
 I_{VST} \gg I_L & & L \gg \frac{R_{VST}}{\omega} & = \frac{1000}{2\pi \cdot 1000} = \frac{1}{2\pi} & (2) \\
 R_{VST} \ll X_L & & & & \\
 R_{VST} \ll \omega L & & L \geq 0,167 H & &
 \end{aligned}$$

Výpočet pro $f = 10$ kHz je totožný a indukčnost je: $L \geq 0,0167 H$

U cívky je problém s vypočítanou hodnotou v tom, že se jedná o poměrně velkou cívku, kterou si musím vyrobit. Abych potřebnou indukčnost snížil, budu uvažovat frekvenci 10 kHz a ještě přidám předřadný odpor 100Ω .

4.1.2 Návrh kondenzátoru C

Podobně jako na cívku, jsou i na kondenzátor kladeny určité požadavky. První je, že má zabraňovat stejnosměrnému napájecímu napětí, aby šlo do generátoru. Dalším požadavkem je, aby reaktance kondenzátoru X_C byla o mnoho menší než vstupní odpor detektoru R_{VST} , aby dělič napětí tvořený kondenzátorem C a vstupním odporem R_{VST} přenášel střídavé napětí z generátoru s přibližně jednotkovým přenosem.

Matematicky lze tuto podmínku zapsat jako

$$X_C \ll R_{VST}$$
$$\frac{1}{\omega C} \ll R_{VST}$$

Výpočet kapacity C pro $f = 1\text{kHz}$:

$$C \gg \frac{1}{\omega \cdot R_{VST}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 1000} \quad (3)$$

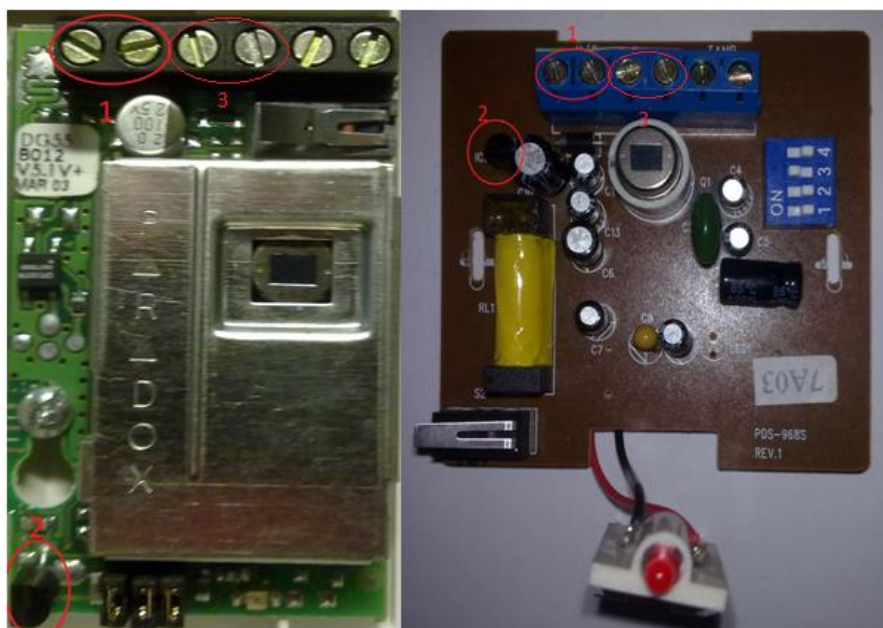
$$C = 167\text{ nF}$$

Výpočet pro $f = 1\text{ Hz}$ je totožný a kapacita je: $C = 16,7\text{ }\mu\text{F}$

U kondenzátoru není žádný problém s velikostí vypočítané hodnoty.

4.2 Popis měření

Na každém PIR detektor jsem provedl několik různých měření. Nejdřív ale bylo nejdůležitější se s oběma detektory seznámit a rozebrat je, abych měl přístup k jejich hlavním částem. Pro ukázkou se na ně můžete podívat na obr. 17.



Obr. 17 Plošné spoje obou detektorů (vlevo – Paradox; vpravo – starší typ) – vlastní zdroj

4.2.1 Měření vlastností poplachové smyčky

Svorky poplachových vstupů jsou na obr. 17 označeny číslem 1. U poplachové smyčky jsem měřil velikost odporu v klidovém a poplachovém stavu. Z toho jde určit, o jaký typ smyčky se jedná u daného detektoru. Dále jsem změřil délku poplachového impulsu.

Měření odporu poplachové smyčky se musí provádět, je-li detektor v provozu, tzn. pod napájecím napětím. Čili na napájecí svorky jsem přivedl 12V a na svorky s poplachovou smyčkou připojil ohmmetr. Poté jsem nesměřoval PIR senzor do volného prostoru, kde nebyl žádný pohyb. Nechal ho uklidnit, aby byla smyčka v klidovém stavu. Na ohmmetru přečetl hodnotu odporu poplachové smyčky a zapsal si jí. Dále jsem rukou vyvolal poplach (mávnutím před pyroelementem). Počkal, až se na ohmmetru ustálí hodnota odporu a zapsal si jí.

Měření doby poplachové impulsu jsem pak provedl stopkami. Postupoval jsem stejně jako v minulém případě. Akorát jsem měřil čas, od doby kdy se po vyvolání poplachu změnil odpor smyčky, až po dobu, kdy se změnil nazpátek.

4.2.2 Měření vlivu rušivých elektromagnetických signálů po napájecím vedení

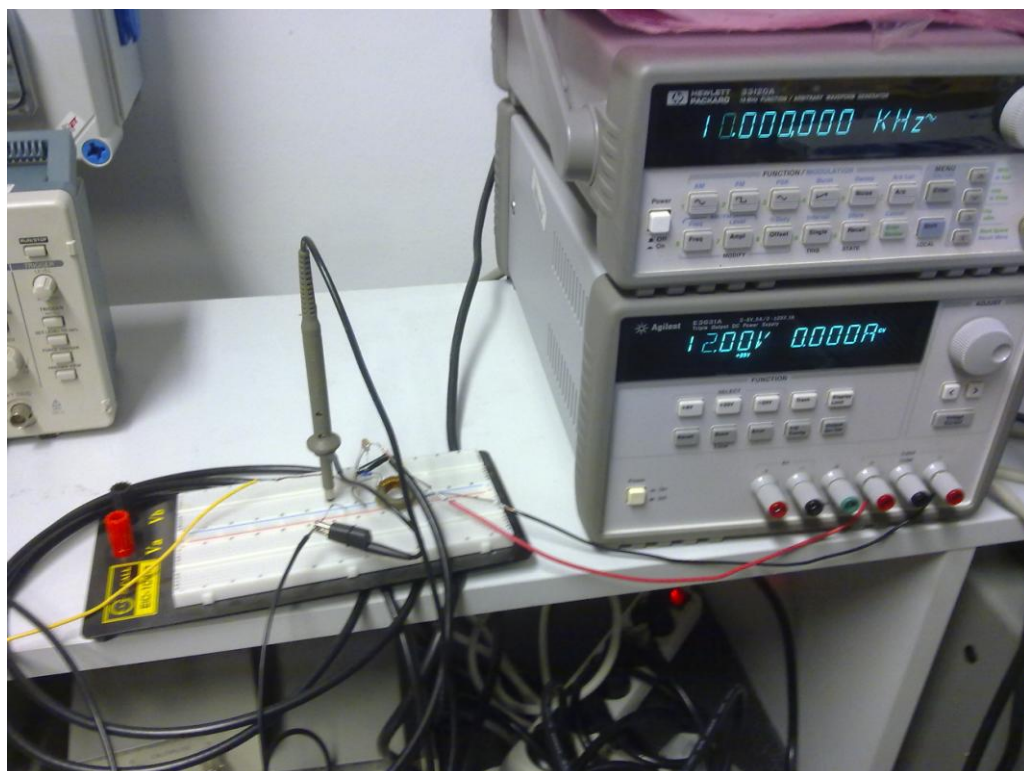
Tohle je to nejdůležitější měření v celé kapitole, neboť předešlé měření sloužili převážně k seznámení se s vlastnostmi zkoumaného detektoru.

Ze začátku je nutné si stanovit měřící body na obou detektorech. Tyto body jsou vyznačeny ve schématu na obr. 15 body 1 a 2.

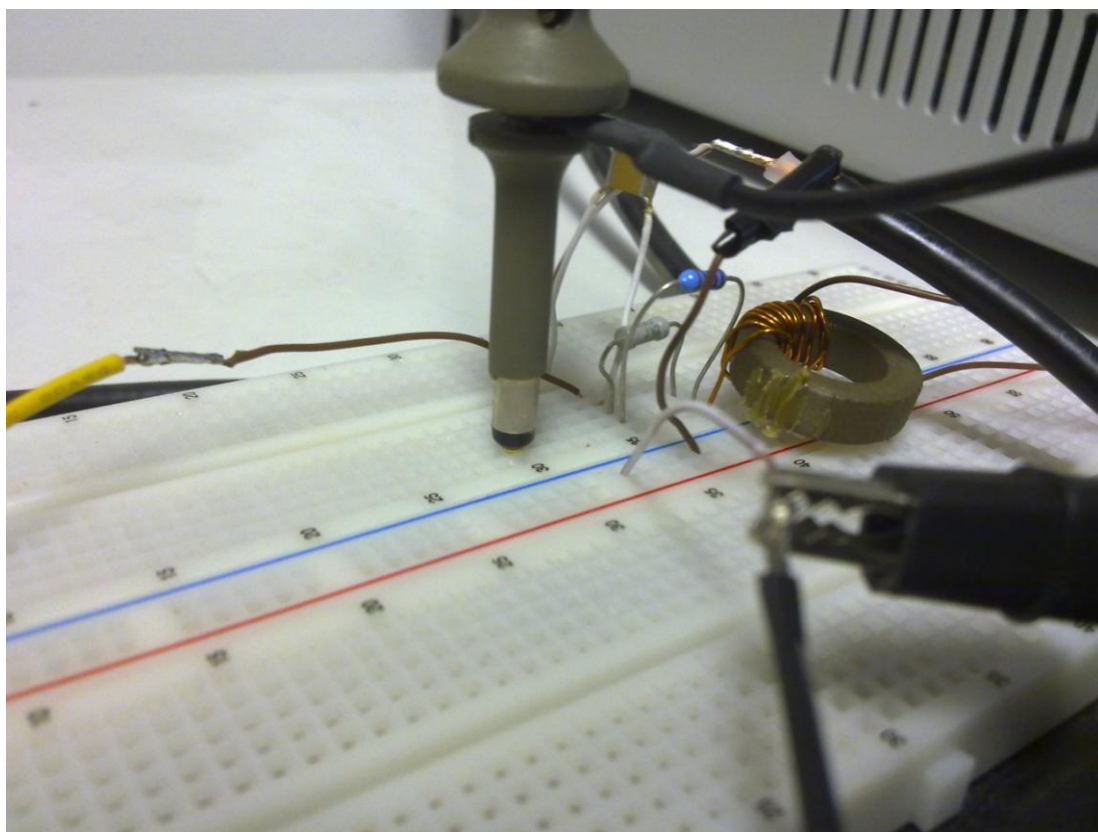
Bod 1 jsou napájecí svorky na detektoru (na obr. 17 jsou označeny č. 3). Velikost rušivého signálu sice nastavujeme na generátoru. Ale když jde rušivý signál vazebním a oddělovacím obvodem, tak dochází k jeho tlumení. Proto v bodě 1 měříme skutečnou velikost rušivého signálu, který vstupuje do detektoru.

Bod 2 je stabilizátor elektrického napětí, na obr. 17 ho máme označen č. 2. Po vstupu do detektoru, prochází rušivý proud filtračními obvody a stabilizuje se na stabilizátoru 5V. Osciloskopem na tomto stabilizátoru měříme, jak velký rušivý signál prošel přes filtrační obvody.

Podle schéma na obr. 15 jsem sestavil měřící obvod. Ten je vidět na obr. 18 a obr. 19.



Obr. 18 Zapojení napájecího obvodu i s napájecím zdrojem a generátorem rušivých signálů
– vlastní zdroj



Obr. 19 Detail napájecího obvodu – vlastní zdroj

Při měření jsem už jen nastavoval měřenou frekvenci a zapisoval hodnotu rušivých signálů v bodech 1 a 2.

Napětový přenos (A_u) jsem počítal podle vzorce:

$$A_u = \frac{U_{výstup}}{U_{vstup}} \quad (4)$$

Napětový přenos v dB (A_u [dB]) jsem počítal podle vzorce:

$$A_u[dB] = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{výstup}}{U_{vstup}}\right) \quad (5)$$

4.3 Výsledky měření

4.3.1 Výsledky měření vlastností poplachové smyčky

Výsledky detektoru PARADOX:

Odpor poplachové smyčky v normálním stavu:	6 Ω
Odpor poplachové smyčky v poplachovém stavu:	Rozepnuto
Doba trvání poruchového impulsu:	3 - 4s

Výsledky detektoru staršího typu:

Odpor poplachové smyčky v normálním stavu:	0,3 Ω
Odpor poplachové smyčky v poplachovém stavu:	Rozepnuto
Doba trvání poruchového impulsu:	7s

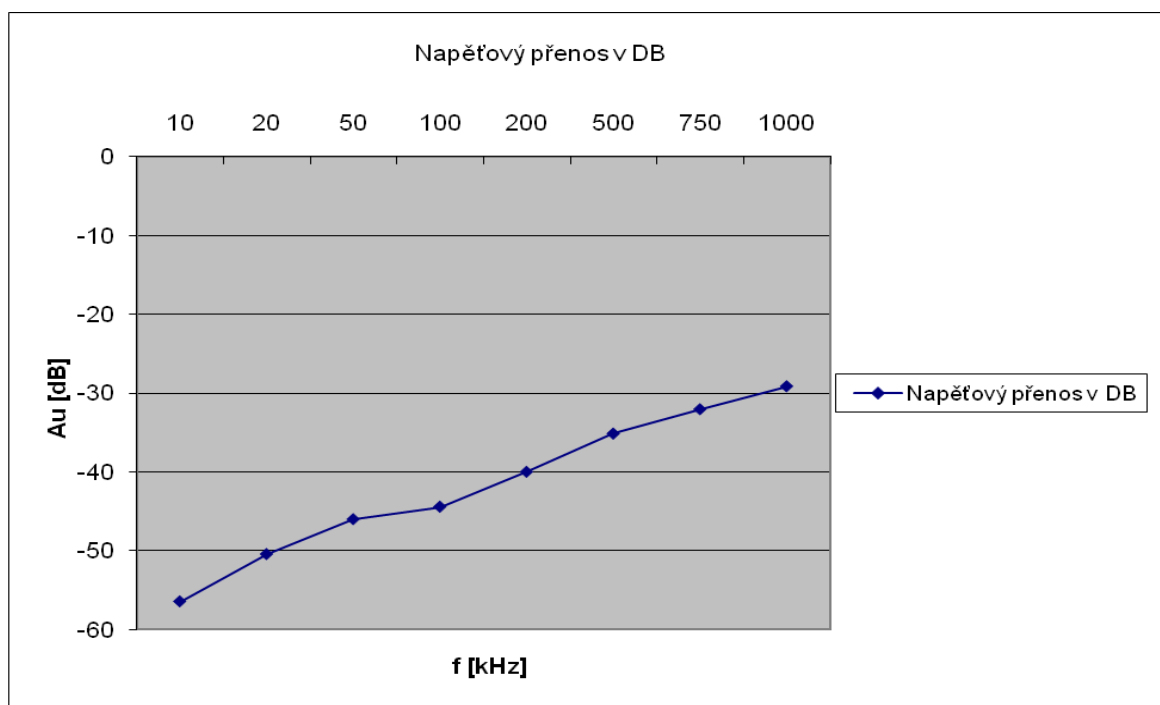
4.3.2 Výsledky měření vlivu rušivých elektromagnetických signálů po napájecím vedení

Výsledky detektoru PARADOX:

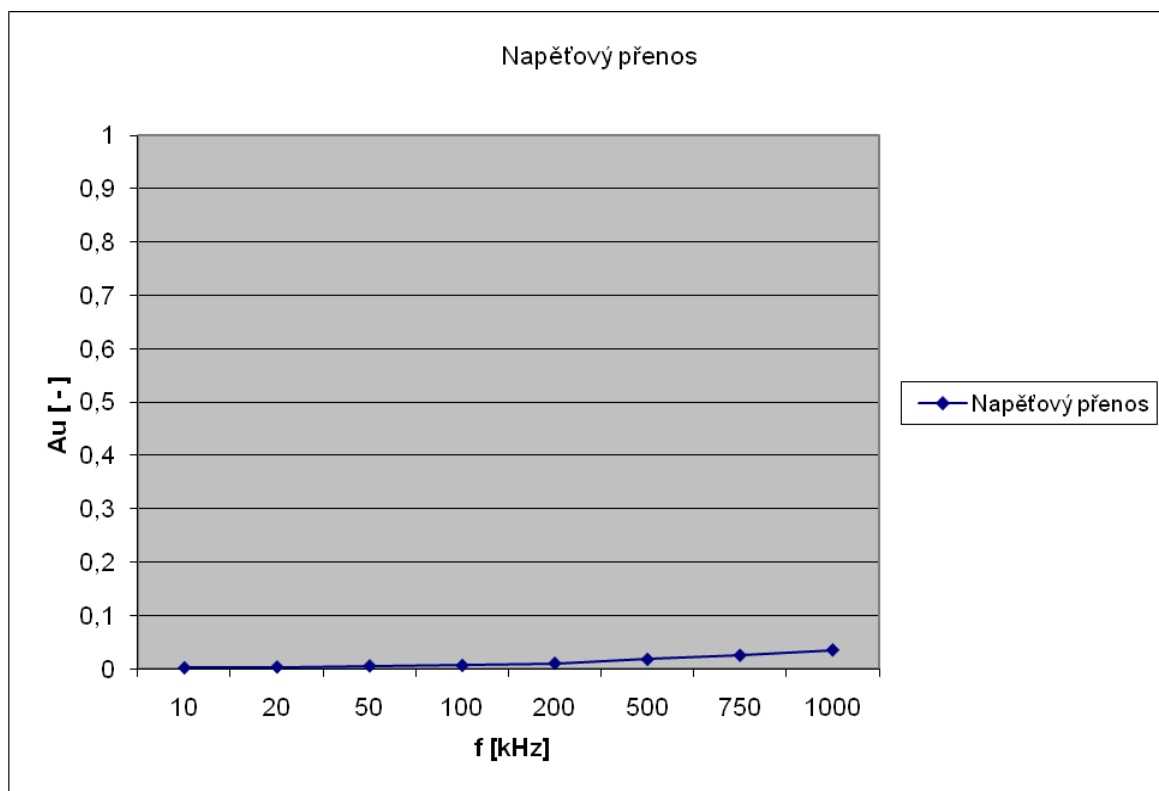
Napájecí napětí: 12 V

f [kHz]	U _{vstup} [V]	U _{výstup} [mV]	A _u [-]	A _u [dB]
10	4	6	0,0015	-56,4782
20	4	12	0,003	-50,4576
50	4	20	0,005	-46,0206
100	4	24	0,006	-44,437
200	4	40	0,01	-40
500	4	70	0,0175	-35,1392
750	4	100	0,025	-32,0412
1000	4	140	0,035	-29,1186

Tab. 2 Výsledky měření pro detektor PARADOX – vlastní zdroj



Obr. 20 Graf napěťového přenosu detektoru PARADOX v DB – vlastní zdroj



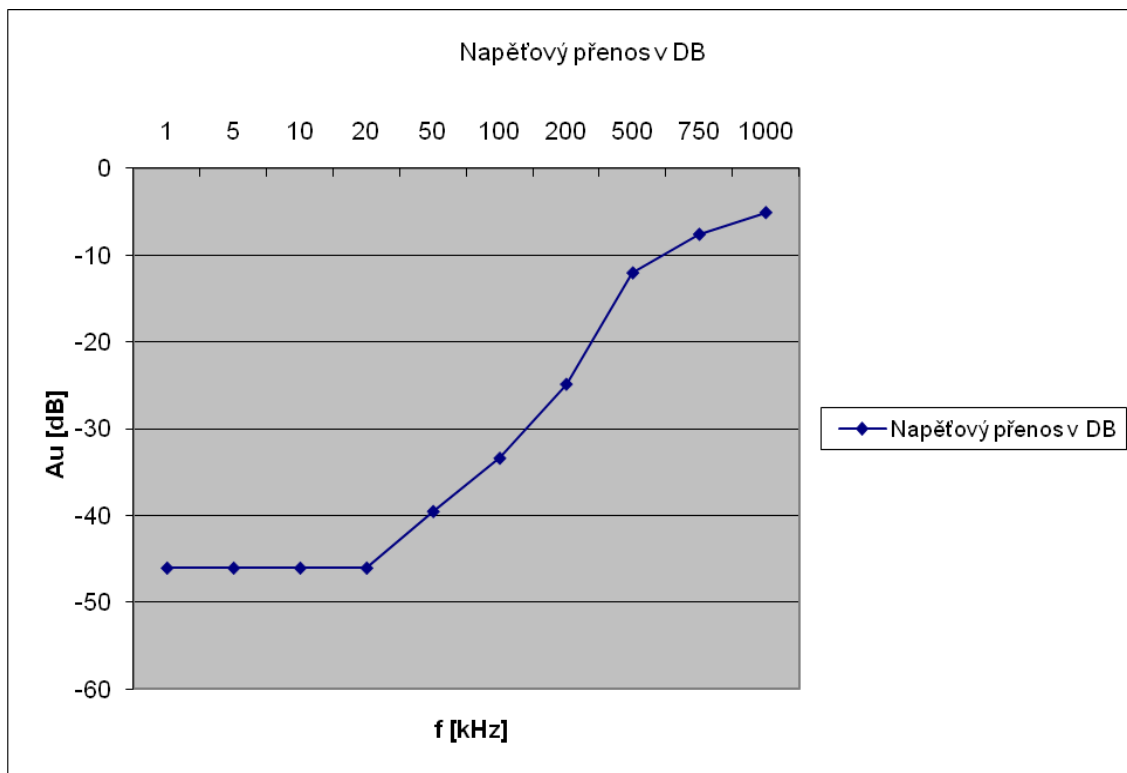
Obr. 21 Graf napěťového přenosu detektoru PARADOX – vlastní zdroj

Výsledky detektoru staršího typu:

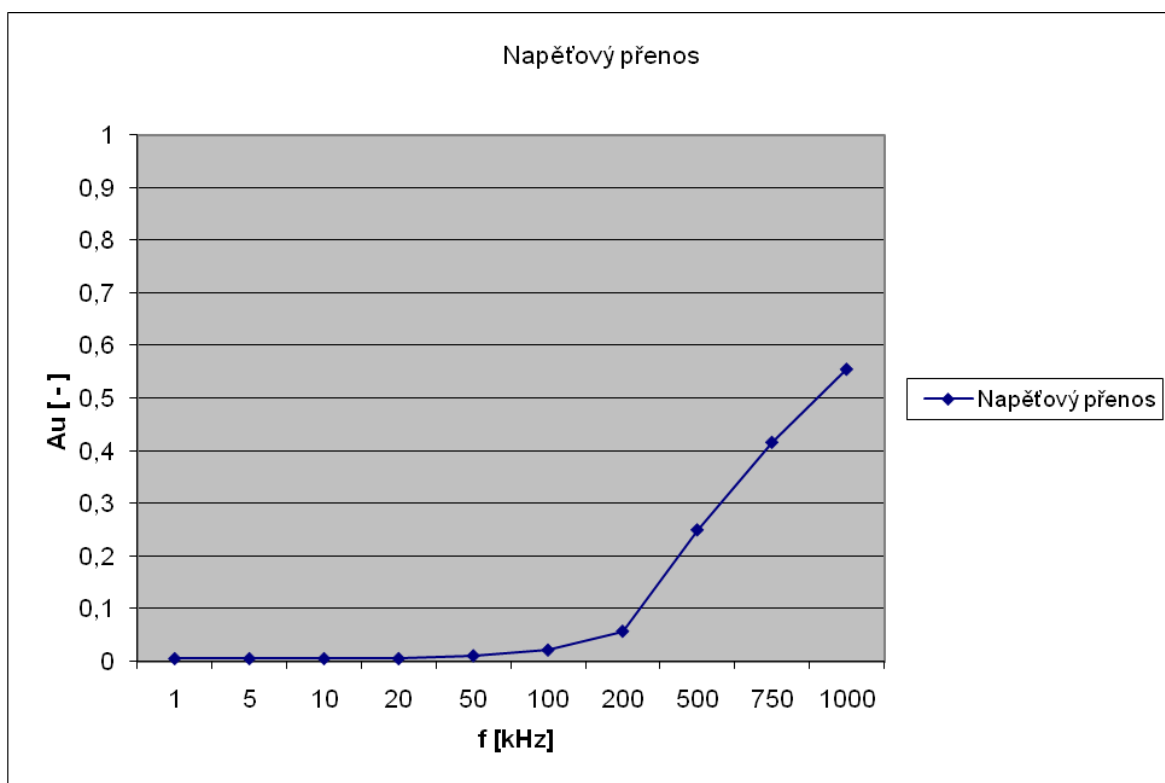
Napájecí napětí: 12 V

f [kHz]	Uvstup [V]	Uvýstup [mV]	Au [-]	Au [dB]
1	4	20	0,005	-46,0206
5	4	20	0,005	-46,0206
10	4	20	0,005	-46,0206
20	4	20	0,005	-46,0206
50	3,4	36	0,010588	-39,5035
100	2,8	60	0,021429	-33,3801
200	1,4	80	0,057143	-24,8608
500	0,4	100	0,25	-12,0412
750	0,36	150	0,416667	-7,60422
1000	0,36	200	0,555556	-5,10545

Tab. 3 Výsledky měření pro detektor staršího typu – vlastní zdroj

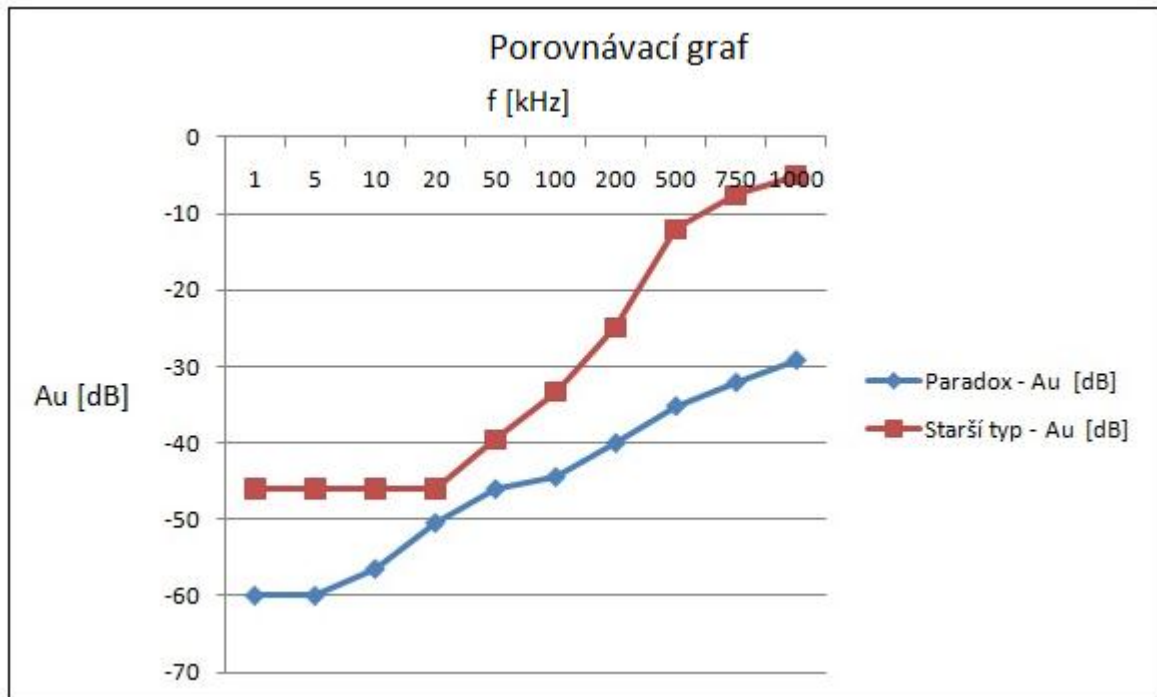


Obr. 22 Graf napěťového přenosu detektoru staršího typu v DB – vlastní zdroj



Obr. 23 Graf napěťového přenosu detektoru staršího typu – vlastní zdroj

Porovnání:



Obr. 24 Spojené grafy obou detektorů pro porovnání – vlastní zdroj

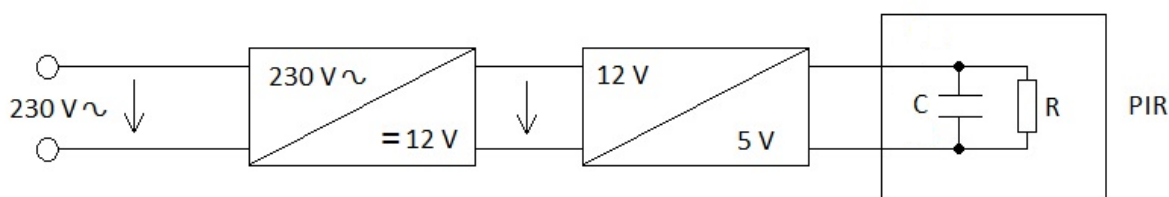
U detektoru PARADOX jsem měření rušivých signálů prováděl až od 10 kHz, neboť při nižších kmitočtech byli naměřené hodnoty tak malé, že na osciloskopu nebyly měřitelné. A při tvoření porovnávacího grafu sem u kmitočtů 1 a 5 kHz uvažoval s teoretickým potlačením – 60 dB. Z uvedeného vyplývá, že pro nižší kmitočty dopadl lépe než starší typ detektoru, kde byli rušivé signály měřitelné už od 1 kHz.

Jak je vidět v grafu na obr. 24, tak pro vyšší kmitočty opět dopadl lépe detektor PARADOX. Jehož potlačení se sice zhoršovalo, ale jen mírně. Zatímco u staršího typu, kde se graf napěťového přenosu zhoršuje téměř exponenciálně. A při vysokých kmitočtech už rušivé signály byly tlumeny jen minimálně. Pro představu, když jsme při frekvenci 1MHz měli na vstupu amplitudu 360 mV, tak na stabilizátoru (výstupu) jsme naměřili amplitudu 200 mV. Což představuje potlačení pouhých – 5 dB.

Praktická měření potvrdila můj předpoklad, že novější detektor PARADOX bude mít lepší vstupní filtry. A lépe potlačovat rušivé signály po napájecím vedení.

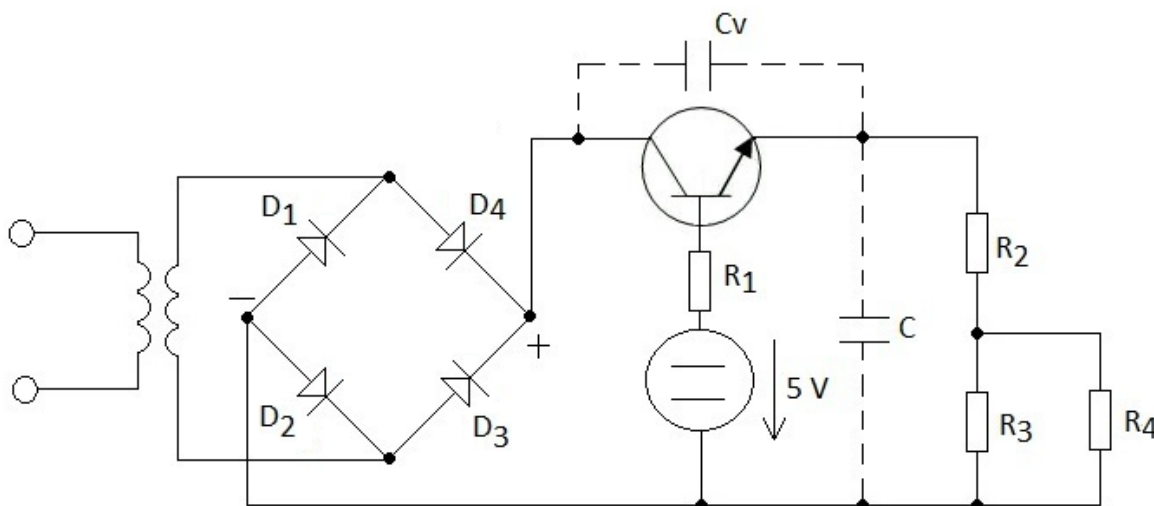
5 FILTROVÁNÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ U PIR DETEKTORŮ

Blokové schéma napájecí části detektoru můžeme vidět na obr. 25. Na síťové napětí 230 V se může vlivem rušivých signálů naindukovat rušivé napětí velkých impulsů (až 1000 V). K první filtraci dochází v bloku jedna (zleva), kterým je transformátor. Ten síťové střídavé napětí 230 V transformuje a usměrňuje na stejnosměrné napětí 12 V. Tlumení napájecího i rušivého signálu tedy přibližně odpovídá -25 dB. Druhý blok představuje napájecí cestu uvnitř detektoru k sériovému stabilizátoru napětí 5 V. V něm se můžou napájecí filtry lišit podle typu detektoru, předpokládáme však tlumení -40 dB.



Obr. 25 Blokové schéma napájení detektoru – vlastní zdroj

Na obr. 26 máme zjednodušené schéma napájení detektoru. Třetí blok odpovídá přenosu na vstup obvodu PIR. Protože přes stabilizátor tvořený tranzistorem dochází k velkému potlačení (až -80 dB) bude se přenos hlavně u starších PIR detektorů bez kapacitního stínění uskutečňovat pomocí kapacitní vazby, kterou tvoří kondenzátory C a C_v , můžeme je vidět na obr. 26. Tento přeslech lze odhadnout na 40 dB.



Obr. 26 Zjednodušené schéma napájení detektoru – vlastní zdroj

Předpokládané teoretické potlačení všech 3 bloků je tedy -105 dB.

5.1 Odstup užitečného signálu od rušivého

Aby mohl být spolehlivě vyhlášen poplach PIR detektorem. Musí být užitečný poplachový signál minimálně 10x větší než rušivý signál. Proto v této kapitole budu zjišťovat, jak velký poplachový signál pyroelement vygeneruje při průchodu člověka detekční zónou. A přibližně jak velký rušivý signál po vedení se dostane až k pyroelementu. [2]

5.1.1 Signál vygenerovaný pyroelementem při pohybu člověka

Nejdříve musíme zjistit responsivitu pyroelementu, což je údaj, který uvádí kolik voltů pyroelement vygeneruje na jeden watt přijatého výkonu způsobeným elektromagnetickým zářením. V tab. 4 vidíme, že responsivita při frekvenci 10 Hz má hodnotu 300 V/W a rozměry 2 x 2 mm. [9]

HPS E09E	
element size	2 mm x 2 mm
aperture	5.0 ^{+0.5} mm
filter ³	Ge* or Si* (8–14 μm)
responsivity ^{1,2}	> 300 V/W
noise ¹	< 150 nV/√Hz
specific detectivity ^{1,2}	> 4 · 10 ⁸ cm√Hz/W
offset voltage	0.4–1.5 V
operating voltage	2–18 V
housing	TO 39
operating temperature	–20 to 60 °C
storage temperature	–20 to 60 °C

1) frequency: 10 Hz, detector temperature: 25 °C
2) blackbody source temperature: 500 K, filter transmission: 100 %
3) other filters on request

Tab. 4 Vlastnosti pyroelementu HPS E09E [9]

Víme, že člověk jako tepelný zdroj vyzařuje infračervené záření. Výkon tohoto záření můžeme spočítat podle vztahu:

$$P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (6)$$

Kde: ϵ je poměrná emisivita vyzařování člověka a stanovujeme ji $\epsilon = 0,5$

σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta a její hodnota je $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

T je teplota člověka (35°C) v kelvinech $T = 308 \text{ K}$

Po dosazení do vzorce (6) vyjde $P = 255 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Pro usnadnění výpočtu budeme člověka považovat za jednotkovou plochu, která vyzařuje výkon 255 W , tedy $P_1 = 255 \text{ W}$ a $S_1 = 1 \text{ m}^2$.

Dále spočítáme velikost plochy pyroelementu, rozměry jsou v tab. 4:

$$S_2 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mm}^2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (7)$$

Ze vztahu (8) vypočítáme velikost výkonu, který dopadá na plochu pyroelementu:

$$\frac{P_2}{S_2} = \frac{P_1}{S_1} \Rightarrow P_2 = P_1 \cdot \frac{S_2}{S_1} = 255 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{1} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 1,02 \text{ mW} \quad (8)$$

Z tab. 4 víme, že responsivita pyroelementu je 300 V/W , z toho vyplývá, že na 1 W přijatého výkonu vygeneruje 300 V . Z trojčlenky jednoduše vypočítáme, kolik vygeneruje pro $1,02 \text{ mW}$ přijatého výkonu.

$$X = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{1} = 0,306 \text{ V} = \underline{\underline{306 \text{ mV}}} \quad (9)$$

Při průchodu člověka detekční zónou PIR detektoru, bude pyroelement generovat pulzy napětí o velikosti 306 mV .

5.1.2 Velikost rušivého signálu v pyroelementu

Na začátku 5. kapitoly jsem stanovil předpokládané celkové potlačení rušivých signálů všech 3 bloků, které vidíme na obr. 25, na $A_u [\text{dB}] = -105 \text{ dB}$. Předpokládejme, že se na napájecím vstupu 230 V naindukuje rušivý signál s amplitudou $u_{\text{vstup}} = 1000 \text{ V}$.

Jak velký rušivý signál se dostane až na výstup pyroelementu, se vypočítá následovně:

$$Au[dB] = 20 \cdot \log\left(\frac{u_{\text{Výstup}}}{u_{\text{Vstup}}}\right) \Rightarrow$$

$$u_{\text{Výstup}} = u_{\text{Vstup}} \cdot 10^{\frac{Au[dB]}{20}} = 1000 \cdot 10^{\frac{-105}{20}} = 5,62 \cdot 10^{-3} V = \underline{\underline{5,62 mV}} \quad (10)$$

Rušivý signál má na výstupu 5,62 mV, čili je 54x menší než signál, který vygeneruje pyroelement při pohybu člověka. V požadavcích na spolehlivé vyhlášení poplachu bylo, že užitečný signál musí mít odstup od rušivého minimálně desetinásobný. Tento požadavek je tedy splněný s velkou rezervou.

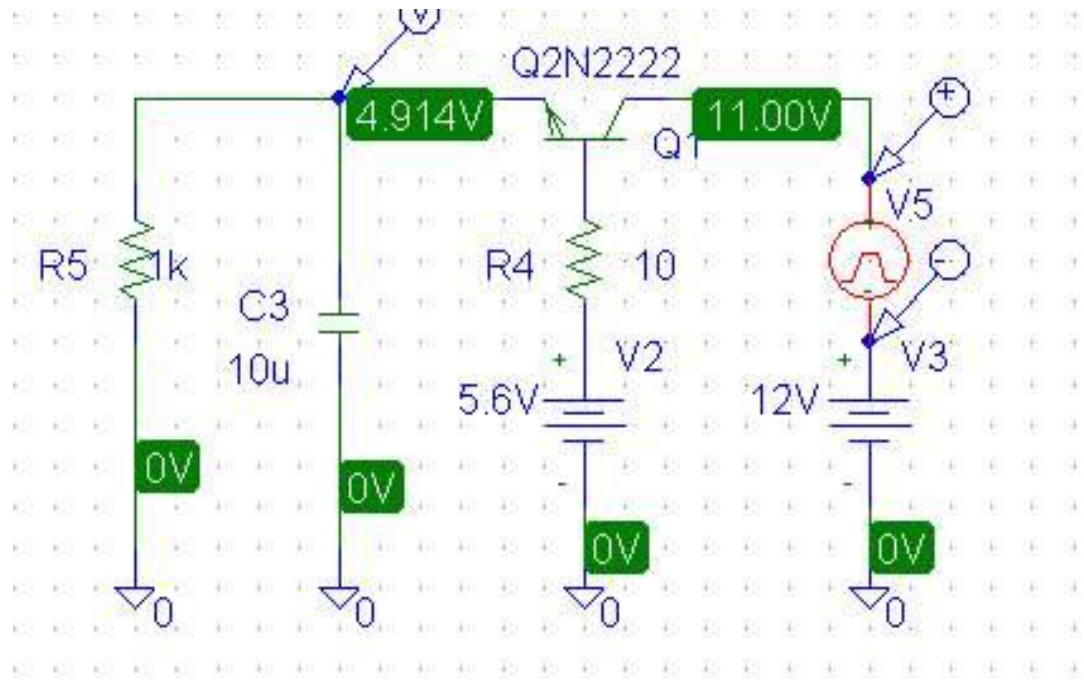
5.2 PSpice

Simulování chování obvodů PIR detektoru jsem prováděl v programu PSpice 9. Spice je počítačový simulační software analogových obvodů, který se vyvinul v sedmdesátých letech v Berkeley na Kalifornské Univerzitě. PSpice je jedním z mnoha komerčních odvozenin od Spice softwaru. Simuluje chování obvodu a vypočítává jeho elektrické charakteristiky. [11]

Simulace jsem prováděl pro poslední dva bloky, které můžeme vidět na obr. 25. Zaměřil jsem se tedy pouze na samostatnou filtraci uvnitř detektoru při napájení 12 V. Generování impulsů pyroelementem při pohybu pachatele detekční zónou nejčastěji odpovídá 100 ms. A proto rušivý signál o stejném kmitočtu bude nejkritičtější.

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,1} = 10 Hz \quad (11)$$

Kvůli tomu jsem za rušivé pulzy produkované generátorem V5 na obr. 27 zvolil signál o amplitudě 1 V s frekvencí 10 Hz.



Obr. 27 Zjednodušené náhradní schéma nakreslené v PSpice9 – vlastní zdroj

Vstupní rušivý signál tedy byl $u_1 \sim = \pm 1 \text{ V}$. Výstupní signál $u_2 \sim$ jsem měřil na odporu R5.

Měření jsem provedl bez kondenzátoru C3 a s ním. Zesílení $A_u[\text{dB}]$ jsem vypočítal podle vztahu (5).

Měření bez C3:

$$u_1 \sim = \pm 1 \text{ V}$$

$$u_2 \sim = \pm 1 \text{ mV}$$

$$A_u[\text{dB}] = 20 \cdot \log\left(\frac{u_2}{u_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{0,001}{1}\right) = \underline{\underline{-60\text{dB}}} \quad (12)$$

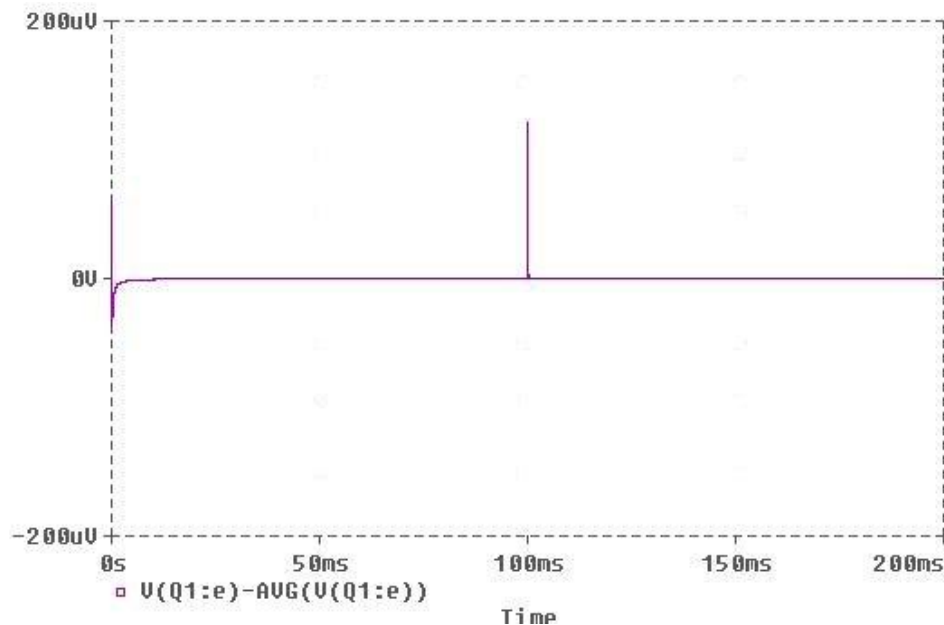
Měření s C3:

$$u_1 \sim = \pm 1 \text{ V}$$

$$u_2 \sim = \pm 100 \text{ } \mu\text{V}$$

$$A_u[\text{dB}] = 20 \cdot \log\left(\frac{u_2}{u_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{0,0001}{1}\right) = \underline{\underline{-80\text{dB}}} \quad (13)$$

Měření ukázalo, že nám přidání kapacity C3 zlepšil filtrační vlastnosti o 20 dB, protože potlačuje rušivé signály. Na obr. 28 můžeme vidět rušivý impulz na odporu R5.



Obr. 28 Impulz na výstupu náhradního schéma v programu PSpice9 – vlastní zdroj

Provedené simulace v programu PSpice nám potvrdili, že předpokládané teoretické potlačení na začátku 5. Kapitoly, byly stanoveny správně.

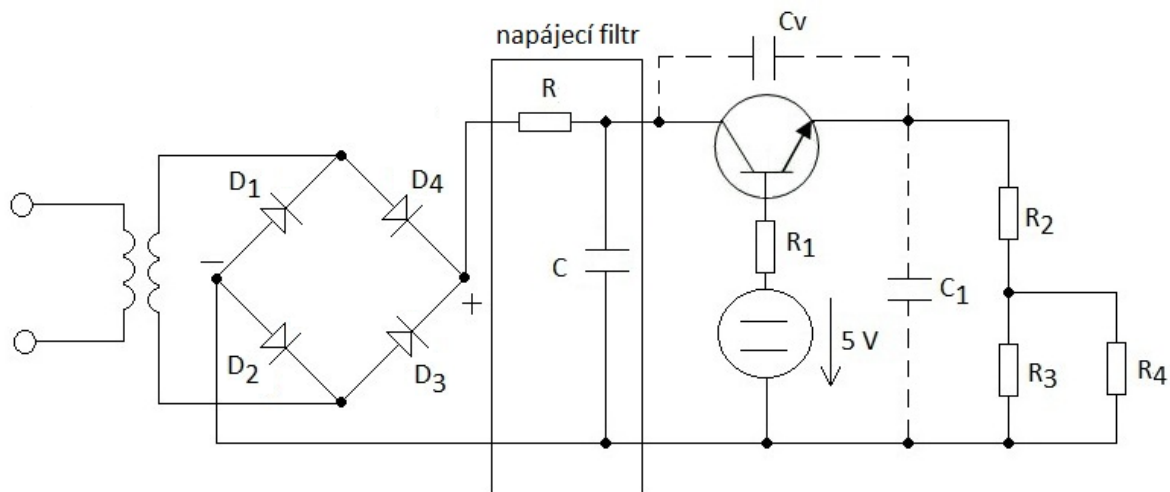
5.3 Návrh napájecího filtru

Jelikož nám i v předešlých simulacích vyšli filtrační vlastnosti PIR detektoru po napájecím vedení dostačující a to dokonce s rezervou, není nutné doplňování o další filtry. I proto, že PIR detektory ve většině případů nebývají vystaveny velkým zdrojům rušení, ale spíše jsou umístěny v domácnostech, na chodbách atd.

Pokud bychom však chtěli, tak napájecí filtr může být tvořen s RC článku a zapojení by vypadalo jako na obr. 29. Jak už sem zmínil, pohyb pachatele nejčastěji generuje signál okolo 10 Hz. A proto je u vyhodnocování poplachu nejkritičtější tato frekvence. Kvůli tomu mezní kmitočet f_m u RC článku musí být velmi malý.

Můžeme ho vypočítat se ze vztahu:

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (14)$$

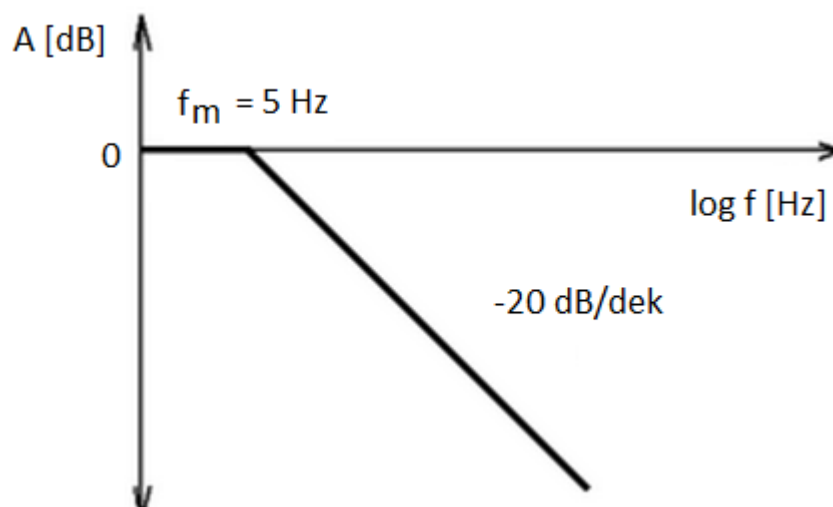


Obr. 29 Zapojení s napájecím filtrem – vlastní zdroj

Návrh RC článku:

Mezní kmitočet si zvolím na $f_m = 5 \text{ Hz}$. Kapacitu kondenzátoru na $C = 220 \mu\text{F}$. A ze vztahu (14) dopočítám velikost odporu $R = 144 \Omega$.

Přenosová charakteristika takto vzniklého článku jde vidět na obr. 30.



Obr. 30 Přenosová charakteristika RC článku – vlastní zdroj

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo otestovat elektromagnetickou odolnost PIR detektorů. To jsem provedl pomocí laboratorních měření a výsledky se pokusím shrnout zde. Ale nejdříve jsem se v teoretické části zaměřil na detektory pohybu a hlavně popsal princip PIR detektorů. V druhé kapitole jsem popsal problematiku elektromagnetické kompatibility a také proč je v dnešní době důležitá.

V praktické části jsem se nejdříve zaměřil na vyvolání poplachu za pomoci světelných zdrojů, protože i světlo je druh elektromagnetického záření. Z měření mi vyplívá, že elektromagnetické vlnění o vlnové délce viditelného světla (400 – 750nm) je dobře odfiltrované a pokud je PIR detektor uveden do poplachového stavu světelným zdrojem, je to kvůli zahřívání zdroje a s tím spojeným infračerveným zářením, na jehož detekci PIR detektory pracují, a proto ho nelze úplně odfiltrovat.

V další části bakalářské práce jsem zkoušel elektromagnetickou odolnost detektorů pohybu na rušení po vedení. Zde jsem do dvou typů detektorů pouštěl rušivý signál a sledoval, jak se na výstupu mění jejich schopnosti potlačení tohoto signálu, u kterého jsem měnil frekvenci. A výsledky obou detektorů pak porovnal. Při zvyšující se frekvenci docházelo k menšímu potlačení rušivého signálu u obou. Nebylo však žádným překvapením, že modernější typ detektoru (PARADOX) dopadl v tomto testu mnohem lépe.

V poslední kapitole své práce jsem počítal, jak přibližně velký poplachový signál pyroelement vygeneruje při průchodu člověka detekční zónou. Poté jsem podle předpokládaných filtračních vlastností PIR detektoru zhodnotil, jak velký rušivý signál po vedení se může dostat na výstup pyroelementu. Velikosti obou signálů jsem porovnal, a protože užitečný (poplachový) signál byl 54x větší než rušivý signál jsem usoudil, že jsou filtrační vlastnosti detektoru vyhovující, protože pro spolehlivé rozpoznání od rušivého musí být alespoň 10x větší. Přesto jsem navrhl jednoduchý RC filtr ke zlepšení filtračních vlastností.

PIR detektory nainstalované do bytů, baráků, prodejen, kanceláří a do podobných běžných míst, jsou tak velkému rušivému signálu po vedení, aby ovlivnilo jeho správnou funkci, vystaveny jen v ojedinělých případech (např. úder blesku). Čili falešné poplachy způsobené rušivými signály naindukovanými po napájecí síti jsou velmi výjimečné.

Můžeme se ale setkat i s prostředím, kde je toto nebezpečí daleko větší. A v něm se musí použít kvalitní PIR detektory s dobrými filtračními vlastnostmi.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this Bachelor's work was to test the electromagnetic immunity of PIR detectors. I've done it by laboratory measurements and the results, I'll try to summarize here. But first in the theoretical part, there I focused on motion detectors and mainly described the principle of PIR detectors. In the second chapter, there I described the problem of electromagnetic compatibility and why it is so important today as well.

In the practical part, there I first of all focused on the invocation of an alarm with the help of the light sources, because the light is also a kind of electromagnetic radiation. I did measuring and I found that the electromagnetic waves of wavelength of visible light (400-750nm) is well filtered and if a PIR detector is set to alarm state by light source, it happens when the light source warms up and emits infrared radiation, on which detection are PIR detectors working, so it cannot be filtered out.

In the next part of the Bachelor work, I tested the electromagnetic immunity of movement detectors. There I try send interfering signal into two types of detectors and I focus on output changes and ability of suppression of signal by the detectors, when I changed the frequency. Then I compare results of both detectors. In the test didn't surprise that the modern type of detector (PARADOX) did better than other one.

In the last chapter of this work, there I counted how big is alarm PIR sensing element generated when a person passes through the detection zone. The PIR has filtering properties which I have supposed in this work. According to them, I described the size of spurious signals that can be applied to the output of PIR sensing element. I compared the size of the both signals and useful (panic) signal was 54x greater than interfering signal. Therefore, the filter properties of the detector are reliable. A useful signal must be at least 10 times greater than the interfering to reliable alarm detection. Still, I designed a simple RC filter to improve the filtration performance.

PIR detectors installed in the apartments, houses, shops, offices, and in similar normal places, they are exhibited only occasionally by so large disturbing signal (e.g. lightning). Then the false alarms caused by disturbing signals which are induced after the power network, they are rather sporadic. But you can also find the environment where the danger is much greater. And there we have to use a high quality PIR detector with good filtering properties.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, J. Elektromagnetická kompatibilita, 2001. VUT Brno. ISBN 80-21418737.
- [2] FRADEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York : Springer, 2010. 489 s. ISBN :1441964657.
- [3] KŘEČEK, S. a kolektiv. Příručka zabezpečovací techniky, 2006. 350s. Nakladatelství Criterius. 3. vydání. ISBN 80-902938-2-4.
- [4] DOSTÁL, T., AXMAN, V. *Elektrické filtry*. Elektrické filtry. Brno: FEKT VUT, 2002. s. (129 s.)ISBN: REL 002.
- [5] BOR, Michal. *Možnosti ověření vlastností PIR detektorů* [online]. Zlín, 2010. 90 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky. Dostupné z WWW: <http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/13031/bor_2010_bp.pdf?sequence=1>.
- [6] SMĚTAL, Tomáš. *Trendy vývoje detektorů pohybu systémů EZS* [online]. Zlín, 2007. 77 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky. Dostupné z WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz/handle/10563/3265>>.
- [7] BARÁK, Petr. *Metody detekce pohybu v ochraně objektu* [online]. Zlín, 2010. 98 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky. Dostupné z WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz/handle/10563/13139>>.
- [8] DOLEČEK, Jaroslav. *MODERNÍ učebnice elektroniky 6. díl: Kmitočtové filtry, generátory signálů a převodníky dat*. Praha: BEN, 2009. 272 s. Dostupné z WWW: <<http://shop.ben.cz/cz/121298-moderni-ucebnice-elektroniky-6-dil.aspx>>. ISBN 978-80-7300-240-4.
- [9] *Www.heimanssensor.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Heimann Sensor. Dostupné z WWW: <http://www.heimanssensor.com/hpse09e_eng.pdf>.

- [10] HYSENI, Genc; CAKA, Nebi; HYSENI, Kujtim. *Advanced research in physics and engineering*. University of Cambridge, UK : WSEAS Press, 2010. Analysis of MWIR Infrared Pyroelectric Detectors Parameters, s. 161-166. ISBN 978-960-474-163-2.
- [11] NGUYE, Minh Anh . *Colorado State University* [online]. 2007 [cit. 2011-05-17]. PSpice tutorial. Dostupné z WWW: <<http://www.engr.colostate.edu/ECE562/Pspicetutorial.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CDN	Vazební/oddělovací obvod.
EMC	Elektromagnetická kompatibilita.
EMI	Elektromagnetická interference.
EMS	Elektromagnetická susceptibilita.
FET	Field effect transistor.
KZ	Kontrolní zařízení.
MW	Mikrovlnné detektory.
PIR	Pasivní infračervené detektory.
PZTS	Poplachový zabezpečovací a tísňový systém.
US	Ultrazvukové detektory.
VKV	Velmi krátké vlny.
ZG	Zkušební generátor.
ZO	Zkoušený objekt.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Spektrum elektromagnetického vlnění [6].....	11
Obr. 2 Princip metody Dopplerova jevu [6]	12
Obr. 3 Ukázka pyroelementu [7]	15
Obr. 4 Detekce dvojitým pyroelementem [5]	16
Obr. 5 Rozdělení do detekčních zón pomocí optiky PIR detektorů [7].....	17
Obr. 6 Ukázka Fresnelovy čočky [7]	18
Obr. 7 Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí [1].....	21
Obr. 8 Základní členění EMC [1]	22
Obr. 9 Periodický úzkopásmový (a) a širokopásmový (b) zkušební signál a jejich popis v časové a kmitočtové oblasti [1]	25
Obr. 10 Neperiodický úzkopásmový (a) a širokopásmový (b) zkušební signál a jejich popis v časové a kmitočtové oblasti [1]	26
Obr. 11 Kapacitní vazební a oddělovací obvod se vstupy pro symetrické, nesymetrické a asymetrické navázání zkušebního signálu do napájecího vedení (ZG – zkušební generátor; ZO – zkoušený objekt; CDN – vaz./odd. obvod) [1]	28
Obr. 12 Uspořádání zkušebního pracoviště EMS (ZG – zkušební generátor; CDN – vaz./odd. obvod; ZO – zkoušený objekt; KZ – kontrolní zařízení) [1]	29
Obr. 13 Přenosný napájecí zdroj – vlastní zdroj	32
Obr. 14 Zkoušené PIR detektory (vlevo- novější PARADOX; vpravo – starší typ) – vlastní zdroj	35
Obr. 15 Návrh vazebního a oddělovacího obvodu – vlastní zdroj.....	36
Obr. 16 Návrh cívky – vlastní zdroj.....	37
Obr. 17 Plošné spoje obou detektorů (vlevo – Paradox; vpravo – starší typ) – vlastní zdroj.....	38
Obr. 18 Zapojení napájecího obvodu i s napájecím zdrojem a generátorem rušivých signálů – vlastní zdroj.....	40
Obr. 19 Detail napájecího obvodu – vlastní zdroj	40
Obr. 20 Graf napěťového přenosu detektoru PARADOX v DB – vlastní zdroj	42
Obr. 21 Graf napěťového přenosu detektoru PARADOX – vlastní zdroj	43
Obr. 22 Graf napěťového přenosu detektoru staršího typu v DB – vlastní zdroj	44
Obr. 23 Graf napěťového přenosu detektoru staršího typu – vlastní zdroj.....	44

Obr. 24 Spojené grafy obou detektorů pro porovnání – vlastní zdroj.....	45
Obr. 25 Blokové schéma napájení detektoru – vlastní zdroj	46
Obr. 26 Zjednodušené schéma napájení detektoru – vlastní zdroj	46
Obr. 27 Zjednodušené náhradní schéma nakreslené v PSpice9 – vlastní zdroj.....	50
Obr. 28 Impulz na výstupu náhradního schéma v programu PSpice9 – vlastní zdroj	51
Obr. 29 Zapojení s napájecím filtrem – vlastní zdroj	52
Obr. 30 Přenosová charakteristika RC článku – vlastní zdroj	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled zkušebních signálů [1].....	27
Tab. 2 Výsledky měření pro detektor PARADOX – vlastní zdroj	42
Tab. 3 Výsledky měření pro detektor staršího typu – vlastní zdroj	43
Tab. 4 Vlastnosti pyroelementu HPS E09E [9]	47