

Mikrovlnné detektory v technické ochraně podniku

Microwave detectors in the
technical protection of concern

Martina Kalková

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Za pomoc pri Bakalárskej práci ďakujem konzultantovi Ing. Marekovi Čandíkovi, Ph.D. za jeho pripomienky a poznámky k mojej práci. Tiež páni doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc. a Ing. Ján Ivánka mi boli nápomocní, začo im ďakujem.

V neposlednej rade ďakujem svojim rodičom za morálnu podporu.

Prehlasujem, že som na celej bakalárskej práci pracovala samostatne a použitú literatúru som citovala.

V Zlíne, 02. 06. 2005

.....

meno bakalára

Abstrakt

Cieľom bakalárskej práce je popísať základné možnosti použitia mikrovlnových senzorov v technickej ochrane podnikov. Práca popisuje niektoré vlastnosti mikrovlnových senzorov a ich zapojenia v bezpečnostných aplikáciách používaných v komerčnej praxi. V bakalárskej práci sú tiež popísané niektoré fyzikálne vlastnosti elektromagnetických vĺn. Je tu prevedená komparácia vlastností vybraných detektorov a ich porovnanie v súvislosti s využitím.

The aim of this Bachelor thesis is to describe some basic possibilities of using of microwave sensors in technical concerns security. The work describes some properties of microwave sensors and their arrangement in security applications used in commercial praxis. In the bachelor work some physical properties of electromagnetic waves are presented. The comparison of selected detectors attributes and their confrontation in the connection with applying is made here.

OBSAH

OBSAH	6
ÚVOD.....	7
1 TEORETICKÁ ČASŤ.....	9
1.1 SENZORY.....	9
1.1.1 Rozdelenie senzorov	9
1.1.2 Technické parametre senzorov	11
1.2 ELEKTRONICKÁ ZABEZPEČOVACIA SIGNALIZÁCIA	12
1.2.1 Sensory z pohľadu energetického napájania	13
1.3 PROSTRIEDKY POUŽÍVANÉ V POPLACHOVÝCH SYSTÉMOCH NARUŠENIA (PSN).....	16
1.4 MIKROVLNOVÝ DETEKTOR	18
1.4.1 Čo sú mikrovlnové detektory?	18
1.4.2 Čo je to Dopplerov jav (<i>H.CH. Doppler 1842</i>).....	19
1.4.3 Vlny	21
1.4.4 Vlnenie.....	23
1.4.5 Vlnovody.....	23
1.4.6 Žiarenie antén.....	25
1.5 ŠÍRENIE ELEKTROMAGNETICKÝCH VĹN	27
1.5.1 Spôsoby šírenia elektromagnetických vĺn.....	28
1.6 VLASTNOSTI PROSTREDIA.....	29
1.6.1 Elektrické vlastnosti pôdy	29
1.6.2 Elektrické vlastnosti zemského plynného obalu.....	31
1.7 ŠÍRENIE VEĽMI KRÁTKYCH (MIKROVLNOVÝCH) VĹN	34
1.7.1 Klasifikácia možných prípadov šírenia veľmi krátkych vĺn	34
1.7.2 Šírenie na malé vzdialenosti	34
1.8 ZDROJE PRIEMYSELNÉHO RUŠENIA.....	43
1.9 ČLENENIE MIKROVLNOVÝCH DETEKTOROV	43
1.9.1 Mikrovlnové závory (bariéry)	44
1.9.2 Dvojité mikrovlnové detektory	44
1.9.3 Duálne detektory PIRAMID (=passive infra red and microwave intruder detector).....	45
2 PRAKTICKÁ ČASŤ	50
2.1 KOMPARÁCIA VLASTNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH MIKROVLNOVÝCH DETEKTOROV	50
ZÁVER.....	57
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	58
ZOZNAM OBRÁZKOV	60
ZOZNAM TABULIEK	62
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	63

ÚVOD

Každým rokom sa počet nezákonných vniknutí a krádeží v objektoch niekoľkonásobne zvyšuje. Moderné technológie však zabezpečujú novšie a kvalitnejšie systémy ochrany.

Jedným z napredujúcich je i Elektrický zabezpečovací systém (ČSN EN 50 131). Vývojom a skvalitňovaním detektorov, ktoré do tohto systému patria dochádza k detekcii a následným nahlásením poplachu pri vstupe nepovolanej osoby.

Medzi tieto zariadenia patrí i Mikrovlnový detektor (radí sa medzi detektory s priamou viditeľnosťou) – do svojho okolia vyžaruje mikrovlny, detekujúce zmeny kmitočtu odrazeného mikrovlnového signálu od pohybujúceho sa cieľa – vyhodnotí situáciu, na základe ktorej spustí alebo nespustí poplach.

Vyžarované vlny sú ovplyvňované prostredím, v ktorom sa šíria, nastávajú tu rôzne formy rušenia.

Výskum vyvinul u týchto detektorov funkcie zabraňujúce planým poplachom, zvýšil možnosť použitia i v problematických prostrediach, dokonca sa postaral i o to, aby bol detektor pred páchatelom „neviditeľný“.

Nijaký systém nie je dokonalý, jeho nedostatky je ale možno znížiť na minimum, napr. kombináciou s iným typom detektora. Zóna tak bude chránená dvojitou ochranou.

Existujúce kombinácie sú infračervený a mikrovlnový alebo ultrazvukový a mikrovlnový (výnimočné použitie). Takáto forma ochrany je vhodná do priestorov ako napr. haly, sklady, garáže.

I keď je informovanosť u ľudí v tejto oblasti veľmi nízka, nutnosť ochrany pod ťarchou narastajúcich rizík donúti k premýšľaniu.

Úlohou tejto práce je oboznámiť čitateľa s pojmami spojenými s bezpečnosťou, objasniť im základné princípy fungovania mikrovlnového detektora, priblížiť mu niektoré typy detektorov a poukázať na to, ktoré vlastnosti sú pri výbere vhodného typu čidla rozhodujúce.

Z voľne dostupných zdrojov (trh, internet,...) je možné získať veľké množstvo informácií týkajúcich sa produktov zabezpečujúcich ochranu a vybrať si z nich ten, ktorý bude pre objekt ten najvhodnejší.

1 TEORETICKÁ ČASŤ

1.1 Senzory

Senzory ako zdroje primárnych informácií o reálnom svete sú kľúčovým elementom prakticky všetkých regulačných a meracích systémov. Výber senzorov zásadne predurčuje koncepciu celého systému a významne podmieňuje úspech riešenia úlohy. Variabilita požadavkov vedy a praxe vyžaduje vývoj a konštrukciu nových typov senzorov a odsúva do pozadia staršie generačné rady.

V súčasnosti sa odhaduje počet typov senzorov na niekoľko desať tisíc, preto je dôležitá znalosť fyzikálnych vlastností.

V tejto kapitole sa oboznámime s pojmom „senzor“ a povieme si niečo o jeho rozdelení a princípe.

Senzor je funkčný prvok tvoriaci vstupný blok meracieho reťazca, ktorý je v priamom styku s meraným prostredím. Pojem senzor je ekvivalentným pojmu *snímač*, *prevodník* alebo *detektor*.

Citlivá časť senzoru sa občas označuje ako čidlo. Senzor ako primárny zdroj informácie sníma sledovanú fyzikálnu, chemickú alebo biologickú veličinu a podľa určitého definovaného princípu, ktorý transformuje na meráciu veličinu – najčastejšie na elektrickú veličinu.

Ďalej existujú senzory, u ktorých je neelektrická veličina priamo transformovaná na číslicový signál (SMART senzory).

1.1.1 Rozdelenie senzorov

Senzory je možné rozdeliť [1]:

1. podľa meranej veličiny:

- senzory teploty
- tlaku
- prietoku
- radiačných veličín vo viditeľnom, infračervenom a inom spektre
- mechanických veličín - posunutia, polohy, rýchlosti, zrýchlenia, sily, ...

- senzory pre analýzy látok, kvapalín a plynov
 - senzory elektrických a magnetických veličín....
2. podľa fyzikálneho princípu:
- senzory odporové
 - indukčné
 - kapacitné
 - magnetické
 - piezoelektrické
 - pyroelektrické
 - optoelektronické
 - optické vláknové
 - chemické
 - biologické...
3. podľa styku senzoru s meraným prostredím:
- bezdotykové
 - dotykové
4. podľa výrobnéj technológie:
- elektromechanické
 - mechanické
 - pneumatické
 - elektrické
 - elektronické
 - elektrochemické
 - polovodičové
 - mikroelektronické
 - optoelektronické...
5. podľa transformácie signálu:
- aktívne
 - pasívne

Aktívny senzor je senzor, ktorý sa pôsobením snímanej veličiny chová ako zdroj elektrickej energie.

Pasívny senzor je senzor, u ktorého je nutné elektrickú veličinu (indukčnosť, kapacitu, odpor) ďalej transformovať na analógový, napäťový alebo prúdový signál, pričom meranou veličinou je amplitúda, kmitočet, fáza,... U pasívnych senzorov je na rozdiel od aktívnych nezbytné napájanie.

Pri výrobe sa využíva tenko vrstvomá (pre aplikácie nad 150°C; vytváranie monokryštalických, polykryštalických i amorfných vrstiev Si, izolantov,... čo zaisťuje vysokú presnosť, stabilitu, malú časovú konštantu, malú veľkosť, hmotnosť...) alebo hrubovrstvomá technológia (možno doplniť o integrované obvody).

Integrované senzory (SMART senzory - inteligentné) umožňujú podstatné zmenšenie rozmerov a tým dochádza k minimalizovaniu parazitných impedancií a šumu k nárastom rýchlosti spracovania signálu.[11]

1.1.2 Technické parametre senzorov

Medzi základné technické parametre senzorov patria:

1. Statické parametre

- citlivosť; prah citlivosti; dynamický rozsah; reprodukovateľnosť; rozlíšiteľnosť; aditívna a multiplikatívna chyba; linearita; parametre výstupu.

2. Dynamické parametre

- časová odozva; časová konštanta; šírka frekvenčného pásma; frekvenčný rozsah; rýchlosť číslicového prenosu; parametre šumu.

1.2 Elektronická zabezpečovacia signalizácia

Prvé elektrické poplašné zariadenie bolo skonštruované v roku 1853, predbehlo dokonca telefón i elektrické svetlo.

EZS (elektrická zabezpečovacia signalizácia) predstavuje komplex technických prostriedkov, schopných rozoznať prítomnosť nežiaducej osoby a túto informáciu vysielat' a to: **lokálne** (opticky alebo akusticky v objekte či jeho blízkosti) alebo **komunikačne** (prenos pevnou linkou, GSM - mobilný telefón, PCO ústredňa = výjazd bezpečnostnej služby).

Hlavným poslaním EZS je informovať majiteľa objektu alebo určenú obsluhu o neoprávnenom vniknutí cudzej osoby do chráneného priestoru. Cieľom je zvýšenie stupňa ochrany proti vniknutiu zvonku.

V súčasnosti je na trhu dostatok kvalitných i cenovo dostupných zariadení, v prípade, že sa rozhodneme pre zabezpečenie majetku týmto spôsobom, treba si uvedomiť, že elektronická ochrana, rovnako ako mechanická, vlámaniu nezabráni. Svojou prítomnosťou však odradí resp. skráti čas potrebný k zrealizovaniu útoku.

Infra,

pasívny, mikrovlnový, ultrazvukový detektor alebo detektory kombinované, ktoré reagujú na pohyb v priestore a detektory mikrofónové reagujúce na zvuky triešteného skla spoľahlivo detekujú stav v objekte. Tieto detektory sú napojené na ústredňu, ktorá sa ovláda mikroprocesorom a signalizuje stav buď miestne na sirénu alebo na pult centralizovanej ochrany, pevný alebo mobilný telefón,...

Druhy ochrany:

- **Predmetová** - ochrana obzvlášť cenných predmetov – obrazov a iných umeleckých diel. V takýchto prípadoch sa používajú špeciálne obrazové, kapacitné či tlakové detektory.
- **Plášťová** – ochrana na plášti objektu (dvere, okná...)
- **Priestorová** - zistenie pohybu vo vnútri chráneného priestoru.
- **Perimetrická** - ochrana pozemku pred vstupom cudzích osôb, plocha pozemku je rozdelená na určité koridory.

Bezpečnostné senzory sú používané k detekcii narušenia objektu; sú to, ako bolo spomenuté, prevodníky prevádzajúce vstupné fyzikálne veličiny na inú výstupné fyzikálne veličiny. Pri narušení objektu nastane zmena vstupného signálu (parametru), ktorá spôsobí zmenu parametrov výstupnej veličiny, ktorá je potom ďalej spracovávaná a vyhodnocovaná.[6]

1.2.1 Senzory z pohľadu energetického napájania

1. Energeticky napájané - vyžadujú k svojej funkcii nezávislý externý energetický zdroj (batérie) a podľa toho, či pri svojej funkcii vyžarujú rôzne formy energie do okolitého prostredia sa delia na *aktívne* (aktívnym spôsobom ovplyvňujú okolitý priestor – napr. produkciou ultrazvukového alebo ultramagnetického žiarenia, ktoré zabezpečujú okolitý priestor, pretože tento priestor ovplyvňujú, je možno ľahko detekovať ich aktívne a mŕtve zóny) a *pasívne* (registrujú zmeny fyz. veličín vo svojom okolí, výhodou je ich obtiažna detekovateľnosť bežnými technickými prostriedkami).

2. Energeticky nezávislé - môžu pracovať samostatne a k svojej funkcii nevyžadujú nezávislý energetický zdroj. Delia sa na:

- **deštrukčné** (schopné len jednorázového použitia, pri vyhlásení poplachu dôjde k ich deštrukcii)
- **nedeštrukčné** (pri aktivácii dochádza k zvrtným zmenám).

Antimasking - pri prevádzke je v dobe stráženia i mimo nej na výstup vyvedená informácia o snahe vyradiť ho z činnosti alebo podstatne znížiť jeho dosah a citlivosť. Takéto detektory sa využívajú v priestoroch s rizikom napadnutia č. 3 – vysokým. Nižšie stupne rizika označujeme 1 – nízke a 2 –stredné.[2,11]



Obr. 1. Pyramída bezpečnosti [12]

Praktické parametre senzorov: [11]

Medzi praktické parametre senzorov radíme:

1. charakteristika oblasti snímania:
 - priestorová, reagujúca na narušenie snímaného priestoru
 - smerová, reaguje na narušenie priestoru v danom smere
 - bariérová, reaguje na narušenie snímanej bariéry
 - polohová, reaguje na zmenu polohy snímaného objektu
2. dosah snímania v závislosti na prevedení:
 - pre vnútorné použitie:
 - s krátkym dosahom – do 15 m
 - so stredným dosahom – do 50 m
 - s dlhým dosahom – nad 50 m
 - pre vonkajšie použitie:
 - s krátkym dosahom – do 50 m
 - so stredným dosahom – do 150 m
 - s dlhým dosahom – nad 150 m

3. smer vyžarovanej charakteristiky:
 - s úzko smerovou charakteristikou
 - so široko uhlovou charakteristikou
 - s kruhovým rozsahom

4. použitie clony, ktorá rozlišuje bezpečnostné senzory :
 - so zvislou bariérou
 - s vodorovnou bariérou

1.3 Prostriedky používané v poplachových systémoch narušenia (PSN)

V PSN sa využívajú technické prostriedky, ktoré sú v praxi aplikované v najrôznejších podobách a kombináciách. Patria sem: drôtové, bezdrôtové systémy, doplnková požiarne signalizácia, pripojenie na SRP telefónnou linkou, rádiovým spojením, GSM alarmy,...

Snímače sa delia do kategórií podľa druhu využitia a podľa technologického procesu vyhodnocovania zmeny stavu priestoru, v ktorom sú nasadené.

PIR snímače - sú najnasadzovanejšími prostriedkami v priestorovej ochrane. Základným technologicko-funkčným prvkom je tzv. pyroelement, ktorý reaguje na zmenu stavu teploty v oblasti infračerveného žiarenia.

Magnetické kontakty - slúžia na kontrolu stavu otvorenia dverí, okien, a pod. Sú vyrábané v niekoľkých prevedeniach, pričom najčastejšie používané sú povrchové, zápusťné alebo polarizované.

Tiesňové hlásiče/panic tlačidlá - tiesňové hlásiče sú určené na vyvolanie poplachu v neštandardných situáciách a to tak, aby o prenose poplachu na PCO útočník nevedel.

Otrasové snímače - reagujú na mechanické otrasy vznikajúce kmitaním podkladu (dvere, steny a pod.). Aplikujú sa hlavne pri ochrane trezorov a bankomatov.

Snímače rozbitia skla - reagujú na rozbitie alebo trieštenie skla, okien a pod.

Infračervené závory - reagujú na prerušenie svetelného infra. lúča medzi vysielačom a prijímačom. Používajú sa na ochranu nielen stavebných otvorov v stráženom objekte, ale aj vonkajších priechodov.

Mikrovlnové snímače - vzhľadom sa od PIR snímačov ničím nelíšia, ale rozdiel je v technológii vyhodnocovania zmeny stavu stráženého priestoru.. Reagujú na rozdiel medzi vyslanou a prijatou mikrovlnovou zložkou. Tento rozdiel nastáva pri pohybe.

Duálne snímače - sú dvojité PIR snímače, alebo PIR snímač v kombinácii s mikrovlnovým snímačom. Nasadzujú sa do sťažených klimatických prostredí v dôsledku minimalizovania falošných poplachov.

Poplachová ústredňa - riadi funkčnosť celého systému. Základným predpokladom pre výber vyhovujúcej ústredne je počet zón /slučiek/ v objekte - na každú slučku sa pripája zvyčajne jeden snímač. Štandardne sa vyrábajú ústredne pre 4, 8, 16, 24, 48 a viac slučiek. Ústredňa môže byť rozdelená na viac podsystémov, čo umožňuje zlučovať viacero autonómnych užívateľov/firiem do jednej ústredne (investične výhodné) pri zachovaní samostatnej nezávislosti pre každého užívateľa/firmu osobitne. Jednotlivé ústredne sa odlišujú funkčnými vlastnosťami (kapacita snímačov, delenie systému, denník udalostí), ako aj dizajnom a komfortom obsluhy.



Obr. 2. Poplachová
ústredňa

Klávesnica - slúži na komunikáciu medzi ústredňou a užívateľom. Prostredníctvom klávesnice možno systém zapínať, vypínať alebo programovať. Používajú sa LED klávesnice, ktoré zobrazujú okamžitý stav systému pomocou LED diód, resp. LCD klávesnice, ktoré majú výhodu, že majú displej, na ktorom ústredňa zobrazuje okamžitý stav systému a komunikuje textovými správami s užívateľom.

Signalizačné zariadenia - sirény vnútorné a vonkajšie so stroboskopom, komunikátory odovzdávajúce poplachovú informáciu po telefónnej linke k užívateľovi a na PCO a rádiové moduly vysielajúce signál taktiež na PCO (zvýšená bezpečnosť). [6]

1.4 Mikrovlnový detektor

1.4.1 Čo sú mikrovlnové detektory?

Mikrovlnové detektory sú pohybové detektory, ktoré vysielajú do chráneného priestoru MW žiarenie. Toto MW žiarenie sa od predmetov a ľudí odráža späť do prijímacieho kanála detektora. Ak sa predmety v miestnosti nepohybujú, tak frekvencia vyžiareného a prijatého signálu je rovnaká, ale ak sa v miestnosti pohybuje nežiaduca osoba, tak signál odrazený od nej má rozdielnu frekvenciu ako vyžiarený signál. Ak teda dôjde k rozdielu frekvencií týchto dvoch signálov, tak sa aktivuje poplach. Na trhu sa objavujú začiatkom 70-tych rokov.[11, 9]

Princíp:

Vysielač radaru vyžaruje mikrovlnovú energiu (zväzok MW žiarenia) do detekčnej zóny a objekty nachádzajúce sa v tejto zóne odrážajú túto energiu späť k prijímači, ktorý si nastaví referenčnú úroveň signálu pre bežný obraz (bez prítomnosti narušiteľa) od nehybného pozadia.

Ak sa objekt (narušiteľ) pohybuje, je kmitočet odrazeného signálu posunutý vplyvom Dopplerovho efektu, čo spôsobí zmenu prijímaného signálu vzhľadom ku kludovej referenčnej úrovni a táto zmena po ďalšom spracovaní vyvolá vyhlásenie poplachu. Možnosť nastavenia dosahu vyžarovanej charakteristiky ich radí medzi MW detektory prahové (možnosť stanovenia maximálneho dosahu nezávisle na veľkosti objektu).

Čo by sa malo o MD vedieť:

Ich elektromagnetické vlnenie čiastočne preniká tenkou stenou, drevom i sklom (PENETRÁCIA).

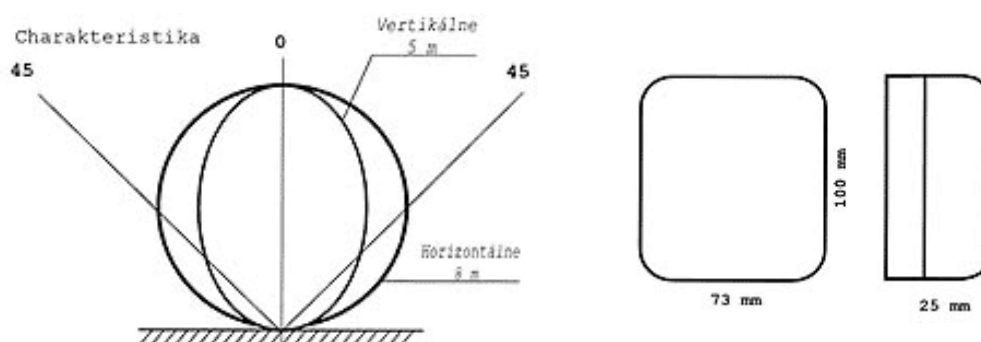
Inštalácia MD:

Dôležité je dodržanie správnej výšky nad zemou (cca 1,2m); musí zabezpečiť, aby rušenie vplyvmi mimo zóny nebolo možné, pretože MD reagujú na každý pohybujúci sa predmet úmerný jeho veľkosti, vzdialenosti, rýchlosti a odrazivosti. Treba zabrániť, aby predmety (prechádzajúce auto, výťah,...) nespôsobovali spustenie poplachu. V blízkosti MD sa nesmú nachádzať objekty pokované (zrkadlá, ochranné fólie...) alebo z kovu (mreže,...) - zvlášť kritické. Sú tiež objekty s rovinným povrchom, od ktorého sa mikrovlny účinne

odrážajú a výrazne tým menia detekčnú charakteristiku. Spôsobom šírenia sú totiž rádiové kmitočty blízke šíreniu svetla, takže sa musíme vyvarovať tzv. mŕtvym zónam – zóny nevyplnené mikrovlnami. Rovnako problémové môže byť i umiestenie v priestoroch so silným elektromagnetickým rušením.

V jednom priestore sa môže nachádzať viac MD iba ak pracujú s rozdielnym frekvenčným pásmom.[11,9,8]

MD patria do skupiny aktívnych detektorov (sami si vytvárajú svoje pracovné prostredie), pracujú na báze Dopplerovho javu – zmiešavanie priamej a odrazenej vlny od pohybujúceho sa predmetu



Obr. 3. Mikrovlnový priestorový detektor pracuje na Dopplerovom princípe

1.4.2 Čo je to Dopplerov jav (H.CH. Doppler 1842)

Dopplerov jav je závislosť prijímanej frekvencie vlnenia na pohybe zdroja. Prejavuje sa pri všetkých vlnových dĺžkach elektromagnetického vlnenia, svetla... a teda i pri šírení MW vln.

Vysvetlenie:

Máme zdroj, vysielajúci vlny o danej frekvencii f , ktoré v danom prostredí vytvárajú vlnenie s určitou vlnovou dĺžkou $\lambda = v/f$.

Je daná situácia:

- pohybuje sa pozorovateľ :
- smerom k zdroju

$$f = \frac{\frac{vt}{\lambda} - \frac{v_p t}{\lambda}}{t} = \frac{v - v_p}{\lambda} = f \left(1 - \frac{v_p}{v} \right) \quad (1)$$

- smerom od zdroja

$$f' = \frac{\frac{vt}{\lambda} + \frac{v_p t}{\lambda}}{t} = \frac{v + v_p}{\lambda} = f \left(1 + \frac{v_p}{v} \right) \quad (2)$$

- pohybuje sa zdroj:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_z}{f}} = f \frac{v}{v - v_z} \quad (3)$$

- pohybuje sa zdroj i pozorovateľ:

$$f' = f \frac{v \pm v_p}{v \pm v_z} \quad (4)$$

pričom:

f - frekvencia v danom prostredí;

f' - frekvencia vlnenia;

t – čas ;

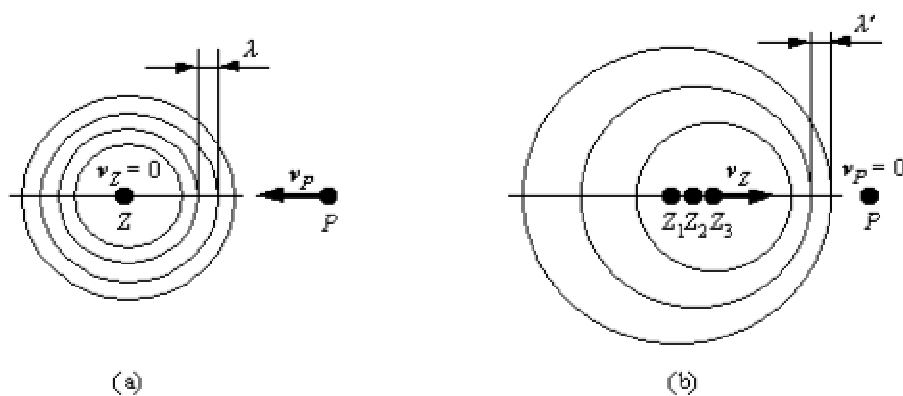
v – rýchlosť šírenia vlnenia;

v_p – rýchlosť pozorovateľov;

v_z – rýchlosť zdroja;

λ - vlnová dĺžka;

λ' - vzdialenosť vlnoplôch s rovnakou fázou.

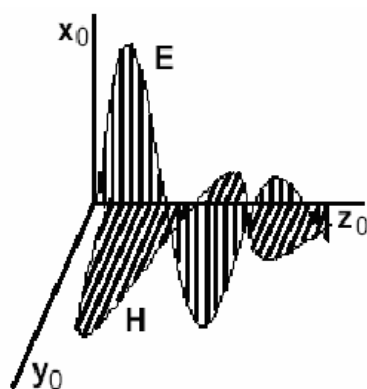


Obr. 4. Dopplerov jav (a) pohyb pozorovateľa P , (b) pohyb zdroja Z

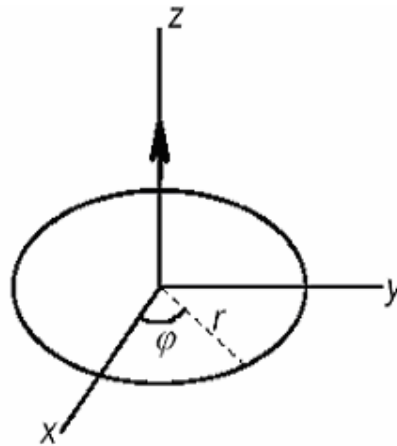
1.4.3 Vlny

Základným článkom vlnenia je vlna, jej vlastnosti charakterizujú veličiny; čas, bod – miesto odkiaľ vlnu pozorujeme, vlnová dĺžka λ [m] a fázová rýchlosť v_f [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] čo je rýchlosť pohybu v smere šírenia vlny. [4]

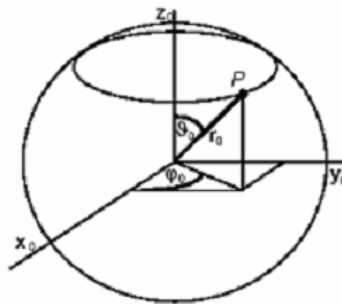
Šírenie vlny si môžeme znázorniť pomocou súradnicového systému a to [20]:



Obr. 5. Rovinná vlna



Obr. 6. Valcová súradnicová
sústava



Obr. 7. Guľová súradnicová
sústava

Pri rovinných vlnách môžu nastať tieto situácie:

- obe vlny sa šíria rovnakým smerom – rovnaké smery vektorov intenzity poľa dvoch vln zabezpečia, že i výsledná vlna je rovnako lineárne polarizovaná. Ak sú však rôzne, vznikne elipticky polarizovaná výsledná vlna.
- obe vlny majú rôzny smer šírenia – amplitúda výslednej vlny sa periodicky mení.

Odraz vln môže vzniknúť na záťaži i na zdroji, priama vlna je potom súčet všetkých vln šíriacich sa od zdroja k záťaži a spätná vlna je súčtom vln šíriacich sa opačným smerom – ich skladaním (interferenciou) vznikne tzv. stojatá vlna. Sčítaním priamej a spätnej vlny vznikajú na vedení maximá a minimá napätia a prúdu. [4]

INTERFERENCIA - ak sa priestorom šíri viac vln súčasne, dochádza k skladaniu vln.

PENETRÁCIA – schopnosť vln prechádzať cez určitý druh materiálu.

1.4.4 Vlnenie

Vlna sa šíri vedením s obecnou záťažou od zdroja k záťaži, vlna prenáša určitý výkon [4]

ζ - vzdialenosť vedenia

Z_{ov} - impedancia vedenia

Výkon ktorý priama vlna prenáša na koniec vedenia:

$$\vec{P}(\zeta) = \vec{U}(\zeta) \cdot \vec{I}(\zeta) = \left| \vec{U}(\zeta) \right| / Z_{ov} = \left| \vec{I}(\zeta) \right|^2 \cdot Z_{ov} \quad (5)$$

Pretože sa časť energie odráža, spätná vlna potom prenáša od záťaže k zdroju takýto výkon:

$$P_k = \left| \vec{U}_k \right|^2 / Z_{ov} = \left| U_p \cdot e^{-\alpha l} \right|^2 / Z_{ov} = \vec{P}_p \cdot e^{-2\beta l} \quad (6)$$

Podľa šírky frekvenčného pásma sú obvody úzkopásmové a širokopásmové, sú to prispôbované obvody plniace úlohu transformovania. V istom kmitočtovom pásme prevádzajú stálu impedanciu Z_k na Z_{ov} a kompenzačné obvody prevádzajú kmitočtovo závislú impedanciu Z_k na konštantnú Z_{ov} .

$$Z_{ov} = \frac{300}{(1 + b/h) \sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

1.4.5 Vlnovody

Typ vedenia, ktorého priečny rozmer je zrovnateľný s dĺžkou vlny, hrá úlohu pri prenose elektromagnetickej energie. Podľa výrobného materiálu ich delíme na dielektrické a kovové. [4]

Dielektrické – vlny sa šíria od stien, aby nedochádzalo k úniku energie, na rozhraní vlnovodov – okolie. Vlny sa šíria ako :

- postupné odrazy
- lom vlny
- totálny odraz

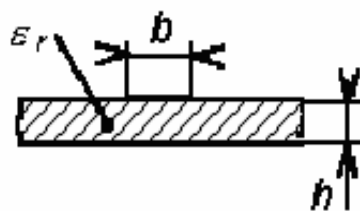
Dielektrické vlnovody sú tvorené dielektrikom s vysokou permitivitou a malými stratami. Sú kruhového či obdĺžnikového prierezu, bývajú označované ako optické vlákna, pretože sa užívajú v infračervenej a viditeľnej oblasti kmitočtového spektra, najznámejšie – telekomunikačné káble,...

Kovové – kovové trubice rôzneho prierezu, používané pre väčšie rozmedzie kmitočtov, prenášajúce menší výkon. Využitie: pre prenos signálu z antény k vysokofrekvenčnému stupňu prijímača,...[5].

Vyžarovanie mikrovĺn je popísané v Maxwellových rovniciach v diferenciálnom alebo integrálnom stave.

V mikrovlnových prístrojoch sa používa mikropásikové vedenie, ktorého štruktúra je nanosená na tenkej dielektrickej podložke, kde na jednej strane je súvislá vodivá plocha (zem) a na druhej je úzky pásik.

Jednou z možností vedenia elektromagnetických vĺn je i mikropásikové vedenie, používa sa tu korundová keramika $\epsilon_r \approx 4.5$ alebo berýliová keramika $\epsilon_r \approx 10$.



Obr. 8. Mikropásikové
vedenie (priečny rez)

Ak uvažujeme o šírení vĺn v homogénnom prostredí, treba brať v úvahe, že sa v tomto prostredí šíria i prúdy ako zdroje vlnenia, skutočnosť je ale zložitejšia. Prostredie obsahuje i rôzne vodivé či dielektrické telesá (prístroje, budovy, kvapky vody, vodiče, vedenia), nepriepustné prekážky (pohoria, clony) či rozdiely v parametroch prostredia (zem - vzduch). Šírenie vĺn je teda obohatené o zložitejšie elektromagnetické javy, bližšie určené charakterom nehomogenity.[5]

Pri odraze a vzniku vln sa dopadajúca vlna na rozhraní dvoch prostredí s rôznymi elektrickými parametrami sčasti odrazí a sčasti prechádza do druhého prostredia. Táto základná teória platí pre odraz rovinnej vlny od nekonečne rozľahlého, dokonale hladkého rovinného rozhrania.

Difrakcia - jav vznikajúci prítomnosťou kovových, dielektrických či feromagnetických telies rôznych tvarov, môžeme sem zaradiť napr. vedenie vln pozdĺž povrchu (zem a vzduch). V technických aplikáciách dochádza vplyvom nerovností povrchu k rozptylu vlnenia. Vzniká rada odrazených vln s rôznou fázou, šíriacich sa do rôznych smerov. Pri trojrozmerných telesách sa postupuje rozdielne ako pri rovinných. Teleso je ožarované vlnou, s danou intenzitou, tzv. **primárna vlna** – jej pôsobením sa teleso polarizuje a samo sa stane novým zdrojom nového vlnenia, tzv. **sekundárna vlna**. Výsledná intenzita poľa kdekoľvek v okolí telesa je súčtom intenzity primárnej a sekundárnej vlny.[4,5]

1.4.6 Žiarenie antén

Ak je zdrojom vlnenia prúd, treba poznať rozloženie prúdovej hustoty J v priestore (tvar, polohu vodičov antény a prúd v nich).[4]

- Skutočné zdroje – antény, považujeme za súbory elementárnych dipólov alebo za súbory Huygensových zdrojov.
- Vysielač antény je transformátor alebo úsporné usporiadanie elementárnych zdrojov, prevádzajúci vlnenie šíriace sa pozdĺž vedenia na vlnenie vo voľnom priestore.
- Prijímacia antény plní funkciu opačnú, je považovaná za napäťový zdroj s vnútorným napätím a vnútornou impedanciou rovnajúcou sa vstupnej impedancii tej istej antény pri vysielaní.

Antény triedime do skupín:

- Lineárne antény – súbor mnoho rôzne položených, elementárnych, elektrických dipólov. Keďže je to usporiadanie vodičov “drátikov, trubiek, pásov” – poznáme v rôznych miestach smer prúdu. Tieto antény sú typické pre nižšie kmitočty (do GHz)

- Plošné antény – súbor Huygensových zdrojov, vyžarujú útvarom (anténou), je to iba samotná plocha apertúra plošnej antény. Užitie je na vlnách centimetrových a kratších.
- Vnútorňou úlohou antény je rozloženie prúdu u lineárnej antény a rozloženie poľa u plošnej antény.
- Vonkajšou úlohou je vlastné vyžarovanie, teda intenzita poľa v okolitom priestore so smerovou charakteristikou.

Lineárnu anténu si môžeme predstaviť ako súbor elementárnych dipólov, ktoré vyžarujú svoje vlastné vlnenie, to je koherentné a v bode príjmu sa intenzity vln sčítajú, pričom sa rešpektujú rôzne priestorové smery vektorov, amplitúdy či fázy. Významnou časťou je fáza, pretože vzdialenosť jednotlivých miest antény k bodu príjmu nie je rovnaká, čiže líši sa fázové oneskorenie, vznikajúce šírením elementárnych vln.

Ak by sa dráhy vln vyžiarených z 2 rôznych miest líšili o polovicu dĺžky vlny, posunú sa fázy týchto vln o π , mohlo by prísť k vzájomnému narušeniu alebo k sčítaniu.[5]

1.5 Šírenie elektromagnetických vln

Pásmo elektromagnetických vln, ohraňované zdola kmitočtom $f = 10 \text{ Hz}$ ($\lambda = 30\,000 \text{ m}$) a zhora kmitočtom $f = 10^{12} \text{ Hz}$ ($\lambda = 0,3 \text{ mm}$), nazývame pásmom - elektromagnetických vln. Pojmom - voľné šírenie elektromagnetickej vlny rozumieme jej šírenie v atmosfére okolo zemského povrchu, v medzi hviezdnom priestore a v povrchovej vrstve zemskej kôry.

Šírenie, ktoré je usmerňované akýmkoľvek umelým zariadením ako vlnovod alebo vysokofrekvenčné vedenie, sa nepovažuje za voľné.

Dnes sa vlastnosti voľne sa šíriacej vlny využívajú pre rôzne technické účely - pri realizácii rôznych druhov spojení, zisťovaní polohy objektov, určovaní smeru a vzdialenosti zdrojov elektromagnetických vln, aj v oblasti technického zabezpečenia ochrany objektov. Pomocou elektromagnetických vln možno ovládať aj mechanizmy.

Využívanie voľne sa šíriacej vlny je síce rôznorodé, najmä pri aplikácii v praxi, no za spoločné znaky treba predovšetkým pokladať rádiový spoj, ktorý obsahuje minimálne vysielateľ, prijímač a prostredie, v ktorom sa el. vlna, voľne šíri.

Ďalším spoločným znakom je vlastnosť rádiového spoja prenášať signál. Rozdiel medzi jednotlivými druhmi rádiových spojov možno redukovať na rozdiel obsahu spektra vyžarovaných signálov a ich konečný účinok na prijímacej strane.

Spoľahlivá činnosť rádiových spojov závisí od správnej činnosti vysielateľa a prijímateľa, od správnej voľby pracovného kmitočtu a od použitia správnej prijímacej a vysielacej antény. Prostredie, v ktorom sa šíria elektromagnetické vlny, spôsobuje útlm a skresľuje signál.

Útlm tu rozumieme zmenšenie intenzity elektromagnetického poľa.

Podmienky príjmu sú určené veľkosťou intenzity elektromagnetického poľa prijímanej vlny, tvarom signálu a úrovňou šumu, čím vznikajú pri projektovaní rádiových spojov tri základné úlohy:

1. Stanoviť intenzitu elektromagnetického poľa v mieste príjmu za daných parametrov vysielacieho zariadenia a určiť podmienky, za ktorých bude najvyššia kvalita príjmu.
2. Vyšetrit' skreslenie tvaru signálu, zapríčinené vlastnosťami šírenia a vypracovať opatrenia, ktoré umožnia zmenšiť toto skreslenie na minimum.

3. Chránit' pridelené kmitočty pred rušením a snažiť sa spektrum hospodárne využívať.

Riešenie týchto úloh si vyžaduje poznať fyzikálne vlastnosti šírenia elektromagnetických vln v uvažovanom prostredí.

1.5.1 Spôsoby šírenia elektromagnetických vln

V homogénnom a izotropnom prostredí sa šíria elektromagnetické vlny konštantnou rýchlosťou po priamočiarych trajektóriách. Prítomnosť Zeme a zvláštnosti zloženia atmosféry pôsobia na šírenie elektromagnetických vln dvojakým spôsobom:

- tam, kde sa elektromagnetická vlna dotýka polovodivého povrchu Zeme, skresľuje sa štruktúra vlny, čo je príčinou vzniku tlmenia. Guľový tvar povrchu spôsobuje ohyb (difrakciu) dráhy šírenia vlny okolo zemského povrchu. Vlny, ktoré sa šíria v blízkosti zemského povrchu a ktoré sa ohýbajú okolo neho vplyvom difrakcie, nazývame povrchovými elektromagnetickými vlnami.

- elektromagnetické vlny následkom jedného alebo viacnásobného odrazu od ionosféry, prípadne ionosférou prenikajú do kozmu. Takéto vlny sa nazývajú priestorové.

Pri šírení povrchovej vlny vznikajú fyzikálne procesy na rozhraní atmosféry a vypuklého zemského povrchu a u priestorovej vlny sa uplatnia fyzikálne procesy v horných vrstvách atmosféry. V oboch prípadoch šírenie prebieha za konkrétnych podmienok, ako dĺžka rádiového spoja, výšky a typy antén, použitý kmitočet, zemepisné súradnice koncových bodov spoja, denná hodina, ročné obdobie a fáza jedenásťročného cyklu slnečnej činnosti. [4,5]

1.6 Vlastnosti prostredia

1.6.1 Elektrické vlastnosti pôdy

Procesy šírenia elektromagnetických vln prebiehajú v relatívne veľmi tenkej vrstve zemskej kôry. Túto aktívnu vrstvu možno nazvať pôdou. Jej fyzikálne vlastnosti ovplyvňujú procesy šírenia vln. Základnými parametrami pôdy, vplývajúcimi na vlastnosti šírenia, sú: elektrická vodivosť σ , permitivita ϵ a permeabilita μ . [4,5]

Elektrické vlastnosti pôdy sú dané jednak vlastnosťami jednotlivých druhov vrchných vrstiev zemskej kôry a ich rozložením na povrchu, jednak obsahom solí v jednotlivých horninách a obsahom a úrovňou vody v jednotlivých vrstvách. Pri rozbere šírenia na danej trase vždy uvažujeme lokálne vlastnosti pôdy, ktoré budú charakterizovať procesy šírenia elektromagnetickej vlny. Aby boli zrejmé vlastnosti hornín nachádzajúcich sa v povrchových vrstvách a ich rozloženie na zemskom povrchu, je nutná klasifikácia podľa fyzikálnych vlastností a osobitne podľa vlastností, ktoré charakterizujú procesy šírenia elektromagnetických vln. Na rovinách, kde je reliéf povrchu jednoduchý, sa uplatnia elektrické vlastnosti pôdy.

Sú tri hlavné skupiny hornín;

- ♠ **magmatické** (vyvreté), ktoré sa dostali do zemskej kôry vplyvom sopečnej činnosti, vznikli vyliatím lávy na povrch, alebo jej stvrdnutím pod povrchom. Majú vysoký obsah kyslíka, kremíka a asi 23 % kovov (Al, Fe, Ca, Na, K, Mg). Pre vysoký obsah silikátov nie sú schopné prijímať vodu, a preto sa vyznačujú malou elektrickou vodivosťou.
- ♠ **usadené**, ktoré vznikli z magmatickým pôsobením deštruktívnych síl na pôvodnú horninu.
- ♠ **metamorfózne**, ktoré vznikli vplyvom rôznych geologických javov na magmatické alebo usadené druhy hornín, čím zmenili svoje pôvodné vlastnosti a nadobudli tvrdú kryštalickú štruktúru i charakter. Všeobecne sa vyznačujú malou elektrickou vodivosťou (mramor) okrem pyritov.

Magmatické a metamorfózne druhy hornín tvoria základ kontinentov do veľkej hĺbky zemskej kôry. V niektorých miestach je vrstva usadených hornín prerušená vystúpením

magmatických alebo metamorfózných druhov na povrch v podobe hôr, a preto roviny majú typické vlastnosti usadlých druhov hornín. Miesta, kde prevládajú hory a kde je reliéf povrchu veľmi zložitý, ovplyvňujú šírenie a jeho vlastnosti, difrakcia a elektrické vlastnosti pôdy sa uplatnia len veľmi mierne

Usadené horniny sa od magmatických a metamorfózných líšia svojimi mechanickými a fyzikálnymi vlastnosťami. Magmatické a metamorfózne druhy tvoria materskú horninu, z ktorej - pôsobením atmosféry, biosféry a gravitačných síl - vznikli usadené druhy, ich narušením sa mení ich mikro a makroštruktúra a chemické zloženie. V usadených vrstvách rozoznávame tri zložky:

1. tvrdú - obsahujúcu rôzne minerály ako kremeň, sľudu, kaolín a pod., ktoré majú viac alebo menej priepustnú pórovitú vrstvu;
2. tvárľivú - sú to hliny. Po zmáčaní sú tieto vrstvy pre vodu nepriepustné;
3. sypkú - ide o piesky; tieto vrstvy vodu prepúšťajú.

Pôsobením gravitačných síl sa dostáva povrchová voda podľa prepúšťacích schopností pôdy do hĺbky a pôsobí na chemické zloženie vrstiev tým, že vymýva soli. Tento vodný režim sa v priebehu roka periodicky mení. Zmeny denných a ročných teplôt pôsobia najmä do hĺbky 30 až 40 cm. V hĺbke 10 až 15 m je teplota pôdy konštantná. Pri rozbere šírenia elektromagnetických vĺn v blízkosti povrchu Zeme treba nahradiť skutočné podmienky, za ktorých prebieha proces šírenia, podmienkami *idealizovanými*. Idealizácia je v tom, že skutočný drsný povrch zemegule nahradíme dokonale hladkým povrchom, ktorý má rovnakú elektrickú vodivosť σ a dielektrickú konštantu ϵ ako skutočný zemský povrch. Význam tohto zjednodušenia vidieť v tom, ak porovnáme rôzne druhy povrchu zemegule so stupňom ich drsnosti.

Z hľadiska elektrických vlastností musíme rozlišovať vodu slanú morskú od vody sladkej riečnej. Drsnosť vodného povrchu je závislá od veľkosti plochy a sily vetra.

Pevninu si idealizujeme na vlhkú pôdu (lúky, polia, lesy) a suchú pôdu (púšte, kopce, hory a skaly). Stupeň nerovnosti treba posudzovať vzhľadom na vlnovú dĺžku. To znamená, že povrch zemegule môžeme rozdeliť na dve skupiny:

- 1. druhy povrchu, ktoré sa vyznačujú nepatrnými nerovnosťami tak, že ich môžeme priamo nahradiť hladkým povrchom s určitými elektrickými parametrami.
- 2. povrchy s veľkými nerovnosťami, ktoré nahradzujeme hladkým povrchom s určitými elektrickými parametrami (les, mesto).

Elektrické parametre hladkého polovodivého povrchu sa vyberú tak, že útlm elektromagnetických vln nad touto fiktívnou pôdou je rovnaký ako nad skutočnou pôdou. Takéto parametre pôdy nazývame ekvivalentnými. Vlny, šíriace sa 2.skupinou, sú predovšetkým tlmené tým, že elektromagnetická vlna indukuje prúdy v prekážkach, ktoré môžeme uvažovať ako územné antény z polovodivého materiálu. Tento spôsob útlmu nie je rovnaký ako útlm pri hladkom polovodivom povrchu.[4,5]

Tabuľka ukazuje členenie prostredí:

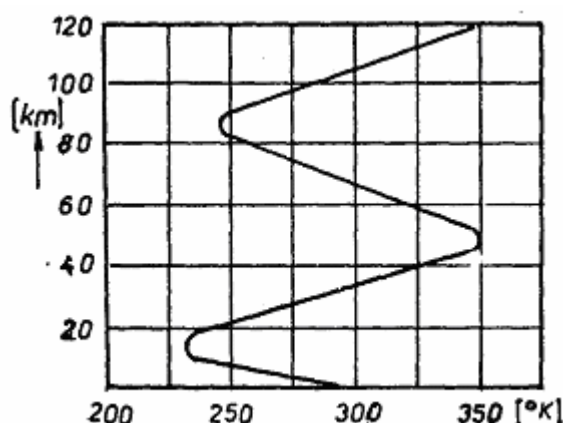
Tab. 1. Elektrické parametre rôznych druhov povrchu Zeme

Druh povrchu	Medze premenlivosti		Stredná hodnota	
	Q	$\sigma[1/\Omega m]$		$\sigma[1/\Omega m]$
Morská voda	80	1 až 4,3	80	4
Sladká voda	10 až 30	10 ⁻³ až 2,4.10 ⁻²	80	10 ⁻³ 10 ⁻² 10 ⁻
Vlhká voda	3 až 4	3.10 ⁻³ až 3.10 ⁻²	10	3
Suchá pôda		1.10 ⁻⁵ až 2.10 ⁻³	4	10 ⁻³
Veľké mestá				7,5.10 ⁻⁴
Hornatý terén				7,5.10 ⁻⁴

1.6.2 Elektrické vlastnosti zemského plynného obalu

Vlastnosti našej atmosféry môžeme poznať z popisu jej teploty, hustoty, zloženia a charakteru prúdenia vzduchu, ktoré v nej prebieha. Všetky uvedené vlastnosti sa menia s výškou nad povrchom Zeme. Poznatky o vyšších vrstvách atmosféry sa donedávna získavali nepriamym meraním. Záujmové sféry, v ktorých prebieha kolísanie teploty Obr.9:

: troposféra (nazývame počasím) : stratosféra : mezosféra : termosféra



Obr. 9. Závislosť teploty od výšky

Pri zemskom povrchu je vo vzduchu vedľa premenlivého množstva pary 71 % dusíka, 21 % kyslíka, asi 1 % argónu, malé množstvo CO_2 a stopy ďalších vzácnych plynov. Hustota vzduchu s výškou klesá a rýchlosť poklesu závisí od molekulovej váhy plynu (úbytok ľahkých plynov je oveľa pomalší ako ťažších).

V dokonale pokojnej atmosfére by vzniklo rozvrstvenie, v ktorom by vo výškach nad 150 km bola úplná prevaha ľahkých prvkov. Ukázalo sa však, že aj vyššie vrstvy atmosféry sú v pohybe a že aj tam nastáva dokonalé premiešanie všetkých zložiek. Preto až do výšky 150 - 200 km nemá atmosféra prakticky možnosť rozvrstviť svoje zložky podľa rozdielnej molekulovej váhy a približne do 85 km je zloženie atmosféry rovnaké ako pri povrchu Zeme - homosféra.

Asi vo výške 20 km sa už prejavuje ultrafialové žiarenie Slnka, ktoré disociuje dvojatómovú molekulu kyslíka na jednotlivé atómy. Tieto sa spájajú s neporušenými molekulami vzduchu. Pohlcovaním slnečného žiarenia sa ohrieva atmosféra, čím sa vysvetľuje vzrast teploty v týchto výškach. Nad hladinou maximálnej koncentrácie ozónu (asi 25 km) nastáva jeho úbytok a teplota znova klesá. S rastúcou výškou vzrastá podiel voľných kyslíkových atómov a vo výškach nad 100 km sa už vyskytuje viac kyslíka v atómovej ako v molekulárnej forme.

Ultrafialové žiarenie slnka pôsobí aj na iné molekuly. Časť energie absorbovanej vo forme slnečného žiarenia sa v týchto výškach transformuje chemickými reakciami na svetelnú energiu (tak vzniká luminiscencia vysokej atmosféry nočnej oblohy). Vplyvom disociácie kyslíka a vplyvom difúzie dochádza k zmene zastúpenia jednotlivých zložiek vzduchu. So stúpajúcou výškou sa atómový kyslík stáva čoraz podstatnejšou zložkou vysokej atmosféry

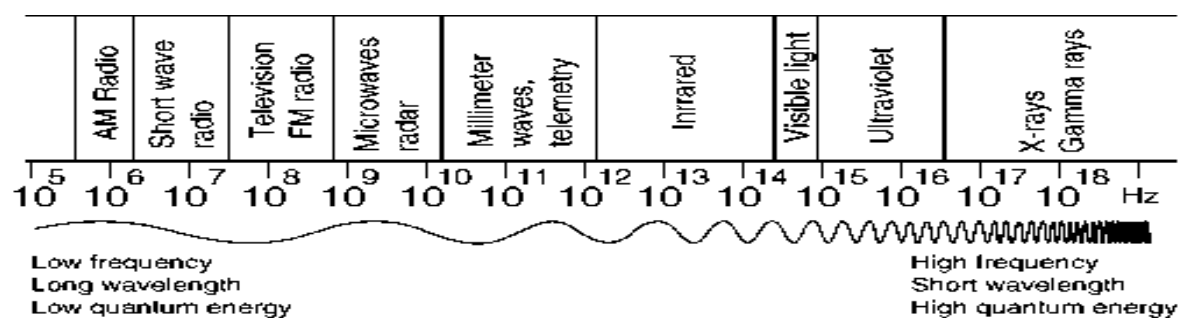
a vo výškach okolo 300 km už úplne prevažuje. Do výšky sa dostáva tiež atómový vodík a vplyvom stúpajúcej teploty a klesajúcej gravitácie sa stáva hlavnou súčasťou atmosféry.

Slnčné ultrafialové žiarenie s kratšími vlnovými dĺžkami, ktoré dosahujú až žiarenie X, ionizuje atómy a molekuly, pričom vznikajú voľné elektróny a kladné ióny = ionosférai.

Nad ionosférou dosahuje teplota postupne až niekoľko tisíc stupňov a častica vzduchu dosahujú veľké rýchlosti. Za týchto okolností môžu plyny uniknúť z dosahu zemskej príťažlivosti. Uniká najmä hélium a vodík, a tak zemská atmosféra plynulá prechádza do medziplanetárneho priestoru. Tam sa rozptyľuje slnečné svetlo ako elektromagnetické žiarenie rozptyľuje.

Zem je vlastne obrovský magnet. Magnetické siločiarly vyplňajú okolitý priestor. Vychádzajú z povrchu Zeme na magnetických póloch, časť siločiar prechádza aj nízko nad povrchom Zeme. Do vzdialenosti asi 25 000 km sa magnetosféra správa ako dipól. Vo väčších vzdialenostiach je evidentný pokles magnetického poľa, čo sa vysvetľuje existenciou prstenca prúdu niekoľko miliónov ampérov, ktorý obieha Zem vo vzdialenosti 50 000 km. Vo vonkajších oblastiach magnetosféry je pole premenlivé, podlieha prudkým krátkodobým zmenám. Za vzdialenosťou 100 000 km klesá pole na stálu hodnotu poľa medziplanetárneho priestoru.[4,5]

Slnko je zdrojom elektromagnetického žiarenia najrôznejších vlnových dĺžok (obr. 10).



Obr. 10. Spektrum elektromagnetického žiarenia – frekvencia vln (Hz)

1.7 Šírenie veľmi krátkych (mikrovlnových) vln

1.7.1 Klasifikácia možných prípadov šírenia veľmi krátkych vln

Do pásma veľmi krátkych vln patria elektromagnetické vlny kratšie ako 10 m. Toto pásmo sa rozdeľuje ešte na čiastkové pásma podľa vlnových dĺžok: na vlny metrové ($\lambda = 10$ m až 1 m), decimetrové ($\lambda = 10$ dm až 1 dm), centimetrové ($\lambda = 10$ cm až 1 cm) atď.[4,5]

Veľmi krátke vlny sa všeobecne šíria len ako povrchové. Výnimkou je malé pásmo v okolí 10 m, kde sa môžu šíriť aj priestorové vlny. Aj pri najdlhších rádiových spojoch je v priebehu jedenásťročného slnečného cyklu maximálnym použiteľným kmitočtom 30 MHz, tým je súčasne určená aj hranica použitia priestorovej vlny v pásme veľmi krátkych vln.

Rádiové spoje na veľmi krátkych vlnách sa vyznačujú tým, že sa používajú antény, ktorých výška nad zemou je porovnateľná s vlnovou dĺžkou. Okrem toho sa pri šírení veľmi krátkych vln prejavuje difrakcia len veľmi nepatrne. Spôsobuje to prerušenie spojenia v prípade, keď zanikne priama viditeľnosť medzi prijímacou a vysielačou anténou. Tento jav je tým markantnejší, čím kratšia je vlnová dĺžka.

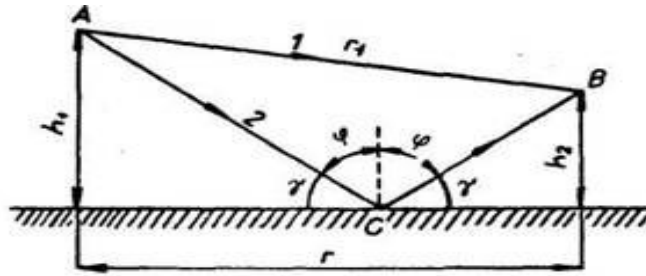
Prípady šírenia veľmi krátkych vln, ktoré sa vyskytujú v praxi, je výhodné rozdeliť na tieto skupiny:

1. šírenie na malé vzdialenosti, kedy možno uvažovať povrch zemský za rovinný.
2. šírenie na väčšie vzdialenosti za priamej viditeľnosti pri rešpektovaní krivosti povrchu Zeme a prihliadnutí na atmosferický lom.
3. šírenie na vzdialenosť, ktorá prekračuje dosah priamej viditeľnosti.

1.7.2 Šírenie na malé vzdialenosti

a) Vysielač a prijímač anténa je vysunutá nad zemou

Predpokladáme, že elektrické pole v mieste príjmu je výsledkom interferencie Obr. 11 medzi priamym lúčom 1 a od zeme odrazeným lúčom 2.



Obr. 11. Schéma šírenia veľmi krátkych vln
nad rovinnou zemou pri vysunutých
anténach

Nech je daná dĺžka rádiového spoja r , výška vysielačnej antény h_1 a prijímacej antény h_2 . Potom ľahko môžno určiť polohu bodu C a veľkosť elevačného uhla γ . Okrem toho môžno určiť rozdiel dráh Δr medzi priamym a odrazeným lúčom. Elektrické parametre pôdy ϵ_r a σ , na ktorých nastáva odraz vln sú známe, takže je možné určiť činiteľ odrazu R a fázový posun θ pri odraze.

P - vyžarovaný výkon (kW), D - činiteľ smerovosti vysielačnej antény vzhľadom na izotropný žiarič a r - vzdialenosť (km). Pre priamy lúč platí:

$$E_1 = \frac{245\sqrt{PD_1}}{r_1} \cos \omega t \quad (8)$$

a pre odrazený lúč

$$E_2 = \frac{245\sqrt{PD_2}}{r_1 + \Delta r} \cos\left(\omega t - \theta - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r\right) \quad (9)$$

D_1 je činiteľ smerovosti vysielačnej antény pre priamy lúč a D_2 pre lúč odrazený od zeme. Numerické hodnoty činiteľov D_1 a D_2 sa určia zo smerovej charakteristiky antény vo vertikálnej rovine.

Výsledné elektrické pole v bode B je súčet výrazov (8) a (9). Podľa povahy polarizácie môžu vzniknúť dva prípady:

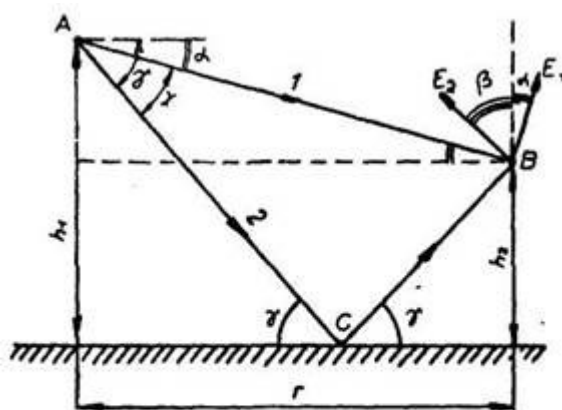
1. Pri vyžarovaní horizontálne polarizovaných vln majú vektory E_1 a E_2 v bode B rovnaký smer, smer kolmice na rovinu obrazu. Potom je výsledné pole v mieste príjmu algebrickým súčtom E_1 a E_2 .

2. Pri vertikálnej polarizácii ležia vektory E_1 a E_2 v rovine obrazu. Majú rôzne smery, E_1 zvisla so zvislicou uhol

$$\alpha = \arctg \frac{h_1 - h_2}{r} \quad (10)$$

a vektor E_2 uhol $\beta = \gamma$. V tomto prípade bude výsledné pole polarizované elipticky a jeho vertikálnu zložku možno získať rovnicou:

$$E_z = E_1 \cos \alpha + E_2 \cos \gamma \quad (11)$$



Obr.12. Určenie výslednej intenzity
elektromagnetického poľa pri vertikálnej
polarizácii

Pri horizontálnej polarizácii elektromagnetických vln je výsledná intenzita poľa v mieste príjmu daná vzorcom:

$$\begin{aligned} E &= 245 \sqrt{P} \left[\frac{\sqrt{D_1}}{r_1} \cos \omega t + \frac{R \sqrt{D_2}}{r_1 + \Delta r} \cos \left(\omega t - \theta - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right] = \\ &= \frac{245 \sqrt{PD_1}}{r_1} \left\{ \cos \omega t \left[1 + \frac{R \sqrt{D_2} r_1}{\sqrt{D_1} (r_1 + \Delta r)} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right] + \right. \\ &\quad \left. + \sin \omega t \frac{R \sqrt{D_2} r_1}{\sqrt{D_1} (r_1 + \Delta r)} \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

Zavedením označenia:

$$\begin{aligned} 1 + R \frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) &= A \cos \psi \\ 1 + R \frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) &= A \sin \psi \end{aligned} \quad (13)$$

je možno rovnicu (12) prepísať na tvar

$$E = \frac{245\sqrt{PD_1}}{r_1} A \cos(\omega t - \psi) \quad (14)$$

Riešením sústavy rovníc (13) sa vygenerujú hodnoty nových konštánt A a ψ :

$$A = \left[1 + R^2 \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right)^2 \frac{D_2}{D_1} + 2R \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right) \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$\psi = \arctg \frac{R \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right) \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right)}{1 + R \frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right)} \quad (16)$$

Pre ďalšie vysvetlenie nie je fáza intenzity podľa dôležitá. Vynechaním časového súčiniteľa a zavedením efektívnej hodnoty je zrejmý výraz pre výslednú intenzitu podľa:

$$E_{ef} = \frac{173\sqrt{PD_1}}{r_1} \left[1 + R^2 \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right)^2 \frac{D_2}{D_1} + 2R \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right) \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Pri vertikálnej polarizácii elektromagnetických vln je vertikálna zložka výslednej intenzity podľa v mieste príjmu podľa (11) daná výrazom:

$$E = \frac{245\sqrt{PD_1}}{r_1} \left[\cos \alpha \cos \omega t + R \cos \gamma \frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} \cos \left(\omega t - \theta - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right] \quad (18)$$

Opakovaním postupu od (12) do (17) nájdeme výraz pre výslednú intenzitu vertikálnej zložky elektromagnetického podľa v mieste príjmu:

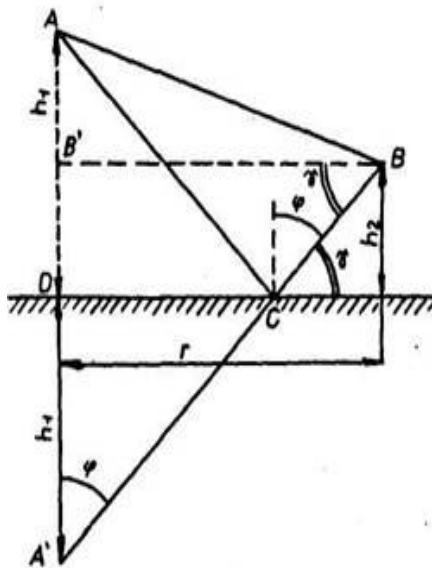
$$E_{ef} = \frac{173\sqrt{PD_1}}{r_1} \left[\cos^2 \alpha + R^2 \cos^2 \gamma \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right)^2 \frac{D_2}{D_1} + 2 \cos \alpha \cos \gamma R \left(\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} \right) \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Pre praktické použitie vzorcov (17) a (18) treba poznať: elevačný uhol, vzdialenosti r_1 a r_2 , uhol α , činiteľ odrazu R a fázový posun pri odraze θ .

Geometrické veličiny sa získajú z Obr. 13. Priamka BC je predĺžená do priesečníka s predĺženou kolmicou spustenou z bodu A na povrch zeme.

Priesečník označíme A'. Trojuholník ACD je zhodný s trojuholníkom DCA'. Potom je $AC = A'C$ a $AD = A'D$.

Bodom B je položená priamka rovnobežná s povrchom Zeme, priesečník tejto priamky s úsečkou AA' písmenom B'. Z trojuholníka B'BA' vyplýva:



Obr. 13. Určenie uhla γ a rozdielu dráh lúčov Δr

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h_1 + h_2}{r} \quad (20)$$

z toho obrazu je

$$r_1 = AB = \sqrt{r^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (21)$$

$$r_2 = A'B = \sqrt{r^2 + (h_1 + h_2)^2} \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_1 - h_2}{r} \quad (23)$$

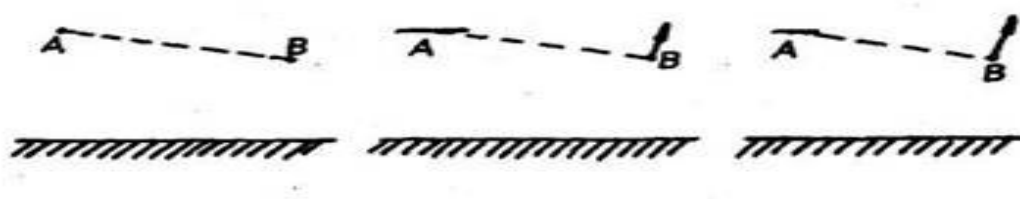
Rozdiel $\Delta r = r_2 - r_1$ musí byť vyčíslený s presnosťou radu desatiny vlnovej dĺžky, a preto priame odčítanie nemôže zabezpečiť vyžadovanú presnosť. Rozvinutím rovníc (21) a (22) do radov sa dostane činiteľ odrazu R vzhľadom na to, že takmer vždy je $h_1 + h_2 \ll r$

$$r = r_2 - r_1 = \frac{2h_1h_2}{r} - \frac{h_1h_2}{r^3}(h_1^3 + h_2^3) + \dots \quad (24)$$

Z Obr. 12 vyplýva, že pri vertikálne polarizovanom žiarení vzniká aj horizontálna zložka poľa, ktorej absolútna hodnota je určená vzťahom:

$$E_h = E_1 \sin \alpha - E_2 \sin \gamma \quad (25)$$

Keď vytvára žiarič horizontálne polarizované pole a keď bod príjmu je vzhľadom na smer maximálneho žiarenia vysunutý z horizontálnej roviny, vzniká okrem základného horizontálne polarizovaného poľa ešte prídavné, vertikálne polarizované elektrické pole.



Obr. 14. Vznik vertikálnej zložky elektrického poľa z horizontálneho dipólu

Vektor elektrického poľa vyžarovaného horizontálnym dipólom je kolmý na sprievodič spájajúci stred dipólu s bodom príjmu a leží v rovine sprievodiča a osi dipólu. V jednom prípade je sprievodič kolmý na os dipólu a v bode B vzniká len horizontálne elektrické pole, rovnobežné s osou dipólu. Pre tento prípad platí rovnica (16). Je i druhý krajný prípad, keď bod príjmu B je umiestnený v smere osi dipólu. Vektor elektrického má vertikálnu a pozdĺžnu horizontálnu zložku. Priečna horizontálna zložka chýba.

Všeobecný prípad je, keď smer priameho lúča zvierá ľubovoľný uhol so smerom maximálneho žiarenia v horizontálnej rovine. V tomto prípade leží vektor elektrického poľa v bode B v rovine nákresu a má všetky tri zložky.

Vo veľkej väčšine prípadov vyskytujúcich sa v praxi sú výšky antén oveľa menšie ako vzdialenosť medzi nimi čo umožňuje zjednodušiť všeobecné vzorce. Keď je $h_1 \ll r$ a $h_2 \ll r$, dostávajú vzorce (8) s (23) jednoduchší tvar

$$\gamma = \frac{h_1 + h_2}{r} \quad (26)$$

$$\alpha = \frac{h_1 - h_2}{r} \quad (27)$$

Zo vzťahu (24) sa obmedzíme len na prvý člen

$$\Delta r = \frac{2h_1 h_2}{r} \quad (28)$$

Pri malých uhloch je $D_1 = D_2 = D$ a $r \ll r_1$ preto pomer

$$\frac{r_1}{r_1 + \Delta r} = 1 \quad (29)$$

Vzdialenosť r_1 , ktorá sa vyskytuje v menovateľoch rovníc (17) a (19), môžeme nahradiť veličinou r .

Po úprave podľa všetkých uvedených zjednodušení bude intenzita poľa horizontálne polarizovanej elektromagnetickej vlny vyjadrená vzorcom:

$$E_{ef} = \frac{173 \sqrt{1 + R^2 + 2r \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r\right)}}{r} \sqrt{PD} \quad (30)$$

Vo vzorci pre vertikálne polarizované elektromagnetické vlny (19) možno položiť $\cos \alpha = 1$ a $\cos \gamma = 1$, takže po úprave všetkých zjednodušení dostáva rovnica (19) tvar rovnice (29).

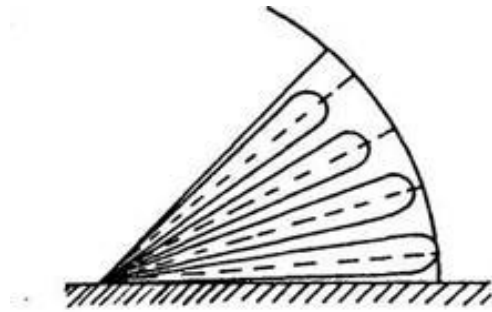
V mnohých prípadoch možno vzťah (29) ešte ďalej zjednodušiť. Vzhľadom na to, že $h_1 \ll r$ a $h_2 \ll r$, elevačný uhol druhého lúča taký malý, že činiteľ odrazu $R = 1$ a fázový posun $\theta = 180^\circ$. Tým možno upraviť vzťah (29) na:

$$E_{ef} = \frac{346 \sqrt{PD}}{r} \left| s \frac{\pi}{\lambda} \Delta r \right| \quad (31)$$

činitel

$$\left| \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta r \right| \quad (32)$$

ukazuje na prítomnosť miním a maxím. Ako vidieť na Obr. 15 smerový diagram žiariča vo vertikálnej rovine má aj pri použití izotropného žiariča mnoho lalokov.



Obr. 15. Mnoholalokový smerový
diagram žiariča vo vertikálnej rovine

Tento záver nemožno vyvodiť priamo z rovnice (5), lebo podľa predpokladu platí tento vzorec len pre $h_1 \ll r$ a $h_2 \ll r$.

Predpoklad je, že prijímacia anténa je od vysielacej antény veľmi vzdialená. Potom možno považovať odrazený lúč za rovnobežný s priamym lúčom (15).

Rozdiel dráh $\Delta r = A'D$ možno určiť priamo z obrazu $\Delta r = 2 h_1 \sin \gamma$

Dosadením tejto hodnoty do výrazu $\sin(\pi/\lambda)\Delta r$ sa dostane:

$$\sin\left(\frac{2\pi h_1}{\lambda} \sin \gamma\right) = \sin(n\pi \sin \gamma) \quad (33)$$

kde je

$$n = \frac{2\pi h_1}{\lambda} \quad (34)$$

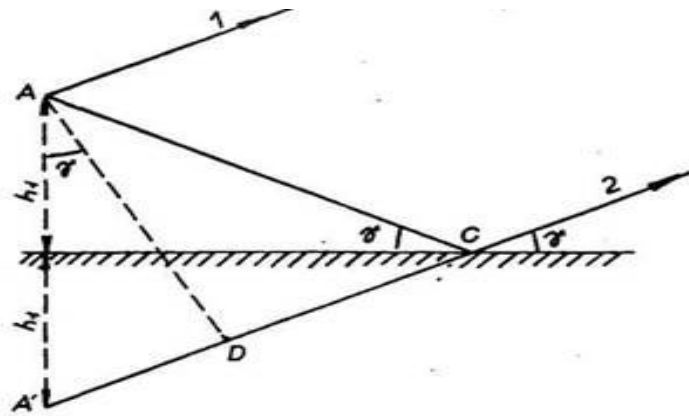
Keď sa mení uhol γ od 0° do 90° , prejde vonkajší sínus n -krát maximom, čím je dokázaná veta, že počet lalokov n vo vertikálnom vyžarovacom diagrame je rovný podielu výšky žiariča s polovičnou vlnovou dĺžkou.

Pri malých hodnotách $(\pi/\lambda)\Delta r$ možno nahradiť sínus jeho argumentom a vzorec (35) dostane ešte jednoduchší tvar

$$E_{ef} = \frac{2,18\sqrt{PD}h_1h_2}{r^2\lambda} \quad [mV/m, kW, m, km, m] \quad (36)$$

vzťah (36) sa nazýva podľa objaviteľa vzorcom Vyedenského a môže sa použiť, keď je splnená okrem už uvedenej podmienky i ďalšia nerovnosť.

$$h_1h_2 \leq \frac{r\lambda}{18} \quad (37)$$



Obr. 16. Určenie počtu lalokov vo vertikálnom
smerovom diagrame

Napokon treba zdôrazniť, že pojem priameho a odrazeného lúča v mieste príjmu, na ktorom je založené odvedenie odrazových vzorcov, je len približné riešenie oveľa zložitejších procesov šírenia a je prípustný len vtedy, keď sú výšky antén niekoľkokrát väčšie ako vlnová dĺžka. Keď táto podmienka nie je splnená, musí sa rátať s vplyvom Zeme a postupovať podľa presnejších vzorcov.

b) Vysielač a prijímač antény je nízko nad zemou

Keď je vysielač a prijímač antény umiestnená veľmi blízko povrchu Zeme a vzhľadom na malú vzdialenosť medzi vysielačom a prijímačom možno považovať povrch Zeme za

rovinný, možno intenzitu poľa počítať podľa tzv. Šulejkinovho - van der Polovho vzorca.[1-5]

1.8 Zdroje priemyselného rušenia

V osídlených oblastiach vznikajú zdroje nežiadúcich spektier, vyvolané ľudskou činnosťou. Elektrické, energetické a oznamovacie siete, sú zdrojmi impulzných spektier na spínacích zariadeniach:

- Zapaľovacie zariadenia výbušných motorov
- Komutátory elektrických motorov
- Vysokofrekvenčné generátory používané v priemysle a lekárstve
- Rádiové telekomunikačné siete, ktorých vysielacie produkujú nežiadúce vyžarovanie vyšších harmonických kmitočtov alebo nadbytočným obsadzovaním pásiem
- Rozhlasové a komunikačné prijímače s prenikaním oscilátorového kmitočtu do antény alebo pri vyžarovaní oscilátorového a medzifrekvenčného kmitočtu do okolia, prípadne do energetickej siete
- Televízne prijímače, pri ktorých okrem žiarenia uvedeného pri rozhlasových prijímačoch môže byť zdrojom rušenia generátor riadkového rozkladu, jeho veľmi široké spektrum môže žiariť do okolia a prenikať do energetickej siete

Tieto zdroje by svojimi spektrami mohli znemožniť príjem v osídlených oblastiach. Na obmedzenie priemyselného rušenia sú stanovené vnútroštátne normy a medzinárodné dohody, ktoré definujú opatrenia pre výrobcov a používateľov na zabránenie vzniku veľkých rušiacich polí.[3,4,5]

1.9 Členenie mikrovlnových detektorov

Mikrovlnový detektor (MD) je polovodičová dióda alebo botometer pracujú v týchto kmitočtových pásmach elektromagnetického vlnenia: **2,5 GHz**, **10GHz** alebo **24GHz**. Ich citlivosť závisí na veľkosti povrchu odrážajúceho telesa, množstva energie, vzdialenosti medzi telesom a detektorom a rýchlosti pohybu telesa. Ak sa teleso pohybuje pomaly, je frekvenčný posun veľmi malý, nezávisle na smere pohybu (od alebo k detektoru), pretože vzhľadom k odrazu mikrovln od okolitých stien a predmetov dochádza hlavne v menších

priestoroch k ich „vyplneniu“ stojatými vlnami, stráca teoretický smer najväčšiu citlivosť na význame.

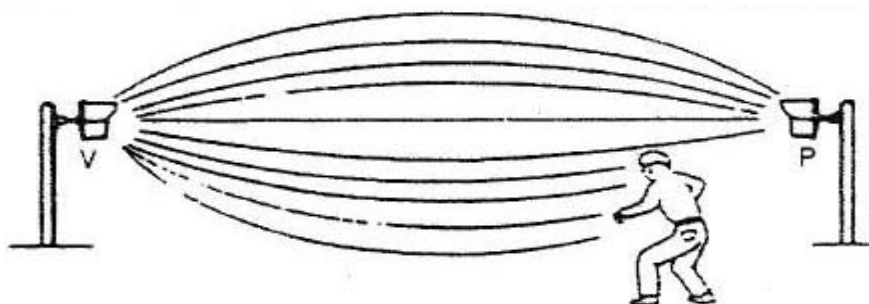
MD sa pre vonkajšie použitie líšia dosahom, veľkosťou prevedenia, teplotnou a poveternostnou odolnosťou. [7 - 13]

1.9.1 Mikrovlnové závory (bariéry)

Mikrovlnové závory vytvárajú vysokofrekvenčné elektromagnetické pole medzi vysielateľom a prijímačom.

Tento systém detekuje a vyhodnocuje zmeny energie zachytené jeho prijímacou anténou a množstvo energie je potom ovplyvňované veľkosťou predmetu resp. osôb.

Tvar zväzku žiarenia (=detekčná zóna) je rotačný elipsoid s rotáciou okolo veľkej osy a s výrazným pomerom veľkej a malej osy, tento pomer vzrastá so zväčšovaním vzdialenosti vysielateľ - prijímač. Vyžarovací diagram má teda eliptický tvar nielen v ploche vodorovnej, rovnobežne s povrchom, ale i ploche zvislej, s tým istým pomerom dĺžky a šírky.



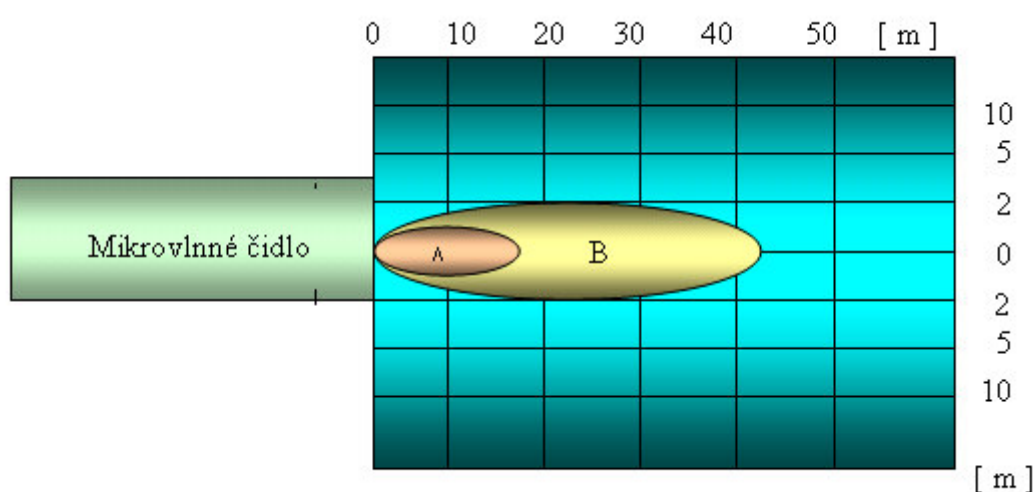
Obr. 17. Činnosť mikrovlnovej závory

1.9.2 Dvojité mikrovlnové detektory

Na rozdiel od bežných detektorov používa dvojitý detektor, dva prijímacie kanály, ktoré pracujú s amplitúdovo modulovaným signálom na piatich nosných frekvenciách v pásme okolo 10,5 GHz. Použitý mechanizmu spracovania signálu vylučuje signály slabé, signály odpovedajúce pohybu mimo rozsah nastavený rýchlosťou a signály indikujúce obojsmerný pohyb, ktoré sú charakteristické pre typických pôvodcov planých poplachov.

Vďaka schopnosti mikrovln „obtieť“ prekážky v zornom poli je zachovaná vysoká citlivosť detekcie pri strážení členitých priestorov. K vyvolaniu poplachu musia vyhodnocovacie obvody sledujúce oba kanály zaznamenať pohyb na dráhe aspoň 20 cm. Tým je vylúčené spustenie planých poplachov spôsobených napr. vibráciami, ventilátormi...

Tvarovo vhodná anténa vysiela vysokofrekvenčnú energiu v ostro ohraničenom zväzku vytvárajúcom presne definovanú detekčnú zónu, ktorej parametre možno meniť nastavením dosahu. Veľkosť detekčnej zóny je spravidla pri krátkom dosahu 25x25m a pri dlhom 50x15m.



Obr. 18. Detekčné charakteristiky dvojitého mikrovlnového detektora - krátka (A) a dlhá (B)

1.9.3 Duálne detektory PIRAMID (=passive infra red and microwave intruder detector)

Duálne detektory majú v jednom „obale“ dva typy detektorov. Jeden pasívny infračervený a druhý mikrovlnový. Duálny detektor vyhlási poplach len vtedy, ak vyhlásia poplach obidva detektory, pasívny infračervený i mikrovlnový.

Pasívny infračervený detektor detekuje tepelné prejavy pohybujúceho sa objektu.

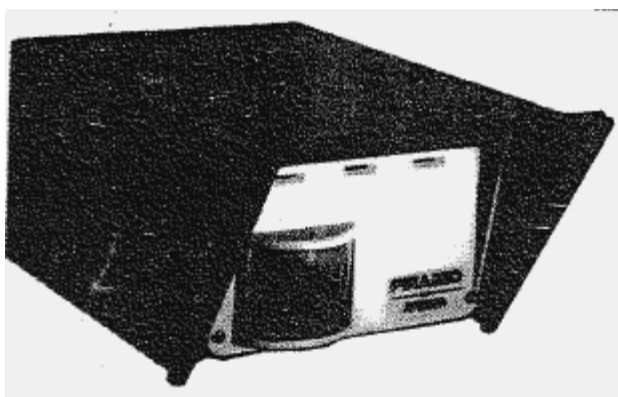
K obmedzeniu pravdepodobnosti vzniku planých poplachov je tento typ detektoru osadený dvojistou mikrovlnovou jednotkou a dvojším pyroelementom.

Znáмым javom u týchto detektorov je zníženie ich citlivosti pri náraste teploty okolia na teplotu ľudského tela, preto je osadený elektronickými obvodmi teplotnej kompenzácie

v rozsahu 15,6 až 33,3°C s funkciami: prispôsobenie citlivosti detektora teplote okolia; pri náraste teploty citlivosť rastie a naopak.

Upravenie citlivosti mikrovlnovej jednotky je nepriamo úmerné k citlivosti detektora, čo znižuje náchylnosť duálneho detektoru k planým poplachom v prípade, že vzrastie citlivosť pasívneho infradetektora.

Detekčné pole je nastaviteľné a je závislé na nastavení citlivosti MW detektora a použitej šošovky PIR detektora. Spravidla sa používa vejárovitá charakteristika (15x15m s uhlom 90°) a charakteristika s dlhým dosahom (5x35m s uhlom 50°).[7 - 13]

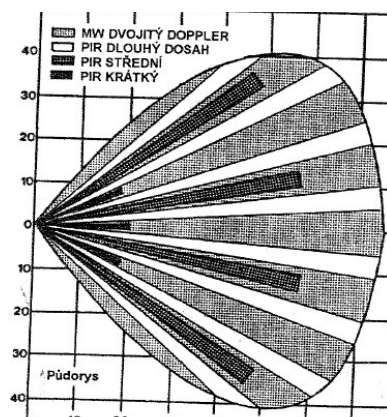


Obr. 19. Duálny detektor

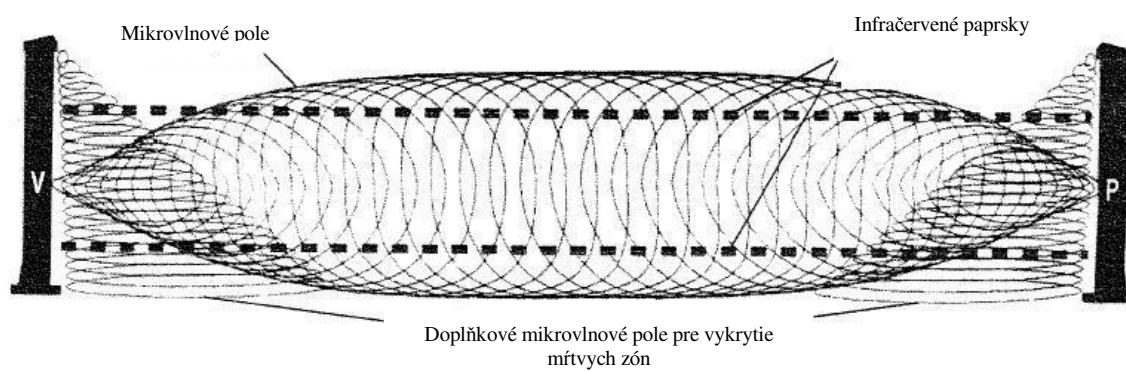
Kombinované (mikrovlnové - infračervené) závory (bariéry)

Nová kombinácia vonkajších bariér využívajúca dve detekčné technológie – vysielanie a prijímanie infračervených lúčov a mikrovlnová technológia.

Vyhodnocovanie signálov sa prevádza špeciálnym algoritmom. Oba systémy sú spolu s vyhodnocovacou elektronikou inštalované v dvoch stĺpcoch (vysielač - prijímač) s vzdialenosťou až 150m. MW žiarič má nižší výkon. Táto bariéra je obohatená o skrytú kameru.



Obr. 20. Vejárovitá charakteristika
v horizontální rovine

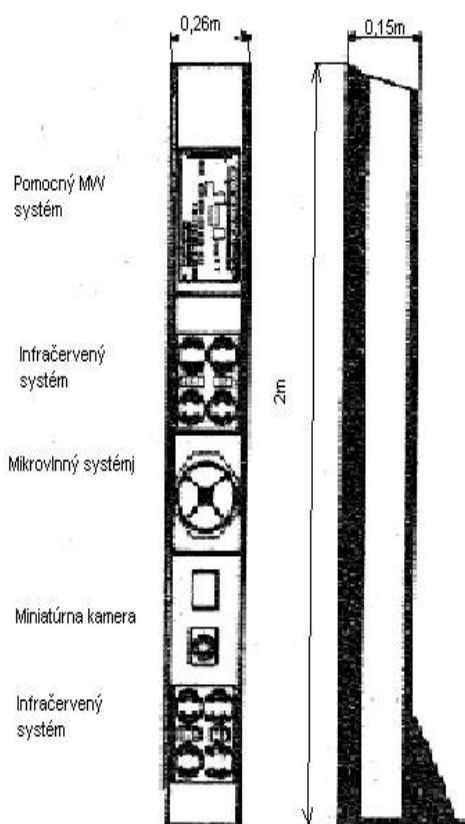


Obr. 21. Duálna bariéra a jej detekčná charakteristika

- Mikrovlnový systém – väčšinou pracuje ako aktivátor, pretože jeho MW pole je narušené prvé vzhľadom na jeho tvar. Pásmo vzniká medzi vysielačom a prijímačom elipsovitého tvaru asi 150m o šírke až 6m. Intenzita je regulovateľná. Na začiatku a na konci pole nesiahajú na zem a tým vznikajú mŕtve zóny a to vykryjeme pomocným mikrovlnným systémom.
- Infračervený systém – skladá sa z vysielača ktorý vysiela IR lúč a prijímača – prijíma a vyhodnocuje. Lúč pozostáva zo štvorice lúčov a má väčší priemer. Vysoká detekčná schopnosť je umocnená moduláciou infračervených lúčov.

Každý prijímač je schopný rozoznať iba lúče zo svojho vysielača a na lúče s inou moduláciou nereaguje.

- Skrytá miniatúrna kamera – je ju možno zabudovať do stĺpika duálnej bariéry, poskytuje okamžité overenie príčiny poplachu, je to i ekonomické, ušetrí sa cena vonkajšieho kamerového krytu.



Obr. 22. Stĺp vysielača duálnej bariéry + miniatúrna

kamera; popis a rozmery štandardného prevedenia tejto bariéry

Výhodou tejto kombinovanej bariéry je zaistenie ochrany i pri pohybe rôznych zvierat, materiálu...

- U bežných perimetrických systémov dochádza k obmedzeniu činnosti poveternostnými vplyvmi ako je hmla, husté sneženie či dážď. Táto kombinácia pri zlých poveternostných podmienkach automaticky odpojí infračervený systém, zníži citlivosť o 30% a objekt je ďalej strážený iba MW systémom.

Pre vyhlásenie poplachu je treba v rámci jedného časového okna aktivovať obe technológie, každá má svoj vlastný časovač, ktorý možno nastaviť od 20 do 120 s. Ak je aktivovaný MW systém, spustí sa časové okno a ak je počas nastaveného časového úseku aktivovaný IR systém, bude vyhlásený poplach a naopak. [7 - 13]

Poznámka:

Treba spomenúť, že medzi kombinácie detektorov, patrí i kombinácia mikrovlnového a ultrazvukového detektora, jeho použitie je však obmedzené, vyžarované detekčné pole je totiž rozpoznateľné pre zvieratá, ktoré táto forma vyžarovania lákala, a tým dochádzalo k častému spusteniu poplachu, používanie sa teda zredukovalo až obmedzilo.

Tento typ detekcie sa uplatňuje napr. pri ochrane dopravných prostriedkov.

2 PRAKTICKÁ ČASŤ

2.1 Komparácia vlastností jednotlivých mikrovlnových detektorov

Na našom trhu je veľké množstvo firiem, ktoré sa zaoberajú či už výrobou alebo distribúciou medzi inými zabezpečovacími prvkami aj mikrovlnových detektorov, sú to napr. firmy Jablotron, Paradox, Rekonet, Visonic, Crow, Optex, Guardall, Aritech, Olympo, Digigard, ... I keď technológie napredujú stále dopredu, získavajú nové funkčné vlastnosti, vyberieme si zo zatiaľ dostupných výrobkov, ktoré sa pohybujú na trhu a prevedieme si ich komparáciu a porovnanie ich vlastností. [14 - 19]

Príklad: produkty firiem Aritech, Guardall a Olympo - duálne detektory – kombinácia PIR + MW - porovnanie ich vlastností, detekčných charakteristík a parametrov, ktoré nás zaujímajú pri zabezpečení ochrany podniku.

1. Firma ARITECH



Obr. 23. Duálny detektor DD 400

- Duálny detektory rada DD 400 typy 450 (dosah 12m -7 záclon), 470 (dosah 16m – 9 záclon) a 490 (dosah 20m – 7 záclon) s premennými ohniskami (umožňuje dokonalé pokrytie priestoru vrátane priestoru pod detektorom)

- Produkt je na trhu doporučený pre objekty s vyššími rizikami
- Spracovanie signálu 4D (analyzuje signál pozadia, detektor dokáže rozlíšiť pohyb človeka od falošných poplachov – rušivé vplyvy RFI). Časť PIR pozostáva z 2 nezávislých snímačov porovnávajúcich veľkosť, polaritu a strmosť signálov -3D.

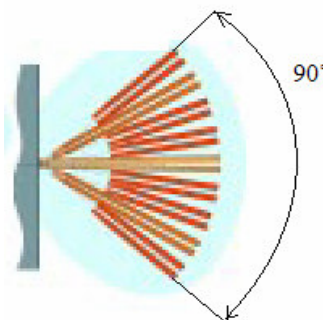
$$4D = 3D + \text{digitálna filtrácia šumu}$$

- 2 protiľahlé antény zabezpečujú lepší odstup signál/šum a tým rýchlejšiu detekciu pohybu
- Možnosti vypnutia žiariča v režime mimo ochrany (riadenie automaticky z ústredne systému)
- Vyžarovaný výkon je extrémne nízky až 10^5 x menší ako mobilný telefón
- Pracuje na technológii Distance of Motion = meranie vzdialenosti, ktorú prekoná pohybujúci sa objekt
- Dosah oboch systémov PIR + MW je riadený súčasne

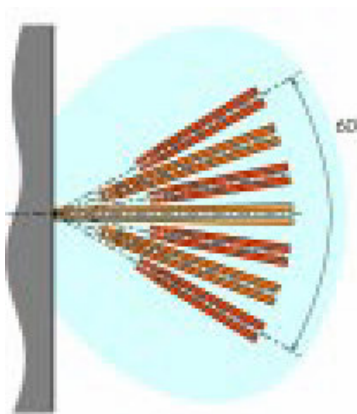
CHARAKTERISTIKA POKRYTIA



Obr. 24. 3 - rozmerný pohľad



Obr. 25. Pohľad zhora



*Obr. 26. Pohľad zhora pre
DD 490*

2.Firma GUARDALL

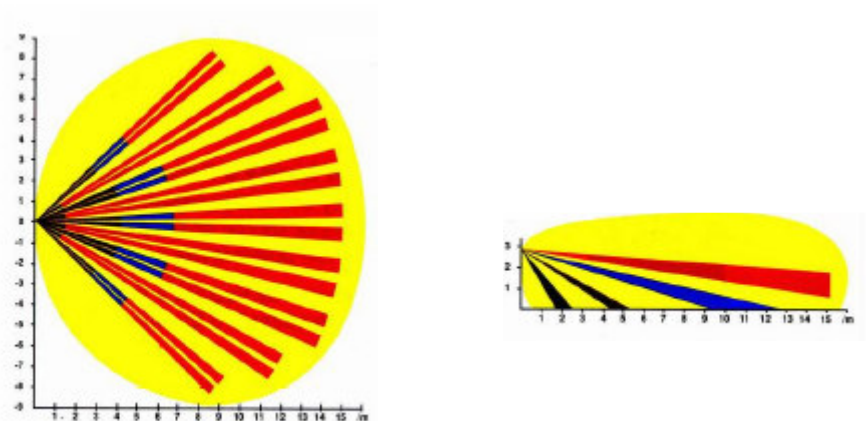


*Obr. 27. Duálny detektor Astra
Elite*

- Duálny detektor Astra Elite využíva funkciu Antimasking, čím je využívaný v komerčných a priemyselných aplikáciách s vyššou pravdepodobnosťou sabotáže detektora (zakrytie detektora lakmi, penou, akrylátmi,...). Jeho prednosťami sú:
- 2 antimaskingové úrovne ŠTANDARD a HIGH

- Pravidelný vlastný test overuje činnosť obidvoch kanálov
- Samokalibračná schopnosť nastavenia antimaskovacieho obvodu umožňuje umiestenie v rôznych druhoch prostredí a kompenzácia pri zaprášení, zmene teploty, starnutí,...
- Utesnená optika zabraňuje vniknutiu prachu či hmyzu
- Filter bieleho svetla (- denné svetlo) bráni prenikaniu fluorescenčného svetla (- umelé svetlo)
- Nepretržité monitorovanie systému – stabilizácia napätia z napájacieho zdroja, vzniku chýb v mikroprocesore,...
- Trojfarebná LED dióda indikuje samostatne PIR, MW

CHARAKTERISTIKA POKRYTIA



Obr. 28. Pohľad z boku a pohľad zhora

2.Firma OLYMPO

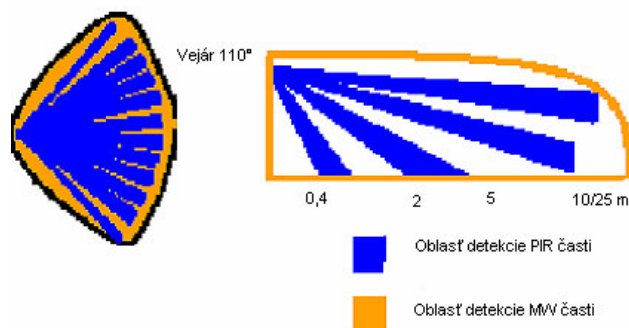


Obr. 29. Duálny detektor

Rokonet

- Duálne detektory Rokonet obsahujú modely RK110 (dosah 10m), RK115 (dosah 15m) a RK125 (dosah 25m).
- Odolnosť voči falošným poplachom napr. netesným alebo nedovretým dverám a oknám, náhlým zmenám teploty,...
- Vhodné použitie do komerčných i obytných prostredí
- Mikroprocesorové spracovanie
- Patentovaná teplotná kompenzácia
- Ochrana proti bielemu svetlu
- Pohľad pod detektor
- Vysoká RF odolnosť
- Nízky odber 17mA
- Nastaviteľný dosah mikrovlnovej časti

CHARAKTERISTIKA POKRYTIA



Obr. 30. Detekčný diagram RK 110/115

Tab. 2 Komparácia vlastností jednotlivých detektorov

TECHNICKÉ PARAMETRE	Olympo	ASTRAEL	DD400
Napájanie [V j.s.]	9 - 16	9 - 16	9 – 15
Rozmery [mm]	128 x 64x 50	147 x 83 x 65	128 x74 x54
MW frekvencia [GHz]	2,45	2,45	2,45
Prúdový odber kludový [mA]	17	30	14,5
Prúdový odber maximálny [mA]	50	40	22
Pokrytie [m]	10 - 25	15	12 - 20
Pracovné. podmienky [°C]	0 - +55	-10 - +55	-10 - +55

ZHRNUTIE:

Fyzikálne i funkčné vlastnosti sa prevedenou komparáciou ukázali ako podobné, s malými odchýlkami, rozdielne sú iba dodatkové funkcie, ktoré u jednotlivých detektorov predstavujú hlavné výhody.

Spotrebiteľ, ktorý sa rozhoduje medzi jednotlivými výrobkami potom prizerá hlavne na objekt, ktorý zabezpečuje, preto detektor firmy ARITECH je najvhodnejšie použiť do priestorov, kde je riziko napadnutia vysoké, ochrana od firmy GUARDAL – komerčné priestory – sklady a OLYMPO - garáže.

Pre vysvetlenie :

1. Digitálne spracovanie signálu v reálnom čase znamená, že proces zosiluje a filtruje digitalizovaný signál v reálnom čase. Filtrácia je nezávislá na teplote, nedochádza k skreslení

fáze a nieje treba ďalších súčiastok. Toto spracovanie umožňuje maximálny odstup signál - šum.

2. Analýza pohybu – pohyb generuje signál s charakteristickým priebehom. U všetkých zachytených signálov je skúmaná amplitúda, doba trvania, veľkosť v špičke, energia, strmosť, tvar a priebeh signálu. Všetky signály sú porovnané s vzorníkom pohybových a falošných signálov. Pokiaľ signál nemá charakter pohybového signálu, je z ďalšieho spracovania vyradený.

3. Analýza pozadia – teplota v miestnosti a stupeň narušenia sú neustále sledované. Tieto informácie sú analyzované a podľa ich hodnôt je nastavovaná veľkosť zosílenia a veľkosť signálu potrebného pre vyvolanie poplachu. Je to zaistenie odstup signál – šum pre celý teplotný rozsah.

4. Ochrana proti **RFI/EMI** rušenie – vzorkovanie signálu zo snímacieho prvku umožňuje hneď na začiatku proces odstrániť nebezpečné vysoké frekvencie, ktoré spôsobujú rušenie detektora. Vzorkovanie neznehodnocuje pohybový signál šumom.

Ceny detektorov sa pohybujú v rozmedzí 1000Kč – 10 000Kč. Pre orientáciu, firma Optex (pôvod – Japonsko) ponúka duálne detektory pre aplikácie s vysokým stupňom rizika v cene: 1919 Kč , 2398 Kč. Firma Guard (pôvod – Israel) ponúka vonkajší duálny detektor s antimaskingom v cene 4900 Kč. Firma Guardall (pôvod Veľká Británia) – detektor pre aplikácie s najvyššími rizikami s viac-kriteriálnym antimaskingom – cena 5276 Kč.

ZÁVER

Táto práca uvádza čitateľa do oblasti ochrany majetku, resp. napomáha riešiť otázku; ako sa chrániť pred nežiaducou „návštevou“. Čitateľ sa dozvie, aké sú možné druhy ochrany.

Objasňuje sa mu funkcia a činnosť mikrovlnového detektora, jeho použitie a možné technické prevedenie v kombinácii s inými typmi detektorov. Tým, že mikrovlny majú podobné vlastnosti ako elektromagnetické vlny, ich šírenie (je vysvetlené na Maxwellových rovniciach v integrálnom vyjadrení) je ovplyvňované povrchom prostredia, pri výbere MD je teda potrebné prihliadať na prostredie, v ktorom bude tento inštalovaný (vonkajšie použitie). Pri inštalácii sa prihliada i na možné formy rušenia.

Je potrebné podotknúť, že detektory vyžarujúce mikrovlny sa odporúčajú používať v priestoroch, kde sa dlhodobo nezdržujú ľudia.

(Ich pôsobenie sa dá laicky prirovnať k vlnám od mobilných telefónov) Pobyt v ich prítomnosti (počíta sa s niekoľkými desiatkami rokov, resp. aspoň 5 hod. denne) môže spôsobiť zdravotné problémy. Preto sa použitie obmedzuje na sklady, garáže, vonkajšie priestory ako napr. parkoviská, okolie domov atď.

Pre porovnanie boli vybraté tri typy duálnych detektorov a boli porovnávané ich vlastnosti. Pri ich umiestení treba dbať i na to, či sa v okolí nevyskytujú zdroje rušenia (RFI/EMI), ktoré by činnosť detektora rušili alebo ho vyradili z činnosti.

I keď sa v podvedomí ponúka myšlienka, že čím viac fyzikálnych javov je snímaných jedným detektorom, tým je väčšia úspešnosť pri odhalení nežiadúceho vstupu.

Z praktického hľadiska je ale väčšia šanca na úspech kladená na samostatný detektor jedného typu : (iba mikrovlnový, iba infračervený, iba ultrazvukový) poprípadе v kombinácii s iným typom ochrany (MZS,...), čo je dané tým, že citlivosť duálneho detektoru nie je možné zladiť natoľko, aby neboli vyhlasované plané poplachy.

Nastupujúce moderné technológie však napredujú takou rýchlosťou, že odstránenie tejto „chybičky krásy“ je len otázkou času.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ĎAĎO, S., KREIDL, M.: *Senzory a meracie obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [2] UHLÁŘ, J.: *Technická ochrana objektů, II. díl – Elektrické zabezpečovací systémy*. Praha: PA ČR, 2001. ISBN 80-7251-076-2.
- [3] KŘEČEK A KOL., S.: *Příručka zabezpečovací techniky*. Blatenská tiskárna Blatná, 2003. ISBN 80-902938-2-4.
- [4] NOVÁČEK, Z.: *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, (1995) 1354-1374.
- [5] SVAČINA, J.: *Elektromagnetická kompatibilita*. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, (1996) 3491-3796
- [6] Mikrovlnový detektor: PSN [online]. [cit. 2005-1-10]. Dostupný z URL:
<<http://www.zdi.sk/psn/index.html>>
- [7] Mikrovlnový detektor: duálne detektory [online]. [cit. 2005-1-10]. Dostupný z URL:
<http://www.fittich.sk/data/slovak/psn/dual_mw.htm>
- [8] Ochranné prvky: mikrofónový detektor [online]. [cit. 2005-2-2]. Dostupný z URL:
<<http://www.alarmvideo.cz/ezs/paradox/par38.htm>>
- [9] Zabezpečovací systémy: EZS [online]. [cit. 2005-2-3]. Dostupný z WWW:
<<http://www.zabezpeceni.cz/acces/ezs/Detektory/Paradox/Default.asp?digivis>>
- [10] Mikrovlnový detektor: zabezpečovacie prvky [online]. [cit. 2005-2-3]. Dostupný z URL:
<http://www.fittich.cz/psn/dual_mw.htm>
- [11] Bezpečnostní čidla: detektory [online]. [cit. 2005-3-7]. Dostupný z URL:
<http://www.tezao.cz/dd450_kat.htm>
- [12] EZS: pyramída bezpečnosti [online]. [cit. 2005-3-7]. Dostupný z WWW:
<<http://www.gasta-coupek.cz/cz/texty/pyramida-bezpecnosti>>

[13] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-7]. Dostupný z WWW:

<www.olympo.sk>

[14] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-7]. Dostupný z WWW:

<www.JABLOTRON.cz>

[15] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-10]. Dostupný z WWW:

<www.OPTEX.cz>

[16] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-10]. Dostupný z WWW:

<www.CROW.cz>

[17] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-10]. Dostupný z WWW:

<www.VISONIC.cz>

[18] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-10]. Dostupný z WWW:

<www.ROKONET.cz>

[19] Mikrovlnový detektor: [online]. [cit. 2005-3-10]. Dostupný z WWW:

<www.PARADOX.cz>

[20] Bezpečnostné alarmy: detektory kombinovan: [online]. [cit. 2005-3-12]. Dostupný z URL:

<http://www.aretalalarms.sk/index.php?menu=zobraz_clanok&oblast=tecnoalarm&id=8>

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1. Pyramída bezpečnosti</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2. Poplachová ústredňa.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3. Mikrovlnový priestorový detektor pracuje na Dopplerovom princípe.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4. Dopplerov jav (a) pohyb pozorovateľa P, (b) pohyb zdroja Z</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 5. Rovinná vlna</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 6. Valcová súradnicová sústava</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 7. Guľová súradnicová sústava.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 8. Mikropásikové vedenie (pričný rez)</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 9. Závislosť teploty od výšky</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 10. Spektrum elektromagnetického žiarenia – frekvencia vln (Hz) nad rovinnou zemou pri vysunutých anténach.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 11. Schéma šírenia veľmi krátkych vln</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 12. Určenie výslednej intenzity elektromagnetického podľa pri vertikálnej polarizácii.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 13. Určenie uhla γ a rozdielu Určenie uhla γ a rozdielu dráh lúčov Δr.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 14. Vznik vertikálnej zložky elektrického poľa z horizontálneho dipólu.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 15. Mnoholalokový smerový diagram žiariča vo vertikálnej rovine</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 16. Určenie počtu lalokov vo vertikálnom smerovom diagrame.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 17. Činnosť mikrovlnovej závery</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 18. Detekčné charakteristiky dvojitého mikrovlnového detektora - krátka (A) a dlhá (B)</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 19. Duálny detektor</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 20. Vejárovitá charakteristika v horizontálnej rovine</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 21. Duálna bariéra a jej detekčná charakteristika.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 22. Stĺp vysielača duálnej bariéry + miniatúrna kamera; popis a rozmery štandardného prevedenia tejto bariéry.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 23. Duálny detektor DD 400</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 24. 3 - rozmerný pohľad</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 25. Pohľad zhora –DD470.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 26. Pohľad zhora pre DD 490.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 27. Duálny detektor Astra Elite.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 28. Pohľad z boku a pohľad zhora.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 29. Duálny detektor Rokonet.....</i>	<i>54</i>

<i>Obr. 30. Detekčný diagram RK 110/115</i>	<i>55</i>
---	-----------

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1. Elektrické parametre rôznych druhov povrchu Zeme	31
Tab. 2 Komparácia vlastností jednotlivých detektorov.....	55

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

PCO	Pult centralizovanej ochrany
MD	Mikrovlnový detektor
MW	Mikrovlnový
IR	Infračervený