

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra fyziky



Bakalářská práce

KMITY A VIBRACE

Vedoucí bakalářské práce:
Prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec DrSc.

vypracoval:
Ondrej Mašlonka

© Praha 2008

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze	Fakulta: technická
Katedra: fyziky	Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Ondrej Mašlonka**

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Studijní zaměření:

Název práce: **Kmity a vibrace**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Sestavit rešeršní studii výskytu a využívání kmitů a vibrací ve spojovací a dopravní technice.

Osnova práce: Úvod

Matematický popis harmonických kmitů a vln

Mechanické a elektromagnetické kmity v technice

Radiová spojovací a zaměřovací technika

Zhodnocení současného stavu a vyhlídky do budoucnosti

Metodika práce: Seznámit se s fyzikálními základy harmonických a neharmonických kmitů, jejich matematickým popisem a detekcí. Seznámit se se základními vlastnostmi vysílacích a přijímacích elektrických obvodů, včetně jejich realizace. Pojednat o základních typech současné spojovací a zaměřovací techniky a možného dalšího vývoje.

Rozsah práce: 50 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika. Vysoké učení technické v Brně -
Nakladatelství a Prometheus Praha, 2000.

Dobeš, J., Žalud, J.: Moderní radiotechnika. BEN Praha, 2006.

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc.

Datum zadání bakalářské práce: 1.12.2006

Termín odevzdání bakalářské práce: 30.4.2008



prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc.

vedoucí katedry

prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 1.12.2006

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

„Kmity a vibrace”

vypracoval samostatně, za použití literatury a podkladových materiálů, které uvádím v příloženém seznamu literatury a pod odborným vedením vedoucího katedry fyziky pana prof. RNDr. Ing. Jiřího Blahovce DrSc.

V Praze dne

.....
Mašlonka Ondrej

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. RNDr. Ing. Jiřímu Blahovcovi DrSc. za poskytnuté rady a podnětné připomínky, za trpělivost a ochotu při vypracování této bakalářské práce.

Kmity a vibrace (vlny)

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je seznámení s fyzikálními základy mechanických a elektromagnetických kmitů a vln, jejich matematickým popisem a detekcí. Využití, popis a možnosti radiových vln. Seznámení se základními vlastnostmi vysílacích a přijímacích elektrických obvodů. Pojednání o základních typech současné spojovací a zaměřovací techniky včetně ohlédnutí do historie v dané problematice. Tato práce je zaměřena především na využití a popis současné radiové a zaměřovací techniky v potřebách Armády České republiky. Zhodnocení současného stavu a vyhlídky do budoucnosti.

Klíčová slova:

radiolokátor, radiová stanice, přijímač, vysílač

Oscillations and vibration (waves)

Summary:

The aim of baccalaureate work is introduced physical bases of mechanical and electromagnetic oscillations and waves, their mathematical description and detection, and usage, description and possibilities radio waves. The work will present basic features of transmitting and receiving electric circuits. It refers to basic types of current connecting and direction-finding techniques including a looking back to history. This work is oriented to usage and description current radio and direction-finding techniques that Army of Czech Republic uses. At the end of the work there is an estimation of contemporary state and a prospect into the future.

Key words:

radar, radio station, receiver, transmitter

1. ÚVOD	- 4 -
2. HARMONICKÉ KMITÁNÍ A VLNĚNÍ	- 5 -
2.1 Mechanické kmity	- 5 -
2.1.1 Rozdělení harmonických kmitů	- 5 -
2.1.2 Matematický popis harmonických kmitů.....	- 6 -
2.2 Elektromagnetické kmitání a vlnění	- 8 -
2.2.1 Elektromagnetický oscilátor	- 8 -
2.2.2 Vlastní kmitání elektromagnetického oscilátoru	- 10 -
2.2.3 Matematický popis elektromagnetického vlnění.....	- 11 -
2.2.4 Elektromagnetický dipól	- 12 -
2.2.5 Vlastnosti elektromagnetického vlnění	- 12 -
2.2.6 Interference vlnění	- 15 -
2.2.7 Přenos informací elektromagnetickým vlněním.....	- 17 -
2.2.8 Šíření elektromagnetických vln	- 20 -
2.3 Vysílače	- 23 -
2.3.1 Bloková schémata vysílačů	- 26 -
2.4 Přijímače	- 28 -
2.4.1 Přijímače bez zesílení	- 28 -
2.4.2 Přijímače se zesílením	- 29 -
3. RADIOVÁ SPOJOVACÍ TECHNIKA	- 29 -
3.1 Historie radiové spojovací techniky	- 29 -
3.2 Současná radiová spojovací technika AČR	- 30 -
3.2.1 RDST pracující v pásmu VKV	- 30 -
3.2.2 Antény RDST pracujících v pásmu VKV	- 33 -
3.2.3 RDST pracující v pásmu KV	- 34 -
4. RADIOVÁ ZAMĚŘOVACÍ TECHNIKA	- 37 -
4.1 Rozdělení radiové zaměřovací techniky	- 37 -
4.1.1 Použití v civilním sektoru.....	- 37 -
4.1.2 Použití pro účely policejních sborů.....	- 37 -
4.1.3 Použití v armádě jako součást výzbroje	- 39 -
4.1.4 GPS - Global Positioning System.....	- 39 -

4.2 Radiolokace	- 40 -
4.2.1 Definice radiolokace	- 40 -
4.2.2 Rozdělení radiolokace.....	- 41 -
4.3 Historie, vznik a první využití radaru	- 42 -
4.4 Fyzikální základy radiolokace	- 43 -
4.4.1 Radiolokační impuls	- 43 -
4.5 Hlavní takticko technické parametry radiolokátorů	- 43 -
4.5.1 Hlavní taktické parametry.....	- 43 -
4.5.2 Hlavní technické parametry.....	- 44 -
4.5.3 Sekundární vyzařování elektromagnetických vln	- 46 -
4.6 Typy radarů a jejich aplikace	- 46 -
4.6.1 Primární radar	- 46 -
4.6.2 Sekundární radar	- 47 -
4.6.3 Pasivní radary	- 47 -
4.7 Radiolokační majáky	- 48 -
4.8 Rušení radiolokátoru	- 48 -
4.8.1 Přirozené rušení.....	- 48 -
4.8.2 Umělé rušení.....	- 49 -
4.9 Vliv radaru na zdraví obyvatel (radar v Brdech)	- 49 -
4.9.1 Vyjádření hlavního hygienika AČR.....	- 50 -
4.9.2 Vyjádření Ministerstva zdravotnictví ČR.....	- 50 -
4.9.3 Bezpečný směr paprsku radaru	- 50 -
4.9.4 Radar v Kwajaleinu	- 51 -
5. VÝVOJ A VYHLÍDKY DO BUDOUCNOSTI	- 51 -
6. ZÁVĚR	- 51 -

1. ÚVOD

Kmity (kmitání, oscilace) jsou procesy, které se s určitým stupněm pravidelnosti opakují a mohou mít různou fyzikální podstatu. Kmitavým pohybem se obecně nazývá pohyb hmotného bodu nebo tělesa, při kterém se nepřekročí určitá vzdálenost od jeho rovnovážné polohy. Síly, které na něj působí v rovnovážné poloze, jsou ve statické rovnováze.

Rozlišuje se kmitání periodické a neperiodické. Periodické kmity (harmonické) jsou popsány lineární diferenciální rovnicí druhého řádu. Tento typ kmitů se nedá přesně realizovat (vždy dochází k určitému tlumení – ztráta energie, vliv prostředí apod.). Pak se hovoří o tlumeném harmonickém kmitání, které je rovněž popsáno lineární diferenciální rovnicí druhého řádu.

Generování elektromagnetických kmitů je založeno na výměně energie mezi elektrostatickým a magnetickým polem (kondenzátor a indukčnost jsou zapojeny v jednom okruhu). Oscilace se vybudí tak, že v počátečním stavu je energie nahromaděna v elektrostatickém poli kondenzátoru. Uzavřením okruhu přes indukčnost (cívku) se kondenzátor vybije a energie se nahromadí do magnetického pole cívky. Při zániku magnetického pole cívky se na jejích svorkách naindukuje napětí opačné polarity, kterým se nabije kondenzátor a celý děj se periodicky opakuje. Pokud by nedošlo ke ztrátám energie (ve ztrátovém odporu cívky nebo v elektrostatickém poli kondenzátoru), tak by se v takovém obvodu udržely kmity trvale. Aby se v praktickém obvodu udržely kmity trvale, je v něm zapotřebí kompenzovat ztráty a to pomocí aktivních elektronických prvků. Takovému zapojení se pak říká elektronický oscilátor.

Pro šíření elektromagnetických vln jsou zapotřebí zařízení, které se nazývají vysílače (radiový vysílač) a to včetně prvků, určených k vyzařování elektromagnetické energie do volného prostoru – antény. Obvody pro detekci a zpracování elektromagnetického vlnění se nazývají přijímače (radiový přijímač) s příslušnou anténou. První člověk na světě, který využil elektromagnetických vln k bezdrátovému přenosu informace byl Guglielmo Marconi (1895). Od té doby se začala rozvíjet radiová spojovací technika a ke třicátým letům 20. století se datuje vznik vývoje zaměřovací radiové techniky jako systému včasné výstrahy. Prostřednictvím radiové a zaměřovací techniky se dokázal změnit i průběh mnoha válek.

Radiová spojovací a zaměřovací technika je dnes velmi rozšířena. Vývoj radiové techniky je velmi rychlý a od jejího zavedení již není potřeba využívat lidských spolek a jiných způsobů dopravy informací, které jsou časově nebo fyzicky náročné. Radiová technika umožňuje přenos informací na větší či menší vzdálenost ve velmi krátkém čase. V posledních desetiletích zaznamenala tato technika značný vzestup. Je to především zásluhou vývoje nových technologií v elektrotechnickém průmyslu, které měly na tuto oblast významný vliv. Došlo zejména k digitalizaci původních analogových systémů, což má za následek nové možnosti radiové techniky jako je miniaturizace, menší nároky na provoz, výstavbu a zvýšení spolehlivosti.

V dnešní době umožňuje radiová spojovací technika komunikaci v mnoha různých způsobech provozu. Fónie, telegrafe, odesílání a příjem dat v různých kmitočtových pásmech. Simplexní, poloduplexní a duplexní provoz s frekvenční nebo amplitudovou modulací. Dnes je možné provozovat tento způsob komunikace po celé Zemi i ve vesmíru.

2. HARMONICKÉ KMITÁNÍ A VLNĚNÍ

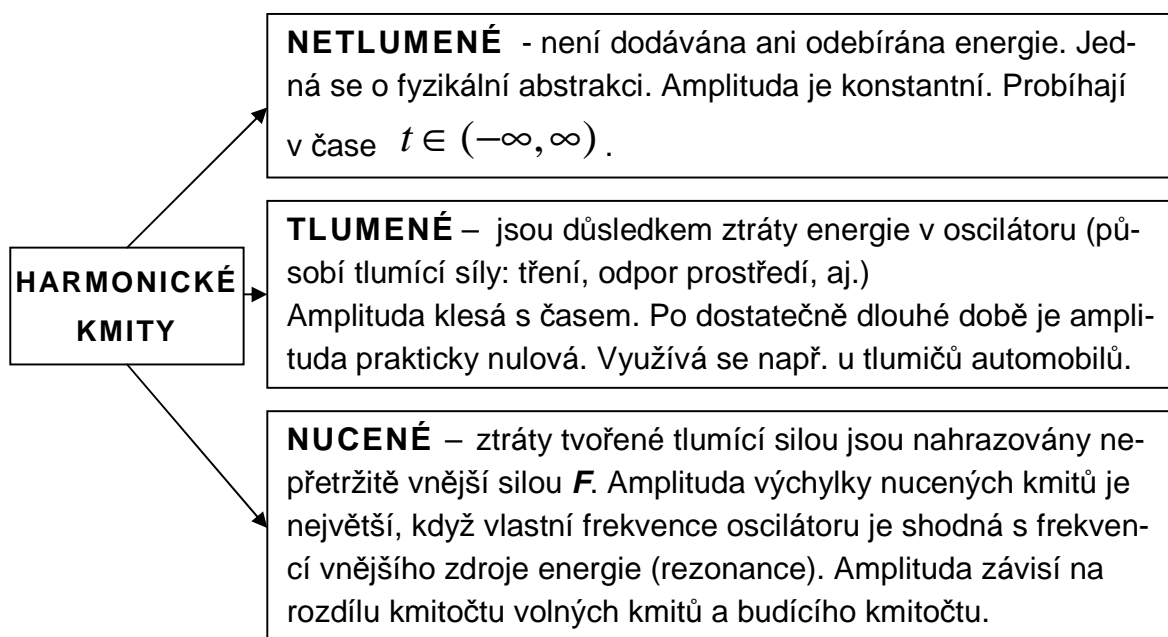
2.1 Mechanické kmity

Kmity (kmitání, oscilace) jsou jevy, při kterých fyzikální veličina Ψ , charakterizující danou soustavu, mění vratně svou velikost a případně i orientaci s časem t vzhledem k tzv. rovnovážnému stavu a nepřekročí určitou maximální velikost. Jestliže se tato veličina s časem mění periodicky, pak se jedná o kmity periodické. V ostatních případech jde o neperiodické kmity, např. pravidelné (ale neperiodické), náhodné (stochastické) nebo jednorázové (pulsy, impulsy).

Harmonické kmity vykazují sinový nebo kosinový časový průběh a jsou nejjednodušším typem kmitů. Harmonický oscilátor je pak soustava, která trvale kmitá harmonicky.

Soustava, v níž kmity probíhají, tvoří kmitovou soustavu neboli oscilátor.¹ Mechanické oscilátory kmitají s periodou, která závisí na parametrech oscilátoru. U mechanických oscilátorů to je vlnění mechanické. Mechanické vlnění je přenos energie prostorem bez přenosu hmoty řadou na sebe navzájem navázaných oscilátorů. Příkladem oscilátorů jsou kyvadlo a pružina.

2.1.1 Rozdělení harmonických kmitů



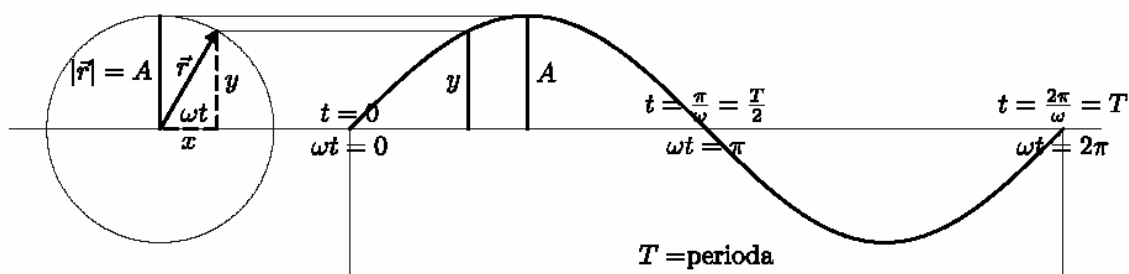
2.1.2 Matematický popis harmonických kmitů

a) Kinematický popis harmonických kmitů

Základním údajem u všech periodických dějů je perioda T a frekvence f .

$$f = \frac{1}{T}; [T] = \text{s}, [f] = \text{s}^{-1} = \text{Hz (hertz)}$$

Harmonickým je nazýván kmitavý pohyb, jehož časový diagram má sinusový průběh. Z obr. 1 je zřejmé, že pohybuje-li se hmotný bod rovnoměrně po kružnici, koná jeho průmět do svislého průměru harmonický pohyb. Ke každému harmonickému pohybu lze takto přiřadit rovnoměrný pohyb po kružnici. Příkladem mechanického oscilátoru konající harmonický pohyb je pružinový oscilátor.²



Obr. 1

Polohový vektor \vec{r} svírá se směrem kladné poloosy x úhel φ , který se nazývá fází.

$$\varphi_0 = \omega \cdot t$$

Pro okamžitou výchylku kmitavého pohybu tělesa, které se v počátečním okamžiku nachází v rovnovážné poloze, platí vztah:

$$y(t) = A \cdot \sin \omega \cdot t$$

$y(t) \equiv$ okamžitá výchylka, $A \equiv$ amplituda, $\omega t \equiv \varphi$ (fáze),

$\omega \equiv$ úhlová frekvence

Vztah pro okamžitou výchylku je základní rovnice harmonického kmitání.

Kinematické veličiny:

Rovnice harmonického kmitání (okamžité výchylky) v případě, když se těleso nachází v počátečním okamžiku v jiné poloze než v rovnovážné, bude mít tvar:

$$y = A \cdot \sin \omega \cdot (t + t_0)$$

$$y = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0), \text{ kde } \varphi_0 = \omega \cdot t \text{ (počáteční fáze).}$$

Okamžitá rychlost

$$v = \dot{y} = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

$$v = \omega \cdot A \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right)$$

Okamžité zrychlení

$$a = \dot{v} = \ddot{y} = -\omega^2 \cdot \overbrace{A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)}^y$$

$$a = \omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0 + \pi)$$

$$a = \ddot{y} = -\omega^2 y$$

Odtud plyne základní diferenciální rovnice volných harmonických kmitů

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

b) Dynamický popis harmonického pohybu

Proměnlivá síla působící na mechanický oscilátor

$$F = -k \cdot y, \text{ kde}$$

k = tuhost pružiny, tj.

$$k = \frac{F}{y}, \text{ [N/m].}$$

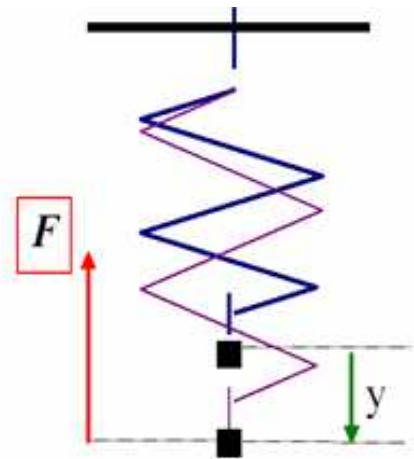
Z pohybové rovnice

$$F = m \cdot a$$

vyplývá, že pro velikost síly platí

$$F = -m\omega^2 \cdot y,$$

což je pohybová rovnice harmonického kmitání.



Obr. 2

Ze spojení těchto rovnic

$$-m\omega^2 \cdot y = -k \cdot y$$

vyplývá

$$\omega^2 = \frac{k}{m}.$$

Úhlová frekvence volně kmitajícího mechanického oscilátoru závisí jen na jeho parametrech, tj. na hmotnosti tělesa m a tuhosti pružiny k . Takové kmitání se poté nazývá vlastní kmitání oscilátoru a jeho úhlová frekvence se označuje ω .³

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Dospěje-li do určitého místa více mechanických či elektromagnetických vln dochází ke skládání – interferenci vlnění. Podrobněji viz. kapitola 2.2.6.

2.2 Elektromagnetické kmitání a vlnění

Kmitáním se rozumí vždy změna kolem rovnovážné polohy. Pokud se jedná o kmitání elektromagnetické, je jím míněna změna okamžité hodnoty intenzity elektrického pole (elektrostatická energie) a magnetické indukce (energie magnetického pole). Nejvýznamnějším druhem elektromagnetického kmitání je harmonické kmitání.

Harmonické kmitání se dále dělí obdobně jako u mechanických kmitů na:

- a) tlumené kmity,
 - b) netlumené kmity,
 - c) nucené kmity
- více viz. výše.

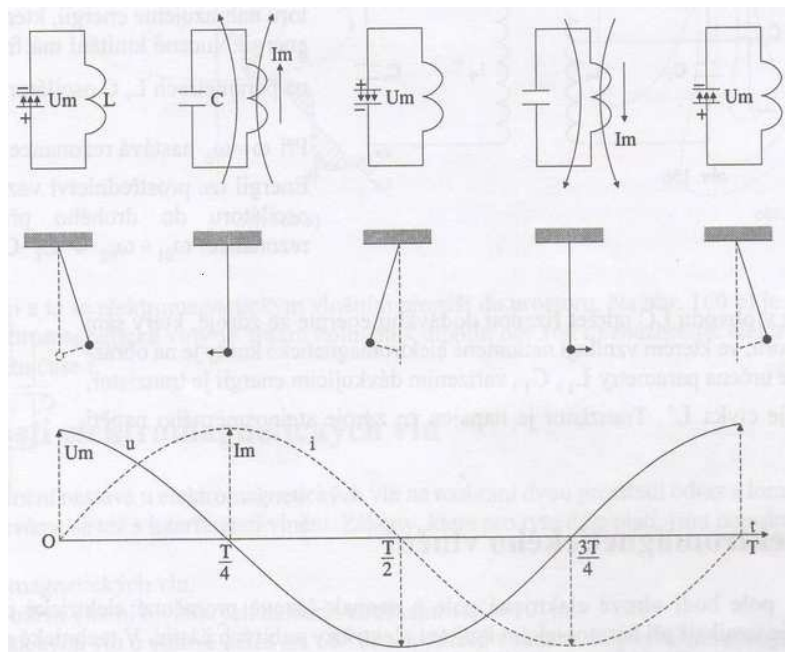
Elektromagnetické kmitání je změnou intenzity elektrického pole a magnetické indukce, elektromagnetické vlnění je pak změna těchto veličin, která se šíří prostorem.

2.2.1 Elektromagnetický oscilátor

K vygenerování elektromagnetického kmitu, je třeba elektromagnetického oscilátoru. Elektromagnetický oscilátor je elektrický obvod, v němž jsou sériově zapojeny kondenzátor s kapacitou C , cívka s indukčností L a ztrátový rezistor s odporem R .

V ideálním oscilátoru je $R = 0$, veškerá energie elektrostatického pole se přemění na energii magnetického pole a naopak a kmitání je netlumené. Pokud se nechá kondenzátor v ideálním oscilačním obvodu vybíjet přes cívku, dochází k periodickým změnám. Na počátku se napětí na kondenzátoru rovná maximální hodnotě U_m , cívkou v této chvíli neprotéká žádný proud i . K nabití kondenzátoru byla dodána energie $E = \frac{Q^2}{2C}$. Ve chvíli, kdy se začne kondenzátor vybíjet, zvětšuje se po sinusoidě proud protékající cívkou a naopak napětí na kondenzátoru se po sinusoidě zmenšuje. Kondenzátor je plně vybit v čase $t = \frac{T}{4}$, cívkou v tomto okamžiku protéká maximální proud I_m . Náboj q i napětí na kondenzátoru jsou nulové.

Proud v obvodu postupně klesá po sinusoidě až v čase $t = \frac{T}{2}$ zaniká. Kondenzátor je však znovu nabit, ale opačně než v čase $t = 0$. Děj tedy může opět proběhnout znovu, ale v opačném směru. V ideálním oscilátoru se periodicky přeměňuje energie elektrického pole kondenzátoru na energii magnetického pole cívky a naopak.⁴



Obr. 3

Kmity reálného elektromagnetického oscilátoru jsou pochopitelně tlumené (existence ztrátového odporu v rezistoru je poté $R \neq 0$), neboť energie kmitání postupně ubývá a mění se na energii tepelnou (Joulovo teplo).

Pokud se oscilátor zapojí naprázdno do dvou rovnoběžných vodičů, situace se radikálně změní. Postupná vlna, jejíž energie se u zapojení nakrátko spotřebovala na rezistanci, se zde nemá kde spotřebovat a vlna se tedy musí odrazit. Interferencí postupné a odražené vlny vzniká vždy vlna stojatá (více viz 2.2.6).

Analogie parametrů mechanického a elektromagnetického oscilátoru

Mechanický oscilátor	Elektromagnetický oscilátor
Okamžitá výchylka - y	Okamžitá hmotnost el. n. - q
Okamžitá rychlost - v	Okamžitý proud - i
Potenciální energie - E_p	Elektrická energie – E_e
Kinetická energie - E_k	Magnetická energie - E_m
Síla - F	Elektrické napětí - u
Hmotnost - m	Indukčnost - L
Tuhost - k	Převrácená hod. kap. - 1/C

Tab. 1

2.2.2 Vlastní kmitání elektromagnetického oscilátoru

Perioda kmitání oscilačního obvodu, jehož odpor se může zanedbat. Tato perioda je určena pouze parametry:

Indukčnost - L
Kapacita – C

Kmitání do něhož se nezasahuje je určeno pouze parametry oscilačního obvodu. Označováno jako vlastní kmitání elektromagnetického oscilátoru. Jelikož v oscilačním obvodu prochází střídavý proud jak cívkou, tak i kondenzátorem, je napětí na cívice stejné jako na kondenzátoru.

Pro periodu vlastního kmitání platí:

$$T_0 = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$$

Pro frekvenci vlastního kmitání platí Thompsonův vztah:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Náboj na kondenzátoru má maximum (amplitudu) Q_m , amplituda napětí kondenzátoru je pak vyjádřena jako $U_m = \frac{Q_m}{C}$.

Pro okamžitou hodnotu napětí v obvodu platí:

$$u = U_m \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Pro okamžitý proud, který je zpožděn o $\pi/2$ platí:

$$i = I_m \cdot \sin \omega_0 \cdot t$$

Skutečný oscilátor

Odpor skutečného oscilátoru není zanedbatelný a jeho vlastní kmitání je vždy tlumené. A tlumené kmitání není harmonické. Navíc má tlumení vliv i na úhlovou frekvenci ω vlastního kmitání oscilátoru, pro kterou z teorie vyplývá vztah

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, kde δ je součinitel tlumení, který má v případě oscilačního obvodu s odporem hodnotu $\delta = \frac{R}{2L}$. Vlivem tlumení se proto úhlová frekvence oscilátoru zmenšuje (prodlužuje se perioda).

2.2.3 Matematický popis elektromagnetického vlnění

Elektrické a magnetické pole tvoří jeden nedělitelný fyzikální celek (elektromagnetické vlnění). Matematické rovnice odvodil James Clerk Maxwell. Vytvořil soustavu několika diferenciálních rovnic, které zcela obecně popisují elektromagnetické pole a objevil existenci elektromagnetických vln a elektromagnetického záření. Experimentálně potvrdil existenci elektromagnetických vln H. Hertz v roce 1888.

Rychlost šíření elektromagnetického vlnění:

Elektromagnetické vlnění se šíří rychlostí (obecné homogenní prostředí)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

ε_r relativní permitivita prostředí, ε_0 permitivita vakua

μ_r relativní permeabilita prostředí μ_0 permeabilita vakua

Permitivita je fyzikální veličina charakterizující izolační vlastnosti dielektrika (v případě statického pole), nebo vztah mezi vektory elektrického pole a elektrické indukce (v případě střídavého pole nebo elektromagnetického vlnění).

Permitivitu lze určit ze vztahu $\varepsilon = \frac{D}{E}$, kde D je elektrická indukce a E intenzita elektrického pole.⁵

Permitivita vakua je fyzikální konstanta, která se značí ε_0 , a jejíž hodnota v soustavě SI je $\varepsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12} F \cdot m^{-1}$.

Permeabilita materiálu nebo prostředí je fyzikální veličina, udávající míru magnetizace v důsledku působícího magnetického pole. Permeabilita vyjadřuje reakci určitého prostředí na silové účinky magnetického pole. Některá prostředí tyto účinky zesilují, jiná je zeslabují.

Permeabilitu lze určit ze vztahu $\mu = \frac{B}{H}$, kde B je magnetická indukce a H intenzita magnetického pole.⁶

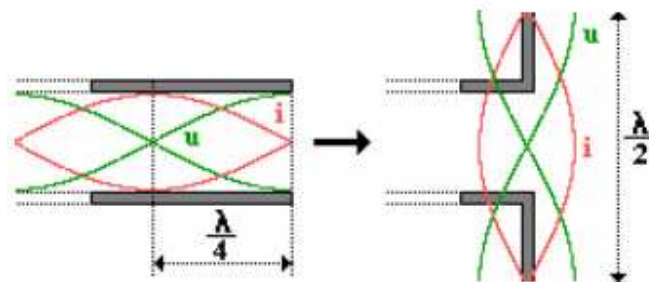
Permeabilita vakua je fyzikální konstanta, která se značí μ_0 , a jejíž hodnota je

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,26 \cdot 10^{-6} H \cdot m^{-1}.$$

2.2.4 Elektromagnetický dipól

- elektromagnetické pole a vlnění je mezi vodiči
- cílem je vysílat elektromagnetické vlnění do prostoru

Vznik elektromagnetického dipólu:



Obr. 4

Anténa je elektromagnetický dipól. U konce dvouodičového vedení otevřeného o délku $\lambda/2$ do směru kolmého k vedení vznikají proudy, které mají v každém okamžiku stejný směr a magnetické pole vyzářené těmito proudy je vysíláno do prostředí. Napětí na koncích dipólu dosahuje periodicky nejvyšší hodnoty, vzniká elektrické pole, které se rovněž šíří do okolí. Délka dipólu odpovídá 1/2 vlnové délky, jedná se o tzv. půlvlnný dipól. Dipól vystihuje skutečnost, že se každá jeho polovina periodicky nabíjí kladně nebo záporně.

2.2.5 Vlastnosti elektromagnetického vlnění

Elektromagnetické příčné vlnění má dvě navzájem neoddělitelné složky a to elektrickou složkou (\vec{E}) a magnetickou (\vec{B}).

a) Vlnová délka

Vlnová délka (někdy též délka vlny) označuje vzdálenost dvou nejbližších bodů vlnění, které kmitají se stejnou fází.

K vyjádření vlnové délky lze použít vztah

$$\lambda = vT = \frac{v}{f},$$

kde T je perioda, f frekvence vlnění a v je fázová rychlost šíření vlnění. Když elektromagnetické vlnění přechází z prostředí do jiného prostředí, jeho vlnová délka se násobí relativním indexem lomu n_{12} , ale frekvence zůstává stejná. Vlnová délka se mění dle vztahu: $\lambda_2 = \lambda_1 n_{12}$.

Louis-Victor de Broglie objevil, že i kmitání částic lze popsat vlnovou délkou:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

kde h je Planckova konstanta, p je hybnost, m hmotnost, v rychlost a c rychlost světla.⁷

b) Koherentní vlnění

Rozumí se vzájemná souvislost vlnění vycházejících buď ze dvou různých míst na povrchu zářícího tělesa (koherence prostorová) nebo vlnění vycházejícího z jednoho místa, avšak s určitým časovým odstupem (koherence časová).

Koherentní vlnění je vlnění o stejné frekvenci, stejného směru kmitání a stejnou fází (nebo fázovým rozdílem). Mezi zdroje koherentního elektromagnetického vlnění patří především lasery a masery.

c) Polarizace elektromagnetických vln

Polarizace radiové vlny je orientace plochy, ve které leží vektor intenzity elektrického pole a směr šíření dané radiové vlny. V radiotechnice jsou známy tři druhy polarizace radiových vln:

- *lineární (rovinná) polarizace,*
- *kruhová polarizace,*
- *eliptická polarizace.*

Příčná vlna, jejíž kmitání probíhá v určité rovině, se nazývá lineárně polarizovanou vlnou (lineární polarizace).

U lineárně polarizované vlny leží výchylky ve všech místech vlny ve stejné rovině. U nepolarizované vlny jsou sice výchylky ve všech místech vlny kolmé ke směru šíření vlny, avšak neleží všechny v jedné rovině.

Pokud výchylka opisuje elipsu v rovině kolmé k šíření vlny, jedná se o elipticky polarizovanou vlnu (eliptická polarizace). Speciálním případem elipticky polarizované vlny je kruhově polarizovaná vlna (kruhová polarizace), kdy výchylka opisuje kružnici.

d) Dopplerův jev

Dopplerův jev popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu, způsobenou nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače. Jevo byl poprvé popsán Christianem Dopplerem v roce 1842. Jestliže pohyblivý zdroj vysílá signál s frekvencí f_0 , pak stojící pozorovatel jej přijímá s frekvencí f .

Př.: Dvě sirény na autech vydávají tón o stejné výšce. Jedno auto se vzdaluje od pozorovatele (mikrofon), který zvuk jeho sirény vnímá jako nižší, naopak druhé auto se k němu přibližuje a zvuk jeho sirény je pro pozorovatele vyšší.

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}, \text{ kde } v \text{ je rychlost vln v dané látce a } v_{s,r} \text{ relativní radiální rychlost}$$

zdroje vůči pozorovateli (kladná rychlost znamená přibližování, záporná vzdalování). Pro stacionární zdroj a pohyblivý přijímač je situace obdobná.

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v_0}{v}\right), \text{ kde } v_0 \text{ je rychlost přijímače a pro přibližující se přijímač je kladná, pro vzdalující se je pak záporná.}$$

Jedním z nejběžnějších příkladů, jak lze Dopplerův jev pozorovat, je změna výšky tónů vydávaných sirénou na vozidle projíždějícím okolo pozorovatele. Dopplerova jevu využívá řada měřicích přístrojů a zařízení, např. radary pro měření rychlosti vozidel nebo lékařské sonografy.

V astronomii se Dopplerův jev projevuje posuvem spektrálních čar vyzařovaných vesmírnými tělesy. Pokud se tato tělesa vzdalují od Země, lze pozorovat takzvaný rudý posuv. Při vyšších rychlostech se však projevuje i dilatace času, je proto třeba brát v úvahu relativistický Dopplerův jev.⁸

e) rozdělení frekvenčních pásem

Tabulka udává přehled označení jednotlivých frekvenčních pásem elektromagnetických vln a jejich rozdělení.

Mezinárodní zkratka	Frekvence	Vlnová délka	Český název
ELF	3mHz - 3kHz	1000km - 100km	Extrémně dlouhé vlny
VLF	3kHz - 30kHz	100km - 10km	Velmi dlouhé vlny
LF	30kHz - 300kHz	10km - 1km	Dlouhé vlny (DV)
MF	300kHz - 3MHz	1km - 100m	Střední vlny (SV)
HF	3MHz - 30MHz	100m - 10m	Krátké vlny (KV)
VHF	30MHz - 300MHz	10m - 1m	Velmi krátké vlny VKV
UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm	Ultra krátké vlny (UKV)
SHF	3GHz - 30GHz	10cm - 1cm	Mikrovlny
EHF	30GHz - 300GHz	1cm - 1mm	Mikrovlny (mm vlny)

Tab. 2

rozhlasové vysílání

Využívá těchto frekvenčních pásem:

- a) dlouhé vlny
- b) střední vlny
- c) krátké vlny
- d) velmi krátké vlny

televizní vysílání:

- a) velmi krátké vlny
- b) pro příjem satelitního vysílání se používají centimetrové vlny

Vlastnosti některých frekvenčních pásem

U dlouhých a středních vln se výrazně usnadňuje ohyb vlnění kolem zemského povrchu, takže jejich příjem je možný i za rozměrnými překážkami v členitém terénu. Dosah závisí na denní době a i ročním období.

Pro příjem velmi krátkých vln je třeba přibližně přímá viditelnost mezi vysílačem a přijímačem.

Pro šíření krátkých vln se využívá jejich odrazů od různých vrstev ionosféry. Jelikož stav ionosféry se mění vlivem slunečního záření a geomagnetické činnosti, mění se i podmínky pro šíření krátkých vln.

Na přímočarém šíření elektromagnetického vlnění a jeho odrazu od vodivých překážek je založena radiolokace, neboli určování polohy různých předmětů v prostoru.

2.2.6 Interference vlnění

Důsledkem interference je, že skládáním 2 vlnění není výsledná intenzita součtem intenzit, ale

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi \text{ a pro amplitudy platí } U^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1 U_2 \cos \varphi .$$

K interferenci dojde, když získané svazky projdou různými drahami a tak mezi nimi vznikne fázový posuv. Je-li tento posuv roven celistvému násobku vlnové délky, obě vlnění se setkají ve fázi, tak dojde ke konstruktivní interferenci. Je-li však posuv lichým násobkem poloviny vlnové délky, setkají se vlnění s opačnou fází a je to destruktivní interference. Interference = skládání.

Kmit popsaný vztahem $u_1 = U_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$, druhý obdobně. Potom $u = u_1 + u_2$. Jsou-li kmity ve fázi, sčítají se extrémy, jsou-li posunuty o π odečítají se, pokud mají stejnou frekvenci. Mají-li kmity různou frekvenci, pak hraje roli poměr ω_1 / ω_2 . Vyjde-li dělením frekvencí racionální číslo, bude vzniklé vlnění periodické s periodou velikosti nejmenšího společného násobku původních frekvencí. V opačném případě nevznikne periodický průběh.

Rázy: jsou-li 2 vlnění shodná až na drobnou odchylku ω , pak výsledné vlnění má jejich průměrnou frekvenci a jeho amplituda kolísá od 0 do maxima – dvě elementární vlnění se chvílemi odečítají, jindy sčítají. Počet rázů za sekundu = absolutní hodnota rozdílu frekvencí dílčích vlnění. Poloviční hodnota tohoto čísla udává výslednou frekvenci.

Skládání kolmých kmitů: jejich součet je brán vektorově. Jestliže jsou 2 kolmé kmity o stejné frekvenci, jejich výchylky budou x, y : $x = A \cdot \sin \omega t$; $y = B \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, kde $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$. Po úpravě vyjde rovnice elipsy se středem v počátku. Její poloosy však potočeny o φ .⁹

Při interferenci dvou vlnění se může výsledné vlnění zesilovat nebo zeslabovat.

a) *Zesílení* - v důsledku interference vlnění dojde k zesílení tehdy, bude-li dráhový rozdíl Δ roven sudému počtu půlvln, tzn.

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}$$

b) *Zeslabení* - je-li dráhový rozdíl roven lichému počtu půlvln, dochází k zeslabení půlvln.

$$2k + 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Stojaté vlnění na vedení

Každá stojatá vlna má uzly a kmitny. V bodech, kde jsou kmitny je amplituda vlnění maximální a v uzlech minimální (nulová). Dvě kmitny jsou od sebe vzdáleny $\lambda/2$, dva uzly jsou od sebe vzdáleny také $\lambda/2$, a kmitna s uzlem jsou od sebe vzdáleny $\lambda/4$. Poloha kmiten a uzlů stojatého vlnění se nemění. Při zapojení naprázdno intenzita elektrického pole má na konci vedení kmitnu napětí (max. amplituda). Naopak magnetická indukce zde má uzel a na konci vedení je proud vždy nulový. Vektory magnetické indukce a intenzity elektrického pole jsou tedy od sebe fázově posunuty o $\pi/2$.

Elektromagnetické vlnění, není-li na konci pohlceno, se odráží zpět a dochází ke skládání odraženého vlnění a přímého vlnění. Vzniká stojaté elektromagnetické vlnění. Mezi proudem a napětím vzniká fázový rozdíl:

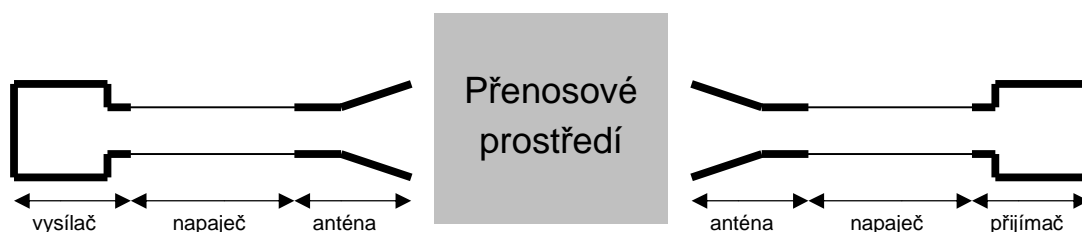
$$\varphi = \frac{\pi}{2 \text{ rad}}$$

Vedení se stojatým elektromagnetickým vlněním lze přirovnat k oscilačnímu obvodu (periodicky se mění energie elektrické na energii magnetickou). Mezi vodiči vzniká elektrické a magnetické pole a periodicky se přeměňuje.

To však stále ještě nemá žádný význam, aby byla elektromagnetická vlna užitečná. Je potřeba ji šířit i mimo dosah vedení. Toho lze dosáhnout tzv. půlvlnným dipólem.

Pokud se na každé větvi rovnoběžného vedení ohne konec dlouhý jednu čtvrtinu vlnové délky o devadesát stupňů (odtud půlvlnný dipól), dojde k tomu, že v místě ohybu nebude mít intenzita elektrického pole stále kmitnu, ale bude jí zde mít magnetická indukce. Půlvlnný dipól tedy vektory zřazuje a vzniká stojatá elektromagnetická vlna, která se může šířit dál do prostoru.¹⁰

2.2.7 Přenos informací elektromagnetickým vlněním



Obr. 5

Přenosem informací se zabývá speciální technický obor a to sdělovací technika. K přenosu informací slouží sdělovací soustava, která předává zprávu od zdroje k příjemci buď prostřednictvím sdělovacího vedení nebo pomocí elektromagnetického vlnění, které se šíří volným prostorem (radiokomunikace). Pro přenos zprávy elektromagnetickým vlněním je potřeba vysílač s anténou, přijímač s anténou a zprávu převést na signál, který je vhodný k přenosu. Vysílač je zdrojem elektromagnetických kmitů vysoké frekvence, které jsou v modulátoru upravovány, neboli modulovány signálem nízké frekvence. Ve vysílačích pro rozhlas se používají dva druhy modulace:

1) Amplitudová

Nízkofrekvenčním signálem se mění amplituda vysokofrekvenčních kmitů a používá se na dlouhých, středních a krátkých vlnách.

2) Frekvenční (kmitočtová)

U frekvenční modulace je amplituda kmitů konstantní, mění se pouze jejich frekvence. Používá se na velmi krátkých vlnách.

Televizní signál

a) Obrazová informace

Obrazový signál vzniká v kameře, ve které se obrazový signál přeměňuje na elektrický, pomocí optoelektrického snímače CCD. Video signál je pro přenos modulován amplitudově. Barvosný signál má tři složky RGB.

b) Zvuková informace

Zvukový (akustický) signál je modulován frekvenčně a obě složky tohoto signálu jsou přenášeny oddělené.¹¹

Ostatní vlastnosti každé elektromagnetické vlny záleží na její vlnové délce. Podle ní rozlišujeme několik skupin elektromagnetických vln:

1. Dlouhé rozhlasové vlny:

Jejich vlnová délka začíná mezi dvěma a jedním kilometrem. Používaly se pro rozhlasové vysílání, dnes již na nich vysílá naprosté minimum radiových stanic.

2. Střední rozhlasové vlny:

Vlnová délka 600m až 200m. Použití stejné jako u předchozí skupiny, dodnes na nich vysílá několik málo stanic, v ČR např. Český Rozhlas 2 Praha nebo Rádio Svobodná Evropa.

3. Krátké rozhlasové vlny:

Vlnová délka 150m až 10m se stále využívá pro vysílání rozhlasu. Dále je využívají speciální služby. Jejich zvláštností je to, že se odrážejí od ionosféry (elektricky nabitá vrstva atmosféry) a to jim umožňuje šířit se do velkých vzdáleností na povrchu Země. V současné době jsou oblíbené hlavně u radioamatérů, protože jim v podstatě jako jedině umožňují navazovat mezinárodní spojení po celé planetě.

4. Velmi krátké rozhlasové vlny:

Vlnová délka 10 m až 3 m. V současnosti nejpoužívanější druh vln pro vysílání rozhlasu.

5. Televizní vlny:

Vlnová délka řádově decimetry, použití je zřejmé z názvu.

6. Radioreléové vlny:

Vlnová délka decimetry až centimetry. Tyto vlny využívají mobilní operátoři (pásmo 900, 1800 a 1900 MHz) a instituce jako záchranná služba nebo hasičský záchranný sbor a policie. Jedná se o poslední skupinu vln vyrobitelnou elektromagnetickým oscilátorem. Zdrojem kratších vln jsou děje v atomech.

7. Mikrovlny:

Používány v mikrovlnných troubách, policejních radarech apod. Vlnová délka 0,01 – 1 m.

8. Infračervené záření (IR):

Vyvolává na lidském organismu tepelný vjem, používá se k topení, v medicíně a pro tzv. noční infravizi (např. hledání ztracených osob). Infračervené záření zabírá ve spektru 3 dekády a má vlnovou délku mezi 760 nm a 1 mm.

9. Viditelné světlo:

Působí v lidském oku optický vjem. Jeho vlnová délka je od 390nm do 790nm.

10. Ultrafialové záření (UV):

Ničí mikroorganismy, používá se k tzv. moření, v živých buňkách může vyvolat rakovinné bujení. UV záření, jakožto oblast elektromagnetického spektra, se dělí na krátkovlnné ultrafialové záření o vlnové délce (400 – 200 nm) a daleké ultrafialové záření (200 – 10 nm),

11. Rentgenové záření (RTG):

Ničí živé buňky, rozděluje se na dva druhy. RTG s větší vlnovou délkou se označuje jako měkké a používá se k ozařování v medicíně, protože je organismem pohlceno a ničí buňky na určeném místě, např. buňky nádoru. RTG s kratší vlnovou délkou je pronikavější, lidský organismus jej pohlcuje méně a používá se např. k diagnostice zlomenin. Využívá se toho, že stejně jako UV záření a viditelné světlo působí na fotografickou desku. Vlnové délky RTG záření jsou řádové 0,1 - 0,01 nm.

12. Záření gamma:

Je součástí radioaktivního záření, ničí živé buňky. Používá se v medicíně k ozařování (gamma nůž). Jeho vlnová délka je od 0,01nm do 0,001nm.

13.Kosmické záření:

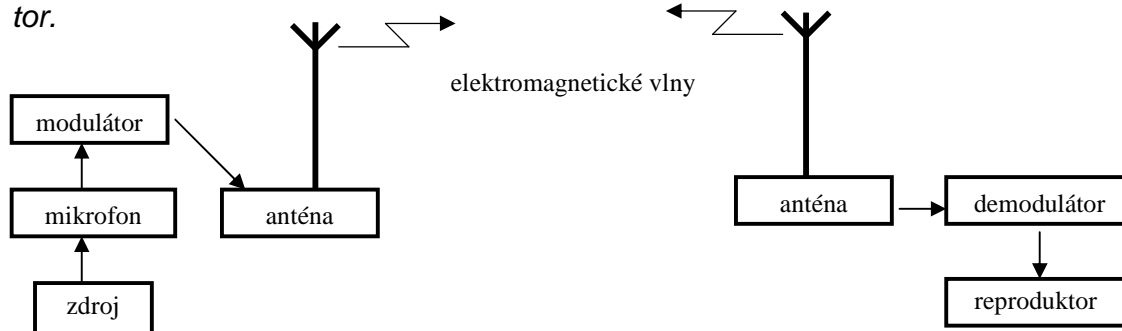
Záření se zatím nejkratší známou vlnovou délkou, pravděpodobně vzniká v nitrech hvězd. Jeho vlnová délka je přibližně $1 \cdot 10^{-14}$ m.

Jako každé vlnění se může elektromagnetické vlnění ohýbat, lámat či odrazet, interferovat či se polarizovat. K ohybu dochází na překážkách srovnatelných s vlnovou délkou (stejně jako u mechanického vlnění), k odrazu na vodivých plochách (toho se využívá v radarech a u televizních antén). Polarizované vlnění je takové, kde se kmity dějí v jedné rovině. Elektromagnetické vlnění lze polarizovat natočením dipólu. Polarizace elektromagnetických vln se využívá např. v lyžařských brýlích. Jejich skla propouští pouze určitým způsobem polarizované světlo a tím výrazně snižují jeho intenzitu.

Sdělovací soustava

Sdělovací soustava je soubor zařízení, která umožňují přenos informace na dlouhé vzdálenosti. Např. u rozhlasu lze popsat sdělovací soustavu touto řadou zařízení:

Zdroj - Elektroakustický měnič (mikrofon) - Kódovací zařízení (modulátor) - anténa - elektromagnetické vlny - anténa - dekódovací zařízení (demodulátor) - reproduktor.



Obr. 6

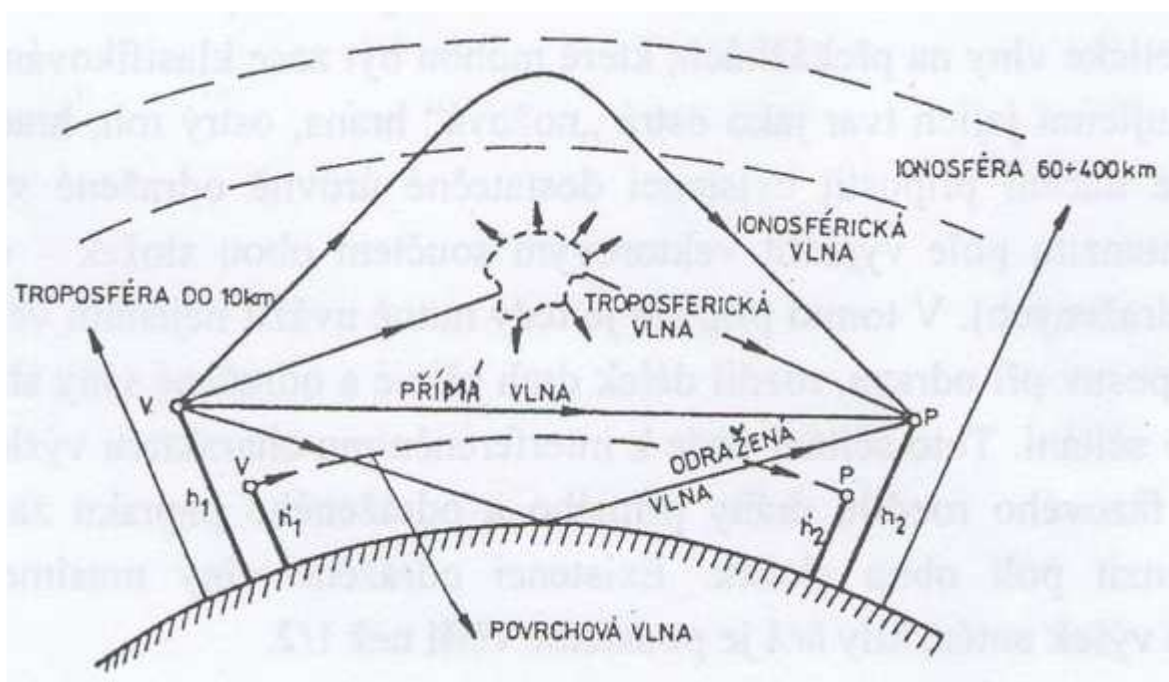
V kódovacím zařízení oscilační obvod generuje tzv. nosnou vlnu, která je modulována signálem. Nejpoužívanější druhy modulace jsou amplitudová (signál mění amplitudu nosné vlny) a frekvenční (signál mění frekvenci nosné vlny). U kolem dekóderu je pak tyto dvě složky oddělit.¹²

2.2.8 Šíření elektromagnetických vln

Elektromagnetický rozruch vyvolává změnu stavu elektromagnetického pole, čímž vzniká elektromagnetická vlna šířící se na všechny strany. Tyto vlny vznikají změnou stavu elektromagnetického a magnetického pole. Rozložení tohoto pole v prostoru se podobá rozložení výchylek kmitajících hmotných bodů. Při mechanickém vlnění se pohybují hmotné částice (tj. mění se jejich poloha v prostoru), kdežto při vlnění elektromagnetickém se mění velikost a směr elektromagnetického pole v jednotlivých bodech prostoru a hmotné částice zůstávají trvale v klidu.

Šíření elektromagnetických vln je ovlivněno mnoha faktory, které se dají rozdělit do dvou skupin a to na vlastní prostředí šíření a na prostorové uspořádání (geometrii) celé situace. Většinou se jedná o šíření nad obecným zemským povrchem a pokrytím s proměnlivou vodivostí, s různým profilem i drsností terénu. Zemská atmosféra, kterou nutně procházejí i spoje Země – družice, je rovněž časově proměnlivým prostředím s různou komplexní permitivitou, která je příčinou např. zakřivování paprsku v nižších vrstvách troposféry, odrazu vln v ionosféře atd. V hydrometeorech, v atmosféře (déšť, sníh, mlha, vodní pára atd.) způsobují útlum i rozptyl elektromagnetických vln a závisí pochopitelně na konkrétní meteorologické situaci.

Schéma znázornění jednotlivých typů vln při šíření:



Obr. 7

Druhy šíření elektromagnetických vln

Povrchová (přízemní vlna)

V těsné blízkosti země se vlny šíří podél rozhraní dvou elektricky rozdílných prostředí; relativně vodivou zemí a nevodivým vzduchem. Tento mechanismus se nazývá šíření povrchovou (přízemní vlnou). Situaci při šíření v blízkosti zemského povrchu rozdělujeme zejména podle relativní elektrické výšky vysílací i přijímací antény. Tato výška je dána poměrem h/λ . Pokud je tento poměr menší než $\frac{1}{2}$, dochází při reálném šíření k postupnému zakřivování paprsku spoje – vlna sleduje zemský povrch (rozhraní Země – vzduch) a ztrácí část své energie zejména vlivem ztrát v polovodivém zemském prostředí.

Přímá vlna

Přímá elektromagnetická vlna je taková, která se šíří izotropním homogenním prostředím přímočaře. Zemská atmosféra je však zvrstvená a proto obecně způsobuje zakřivení tohoto paprsku (paprsek se šíří po opticky nejkratší dráze, tedy v nejkratším čase). Jedná se tedy o idealizaci a proto lze o přímé vlně mluvit pouze u spojů na velmi krátkou vzdálenost, ze zvýšených míst atd. Přímá vlna je typická pro spojení na velmi vysokých frekvencích a na opticky přímou viditelnost. Povrchová vlna se vybudí zejména vertikálně polarizovanými anténami (u horizontální polarizace by vzhledem k zrcadlení povrchem Země měla být složka vlny šířící se podél rozhraní nulová) umístěnými bezprostředně při zemi.

Odražená a rozptýlená vlna

Při šíření z vyvýšených míst nad povrchem Země je vždy s ohledem na délku spoje, jeho profil i na typ použité antény nutné uvažovat, jak paprsek přímý, tak možnost odrazu části energie od zemského povrchu, případně od struktur na něm. Je rozdílné, jedná-li se o tzv. radioreléový spoj, při kterém většinou skládáme paprsek přímý a jeden paprsek odražený nebo o spoje pohyblivé, kdy je signál přijímán v zástavbě, a kde je nutné uvažovat značný počet odrazů. Podobně dochází i k ohybu a prostorovému rozptylu (difrakci) elektromagnetické vlny na překážkách, které mohou být zase klasifikovány jednotlivými modely (např. vystihujícími jejich tvar jako ostrá hrana, ostrý roh, hrana budovy, atd.). V řadě případů je potřeba připustit existenci dostatečné úrovně odražené vlny a potom je nutné výslednou intenzitu pole vyjádřit vektorovým součtem obou položek – vlny přímé a odražené (i více vln odražených). V tomto případě je tedy nutné uvážit nejenom velikost odražené složky, ale i fázový posuv při odrazu, rozdíl délek drah přímé a odražené vlny atd., vzhledem k nutnosti komplexního sčítání. Toto sčítání vede k interferenčnímu charakteru výsledné vlny. Tam, kde je možné vliv fázového rozdílu dráhy přímého odraženého paprsku zanedbat se sčítají pouze moduly intenzit polí obou složek. Existence odražené vlny musíme uvažovat v případě dostatečných výšek antén, kdy h/λ je podstatně větší než $\frac{1}{2}$.

Prostorová vlna

Současnou existencí přímé a odražené vlny, kdy výsledná intenzita pole je jejich obecně komplexním součtem označujeme jako šíření prostorovou vlnou. Je to typický mód šíření zejména pro přímou viditelnost mezi vysílačem a přijímačem zajištěnou vyvýšenými anténami a pro frekvenční pásmo nad 30 MHz.

Troposférická vlna

Troposférické šíření se používá zejména na velké vzdálenosti (až tisíce kilometrů). K šíření dochází tzv. troposférickým rozptylem a troposférickým vlnovodem. Využívá rozptylu na nehomogenitách (s nepatrně odlišnými fyzikálními parametry, zejména permitivitou) v zemské atmosféře, které vznikají vlivem turbulentního

proudění. Energetická účinnost takového spoje je dána počtem nehomogenit v nižších vrstvách atmosféry, které energii rozptylují. Pouze malá část vysílané energie se však při tomto druhu šíření dostává do místa přijímače, lze však realizovat spojení až daleko za optický horizont. Tento typ šíření se objevuje pouze u kratších elektromagnetických vln (prakticky stovky MHz a jednotky GHz). S rozvojem družicových služeb význam spojení troposférickým rozptylem zaniká, nicméně troposféra sama o sobě je velmi důležitou oblastí podstatným způsobem ovlivňující šíření elektromagnetických vln – zejména meteorologickou situací v ní.

Ionosférická vlna

Elektromagnetické vlny se mohou šířit na velké vzdálenosti pomocí jednoho (počítá se do vzdálenosti 4000km) či více odrazů (pro spoje nad 4000km) od ionosféry. Ta představuje prostředí, které způsobuje postupné intenzivní zakřivení dráhy paprsků až po jeho zpětné otočení k povrchu Země. Tento způsob šíření si lze též představit jako odraz od vrstvy v ionosféře. Prakticky je tato situace složitější, neboť v ionosféře je několik silně ionizovaných vrstev, které vytvářejí různé podmínky pro odraz (postupné otočení) elektromagnetické vlny v závislosti na frekvenci. Obecně lze konstatovat, že od ionosféry se v zásadě odrážejí vlny delší než 10m. Vzhledem k časové a geografické proměnlivosti stavu ionosféry je nutné stanovit vhodný frekvenční režim spoje.

U krátkých (ionosférických) elektromagnetických vln dochází k odrazu od ionosféry, a proto je zde uvedeno pro názornost složení a struktura atmosféry:

Zemská atmosféra se dělí na troposféru (0 – 11km), stratosféru (11 - 60km), ionosféru (60 – 600km) a exosféru (nad 600km). Tyto vrstvy jsou z hlediska času proměnlivé a spojení závisí i na geografické poloze vysílače a přijímače. Proměnlivostí je zejména význačná troposféra a ionosféra, kde počet ionizovaných částic záleží na denní a roční době, aktivitě slunečního cyklu i na geografické poloze.¹³

2.3 Vysílače

Vysílač je zařízení, které má zajistit přenos informace do přijímače. Dále přenos bezdrátovou cestou, tj. vzduchem nebo vakuem, tedy elektricky nevodivým prostředím. Aby byl přenos informace touto cestou možný, musí vysílač na určité frekvenci dodat určitý minimální výkon (s ohledem na dosah vysílače při potřebném odstupu signál/šum) modulované vysokofrekvenční nosné vlny do vysílací antény, která má zprostředkovat propojení výstupu vysílače s přenosovým prostředím.

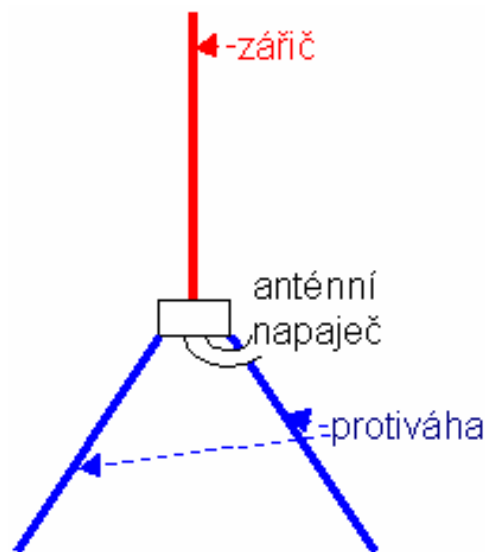
Intenzita výkonového toku, kterou má vysílač v daném prostředí vyvolat, je určena Poyntingovým vektorem, jenž je definován jako vektorový součin elektrické složky \vec{E} a magnetické složky \vec{H} elektromagnetického pole.

$$\vec{p} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Složka \vec{E} je přitom určující při hodnocení polarizace vysílané modulované vysokofrekvenční nosné vlny.

Při vodorovné polarizaci směřuje složka \vec{E} vodorovně, při svislé naopak svisle (existuje i polarizace kruhová, eliptická, atd.).

Při volbě polarizace vysílané elektromagnetické vlny je nutno vzít do úvahy vodivost zemského povrchu.



Obr. 8

Na nízkých frekvencích (z vysokofrekvenčního hlediska), což jsou frekvence do cca 1 - 2 MHz, se zemský povrch jeví jako vodič, proto se musí vždy použít svislé polarizace (pod svisle na patním izolátoru umístěnou vysílací anténou je protiváha, tvořená velkým množstvím vodičů, které se pod patním izolátorem vějířovitě rozbíhají do všech směrů a zajišťují tak dokonalé propojení zemního vodiče od vysílače s elektricky vodivou zemínou, jež je většinou stále vlhká vzhledem k vysoké hladině spodní vody).

Na vysokých frekvencích (z vysokofrekvenčního hlediska), což jsou frekvence nad 2 MHz, se zemský povrch jeví jako izolant, takže lze použít jak svislé, tak vodorovné polarizace vysílané elektromagnetické vlny. U vodorovné polarizace jsou pak anténní zářiče umístěny rovnoběžně se zemským povrchem. Protiváhu u svislé polarizace tvoří patřičné konstrukční prvky antény (obr. 8), u vodorovné polarizace se většinou používá symetrických zářičů.

Modulovaná vysokofrekvenční nosná vlna se šíří prostředím o určité charakteristické impedanci Z_0 :

$$Z_0 = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|},$$

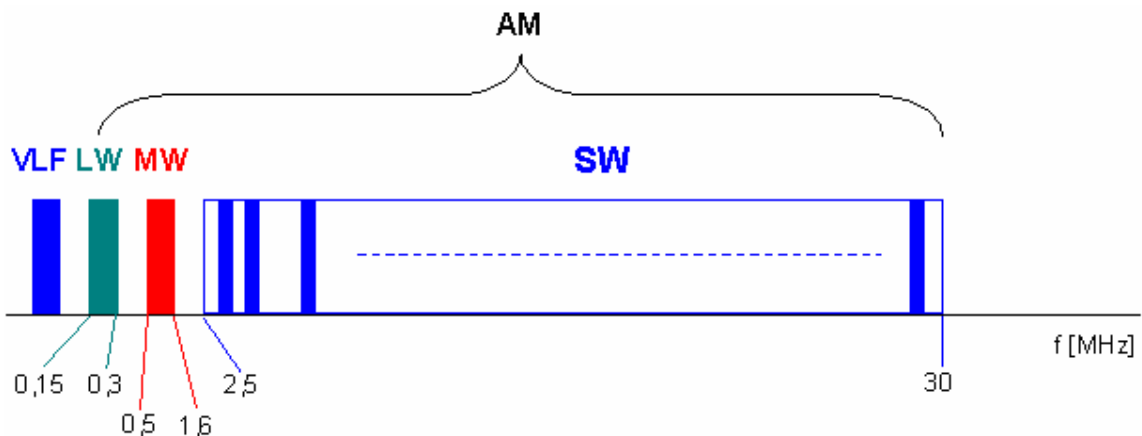
kteřá má v případě vakua ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$; $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$) velikost

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \cdot \pi \quad \Omega$$

Vysílače pracují v různých frekvenčních pásmech, která jsou příslušným radiovým službám přidělena. Volba frekvence a šíře pásma velmi úzce souvisí se způsobem modulace.

Přidělená rozhlasová a televizní pásma

A) Pásma, v nichž vysílají vysílače AM (šíře frekvenčního pásma 9 kHz).



Obr. 9

Krátkovlnný rozsah je rozdělen na řadu krátkovlnných pásem, většinou označovaných podle vlnové délky ($\lambda = \frac{c_0}{f}$). Mezi nimi je spektrum využíváno jinými službami. Pro veřejné vysílání jsou nejvíce využívána pásma 75 m, 60 m, 49 m, 41 m, 31 m, 25 m, 21 m, 19 m, 15 m, 13 m, 11 m.

B) Pásma, v nichž vysílají televizní vysílače a vysílače FM (šíře frekvenčního pásma TV kanálu je v normě CCIR-K a CCIR-D 8 MHz, šíře frekvenčního pásma kanálu FM vysílače je 200 kHz).

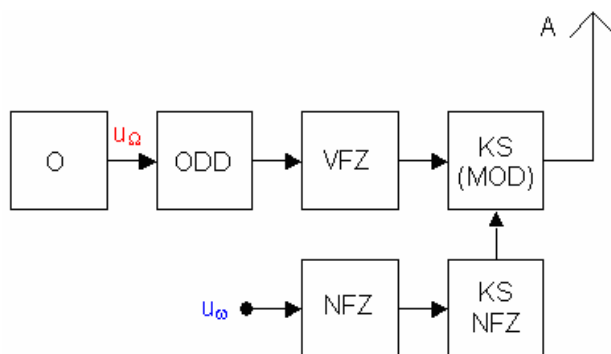
2.3.1 Bloková schémata vysílačů

Uspořádání obvodů vysílače závisí na tom, zda se jedná o vysílač signálu AM, ÚM nebo DVB či DAB. Jednotlivé typy vysílačů se (kromě výstupních výkonů) navzájem odlišují uspořádáním modulačních obvodů a koncových stupňů (pro digitální signál např. je potřeba lineární koncový stupeň, avšak postačuje menší výstupní výkon než u vysílače pro analogový signál). Rozdíl je i mezi uspořádáním vysílačů analogových signálů AM a FM, kde vzhledem k vyšší energetické účinnosti FM a k vyšším ziskům antén postačuje menší výkon koncových stupňů vysílače FM oproti vysílačům AM.

2.3.1.1 Blokové schéma vysílače AM

Vysílač AM může být zapojen v principu dvojím způsobem podle toho, ve kterém stupni dochází k modulaci. Jestliže je potřeba AM s velkou hloubkou modulace, je výhodné uspořádání, kdy k vlastní modulaci dochází v koncovém (výkonovém) stupni vysokofrekvenčního zesilovače. Nevýhodou tohoto uspořádání je ta skutečnost, že je pro dosažení velké hloubky modulace potřeba velkého výstupního výkonu nízkofrekvenčního zesilovače.

Vysokofrekvenční nosná vlna u_{Ω} , generovaná krystalovým oscilátorem nebo syntetizátorem, je za oddělovačem zesílena ve vysokofrekvenčním zesilovači VFZ a přivedena na Heissingův modulátor, který zároveň funguje jako koncový stupeň. Tento modulátor potřebuje velký výkon modulačního signálu u_{ω} , který zajišťuje nízkofrekvenční zesilovač NFZ spolu s koncovým stupněm KS NFZ.



Obr. 10

Vysvětlivky

O – oscilátor (nebo častěji frekvenční syntezátor);

ODD – oddělovač (zajišťuje stabilitu nosné vlny, neboť oscilátor není ovlivňován připojenými obvody);

VFZ – vf zesilovač;

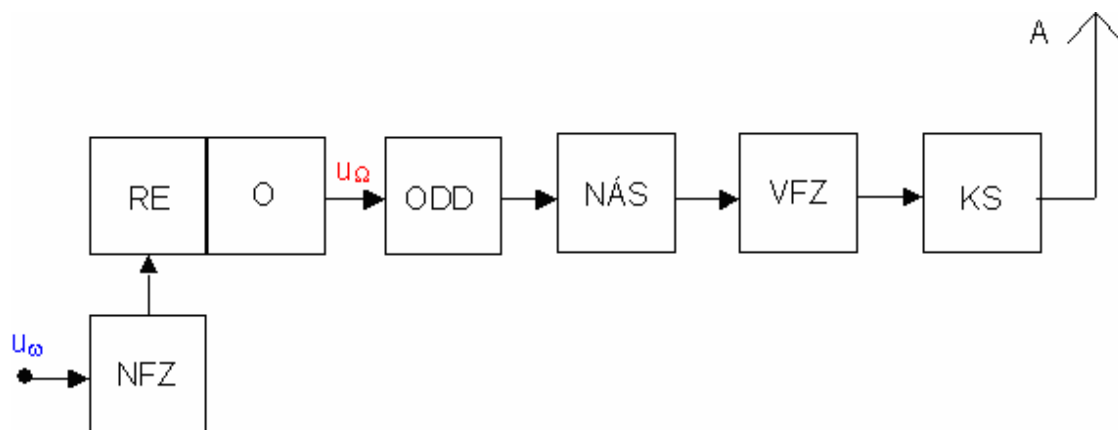
KS (MOD) – koncový stupeň zesilovače, který funguje zároveň jako modulátor;

NFZ - nf zesilovač;

KS NFZ - koncový stupeň zesilovače.

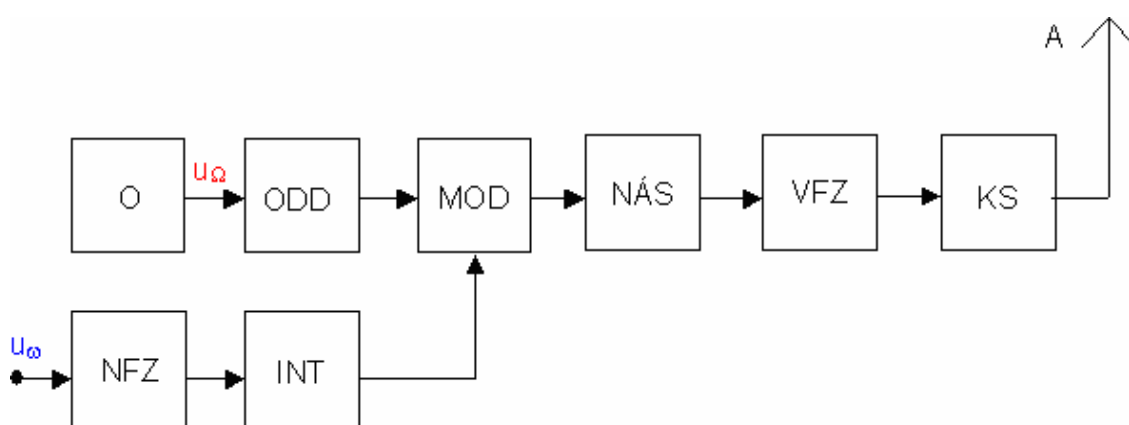
2.3.1.2 Blokové schéma vysílače FM

Vysílač FM může být zapojen v principu dvojím způsobem, a to podle toho, jak je prováděna modulace. Nejjednodušší vysílač využívá oscilátoru LC (O), který je rozlaďován reaktančním elementem RE (varikapem), jenž je ovládán modulačním napětím U_ω , viz. obr. 11. Nevýhodou tohoto uspořádání je poměrně velká časová nestabilita střední frekvence oscilátoru.



Obr. 11

Poněkud složitější je zapojení podle obr. 12, které využívá k frekvenční modulaci fázového modulátoru, do něhož je přiváděno vhodně upravené nízkofrekvenční modulační napětí U_ω . Tato varianta zapojení umožňuje použít ve funkci zdroje vysokofrekvenčního napětí U_Ω krystalového oscilátoru nebo syntezátoru frekvence.¹⁴



Obr. 12

2.4 Přijímače

Úkolem přijímače je přijmout a demodulovat vysokofrekvenční modulovanou nosnou vlnu, kterou vyslal do prostoru vysílač na určité frekvenci a s určitou šíří frekvenčního pásma B v přiděleném frekvenčním pásmu (všechny výše uvedené veličiny jsou mezinárodně normovány stockholmskou deklarací a dále jsou pravidelně podle potřeby doplňovány a upravovány) a kterou přijala přijímací laděná nebo neladěná anténa (podle frekvenčního pásma). Přitom je potřeba mít stále na paměti, že kromě užitečného signálu se na vstupu přijímače objeví i šum, dále se může negativně projevit i vlastní šum přijímače, většinou charakterizovaný šumovým číslem F .

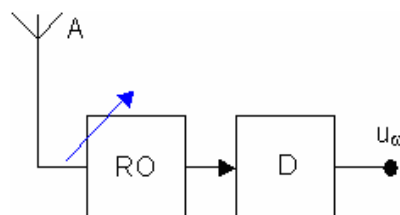
U většiny přijímačů je požadováno přeladování, tzn. možnost výběru mezi signály jednotlivých vysílačů, přičemž přijímač musí zajistit, aby byly zpracovávány jednotlivé signály v daném frekvenčním pásmu, aniž by docházelo k ovlivňování jinými signály, zvláště frekvenčně sousedními (nesmí docházet k interferencím; z toho plyne, že přijímač musí mít potřebnou selektivitu).

Z obvodového hlediska musí mít každý přijímač demodulátor, který je schopen demodulovat daný typ přijímaného signálu. Pokud není před demodulátorem zapojen žádný vysokofrekvenční zesilovač, nazývá se tento nejjednodušší typ přijímače „přijímač bez zesílení“. Tento přijímač však nemá příliš velkou citlivost. Jestliže se před demodulátor zapojí přeladovaný vysokofrekvenční zesilovač, vznikne přijímač s přímým zesílením. Toto zapojení není ale při velkých přeladěních příliš výhodné, neboť se při přeladování mění nejen zesílení, ale i šíře pásma.

Výše uvedený nedostatek odstraňují přijímače s nepřímým zesílením (superhetrodyny), které mají za přeladovaný vysokofrekvenčním zesilovačem zařazen měnič frekvence (směšovač + oscilátor nebo samo-kmitající směšovač), který převede vybraný a zesílený vstupní signál na mezifrekvenci, pro niž je v přijímači připraven mezifrekvenční zesilovač který, protože zpracovává jedinou frekvenci, může být optimálně navržen s ohledem na zesílení a šíři frekvenčního pásma (v mezifrekvenčním zesilovači je těžiště zesílení vysokofrekvenční části přijímače). Zesílený mezifrekvenční signál je demodulován v příslušném demodulátoru.

2.4.1 Přijímače bez zesílení

Signály z antény (obr. 13) vybírá rezonanční obvod RO, který musí mít dostatečnou provozní jakost (proto jsou anténa i demodulátor připojeny na odbočky rezonančního obvodu).

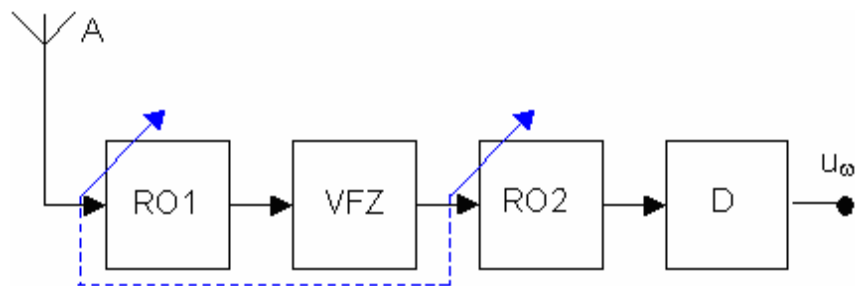


Obr. 13

2.4.2 Přijímače se zesílením

Požadovaný vysokofrekvenční signál o dané frekvenci, který je přijímán spolu s dalšími signály anténou A , vybere rezonanční obvod $RO1$ (viz obr. 14). Signál je zesílen stupněm vysokofrekvenčního zesilovače VFZ , jehož zátěží je rezonanční obvod $RO2$, přeladovaný shodně s $RO1$ (stupeň SE , rozdílový stupeň SE , kaskáda) a dále přiveden na demodulátor D , za nímž je již demodulované napětí U_{ω} (požadovaná informace).

Protože $RO1$ a $RO2$ se přeladují většinou kapacitně (varikapy nebo ladicími kondenzátory), roste při přeladování jejich poměr L/C a tím i rezonanční impedance.¹⁵



Obr. 14

3. RADIOVÁ SPOJOVACÍ TECHNIKA

3.1 Historie radiové spojovací techniky

Snaha o přenos informací na větší či menší vzdálenost je stará jako lidstvo samo. Vynálezy, rozvoj a využití technických sdělovacích prostředků patří mezi důležité objevy, které do značné míry ovlivňují celkový vývoj lidské společnosti.

Dříve, než radiové spojení vzniklo, bylo vynalezeno v roce 1792 pro dopravu zpráv telegrafní spojení. Od této doby již nebylo potřeba, aby se zprávou cestovala nějaká osoba nebo aby byly dopravovány nějaké předměty jako nositelé zpráv. V roce 1896 předvedl radiotechnik-samouk Guglielmo Marconi bezdrátovou telegrafii na vzdálenost 8km britským zástupcům pošty, armády a námořnictva. První válečnou lodí vybavenou Marconiho jiskrovou radiovou stanicí se stala v roce 1899 britská HMS Yunio. V prosinci 1901 dosáhl Marconi pomocí mechanicky vyráběných elektromagnetických vln s kmitočtem asi 15 kHz prvního transatlantického bezdrátového spojení.

V Československu

V roce 1891 byla postavena rozhledna na pražském Petříně, která se v budoucnu stala kolébkou československé radiotelegrafie, rozhlasu i televize.

Počátky československého elektrotechnického průmyslu spadají do roku 1884, kdy založil František Křížík svůj závod v Karlíně.

V průběhu první světové války byli již v podstatě vyřešeny technické problémy přenosu a použití telegrafních, telefonních a radiotelegrafních zařízení v polních podmínkách. Ke konci první světové války začínají technické spojovací prostředky nabývat patrnou převahu na předtím nepoužívanějšími netechnickými prostředky velení – spojkami a signalizací různého druhu.

Ve světě

V roce 1915 zkonstruovali francouzi malý elektronkový vysílač pro letadla, což umožnilo doslova revoluci v jejich používání jako pozorovacího prostředku pro zaměřování dělostřelecké palby.

V roce 1916 zavedli rakušané zaměřovací radiogoniometrické stanice (Messstationen), které zjišťovali stanoviště nepřátelských radiotelegrafních stanic a odhalovaly tak přesnou polohu nejbližších vyšších nebo nižších velitelství.¹⁶

3.2 Současná radiová spojovací technika AČR

Moderní radiová spojovací technika Armády České republiky (AČR) pracuje převážně v těchto kmitočtových pásmech:

- VKV
- KV

V současné době pracují vojenské radiové stanice (RDST) pouze s jedním kmitočtovým pásmem, tzn. že je možné pracovat na jedné RDST jen v jednom kmitočtovém pásmu.

3.2.1 RDST pracující v pásmu VKV

Příkladem těchto RDST jsou stanice RF-13, které jsou v různých modifikacích a je to nejrozšířenější RDST, kterou AČR v pásmu VKV využívá. Tyto RDST vyrábí česká firma DICOM, která s AČR úzce spolupracuje a dále vyvíjí nové RDST s příslušenstvím dle potřeb a požadavků AČR.

modifikace RF-13

- Ruční soupravy
- Přenosné soupravy
- Mobilní soupravy

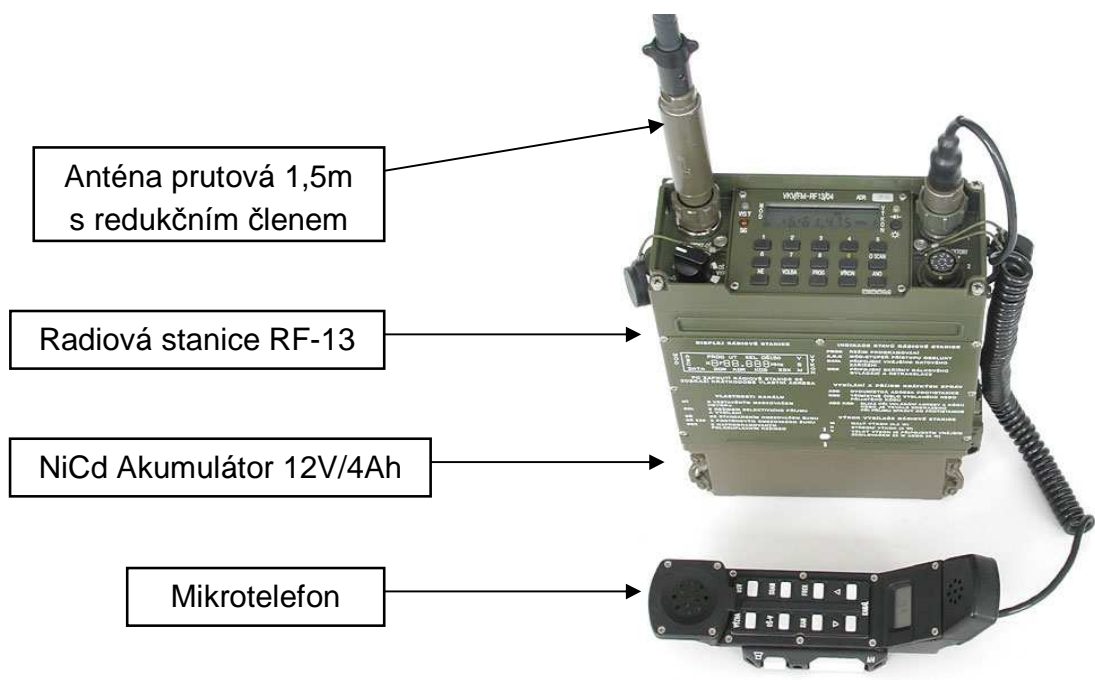
a) ruční RDST řady RF- 13

Nejnovější ruční RDST, která je v současnosti u AČR využívána je RF-1302. Ruční RDST RF-1302 je přenosná RDST pro spojení na nejnižším taktickém stupni velení u všech druhů vojsk AČR. Možnost spojení pomocí kmitočtového skákání v pásmu 30,000 MHz až 87,975 MHz výrazně zvyšuje odolnost vůči radioelektronickému boji.

Fónický provoz radiostanice RF-1302 na pevných kmitočtech je umožněn v rozsahu 30 MHz až 108 MHz. Je slučitelný s typizovanými stanicemi pracujícími v tomto pásmu. V pásmu 30,000 MHz až 87,975 MHz je provoz na pevných kmitočtech slučitelný se stanicemi řady RF-13 a RF-1301, včetně přenosu zpráv FLASH a maskovaného hovoru. Z hlediska provozu kmitočtového skákání není stanice slučitelná s doposud zavedenými RDST v AČR, které využívají tento druh provozu. Logistická návaznost ruční RDST RF-1302 má v armádě již zavedenou RDST RF-1301 a dovoluje použití stejných zdrojových skříní a typů antén.

PROVOZNÍ MOŽNOSTI a TECHNICKÉ PARAMETRY ruční RDST RF-1302 viz. příloha č. 1

3.2.1.2 přenosné RDST řady RF-13



Obr. 15

RDST RF-13 je přenosná VKV radiostanice, určená pro spojení na taktickém stupni velení. Přenáší a obsluhuje ji 1 člověk. Soupravu RDST tvoří spolu s vlastní stanicí příslušenství pro běžné způsoby provozu. Toto příslušenství lze přenášet za provozu spolu s radiostanicí v brašně. Soupravu radiostanice v brašně lze bez poškození přepravovat železnicí, automobily, pásovými vozidly i letadly.

Fónický provoz této radiostanice je v uvedeném kmitočtovém pásmu slučitelný s provozem všech dosud používaných VKV radiostanic v AČR i s provozem VKV radiostanic všech ostatních armád.

Určení:

Souprava přenosné RDST je určena pro vedení rádiového fónického nebo datového provozu v kmitočtovém pásmu 30 MHz až 88 MHz. Dále umožňuje vedení hovoru přes vestavěný maskovač, posílání krátkých kódových zpráv, selektivní komunikaci, předvolbu až 9 kanálů, automatické prohledávání po předvolených kanálech.

Mezi přenosné VKV RDST patří i RF-13D pro duplexní provoz. RDST RF-13D je VKV RDST určená pro duplexní datový a fónický provoz. Konstrukce RF-13D vychází ze stanice RF-13, liší se od ní doplněním samostatného vstupu pro přijímací anténu, úpravě nf cest a úpravě ovládacího programu. Používá se v soupravě se zesilovačem vř 25 W ZM-13.1 (50 W ZV-13.1) a vř filtry AF-13, AF-13.1. Radiostanice lze provozovat i samostatně spolu s příslušenstvím radiostanice RF- 13.

PROVOZNÍ MOŽNOSTI a TECHNICKÉ PARAMETRY přenosné RDST RF-13 viz. příloha č.2

3.2.1.3 mobilní RDST řady RF-13

Nejrozšířenější mobilní soupravy používané v současnosti v AČR jsou RDST RF-1325 a RF-1350.

Mobilní soupravy jsou určeny pro zástavby do mobilních prostředků nebo na pevná stanoviště a současně tam, kde jsou vyžadovány další vlastnosti, kterými souprava přenosné RDST RF-13 nedisponuje. Soupravy jsou skládány ze samostatných komponentů, které jsou vzájemně elektricky a mechanicky spojeny. Složení soupravy je specifikováno požadavky uživatele. Základní částí všech mobilních souprav je RDST RF-13. Při provozu soupravy je možno využít všech provozních vlastností RDST.

TECHNICKÉ PARAMETRY viz. Příloha č.3

3.2.2 Antény RDST pracujících v pásmu VKV

3.2.2.1 Antény používané u ručních RDST RF-13

- Anténa pásková 0,5 m
- Anténa pásková 1,1 m
- Anténa pásková 1,5 m

Všechny uvedené páskové antény jsou všesměrové tzn., že vysílají i přijímají v okruhu 360°. V tomto případě lze poznat, že dosah se zvětšuje při stejném výkonu RDST velikostí použité antény.

Konstrukce:

Vlastní anténa je tvořena pružným ocelovým páskem potaženým plastovou hadicí. Ocelový pásek umožňuje ohýbání antény v libovolném místě, minimální poloměr ohybu je 1 cm. Elektrické připojení antény k radiostanici je BNC konektorem a mechanickou pevnost zajišťuje na stanici šroubení a na anténě převlečná matice. Tento osvědčený způsob zabezpečuje vysokou mechanickou odolnost při pohybu v terénu a případných pádech stanice. Konstrukce antény umožňuje její složení na délku 0,25 m.

TECHNICKÉ PARAMETRY páskových antén viz. Příloha č. 4 - 6

3.2.2.2 Antény používané u přenosných RDST RF-13

- Anténa prutová 0,5 m
- Anténa prutová 1,5 m
- Anténa závěsná RF-13.8
- Anténa dlouhohrátová PD-13

- Prutové antény se skládají z několika navzájem spojených částí. Jsou to všesměrové antény. Využívají se pro spojení za pochodu nebo na místě.

- Závěsná anténa je určena k provozu rádiové stanice RF-13 ze zákopů, v lesním porostu nebo v uzavřených objektech. Je to směrová anténa.

Konstrukce:

Anténa je tvořena závěsem, zářičem z lanka o délce 2 m, impedančním přizpůsobovacím členem ve spodní části zářiče, dvěma protiváhami v délce 2,5 m a koaxiálním kabelem délky 5 m ukončeným konektorem BNC. Anténa je navinuta na navijáku ze slitiny hliníku. Hlavní předností závěsné antény je možnost umístit ji výše než prutovou anténu a tím zvýšit dosah na 15 km pro rádiovou stanici RF13.

Anténa	Dosah při výkonu 0,2W	Dosah při výkonu 5W
prutová 0,5 m	300 m	1 km
prutová 1,5 m	1 km	8km
závěsná RF-13.8	4 km	15 km

Tab. 3

TECHNICKÉ PARAMETRY viz. Příloha č.7 - 10

3.2.2.3 Antény používané u mobilních RDST

- Anténa mobilní prutová MO-13.5
- Anténa mobilní prutová s magnetickým držákem MO-13.51
- Anténa mobilní 2,1 m
- Anténa mobilní 2,55 m
- Anténa mobilní 2,85 m
- Anténa GROUNDPLANE
- Anténa DISCON
- Anténa LOGARITMICKO-PERIODICKÁ

TECHNICKÉ PARAMETRY antén viz. Příloha č.11 – 18

V tomto případě je na výběr široké spektrum antén. Antény se volí podle způsobu použití. Poslední tři jmenované jsou antény, které jsou umístěny na vysokých teleskopických stožárech a jejich dosahy patří mezi největší.

3.2.3 RDST pracující v pásmu KV

Příkladem RDST pracující v pásmu KV je mobilní stanice R-150, která je v různých modifikacích a je to nejrozšířenější RDST, kterou Armáda České republiky (AČR) v pásmu KV využívá. Tyto RDST vyrábí rovněž česká firma DICOM ve spolupráci s firmou Rohde & Schwarz, která s AČR úzce spolupracuje a dále vyvíjí nové RDST s příslušenstvím dle potřeb a požadavků AČR.

Modifikace RDST R-150

R-150A

Starší typ KV RDST, která je dodnes hojně v AČR využívána.

R-150S

Modernizovaná verze RDST, která postupně o generaci starší R-150A nahrazuje.

R-150T

Tanková verze RDST, která je technologicky stejná se stanicí R-150S.

R-150M

Nejnovější RDST, která by měla v budoucnu nahradit všechny výše zmíněné stanice. Jedná se o kompletně novou vícepásmovou RDST, která umí pracovat v pásmech KV, VKV a UKV.

Poznámka:

Tato kapitola se zaměřuje pouze na stanice R-150S a R-150T, které jsou v současnosti nejvíce v AČR používané.

R-150T a R-150S

Soupravy krátkovlnných RDST s maximálním výkonem 150 W. Vzhledem k jejich malým rozměrům, robustní konstrukci a jednoduché obsluze jsou zvláště vhodné pro použití v mobilních prostředcích všeho druhu včetně pancéřovaných s výzbrojí. Stanice vyniká výbornými vysokofrekvenčními vlastnostmi, vysokou spolehlivostí a inteligencí vnitřního řízení (průběžná diagnostika funkcí jednotlivých modulů). Soupravy se liší použitou ovládací jednotkou. V soupravě R-150T je použita malá ovládací jednotka DO150T s několika ovládacími prvky zajišťující plný provoz soupravy. V soupravě R-150S je použita velká ovládací jednotka DO150TG s velkoplošným displejem umožňujícím přehledné ovládání a současné zobrazování více parametrů. Uživatel může podle nasazení stanice a kvalifikace obsluhy zvolit odpovídající ovládací jednotku. V soupravách jsou uplatněny špičkové technologie jako například číslicové zpracování signálu v mezifrekvenční části stanice a bloku automatického navazování spojení. Stanice je vybavena adaptivním systémem automatického navázání spojení ALIS (Rohde & Schwarz - 100% kompatibilní s řadou R-150A). Po doplnění stanice o modem lze přenášet data. Se speciálním programovým vybavením je možné dosáhnout přenosové rychlosti až 5400 b/sek.

Popis:

Rádiové soupravy pracují v pásmu od 1,5 MHz do 30 MHz se špičkovým výkonem až 150 W. Příjem signálu je možný již od 10 kHz. Soupravy jsou schopny zajišťovat jak hlasové spojení ve všech obvyklých modulačních režimech, tak i nízkorychlostní a vysokorychlostní datový přenos.

Charakteristickým rysem celého systému je oddělení výkonné a ovládací části radiostanice a tím i dosažení lepších předpokladů pro zástavbu, což je výhodné zejména při použití v mobilních prostředcích. Soupravy se skládají z radiostanice, ovládací jednotky, anténní ladicí jednotky a příslušenství (plnicí zařízení, mikrotelefon, antény, kabely, rámy apod.). Rozdíl mezi soupravami R-150S a R-150T tkví právě v provedení jejich ovládací jednotky. K dispozici jsou dva typy, které se liší svojí velikostí, způsobem a složitostí ovládání a tím i okruhem použití. Souprava R-150S obsahuje ovládací jednotku DO150TG, která je určena především pro vyšší stupně velení, např. pro velitelská spojovací vozidla všeho druhu nebo pro pevné instalace. Souprava R-150T je vybavena naopak jednotkou DO150T, která je vzhledem ke své robustnosti a jednoduchosti ovládání zvláště vhodná pro použití v těžké bojové technice, např. v tancích, obrněných vozidlech, nebo v leteckých aplikacích pro vrtulníky apod.

Provozní režimy

Druhy spojení, které jsou schopny krátkovlnné soupravy R-150S a R-150T zajišťovat, lze obecně rozdělit na fónické a datové. Dále se spojení podle způsobu jejich sestavení dělí na manuální a automatické. Pro fónická spojení se v oblasti krátkých vln nejčastěji používají modulace:

SSB - s jedním postranním pásmem a potlačeným nosným kmitočtem

USB - (s horním postranním pásmem)

LSB - (s dolním postranním pásmem)

ISB - Přenos informací ve dvou nezávislých postranních pásmech s potlačenou nosnou je možný po zvolení modulačního režimu. Přijímací strana může zvolit, které postranní pásmo má být právě sledováno.

Šířku pásma přijímače lze díky digitální technologii použité v mezifrekvenci měnit téměř plynule v širokém rozsahu hodnot. Komunikaci rovněž zpříjemňuje sylabický umlčovač šumu, který propouští modulaci jen tehdy, pokud je detekován hlasový signál. K dispozici je dále adaptivní potlačovač impulsního rušení, výřezový filtr s extrémně vysokou selektivitou a jemně přeladitelný mezifrekvenční pásmový filtr o šířce 8 kHz. Pro lepší využití výkonového spektra signálu při přenosu hlasu je možné do vysílací cesty zařadit hlasový kompresor. Pokud je třeba potlačit signály s nízkou úrovní, s výhodou lze k tomuto účelu využít ruční regulaci zisku přijímače v rozsahu (0 až 120) dB. Pro zesílení naopak slabých stanic je k dispozici vestavěný předzesilovač se ziskem asi 10 dB.

Kromě výše zmíněných možností komunikace jsou dále k dispozici režimy někde na pomezí mezi fónií a digitálním přenosem. Je to již tolikrát zatracovaná a znovu oprášená komunikace pomocí Morseových značek, která i přes velké množství svých odpůrců a nevýhod má stále svoje neoddiskutovatelné přednosti a je tudíž i u těchto stanic podporována pod označením CW. Pro datová spojení je stanice vybavena modemem FSK a jednotónovým modemem s fázovou modulací. Při zvolení modulačního režimu FSK lze pomocí externího zařízení, např. dálnopisu, přenášet informace rychlostí (100 až 600) baudů s kmitočtovým zdvihem (85 až 850) Hz podle nastavení. Této FSK modulace se využívá při realizaci robustního nízkorychlostního zajištěného datového kanálu v provozním režimu ARQ, kdy dochází k cyklickému potvrzování krátkých úseků přenášených dat. Výsledná přenosová rychlost je sice nízká, cca 100 Bd, ovšem přenos může být realizován i v extrémně zarušeném nebo nekvalitním kanále.¹⁷



Obr. 16

4. RADIOVÁ ZAMĚŘOVACÍ TECHNIKA

4.1 Rozdělení radiové zaměřovací techniky

- pro civilní účely
- pro potřeby Policejních sborů
- jako součást výzbroje většiny armád
- GPS

4.1.1 Použití v civilním sektoru

Radiové zaměřovací techniky v běžném provozu využívají především bezpečnostní firmy, které se specializují na vyhledávání odcizených vozidel.

Pro konkrétní vyhledání a zajištění odcizeného vozidla využívají vyhledávací vozidla vybavená mobilním zaměřovačem.

Pro rychlý a efektivní zásah, pro rychlou přepravu vyhledávací techniky do zahraničí a pro vyhledávání v nepřístupném terénu používají vyhledávací letadla.

Vyhledávací radiová síť

Vyhledávací radiovou síť tvoří více než 100 anténních zaměřovacích bodů, rozmístěných po celém území ČR. Každý ze zaměřovacích bodů je schopen zachytit v okruhu 30 až 80 km (v závislosti na přímé viditelnosti dané terénem) poplachový signál z napadeného vozidla. Tento signál je přenášen pomocí celostátní datové sítě na pult operačního střediska, kde je napadené vozidlo identifikováno a stanovena jeho poloha.¹⁸

4.1.2 Použití pro účely policejních sborů

Zde se jedná především o použití tzv. silničních radarů pro měření rychlosti vozidel silničního provozu



Obr. 17

Měření rychlosti v České republice

Silniční radary měří rychlost pomocí Dopplerova jevu s využitím odražených radiových vln v mikrovlnném pásmu. Paprsek vysílaný parabolickou anténou se odráží od karosérie projíždějících vozidel zpět k radaru, je zachycen anténou a zesílen. Zpracováním odraženého signálu složitými elektronickými obvody je vypočtena rychlost projíždějícího vozidla.

Mikrovlnné záření vysílané radarem se šíří přímo a chová se podobně jako světlo. Prochází sklem a plastickými hmotami. Radarové vlny se odrážejí od kovových částí karosérie a některých terénních překážek, jako jsou například svodidla, sloupy veřejného osvětlení a železobetonové konstrukce. Radarové detektory zachytí odražené paprsky radaru a reagují na ně zvukovým a světelným signálem - poplachem.

Policie České republiky používá výhradně jeden typ radarů. Jsou to silniční radary RAMER-7 a RAMER-7 M, které pracují v mikrovlnném **Ka** pásmu s frekvencemi 34.0 GHz a 34.3 GHz. Paprsek vysílaný radarem je velmi úzký - úhel pouhých 5° - a radary RAMER-7 mají velmi nízký vysílací výkon, který ztěžuje možnost odhalení. I ve srovnání s ostatními světovými výrobci mají české radary špičkové technické parametry. Dosah radaru RAMER-7 je maximálně 60 metrů, obvykle se ale měří na vzdálenost do 35-ti metrů. Překročení rychlosti je zdokumentováno videokamerou a snímek je přenesen do počítače (notebooku). Pro měření v noci je radar doplněn bleskem.

Radary typu RAMER-7 je nejčastěji možné potkat zabudované v civilních neoznačených automobilech. Radarová hlava je zasazena do přední masky automobilu, počítač s LCD displejem a řídicí panel jsou před sedadlem spolujezdce.

Takzvané stacionární (pevně stojící) radary RAMER-7 jsou umístěny v kovových skříních podél silnic. Budky jsou většinou prázdné. Například po Praze je sice několik radarových budek, ale radar je umístěn vždy jen v jedné z nich. Posledním provedením jsou přenosné trojnožky, které se v poslední době opět začínají používat. Trojnožky představují pro řidiče velké nebezpečí, protože jsou velmi snadno maskovatelné v terénu.

Ostatní dva celosvětově používané kmitočty - takzvané **X** a **K** pásmo ani speciální radarové kmitočty (například **Ku** pásmo) se k měření rychlosti v České republice nepoužívají, to však neplatí v okolních státech, například v Polsku, Rakousku nebo Německu. Policie ČR prozatím hromadně nepoužívá ani laserové měřiče rychlosti; ty se začínají objevovat u Městské policie.¹⁹

4.1.3 Použití v armádě jako součást výzbroje

V této oblasti použití je radiové zaměřovací techniky využito nejvíce. Jedná se především o radiolokátory neboli radary. Tyto prostředky jsou využívány především jako pasivní ochrana.

4.1.4 GPS - Global Positioning System

Systém GPS má rozsáhlé civilní využití. Původně byl tento systém vyvinut zejména pro vojenské účely a je dodnes spravován Ministerstvem obrany USA.

Činnost systému GPS se skládá ze tří základních segmentů:

- kosmický segment (družice),
- uživatelský segment (přijímače),
- řídicí segment (kontrolní).

Důvody velkého zájmu o systém GPS:

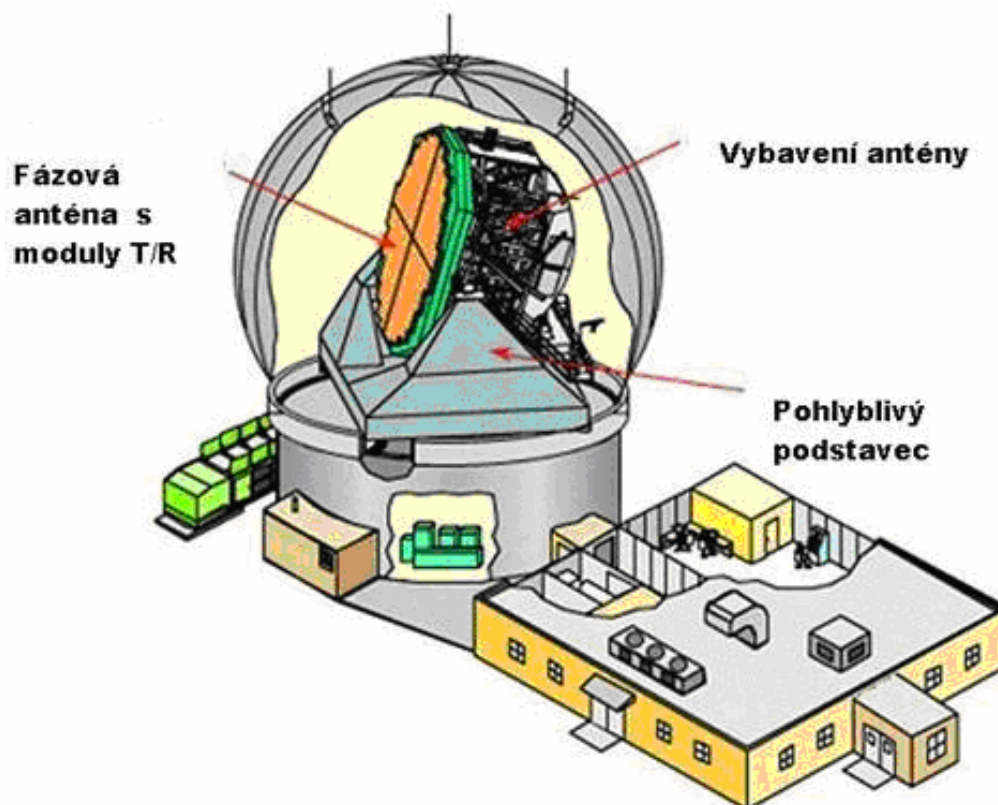
- relativně vysoká polohová přesnost (od desítek metrů až po milimetry),
- schopnost určovat i rychlost a čas s přesností odpovídající přesnosti polohové,
- dostupnost signálů kdekoli na zemi i v kosmickém prostoru,
- standardní polohová služba systému GPS je civilní a dostupná bez omezení, poplatků a nejběžnější využití je možné i při použití relativně levného zařízení,
- systém je dostupný za každého počasí a to 24 hodin denně,
- polohu lze určovat v třírozměrném prostoru.

Systém GPS je používán v mnoha oblastech:

- v dopravě,
- v geodézii a mapování,
- pro zvládnutí krizových situací,
- v pozemních aplikacích,
- při rekreaci,
- ve vesmíru,
- pro časové služby,
- pro vědecké aplikace a další.

V současné době je systém GPS zabezpečován 24 satelity, které obíhají na šesti oběžných drahách. Ve skutečnosti se jedná o 30 satelitů, ale současně aktivních je obvykle 24 a ostatní jsou vždy záložní. Na zemi je pět monitorovacích stanic a tři řídicí střediska. K určení polohy musí GPS zařízení přijímat signál z minimálně čtyř družic. Satelit projde celou svou oběžnou dráhu přesně za 12 hodin, tzn., že konfigurace družic na obloze se neustále mění, ale stejné rozmístění se dvakrát denně opakuje. Z jednoho místa na Zemi bývá v přímé viditelnosti antény přijímače šest až dvanáct družic.²⁰

4.2 Radiolokace



Obr. 18

4.2.1 Definice radiolokace

Radiolokace je radiové vyhledávání a zaměřování objektů v prostoru pomocí elektronických vln. Radiotechnická zařízení sloužící k tomuto účelu se nazývají radiolokátory. Anglický název RADAR je zkratkou těchto slov: **RA**dio **DE**tectio **AN**d **R**anging. Radar vykonává dvě základní činnosti. Zjistí objekt a změří parametry jeho pohybu. Další činností může být také identifikace objektu atd. K otázkám zjištění objektu patří jak zjištění odraženého signálu na pozadí šumu a rušení v celém rozsahu parametrů signálu (zpoždění signálu, kmitočet), tak i přehled prostoru nebo vyhledávání v oblasti prostoru určené danými mezemi. K otázkám patří měření jednotlivých parametrů pohybu objektu (vzdálenosti, úhlu, rychlosti, zrychlení rotace apod.), nebo jejich současné měření. Objekty v radiolokaci mohou být letouny, rakety, umělé družice Země, vozidla, plavidla, ledovce, různé geografické útvary, bouřkové mraky a jiné meteorologické jevy, meteorické stopy, planety a různá umělá zařízení. Všechny tyto objekty se nazývají radiolokační cíle nebo prostě cíle.

4.2.2 Rozdělení radiolokace

a) Podle způsobu, jakým plní základní funkce:

- aktivní radiolokace
- aktivní radiolokace s aktivní odpovědí (sekundární radiolokace)
- poloaktivní radiolokace
- pasivní radiolokace

b) Podle typů radiolokačních prostředků:

- palubní (letecké)
- pozemní
- vyhledávací
- radiolokátory pro vyhledávání vzdušných cílů
- naváděcí radiolokátory
- řídicí radiolokátory
- radiolokátory pro vyhledávání pozemních cílů
- průzkumu a rušení
- radiolokační pátrače
- radiolokační rušiče
- speciální
- pozemní radiolokátory systémů navedení a bombardování
- pozemní identifikační zařízení
- přistávací radiolokátory
- střelecké
- radiolokátory pro řízení palby protiletadlového dělostřelectva
- radiolokátory naváděcích systémů řízených střel
- radiolokátory pro řízení palby pozemního dělostřelectva
- radiolokační zapalovače
- lodní

4.2.1.1 Aktivní radiolokace

Při aktivní radiolokaci se cíl ozařuje elektromagnetickou energií vyslanou radiolokátorem a přijímá se odražená elektronická energie. Sekundární radiolokace se liší od aktivních systémů tím, že na pozorovaném objektu je umístěn přijímač a vysílač, odpovídající na signály aktivního radiolokátoru. Odpovědi cíle jsou řízeny do razy radiolokátoru. V tomto případě je také možné, kromě zjištění a určení polohy cíle také jeho rozpoznání podle způsobu odpovědi. Odpovídající zařízení umístěné na pozorovaném objektu obvykle nazýváme radiolokační maják.

4.2.1.2 Poloaktivní radiolokace

Liší se od aktivní tím, že ozáření cíle a jeho zjištění se zjišťuje z odlišných míst. Tato metoda se užívá zejména v systémech řízených střel. Je totiž výhodné umístit přijímací a výstupní zařízení přímo na střele, zatímco vysílač označující cíl je mimo střelu například na zemi, nebo na letounu.

Pasivní radiolokace je založena na příjmu elektromagnetické energie vyzařované cílem. V pasivním radiolokačním systému není cíl radiolokátoru ovlivňován, vyzařování cíle není tedy na rozdíl od předchozích systémů řízeno. Hlavní použití pasivní radiolokace (infralokace) je v oblasti tepelného vyzařování objektu+ (infračervené zaměřovače).²¹

4.3 Historie, vznik a první využití radaru

Potřeba systému včasné výstrahy vznikla již ve 30. letech 20. století v době Španělské občanské války, kdy bombardéry z německé elitní legie za 3 hodiny srovnaly se zemí město Guernica.

Britové si nebezpečí bombardérů uvědomovali, a proto začali v polovině 30. let budovat zvukové lokátory, které měly zachytit zvuk motorů blížících se bombardérů. Britští vědci však pracovali na jiné metodě detekce letadel na velkou vzdálenost. Jejich práce byla vedlejším produktem neúspěšného výzkumu elektronického páprsku smrti. Systém spočíval ve vysílání radiových impulsů, jejich odrazu od cíle a zpětné zachycení na zemi.

Prvním objektem zjištěným pomocí radaru byl bombardér Heliford, který v únoru 1935 přeletěl blízko radiového stožáru v Deventri.

Na základě výzkumu Britové začali budovat domácí síť radiolokátorů. Počátkem roku 1939 jich existovalo již přes 30 a byly rozmístěny tak, aby pokrývaly celé východní pobřeží. Tyto radiolokátory vysílaly na frekvenci 20 MHz výkonem 150 kW. Výkon byl později zvýšen na 1 MW. Impuls měl délku 12 ms, opakovací kmitočet byl 85 Hz a měl dosah 200 km. V roce 1940 byl tento systém doplněn o radiolokátory CHL, pracující na kmitočtu 200 MHz.

Britský systém včasné výstrahy byl založen na systému soustředění informací ze všech radarových stanic do jednoho místa a jejich následné rozeslání na všechny stupně velení stíhacího letectva RAF. Následně byly stíhačky uvedeny do pohotovosti a pozemní pozorovatelé je naváděli na cíl.

Další zlom v radarové technice nastal, když Britové vynalezli radar pracující na kmitočtu 3 GHz. Tento radar měl mnoho variant. Jedna varianta se montovala na hlídkové letouny velitelství pobřežního letectva RAF. Tento radar se velmi dobře osvědčil při vyhledávání vynořených ponorek a tím způsobil zvrát v bitvě o Atlantik.

Jeho největší výhodou byl fakt, že na rozdíl od předchozích typů radarů vysílal na frekvenci, na kterou zatím němečtí vědci nevyvinuli přijímač a tudíž posádky ponorek nebyly předem varovány. Jiná varianta decimetrového radaru s názvem H2S sloužila k navigaci bombardérů. Byla namířena dolů a snímala terén pod letadlem. Ke konci války dostali britští letci rozkaz používat H2S co nejméně. Němci v té době vyvinuli přijímač jeho signálu a jejich stíhači podle něj velmi snadno zaměřili britské bombardéry.

4.4 Fyzikální základy radiolokace

4.4.1 Radiolokační impuls

Impuls je ojedinělá krátkodobá změna napětí nebo proudu, které jsou před i za impulsem konstantní. Tvar impulsu je čárový průběh impulsu a je charakterizován čelem, temenem a týlem; dále pak amplitudou a šířkou.

4.5 Hlavní takticko technické parametry radiolokátorů

4.5.1 Hlavní taktické parametry

- oblast přehledu
- doba přehledu
- počet a druh určovacích souřadnic
- přesnost určení souřadnic
- rozlišovací schopnost radiolokátoru
- odolnost proti rušení

a) Oblast přehledu:

Je prostor, ve kterém může být cíl zjištěn se zadanými pravděpodobnostmi správného a falešného zjištění. Pravděpodobnost zjišťování cíle se pohybuje u běžných radiolokátorů mezi 50% - 90%. Pravděpodobnost falešného zjištění určuje takový případ, kdy cíl v daném prostoru zadaný není a na indikátoru radiolokátoru se zobrazí šumová špička větší amplitudy, která může být považována za cíl. Oblast přehledu se udává mezemi zjištění, tj. maximální a minimální vzdáleností a sektory v azimutu a polohovém úhlu.

b) Doba přehledu:

Udává čas, potřebný k jednomu cennému cyklu prohlídky oblasti přehledu. Postupné prohledávání prostoru je nutné proto, že z hlediska maximálního dosahu a zvýšení přesnosti zaměřování je nutné změnit šířku vyzařovacího diagramu antény, ale k zajištění postupné prohlídky celé oblasti přehledu se musí vyzařovací diagram přemísťovat v prostoru snímání. Z mnoha možných způsobů snímání jsou nejrozšířenější přehledové snímání, sektorové, šroubovicové a řádkové snímání. Přehledové snímání se uskutečňuje otáčením vyzařovacího diagramu kolem vertikální osy. Tento způsob prohledávání prostoru je značně rozšířen u pozemních přehledových a palubních panoramatických radiolokátorů.

c) Počet a druh určovaných souřadnic:

Podle počtu určovaných souřadnic se dělí radiolokátory na jednorozměrné, dvou-
rozměrné a třírozměrné. Jednorozměrné určují pouze vzdálenost cíle. Dvou-
rozměrné určují délku a azimut, nebo polohový úhel a délku cíle. Třírozměrné měří
všechny tři souřadnice, určují polohu cíle v prostoru.

d) Přesnost určení souřadnic:

Je dána velikostí chyb, systematických a náhodných.
Systematické chyby se dělí na:

- Osobní chyby obsluhy.
- Konstrukční chyby přístroje.
- Taktické chyby způsobené nesprávným používáním radiolokátoru, jako je napří-
klad špatné umístění.
- Teoretické chyby vzniklé nepřesným vyjádřením vztahů.
- Náhodné chyby vznikající vlivem různých příčin.

e) Rozlišovací schopnost radiolokátoru:

Je schopnost rozeznat odděleně dva cíle umístěné blízko sebe. Čím menší vzdá-
lenost cílů radiolokátor rozliší, tím má vyšší rozlišovací schopnost.

f) Odolnost radiolokátoru proti rušení:

Je dán schopností radiolokátoru zachovat si taktické parametry v podmínkách ru-
šení. Odolnost proti rušení, tj. schopnosti radiolokátoru zjišťovat a sledovat cíle i v
podmínkách rušení se dosahuje zejména těmito prostředky:

- Rychlou změnou pracovního kmitočtu.
- Použitím několika kanálů pracujících na různých vlnových délkách.
- Použitím zvláštních obvodů pro vyloučení, nebo omezení vlivů rušení.

Ve značné míře odolnost proti rušení ovlivňují některé technické parametry radio-
lokátoru jako:

- Tvar vyzařovací charakteristiky.
- Délka a opakovací kmitočet vysílaných impulsů.
- Vysílací kmitočet radiolokátoru.

4.5.2 Hlavní technické parametry

- Nosný (pracovní) kmitočet
- Druh modulace a její parametry
- Výkon vysílače
- Citlivost přijímače
- Vyzařovací diagram antény
- Opakovací kmitočet impulsů

a) Nosný kmitočet:

Kmitočet, na kterém bude pracovat radiolokátor, závisí na mnoha faktorech, z nichž jeden může být vzhledem k použití stanice rozhodující. Např. se zvětšováním délky vlny rostou i rozměry antény, což např. u leteckých radiolokátorů vzhledem k přísným aerodynamickým i váhovým požadavkům nelze vždy realizovat. Rovněž při volbě kmitočtu v centimetrovém pásmu je nutno uvažovat vliv atmosféry na šíření elektromagnetických vln. Používané kmitočty radiolokačních stanic jsou v rozsahu 30 MHz až 30 GHz.

b) Druh modulace:

V radiolokaci lze využít pro modulování kmitočtu všech druhů modulace a to amplitudové, frekvenční, fázové a impulzové.

Amplitudová modulace:

Viz. kapitola 2.2.7

Kmitočtová modulace:

Viz. kapitola 2.2.7

Fázová modulace:

Modulující vlna mění fázi nosné vlny. Fázová modulace je podobná modulaci frekvenční, ale při fázové modulaci nastává nejstrmější změna fáze vždy při největší změně modulující vlny. Tam, kde změna modulující vlny nenastává se nemění ani fáze nosné vlny.

Impulzová modulace:

Nekvantová - Pulzní amplitudová PAM, Pulzně šířková PŠM, Pulzně polohovací
Kvantová - Delta modulace ΔM , Pulzně kódovaná PCM

Přenos informací se neuskutečňuje jen spojitým analogovým signálem, který svou velikostí (hodnotou proudu nebo napětí) v každém okamžiku definuje okamžitou amplitudu přenášené zprávy (zvukový signál). V některých případech stačí informace přenášet jen v podobě krátkých vzorků (impulsy).

Impulsová modulace se používá jak k přenosu spojitých informací, tak i k přenosu číslicových informací.

c) Výkon vysílače:

Úkolem vysílače v impulsním radiolokačním zařízení je výroba periodicky se opakujících VF signálů, předem určeného výkonu, délky a tvaru. Impulsní výkon radiolokačního vysílače se pohybuje od několika W do několika MW. Vysílač impulsního radiolokátoru dává při poměrně malém příkonu velký impulsový výkon, protože pracuje pouze v krátkém časovém úseku.

d) Citlivost radiolokačního přijímače:

Radiolokační přijímače nejčastěji pracují v pásmu 30 MHz až 3 GHz. Jsou určeny k přeměně a zesílení odražených impulsů od cílů. Citlivost radiolokačních přijímačů je omezena úrovní šumu, které se projevují na stínítku obrazovky jako náhodné vychýlení nebo prosvětlení časové základny. Signál lze pak rozlišit jen tehdy, jestliže úroveň amplitudy nebo jasu signálu převyšuje úroveň šumu. Při stanoveném poměru úrovně signálu k šumu na výstupu přijímače se posuzuje kvalita přijímače tzv. skutečnou citlivostí přijímače.

e) Směrový diagram antény:

Znázorňuje množství vyzářené energie v různých směrech na stejné vzdálenosti od antény. Vyzařovací diagram je prostorový útvar. Důležitý je řez tímto útvarem vodorovnou a svislou rovinou, neboť v této rovině jsou nejčastěji kresleny směrové charakteristiky antény. K sestavení vyzařovacího diagramu ve vodorovné rovině, je třeba změřit intenzitu pole antény v rozmezí $0^\circ - 360^\circ$ v místech stejně vzdálených od antény. Potom se v odpovídajících směrech vynesou naměřené hodnoty intenzity pole v určitém měřítku. Tento způsob zobrazení se nazývá zobrazení v polárních souřadnicích.

f) Opakovací kmitočet impulsů:

Aby byl údaj o vzdálenosti cíle jednoznačný, nesmí být kmitočet příliš vysoký. Pokud by byl příliš vysoký, mohlo by dojít k příjmu dozvuků signálu z předchozího vysílání.

4.5.3 Sekundární vyzařování elektromagnetických vln

Účinkem střídavého elektromagnetického pole přímé (dopadající) radiové vlny se při ozáření cíle v něm indukují střídavé proudy stejného kmitočtu, jako je kmitočet dopadající elektromagnetické vlny. Indukované proudy vytvářejí kolem předmětu elektromagnetické pole vyzařující elektromagnetické vlny. Ozařovaný objekt někdy nazýváme zdrojem sekundárního záření. Intenzita sekundárního vyzařování závisí na rozměrech cíle. Nejvíce vyzařují takové předměty nebo jejich části, jejichž rozměry se blíží čtvrtině nebo polovině vlnové délky nebo jejich celistvým násobkům.

4.6 Typy radarů a jejich aplikace

4.6.1 Primární radar

Vysílá elektromagnetickou vlnu, která se šíří od antény radaru do okolního prostoru a odráží se od okolních předmětů. Odraženou energii radar přijímá a vyhodnocuje.

Vzdálenost objektu se určuje ze zpoždění mezi přijatým odraženým a vyslaným signálem. Úhlovou polohu předmětu lze určit pomocí směrových vlastností antény.

Z Dopplerova posuvu kmitočtu přijatého signálu lze stanovit radiální složku vzájemné rychlosti radaru a cíle.

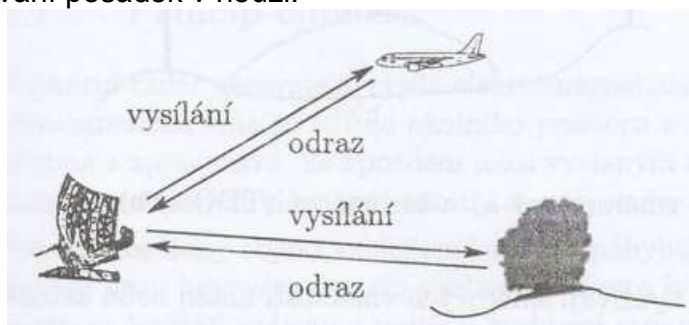
Primární radary se využívají zejména k pozorování přírodních útvarů (meteoradary, georadary), nespolupracujících nepřátelských objektů, pro ostrahu prostorů, měření rychlosti, pro různá čidla, pro protisrážlivé účely u automobilů a podobně.

4.6.2 Sekundární radar

Generují a vysílají elektromagnetickou vlnu, ale místo odražené vlny přijímají signál vyslaný odpovídačem (transponder) umístěným na sledovaném objektu. Odpovídač zachytí signál vyslaný radarem (dotazovačem – interrogator) a s definovaným zpožděním vyše dohodnutou odpověď. Vyslaná odpověď, která je zpravidla na jiném kmitočtu, je pak dotazovačem přijata a vyhodnocena.

Vzdálenost odpovídače se určuje ze zpoždění přijaté odpovědi za vyslaným dotazem. Úhlová poloha objektu se vyhodnotí s použitím směrových vlastností antény.

Sekundární radary mohou detekovat pouze spolupracující objekty vybavené příslušnými odpovídači. Tato nevýhoda je vyvážena možností získat další informace o pozorovaném objektu a příznivější výkonovou bilanci. Naopak výhodou sekundárních radarů je omezení přijatých signálů na odpovědi vyslané odpovídači, kterým nekonkurují žádné signály způsobené odrazem od terénu, mraků či vegetace. Sekundární radary se využívají například k řízení letového provozu, v lodní navigaci a pro vyhledávání posádek v nouzi.²²



Obr. 19

4.6.3 Pasivní radary

Využívají signály generované a vysílané jinými objekty. Zdroje těchto vln mohou být umístěny buď přímo na sledovaných objektech (radiostanice, mobilní telefon nebo odpovídač sekundárního radaru) nebo to mohou být signály generované externími zdroji, které se od sledovaného objektu pouze odrážejí (TV nebo rozhlasový signál, signál GPS a podobně). Jelikož pasivní radary nevysílají radiový signál, není nutné pro jejich činnost získat přidělení vysílací frekvence a svým provozem nezatěžují své okolí elektromagnetickým signálem. Pasivní radary mohou k určování polohy objektu využívat metodu časoměrnou, směroměrnou, dopplerovskou nebo jejich kombinace.

4.7 Radiolokační majáky

Systém radiolokačního majáku (dále RM) se skládá z dotazovače a odpovídače. Dotazovač je složen z vysílače, přijímače, anténního systému, identifikátoru, případně dekódovače. Odpovídač obsahuje rovněž anténní systém, přijímač, kódovač a vysílač. Dotazovač RM podobně jako radiolokátor vyšle vysokofrekvenční impuls směrem k odpovídači. Nepřijímá však zlomek energie, který se od odpovídače odráží, nýbrž vyslaný signál je přijat přijímačem odpovídače, zpracován a po zpracování zaklíčuje kódér a vysílač, který vyšle kódovanou odpověď. Tuto odpověď přijímá přijímač dotazovače a po zpracování přivádí na indikátory. Tento systém práce se nazývá sekundární radiolokace.

Právě tak jako v radiolokátorech, pro vysílání a příjem se používá zpravidla jedna společná anténa. Každý impuls dotazovače spouští vysílač odpovídače. Signál odpovědi může být tvořen jedním impulsem, ale častěji bývá použito řady impulsů kódovaných podle určitého klíče. Pro spuštění odpovídače je třeba určitého časového úseku. To zapříčiňuje, že signál odpovědi je časově zpožděn vůči signálu odraženého od cíle. Vysílačem dotazovače může být vysílač radiolokační stanice a nebo zvláštní speciální vysílač dotazu. Volba druhů vysílače záleží na podmínkách použití systému RM.

Systém radiolokačních majáků se používá:

- jako navigační prostředek pro řízení provozu vojenského a civilního letectva
- jako identifikačního zařízení pro rozpoznávání vlastních letadel
- pro sledování vlastních letounů na vzdálenost větší, než je dosah radiolokátoru.

Jednou z hlavních nevýhod radiomajáku je skutečnost, že při velkém množství se navzájem ruší. Toto rušení může být tak velké, že celý systém RM bude neúčinný.

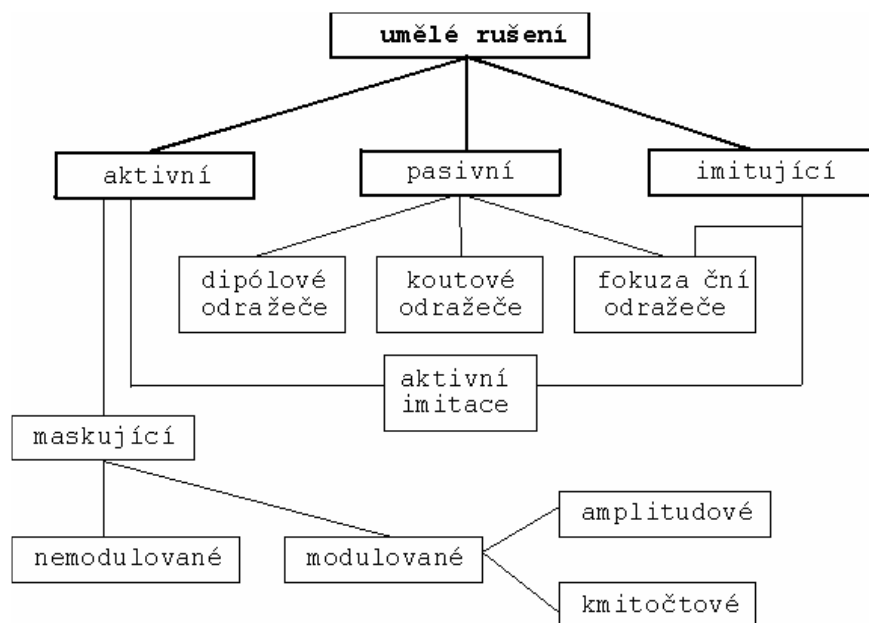
4.8 Rušení radiolokátoru

Rušení práce radiolokačních stanic může způsobovat jakákoliv elektromagnetická energie přijatá přijímačem buď přes anténu nebo na kterýkoliv stupeň přijímače znesnadňující nebo znemožňující určení správného odraženého signálu na výstupu. Podle toho, o jaký typ rušení jde, jej můžeme rozdělit na přirozené a umělé.

4.8.1 Přirozené rušení

- vlastní šumy přijímače
- odrazy od pozemních předmětů
- rušení vlivem atmosférických výbojů
- rušení vytvářené zapalovacími systémy výbušných motorů
- vnitřní poruchy radiolokátorů
- atmosférické srážky
- rušení způsobené rádiovými stanicemi
- rušení způsobené okolními radiolokátory²³

4.8.2 Umělé rušení



Obr. 20

4.9 Vliv radaru na zdraví obyvatel (radar v Brdech)

V poslední době se často objevují obavy nebo nejasnosti o případném vlivu tohoto zařízení na zdraví lidí v jeho okolí a obyvatel nejbližších obcí, a to z důvodu budoucí výstavby radiolokační stanice na území ČR v prostoru vojenského újezdu Brdy. Do této debaty razantně vstoupilo Ministerstvo obrany ČR, které v polovině srpna 2007 prezentovalo studii, připravenou týmem českých specialistů na základě technických parametrů poskytnutých americkou stranou. Dvousetstránkový materiál nazvaný „Předběžné posouzení vlivu radiolokační stanice EBR (European Based Radar) na zdravotní stav populace v okolí vojenského újezdu Brdy“ přináší řadu informací a odborných argumentů (plné znění je k dispozici na www.army.cz).

Ochranu zdraví pro oblast neionizujícího záření má v resortu obrany hlavní hygienik AČR. Úroveň zmíněného záření v reálných situacích a při konkrétních činnostech AČR měří vojenská hygienicko-protiepidemická služba, která naměřené veličiny porovnává s platnými normami. Způsoby měření a úrovně limitních hodnot v jednotlivých kmitočtových pásmech jsou stanoveny v nařízení vlády č.480/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví.

Přestože konečné stanovisko k bezpečným hranicím, hygienickým limitům a povoleným nebo zakázaným zónám, či k možnému vlivu na civilní obyvatelstvo bude možné vydat po provedeném měření provozu radaru EBR v České republice, vydal hlavní hygienik AČR plk. MuDr. Petr Navrátil předběžné odborné vyjádření viz. kapitola 4.9.1.

4.9.1 Vyjádření hlavního hygienika AČR

„Z předběžného posouzení vyplývá, že hlavní svazek radiolokátoru za daných podmínek provozu nemůže exponovat obyvatelstvo v okolí EBR, protože jeho poloha fyzikálně tuto expozici neumožňuje. Boční vyzařovací smyčky v případě EBR jsou o 40 dB (tj. 10 000x) slabší než hlavní svazek. Ve vzdálenosti 800 m na úrovni terénu (ochranná zóna) stanice splňuje s velkou rezervou hygienické limity, které jsou dány nařízením vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, prováděcím předpisem zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, v jeho platném znění. Z toho vyplývá, že při dodržení uvedené ochranné zóny a daných podmínek provozu ERB nemůže dojít k expozici obyvatelstva a tím ani k ohrožení jejich zdravotního stavu.“

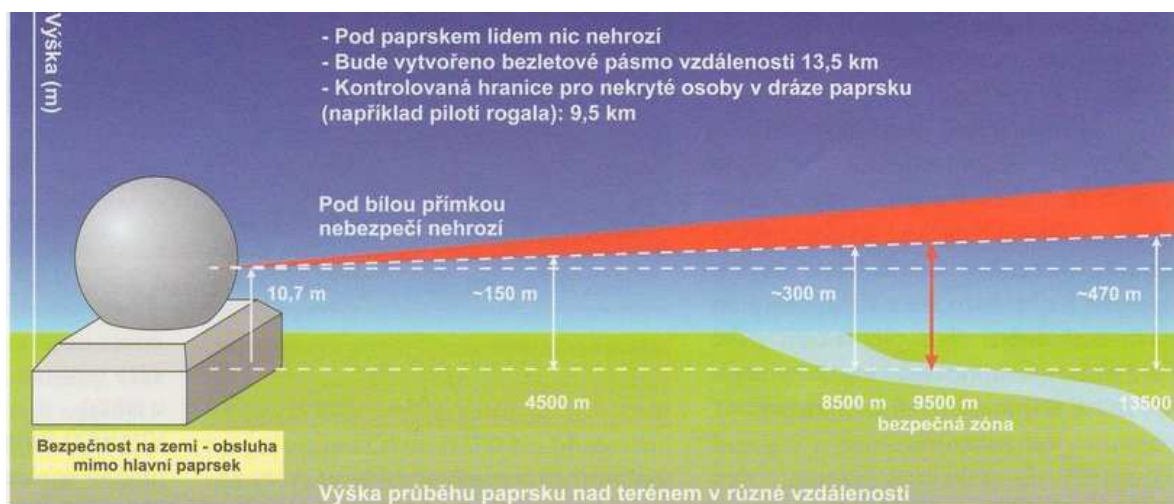
4.9.2 Vyjádření Ministerstva zdravotnictví ČR

Identický závěr v rámci odborného dílčího vyjádření Ministerstva zdravotnictví přináší i stanovisko hlavního hygienika ČR a náměstka ministra zdravotnictví MuDr. Michaela Víta.²⁴

4.9.3 Bezpečný směr paprsku radaru

Radar nemíří na zem. Paprsek směřuje vzhůru pod úhlem nejméně 2° a jeho fyzickému sklopení brání mechanické zarážky.

V rámci „Předběžného posouzení vlivu radiolokační stanice EBR (European Based Radar) na zdravotní stav populace v okolí Vojenského újezdu Brdy“ byly provedeny analýzy všech obcí v okolí a potvrdilo se, že žádná z obcí nemůže být v žádném případě zasažena paprskem radaru.



Obr. 21

4.9.4 Radar v Kwajaleinu

Na atolu Kwajalein vyzařuje radar nad obydlenou oblastí, ve které se mimo jiné nachází také škola. Za 9 let činnosti radaru nebyla zaznamenána žádná onemocnění související s tímto zařízením.²⁵

5. VÝVOJ A VYHLÍDKY DO BUDOUCNOSTI

V dnešní době je radiová spojovací a zaměřovací technika na velmi vysoké úrovni a to je dáno historickou potřebou vývoje těchto odvětví. Jakým směrem se bude vývoj v budoucnu ubírat, nikdo jistě neví, ale dá se předpokládat, že bude spojena s příchodem nových technologií a objevů v oblasti elektrotechniky a fyziky, jak tomu již doposud bylo. V posledních letech bylo největším skokem u tohoto druhu zařízení proces digitalizace (s tím spojená miniaturizace) analogových systémů a zařízení. Výrobci se snaží miniaturizovat a dosahovat lepších parametrů obvodů i celých zařízení, aby bylo použití této moderní techniky všestrannější, co nejméně nákladné a se všemi ohledy k životnímu prostředí. V budoucnu se toto odvětví bude i nadále vyvíjet vysokým tempem podobně jako celý elektrotechnický průmysl.

6. ZÁVĚR

Mechanické kmity se vyskytují v běžném životě např. u spalovacích motorů, kde píst koná kmitavý pohyb. Ke kmitům dochází i u poškozených tlumičů automobilů, kmitá i most účinkem periodických nárazů a existuje mnoho dalších příkladů, kde se kmity vyskytují okolo nás.

Elektromagnetické kmity jsou nosičem informací mezi přijímačem a vysílačem prostřednictvím antén a okolního prostředí, které významně ovlivňuje jeho šíření. Na principu elektromagnetických kmitů a vln funguje radiová spojovací a zaměřovací technika. Prostřednictvím těchto kmitů, lze bezdrátově přenášet data, zvuk i obraz.

Radiová a zaměřovací technika je v závislosti na vzniku nových technologií v elektrotechnickém průmyslu vyspělejší a je funkční v mnoha frekvenčních pásmech v závislosti na vlnové délce elektromagnetických vln. Radiovou technikou disponují např. letecké společnosti, vojenské, policejní i záchranné sbory, ale uplatnění je velmi široké i pro každého člověka, který poslouchá rádio, využívá bezdrátového internetu, má mobilní telefon nebo sleduje televizi. V poslední době se především sleduje a limituje vliv elektromagnetických vln (záření) na zdraví obyvatel a na ochranu životního prostředí.

Jakým směrem se bude vývoj v budoucnu ubírat je otázkou toho, co se bude od této techniky očekávat a co příchod nových technologií a objevy v oblasti elektrotechniky a fyziky umožní.

6. Seznam literatury

- ¹ POSPÍŠIL, Jaroslav. *Mechanické a elektromagnetické kmity a vlny*. 1. vydání. Olomouc: Rektorát Univerzity Palackého v Olomouci, 1987. s. 132
- ² LANK, Vladimír, VONDRA, Miroslav. *Fyzika v kostce*. 2. vydání. Havlíčkův Brod: Fragment, 1999. s. 43 (120). ISBN 80-7200-060-8
- ³ LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia*. 2.vydání Praha: Prométheus, 2000. s. 135. ISBN 80-7196-087-X
- ⁴ LANK, Vladimír, VONDRA, Miroslav. *Fyzika v kostce*. 2. vydání. Havlíčkův Brod: Fragment, 1999. s. 81 (120). ISBN 80-7200-060-8
- ⁵ WIKIPEDIE, *Permitivita* [online]. Publikováno 20.1.2001/ 27.10.2007 [cit. 2008-3-16]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Permitivita>
- ⁶ WIKIPEDIE, *Permeabilita* [online]. Publikováno 20.1.2001/ 27.10.2007 [cit. 2008-3-16]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Permeabilita>
- ⁷ WIKIPEDIE, *Vlnová délka* [online]. Publikováno 20.1.2001/ 12.2.2008 [cit. 2008-3-11]. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlnov%C3%A1_d%C3%A9lka
- ⁸ WIKIPEDIE, *Dopplerův jev* [online]. Publikováno 20.1.2001/ 27.10.2007 [cit. 2008-3-9]. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Doppler%C5%AFv_jev
- ⁹ JELEN, Josef. *Fyzika 2* [online]. Publikováno 1.8.2006/ 15.1.2007 [cit. 2008-3-12]. Dostupné z http://www.bakal06.chytrak.cz/2006_K23.doc
- ¹⁰ HEŘMAN, Vít. *Elektromagnetické kmitání a vlnění* [online]. [cit. 2007-11-22]. Dostupné z <http://www.penguin.cz/~dragon/1.pdf>
- ¹¹ CHRBOJKA, Martin. *Elektromagnetické kmitání* [online]. [cit. 2007-11-25]. Dostupné z www.3dmata.chrbolka.com
- ¹² HEŘMAN, Vít. *Elektromagnetické kmitání a vlnění* [online]. [cit. 2007-11-22]. Dostupné z <http://www.penguin.cz/~dragon/1.pdf>

- 13** MAZÁNEK, Miloš. *Šíření elektromagnetických vln a antény*. 2. vydání přepracované. Praha: (ČVUT) - České vysoké učení technické v Praze, 2004. s. 259. ISBN 80-01-03032-6
- 14** NOBILIS, Jiří. *Teorie elektronických obvodů IX*. Pardubice: Střední průmyslová škola elektrotechnická a Vyšší odborná škola Pardubice, 2004. s. 3-7 (39). Vystaveno 2004 [online]. [cit. 2007-11-26]. Dostupné z 213.81.187.151/~meranie/kniznica/TEO/TEO%20IX.doc
- 15** NOBILIS, Jiří. *Teorie elektronických obvodů IX*. Pardubice: Střední průmyslová škola elektrotechnická a Vyšší odborná škola Pardubice, 2004. s. 9-11 (39) Vystaveno 2004 [online]. [cit. 2007-11-26]. Dostupné z 213.81.187.151/~meranie/kniznica/TEO/TEO%20IX.doc
- 16** BURIAN, Michal. *Historie spojovacího vojska*. 1. vydání. Praha: Ministerstvo obrany – Agentura vojenských informací a služeb, 2007, s. 247. ISBN 978-80-7278-414-1
- 17** DICOM, spol. s r. o [online]. Vystaveno 2002 [cit. 2007-12-12]. Dostupné z www.dicom.cz/index_cz.html
- 18** *Vyhledávací technika* [online]. Vystaveno 6.6.2007/18.1.2008 [cit. 2007-12-14]. Dostupné z <http://www.sherlog.cz/dokument.aspx?docId=515&jazId=1&oblId=1&katId=75>
- 19** HAVLÍČEK, Martin. *Měření rychlosti v České republice* [online]. [cit. 2007-12-18]. Dostupné z <http://www.martinhavlicek.eu/pdf/Mereni-rychlosti-v-ceske-republice.pdf>
- 20** POLCAR, Vojtěch. *Používání systému GPS v současné době, jeho využití a přínos pro zemědělství*. (bakalářská práce). Praha 2007. s. 39
- 21** PITÁLEK, Jan. *Radiolokační metody a technika* [online]. Publikováno 20.1.2001/ 18.1.2008 [cit. 2007-12-22]. Dostupné z http://www.valka.cz/newdesign/v900/clanek_316.html
- 22** BEZOUŠEK, Pavel. *Radarová technika*. 1. vydání. Praha: ČVUT - České vysoké učení technické v Praze. Praha 9/2004 s. 3-4 (217) ISBN 80-01-03036-9

- 23** PITÁLEK, Jan. *Radiolokační metody a technika* [online]. Publikováno 20.1.2001/ 18.1.2008 [cit. 2007-12-22]. Dostupné z http://www.valka.cz/newdesign/v900/clanek_322.html
- 24** Čtrnáctideník *A-report*. Praha: Ministerstvo obrany: (AVIS) Agentura vojenských informací a služeb, 19/2007 s. 49
- 25** AVIS. *Proti raketám*. Praha: Ministerstvo obrany ČR, 11/2007 s. 16. ISBN 978-80-7278-433-2

Seznam příloh

Příloha č. 1: Ruční RDST RF-1302

Příloha č. 2: Přenosné RDST RF-13

Příloha č. 3: Mobilní soupravy RF-1325 a RF-1350

Příloha č. 4: Anténa pásková 0,5 m

Příloha č. 5: Anténa pásková 1,1 m

Příloha č. 6: Anténa pásková 1,5 m

Příloha č. 7: Anténa prutová 0,5 m

Příloha č. 8: Anténa prutová 1,5 m

Příloha č. 9: Anténa závěsná

Příloha č. 10: Anténa polokosočtvercová

Příloha č. 11: Anténa mobilní prutová MO-13.5

Příloha č. 12: Anténa mobilní prutová s magnetickým držákem

Příloha č. 13: Anténa mobilní prutová 2,1m

Příloha č. 14: Anténa mobilní prutová 2,55m

Příloha č. 15: Anténa mobilní prutová 2,85m

Příloha č. 16: Anténa GROUNDPLANE

Příloha č. 17: Anténa DISCON

Příloha č. 18: Anténa LOGARITMICKO- PERIODICKÁ

Seznam obrázků

- Obr. č. 1: Sinusova křivka
(www.apfyz.upol.cz/pdf)
- Obr. č. 2: Pružina
(www.apfyz.upol.cz/pdf)
- Obr. č. 3: Ideální elektromagnetický oscilátor – průběh jednoho kmitu
(*Fyzika v kostce. str.81*)
- Obr. č. 4: Elektromagnetický dipól
(<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=359>)
- Obr. č. 5: Obecný radiokomunikační přenosový řetězec
(*MAZÁNEK, Miloš. Šíření elektromagnetických vln a antény. ČVUT Praha 2004. s. 8*)
- Obr. č. 6: Sdělovací soustava
(*vlastní*)
- Obr. č. 7: Schéma typů radiových vln při šíření
(*MAZÁNEK, Miloš. Šíření elektromagnetických vln a antény. ČVUT Praha 2004. s. 11*)
- Obr. č. 8: Anténa s protiváhami
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 3*)
- Obr. č. 9: Frekvenční pásma AM
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 4*)
- Obr. č. 10: Blokované schéma vysílače AM
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 6*)
- Obr. č. 11: Blokované schéma vysílače FM
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 6*)
- Obr. č. 12: Blokované schéma vysílače FM s fázovým modulátorem
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 7*)
- Obr. č. 13: Přijímač bez zesílení
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 10*)
- Obr. č. 14: Přijímač se zesílením
(*NOBILIS, Jiří. Teorie elektronických obvodů IX. Pardubice 2004. s. 12*)
- Obr. č. 15: Radiová stanice RF-13
(http://www.dicom.cz/image/rf13_pic.jpg)
- Obr. č. 16: Radiová stanice R-150S
(<http://www.dicom.cz/image/r-150s.jpg>)
- Obr. č. 17: Silniční radar
(<http://www.rametchm.cz>)
- Obr. č. 18: Radar
(http://technet.idnes.cz/jak-bude-fungovat-americky-radar-v-cesku-ochrani-nas-fht-/tec_technika.asp?c=A070122_182042_tec_vesmir_vse)
- Obr. č. 19: Princip funkce radaru
(*BEZOUŠEK, Pavel. Radarová technika ČVUT Praha 9/2004. s. 3*)
- Obr. č. 20: Rozdělení umělého rušení
(<http://www.valka.cz/newdesign/v900/show.asp?action=HTML&id=323>)
- Obr. č. 21: Směr paprsku radaru
(*AVIS - ČR. Proti raketám. Praha, 11/2007. s. 13*)

Seznam zkratek

AČR	Armáda České republiky
ALE	Automatic Link Establishment
ALIS	Adaptive Automatic Link Setup
AM	Amplitudová modulace
ARQ	Automatic Repeat Request
BNC	Bayonet Neill-Concelman
CCD	Charge-Coupled Device
CW	Continues Waves
DAB	Digital Audio Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
EBR	European Based Radar
FM	Frekvenční modulace
FSK	Frequency-Shift Keying
GPS	Global Positioning System
ISB	Independent Side Band
LCD	Liquid crystal display
LSB	Lower Side Band
PRP	Portable Radio Part
RAF	Royal Air Force
RDST	Radiová stanice
RGB	Red, Green, Blue
RM	Radiolokační maják
RTG	Roentgen
SSB	Single Side Band
TV	Televize
UV	Ultra-violet
USB	Upper Side Band

Přílohy:

Příloha č.1

Ruční RDST RF-1302

PROVOZNÍ MOŽNOSTI

- předvolba maximálně 10 kanálů v celém kmitočtovém rozsah
- provoz na pevných kmitočtech – simplexní nebo poloduplexní
- podtónový omezovač šumu 150 Hz nebo signálový omezovač šumu
- automatická kontrola provozuschopnosti stanice po zapnutí s indikací poruchy
- nouzové vymazání vložených informací na kanálech včetně kódů vestavěného maskovače řeči
- vypnutí všech akustických návěstí obsluhou
- prosvětlení displeje a klávesnice
- signalizace velikosti napětí zdrojové skříně
- signalizace nastaveného vysílacího výkonu na displeji, indikace vysílání na horním panelu
- provoz šeptem se zvýšenou citlivostí modulátoru a sníženým výstupním nízkofrekvenčním výkonem
- jednoduchý způsob ovládání
- nastavení kontrastu displeje
- provoz „pouze příjem“ s potlačením vysílání
- nastavení pracovního kmitočtu po krocích
- prohledávání kanálů (SCANNING) po naprogramovaných pevných kmitočtech
- provoz se uskutečňuje na pevných kmitočtech 30,000 MHz až 108,000 MHz nebo se skokovou změnou pracovního kmitočtu v pásmu 30,000 MHz až 87,975 MHz
- přenosové pásmo pro číslicový přenos řeči nebo dat 16 kbit/s
- vysílání a příjem krátkých kódových zpráv – FLASH s identifikací vysílající stanice
- přímá volba telefonního čísla při spojení z rádiové do telefonní sítě
- odeslání tónové výzvy 1000 Hz \pm 200 Hz
- programování prostřednictvím externího zařízení
- programování kanálů pevným kmitočtem z klávesnice
- synchronizace na vyžádání
- změna řídicí stanice podle situace v síti
- pozdější vstup do sítě, přihlášení nové stanice do sítě

- provoz přes vnitřní maskovač slučitelný s RF-13, RF13-01
- odeslání varovného hlášení ke všem účastníkům sítě
- odeslání požadavku na ukončení vysílání – break in
- odeslání požadavku na autentičnost stanicí MASTER
- selektivní komunikace stanice MASTER s vybranou podřízenou stanicí SLAVE
- odesílání a příjem krátkých textových zpráv v módech provozu se skokovou změnou kmitočtu.¹

TECHNICKÉ PARAMETRY

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 108 MHz
Druh modulace	FM
Kanálová rozteč	25 kHz, 12,5 kHz a 6,25 kHz
Počet pracovních kanálů při odstupu 25 kHz	3121
Počet přednastavitelných kanálů	10
Počet monitorovaných kanálů ve všech speciálních módech provozu	2 (nastavitelné)
Špičkový kmitočtový zdvih FM (při kanálovém odstupu 25 kHz)	(6,5 ± 1) kHz
Modulační kmitočet tónové výzvy	(1000 ± 200) Hz
Kmitočtový zdvih tónové výzvy (při kanálovém odstupu 25 kHz)	(6,5 ± 1) kHz
Jmenovité napájecí napětí	7,2 V
Mezní napájecí napětí	(6,5 - 9,5) V
Pásmo kmitočtů se speciálními módy provozu	(30,000 - 87,975) MHz
Typy speciálních módů provozu	FH, DFF, FCS, MIX
Doba počáteční synchronizace	7 s
Čas držení stavu synchronizace při vypnuté stanici s připojenou zdrojovou skříní	42 hod.
Čas držení stavu synchronizace stanice s odpojenou zdrojovou skříní	25 s
Minimální počet provozních kmitočtů pro provoz	4

FH	
Rychlost skákání	100 skoků/s
Odběry proudu radiostanice: vysílání vysílání příjem pohotovost	1,4 A (jmenovitý výkon) 0,6 A (snížený výkon) 0,17 A 0,17 A
Doba provozu vysílání : příjem : pohotovost (1 : 1 : 10)	min. 16 hodin (pro zdrojovou skříň LP1302) min. 10 hodin (pro zdrojovou skříň BP1301)
PARAMETRY VYSÍLAČE	
Jmenovitý výkon vysílače	2 W - 1/+3 dB
Snížený výkon vysílače	0,2 W - 1/+3 dB
Potlačení vlastních harmonických	40 dB
Potlačení parazitních kmitočtů při rozladění > 25 kHz	60 dB
PARAMETRY PŘIJÍMAČE	
Citlivost	lepší než 0,5 μV při 12 dB SINAD
Činitel nelineárního zkreslení	10 %
Nízkofrekvenční výkon	min. 200 mW/8 ohmů
Pásmo efektivně přenášených kmitočtů	
fónie	(300 až 3 000) Hz
data	(10 až 11 000) Hz
MECHANICKÉ VLASTNOSTI A ODOLNOSTI	
Odolnost proti ponoření	1 m
Hmotnost radiostanice	0,85 kg
Hmotnost zdrojové skříně LP1302	0,30 kg

Hmotnost zdrojové skříně BP1301	0,30 kg
Maximální rozměry radiostanice se zdrojovou skříní	(91 x 217 x 44) mm
Maximální rozměry zdrojové skříně LP1302	(77 x 63 x 41) mm [š x v x h]
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Odolnost pro ponoření	do 1 m
Průměrné dosahy ve středně zvlněném terénu při jmenovitém výkonu a fónickém provozu otevřenou řečí:	
s páskovou anténou AS-1301	0,8 km
s páskovou anténou AL-1301	5 km

Příloha č.2

Přenosné RDST RF-13

PROVOZNÍ MOŽNOSTI:

- provoz šepem - zvýšená citlivost mikrofону
- omezovač šumu - vypínatelný, normální nebo tónový (150 Hz)
- možnost předvolby 9 kanálů a jejich uložení v paměti
- možnost prioritního prohledávání přednastavených kanálů (SCANNING)
- možnost selektivní volby účastníků
- bleskové přenášení třímístného kódu, tzv. provoz FLASH
- v případě nebezpečí okamžitý výmaz provozních dat z paměti
- možnost volby modifikace přístupu a náročnosti obsluhy
- možnost programování kanálů z plnicího zařízení PK13 nebo pomocí jiné stanice
- možnost ovládání radiostanice z mikrotelefonu s ovládáním

- volba přednastavených kanálů
- možnost skupinové a generální výzvy
- možnost skupinové a selektivní volby účastníků
- maskovaný hovor s individuálními kódy maskovače jednotlivých kanálů
- utajený hovor

TECHNICKÉ PARAMETRY

Kmitočtové pásmo	30,000 MHz až 87,975 MHz
Odstup kanálů	25 kHz
Počet pracovních kanálů	2 320
Volba kanálů	číslicová, z klávesnice
Druh provozu	simplexní nebo poloduplexní telefonie, přenos dat rychlostí až 16 kbit/s
Utajení hovoru	vnitřní číslicový maskovač nebo vnitřní utajovač EU13.1
Modulace	kmitočtová, max. zdvih 5,6 kHz
Výkon vysílače	jmenovitý 5 W (+1,5 dB/-1 dB) snížený 0,2 W (± 2 dB)
Citlivost přijímače	lepší než 0,5 μ V při 12 dB SINAD
Pásmo efektivně přenášených kmitočtů rádiovým spojením	pro provoz F3 300 Hz až 3400 Hz pro přenos dat 150 Hz až 9000 Hz
Nízkofrekvenční výkon	regulovatelný min. 200 mW na zátěži 4 ohmy
Jmenovité napájecí napětí	12 V ze zdrojové skříně s NiCd akumulátory o kapacitě 4 Ah
Mezní napájecí napětí	10 V až 15 V
Doba provozu	min. 14 hod. při poměru dob vysílání : příjem : pohotovost = 1 : 1 : 10, a jmenovitém výkonu vysílače
Odběr proudu:	

v režimu vysílání při jmenovitém výkonu	max. 2 A
v režimu vysílání při sníženém výkonu	max. 0,6 A
v režimu příjem	max. 0,2 A
v režimu pohotovost	max. 0,12 A
Průměrné dosahy ve středně zvlněném a zalesněném terénu při jmenovitém výkonu:	
s páskovou anténou 0,5 m	1 km
s páskovou anténou 1,5 m	8 km
se závěsnou anténou	15 km
se směrovou dlouhohrátkovou anténou délky 30 m	5 km
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Rozměr vlastní radiostanice se zdrojovou skříní	204,5 mm x 82,5 mm x 254 mm [š x v x h]
Rozměr úplné přenosné soupravy v brašně	250 mm x 380 mm x 450 mm
Hmotnost vlastní radiostanice	max. 2,7 kg (bez zdroje a příslušenství)
Hmotnost zdrojové skříně	max. 2,5 kg
Hmotnost úplné přenosné soupravy v brašně včetně rezervního zdroje	< 11,5 kg

Příloha č.3

TECHNICKÉ PARAMETRY MOBILNÍCH SOUPRAV RF-1325 A RF-1350

Kmitočtové pásmo	30,000 MHz až 87,975 MHz
Vstupní impedance	50 ohmů
Výstupní impedance	50 ohmů
Odstup kanálů	25 kHz

Počet pracovních kanálů	2320
Volba kanálů	číslicová, z klávesnice radiostanice, nebo mikrotelefonu
Druh provozu	simplexní nebo poloduplexní telefonie nebo přenos dat rychlostí 300 bit/s až 2400 bit/s a 16 kbit/s
Utajení hovoru	přes vnitřní maskovač hovoru nebo vnitřní utajovač EU-13.1
Modulace	kmitočtová, max, zdvih 5,6 kHz
Výstupní vf výkon soupravy	snížený 0,2 W jmenovitý 5 W zvýšený 25 W (50 W)
Citlivost přijímače	0,5 μ V při 12 dB SINAD
Pásmo efektivně přenášených kmitočtů	pro provoz F3 300 Hz až 3400 Hz pro data 150 Hz až 9000 Hz
Přenosová rychlost dat v rádiovém kanálu	max. 16 kbit/s
Modulace pro přenos dat	FSK - pomocné nosné 1200 Hz a 2400 Hz
Úroveň modulačního signálu pro zdvih 4 kHz	v provozu F3 100 mV v provozu DATA 550 mV \pm 50 mV
Výstupní výkon vnitřního nf zesil.	1 W na reproduktoru s impedancí 6 ohmů
Kmitočtový rozsah nf zesilovače	300 Hz až 3000 Hz v pásmu 6 dB
Napájecí napětí RF-1325 RF-1350	12 V nebo 27 V 27 V
Mezní napájecí napětí RF-1325 RF-1350	10 V až 33 V 18 V až 33 V
Odběr proudu v režimech příjem vysílání 5 W vysílání 25 W	max. 0,5 A 2 A/1 A (max. 1,3 A) 10 A/5 A

vysílání 50 W	8 A
Doba nepřetržitého provozu v +50 °C	25 W - min. 2 hod. 50 W - min. 30 min.
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Hmotnost soupravy s rámem	max. 15 kg
Rozměry soupravy s rámem	428 mm x 224 mm x 165 mm

Příloha č.4

TECHNICKÉ PARAMETRY antény páskové 0,5m

Kmitočtový rozsah	25 MHz až 146 MHz
Impedance	50 ohmů
PSV	max. 6
Vysílací výkon	do 5 W
Vyzařovací diagram	všesměrový
Rozsah pracovních teplot	- 30 °C až + 60 °C
Délka prutu	0,45 m
Hmotnost	0,12 kg

Příloha č.5

TECHNICKÉ PARAMETRY antény páskové 1,1m

Kmitočtový rozsah	25 MHz až 146 MHz
Impedance	50 ohmů
PSV	max. 6
Vysílací výkon	do 5 W
Vyzařovací diagram	všesměrový
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Délka prutu	1,05 m
Hmotnost	0,19 kg

Příloha č.6

TECHNICKÉ PARAMETRY antény páskové 1,5m

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
PSV	max. 6
Vysílací výkon	do 5 W
Vyzařovací diagram	všesměrový
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Délka prutu	1,32 m
Hmotnost	0,4 kg

Příloha č.7

TECHNICKÉ PARAMETRY antény prutové 0,5m

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	do 5 W
Vyzařovací diagram	všesměrový
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Délka prutu	0,5 m
Hmotnost	0,3 kg

Příloha č.8

TECHNICKÉ PARAMETRY antény prutové 1,5m

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	do 5 W
Vyzařovací diagram	všesměrový

Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Délka prutu	1,5 m
Hmotnost	0,5 kg

Příloha č.9

TECHNICKÉ PARAMETRY antény závěsné

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
Vyzařovací diagram	Všesměrový s vertikální polarizací
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Délka zářiče	2 m
Délka napájecího kabelu	5 m
Hmotnost	0,5 kg

Příloha č.10

TECHNICKÉ PARAMETRY antény polokosočtvercové

Kmitočtové pásmo	30 MHz až 88 MHz
Provedení	anténa polokosočtvercová/anténa vodorovná
Dosah (středně zvl. terén)	výkon rdst. 0,2 W » 7 km/» 4 km výkon rdst. 5 W » 25 km/» 15 km
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	30 W
Vyzařovací diagram	směrový
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Rozměry brašny	830 mm x 150 mm x 100 mm [v x š x h]
Hmotnost s brašnou	3,5 kg

Příloha č.11

TECHNICKÉ PARAMETRY antény mobilní prutové MO - 13.5

Určení:

Pro pevnou montáž na různé druhy vozidel s kovovou střechou, při použití souprav RF-13, RF-1305 a RF-1325.

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	do 60 W
Vyzařovací diagram	všesměrový, s vertikální polarizací
Konektor	BNC (female)
Uchycení podle	UK/NATO tři otvory průměru 7 mm na roztečné kružnici průměru 111 mm
Rychlost větru	140 km/h - provoz 200 km/h - odolnost
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Rozměry	průměr 130 mm x 1585 mm
Hmotnost	1,7 kg
Ochrana proti dotykovému napětí	4 kV/50 Hz

Příloha č.12

TECHNICKÉ PARAMETRY antény mobilní prutové s magnetickým držákem

Určení:

Pro montáž na různé druhy vozidel s kovovou magnetickou střechou. Zaručuje pevné spojení s vozidlem minimálně do rychlosti 180 km/h. Uchycení anténního držáku ke karoserii je provedeno pomocí magnetu v tělese anténního držáku. Anténu se doporučuje umístit co nejbližší středu vrchní vodivé části karoserie. Je možno ji použít se soupravami RF-13, RF-1305 a RF-1325.

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
PSV	max. 6
Výkonová zatížitelnost	do 60 W
Vyzařovací diagram	všesměrový, s vertikální polarizací
Anténní výstup	připojovací anténní kabel, délka 3 m, vidlice BNC
Rozsah pracovních teplot	-30 °C až +60 °C
Rozměry	průměr 125 mm x 1576 mm
Hmotnost	1,9 kg
Ochrana proti dotykovému napětí	4 kV/50 Hz

Příloha č.13

TECHNICKÉ PARAMETRY antény mobilní 2,1m

Určení:

Anténa je určena pro provoz mobilních souprav RF1305, RF-1325 nebo RF-1350 v kolových nebo pásových vozidlech. Tenká konstrukce prutu antény znesnadňuje odhalení rádiového komunikačního prostředku na vozidle, tzv. neviditelná anténa.

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 108 MHz
Impedance	50 ohmů
Vysílací výkon	max. 50 W
Polarizace	vertikální
Vyzařovací diagram	všesměrový
Konektor	BNC (female)
Délka antény (celková)	2,1 m
Rozsah pracovních teplot	- 40 °C až +70 °C
Hmotnost	max. 2,1 kg

Příloha č.14

TECHNICKÉ PARAMETRY antény mobilní 2,55m

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 108 MHz
Impedance	50 ohmů
Vysílací výkon	max. 100 W
Polarizace	vertikální
Vyzařovací diagram	všesměrový
Uchytení	podle UK/NATO
Konektor	BNC (female)
Délka antény (celková)	2,55 m
Průměr základny	144 mm
Průměr prutu	15 mm, průměrně
Hmotnost	2,7 kg
Rychlost větru	162 km/h
Provozní teplota	-40 °C až +70 °C

Příloha č.15

TECHNICKÉ PARAMETRY antény mobilní 2,85m

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 90 MHz
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	max. 70 W CW
Polarizace	vertikální
Vyzařovací diagram	všesměrový
Uchytení	podle UK/NATO
Konektor	BNC (female)
Délka antény (celková)	2,85 m
Průměr základny	140 mm

Provozní teplota	-45 °C až +55 °C
Skladovací teplota	-45 °C až +70 °C
Hmotnost	3,8 kg

Příloha č.16

TECHNICKÉ PARAMETRY antény GROUNDPLANE

Určení:

Stacionární anténa pro montáž na stožár. Používá se pro komunikaci se všemi soupravami RDST RF-13. Je vhodná pro užití na budovách a věžích.

Frekvenční rozsah	30 MHz až 108 MHz
Impedance	50 ohmů
Polarizace	vertikální
Vyzařovací diagram	všesměrový
Jmenovitý výkon	100 W
Připojení	N konektor
Hmotnost	2,1 kg
Rozměry	2,5 m nad stožárem - délka protiváhy 2,7 m
Rychlost větru	162 km/h
Provozní teplota	-40 °C až +70 °C
Skladovací teplota	-55 °C až +85 °C

Příloha č.17

TECHNICKÉ PARAMETRY antény DISCON

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 90 MHz
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	max. 100 W CW

Zisk	2 dBi
Polarizace	vertikální
Vyzařovací diagram	všesměrový
Konektor	N (female)
Výška antény (celková)	3 m
Průměr disku	2,05 m
Rychlost větru	120 km/h
Hmotnost	6,1 kg
Provozní teplota	- 40 °C až +70 °C

Příloha č.18

TECHNICKÉ PARAMETRY antény LOGARITMICKO-PERIODICKÉ

Kmitočtový rozsah	30 MHz až 88 MHz
Impedance	50 ohmů
Výkonová zatížitelnost	max. 400 W
Zisk	6 dB
Konektor	BNC (female)
Rozměry	max. rozpětí prvků 3,1 m
Polarizace	horizontální nebo vertikální
Hmotnost	12 kg - včetně obalu