



Radionavigacija 1

Uporaba radionavigacijskih sredstev v letalstvu

Vsako razmnoževanje in razširjanje brez avtorjevega soglasja je prepovedano.

K a z a l o

U V O D	4
1.0 Pojem in metode radionavigacije	5
1.1.0 Radijski valovi in njihova karakteristike	5
1.2.0 Lastnosti radijskih valov	8
1.2.1 Refleksija	8
1.2.2 Refrakcija	8
1.2.3 Difrakcija	9
1.2.4 Absorbicija	9
1.2.5 Nočni efekt	9
1.2.6 Feding	10
1.2.7 Atmosferske motnje	10
1.2.8 Modulacija radijskih valov	10
1.2.9 Tipi oddajanja radijskih valov	11
2.0 Goniometer	12
2.1.0 Določanje smeri QDM in QDR	12
2.2.0 Letenje s pomočjo goniometra	13
2.2.1 Pasivni let	13
2.2.2 Aktivni let	14
2.3.0 Let zrakoplova od goniometra	15
3.0 Radiokompas	16
3.1.0 Glavni sestavni deli radiokompasa	17
3.2.0 Pojem QDM in QDR pri radiokompasu	18
3.3.0 Pasivni let	19
3.4.0 Aktivni let	21
3.5.0 Letenje po zahtevanem QDM	22
3.5.1 Metoda št.1	22
3.5.2 Metoda št.2	23
3.6.0 Letenje po zahtevanem QDR	24
3.7.0 Metoda interseptiranja zahtevanega QDM	26
3.8.0 Metoda interseptiranja zahtevanega QDR	27
3.9.0 Določanje časa letenja in oddaljenosti od NDB	27
3.9.1 Metoda 90°	28
3.9.2 Metoda 30°	28
4.0 VOR	29
4.1.0 Opis delovanja	30
4.2.0 Princip delovanja VOR-a	31
4.3.0 COM, NAV sprejemnik KING KX-165	33
4.4.0 Navigacija z VOR-om	33
4.4.1 Delovanje sistema VOR	35
4.5.0 Let z bočnim vetrom proti oddajniku VOR	36
4.6.0 Let z bočnim vetrom od oddajnika	37
4.7.0 Dolet na oddajnik VOR in odlet od njega	37
4.8.0 Odrejanje časovne oddaljenosti od oddajnika VOR	38
4.9.0 Dolet na VOR po zahtevanem radialu (Intercepting VOR)	39
4.10.0 Odlet po zahtevanem radialu	40
4.11.0 DME	41
5.0 TACAN	42

6.0 VORTAC	42
7.0 GPS	43
Osnove določanja pozicije	44
Merjenje s kodo	45
Vzroki za napake	46
8.0 Radar	48
8.1.0 Primarni radar (SRE = Surveillance Radar Equipment)	48
8.2.0 Sekundarni radar (Secondary Surveillance Radar)	49
8.3.0 Osnove identifikacije	50
8.4.0 Transponder KT 76 A	51
9.0 ILS Sistem za instrumentalno pristajanje	52
9.1.0 Shematski prikaz sistema ILS	53
10.0 RMI - Radio Magnetic Indicator	54
11.0 HSI - Horizontal Situation Indicator	55
12.0 VASI	56
14.0 Approach luči	57
15.0 ICAO oznake na in ob stezi	59

U V O D

Skripte Radionavigacija obsegajo osnove letalske radionavigacije od njenih skromnih začetkov pa vse do najsodobnejše navigacije GPS. Pri sestavljanju me je vodilo načelo, da morajo biti razumljive, zato je v njih veliko slikovnega materiala, ki bo uporabnikom omogočil, da bodo lažje razumeli določene navigacijske elemente. V njih je le tista teorija, brez katere športni pilot v praksi ne bi mogel shajati.

Namenjene so šolanju pilotov PPL v radionavigaciji. Športni piloti naj bi iz njih pridobili osnovno znanje o uporabi radionavigacijskih sredstev. Program šolanja je objavljen v Šolskem izobraževalnem priročniku Aerokluba Celje in je usklajen s programom JAR, ki vključuje radionavigacijo v izpit za PPL.

Pri nastajanju tega priročnika so mi pomagali: pri delu z računalnikom Bojan Andrejaš, Darja Poglajen je lektorirala, Janez Poglajen je prekontroliral strokovnost, upravnik Borut Pelikan, pa je priskrbel slikovni material. Njim in vsem drugim, ki so kakor koli pomagali, se iskreno zahvaljujem, uporabnikom skript pa želim, da bi jih koristno uporabljali.

Celje, december 2001

Avtor
Peter Karner

1.0 Pojem in metode radionavigacije

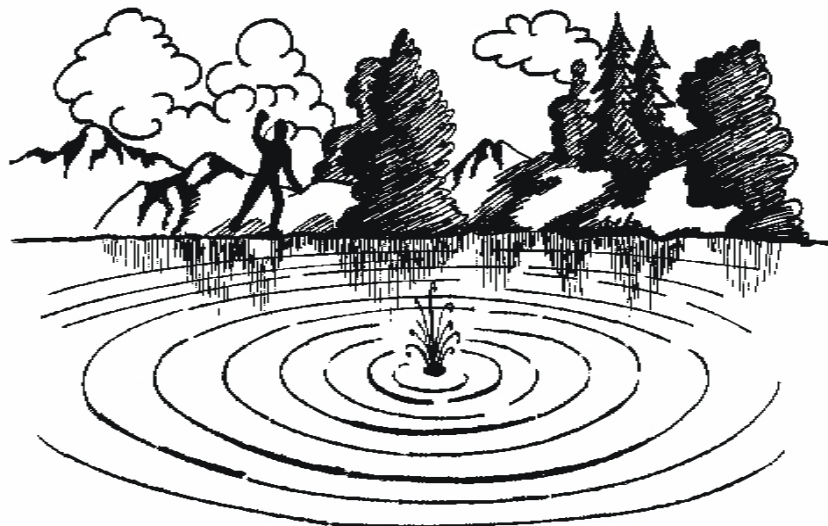
Radionavigacija je metoda navigacije, zasnovana na vodenju zrakoplova s pomočjo radijskih naprav na zemlji in v zrakoplovu.

Letenje samo z vizualno navigacijo je nemogoče, kadar se zemeljski orientiri ne vidijo. Zato si letenja v težkih meteoroloških pogojih - ponoči, na velikih višinah, nad morjem in predeli, kjer ni karakterističnih orientirov - ne moremo zamisliti brez pomoči radionavigacijskih naprav. Razvoj teh naprav je omogočil niz sistemov, ki s zahtevali posebne navigacijske metode. Za generalno aviacijo so pomembne naslednje:

- radiogoniometer,
- radiokompas,
- VOR (Very high frekvency Omni directional Range Station),
- transponder,
- GPS (Global Positioning System) in
- ILS (Instrument Landing Sistem).

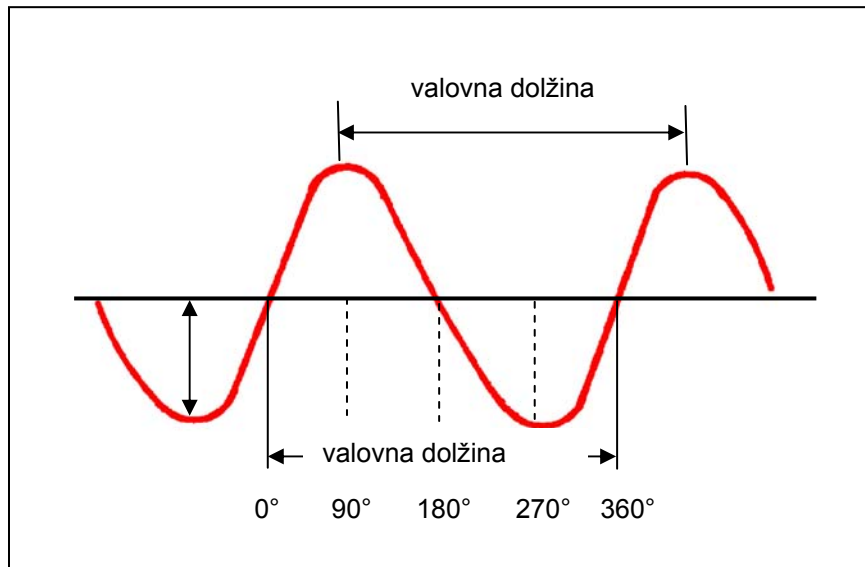
1.1.0 Radijski valovi in njihova karakteristike

Če na mirno vodno gladino vržemo kamen, se naredijo valovi, ki se širijo od mesta padca kamna v koncentričnih krogih na vse strani. Njihov velikost in dolžina valovanja sta odvisni od energije, s katero je kamen priletel v vodo. Zaradi odpora vodne mase valovi slabijo, dokler popolnoma ne izginejo.



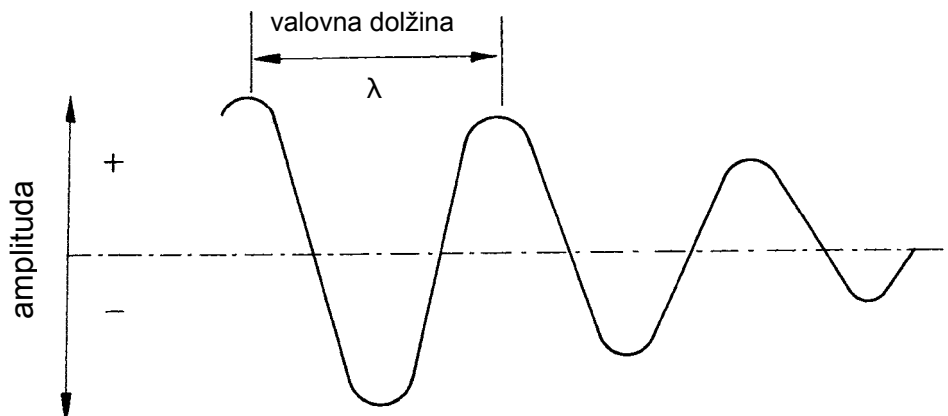
Slika 1: Valovanje

Valovanje ima svojo amplitudo, dolžino, hitrost gibanja in število oscilacij v časovni enoti.



Slika 2: Valovna dolžina in amplituda

Amplituda slabi z oddaljenostjo, valovna dolžina pa ostaja enaka.



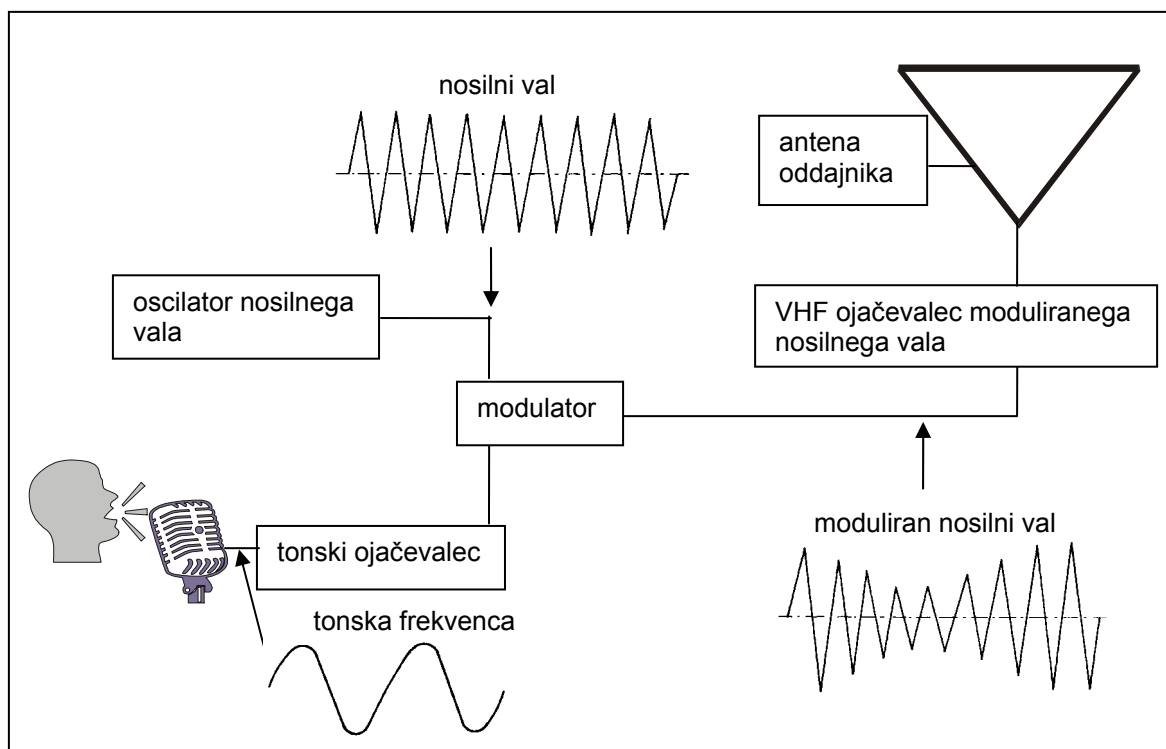
Slika 3: Zmanjševanje amplitude

- 1 Hz - ena oscilacija v sekundi
- 1 kHz -1000 Hz
- 1 mHz -1000 kHz

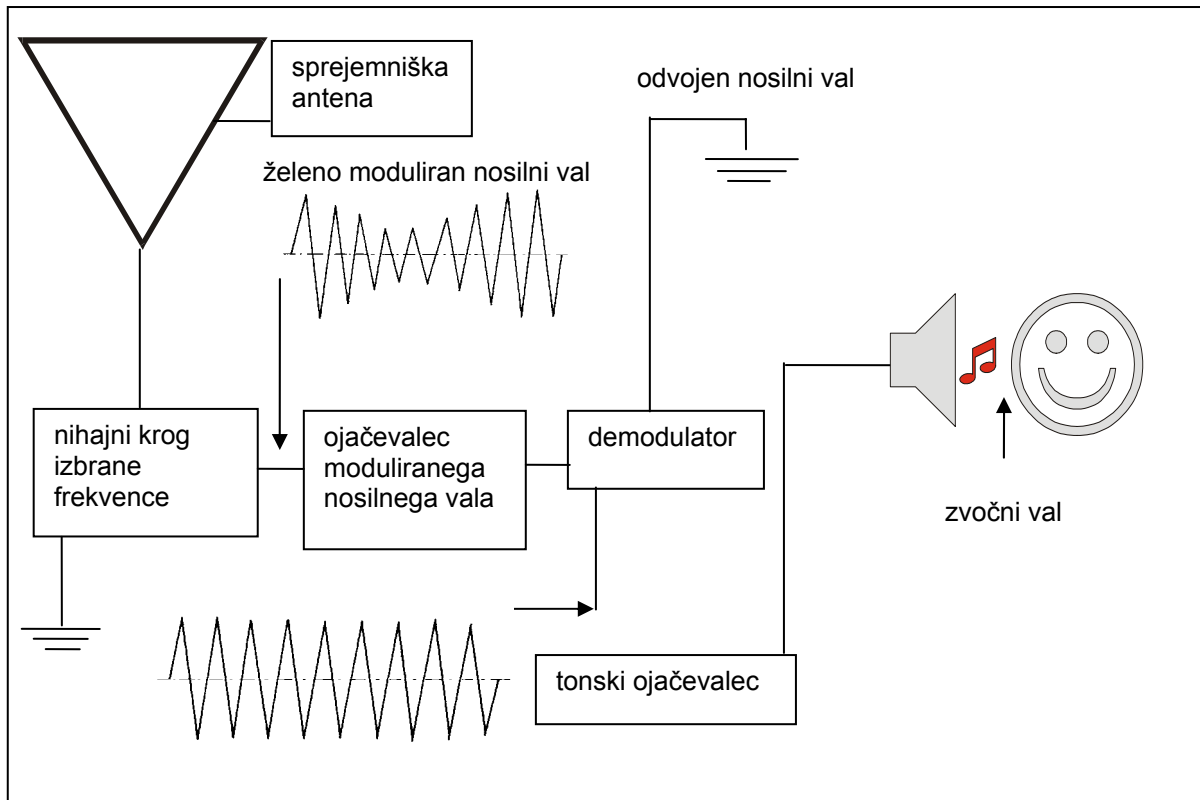
V radionavigaciji uporabljamo skoraj vsa valovna področja, zato jih je smiselno poznati.

Frekvenca	Oznaka	Frekventni obseg	Valovna dolžina	Oznaka	Valovni obseg	Uporaba
Nizke frekvence	LF	30 do 300 Khz	dolgi valovi	DV	10000 do 1000 m	goniometer, RK, DECA, CONSOL
Srednje frekvence	MF	300 do 3000 Khz	srednji valovi	SV	1000 do 100 m	goniometer, RK, LORAN, CONSOL
Visoke frekvence	HF	3000 do 30000 Khz	kratki valovi	KV	100 do 10 m	
Zelo visoke frekvence	VHF	30 Mhz do 300 Mhz	zelo kratki valovi	ZKV	10 do 1 m	VOR, localizer, markerji
Ultravisoke frekvence	UHF	300 do 3000 Mhz	ultrakratki valovi	UKV	10 dm do 1 dm	DME, GS, RADAR, TACAN
Supervisoke frekvence	SHF	3000 do 30000 Mhz	superkratki valovi	SKV	10 cm do 1 cm	MLS
Ekstremno visoke frekvence	EHF	30000 do 300000 Mhz	ekstremno kratki valovi	EKV	10 mm do 1 mm	

Tabela 1: Valovna področja



Slika 4: Prikaz delovanje radijskega oddajnika

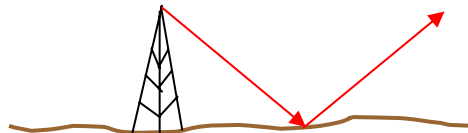


Slika 5: Princip delovanja radijskega sprejemnika

1.2.0 Lastnosti radijskih valov

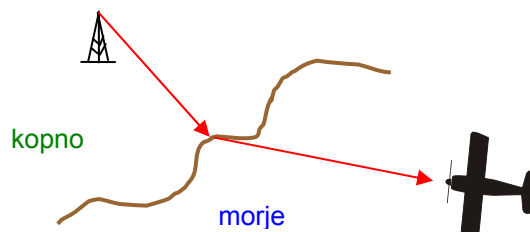
1.2.1 Refleksija

radijskih valov je sprememba smeri gibanja zaradi odboja od površine. Odboj radijskega vala nam prikazuje lažno sliko nove pozicije radijskega oddajnika.



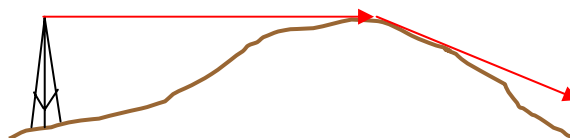
1.2.2 Refrakcija

(obalni efekt) je sprememba smeri gibanja radijskih valov zaradi spremembe sredine, skozi katero se gibljejo. Ta pojav je najbolj izrazit na meji med kopnim in morjem, zato ga imenujemo tudi obalni efekt.



1.2.3 Difrakcija

ali upogibanje radijskih valov je sposobnost radijskih valov, da se ob oviri upognejo in ji sledijo. Ta sposobnost omogoča, da radijske valove sprejemamo tudi za ovirani.

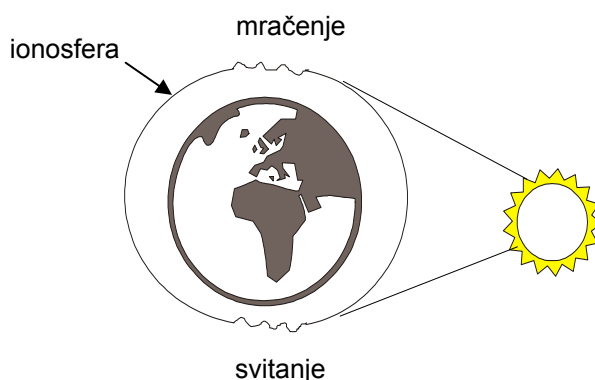


1.2.4 Absorbpcija

je zgubljanje energije radijskih valov, ki se gibljejo skozi različne medije. Radijski valovi se širijo po prostoru odvisno od frekvence. Čim višja je, tem bolj so podobni svetlobi. Značilnost kratkih in srednjih radijskih valov je, da se upogibajo po površini Zemlje, kar omogoča radionavigacijskim napravam, ki delujejo na nižjih frekvencah, večji domet. Del radijskih valov doseže povečani domet tako, da se odbije od ionosfere. Za vse radijske valove pa velja, da njihova jakost slabi z oddaljenostjo od oddajnika. Zaradi tega imamo pri večjih oddaljenostih od oddajnikov težave pri sporazumevanju s kontrolo letenja in točnost navigacijskih naprav ni zanesljiva.

1.2.5 Nočni efekt

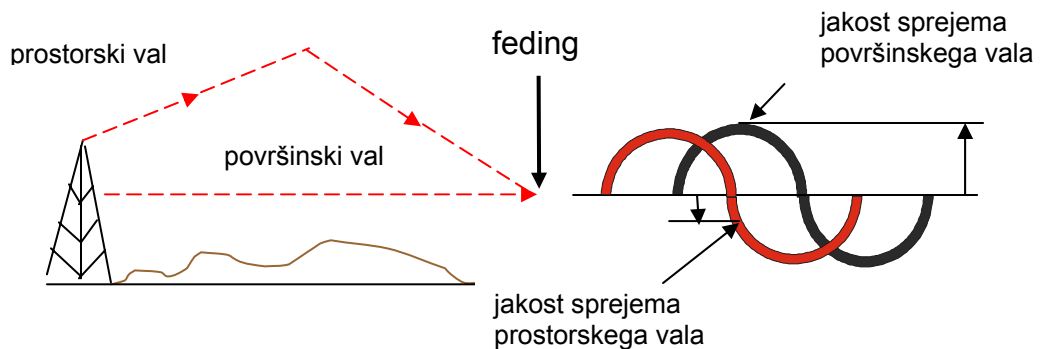
nastane zaradi deformacije ionosferske površine, ki ne deluje več kot ogledalo. Ionosfera ima svoje plime in oseke, odvisno od položaja sonca. Najbolj je izražen uro pred vzhodom in uro po zahodu sonca, kar povzroči otežen sprejem ter nezanesljivo uporabo goniometra in radiokompasa.



Ta pojav ne vpliva na dolge radijske valove, saj se ti širijo izpod ionosfere, in tudi ne na zelo kratke in ekstremno kratke radijske valove, saj se ti ne odbijajo od ionosfere.

1.2.6 Feding

je pojav, ki nastane, če prostorski in površinski radijski valovi istega izvora istočasno dosežejo sprejemnik, vendar s premaknjeno fazo. Posledica tega pojava je, da površinski val v določenih primerih oslabi, v nekaterih pa se jakost celo poveča.

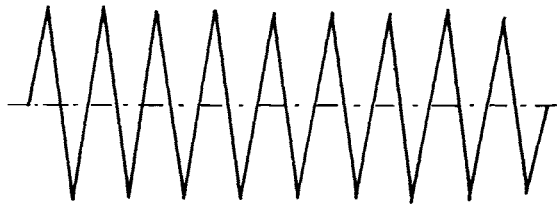


1.2.7 Atmosferske motnje

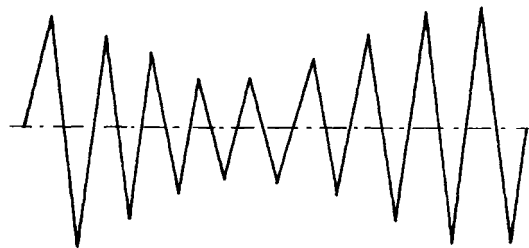
nastanejo zaradi spremembe meteoroloških elementov, kot so vlaga, temperatura in pritisk, ter meteoroloških pojavov v obliki front, močnih nevihtnih oblakov z veliko grmenja in bliskanja. Vse skupaj povzročajo motnje v sprejemu radijskih valov, včasih celo popolnoma prekinjen sprejem. Največji vpliv imajo na nizke frekvence, na visoke in zelo visoke pa je njihov vpliv manjši.

1.2.8 Modulacija radijskih valov

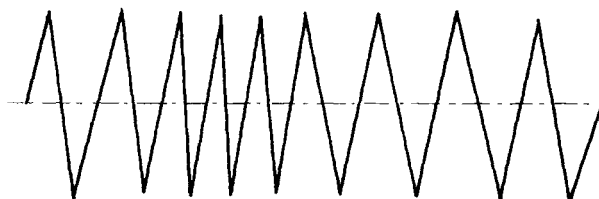
Če se amplituda in valovna dolžina ne spreminjata, nastane osnovni nosilni radijski val.



Pri amplitudni modulaciji se spreminja amplituda radijskega vala, frekvenca pa ostaja enaka.



Za frekvenčno moduliran radijski val je značilno, da je amplituda enaka, spreminja pa se frekvenca.



1.2.9 Tipi oddajanja radijskih valov

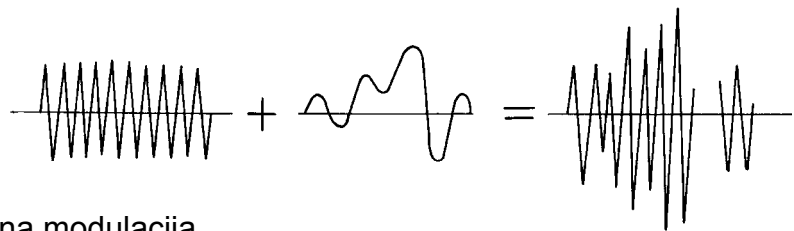
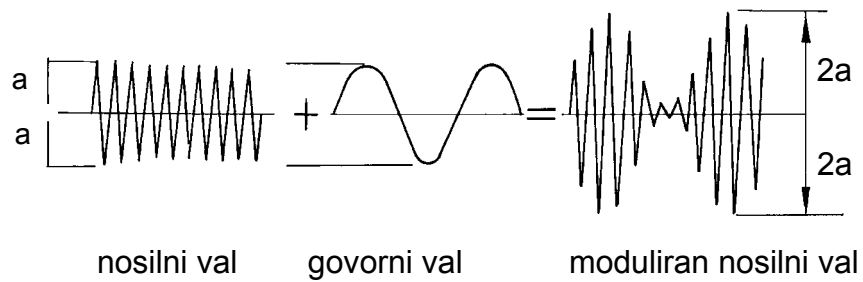
AO = nemoduliran nosilni val



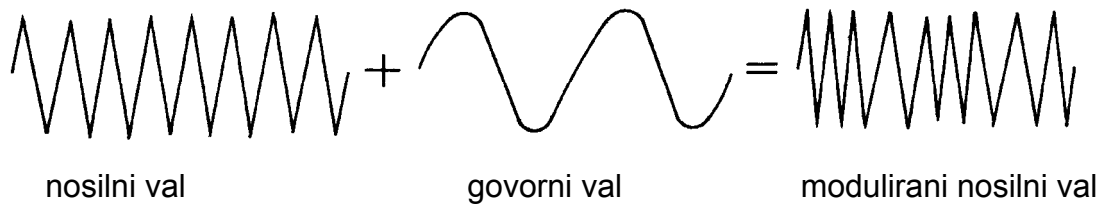
A1 = prekinjen nosilni val za določanje spoznavne kode (Morsejevi znaki)



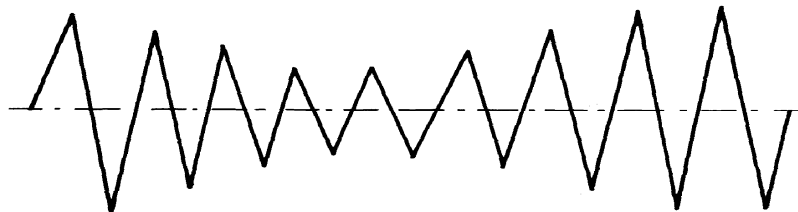
A2 = tonsko moduliran nosilni val
– amplitudna modulacija



– frekvenčna modulacija



A3 = nosilni val se pri pogovoru skozi amplitudno modulacijo raztegne



Metode radijske navigacije

2.0 Goniometer

je zemeljski oddajnik z usmerjenim sprejemom, ki omogoča, da določimo smer, od koder prihajajo elektromagnetni valovi. Deluje lahko na vseh valovnih dolžinah, vendar pa novejši delujejo na področju VHF, saj radijske postaje v zrakoplovih delujejo na tem valovnem področju. Sprejem goniometra je možen na razdalji od 150 do 300 km in je zaradi lastnosti širjenja radijskih valov odvisen od višine leta.

Glavne značilnosti uporabe goniometra so:

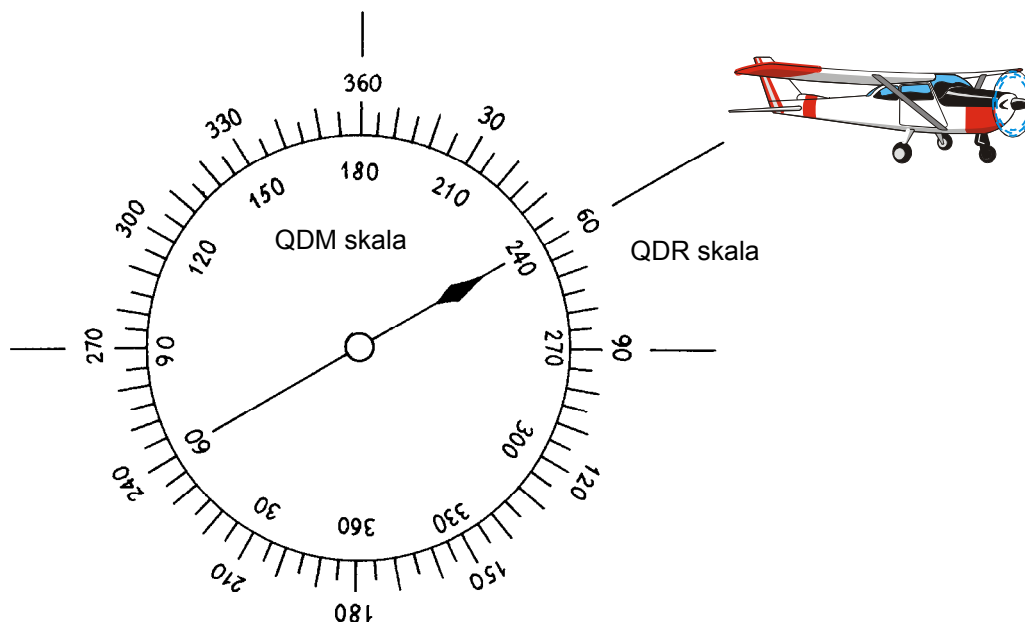
- točnost goniometra je $\pm 2^\circ$ do 5° ;
- pozicijo zrakoplova je možno določiti z dvema goniometroma v nekaj minutah, samo smer pa v pol minute;
- pogoj je dobra radijska zveza med goniometrom in zrakoplovom, in sicer po predpisani proceduri za komunikacijo;

Goniometer je v začetku deloval v radiotelegrafiji, in sicer z Morsejevimi znaki, kasneje pa so uvedli kode »Q«, ki so se obdržale do danes, čeprav goniometra skoraj ne uporabljamo več.

V radionavigaciji najpogosteje uporabljamo naslednje kode:

- **QDM** - magnetni kurz, v katerem je treba leteti do goniometra,
- **QDR** - magnetni kurz od goniometra do zrakoplova,
- **QTE** - pravi kurz od goniometra do zrakoplova,
- **QTF** - pozicija zrakoplova, odrejena z dvema ali več goniometri,
- **QFG** - moment preleta goniometra.

2.1.0 Določanje smeri QDM in QDR



Slika 6: Smer QDM in QDR

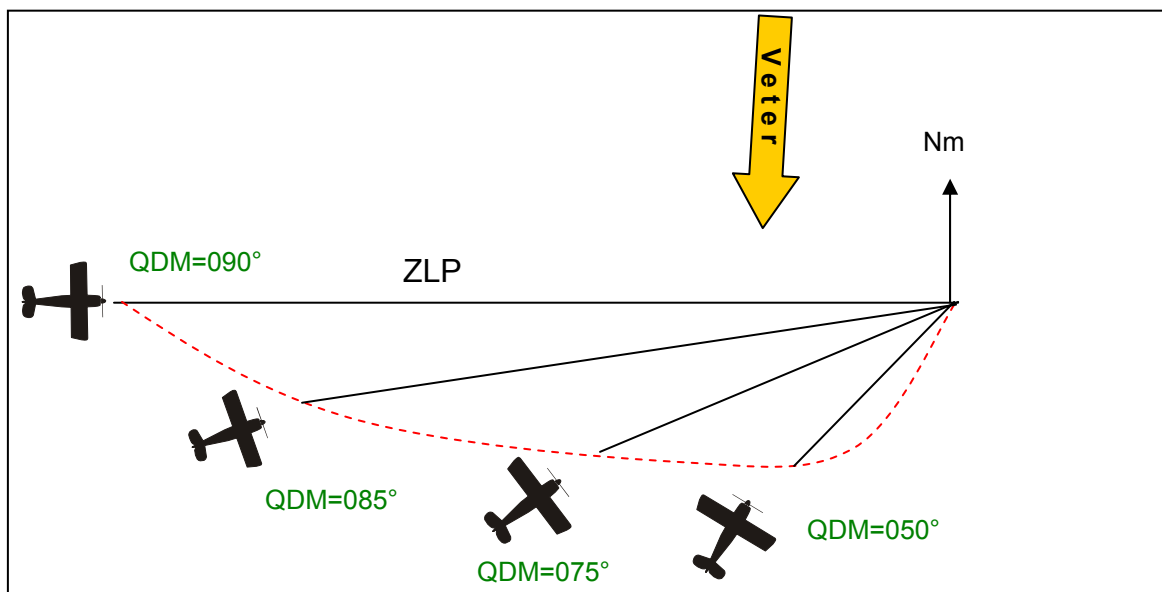
Ko radijski signal pride v goniometer, se igla obrne v smer prihajajočih radijskih valov tako, da operater takoj odčita QDM oziroma QDR in ga sporoči pilotu. Na sliki številki 6 se vrh kazalke ustavi na številki 240, kar avtomatično pomeni smer QDM, medtem ko se njen rep ustavi na 60 notranje skale indikatorja, kar pomeni smer QDR. Za radionavigacijo s pomočjo goniometra je potrebna dobra radijska zveza med zrakoplovom in goniometristom. Če je ni, je radionavigacija zelo otežena. Pozicijo zrakoplova lahko določimo z dvema goniometriroma.

2.2.0 Letenje s pomočjo goniometra

2.2.1 Pasivni let

Pilot lahko pripelje zrakoplov na cilj po dveh metodah. Pasivni let na goniometer je metoda letenja, ko pilot vzdržuje MK enak QDM vse do nadleta goniometra. S slike je razvidno, da se zaradi bočnega vetra MK in QDM stalno spreminjata. Za to let ni v ravni liniji, ampak v krivulji. Če uporabljamo takšno metodo, menjamo kurz v odvisnosti od dobljenega QDM, pri čemer upoštevamo pravilo:

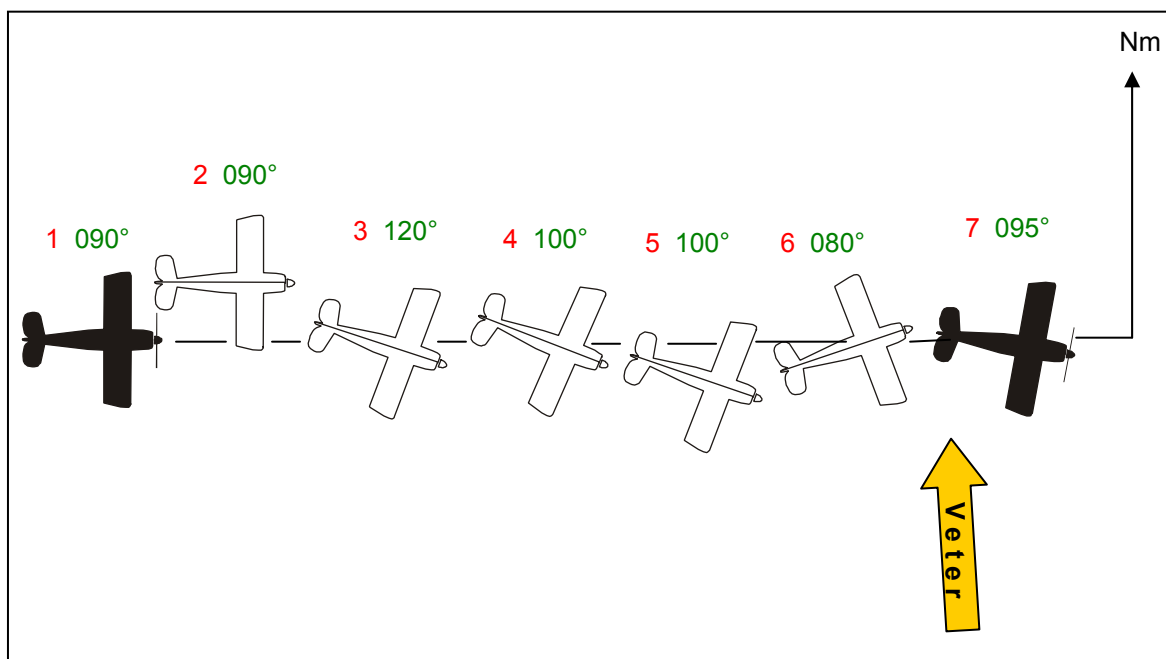
- **večji QDM** od zahtevanega, **večji kurz**,
- **manjši QDM** od zahtevanega, **manjši kurz** ali pa
- kakršen QDM, takšen kurz.



Slika 7: Pasivni let

2.2.2 Aktivni let

Aktivni let na goniometer pomeni, da zrakoplov pilotiramo po zahtevani liniji poti tako, da imamo stalni QDM. Linija leta ni več krivulja, ampak ravna črta, ki nam omogoča, da pridemo do cilja po najkrajši poti. Pri tej metodi je najteže določiti kot popravka, s katerim zadržujemo zrakoplov na zahtevani liniji poti.



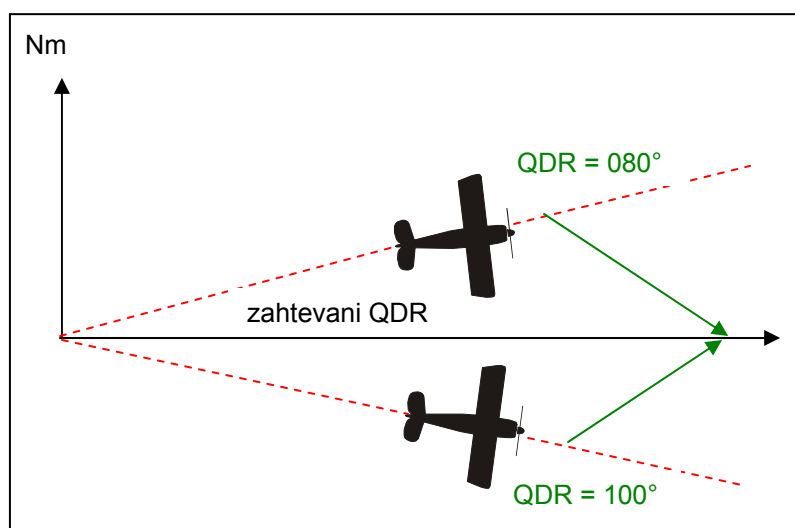
Slika 8: Aktivni let

1. Zrakoplov leti v kurzu 090°, ki je istočasno tudi zahtevani QDM.
2. Veter, ki piha z desne, zanese zrakoplov na levo stran zahtevanega QDM.
3. Po pravilu večji QDM, večji kurz pilot vrača zrakoplov na zahtevani QDM tako, da poveča kurz za 030°. Novi MK je 120°.
4. Na zahtevanem QDM pilot zmanjša MK, ki je 100°.
5. Popravek 010° pa je za jakost vetra prevelik, zato se zrakoplov znajde na desni strani zahtevanega QDM.
6. Da bi pilot »ujel« zahtevani QDM, izbere prehodni kurz, ki je 080°. V njem vztraja do zahtevanega QDM. Novi MK je 095°.

Iskanje kota zanosa, ki omogoča pilotu letenje po zahtevanem QDM, traja, dokler pilot ne določi točnega popravka.

2.3.0 Let zrakoplova od goniometra

Metoda s pomočjo QDR poteka samo aktivno. Ko ni vetra, je QDR enak MK. Kadar pa veter zanaša zrakoplov desno ali levo od zahtevanega QDR, upoštevamo pravilo, kadar je QDR večji, je kurz manjši in obratno.



Slika 9: Let zrakoplova od goniometra

3.0 Radiokompas

Radiokompas je avtomatski goniometer. Sestavljata ga:

A	- Avtomatic			- N	- Non
D	- Direction	in		- D	- Directional
F	- Finder			- B	- Beacon

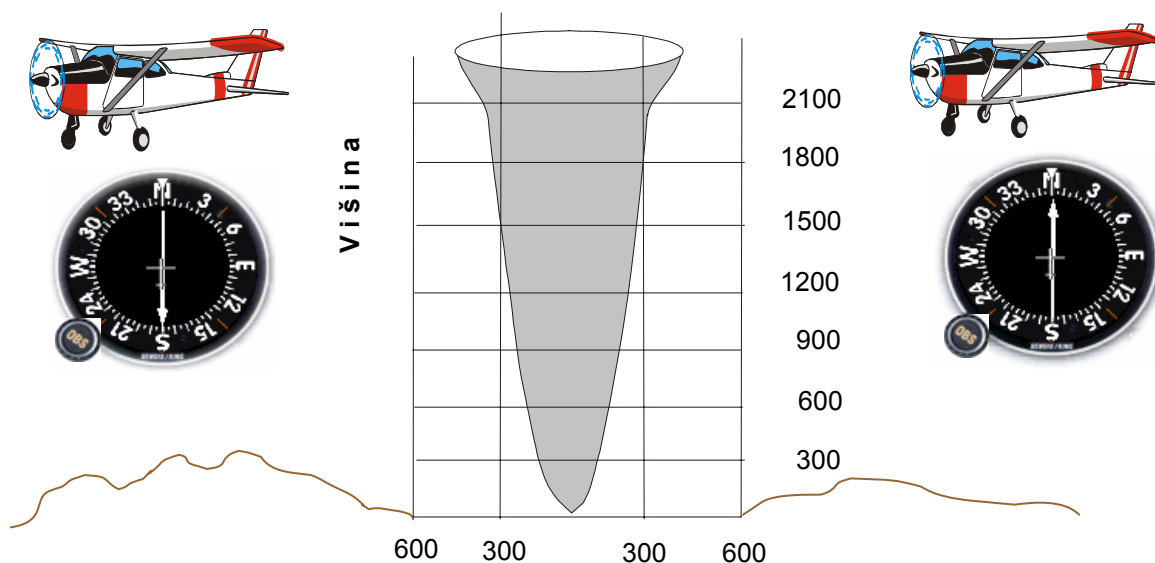
ADF je z antenskim sistemom nameščen v zrakoplovu in avtomatsko določa smer prihajajočih radijskih valov, torej imamo trenutne podatke o QDM in QDR. NDB je neusmerjeni radijski oddajnik na zemlji. Pri ADF se moramo seznaniti še s stranskim kotom radijske postaje (**RB** – Relativ Bearing), to je kot med vzdolžno osjo zrakoplova in smerjo prihajajočih radijskih valov.

Frekventno območje ADF je od 100 do 1750 Khz. Najpogosteje deluje med 200 in 410 Khz.

Točnost ADF je v idealnih pogojih $\pm 2^\circ$, v izjemnih pa kaže pomanjkljivosti, kot na primer:

- nevihtni efekt, ki je izražen ob močnih nevihtah, ko se igla ADF usmeri v nevihtni oblak in pilotu lažno prikazuje NDB - ta napaka je lahko tudi do 180° ;
- nočni efekt je izražen v jutranjih in večernih urah, ko se ionosfera zniža in se odbiti radijski valovi vračajo na Zemljo, kjer se ponovno odbijejo in ustvarjajo lažno pozicijo NDB - velikost te napake je lahko tudi do 90° ;
- planinski efekt nastane, ko se radijski valovi odbijajo od hribov in ustvarjajo lažno pozicijo NDB - velikost te napake je do 10° . Tej nevšečnosti se piloti izognejo s povečanjem višine leta;
- obalni efekt se pojavi ob obali zaradi razlike gostote zraka na morju in kopnem.

Nad anteno NDB se pojavi »konus tišine«, v katerem je igla ADF zelo nezanesljiva. Konus ima obliko narobe obrnjenega stožca. Ko preletimo stožec tišine, se igla ADF obrne v nasprotno smer.



Slika 10: Konus tišine