

UVODNA RAZMATRANJA

1.1. POJMOVI I DEFINICIJE

SISTEM ZA UPRAVLJANJE VATROM (SUV) čini funkcionalno povezani skup **UREĐAJA, MERNE OPREME** i **PROCEDURA** vezanih zavisnostima mehanike i matematike koji obezbeđuju uspešno gađanje ciljeva iz odgovarajućih oruđa. **Sistem upravljanja vatrom služi za postavljanje oruđa u odnosu na gađani cilj u poziciju koja obezbeđuje susret projektila i cilja, bez obzira da li je cilj pokretan ili nepokretan, da li je projektil nevođen ili vođen i bez obzira da li se gađa iz mesta (sa fiksnog vatrenog položaja) ili iz pokreta, sa samohodnog oruđa (borbene platforme).**

1.2. INTEGRISANOST SAVREMENIH SISTEMA UPRAVLJANJA VATROM

Kada je u pitanju automatizacija procedura SUV-a, važno je napomenuti da savremeno naoružanje i vojna oprema (NVO) najčešće imaju tehnološke zamisli i rešenja prilagođena taktičko-tehničkim zahtevima korisnika, u skladu sa navedenim osobinama i stepenom integrisanosti vojne organizacije i tehnologije, funkcije i upotrebe NVO. Step en automatskog upravljanja funkcijama oružja (oruđa), municije, njenih korisnih tereta (bojevih glava) i željenog efekta na cilju nije uvek ni korisno ni poželjno visoko automatizovati, niti dovesti u stanje potpune odgovornosti čoveka za svaku podoperaciju. Ipak, tehnološki razvoj automatske kontrole i upravljanja obezbedio je, praktično, paralelan razvoj i unapređenje i funkcija municije (letnih funkcija i funkcija na cilju), kao i funkcija oruđa, funkcija kretanja i zauzimanja geografskog i vazdušnog prostora (borbenih platformi), sa visokim stepenom samostalnosti i automatizacije.

U tom smislu, može se kao pojam navesti SAUV, (sistem automatskog upravljanja vatrom), koji predstavlja noviji i budući oblik organizacije taktike gađanja savremenim sistemima NVO (naoružanje vojne opreme).

Klasifikacija SAU kod naoružanja može se izvršiti podelom u tri osnovne grupe:

- sistemi za automatsko upravljanje vatrom;
- sistemi za automatsko upravljanje letom ili sistemi za upravljanje i vođenje, i
- kombinovani sistemi za upravljanje.

U najužem smislu reči, sistemi za upravljanje vatrom određuju najpovoljniji smer i trenutak ispaljivanja (lansiranja) projektila. Namenjeni su, najvećim delom, za usmeravanje cevi topova ili lansera raketa po poziciji ili brzini kretanja (leta) cilja da bi se ostvario susret projektila sa ciljem. Nakon ispaljivanja projektila, SAUV nema uticaj na projektil, ali može vršiti njegovo praćenje i u skladu sa tim učestvovati u korigovanju elemenata sledećeg opalenja. Funkcija uticaja SAUV na let projektila prestaje u trenutku ispaljivanja (lansiranja) projektila, što ne znači da se gađanje ne može sprežati po željenoj taktici sa više istorodnih ili raznorodnih oruđa u realnom vremenu u toku gađanja. Ovu grupu čine SAUV artiljerijskih oruđa (topova) za protivvazдушnu odbranu, brodskih i tenkovskih topova i oruđa za vatrenu podršku. To su sistemi koji uvek imaju neki osnovni senzor (laser i/ili radar), niz drugih senzora za balističke parametre i meteorološke elemente, računar i izvršne organe. Ova vrsta SAU ima dosta zajedničkog sa SAU opšte namene, kao što su sistemi na drugim mašinama.

1.3. TIPOVI I KOMPONENTE SISTEMA UPRAVLJANJA VATROM

Kao što je navedeno, sistem za upravljanje vatrom koristi različita sredstva savremenih tehnologija zasnovanih, pre svega, na digitalnoj i optičkoj elektronici, radarskoj i radiotehnologiji, kao i drugim savremenim tehnologijama. Tu spadaju optoelektronski uređaji (senzori različitih

vrsta, kao što su laserski merači daljine, noćni aktivni i pasivni IC i CCD uređaji, televizija i termovizija), radarski uređaji, a spregnuti sa veoma preciznim servosistemima za stabilizaciju, pokretanje i upravljanje oruđem i municijom.

Prema načinu gađanja i nameni, sistemi za upravljanje vatrom se mogu svrstati u tri grupe:

A) Sistemi za POSREDNA gađanja za potrebe zemaljske artiljerije i taktičke, operativne i strategijske balističke artiljerije, kao i pomorske-brodske artiljerije;

B) Sistemi za NEPOSREDNA gađanja za potrebe protivoklopne, brodske i protivavionske artiljerije;

C) Sistemi za POLUPOSEDNA gađanja;

D) Sistemi teritorijalne i trupne raketne protivvazduhoplovne odbrane.

Prema koncepciji izvođenja, sistemi za upravljanje vatrom se mogu svrstati u dve grupe:

- **NEINTEGRISANE,**
- **INTEGRISANE.**

Posebnu grupu čine sistemi na vazduhoplovnim platformama, borbenim avionima i helikopterima, koji spadaju u visoko integrisane sisteme i o kojima neće biti reči u ovom materijalu, pošto su koncepcijski vezani sa pitanjima mehanike i taktike leta vazduhoplovne borbene platforme.

Neintegrisani sistemi za upravljanje vatrom su oni kod kojih izvršenje borbenih zadataka uslovljava da elementi sistema budu odvojeno locirani, kao što je slučaj u zemaljskoj i obalskoj artiljeriji, za posredno gađanje, kao i kod protivvazdušne odbrane većeg dometa i u brodskoj raketnoj i klasičnoj artiljeriji. Ovde spadaju i balistički vođeni raketni sistemi.

Integrisani sistemi za upravljanje vatrom su oni kod kojih su svi, ili najveći deo elemenata sistema, na borbenoj platformi, kao što je to slučaj u oklopnoj, protivavionskoj, brodskoj, protivoklopnoj artiljeriji, kao i na helikopterima i vazduhoplovima.

Sastav pojedinog SUV-a zavisi od vrste sredstava, tipa i stepena automatizacije. Prema funkciji koju vrše u sistemu, komponente koje služe formiranju SUV-a mogu se podeliti u tri osnovne grupe:

- komponente za prikupljanje informacija i merenje parametara - **senzori**;
- komponente za obradu informacija - **računari**, i
- komponente za prenos i realizovanje ili materijalizaciju obrađenih informacija na objektu upravljanja - **izvršni organi**.

7 postoje različiti senzori za pravovremeno otkrivanje, akviziciju, identifikaciju, praćenje ciljeva u vazdušnom prostoru i merenje koordinata. U novije vreme ova grupa senzora se vrlo intenzivno razvija, usavršava i primenjuje skoro u svim vrstama SUV-a.

Druga grupa senzora namenjena je za merenje svih parametara koji utiču na izračunavanje elemenata za gađanje nepokretnih ciljeva, a naročito pokretnih ciljeva.

Tu spadaju razni senzori za merenje:

- uglovnih brzina cilja,
- brzine i smera vetra,
- temperature vazduha,
- pritiska vazduha,
- pada početne brzine,
- temperature baruta,
- nagiba terena, i dr.

Prva grupa senzora za otkrivanje, akviziciju, identifikaciju, praćenje pokretnih ciljeva i merenje koordinata može se podeliti na **AKTIVNE** i **PASIVNE** senzore.

Pasivni senzori diskretno prate cilj. Oni se dele na nišanske sprave, instrumente za dnevna i noćna osmatranja, TV i termalne, odnosno IC, kamere. Ovi senzori rade na principu detekcije energije koju emituje cilj.

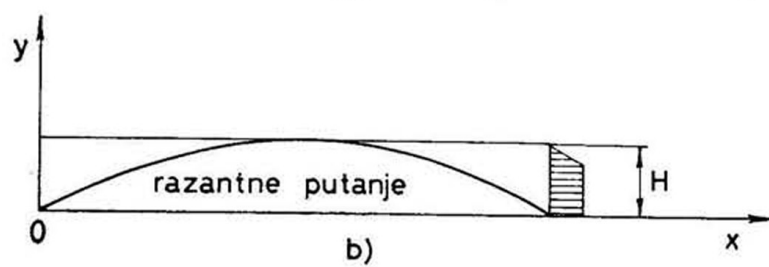
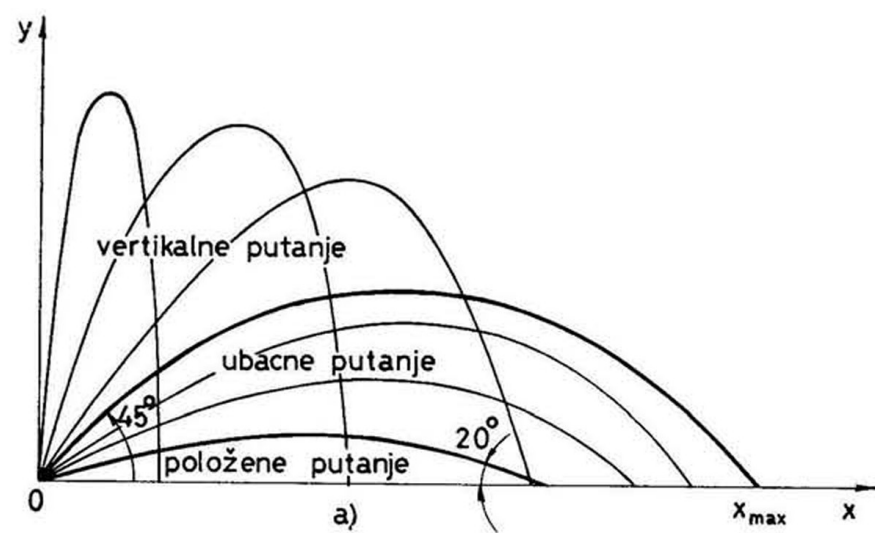
Aktivni senzori rade na principu reflektovane energije ozračenog objekta, na osnovu čega se dobija informacija o položaju ili udaljenosti senzora od cilja. Aktivne senzore čine radari

(osmatrački i nišanski) i laserski daljinomeri. Ovi senzori predstavljaju izvore zračenja, te mogu biti otkriveni i ometani.

Komponenta svakog SUV-a obavezno je računar, koji vrši obradu informacija odnosno izračunavanje elemenata potrebnih za gađanje ciljeva. Izračunati podaci se prenose na izvršne organe koji objekte upravljanja (lansirna rampa, cev topa i dr.) usmeravaju i pozicioniraju određenom brzinom reagovanja, tako da se omogući izvršenje gađanja uz što veću verovatnoću pogotka cilja. Broj parametara za proračun koordinata položaja cilja najčešće je promenljiva veličina, ukoliko se radi o pokretnim ciljevima. Parametri se kontinualno uvode iz senzora preko procesora u računar, pomoću koga se kontinualno izračunavaju elementi gađanja i dinamički prenose na upravljanje izvršnim organima oruđa ili oružja. Time se vreme reagovanja sistema svodi na minimum, što je ujedno i glavni zadatak automatizacije savremenih sistema upravljanja vatrom.

Glavni uređaji koji su sastavni deo oruđa ili borbene platforme, ili su pak razmešteni na druge platforme u reonu vatrenog položaja, a čine sastavni deo sistema za upravljanje vatrom, su:

1. Uređaji za postavljanje linije gađanja u odgovarajuću poziciju prema gađanom cilju, odnosno uređaji za pokretanje i upravljanje oruđem,
2. Uređaji za nišanje,
3. Uređaji za određivanje nagiba oruđa,
4. Uređaji za stabilizaciju, ukoliko se zahteva gađanje iz pokreta,
5. Uređaji za osmatranje cilja,
6. Uređaji za merenje daljine cilja ili koordinata cilja,
7. Računar,
8. Meteorološki merni uređaji,
9. Merni uređaj za merenje temperature baruta,
10. Merni uređaj za merenje početne brzine projektila,
11. Merni uređaj za određivanje pravca gađanja,
12. Uređaj za prenos podataka,
13. Uređaj za prikazivanje podataka,
14. Sredstva za vezu i komandovanje.



8.6. OSNOVNI ZAHTEVI U PROJEKTOVANJU LINEARNO UPRAVLJANE PLATFORME ZA PRAĆENJE CILJEVA

Sistemi automatskog ili poluautomatskog praćenja izabranog cilja daju sistemu upravljanja vatrom informacije o položaju i drugim parametrima cilja koji su neophodni za formiranje komande upravljanja servo uređajem na koji je smešten senzorski ili nišansko-senzorski sistem. Platforma može biti integrisana kao platforma za smeštaj oruđa (oružja), ili samo senzorska osmatračka platforma koja služi za navođenje i predaju informacija borbenim platformama sa oruđem (oružjem). Platforma se najčešće koristi u kombinaciji osmatračko-nišanskih senzora sa oruđem, ili razdvojeno, gde su osmatrački i nišanski senzori na dve spregnute platforme sa oruđnom platformom. Platforma može biti smeštena i na sam projektil, odnosno borbeno vozilo, plovilo ili letelicu, na koju je smešteno oruđe (oružje). U bilo kom slučaju, opšti princip stabilizacije ugla viziranja cilja po elevaciji (mesnom uglu cilja) σ važi kao generalni zahtev, bez obzira gde je smešten podsistem za praćenje cilja.

Zadatak koji treba da izvrši sistem za praćenje cilja je poklapanje referentne ose sistema, tj. ose koja je određena kao analogna veličina "električne nule", sa linijom viziranja cilja ili nišanskom linijom. Najčešće se koriste dve principijelno identične petlje servo sistema, i to:

- Blok sa povratnom spregom za praćenje cilja po pravcu (azimutu) i
- Blok sa povratnom spregom za praćenje cilja po visini (elevaciji).

Obično se formiraju dva tipa signala sa različitim znakom, i to: jedan za komandu gore-dole, i jedan za komande levo-desno. Signali su srazmerni ugaonom odstupanju linije viziranja cilja od ose definisane baždarenjem električnog sistema u odnosu na signal nulte vrednosti (električna nula sistema). Pomoću detektora ugaone greške praćenja cilja, radarskim senzorom ili optičkim senzorom, dobijaju se podaci o potrebnim signalima upravljanja.

Kod radarskog sistema za praćenje cilja, sistem daje, pored ugaone greške, i informacije o rastojanju cilja ili radialnoj brzini cilja. Na slici 8.4. prikazana je opšta petlja upravljanja, po pravcu ili po visini, koja se može koristiti kod servo upravljanih senzorskih i borbenih platformi.

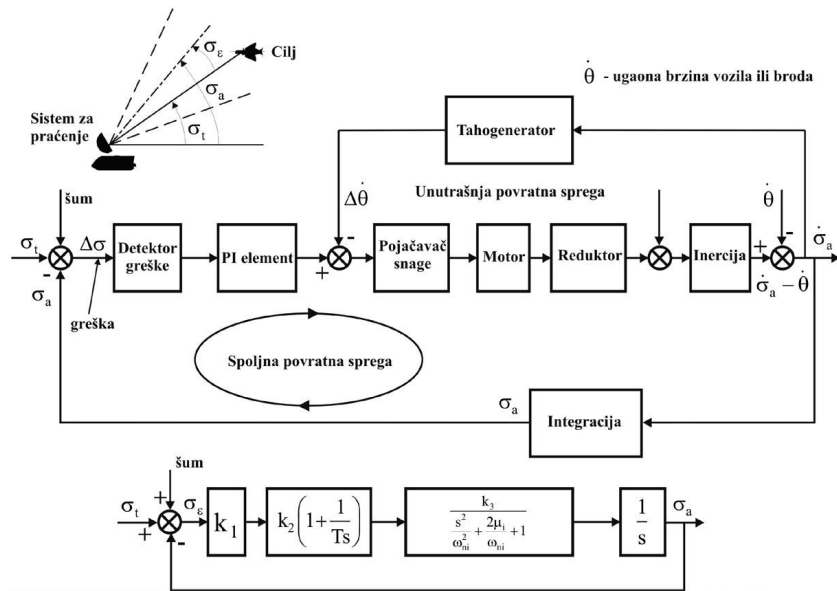
Osnovni delovi servosistema su:

- detektor ugaone greške, koji proizvodi signal srazmeran odstupanju linije viziranja cilja od ose električne nule (ose antene kod radarskog sistema ili optičke ose) $\Delta\sigma = \sigma_t - \sigma_a$; detektor je linearni elektromehanički element i njegova prenosna funkcija u petlji upravljanja predstavlja se konstantnim pojačanjem $k_1 [V/rad]$;
- proporcionalno integralni pojačavač, čija prenosna funkcija u petlji upravljanja iznosi:

$$W_{pi} = k_2 \left(1 + \frac{1}{Ts} \right); \quad (8.22)$$

- pojačavač snage;
- električni ili hidraulični servo motor;
- reduktor ugaone brzine;

tahogenerator (ili brzinski žiroskop, ukoliko je sistem na projektilu), koji proizvodi signal srazmeran ugaonoj brzini senzora $\dot{\sigma}_a$.



Slika 8.4.

Ugaona brzina borbene platforme označena je sa $\dot{\theta}$, bez obzira da li se radi o kretanju po neravnom terenu, ljuljanju broda, kretanju letelice ili putanji samog projektila sa platformom. Tahogenerator ili brzinski žiroskop će proizvesti signal srazmeran relativnoj ugaonoj brzini senzora u odnosu na pokretnu platformu, u obliku greške:

$$\Delta\dot{\theta} = \dot{\sigma}_a - \dot{\theta} \quad (8.23)$$

Ako je prenosna funkcija otvorenog kola $K'G'(s)$, gde je K' faktor pojačanja otvorenog kola, onda se, za linearno upravljanje, na osnovu blok dijagrama (slika 8.5.) može formirati prenosna funkcija stabilizacije po ugaonim brzinama u obliku:

$$\frac{\dot{\sigma}_a(s)}{\dot{\theta}} = \frac{1}{1 + K'G'(s)} \quad (8.24)$$

Pri nižim frekvencijama $G'(s) \rightarrow 1$ (pošto $\omega \rightarrow 0$), dok pri visokim frekvencijama $G'(s) \rightarrow 0$ (pošto $\omega \rightarrow \infty$).

Kada faktor pojačanja K' ima visoku vrednost, (veću od 100), uticaj kretanja platforme na ugaono kretanje senzora je relativno mali.

Ako se analizira prenosna funkcija zatvorenog kola servo sistema, onda se u blok dijagramu mogu uočiti sledeće petlje:

- Unutrašnje kolo servo sistema čija povratna sprega, po ugaonoj brzini, može biti definisana parametrima:
 - a) faktora pojačanja $K_3 [\text{rad/s/V}]$;
 - b) prirodne neprigušene frekvencije ω_{ni} ;
 - c) faktora relativnog prigušenja μ_i .

Integralni element u petlji služi da se, na bazi ugaone brzine senzora, dobije vrednost ugaone pozicije, i ima prenosnu funkciju oblika $W(s) = 1/s$.

Ukupna prenosna funkcija zatvorenog kola data je, onda, izrazom:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_t} = \frac{G(s)}{1 + G(s)}, \quad (8.25)$$

gde je prenosna funkcija otvorenog kola

$$G(s) = k_1 k_2 \frac{Ts + 1}{Ts} \frac{k_3}{\frac{s^2}{\omega_{ni}^2} + \frac{2\mu_i}{\omega_{ni}} + 1} \frac{1}{s}, \quad (8.26)$$

pa je završni izraz za upravljanje po uglu $(\sigma_a/\sigma_t)(s)$ dat u obliku:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_t} = \frac{Ts + 1}{\frac{s^4}{c^2 \omega_{n0}^4} + \frac{2\mu_0}{c \omega_{n0}^2} s^3 + \frac{s^2}{\omega_{n0}^2} + Ts + 1}. \quad (8.27)$$

U gore navedenoj principijelnoj jednačini linearnog upravljanja za prenosnu funkciju upravljanja po uglu elevacije stabilisanog senzora, na nekoj pokretnoj platformi, mogu se konstatovati sledeće karakteristične integrisane konstruktivne veličine:

- prirodna neprigušena frekvencija $\omega_{n0}^2 = \frac{k_1 k_2 k_3}{T} = K$
- odnos prigušene i neprigušene frekvencije $c = \frac{\omega_{ni}}{\omega_{n0}}$,
- period oscilovanja sa zadatim prigušenjem $T = \frac{2\mu_0}{\omega_{n0}}$,
- koeficijent prigušenja $\mu_0 = \frac{\sqrt{T k_1 k_2 k_3}}{2}$.

Koeficijenti uz **kompleksnu promenljivu** s , u brojiocu i imeniocu, su međusobno jednaki. Može se pokazati da konstantno ugaono ubrzanje linije viziranja cilja ($\alpha = \ddot{\sigma}_t$) stvara grešku u stacionarnom stanju datu izrazom:

$$\sigma_\varepsilon = \frac{\ddot{\sigma}_t}{K} = \frac{\alpha}{\omega_{n0}^2}. \quad (8.28)$$

Greška praćenja po uglu je, dakle, obrnuto srazmerna kvadratu prirodne neprigušene frekvencije, ω_{n0}^2 .

U stacionarnom stanju važi izraz:

$$\ddot{\sigma} = \alpha. \quad (8.29)$$

Navedeni osnovi samo su princip na kome se može graditi idejno rešenje stabilizacije senzorske platforme. Modeliranje kretanja obrtne mase sa dva stepena slobode (po elevaciji i po pravcu) u integrisane inercijalno frekventne karakteristike, i izbor pogona, prenosnika, davača i najbolje regulacije, poseban je zadatak linearnog i nelinearnog automatskog upravljanja, koji predstavlja posebnu, složenu oblast koja se integriše u ukupne zahteve konstrukcija oružja, nišansko-borbenog i komandnog sistema sa sistemom upravljanja vatrom. Zbog toga ovde neće biti detaljnije razmatrani.

9. OSNOVNI PRINCIPI SENZORSKE OPREME ZA PRAĆENJE I ODREĐIVANJE KOORDINATA CILJA

9.1. UVODNA RAZMATRANJA I DEFINICIJE

Merenje položaja cilja pomoću senzora najčešće se obavlja sledećim osnovnim tipovima senzorskih uređaja:

- osmatrački i nišanski radari,
- termovizijske i televizijske kamere
- laserski daljinomeri
- akustički senzori.

Nišanski i osmatrački radari, u najširem smislu, rade na principu radiolokacije.

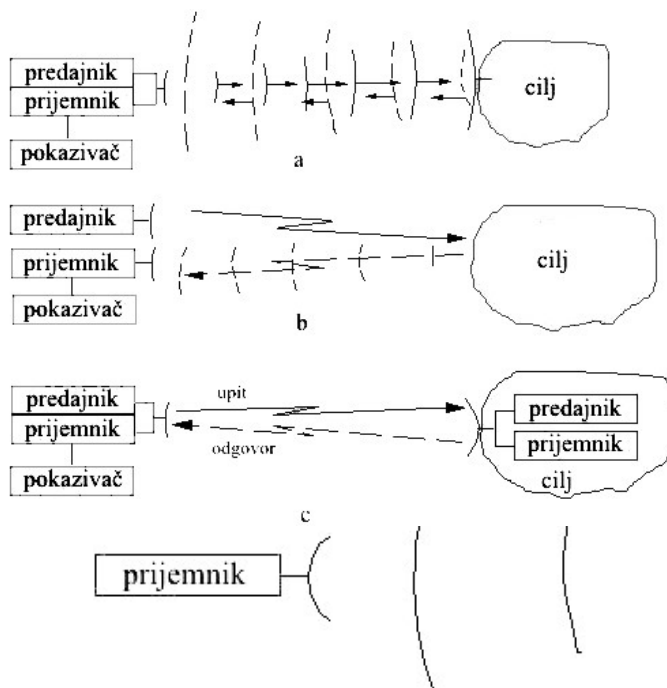
Radiolokacija predstavlja određivanje prostornih koordinata i parametara cilja na rastojanju, od jedne do druge tačke, pomoću elektromagnetskih talasa. U radiolokaciji su nosioci informacije o cilju elektromagnetski talasi koji se prostiru od željene tačke cilja ka radarskom prijemniku. Zavisno od načina nastanka elektromagnetskih talasa, radiolokacija se principijelno može podeliti na sledeće tipove:

a - **Aktivna radiolokacija** (Slika 9.1.a) koristi za otkrivanje cilja reflektovane signale od osvetljenog objekta. Aktivni radiolokacioni uređaj, preko svog antenskog predajnika, zrači "osvetljavajući signal", prema cilju. Refleksija talasa sa osvetljenog cilja vrši se u svim pravcima, ali ne istim intenzitetom. Deo reflektovanog signala prima prijemnik aktivnog uređaja u kojem se vrši obrada i prikaz signala. Kod aktivne radiolokacije osvetljavanje i prijem vrše se uvek iz istog pravca.

b - **Poluaktivna radiolokacija** (Slika 9.1.b) koristi za otkrivanje cilja reflektovane signale od njegovog osvetljavanja predajnikom, koji se ne nalazi na istom mestu (položaju) kao prijemnik.

Oba principa suštinski su jednaka, s tom razlikom da se kod poluaktivne radiolokacije koristi jedan predajni osvetljavajući signal, a reflektovani signal se prima od više prijemnika, već zavisno od njihove svrhe i položaja.

c - **Pasivna radiolokacija** (Slika 9.2.) ne koristi predajni osvetljavajući signal već koristi sopstveno elektromagnetsko zračenje cilja. Pri tome elektromagnetska zračenja cilja mogu biti ili posledica funkcije, npr. radar, ili nesavršenosti elektronskih uređaja na cilju, ili posledica temperaturnog stanja cilja.



Slika 9.1. Principi radiolokacije:
a-aktivna radiolokacija,
b- poluaktivna radiolokacija, c - aktivna radiolokacija sa aktivnim odgovorom

Slika 9.2. Princip pasivne radiolokacije

U prvom slučaju, pasivni radiolokatori su specijalizovani prijemnici sa usmerenim antenskim sistemom i pogodnim pretvaračem, obično u frekventnom području elektromagnetskog zračenja uređaja na cilju.

U drugom slučaju, elektromagnetna zračenja cilja su posledica toplotnog stanja cilja, pa su uređaji poznati kao IC senzori.

Televizijska (TV) kamera je senzor koji koristi svetlosno zračenje objekta cilja. Može se koristiti kao pomoćni senzor, jer omogućuje dobru vizuelizaciju cilja.

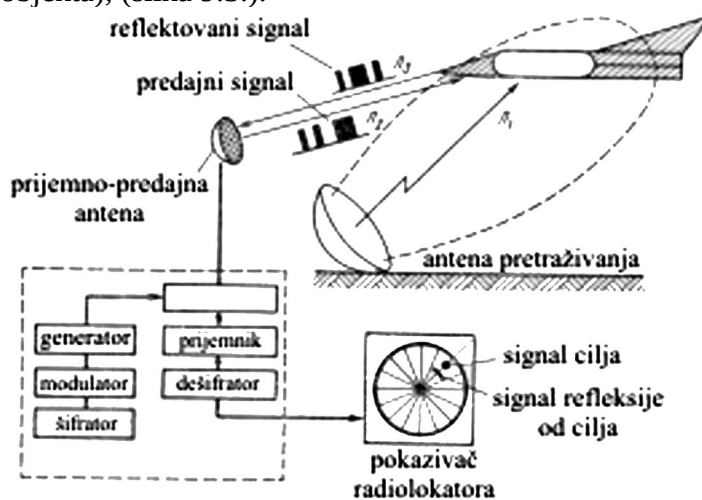
Senzori mere ugaone koordinate cilja, u odnosu na sopstvenu osu (osu senzora), ali imaju mogućnost da mere i daljinu cilja. Nišanski radar, na primer, može da meri i radijalnu brzinu (brzinu promene daljine).

Da bi se obezbedilo poznavanje koordinata položaja cilja, senzori se smeštaju na platforme sa dva ili više stepeni slobode, koje su opremljene dodatnim senzorskim davačima za precizno merenje ugaonih položaja ose senzora i njenu stabilizaciju, ukoliko je to neophodno, u dve ili tri ravni. Takvi davači najčešće su tipa enkodera, sinhronih razlagača i žiroskopskih uređaja i platformi, akcelerometara itd. Platforme su, takođe, opremljene i senzorskim preciznim pogonom, električnim ili elektrohidrauličnim, za ostvarivanje brzih ugaonih procesa pretraživanja, praćenja i upravljanja linijom viziranja položaja cilja. Najčešće su spregnuti sa SUV-om preko procesora, pomoću koga se digitalno mogu voditi navedene senzorske funkcije izviđanja, osmatranja i nišanja. Servosistemi i njihovo upravljanje nisu predmet sistema upravljanja vatrom, pošto je zadatak SUV-a jedino da obezbedi servosistemu potrebne kinematske i geometrijske veličine i ograničenja, kao i parametre koji se moraju automatizovati zbog brzine reagovanja. Te veličine suštinski predstavljaju odnos između željenih pozicija vatrene položaja i cilja u toku delovanja SUV-a i ne zalaze u samu konstrukciju integralnog rešenja servoupravljačkih organa. Zbog toga, u ovoj knjizi neće biti detaljno razmatrani, već će samo biti razmatrane veličine koje servosistemu diktiraju integracije performansi neophodnih za pripremu i izvršenje gađanja ciljeva u uslovima prostornog međusobnog položaja VP i cilja.

9.2. OSNOVI RADARSKE LOKACIJE

9.2.1. Osnovni princip radarske lokacije i glavni parametri

Kod svih vrsta radiolokacija, nosilac informacije o cilju je reflektovani signal od cilja, bez obzira na način njegovog postanka (kao posledica osvetljavanja cilja predajnim signalom ili zbog sopstvenog zračenja objekta), (slika 9.3.).



Slika 9.3.

Direktno od reflektovanog signala dobijaju se o cilju sledeće informacije:

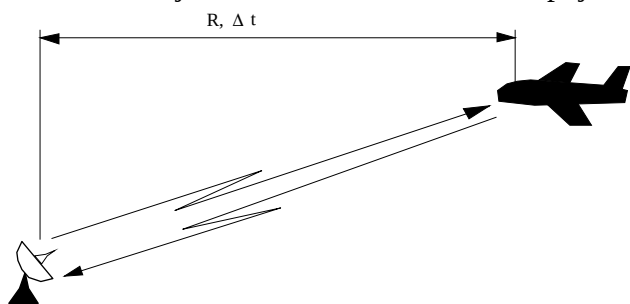
- koordinate položaja cilja u prostoru,
- dimenzije i oblik i
- fizička svojstva.

Naknadnom obradom signala, pomoću više sukcesivnih podataka, moguće je:

- izdvojiti pokretne od nepokretnih ciljeva,
- odrediti brzinu i ubrzanje kod pokretnih ciljeva i
- odrediti trajektoriju.

Određivanje koordinata cilja bazira na određivanju parametara reflektovanog signala - nosioca informacije o cilju. Pri tome se koriste sledeće osobine elektromagnetskih talasa:

1. brzina prostiranja elektromagnetskih talasa u slobodnom prostoru (c) je uvek jednaka i može se smatrati konstantnom; tačna brzina elektromagnetnog talasa u vakuumu je $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$, ali se za radarske proračune usvaja da iznosi $c = 3.0 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$
2. prostiranje elektromagnetskih talasa vrši se po pravoj liniji, samo se u izuzetnim slučajevima uzimaju u obzir odgovarajuća zakrivljenja linije prostiranja;
3. frekvencija prijemnog radarskog signala razlikuje se od frekvencije predajnog signala, ako se cilj kreće u odnosu na radar; ta pojava je poznata u fizici kao "Doplerov efekat".



9.2.2. Osnovni princip merenja daljine radarom

Kod impulsnih i impulsno-doplerovih radarskih uređaja daljina se određuje na osnovu preciznog merenja vremena, koje je potrebno elektromagnetnom impulsu da pređe put od radara do cilja i nazad. (slika 9.4.).

Slika 9.4. Određivanje

Vreme potrebno da elektromagnetni talas pređe daljinu R , (slika 9.4.), i da se vrati do prijemnika, može se dati izrazom:

$$\Delta t \cong \frac{2R}{c} \quad (9.1)$$

gde su:

Δt [s] – vreme,

$c = 3.0 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$ - brzina svetlosti,

R [m] – udaljenost .

Iz (9.1) sledi da, udaljenost do cilja iznosi:

$$R = \frac{\Delta t \cdot c}{2} \quad (9.2)$$

Relacija (9.2) predstavlja osnovnu jednačinu principa merenja daljine do cilja svih radarских sistema. Ovu jednačinu koriste i svi aktivni senzori čiji je princip rada, zahvat reflektovanog signala od prijemnika. U daljem tekstu biće više reči o principima upotrebe, performansama i mogućnostima upotrebe radara i radarskih snopova.

9.2.3. Način pretraživanja prostora cilja radarskim senzorima i rezolucija senzorskih snopova

Osnovna veličina od koje zavisi kvalitet osmatranja ciljeva iz vazdušnog prostora, kao i sa kopna u vazdušni prostor ili na kopnene ciljeve, ili ciljeve na vodi, je volumetrijska rezolucija radarskog snopa, od koje zavisi radarska vidljivost cilja. Svi objekti osmatranja i izviđanja koji se nađu u okviru površinske ili volumetrijske rezolucije, a zadovoljavaju uslove razdvajanja vidljivosti od okoline, biće prikazani na radarskom ekranu kao jedan manji ili veći cilj, bez obzira koliko ih je. To znači da veličina cilja ili veličina njegove projekcije na površinu stoji u uzajamnoj vezi sa zapreminom, odnosno, površinom rezolucije radara i direktno utiče na proces osmatranja i izviđanja u smislu vidljivosti, odnosno razdvajanja bliskih ciljeva. Samim tim se u problem geometrije i

kinematike određivanja koordinata i praćenja ciljeva uključuje elektromagnetska geometrija radarskog snopa i njegova interakcija sa okolinom i ciljem. Dakle, tačnost veličina kojima se određuje položaj cilja i koje se utvrđuju senzorom, zavisi od kvaliteta i konstrukcije senzora i, samim tim, je izbor senzora jedan od presudnih faktora koji utiču na sistem upravljanja vatrom.

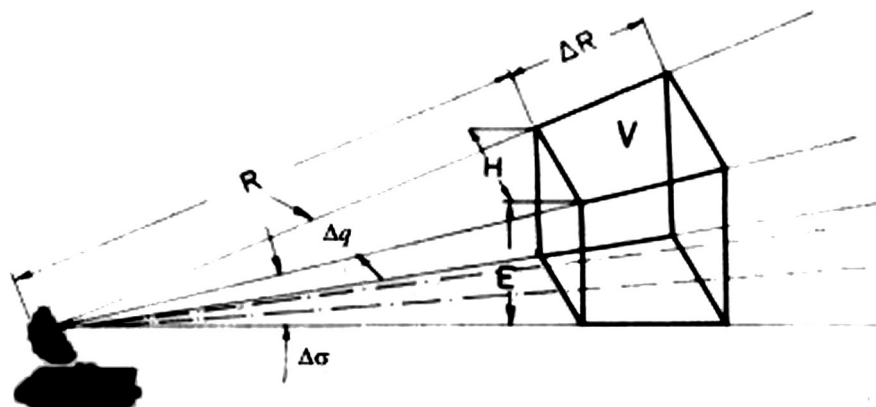
Oblik dijagrama zračenja radara posebna je teorija koja nije predmet izučavanja u ovom poglavlju, ali kao što je napred rečeno, položaj linije viziranja, izvedeni uglovi i kinematske veličine vezane za osmatranje i izviđanje, suštinski zavise od oblika i veličine osmatračkog senzorskog snopa, dok efikasnost utvrđivanja tačke cilja zavisi od navedene karakteristike, poznate kao **rezolucija radarskog ili laserskog senzora**.

Pojam rezolucije vezan je za sva tri pravca koordinatnog sistema, pa je zapreminska rezolucija proizvod rezolucije snopa u sva tri pravca, isto kao što je površinska rezolucija prevashodno vezana za dva pravca, mada i treći pravac, (visina), učestvuje u tzv. površinskom razdvajanju cilja od okoline.

Zavisno od vrste i namene za svaki radarski uređaj se u toku konstrukcije bira: najpogodniji način pretraživanja prostora, najpogodnija talasna dužina i najpogodniji dijagram zračenja antene, bez obzira da li se radi o radaru koji je montiran na vazdušnoj, ili kopненоj osmatračkoj, ili borbenoj platformi.

U opštem slučaju važi da što je talasna dužina kraća i što je antenski sistem veći, to je dijagram zračenja uži, a rezolucija po koordinatama bolja (lit. [1]). Takođe, kraći predajni impuls radara obezbeđuje bolju daljinsku rezoluciju.

Opšti izgled rezolucione zapremine za impulsni radar na pokretnoj borbenoj platformi, koja osmatra ciljeve u željenom pravcu, dat je na slici 9.5.



Slika 9.5.

Za ovaj slučaj, impulsna rezolucija po daljini data je jednačinom:

$$\Delta R = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad [\text{m}], \quad (9.3)$$

gde je τ [s]- vreme trajanja impulsa.

Rezolucije u horizontalnoj i vertikalnoj ravni mogu se odrediti pomoću dužine lukova, za male uglove Δq (po azimutu) i $\Delta \sigma$ (po elevaciji), u obliku:

$$H = \frac{\pi \cdot \Delta q \cdot R}{180} \quad [\text{m}] \quad (9.4.a),$$

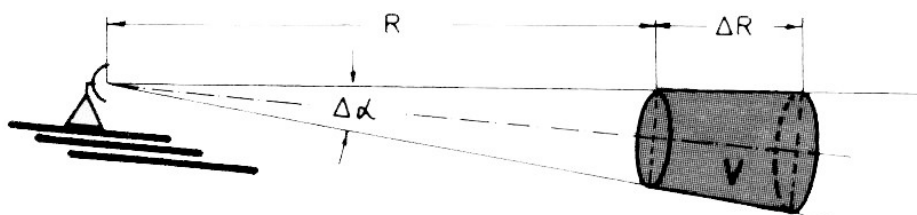
$$E = \frac{\pi \cdot \Delta\sigma \cdot R}{180} [\text{m}], \quad (9.4.b),$$

pa je ukupna zapreminska rezolucija:

$$V = \Delta R \cdot E \cdot H = \frac{c \cdot \tau}{2} \cdot \frac{\tau \cdot \Delta\sigma \cdot R}{180} \cdot \frac{\pi \cdot \Delta q \cdot R}{180} [\text{m}^3]. \quad (9.5).$$

Kod radara sa vrlo uzanim snopom, čija je rezolucija po širini (azimutu) približno jednaka rezoluciji po visini (elevaciji), rezoluciona zapremina ima oblik zarubljene kupe, pošto snop po daljini, praktično, zahvata kupu sa uglom koji odgovara vrlo maloj širini snopa $\Delta\alpha$. Volumetrijska rezolucija takvog nišanskog radara (slika 9.6.), iznosi:

$$V = \left(\frac{\pi \cdot \Delta\alpha \cdot R}{180} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{c \cdot \tau}{2} [\text{m}^3]. \quad (9.6)$$



Slika 9.6.

Ukoliko se ocena rezolucione zapremine vrši pomoću sinusa uglova snopa u horizontalnoj i vertikalnoj ravni, a ne pomoću lukova, onda su širina snopa (po azimutu) i visina snopa (po elevaciji), na daljini R na kojoj se ocenjuje rezolucija radarskog snopa, dati izrazima:

$$H_1 = 2R \sin \frac{\Delta q}{2} [\text{m}], \quad (9.7.a)$$

$$E_1 = 2R \sin \frac{\Delta\sigma}{2} [\text{m}], \quad (9.7.b)$$

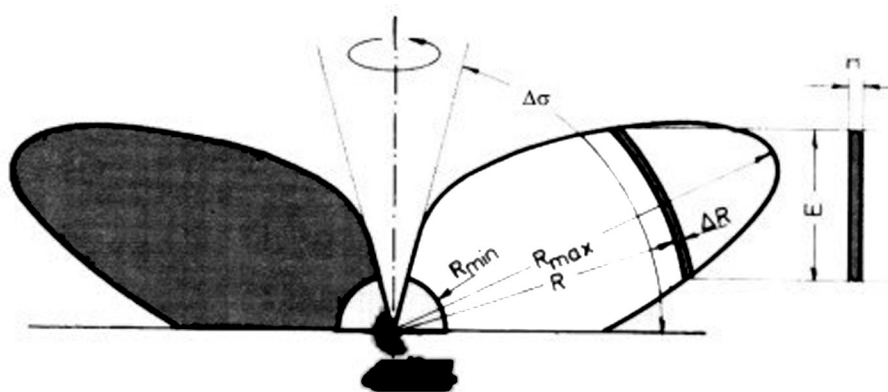
pa ukupna rezoluciona zapremina iznosi:

$$V = \Delta R \cdot E_1 \cdot H_1 = 4R^2 \frac{c \cdot \tau}{2} \sin \frac{\Delta\sigma}{2} \sin \frac{\Delta q}{2} [\text{m}^3]. \quad (9.8)$$

Za impulsni radar čija rezoluciona zapremina ima oblik zarubljene kupe, pri čemu se ugao $\Delta\alpha$ ne može smatrati malim, veličina rezolucione zapremine, s obzirom na ovaj pristup, je:

$$V = \pi R^2 \sin^2 \frac{\Delta\alpha}{2} \cdot \frac{c \cdot \tau}{2} [\text{m}^3]. \quad (9.9)$$

Kao što se vidi, veličina rezolucione zapremine zavisi od širine snopa u dva pravca, dometa na kome se ocenjuje rezolucija i dubine rezolucione daljine ΔR . Radarski uređaji, čiji dijagrami zračenja (snopovi) imaju, mnogo šire uglove po azimutu, a puno uže po elevaciji, ili obrnuto-šire po elevaciji, a puno uže po azimutu, popularno se nazivaju "horizontalni" ili "vertikalni" radari. Jedan takav vertikalni osmatrački radar, čija je rezoluciona zapremina (praktično "traka") određena, takođe, izrazom (9.8), prikazan je na slici 9.7.

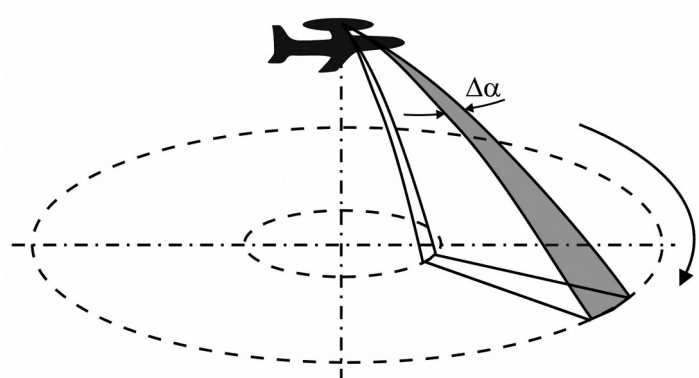


Slika 9.7.

Osmatranje i izviđanje iz vazduha vrši se ili kružnim pretraživanjem prostora sa zadatom brzinom vazdušne platforme i širinom antenskog snopa $\Delta\alpha$ datog izrazom:

$$\Delta\alpha = \frac{72 \cdot \lambda}{d} \quad (9.10),$$

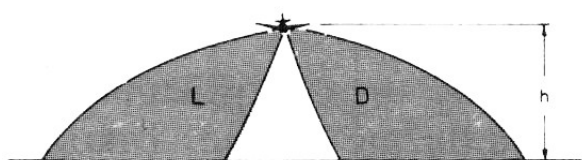
gde su λ - talasna dužina [m] i d [m]- prečnik antene kojim treba prekriti prostor osmatranja radijusa R , (slika 9.8.).



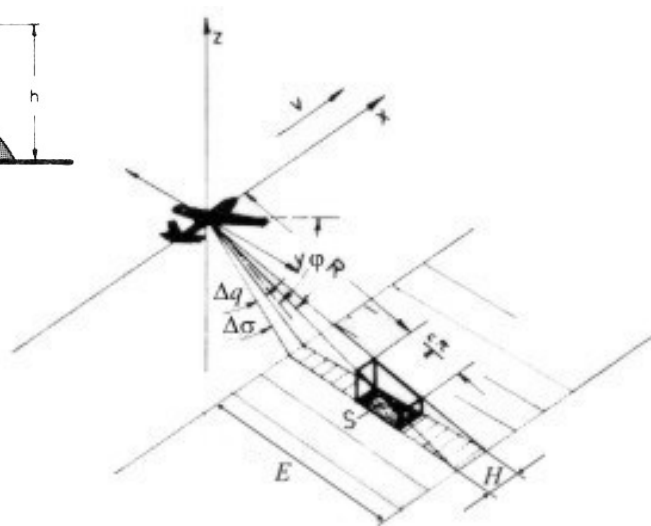
Slika 9.8.

U najopštijem slučaju, brzina leta platforme treba da je relativno mala u odnosu na ugaonu brzinu skaniranja prostora, kako bi krug bio prekriven u kratkom vremenskom intervalu.

Bočno pretraživanje je drugi način pretraživanja iz vazduha i ono je prikazano na slikama 9.9. i 9.10.



Slika 9.9.



Slika 9.10.

Rezoluciona površina ovakvog pretraživanja određena je širinom pretraživanja i poprečnom dužinom koje iznose:

$$E = \frac{c \cdot \tau}{2 \cos \left(\varphi - \frac{\Delta \sigma}{2} \right)}, \quad (9.11.a)$$

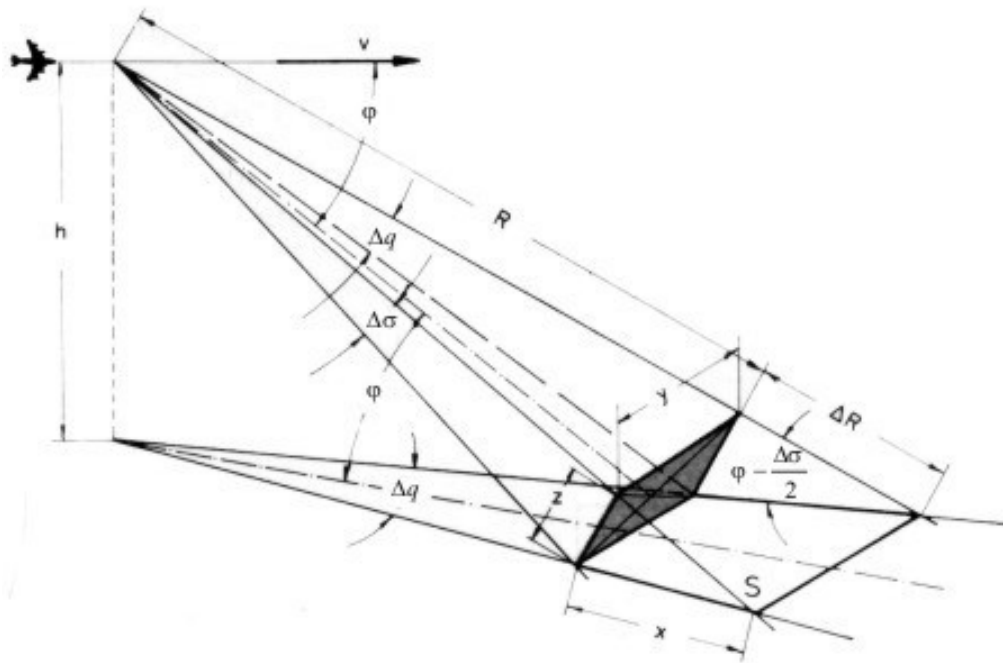
$$H = 2R \sin \frac{\Delta q}{2}, \quad (9.11.b)$$

tako da je ukupna površina S na kojoj se vidi cilj, tj. površina osvetljenosti, jednaka:

$$S = R \cdot \frac{\sin \frac{\Delta q}{2}}{\cos \left(\varphi - \frac{\Delta \sigma}{2} \right)} \cdot c \cdot \tau. \quad (9.12)$$

Pretraživanje se obično vrši sa dva bočno postavljena antenska snopa, pa se prostor u toku leta skanira u obliku traka širine E , sa zadatom brzinom kretanja vazdušne platforme.

Treći način skaniranja odgovara impulsnom otkrivanju ciljeva na kopnu i određivanju njegovih kinematskih veličina i položajnih koordinata. Često se koristi i za merenje visine položaja letilice. Geometrija osvetljavanja zemljišta iz letilice sa zadate visine H i određivanje rezolucione zapremine čeonim radarom prikazana je na slici 9.11.



Slika 9.11

Na osnovu geometrije trodimenzionalnog radarskog snopa, čije su izvodnice aproksimirane pravim linijama, dimenzije rezolucione zapremine su date izrazima:

$$x = \frac{c \cdot \tau}{2} \cdot \frac{1}{\cos \left(\varphi - \frac{\Delta \sigma}{2} \right)}, \quad (9.13.a)$$

$$y = 2R \sin \frac{\Delta q}{2}, \quad (9.13.b)$$

$$z = 2R \sin \frac{\Delta\sigma}{2} \quad (9.13.c)$$

Radarska osvetljena površina na kojoj je zadovoljen uslov razdvajanja cilja od okoline, iznosi:

$$S = x \cdot y = R \cdot \frac{\sin \frac{\Delta q}{2}}{\cos \left(\varphi - \frac{\Delta\sigma}{2} \right)} \cdot c \cdot \tau, \quad (9.14)$$

dok je volumetrijska rezolucija, u skladu sa oblikom zapremine koju grade izvodnice aproksimiranog radarskog snopa:

$$V = \frac{1}{2} x \cdot y \cdot z. \quad (9.15)$$

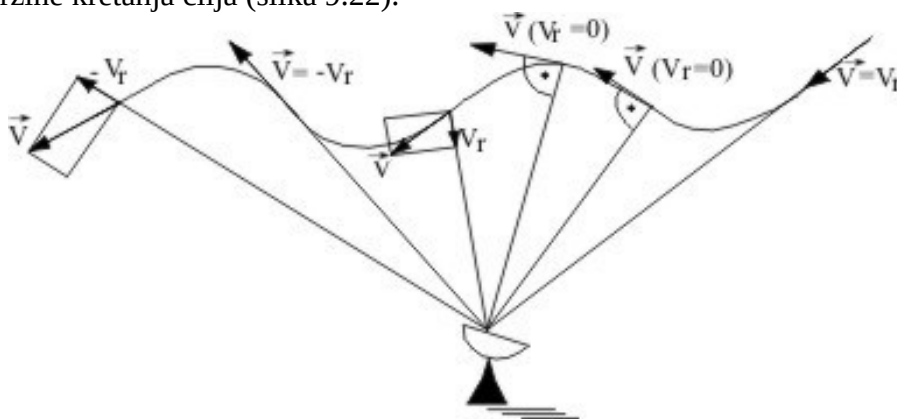
Zamenom vrednosti za x , y i z iz (9.13.a - c), dobija se izraz za volumetrijsku rezoluciju ciljeva na Zemlji pri osmatranju iz vazduha u obliku:

$$V = R^2 \cdot \frac{\sin \frac{\Delta q}{2} \cdot \sin \frac{\Delta\sigma}{2}}{\cos \left(\varphi - \frac{\Delta\sigma}{2} \right)} \cdot c \cdot \tau.$$

9.2.8. Određivanje radijalne komponente brzine cilja radarskim Dopler efektom

Određivanje radijalne komponente brzine cilja (V_r) u odnosu na radar zasniva se na Doplerovom efektu.

Radijalna komponenta brzine je komponenta brzine osmatranog objekta u pravcu radarskog uređaja. Ona je na svakoj tački trajektorije druge veličine i predznaka, zavisi od oblika trajektorije i brzine kretanja cilja (slika 9.22).



Sl. 9.22. Radijalna komponenta brzine cilja V_r za cilj sa konstantnom brzinom V na trajektoriji

U aktivnoj radiolokaciji, Doplerov efekat prisutan je dva puta. Naime, činjenica je da se frekvencija reflektovanog signala od pokretnog objekta razlikuje od frekvencije predajnog signala i da je data izrazom:

$$f_{refl} = f_{pred} \left(1 \pm \frac{V_r}{c} \right), \quad (9.50)$$

kao i da se frekvencija primljenih signala razlikuje se od frekvencije reflektovanih signala od pokretnog objekta, kao izvora signala, i da iznosi:

$$f_{pri} = f_{refl} \left(1 \pm \frac{v_r}{c} \right). \quad (9.51)$$

Ukupna promena u frekvenciji do koje je došlo na trasi radar-cilj može se napisati izrazom:

$$f_{pri} = f_{pred} \left(1 \pm \frac{v_r}{c} \right)^2, \quad (9.52)$$

odnosno:

$$f_{pri} = f_{pred} \left(1 \pm \frac{2v_r}{c} + \frac{v_r^2}{c^2} \right) \quad (9.52.a)$$

U većini ciljeva je $\left(\frac{v_r}{c} \right)^2 \approx 0$, pa se izraz (9.52.a) može pisati u obliku:

$$f_{pri} = f_{pred} \left(1 \pm \frac{2v_r}{c} \right), \quad (9.53)$$

gde (+) označava približavanje cilja radaru, a (-) udaljavanje od radara.

Veličina:

$$f_{dopl} = f_{pred} \frac{2v_r}{c} = \frac{2v_r}{\lambda}, \quad (9.54).$$

gde je $f_{pred} = \frac{c}{\lambda}$ predstavlja Doplerovu promenu frekvencije.

Za selekciju pokretnog cilja od nepokretnog dovoljna je samo indikacija te frekvencije, dok je za određivanje radijalne komponente brzine dovoljno merenje te frekvencije i njena indikacija na odgovarajući način.

Radijalna brzina cilja, odnosno promena inteziteta vektora položaja posmatranog cilja \dot{D}_0 , može se napisati izrazom:

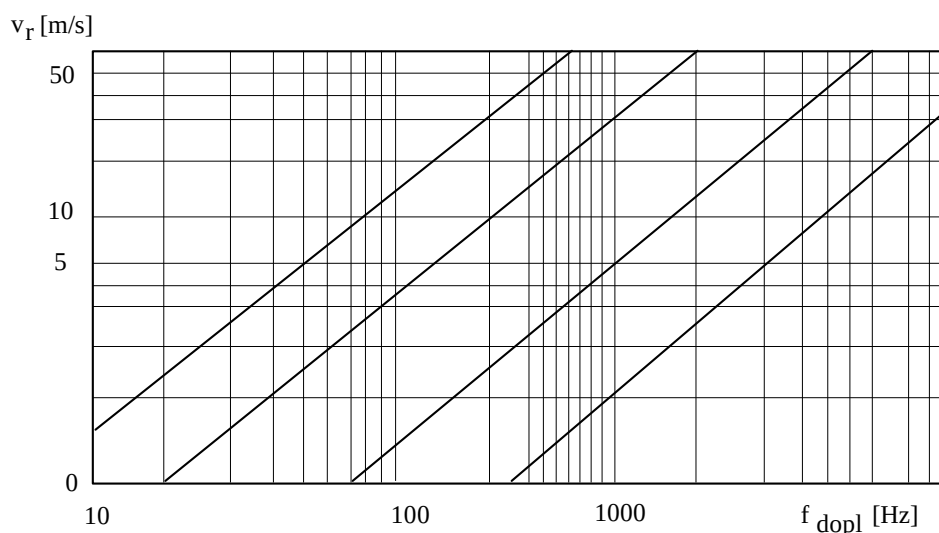
$$\dot{D}_0 = v_r = \frac{f_{dopl} \cdot c}{2 f_{pred}}, \quad (9.55)$$

odnosno:

$$\dot{D}_0 = \frac{f_{dopl} \lambda}{2}. \quad (9.55.a)$$

Jednačina (9.55.a) je centralna jednačina radarske metode praćenja cilja, određivanja njegove brzine i položaja.

Veličina Doplerovih promena frekvencije zavisi od relativne brzine i talasne dužine data je na slici 9.23., u logaritamskom dijagramu za različite brzine i frekvencije Dopler radara. Iz jednačine (9.55.a) i sa slike 9.23. vidi se da su Doplerove promene na višim frekvencijama (kraćim talasnim dužinama) veće. To je i razlog da se za osmatranje zemljišta koriste radarski uređaji na višem frekventom području.



Slika 9.23. Doplerova promena zavisno od radijalne brzine cilja i talasne dužine radara

Određivanje koordinata na tlu pozicioniranjem radarom iz leta sa vazdušne platforme

Sve metode kojima se vrši fokusiranje željenog cilja na kopnu ili vodi, zasnovane su, kao što je u prethodnom tekstu rečeno, na rezoluciji radarske površine, odnosno zapremine. Pozicioniranje cilja na tlu, tj. određivanje njegovog vektora položaja ili njegove relativne visine u odnosu na tlo, bazira se na principima rada prijemnika i predajnika.

Određivanje relativne visine cilja vrši se radiovisinomerom ili laserskim visinomerom, dok se za pozicioniranje cilja na tlu koriste radarski osmatrački uređaji ili laserski daljinari. U ovom poglavlju biće objašnjeni principi i greške određivanja relativnog položaja letelice i željene tačke na terenu (cilja), u odnosu na tlo, pri čemu će biti objašnjeni osnovni elektromagnetski principi merenja daljine pozicionirane sa dva prostorna ugla.

U prvoj aproksimaciji usvojiće se da je širina radarskog snopa ista u oba pravca i da snop ima približno konusni oblik, pa je osvetljena površina cilja zatvorena kružna kontura, pravilnog ili eliptičkog oblika. To približno odgovara rezolucionoj formi monoimpulsnog nišanskog radara prikazanog na slici 9.5.

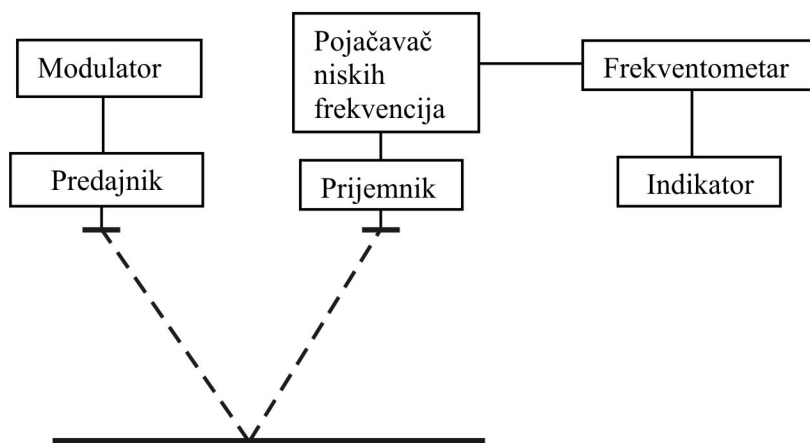
Radiotalasna metoda merenja visine zasniva se na pojavi odbijanja radio-talasa od zemljine površine (ovaj princip, u širem smislu, poznat je kao radiolokacija). Uređaji koji funkcionišu na ovom principu mere stvarnu poziciju u odnosu na tlo i obično se koriste kao radiovisinomeri.

Prema načinu korišćenja radio-talasa razlikuju se:

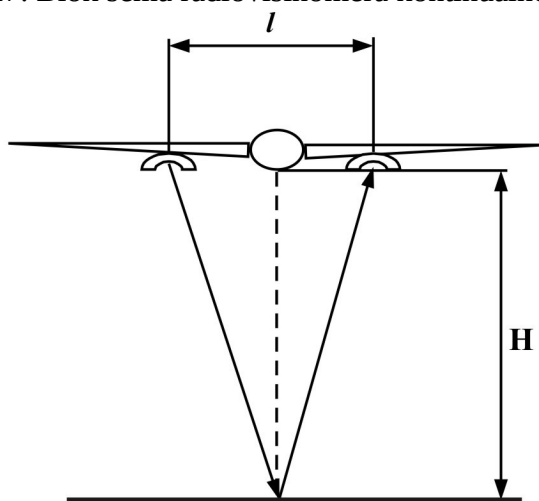
- radiovisinomeri kontinualnog (neprekidnog) dejstva i
- radiovisinomeri impulsnog (diskretnog) dejstva.

Blok-šema radiovisinomera kontinualnog dejstva data je na slici 9.17.

Antena predajnika (slika 9.17.), koja se nalazi na letelici, kontinualno emituje elektromagnetne radio-talase koji se od površine zemlje reflektuju u svim pravcima, dakle, jednim svojim delom i u pravcu letelice. Antena prijemnika (koja se takođe nalazi na letelici) prima zračenje kako sa predajne antene (direktno), tako i ono koje je reflektovano od površine zemlje.



Slika 9.17. Blok šema radiovisinomera kontinualnog dejstva



Slika 9.18. Merenje visine leta radiovisinomerom

Glavna karakteristika radiovisinomera kontinualnog dejstva je tzv. frekventna modulacija emitovanog signala. Na slici 9.19. prikazani su grafici promene frekvencije emitovanog i odbijenog signala u funkciji vremena.

Signal odbijenog zračenja (frekvencije f_2) pomenen je u odnosu na signal emitovanog zračenja (frekvencije f_1) u vremenskom intervalu τ , dat izrazom:

$$\tau = t_2 - t_1, \quad (9.36)$$

gde je:

- t_1 – vreme putovanja direktnog signala (na relaciji predajna antena-prijemna antena),

t_2 – vreme putovanja reflektovanog signala (na relaciji predajna antena-zemlja-prijemna antena).

Kako je (slika 9.18.):

$$t_1 = \frac{l}{c}, \quad (9.37.a)$$

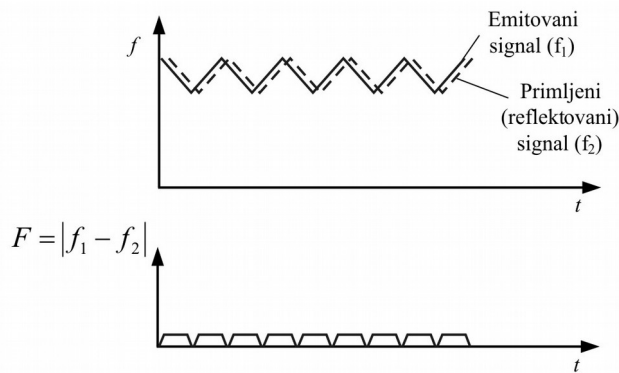
$$t_2 = \frac{2H}{c}, \quad (9.37.b)$$

gde je: l - rastojanje između predajne i prijemne antene,

H - stvarna visina leta,

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s - brzina prostiranja elektromagnetnih talasa.

-



Slika 9.19. Frekventna modulacija signala

Interval vremena τ za koji je signal odbijenog zračenja pomeren u odnosu na signal reflektovanog zračenja, iznosi:

$$\tau = \frac{2H - l}{c}. \quad (9.38)$$

Apsolutna razlika frekvencija $F = |f_1 - f_2|$, koja se može utvrditi detektorom niskih frekvencija i izmeriti frekventometrom, omogućava posredno merenje stvarne pozicije H tačke na tlu u odnosu na letelicu.

Radi utvrđivanja zavisnosti između F i H , u razmatranje se uvode promene frekvencija f_1 i f_2 u toku vremena (lit.[1]), u obliku:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_0 (1 \pm at) \\ f_2 &= f_0 (1 \pm a(t - \tau)) \end{aligned} \quad (9.39)$$

gde je:

a - koeficijent koji definiše veličinu nagiba krive frekventnog signala u vremenu,
 f_0 - srednja frekvencija,

pa je:

$$F = |f_1 - f_2| = f_0 a \tau. \quad (9.40).$$

Vodeći računa o (9.38), izraz za frekventnu razliku F glasi:

$$F = f_0 a \frac{2H - l}{c}, \quad (9.41)$$

a, s obzirom da je $l \ll H$, može se napisati i u obliku:

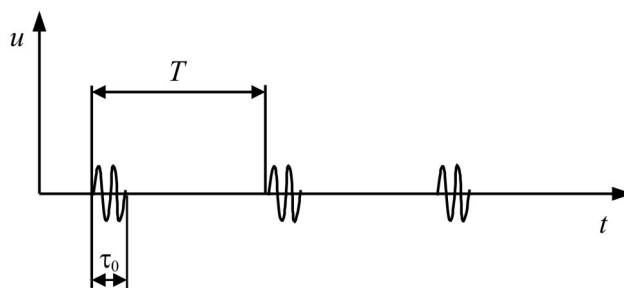
$$F = \frac{2f_0 a}{c} H = S \cdot H \quad (9.42)$$

gde je $S = \frac{2f_0 a}{c}$ - osetljivost radiovisinomera kontinualnog dejstva.

Osetljivost se povećava sa povećanjem srednje frekvencije f_0 i koeficijenta a koji definiše karakter nagiba krive frekventnog signala u vremenu.

Merenje visina (položaja tačke na tlu) moguće je i upotrebom radiovisinomera impulsog dejstva.

Radiovisinomer sadrži prijemnik i predajnik, pri čemu emitovanje talasa nije kontinualno, već je impulsno (diskretno) - u veoma kratkim vremenskim intervalima (τ_0), sa periodom (T) - slika 9.20.



Sl.9.20. Generisanje impulsnih talasa

Odnos između impulsne snage predajnika i njegove srednje snage je:

$$\frac{P_{imp}}{P_{sr}} = \frac{T}{\tau_0}, \quad (9.43)$$

gde je: T - period između impulsa,

τ_0 - trajanje impulsa.

Proces merenja visine moguć je bilo direktnim, preciznim merenjem vremena τ i izračunavanjem visine iz izraza (9.38), bilo posrednim merenjem ovog vremenskog intervala. Drugi način merenja moguće je izvesti pomoću laserskog uređaja na principu laserskog daljinara. Startni signal počinje u trenutku slanja predajnog impulsa, a završava se u trenutku prijema reflektovanog signala. Može se, dakle, napisati izraz:

$$H = \frac{cT}{2}. \quad (9.44)$$

Greške merenja pri korišćenju radioimpulsnih uređaja za pozicioniranje tačaka na tlu posledica su različitih uticaja, od kojih su najvažniji šum i greške u merenju vremenskog intervala τ .

Radiovisinomer impulsnog dejstva ili laserski visinomer mora biti posebno podešen za merenje veoma malih visina, jer u tom slučaju dolazi do izražaja zona neosetljivosti uređaja.

Kako je već napomenuto, za merenje malih visina znatno povoljniju varijantu predstavlja radiovisinomer kontinualnog zračenja. Polazeći od izvedenog izraza (9.42) i uvodeći oznake (slika 9.21.):

T - period frekventne modulacije,

k - relativno povećanje (smanjenje) frekvencije modulisanog signala u odnosu na srednju vrednost frekvencije (f_0),

$$k = \frac{f_{\max} - f_0}{f_0} = \frac{f_0 - f_{\min}}{f_0} \quad (9.45)$$

Na osnovu dijagrama na slici 9.21., kao i na osnovu izraza (9.39), srednja vrednost frekvence iznosi:

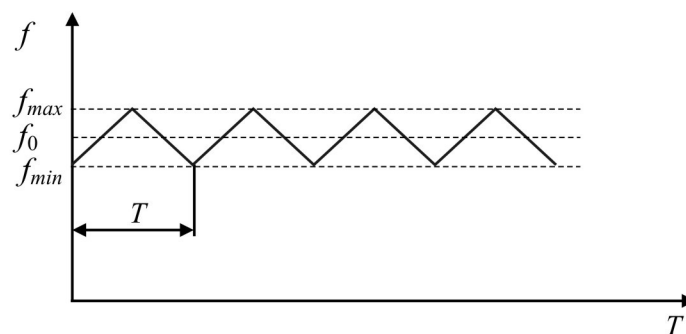
$$f_0 = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2} \quad (9.46.a)$$

Ako se usvoji parametar a u obliku

$$a = \frac{4k}{T} \quad (9.46.b)$$

onda sledi da je:

$$f_0 \cdot a = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\frac{T}{2}} = \frac{4k \cdot f_0}{T} \quad (9.47)$$



Slika 9.21. Osnovni parametri frekventno modulisanog signala

POZICIONIRANJE OBJEKATA NA ZEMLJI POMOĆU GPS-A

10.1.1. Osnove sistema GPS

GPS - Globalni Pozicioni Sistem (Global Positioning System) je sistem za pozicioniranje

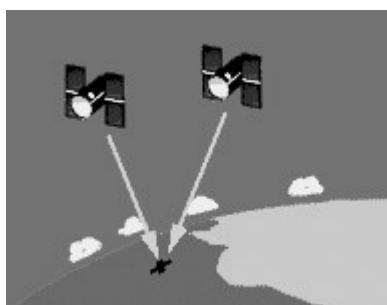
objekata na terenu, u bilo kojoj tački Zemljine kugle, pomoću satelitskog sistema. Sastoji se iz tri segmenta:

1. primarnog vasionkog, koga čine 24 (48) satelita;
2. kontrolnog segmenta, koji upravlja i prati kretanje satelita;
3. korisničkog segmenta.

GPS i GLONASS sateliti (američki i ruski sistemi) pokrivaju celu Zemljinu kuglu i rade nezavisno jedan od drugog. Merenjem dužina do satelita moguće je odrediti položaj bilo koje tačke na Zemlji sa tačnošću od nekoliko desetina metara do samo nekoliko milimetara.

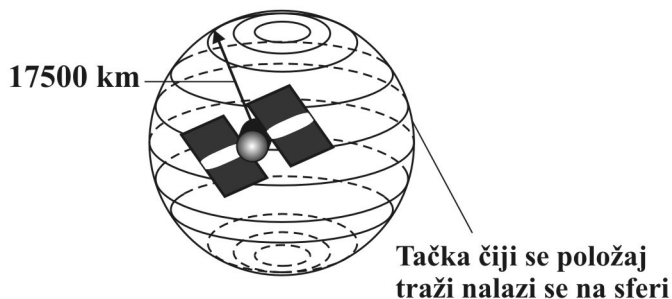
GPS i GLONASS signali su besplatni, ukoliko se raspolaze odgovarajućim prijemnikom. Njihova primena, teorijski, nema ograničenja. Mogu ih koristiti pojedinci, ručno, ili vozila, kao sistem za navigaciju, zatim, brodovi i avioni, ili vođena municija velikog i malog kalibra. Koriste se za merenja u geodeziji, rudarstvu, geologiji, građevini i brojnim drugim strukama. Vojna primena GPS-a najčešća je na raketnoj municiji i drugom naoružanju i platformama oruđa i senzora svih vrsta.

SLIKA 10.1. MODEL SISTEMA GPS



10.1.2. Funkcionisanje sistema GPS

GPS određuje poziciju merenjem dužine do satelita, na principu radiolokacije, pri čemu je prijemnik na Zemlji kod korisnika, a satelit je samo predajnik. I prijemnik i predajnik imaju istu vremensku bazu, tj. jedinstveno baždarene časovnike. Sateliti lete na visini do 20.000 km iznad Zemlje. Ukoliko je poznato rastojanje od željene tačke do nekoliko satelita, a zatim se sa svakog od tih satelita opiše sfera čiji je poluprečnik to rastojanje, u preseku će se dobiti pozicija željene tačke u datom trenutku vremena, istom na satelitima i prijemniku na Zemlji. Na slikama je prikazan princip pozicioniranja tačke pomoću 3 satelita, sa sukcesivnim objašnjenjima o potrebnom minimalnom broju podataka za određivanje položaja tačke na Zemlji.



Ako se opiše sfera čiji je poluprečnik udaljenost od satelita do tražene tačke, (slika 10.2.), onda se tražena tačka nalazi negde na površini sfere.

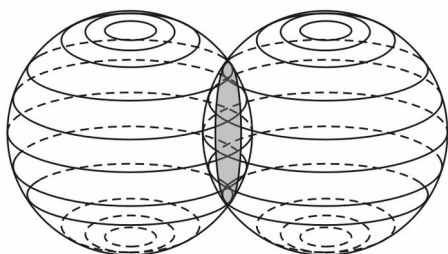
Slika 10.2. Određivanje položaja pomoću samo jednog satelita

Ako se zatim opiše i sfera oko drugog satelita, položaj tražene tačke biće

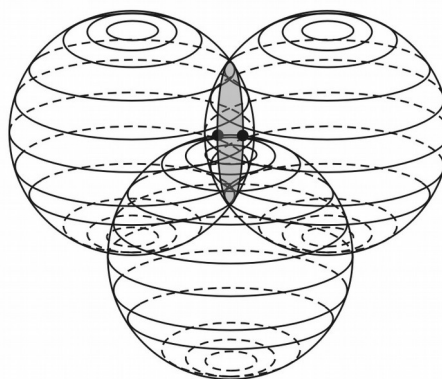
sužen na kružnicu, nastalu kao presek dve sfere. Presekom sfere opisane oko trećeg satelita, mogući položaj svodi se na samo dve tačke. Jedna od njih je obično negde u svemiru, čime je isključena kao moguće rešenje. Ovim je položaj tačke na Zemlji precizno određen na osnovu navedenih preseka sfera, čiji su poluprečnici rastojanja do najmanje tri satelita. Često se koristi i četvrti satelit, radi određivanja tačne pozicije jedne od dve tačke preseka, a u slučaju nepovoljnog međusobnog položaja prethodna tri satelita. Pri ovakvim merenjima pozicije, postoji nekoliko tipičnih izvora grešaka, i to:

- SA (Selective Availability) – selektivna dostupnost,
- greške efemerida,
- greške časovnika,
- uticaj jonosfere i troposfere,
- višestruka refleksija signala,
- uticaj geometrijskog položaja satelita.

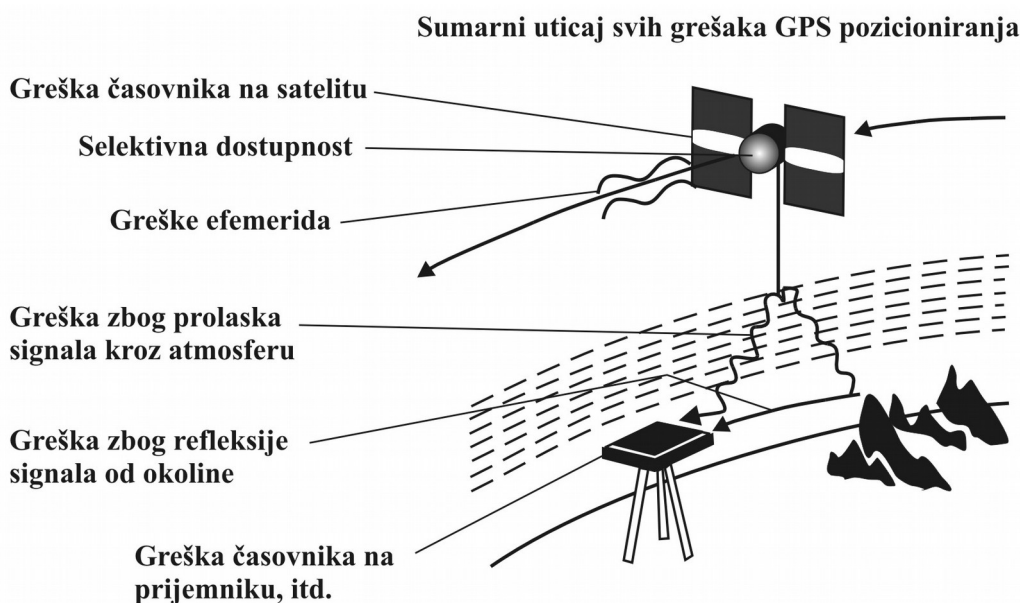
Merenjem sa tri satelita tačka čiji se položaj traži nalazi se u jednoj od dve tačke koje predstavljaju presek tri sfere



Merenjem sa dva satelita tačka čiji se položaj traži nalazi se na krugu (presek dve sfere)



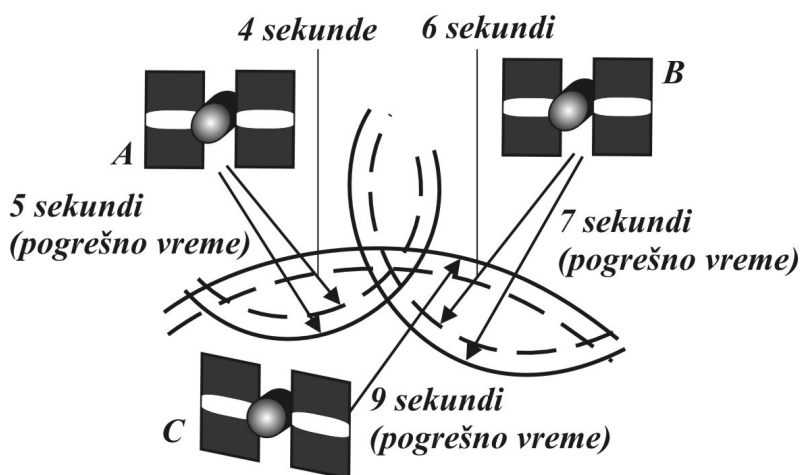
SLIKA 10.3. ODREĐIVANJE POLOŽAJA POMOĆU DVA I TRI SATELITA



Slika 10.4. Sumarni uticaj svih grešaka

Od svih ovih grešaka najveći uticaj na tačnost rezultata merenja ima selektivna dostupnost.

Selektivna dostupnost (Selective Availability - SA) je namerno kvarenje GPS signala. Kao rezultat uticaja SA, sa jednim autonomnim prijemnikom ne može se postići veća tačnost pozicioniranja od 100 metara. SA je program američkog ministarstva odbrane (DoD), koji je uveden kako bi se otežalo korišćenje ove tehnologije u armijama potencijalnih protivnika. Uticaj SA se uspešno može otkloniti tehnikom diferenciranja, odnosno, istovremenim korišćenjem dva GPS prijemnika. Vojni prijemnici imaju mogućnost dekodiranja signala i automatskog uklanjanja uticaja ove greške.



Greška časovnika (slika 10.5.)

utiče na tačnost merenja rastojanja do satelita. Pošto se rastojanje meri na osnovu brzine kretanja svetlosti i vremena potrebnog da signal stigne od satelita do korisničkog prijemnika na Zemlji, svaka greška u merenju vremena utiče i na tačnost konačne pozicije, što je posebno značajno za navigaciju, odnosno dinamičko praćenje objekata na Zemlji.

Greška efemerida

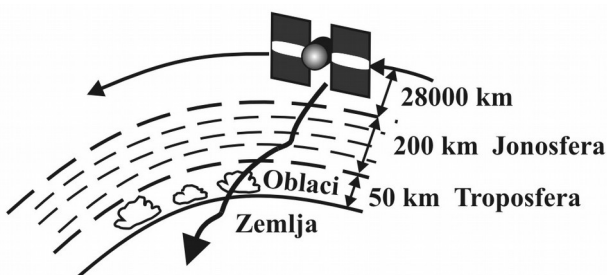
je greška trajektorije satelita u odnosu na Zemlju, odnosno, odstupanje njegove stvarne trajektorije u odnosu na proračunsku.

Uticaj jonosfere i troposfere (slika 10.6.)

je važan izvor grešaka. Prolaskom GPS signala kroz jonosferu i troposferu dolazi do njegovog usporenja, što za rezultat ima pogrešno sračunato rastojanje do satelita. Po posledicama greška je slična grešci časovnika.

Prilikom obrade podataka GPS merenja, koriste se matematički modeli kojim se ovaj uticaj

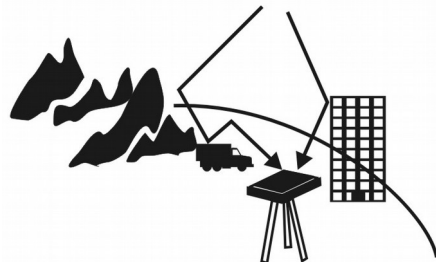
SLIKA 10.5. GREŠKA U ODREĐIVANJU PRESEKA ZBOG KAŠNJENJA ČASOVNIKA



smanjuje. Kod dvofrekventnih prijemnika, upoređuju se brzine kretanja signala sa različitim frekvencijama i na osnovu tih podataka računaju elementi za korekciju greške.

Višestruka refleksija signala (slika 10.7.) je greška koja je određena uslovima upotrebe prijemnika na realnom terenu. Osim signala sa satelita, do GPS prijemnika dolaze i signali koji se reflektuju od obližnjih objekata. Savremeni dvofrekventni prijemnici mogu uspešno da umanje uticaje refleksije.

Slika 10.7.



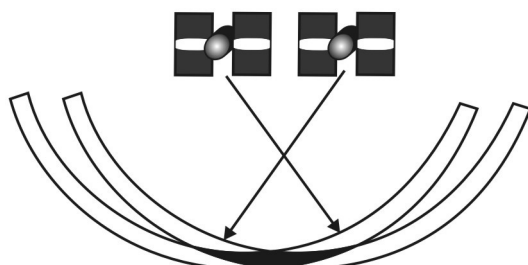
Refleksija signala od raznih objekata

SLIKA 10.6. PUT GPS SIGNALA KROZ JONOSFERU I TROPOSFERU

Uticaj satelita ogleda se u presečnoj

bliskih satelita rezultira lošijim rezultatima merenja. Ovaj uticaj se naziva geometrijsko rasipanje preciznosti, ili skraćeno GDOP (Geometric Dilution of Precision).

geometrijskog položaja se u neprecizno određenoj tački. Korišćenje suviše

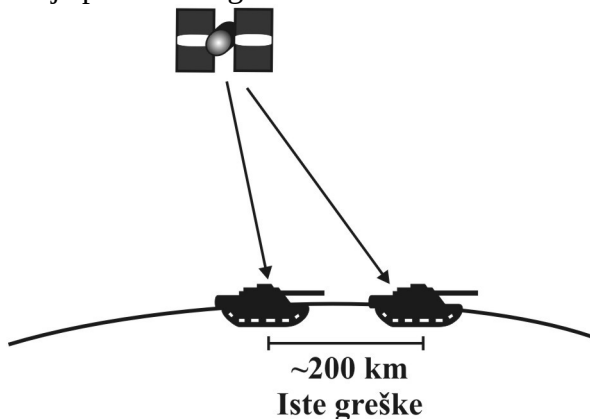


Pri bliskim uglovima zatamnjena površina postaje veća

Slika 10.8. Uticaj loše geometrije na tačnost presečne tačke

10.1.3. Diferencijalni GPS

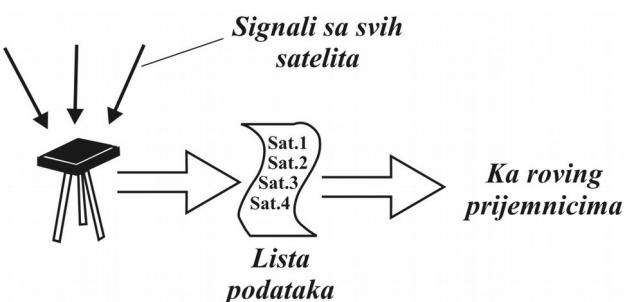
Diferencijalni GPS je postupak merenja sa dva GPS prijemnika u cilju otklanjanja uticaja ranije pomenutih grešaka.



Slika 10.9. Oblast istih grešaka na zadatom rastojanju među rover - prijemnicima

Jedan prijemnik nalazi se na tački čije su koordinate poznate (baza), a ostali se nalaze na tačkama čije položaje treba odrediti (roveri). Pošto su sateliti veoma udaljeni od Zemlje, može se pretpostaviti da svi prijemnici podležu istom uticaju grešaka, u zadatoj (propisanoj) okolini baznog prijemnika.

Pošto se baza nalazi na unapred poznatom položaju, upoređivanjem merenih vrednosti sa unapred poznatom, može se izračunati uticaj grešaka merenja.



Bazni prijemnik šalje ovu informaciju ka pokretnim prijemnicima, koji, pomoću nje koriguju merene vrednosti.

Kada se informacije prenose radio putem, tada se na terenu mogu dobiti korigovani rezultati u realnom vremenu. Na ovaj način se određuju popravke merenja.

Slika 10.10. Prenos informacija sa baze radio putem U

velikom broju slučajeva nisu potrebna popravljena

merenja na terenu, u realnom vremenu. Tada nije potreban radio prijemnik, već svi prijemnici

rade autonomno. Bazni prijemnik je stacionaran i kontinualno registruje podatke, dok se

pokretni prijemnici kreću od tačke do tačke i vrše merenja. Nakon toga se, u centru, podaci iz

svih prijemnika kombinuju, a zatim se određuje popravka merenih vrednosti.

Ova dva postupka poznata su kao:

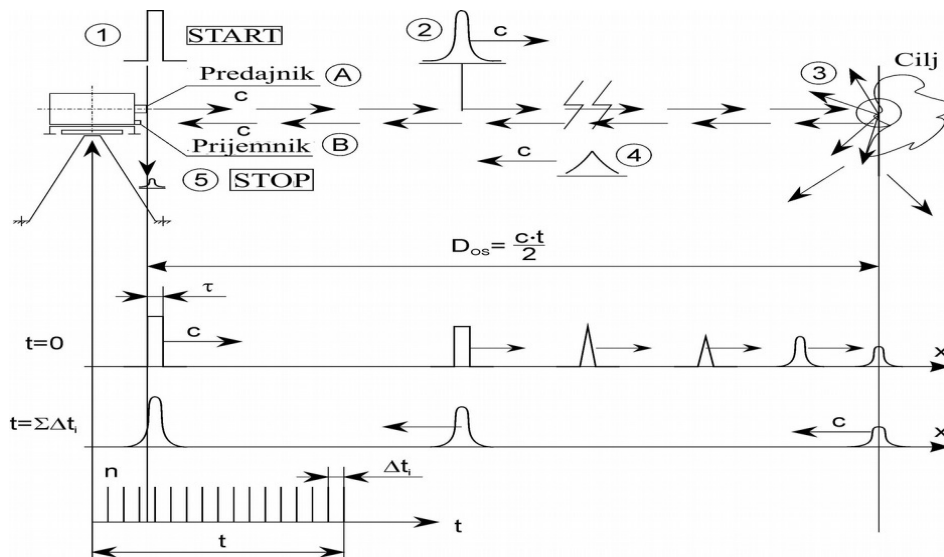
- merenja u realnom vremenu,
- merenja sa naknadnom obradom signala.

9.4.3. Osnovni principi laserske lokacije i određivanja pozicija cilja – laserski daljinar

Laserski daljinomer je uređaj za merenje daljine cilja, čiji je glavi senzor laser. Drugi senzor koji mora da sadrži laserski daljinomer je detektor laserskog zračenja. Laser je optoelektronski sklop koji funkcioniše na principu korišćenja stimulisane emisije infracrvene, monohromatske, koherentne, radijacije optičkog signala. Laser, dakle, emituje impulsno modulisan zrak. Cilj reflektuje lasersko zračenje, a prijemnik laserskog daljinomera detektuje reflektovano zračenje. Merenjem vremena između emitovanja i prijema laserskog impulsa određuje se daljina cilja. Uobičajene talasne dužine laserskog zračenja su $1.06 \mu\text{m}$ ili $1.54 \mu\text{m}$ (zračenje bezbedno za oko). Čista atmosfera relativno slabo apsorbuje zrake navedenih talasnih dužina, ali oblaci i kišne kapi ih lako reflektuju.

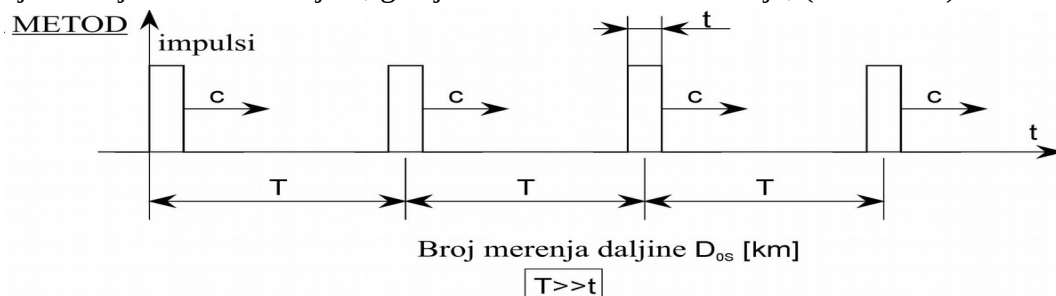
Praćenje trajektorije cilja i njena rekonstrukcija zahteva da se merenje daljine laserom obavlja sa učestanostima od najmanje 20 Hz, tj. 20 impulsa u sekundi, za ciljeve koji se kreću velikim brzinama i ostrim manevrima. Teoretski, laser obezbeđuje preciznije merenje daljine od nišanskog radara.

Princip rada laserskog daljinomera i zračenje monoimpulsnog signala, prikazanog na vremenskoj osi, dato je na slici 9.37., poslednji dijagram, kao "širina" laserskog impulsnog signala na vremenskoj osi τ [s].



Slika 9.37

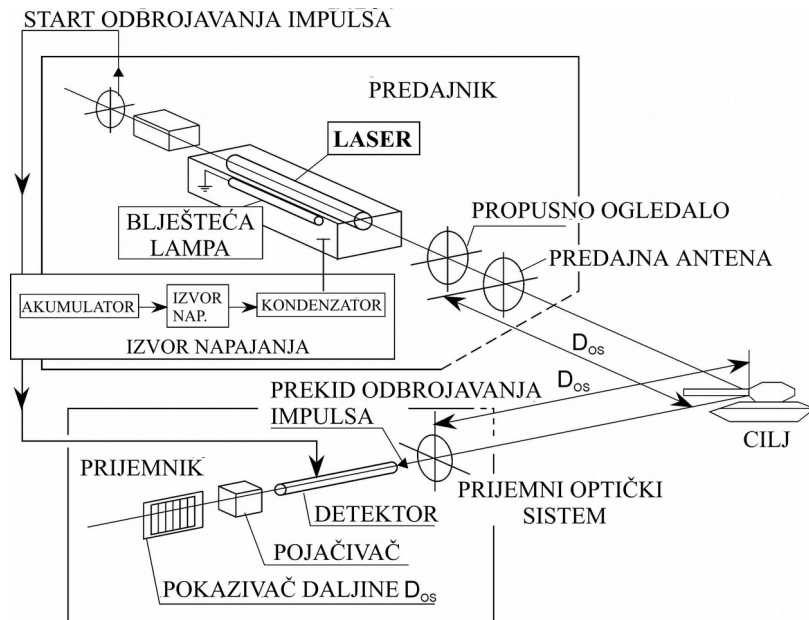
Ovakvo zračenje ponavlja se na svakih T [s], u pravcu cilja najmanje n puta radi pouzdanog određivanja srednje vrednosti daljine, gde je n tzv. učestanost merenja, (slika 9.38.).



Slika 9.38.

Princip merenja daljine laserskim impulsnim uređajem zasniva se na registrovanju vremena, a ne na registrovanju parametara laserskog zračenja. Dakle, vreme za koje impuls pređe razdaljinu od osmatrača do cilja i vrati se do osmatrača iznosi t (slika 9.37.). Takav laserski signal koji šalje predajnik laserskog zračenja (predajni) i reflektovani, koji prihvata prijemnik laserskog zračenja, predstavlja osnovu za određivanje vremenskog intervala " t ", u oblasti zračenja snopa i njegovog povratnog signala. Predajni impuls pokreće brojač (9.39) vremenskog intervala Δt (slika 9.37), a reflektovani signal, nakon povratka, zaustavlja brojač impulsa. Na taj način dobija se vreme potrebno za određivanje dometa kao:

$$t = \sum_{i=0}^{i=n} \Delta t_i . \quad (9.90)$$



Slika 9.39.

Vreme, Δt , je konstanta laserske, prijemno startne elektronike, (fotoćelijskog multiplikatora integrisanog sa digitalnim brojačem impulsa). Ona radi od trenutka starta, pa do prekida koji se zbiva dejstvom povratnog laserskog impulsa, reflektovanog od cilja.

Konačno, daljina osmatrača do cilja ili samog oruđa (kod neposrednog gađanja), izmerena laserom, jednaka je polovini puta koju pređe svetlost oba signala, predajnog, i reflektovanog, i iznosi:

$$D_{os} = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (9.91)$$

dok je greška merenja data izrazom:

$$\Delta D_{os} = c \cdot \frac{\Delta t}{2}, \quad (9.92)$$

i imaće konstantnu vrednost u jednakim meteorološkim uslovima na bilo kojoj daljini, ukoliko brojač ima konstantan interval prebrojavanja impulsa Δt .

Laserski daljinar radi sa nekim minimalnim koeficijentom osetljivosti η ispod koga nije moguća detekcija snage reflektovanog zračenja P_r na prijemniku. Prijemnik pouzdano funkcioniše ukoliko je verovatnoća detekcije 50%. Prijemnik može da raspolaže različitim tipovima foto-detektora. U zavisnosti od konstrukcije, detektori daljinara mogu biti različitih nivoa snage. Obično se koriste:

- detektor tipa fotomultiplikator sa katodom $P_{min} = 0,26 \cdot 10^{-6} \text{ W}$,
- silicijumska fotodioda $P_{min} = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ W}$,
- lavinska germanijumska fotodioda $P_{min} = 85 \cdot 10^{-9} \text{ W}$,
- lavinska silicijumska fotodioda $P_{min} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ W}$,

Merenje laserskim daljinarom zavisi od:

- Karakteristika objekta do koga se meri i sa koga se reflektuje signal
- Karakteristika sredine kroz koju se prostire laserski impuls pri kretanju do cilja (objekta) i pri njegovoj refleksiji i povratku

Svaki od ovih činioca utiče posebno na merenje laserskim daljinarom.

Najvažniji parametri taktičko-tehničkih zahteva za laserski daljinar su:

- minimalna daljina D_{\min} [m],
- moć razlaganja δD [m],
- ugaona moć razlaganja [mrad],
- oblik, veličina i karakteristike cilja (objekta) ($A \times B$),
- temperaturski uslovi upotrebe $\pm t$ [°C],
- učestalost merenja $f = \frac{1}{T}$,
- lažni odraz i logika u radu (selektivnost reflektovanih signala).

Snaga predajnog P_T i prijemnog P_r signala laserskog daljinomera može se izraziti takozvanim koeficijentom osetljivosti, odnosno koeficijentom korisnog dejstva u obliku:

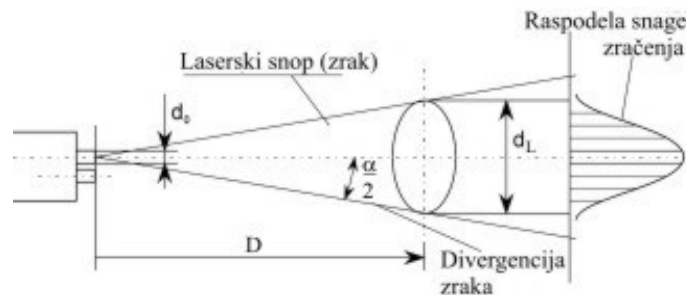
$$\eta = \frac{P_r}{P_T} < 1. \quad (9.93)$$

Ugao divergencije snopa laserskog daljinara, prema lit. [1], može se odrediti na osnovu odnosa prečnika laserske mrlje na cilju i daljine merenja D . Za bilo koje rastojanje D na kome se meri, $\frac{\alpha}{2}$ iznosi:

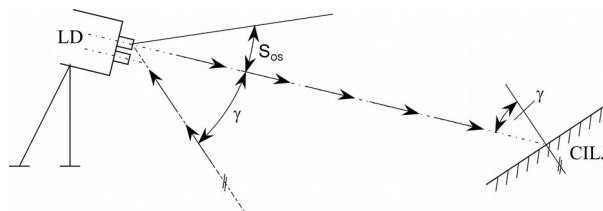
$$\frac{\alpha}{2} = \lim \frac{d_z}{2D} = \frac{2\lambda}{\pi d_0}. \quad (9.94)$$

Na osnovu toga sledi izraz za prečnik laserskog snopa na cilju osvetljenom pod pravim uglom (slika 9.40.), u obliku:

$$\frac{d_z}{2} = \frac{d_0}{2} \left[1 + \left(4 \frac{D \cdot \lambda}{\pi d_0^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (9.95)$$



Slika 9.40.



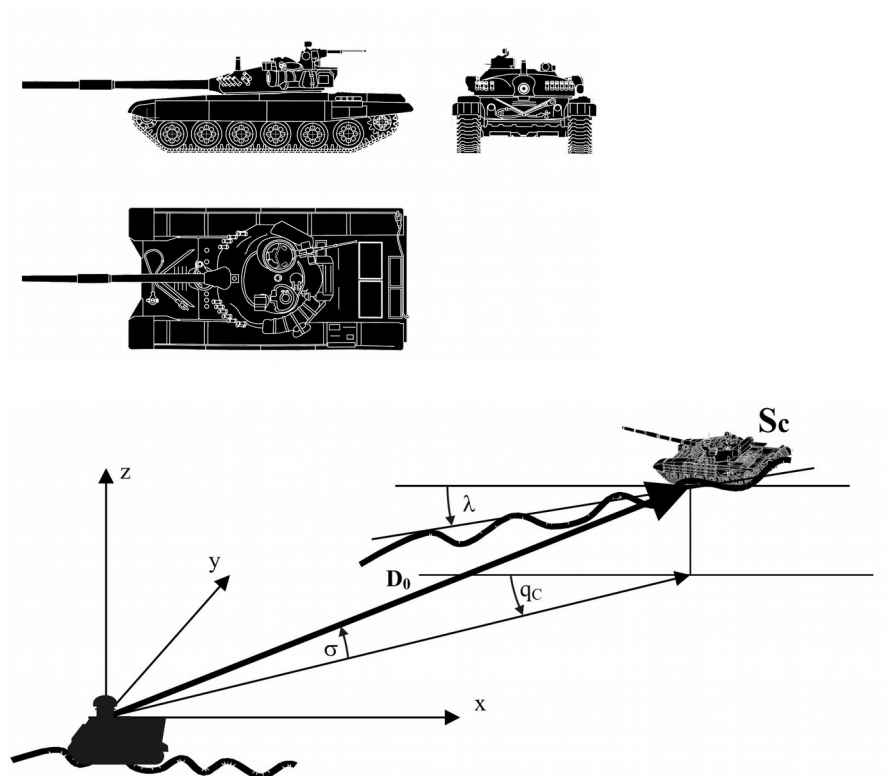
Slika 9.41.

Konačna snaga potrebna za traženi domet D_{Os} iznosi:

$$P_T = c(2\alpha R) \cdot R^2 \quad [W] \quad (9.97)$$

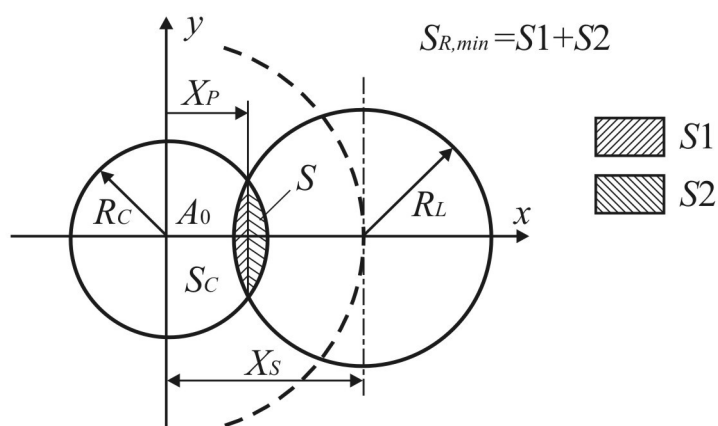
Minimalna daljina laserskog daljinara uslovljena je slikom mrtve zone laserskog daljinara.

$$S_C = S_d (\cos \lambda \cdot \sin \sigma_p - \sin \lambda \cdot \cos q_p \cdot \cos \sigma_p) + \\ + S_b \sin q_p \cdot \cos \sigma_p + \\ + S_{\tilde{c}} (\cos \lambda \cdot \cos q_p \cdot \cos \sigma_p - \sin \lambda \cdot \sin \sigma_p) \Big[m \Big] \quad (9.78)$$



Ako se cilj Sc ozrači laserskim snopom radijusa R_L na merenoj daljini D_0 (slika 9.34.), onda je greška nišanjenja laserskim snopom u odnosu na nišansku tačku cilja A_0 , data veličinom X_S . Nišanjena površina cilja, u prvoj aproksimaciji, može se prikazati krugom radijusa R_C , koji ima istu površinu kao i rezultujuća vidljiva površina Sc , data izrazom (9.78), tako da je radijus kruga cilja:

$$R_C = \sqrt{\frac{S_C}{\pi}} \quad [\text{m}]. \quad (9.79)$$



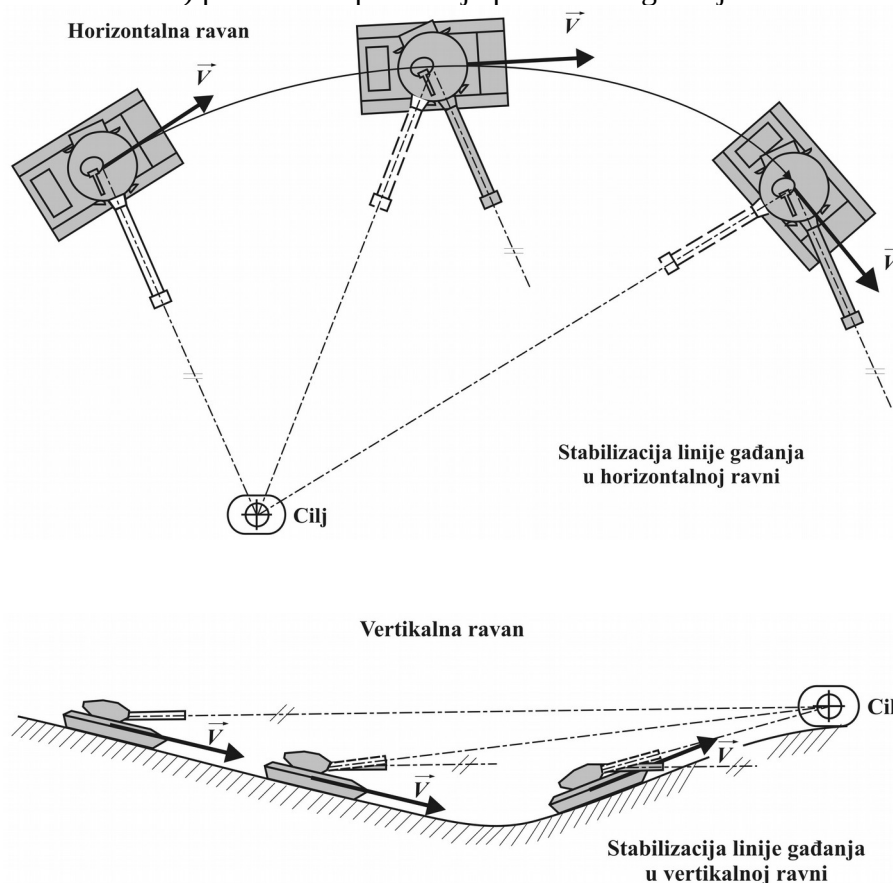
Slika 9.34.

Odstupanjem laserske mrlje, čiji je radijus R_L na datom rastojanju D_0 , formira se presek S aproksimiranog cilja i laserske mrlje. Površina preseka S dobija se lako, ako su poznate jednačine kruga cilja i kruga laserske mrlje u koordinatnom sistemu Oxy u ravni normalnoj na ravan viziranja cilja, koordinata X_P tačke njihovog preseka i položaj X_S tačke odstupanja od tačke nišanjenja.

STRUKTURA AUTOMATSKOG ZAUZIMANJA I KONTROLE UGLOVA U TOKU KRETANJA I GAĐANJA

4.3.1. Opšti zadatak stabilizacije linije gađanja u obe ravni

Stabilizatori artiljerijskih oruđa (topova) tenkova su sistemi za automatsko održavanje oruđa u određenom (komandovanom) pravcu radi povećanja preciznosti gađanja za vreme kretanja



Stabilizatori oruđa ili cevi omogućavaju navođenje i stabilizaciju oruđa, spregnutog mitraljeza i optičkog nišana u vertikalnoj ravni, pa se često nazivaju i vertikalni stabilizatori. Stabilizatori kupole (horizontalni stabilizatori) navode i stabilizuju kupolu tenka zajedno s oruđem, mitraljezom, i posadom, u kupoli tenka. U ovom slučaju top tenka ima zavisnu nišansku liniju, jer je ona vezana s cevima oruđa s kojom se zajedno stabilizuje. Stabilizatori nišanske linije (linije nišanja), odnosno nišanske sprave, koje obezbeđuju navođenje i održavanje zadatog pravca nišanske linije nezavisno od oscilovanja oruđa, kupole i tela tenka, imaju nezavisnu nišansku liniju. Primenom stabilizatora delimično je automatizovana jedna od najvažnijih operacija i olakšano gađanje iz pokreta, odnosno iz kratkog zastoja..

Stabilizatori predstavljaju dva odvojena sistema za automatsko upravljanje. Proces stabilizacije ostvaruje se na sledeći način: operator (nišandžija ili komandir tenka) zadaje željeni pravac linije gađanja, tako da preko upravljačkog pulta deluje na pozicioni žiroskop- žiroskopski senzor ugla, koji se nalazi na oruđu.

Za vreme oscilovanja tela tenka, na oruđe (kupolu) deluje spoljašnji moment M_s , pod čijim dejstvom dolazi do otklona linije gađanja od zadatog pravca. Senzor ugla, koji je povezan s oruđem, kontinualno meri ugaono odstupanje α . Veličina α se pretvara u električni signal, koji se dovodi na ulaz pojačala snage, koje generiše moment stabilizacije M_{st} . Ovaj moment deluje u suprotnom smeru od momenta M_s i vraća oruđe (kupolu) tako da se smanjuje ugaono odstupanje, odnosno tako da se cev (kupola) pod delvanjem razlike momenata $M_0 = M_{st} - M_s$ kreće prema zadatom položaju.

Upravljački signal koji dolazi na ulaz obrađuje se automatski, bez učešća čoveka (kada radi u režimu stabilizacije) ili ga zadaje operator (u režimu navođenja). **Sistemi stabilizacije, međutim, ne omogućavaju potpuno zadržavanje linije gađanja na cilju, pošto stabilizuju cev u prostoru paralelnom sa njenim prethodnim položajem.** To sledi iz osobine njihovog osnovnog senzora - pozicionog žiroskopa. Zbog toga je potrebno dodatno nišanje na cilj, kako je to pokazano na slici 4.15. Dodatno nišanje ima uticaja na preciznost pogađanja pa stabilizatori rešavaju samo deo problema. Potreba za dodatnim nišanjem otklanja se automatskim sistemom. Kod takvog sistema zadatak nišandžije je da nišani na cilj, a sistem automatski preuzima funkciju praćenja cilja i popravke u toku nišanja nisu potrebne. Za precizna gađanja u pokretu moraju se prvenstveno stabilizovati osmatračke i nišanske sprave nišandžije i komandira tenka. Stabilizovano oruđe mora biti sposobno da prati proces stabilizacije nišanskih sprava. Sistem za stabilizaciju cevi dakle predstavlja, samo deo integrisanog automatskog sistema upravljanja vatrom na tenku.

4.3.2. Upravljanje elevacijom stabilisane tenkovske cevi, kao objekta automatskog upravljanja

Kod tenkova II i III generacije stabilizacija linije gađanja po pravcu, kao što je poznato, predstavlja deo SUV-a, koji prati teoriju gađanja za sve slučajeve navedene u prethodnim poglavljima. Taj deo SUV-a predstavlja osnovu automatskog SUV-a na svakom tenkovskom oruđu. Najvažniji elementi SUV-a, za potrebe gađanja iz pokreta predstavljaju upravo automatsku šemu balističkog zadatka postavljenog i rešenog u poglavlju 4.2.2.2., kao i zadatka u poglavlju 4.2.2.1. Oba zadatka rešavaju isti, automatski upravljani izvršni organi zaokretanja cevi po elevacionom uglu θ . Dakle, jedan od osnovnih elemenata SUV-a predstavlja analiza blok šeme automatskog upravljanja linijom gađanja topovske cevi po elevaciji (po visini), koji se svodi na sledeća dva zadatka:

1. Zadatak zauzimanja željenog ugla elevacije u skladu sa potrebama spoljno balističkog gađanja, po utvrđenom i izmerenom položaju cilja. Dakle, zadatak zauzimanja **ŽELJENE (IZRAČUNATE) VREDNOSTI UGLA θ_0** .
2. Zadatak korekcije održavanog zauzetog ugla θ_0 pre opalenja koji se mora održavati usled poremećajnog momenta u toku kretanja tenka po terenu i izmene mesnih uglova cilja (**ZADATAK STABILIZACIJE U TOKU KRETANJA**).

Svaki od ova dva zadatka može se predstaviti u teoriji automatskog upravljanja

zatvorenom petljom sa vlastitom prenosnom funkcijom i od posebnog je interesa za razmatranje

integrisanog koncepta SUV-a na tenkovima i kopnenim borbenim platformama koje vrše

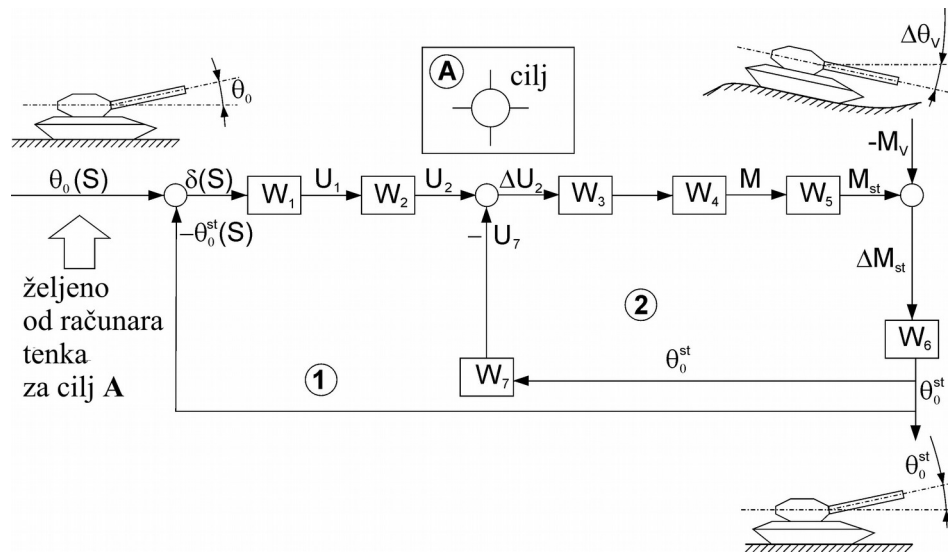
stabilizaciju linije gađanja u pokretu.

Ako se u razmatranje uvedu sledeće veličine kao funkcije kompleksne promenljive S u obliku:

$\theta_0(S)$ – željeni, zadati ugao elevacije topovske cevi, odnosno linije gađanja u automatskom sistemu upravljanja tenkovskim topom,

$\theta_0^{st}(S)$ - stvarni, ostvareni, ugao elevacije topovske cevi, odnosno linije gađanja u automatskom sistemu upravljanja tenkovskim topom, kao realizovana veličina izvršnih organa, onda između ove dve vrednosti može da se formira petlja automatskog upravljanja, data na slici 4.15. Ovom petljom rešavaju se, pri tome, oba navedena zadatka SUV-a. Duž zatvorene petlje 1 (slika 4.15.) održava se željeni ugao sa zadatkom greškom $\Delta(S)$, dok se petlja 2 uključuje kao

stabilizacija zadate veličine usled postojanja poremećajnog momenta M_V , u toku kretanja i automatski je popravljja do zauzete, postavljene, željene vrednosti



Slika 4.15. Automatski blok dijagram za obe petlje upravljanja tenkovskom cevi

Veličine prenosnih funkcija u blok dijagramu su sledeće:

$\delta(S)$ - greška postavljanja željenog ugla $\theta(S)$ u odnosu na ostvareni iznosi:

$$\delta(S) = \theta_0^{st}(S) - \theta_0(S), \quad (4.87)$$

$W_1 = K_{du}$ - koeficijent pretvarača davača ugla elevacije (to je linearni ugaoni potencijometar ili neki drugi sistem),

$W_2 = C_{du}$ - koeficijent potencijometra na ulazu u pojačavački potencijometar željene veličine,

$W_3 = C_0$ - koeficijent potencijometra na samom ulazu u pojačalo koji integriše grešku ugla stabilizacije (potencijometar željene i stabilisane veličine),

$W_4 = K_p$ - koeficijent pojačala (elektronskog), (ulaz napon - izlaz struja ΔI)

dok je:

$$W_5 = \frac{K_{ehp}}{T_h \cdot S + 1},$$

(4.88)

prenosna funkcija hidrauličnog servosistema, kao izvršnog organa za podizanje cevi i ostvarivanje željenog momenta za zauzimanje ugla elevacije. U izrazu za W_5 je:

T_h - vremenska konstanta inercije hidrauličnog pogona za zauzimanje elevacije

K_{ehp} - konstanta koja glasi

$$K_{ehp} = C_m \cdot K \cdot S_{kc} \cdot l_0 \quad (4.89)$$

u kome su:

C_m [Nm/A] - pojačanje elektromehaničkog pretvarača,

K [Pa/Nm] - pojačanje servorazvodnika (hidrauličnog pretvarača),

S_{kc} [m²] - površina klipa u cilindru izvršnog organa za pokretanje cevi po uglu elevacije

i

l_0 [m] - krak sile kojom pritisak u cilindru deluje na tačku veze sa cevi topa.

Izlazna veličina iz funkcije W_5 jeste statički moment za pokretanje cevi po elevaciji M_{st} .

Funkcija:

$$W_6 = \frac{K_0}{(T_0 \cdot S + 1) \cdot S}, \quad (4.90)$$

je prenosna funkcija zauzimanja elevacije i merenja završno zauzetog ugla $\theta_0^{st}(S)$, gde su:

K_0 - koeficijent pojačanja (otpora) samog oruđa (topovske cevi)

i

T_0 - vremenska konstanta samog objekta regulacije, tj. topovske cevi na tenku (sa spregnutim oružjem).

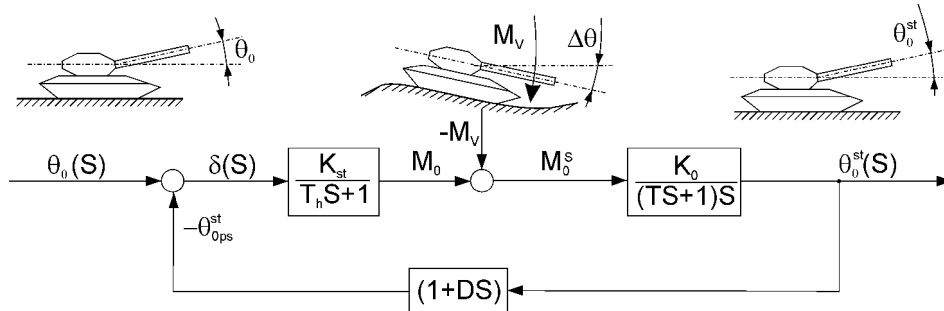
Ulaz je moment $M_0(S)$, koji može biti jednak M_{st} , ako nema poremećaja kretanja, ili različit, ako se sabira ili oduzima sa poremećajnim momentom.

Funkcija:

$$W_7 = K_{db} \cdot S, \quad (4.91)$$

je prenosna funkcija davača ugaone brzine podizanja (spuštanja), cevi po elevaciji, izazvane impulsnim poremećajem u toku kretanja po terenu ili prelaznim režimom pri zauzimanju elevacije iz jednog željenog položaja u drugi željeni položaj.

INTEGRACIJA CELOKUPNE ŠEME STABILIZACIJE LINIJE GAĐANJA PO ELEVACIJI MOŽE SE U KONAČNOM OBLIKU PREDSTAVITI NA SLICI 4.16.



Slika 4.16. Integrisana konačna šema stabilizacije poremećaja i zauzimanja traženog ugla elevacije $\theta_0^{st}(s)$

Koeficijenti dati u blok dijagramu prenosnih funkcija na slici 4.16. dati su sledećim izrazima i imaju sledeća značenja:

$$K_{st} = K_{du} C_{du} C_0 K_p K_{eph} \quad (4.92)$$

je ukupni koeficijent pojačanja signala celokupnog servosistema tj. pretvarača uglovne u željenu momentnu veličinu. Veličina K_0 je koeficijent pojačanja (prigušenja) samog oruđa (topa), dok je:

$$D = \frac{K_{db}}{K_{du} C_{du}} \quad (4.93)$$

vremenska konstanta kola povratne sprege. Ova vrednost predstavlja koeficijent prigušenja, tj. prelaznog procesa zauzimanja nove željene ili ponovo stabilisane vrednosti ugla.

4.3.2.1. Zadatak automatskog zauzimanja željenog (izračunatog) ugla elevacije

Ako se kao željena izračunata veličina elevacije, potrebne za gađanje, nakon izvedenih proračuna i praćenja cilja postavi u obliku $\theta_0(S)$, a izvršni organi mogu da ostvare $\theta_0^{st}(S)$, onda prenosna funkcija sistema za automatsko zauzimanje elevacije glasi:

$$W_n(S) = \frac{\theta_0^{st}(S)}{\theta_0(S)} = \frac{K_{st}K_0}{T_0 \cdot T_h \cdot S^3 + (T_0 + T_h)S^2 + (K_{st} \cdot K \cdot D + 1)S + K_{st} \cdot K_0} \quad (4.94)$$

U režimu tzv. vertikalnog "navođenja cevi", vertikalni stabilizator sistema radi kao "servosistem", i njegova prenosna funkcija $W_n(S)$ data je izrazom (4.94). Ako se karakter ove funkcije predstavi realnom prenosnom funkcijom vremenskog tipa, dobiće se ponašanje cevi u toku režima navođenja pri prelasku sa jednog ugla θ_{01} na drugi ugao elevacije θ_{02} , ugaonom brzinom $\omega_{cy} = \dot{\theta}$. Primer zauzimanja željenog ugla elevacije pri prelasku iz jednog ugla θ_{01} u drugi θ_{02} , po prenosnoj funkciji datoj izrazom (4.94), prikazan je na slici 4.17., na skici tenka ispod grafika.

U periodu $0 \div t'$ oruđe (top) se pomoću servosistema "zaleće" do željene vrednosti ugaone brzine $\omega_{cy} = \dot{\theta} = \text{const}$. Ova ugaona brzina jednaka je brzini precesije spoljašnjeg okvira trostepenog žiroskopa u vertikalnom žirostabilizatoru koji predstavlja tzv. davač ugla.

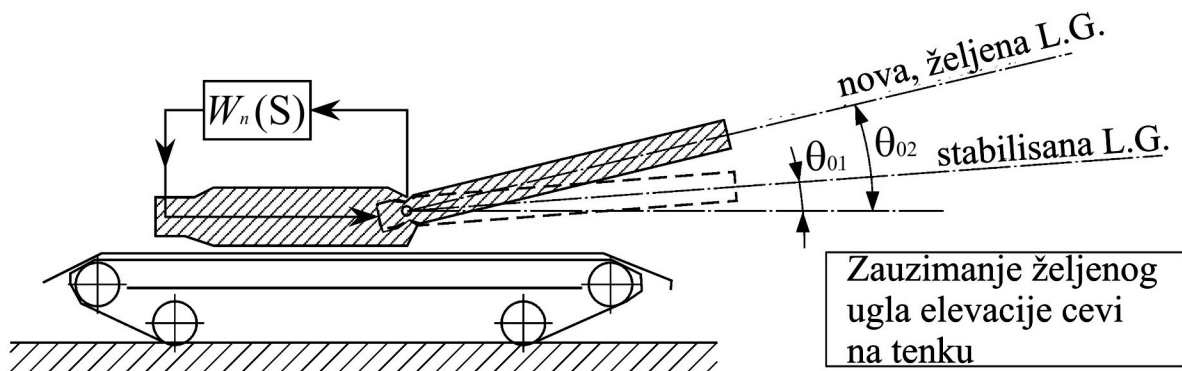
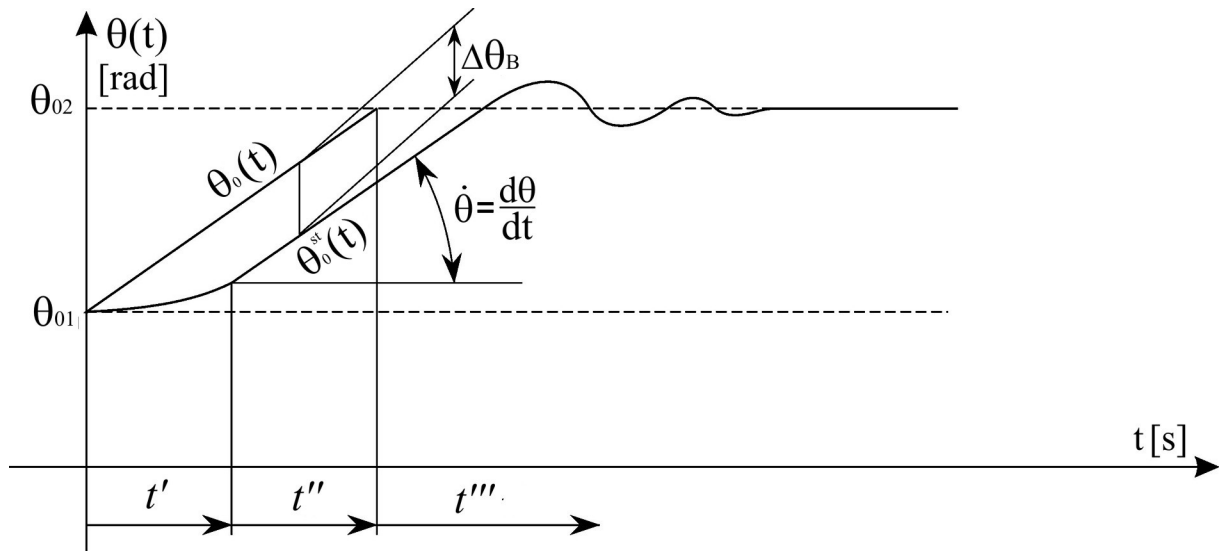
U periodu $t' \div t''$ pojavljuje se greška navođenja, kako usled zaletanja tako i usled promene konstanti, K_{st} i K_0 , i iznosi:

$$\Delta\theta_B = \frac{\dot{\theta}}{K_{st}K_0}, \quad (4.95.a)$$

odnosno

$$\Delta\theta_B = \frac{\omega_{cy}}{K_{st}K_0}. \quad (4.95.b) \text{ Radi}$$

smanjenja ove greške, moguća su delovanja na koeficijente K_{st} i K_0 u izrazu (4.95.a / 4.95.b).



Slika 4.17.

Promena K_{st} moguća je dejstvom na veličinu C_{du} i C_0 (potenciometre), dok je dejstvo na K_0 , vezano za dejstvo na momente u ležaju cevi i u hidrauličnom sistemu, tj. za njihove viskozne karakteristike, s obzirom da je $K_0 = 1 / f_0$, gde je f_0 [Nms] koeficijent viskoznog trenja.

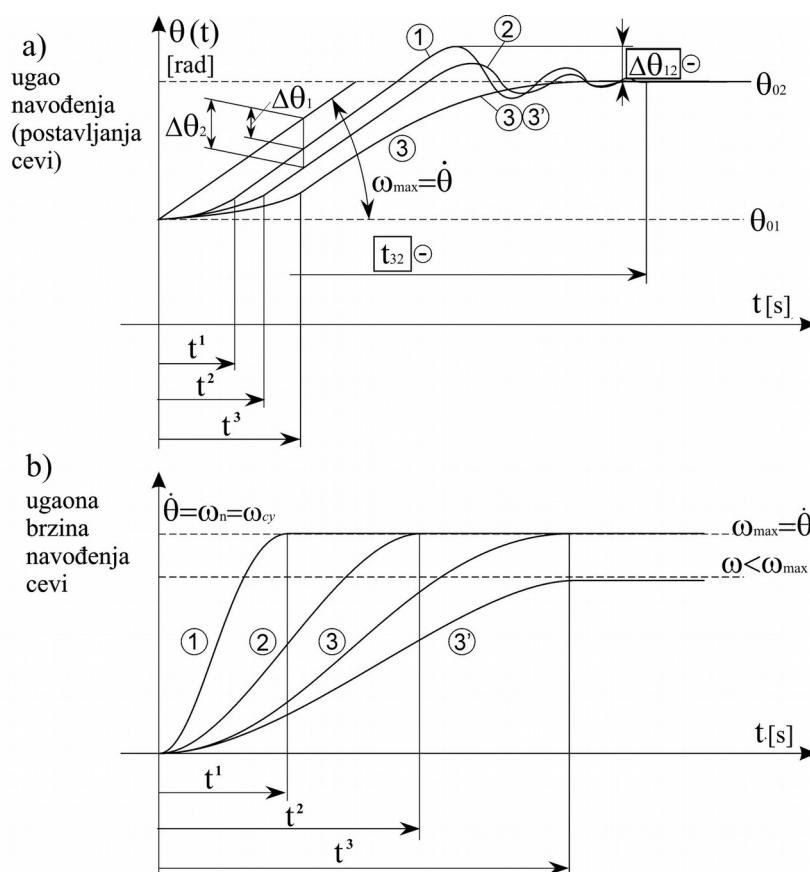
Treći period t''' , u toku prelaznog režima, je kočenje oruđa nakon navođenja, odnosno nakon zauzimanja željene vrednosti ugla elevacije θ_{02} . U zavisnosti od toga kakav je kvalitet trećeg perioda, tj. kočenja, kao i drugog perioda, u toku navođenja, definiše se kvalitet i mogućnost podešenosti i podešavanja tenkovskog topa (oruđa). Prelazne pojave i njihovi uticaji pri navođenju dati su na dijagramu na slici 4.18.a) i 4.18.b). Svakom dijagramu na slici 4.18.a) karakterističnog prelaznog režima odgovara drugačija vrednost ugaone brzine navođenja cevi date na slici 4.18.b). Ove veličine regulišu se pomoću koeficijenta pojačanja i prigušenja D datog izrazom (4.93), a preko koeficijenta K_{st} datog izrazom (4.92). Ako se (4.92) napiše u obliku:

$$K_{st} = K_{st}^{(k)} C_{du} C_0, \quad (4.96.a)$$

odnosno u obliku:

$$K_{st} = K_{st}^{(k)} C_{du} \frac{K_1}{C_{du}}, \quad (4.96.b)$$

onda se karakteristike prelaznih procesa 1, 2 i 3 mogu razmatrati kao funkcije prelaznog režima karakterističnih slučajeva zauzimanja ugla elevacije.



Slika 4.18.

Karakteristika 1 je najoscilatornija i ona je osobina velikih vrednosti C_{du} i C_0 servosistema i malih vrednosti D . Karakteristika 1 je brza, ali vrlo kruta, pa ima veliku amplitudu (prebačaj) željene veličine ugla $\Delta\theta_{21}$ (slika 4.18.a).

Karakteristika 2 podrazumeva prihvatljivu brzinsku grešku ugaone brzine ω_{cy} , kao i mali amplitudni "prebačaj" novozauzete vrednosti $\Delta\theta_{02}$. Takođe ima dovoljno vreme smirenja (kočenja) cevi. Karakteristika 2 je optimalna i dobro podešena stabilizacija cevi.

Karakteristika 3 ima podbačaj ugla i "meku" je, ali takođe i dugo vreme smirenja cevi t_{32} na novu željenu vrednost (slika 4.18.a). Karakteristika 3 je aperiodična, sa velikom brzinskom greškom $\Delta\theta$ i velikim vremenom približnog zauzimanja ugla θ_{02} . Ovu karakteristiku imaju servosistemi sa malim vrednostima C_{du} i C_0 i velikim vrednostima prigušenja D .

Konačni zahtevi za servosistem mogu se sažeti u sledećim stavovima:

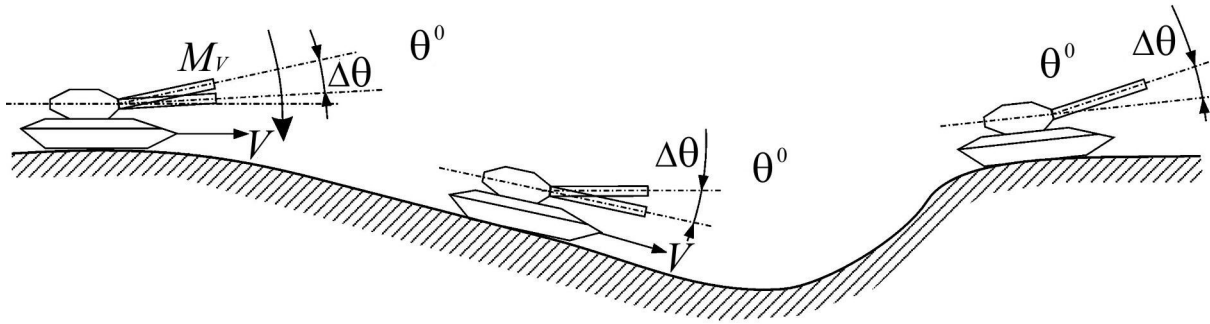
- obezbediti dovoljno stabilan sistem radi smanjenja oscilatornosti prelaznog režima,
- obezbediti dovoljno malo odstupanje u toku prelaznog režima $\Delta\theta_0$,
- obezbediti što kraće vreme zauzimanja potrebne vrednosti ω_{cy} u periodu $0 \div t'$.

4.3.2.2. Zadatak stabilizacije postavljenog ugla elevacije u toku kretanja po neravnom terenu-stabilizacija cevi

U ovom režimu stabilizator održava, sa određenom tačnošću, zadati ugao elevacije oruđa θ_0 , u toku kretanja po neravnom terenu u vertikalnoj ravni (slika 4.19.), sve dok se ne komanduje neki novi željeni ugao. U tom periodu, prenosna funkcija $W(S)$ za $S=0$, ima vrednost statičke greške stabilizacije ugla θ_0 u obliku izraza:

$$\Delta\theta_{gr}^{st} = \frac{M_v}{K_{st}} \quad [\text{rad}], \quad (4.97)$$

gde je M_v poremećajni moment nastao kao impuls koji primi žirostabilisana cev u toku kretanja tenka po neravnom terenu.



Slika 4.19. Stabilizacija pravca cevi po visini (elevaciji)

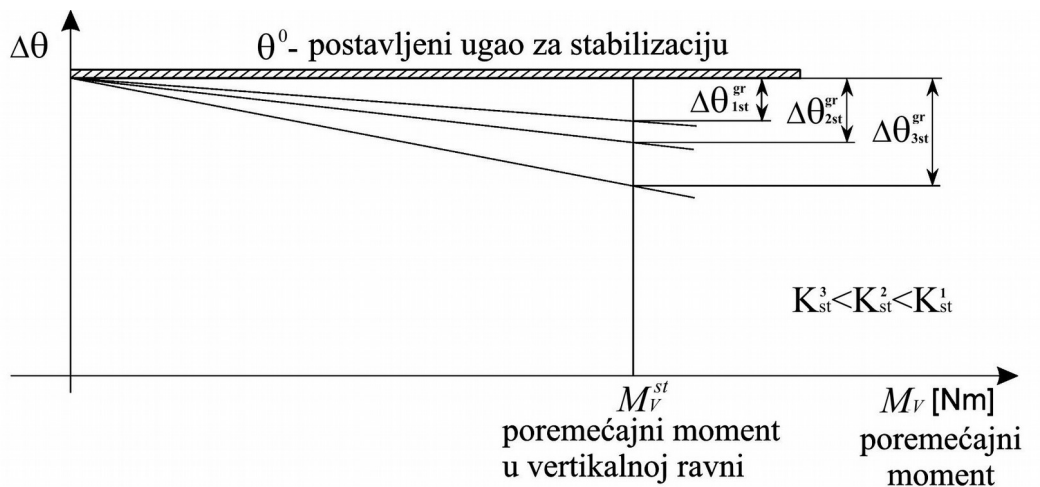
Iz izraza (4.97) sledi da je statička greška proporcionalna poremećajnom momentu M_v i obrnuto proporcionalna pojačanju stabilizatora pravca K_{st} , koja se na tenku može regulisati koeficijentima C_{du} i C_0 (pomoću potencijometara smeštenih u uređaj za stabilizaciju). $\Delta\theta_{gr}^{st}$ je suštinska veličina za tačnost pozicioniranja linije gađanja u odnosu na liniju nišanje, kada se iz tenka gađa u realnim uslovima, iz pokreta po neravnom terenu. Zbog toga je regulacija veličine K_{st} od izuzetne važnosti. Ova veličina predstavlja, kao što je rečeno, proizvod karakteristika pojedinih komponentata u petlji stabilizacije i data je izrazom:

$$K_{st} = K_{du} K_p K_{ehp} C_{du} C_u \quad [\text{Nm/rad}], \quad (4.98.a)$$

odnosno

$$K_{st} = K_{st}^k C_{du} C_0 \quad [\text{Nm/rad}]. \quad (4.98.b)$$

Ova veličina poznata je i pod imenom "eksploataciona krutost", (slika 4.16.), jer se C_{du} i C_0 mogu podešavati u toku korišćenja tenka, dok se veličina K_{st}^k naziva konstruktorska krutost predstavlja osobinu servosistema, pa se na nju ne može uticati.



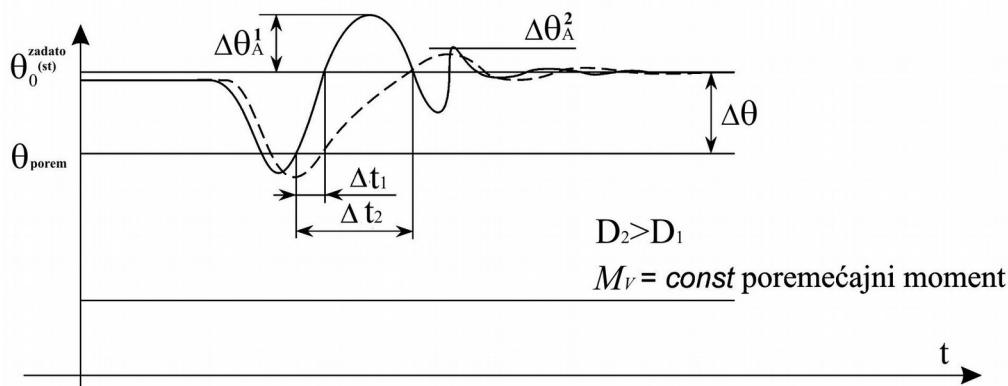
Slika 4.20.

Slika željenog i održavanog ugla elevacije pri postojanju poremećajnog momenta za različito podešene karakteristike pomoću proizvoda koeficijenata $C_{du} \cdot C_0$, data je na dijagramu $\Delta - M_v$, (slika 4.19.). Vreme prelaznog režima smirivanja nakon poremećaja, definiše vremenska konstanta kola povratne veze strukturne šeme, date na slici 4.15.-petlja 2, kao i sumarno na slici 4.20.

Prenosna funkcija $W(S)$ u režimu stabilizacije pod dejstvom poremećajnog momenta M_V , može se napisati u obliku:

$$W(S) = \frac{\Delta\theta_0(S)}{M_V(S)} = \frac{K_0(T_h S + 1)}{T_0 T_h S^3 + (T_0 + T_h) S^2 + (K_{st} K_0 D + 1) S + K_{st} K_0} \quad (4.99)$$

U skladu sa takvom prenosnom funkcijom i izrazom za koeficijent prigušenja D , datog izrazom (4.93), može se konstatovati da će stabilizator sa većom vrednosti D prelaziti iz poremećenog ugla na svoju statičku (zadatu) vrednost sporije, ali sa manjim amplitudama i većim prigušenjem, nego stabilizator sa manjim D pod dejstvom istog poremećajnog momenta M_V , (slika 4.20).



Slika 4.20.

Na sličan način može se razmotriti i stabilizacija u horizontalnoj ravni cele kupole, ali neće biti razmatrana u ovom radu, pošto prevazilazi sadržaj sistema upravljanja vatrom i izračunavanja direktno automatizovanih funkcija zauzimanja elemenata gađanja. U svakom slučaju, zahtevi za uglove i ugaone brzine horizontalne stabilizacije izvedeni su u poglavlju 4.2.1., ali je model servosistema i njegovog upravljanja nešto složeniji zbog većih masa i komplikovanijih funkcionalnih zavisnosti ulaznih i izlaznih veličina.

4.4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Da bi tenkovski SUV postao automatski potreban je dakle laserski daljinomer koji je ugrađen u isto kućište s optičkim nišanom, i sistemom za stabilizaciju cevi, zatim balistički računar spregnut sa uređajima za merenje ugaone brzine cilja, senzori nagiba zemljišta i ramena kule oruđa, te niz senzora za merenje meteoroloških i balističkih parametara. Osim navedenih uređaja, automatski integrisani sistem treba da ima i druge podsisteme kao što su: stabilizator nišanskih sprava, uređaj za noćno nišanje, i dr. Precizno i brzo izračunavanje uglova preticanja predstavlja jednu od najvažnijih operacija pri gađanju ciljeva u pokretu tenkovskim topovima. To se uspešno rešilo uvođenjem lasera i računara u SUV. U početnoj fazi, nišanska linija i linija gađanja su paralelne. Operator (nišandžija) prati cilj usmeravajući cev zajedno s optičkim nišanom.

Kada se signal daljine uvede sa lasera u vremenski krug računara, daljina se pretvara u vremenski integracioni interval T , koji se koristi za izračunavanje uglova preticanja. pošto odgovara vremenu leta projektila. Na komandu operatora uvode se signali ugaonih brzina

i $\dot{\psi}$, cilja koje daju brzinski žiroskopi. Kada istekne integraciono vreme T integratori su izračunali

uglovna skretanja $\dot{\psi} \cdot t_i$ i θ koja bi nastala tokom vremena. leta projektila T pa cev zauzima završnu ugaonu poziciju preticanja prateći automatski liniju viziranja cilja sprežanjem sa nišanskom spravom. U računar se automatski i kontinualno uvode sledeći električni signali:

- signal daljine iz laserskog daljinara

- signal brzine i smera bočnog vetra iz senzora vetra;
- signali mesnog ugla i nagiba ramena kolevke iz vertikalnog žiroskopa, i klatna
- signal početne brzine za odgovarajući projektil.

Na osnovu signala daljine signala brzine i smera bočnog vetra u računaru se određuje tablični ugao E , popravka zbog derivacije δ i popravka zbog uticaja bočne komponente vetra W_p .

Tablični ugao, derivacija i popravka zbog bočnog vetra u računaru se svode na vertikalni, odnosno horizontalni koordinatni sistem. Pre nego što se ove njihove vrednosti (električni signal) sumiraju s ugaonim skretanjem, one se razlažu na popravke u horizontalnoj i vertikalnoj ravni tenka. Zatim se projektovane vektorske komponente sabiraju u sabiraču s ugaonim skretanjima, tako da se na izlazu iz računara dobijaju električni signali koji odgovaraju ugaonim skretanjima:

- za pravac: $\dot{\psi} = \dot{\psi}_i + E_s + \delta_s + W_{ps}$

- za elevaciju: $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_i + E_h + \delta_h + W_{ph}$

gde su:

$\dot{\psi}$ - ugaona brzina cilja u horizontalnoj ravni,

$\dot{\varphi}$ - ugaona brzina cilja u vertikalnoj ravni.

E_s, E_h - komponente tabličnog ugla u horizontalnoj, odnosno. vertikalnoj ravni;

δ_s, δ_h - komponente ugla derivacije u horizontalnoj, odnosno vertikalnoj ravni;

W_{ps}, W_{ph} - komponente brzine vetra u horizontalnoj, odnosno vertikalnoj ravni.

Električni pozicioni servomehanizmi (servomehanizam pravca i servomehanizam elevacije) optičkog nišana pretvaraju signale u ugaona skretanja, tako da nišansku liniju zajedno s laserom otklanjaju za veličinu uglova preticanja u odnosu na osu cevi.

Operator vraća nišansku liniju na cilj i nastavlja da prati cilj, pri čemu je osa cevi usmerena prema budućem položaju cilja.

Precizno izračunavanje ugla preticanja, omogućeno je tek primenom lasera, senzora uticaja okoline, računara i senzora uglova brzine cevi kojom se ona usmerava na cilj u horizontalnoj i vertikalnoj ravni.

Računar je, najčešće, izveden tako da pruža mogućnost kombinovanja pojedinih komponenata s različitim sistemima za upravljanje vatrom, bez posebnog podešavanja.. Ulazni parametri koje računar obrađuje za dobijanje odgovarajućih elemenata za gađanje su:

- daljina cilja;
- ugaona brzina cilja po pravcu (azimutu);
- ugaona brzina cilja po visini (elevaciji);
- pritisak vazduha;
- temperatura vazduha;
- bočna komponenta vetra;
- nagib terena;
- nagib ramena kolevke;
- temperatura baruta;
- ishabanost cevi (pad početne brzine);
- paralaksa.

Izlazne veličine iz računara su električni signali pomoću kojih se pozicioniraju optički nišan i oruđa u miliradijanim (hiljaditima).

Ulazne veličine uvode se u računar automatski ili se postavljaju ručno na upravljačkom pultu računara.

Podaci za ulazne veličine, koje se menjaju sa svakim ispaljenim projektilom, unose se u računar automatski pomoću raznih senzora i laserskog ili optičkog daljinomera.

Primer tenka kao samohodne borbene platforme sa teškim naoružanjem principijelno se ne razlikuje od bilo koje druge samohodne platforme koja bi gađala ciljeve u pokretu i iz pokreta. Naravno, slika pogodaka i balistička ravan gađanja, kao i način njenog zauzimanja u toku praćenja cilja, zavisi od karakteristike i metodologije kojom se uvode praćene koordinate u sistem upravljanja vatrom i od servo sistema za pozicioniranje oruđa. Kada se ta sprega uvede preko senzora kojim se osmatra i nišani, stabilisanim linijama, i uvede preko računara u komande oruđa za gađanje, čiji su elementi gađanja takođe stabilisani, onda se ceo zadatak gađanja, može tretirati kao superautomatizovani model gađanja prenosom vatre između dva uzastopna položaja osmotrenih ili praćenih ciljeva.

3. OSNOVNI TIPOVI ARTILJERIJSKIH PROCEDURA I MEHANIKA GAĐANJA

3.1. OSNOVI ZEMALJSKE ARTILJERIJE

Da bi se ostvarile karakteristike artiljerijske vatre, postupci koji prethode izvršenju gađanja moraju da obezbede međusobnu povezanost, tačnost rada i što kraće vreme izvršavanja svih operacija.

Artiljerijskom gađanju prethodi **opšta i neposredna priprema**.

Opšta priprema se odnosi na više gađanja i obuhvata:

- izbor vatrenog položaja,
- određivanje mesta oruđima,
- uspostavljanje veze,
- snabdevanje municijom,
- određivanje položaja osmatrača i slično.

Neposredna priprema se odnosi samo na jedno gađanje i vrši se pred svako gađanje, a obuhvata **određivanje elemenata za gađanje i izdavanje komande za gađanje**.

Određivanje elemenata gađanja podrazumeva utvrđivanje položaja koji treba da zauzme cev oruđa (ugaonih koordinata), da bi se sa određenom vrstom projektila, sa definisanim punjenjem i poznatim balističkim i meteorološkim uslovima gađanja, pogodio cilj čiji je položaj u odnosu na oruđe utvrđen i poznat na osnovu faze opšte pripreme. U toku pripreme za gađanje vrši se:

- topografska priprema (određivanje položaja oruđa i cilja),
- balistička priprema,
- meteorološka priprema (uzimanje u obzir balističkih i meteoroloških uticaja) i dr.

Vatrom artiljerije rukuje ili upravlja određeni artiljerijski starešina (izvršilac gađanja), kome može da bude na raspolaganju:

- osmatračka služba ili osmatrača, na određenim položajima ili osmatračkim pokretnim platformama, snabdeveni potrebnim instrumentima. Oni imaju zadatak da neprekidno osmatraju vatrene zone jedinica i da sredstvima za prenos podataka dostavljaju podatke o osmatranju i o promeni vlastitog položaja;
- računarsko odeljenje ili računar sa odgovarajućim softverom, na osnovu informacija od osmatrača i topografskih podataka o vatrenom položaju i položaju cilja, kao i informacija o municiji i stanju oruđa i meteorološkim uslovima gađanja, vrši proračun elemenata gađanja. Računarsko odeljenje, takođe, određuje elemente za gađanje u odnosu na osnovno oruđe, a ove podatke koriste ostala oruđa u bateriji, ukoliko svako nije snabdeveno automatskim sistemom SUV-a;
- meteorološka stanica, koja radi za potrebe većeg broja artiljerijskih jedinica, snabdevena sredstvima kojima meri stanje atmosfere. Ona dostavlja podatke u određenim vremenskim intervalima svim artiljerijskim jedinicama;
- baterija – osnovna artiljerijska jedinica, i divizion kao viša jedinica, koja izvršava gađanje i koja predstavlja oruđa i njihove posade.

U zavisnosti od toga da li je cilj vidljiv ili nevidljiv, gađanja se suštinski dele na **POSREDNA** i **NEPOSREDNA** Procedura nišanjenja može se, sprovesti i sa vatrenog položaja neposredno, a gađanje vršiti ubacnom putanjom posredno.

Sistemi za neposredna gađanja su namenjeni za gađanje nepokretnih i pokretnih ciljeva sa mesta i iz pokreta, ili samo sa mesta, na daljinama ne većim od 5000 do 6000m, dakle na malim daljinama.

Sistemi za posredna gađanja služe samo za gađanja iz mirovanja i to uglavnom nepokretnih i sporopokretnih ciljeva i kolona na daljinama, koje se za savremena artiljerijska sredstva kreću do 40 km. Izuzetak čine balistički raketni sistemi lansirani sa brodova, kao i savremeni raketni krstareći sistemi, koji ne spadaju u klasu balističke artiljerije.

Tendencije SUV-a u artiljeriji, koji je do sada po prirodi bio neintegrisan na jednu platformu, upravo su modernizacija funkcija za brzo, precizno, mobilno delovanje prvim metkom bez zadataka korigovanja grešaka padnih tačaka projektila.

Od svih sistema za upravljanje vatrom se zahteva tačno, brzo i pouzdano određivanje potrebnih podataka za gađanje. Pored ovoga od sistema za neposredna gađanja se zahteva i kontinualno praćenje najbitnijih podataka za gađanje – uglova po visini i po pravcu – i njihov automatski prenos na cev oruđa i uređaje za nišanje, čime se upravo obezbeđuje gađanje pokretnih ciljeva i gađanje iz pokreta.

Razlike između sistema za posredno i neposredno gađanje, odnosno neintegrisanog i integrisanog sistema proističu iz:

1. potrebnog, ili bolje reći zahtevanog, vremena pripreme za izvršenje gađanja (vremena za prikupljanje, unošenje i obradu podataka),
2. zahtevanog balističkog modela za određivanje podataka za gađanje i
3. zahtevanih uređaja za pokretanje i upravljanje oruđem.

Potrebno (zahtevano) vreme za prikupljanje i unošenje podataka kod sistema za posredno gađanje je znatno duže nego kod sistema za neposredno gađanje (misli se na podatke: o ciljevima, repnim tačkama i vatrenim položajima, meteorološkim podacima i podacima o municiji). Ovo je naročito izraženo kod vučnih artiljerijskih oruđa koja nisu smeštena na samohodne platforme, pa su elementi sistema upravljanja vatrom raspoređeni u reonu rasporeda vatrene jedinice, kao i u reonu osmatranja ciljeva.

Zahtevani balistički model za određivanje podataka za gađanje, kod sistema za posredno gađanje, s obzirom na svojstva balističkih putanja svih vrsta municija sa kojima se gađa na daljinama i do 40 km, je znatno složeniji nego kod sistema za neposredno gađanje.

Uređaji za pokretanje i upravljanje oruđem kod sistema za neposredno gađanje su neuporedivo složeniji, jer moraju da obezbede gađanje pokretnih ciljeva i gađanje iz pokreta. Kod sistema za posredno gađanje mogu se koristiti i mehanički uređaji za ručno pokretanje oruđa. Sistemi za neposredno gađanje zahtevaju vrlo složene i precizne elektrohidraulične uređaje za pokretanje i elektronske servouređaje za upravljanje oruđem, radi obezbeđenja kontinualnog praćenja cilja.

Da bi se lakše razumela rešenja primenjena u sistemu za upravljanje vatrom zemaljske artiljerije (ZA), potrebno je da se na samom početku izlože neophodni pojmovi i definicije iz pravila gađanja i primene nišanskih i osmatračkih uređaja.

3.2. OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE IZ TEORIJE GAĐANJA

Zadatak gađanja i rešenja balističkog modela leta projektila i pogotka cilja počinje od pripreme elemenata gađanja za bilo koju od sledećih mogućih procedura u toku borbenog dejstva artiljerije:

- gađanje prvim pripremljenim metkom;
- korekture artiljerijske vatre;
- prenosa vatre;
- gađanje pokretnih ciljeva, po posebnoj proceduri sa elementima preticanja.

Osnovni elementi za gađanje i način njihove pripreme pri posrednim gađanjima su (slika):

- vrsta municije koja definiše aerodinamiku i spoljnobalistička svojstva,
- uglomer (U), koji predstavlja ugao po pravcu u horizontalnoj ravni,
- daljinar (Dar), jedan od uglova u vertikalnoj ravni,
- mesna sprava (Mes), (mesni ugao cilja, ugao u vertikalnoj ravni),

- punjenje (Pe), predstavlja broj punjenja koje određuje početnu brzinu projektila (ovaj parametar nemaju raketni projektili, već samo klasični, pošto se kod klasične artiljerije početna brzina rešava brojem punjenja baruta),
- daljina (D), daljina do cilja,
- tempiranje (Ter), element vezan za dejstvo upaljača koji se bira na municiji pre opalenja (kašnjenje dejstva upaljača na cilju ili u reonu cilja).

Da bi se izvršila priprema ovih elemenata za gađanje potrebno je raspolagati sa:

- Podacima o cilju (C) – koordinatama cilja;
- Podacima o vatrenom položaju (VP) – koordinatama vatrenog položaja;
- Meteorološkim podacima (meteo biltenom) – raspodelom brzine vetra, okolnih pritisaka i temperatura;
- Podacima o oruđu i municiji (početnoj brzini V_0 , ili odstupanju početne brzine projektila ΔV_0 , koja se obično daje u tablicama za različite tipove projektila, odstupanje mase projektila Δq od nominalne i temperaturi baruta t_b)

Sa odgovarajućim tablicama gađanja (TG) i priborom za upravljanje vatrom (PUV), ako se ne raspolaže sa balističkim računarom, odnosno artiljerijskim računarskim uređajem (ARU), svi ovi elementi se mogu zauzeti bez integralnog proračuna.

Priprema elemenata za gađanje može biti:

- potpuna,
- skraćena,
- prosta.

Potpuna priprema elemenata zahteva da se raspolaže svim napred navedenim tačnim podacima.

Za druga dva načina se podrazumeva da se, u većoj ili manjoj meri, ne raspolaže svim potrebnim podacima, pa se oni ne uzimaju u obzir, ili se vrši njihova procena, a gađanje izvršava prema uslovima na terenu.

Uglovne veličine koje se koriste u artiljeriji potiču od podele punog kruga $2\pi = 6.28$ rad, pomnoženim sa 1000, što čini tačno 6280 hiljaditih. Ugao koji iznosi 1 hiljadita predstavlja ugao strme ravni visine 1m, a dužine 1000 m. Da bi se uprostila procedura baždarenja uređaja za precizno zauzimanje uglova, učinjena su približenja podele kruga na 6280 delova. Tako je po ruskoj podeli hiljadita nešto veća i iznosi $1/6000$ od punog kruga, a po američkoj podeli nešto manja i iznosi $1/6400$ od punog kruga. Zbog toga, sprave za zauzimanje elemenata gađanja nisu iste kod oruđa istočnog i zapadnog porekla, pa i za to postoje tablice za preračunavanje ili se uključuje u softver koji podatke proračunate po jednom modelu pretvara u podatke po drugom modelu. Obeležavanje zauzetih elemenata, kako u horizontalnoj ravni, tako i u vertikalnoj može se predstaviti sledećim primerom:

- ugao od 1 hiljadite obeležava se sa 0-01;
- ugao od 1 0 hiljaditih obeležava se sa 0-10;
- ugao od 100 hiljaditih obeležava se sa 1-00;
- ugao od 1000 hiljaditih obeležava se sa 10-00.