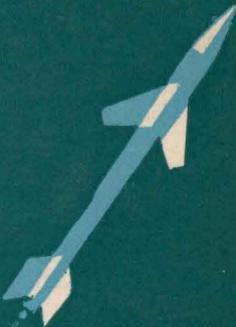


130.966
ZIMOV.
STRELKOV



daljinsko UPRAVLJANJE RAKETAMA



MONSERRATE
GARIBOLDI
1898

VOJNA BIBLIOTEKA

INOSTRANI PISCI

NOVINE IZ VOJNE NAUKE I TEHNIKE

KNJIGA PETA

UREĐIVAČKI ODBOR

general-pukovnik Srećko MANOLA, general-pukovnik u penziji Božo LAZAREVIĆ, general-potpukovnik Boško ĐURIČKOVIĆ, viceadmiral Bogdan PECOTIĆ, general-potpukovnik Mirko BULOVIC, general-potpukovnik u penziji Vekoslav KOLB, general-major avijacije Nikola LEKIĆ, vazduhoplovnotehnički pukovnik Miroslav BORAS, tehnički pukovnik Mihajlo KOKOLJEVIĆ, dipl. inž.; pešadijski pukovnik Milan GLUMAC, pešadijski pukovnik Zdravko ĐUKOVIĆ (odgovorni urednik)

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD
B E O G R A D
1968.

CENTRALNA VOJNA BIBLIOTEKA

INV. BR.

130966

K. I. ZIHANOV
B. G. STRELKOV

ДАЛЬНИЙ УПРАВЛЕНИЕ РАКЕТАМИ
ДЛЯ ПОДРОБНОГО ПОНИМАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТАМИ

DALJINSKO UPRAVLJANJE RAKETAMA



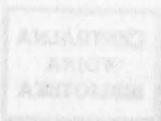
ОФОРМЛЕНИЕ ОДНОГО
ЧОССО ЗАЩИЩЕНО АВТОРСКОМ
ПРАВОМ — КОД 04

NASLOV DELA U ORIGINALU

Инженер-подполковник
ЗИХАНОВ КОНСТАНТИН ИВАНОВИЧ
инженер-капитан СТРЕЛКОВ ВИКТОР ГРИГОРЬЕВИЧ

**ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ
РАКЕТ**

Preveo s ruskog
Vazduhoplovnotehnički major
RATKO PAVLIĆ, dipl. inž.



Военное издательство
Министерства обороны СССР
Москва — 1966.

S A D R Ž A J

	Strana
UVOD	7
G l a v a I OPŠTE O DALJINSKOM UPRAVLJANJU	9
1. Klasifikacija sistema upravljanja	11
1.2. Zadaci koje rešavaju sistemi daljinskog upravljanja	20
G l a v a II METODE VOĐENJA DALJINSKI UPRAVLJANIH RAKETA	24
2.1. Direktno navodenje ili metoda »tri tačke«	27
2.2. Navođenje sa konstantnim koeficijentom preticanja	30
2.3. Metoda paralelnog približavanja	31
2.4. Metoda polupreticanja	35
2.5. Specifičnosti navođenja antiraketa	36
2.6. Kombinovane metode navođenja	37
G l a v a III PRINCIPI KONSTRUKCIJE SISTEMA DALJINSKOG UPRAVLJANJA	39
3.1. Sastav i uzajamna veza elemenata sistema daljinskog upravljanja	39
3.2. Viziri cilja i rakete	45
3.3. Računarski uredaji	59
G l a v a IV METODE I UREĐAJI ZA PRENOŠENJE KOMANDI	74
4.1. Metode formiranja i prenošenja neprekidnih komandi	75
4.2. Metode formiranja i prenošenja diskretnih komandi	89
G l a v a V SISTEMI NAVODENJA ANTIRAKETA »NAJK-ZEVS« I »NAJK-X«	110

Ova knjižica ulazi u seriju »Raketna tehnika« koju izdaje VOJENOJE IZDATELJSTVO. U njoj se govori o principima konstruisanja sistema daljinskog upravljanja, elementima sistema i njihovom uzajamnom dejstvu i o zadacima koji se rešavaju pomoću sistema daljinskog upravljanja.

Čitalac se upoznaje sa osnovnim metodama navođenja raket na cilj, koje se primenjuju u sistemima daljinskog upravljanja, i sa metodama formiranja i prenosa komandi na raketu. Na kraju se daje opis sistema navođenja antiraketa »Pajk-Zevs« (Nike-Zeus) i »Pajk-X« (Nike-X).

U knjižici su korišćeni materijali iz otvorene domaće i strane literature.

Knjižica je namenjena vojnicima, podoficirima, slušaocima vojnih učilišta, kao i širem krugu čitalaca, koji se interesuju za probleme raketne tehnike. Nju mogu takođe koristiti i oficiri za pripremu zanimanja sa vojnicima i podoficirima raketnih jedinica.

U V O D

Pri rešavanju različitih zadataka iz oblasti nauke, industrije i naoružanja često se javlja potreba za upravljanjem mehanizmima i procesima sa nekog rastojanja. Usled niza činioca čovek ne može uvek neposredno da vrši potrebna merenja, ili da interveniše pri radu nekog mehanizma. Na primer, pre slanja broda sa ljudskom posadom u kosmos potrebno je ispitati kosmičku sredinu u pogledu opasnosti po život čoveka, ispitati mogućnosti zaštite od raznih zračenja i razraditi načine povratka kosmičkog broda na Zemlju. Sva ova ispitivanja bilo je moguće provesti samo pomoću uredaja kojima se upravljalo sa rastojanja i koji su omogućili dobijanje potrebnih podataka.

Čovek ne može neposredno raditi kod atomskog motora, jer bi dobio veliku dozu radioaktivnog zračenja. I u ovom slučaju su spasonosni mehanizmi daljinskog upravljanja i merenja.

Može se navesti mnogo primera korišćenja tehnike daljinskog upravljanja i merenja u različitim oblastima nauke i tehnike. Posebno široku primenu je tehnika daljinskog upravljanja dobila u oblasti naoružanja za upravljanje bespilotnim sredstvima i raketama različite namene.

Glava I

OPŠTE O DALJINSKOM UPRAVLJANJU

Daljinskim upravljanjem^{*)}) nazivaju se načini i sredstva upravljanja mehanizmima i procesima sa nekog rastojanja. Da bi se ostvarilo upravljanje na rastojanju, sa nekim izvršnim mehanizmima i procesima, potrebno je rešiti niz posebnih zadataka.

Kao prvo, potrebno je imati dovoljno potpune informacije o stanju mehanizma ili procesa kojim se želi upravljati, tj. potrebno je izvršiti merenje na rastojanju. Govořeci jezikom stručnjaka, javlja se potreba za merenjem na daljini, koje se ostvaruje odgovarajućim mernim elementima.

Kao drugo, potrebno je izvršiti analizu stanja izmernih parametara izvršnog mehanizma (procesa), na osnovu koje će biti moguće doneti odgovarajuća rešenja o daljim aktivnostima. Analizu i donošenje rešenja može vršiti ili čovek, ili računarski uređaj zajedno sa uređajima za formiranje upravljačkih komandi u zavisnosti od prirode aktivnosti i njenog obima.

Kao treće, potrebno je rešiti zadatak prenošenja upravljačkih komandi na izvršni uređaj nezavisno od rastojanja između njega i upravljačkog punkta. Ovaj zadatak se izvršava pomoću tzv. linije (voda ili kanala) da ljinskog upravljanja, preko koje se upravljačke komande mogu prenositi u obliku električnih ili radio-signala.

^{*)} Kod nas se za daljinsko upravljanje često upotrebljava termin teleupravljanje ili teledirigovanje, čime se ističe primena telekomunikacione tehnike u procesu upravljanja. — *Prim. prev.*

Skup svih uređaja koji izvršavaju zadatak upravljanja objektom na rastojanju naziva se *sistem daljinskog upravljanja*. Proces upravljanja izvršnim uređajem u ovom sistemu ostvaruje se pomoću specijalnih komandi, koje se daju sa upravljačkog punkta, pa se zbog toga sistem daljinskog upravljanja ponekad naziva *komandni sistem upravljanja*.

Sistem daljinskog upravljanja ili komandni sistem upravljanja u opštem slučaju mora da sadrži:

- merni uređaj (uređaj za merenje na daljinu);
- upravljački punkt (komandno mesto) sa računarskim uređajem, čiju ulogu u nekim slučajevima može vršiti čovek;
- kanal ili vod daljinskog upravljanja (kanal ili vod za prenos komandi);
- izvršni uređaj.

Sistemi daljinskog upravljanja mogu se primenjivati za daljinsko upravljanje kako nepokretnih, tako i pokretnih objekata sa različitim brzinama kretanja. Sistemi daljinskog upravljanja naročito se široko primenjuju pri upravljanju kretanjem bezpilotnih sredstava, uključujući rakete različite namene.

U daljem tekstu razmotrićemo sisteme daljinskog upravljanja, koji izvršavaju zadatak navođenja raketa na cilj, tj. zadatak upravljanja kretanjem rakete.

Sistem daljinskog upravljanja raketama sastoји se od istoga skupa uređaja (kompleksa uređaja), kao i svaki drugi sistem daljinskog upravljanja, ali zadaci, koje izvršavaju pojedini uređaji imaju konkretniji, specifičan karakter. Ukratko ćemo razmotriti namenu pojedinih elemenata sistema daljinskog upravljanja raketama.

Merni uređaj služi za određivanje tekućih koordinata pokretnog cilja i rakete i naziva se vizir cilja i vizir rakete.

Komandno mesto (upravljački punkt) sa računarskim uređajem, na osnovu podataka o položaju cilja i rakete, izračunava putanju kretanja rakete i formira upravljačke komande.

Kanal daljinskog upravljanja vrši prenos upravljačkih komandi na raketu.

Izvršni mehanizam služi za upravljanje letom rakete kako u atmosferi, tako i u bezvazdušnom prostoru i predstavlja kormila rakete sa njihovim pogonskim mehanizmima.

1.1. Klasifikacija sistema upravljanja

Sistemom upravljanja naziva se skup uređaja koji obezbeđuju upravljanje rakete duž čitave putanje leta do susreta sa ciljem, ili na deonici izvođenja rakete na balističku putanju.

Sastav uređaja sistema upravljanja određen je načinom upravljanja, koji je primjenjen u datom sistemu.

Svi poznati načini upravljanja raketama mogu se podeliti na nekoliko vrsta od kojih svaka koristi određene principе merenja i formiranja signala za upravljanje kretanjem rakete.

Pogodna je sledeća klasifikacija načina upravljanja:

- upravljanje s komandnog mesta;
- autonomno upravljanje;
- samonavođenje;
- kombinovano upravljanje.

U zavisnosti od načina upravljanja letom rakete, postojeći sistemi upravljanja mogu se podeliti na tri vrste:

- sisteme daljinskog upravljanja (teleupravljanje);
- autonomne sisteme upravljanja;
- sisteme samonavođenja.

*

Upravljanje sa komandnog mesta jeste u tome da se program kretanja rakete, ili njena putanja, određuju na komandnom mestu (upravljačkom punktu) i da se tu kontrolišu pomoću odgovarajućih sredstava. Ovaj način upravljanja je realizovan u sistemima daljinskog upravljanja, pomoću kojih se rakete mogu navoditi kako na nepokretne ciljeve, tako i na ciljeve koji se kreću različitim brzinama.

U poslednjem slučaju mora se sa komandnog mesta vršiti neprekidno praćenje kretanja cilja, tj. merenje parametra putanje cilja.

Pri upravljanju sa komandnog mesta, signali upravljanja kormilima rakete mogu se formirati na komandnom mestu ili na samoj raketni, ali se i u jednom i u drugom slučaju putanja kretanja određuje na komandnom mestu od strane operatora ili u računskom uređaju, što zavisi od prirode kretanja cilja i primenjene metode navođenja.

Prema tome, u zavisnosti od mesta formiranja signala upravljanja kormilima rakete, mogu se izdvojiti sledeća dva načina navođenja sa komandnog mesta:

— formiranje komandnih signala na komandnom mestu i njihovo prenošenje po kanalu daljinskog upravljanja (kanal veze) na raketu;

— formiranje signala upravljanja na raketni pomoću specijalnih uređaja, koji mere odstupanje raketni od zadane linije ili ravni kretanja u prostoru; pri ovom načinu pravac linije ili ravni kretanja u prostoru zadaje se sredstvima komandnog mesta i može se menjati u toku navođenja raketni na cilj.

Ponekad se prvi način naziva daljinsko upravljanje, a drugi — daljinsko osmatranje (orientisanje).

U zavisnosti od načina i mesta stvaranja signala upravljanja, sistemi daljinskog upravljanja raketni mogu se podeliti na sledeće vrste:

- sistemi navođenja po snopu;
- sistemi komandnog upravljanja;
- radio-navigacioni sistemi upravljanja.

Sistemi navođenja po snopu predstavljaju kompleks uređaja koji obezbeđuje kretanje raketni u određenom pravcu, zadanom sa komandnog mesta (upravljačkog punkta).

Pravac kretanja raketni može biti zadan pravcem emitovanja radio-talasa, ili pravcem emitovanja svetlosne ili toplotne energije.

Pri odstupanju raketni od zadanog pravca, uređaji koji su smešteni u raketni stvaraju signal greške. Ovaj signal se pretvara u komandu upravljanja kormilima, koja pri

tome vraćaju raketu na pravac leta zadan sa komandnog mesta. Za stvaranje oštro usmerenih snopova, u savremenim sistemima se obično koriste razne antene (parabolične, sočivaste itd.).

U procesu navođenja rakete snop radio-talasa može se podudarati sa pravcem na cilj (pratiti cilj) ili sa pravcem na tačku preticanja. U prvom slučaju, za praćenje cilja i rakete može se koristiti jedan isti uređaj, a u drugom slučaju potrebno je imati dva takva uređaja.

Glavne dobre osobine sistema su:

— mogućnost navođenja, po jednom snopu, više raket (gađanje rafalom), koje se lansiraju u određenim vremenskim intervalom;

— jednostavnost konstrukcije uređaja na raketni i uređaja na komandnom mestu.

Zahvaljujući ovim prednostima, sistemi navođenja po snopu primenjuju se za raketu različite namene. Ovakav sistem navođenja primenjuje se, na primer, za navođenje rakete vrste »vazduh-vazduh« »Sperou« (Sparow-1) (SAD), koja se lansira sa aviona-nosača. Ovaj avion ima jedan radar za praćenje cilja i rakete. Sistem navođenja po snopu primenjen je i kod brodske protivavionske vođene raket »Sislag« ((Seaslag) (Engleska)).

Nedostatak sistema navođenja po snopu je nemogućnost istovremenog navođenja raket na dva ili više ciljeva, koji se nalaze (lete) u zoni dejstva sistema.

Sistemi komandnog upravljanja odlikuju se time što se signali upravljanja letom raket stvaraju na komandnom mestu (upravljačkom punktu) i odatle se prenose na uređaje u raketni. Komandno mesto se može nalaziti na zemlji, brodu ili na avionu. Da bi se rešio zadatak navođenja raket na cilj pomoću upravljačkih komandi, stvorenih na komandnom mestu, potrebno je poznavati koordinate cilja i raket.

U opštem slučaju, sistem komandnog upravljanja može sadržati uređaje koji mere koordinate cilja i raket, izračunavaju putanju leta raket i stvaraju upravljačke komande, kao i uređaje za prenos upravljačkih komandi (emitovanje komandi sa komandnog mesta i njihov prijem na raketni).

Ove uređaje mogu predstavljati:

- viziri cilja i rakete, pomoću kojih se prati cilj i raka-
ta i mere njihove koordinate;
- računarski uređaji sa uredajem za stvaranje komandi, čiju ulogu u nekim sistemima preuzima operator;
- kanal za prenos upravljačkih komandi, koji se sastoji od predajnog uređaja na komandnom mestu, kanala veze i prijemnog uređaja na raketni.

Sistemi komandnog upravljanja veoma su tačni, uz dosta velike domete navođenja, zatim imaju relativno jednostavne uređaje na raketni i mogućnost korišćenja različitih metoda navođenja.

Sistemi komandnog upravljanja mogu se osobito široko primenjivati za navođenje raketa vrste »zemlja-vazduh«, koje su namenjene za uništavanje ciljeva sa velikim opsegom brzina. Ovakav sistem se koristi za navođenje protivavionskih vođenih raketa »najk ajaks« (Nike Ajax) i »najk herkules« (Nike Hercules) (SAD). U ovim sistemima se za praćenje cilja i rakete i određivanje njihovih koordinata koriste radari za praćenje. Upravljačke komande prenose se na raketni preko kanala radio-veze.

Kod raketa vrste »zemlja-zemlja«, sistem komandnog upravljanja najčešće se primenjuje za navođenje protivtenkovskih raketnih projektila. Na primer, protivtenkovski vođeni raketni projektil »Dart« (Dart) (SAD) u letu vodi operator pomoću dovoljno jednostavnog uređaja sa žičnom vezom. Osmatranje cilja i rakete vrši se preko optičkog vizira, postavljenog na komandnom mestu (upravljačkom punktu).

Analogan sistem upravljanja imaju drugi protivtenkovski raketni projektili kopnenih vojski Engleske, Francuske i drugih kapitalističkih zemalja.

Komandni sistem upravljanja ređe se primenjuje za navođenje aviona-projektila i balističkih raketa. U oružanim snagama SAD ovaj sistem se primenjuje na zastarelim raketama, na primer, za navođenje taktičke krilate rakete »Lakros« (Lacrosse) i balističke rakete »Korporal« (Corporal).

Zajednički nedostatak sistema komandnog upravljanja, koji ograničava oblast njihove primene, jeste smanjenje tačnosti navođenja, sa povećanjem daljine usled smanjenja tačnosti određivanja koordinata cilja i rakete.

Radio-navigacioni sistemi navode rakete koristeći princip zone jednakih zakašnjavanja signala. Zonu jednakih zakašnjavanja signala stvaraju predajnici, koji se nalaze na zemljinoj površini.

Radio-navigacioni sistemi se, po pravilu, primenjuju za navođenje raketa u jednoj horizontalnoj ravni, pri čemu se visina zadaje i određuje visinomerom. Ovakvi sistemi su podesni samo za navođenje krilatih raketa na nepokretne ciljeve.

Glavna prednost radio-navigacionog sistema je u mogućnosti istovremenog navođenja više raketa na različite ciljeve.

Zajednički nedostatak radio-navigacionih sistema, koji ograničava njihovu primenu za upravljanje raketama, jeste njihova slaba sposobnost zaštite od ometanja, tj. oni nisu zaštićeni od uticaja radio-ometanja, kojega protivnik veštački stvara.

Pri *autonomnom upravljanju*, signali upravljanja letom rakete stvaraju se na samoj raketi, u skladu sa unapred zadanim putanjom leta.

U ovom slučaju se upravljanje letom rakete ostvaruje pomoću autonomnog sistema upravljanja, koji predstavlja kompleks uređaja smeštenih u raketi. Ovi uređaji obezbeđuju upravljanje kretanjem rakete, u skladu sa zadatim programom leta. Program se određuje na startnom položaju i uvodi se u odgovarajući programski uređaj rakete.

Autonomni sistem upravljanja, pomoću uređaja koji ulaze u njegov sastav, izvršava sledeće zadatke:

- određuje parametre putanje leta rakete (brzinu, ubrzanje i slično) u toku čitavog vremena kretanja, ili na deonici izvođenja rakete na balističku putanju; parametre određuje merni uređaj;

- upoređuje dobijene rezultate merenja tekućih parametara putanje sa veličinama uvedenim u pamteći (programske) uređaj;

— stvara signale upravljanja, koji obezbeđuju let rakete po zadanoj putanji pomoću upravljačkih organa.

Za merenje parametara putanje kretanja rakete mogu se koristiti orientiri vezani za Zemlju (na primer, magnetsko polje, gravitaciono polje) i orientiri koji su vezani za kosmičke izvore zračenja (svetlosno zračenje i radio-zračenje zvezda, radio-zračenje maglina itd.).

U zavisnosti od vrste primjenjenog mernog elementa, savremeni autonomni sistemi upravljanja nose sledeće nazive:

- žiroskopski,
- inercijalni, i
- astronavigacijski.

Inercijalni sistem autonomnog navođenja, posebno se često primenjuje za navođenje balističkih raketa i avionaprojektila (zahvaljujući svojoj jednostavnosti i pouzdanoći u radu).

Ovakav sistem je primjenjen, na primer, na avionuprojektilu »Regulus« (Regulus) i na balističkim raketama srednjeg i velikog dometa »Polaris« (Polaris) i »Minuteman« (Minuteman) (SAD).

Pri autonomnom načinu upravljanja, putanja kretanja rakete, koja obezbeđuje pogađanje cilja, određuje se pre starta, a na osnovu poznavanja koordinata cilja, startnog položaja i tehničkih mogućnosti rakete. Ovaj način upravljanja je najpogodniji za upravljanje raketama koje se lansiraju sa nepokretnih lansirnih rampi i koje se navode na nepokretan cilj. Pored toga on se može primeniti i pri lansiranju sa pokretnog objekta, na primer, sa podmornice, broda ili aviona.

Primena autonomnog načina navođenja omogućava dovoljnu tačnost pogotka pri vrlo velikim daljinama navođenja rakete.

Osnovni nedostatak autonomnih sistema upravljanja je nemogućnost promene ili ispravljanja putanje rakete, koja je već lansirana. Usled toga, ovi sistemi se ne mogu primeniti za navođenje raketa na pokretne ciljeve, čiji se položaj menja u toku leta rakete.

Pri samonavođenju, kao i pri autonomnom upravljanju, rakete se na cilj navode pomoću uređaja koji se nalaze na samoj raketi. Samonavođenje se od drugih načina navođenja razlikuje po tome što pri njemu kao orijentir za raketu služi cilj, koji se po nekoj karakteristici mora isticati u odnosu na okolnu sredinu. U tom slučaju signali upravljanja raketom, koje stvaraju uređaji na raketi, zavise od parametara kretanja cilja, a ovi se pak, utvrđuju na osnovu signala koje zrači cilj ili koji se odbijaju od cilja.

U sastav sistema samonavođenja obično ulaze sledeći uređaji:

- vizir cilja (koordinator), koji određuje parametre kretanja cilja i koji time vrši ulogu mernog elementa sistema; koordinator se, u zavisnosti od vrste samonavođenja, sastoji ili od primopredajnika ili samo od prijemnika;
- računarski uređaj koji stvara signale upravljanja kretanjem raketom, u skladu sa usvojenom metodom navođenja;
- upravljački uređaj koji pretvara signale upravljanja u uglove zaokreta kormila ili motora.

Po principu rada, samonavođenje može biti aktivno, poluaktivno i pasivno.

Pri aktivnom samonavođenju (slika 1a) pravac na cilj se određuje pomoću sredstava koja se nalaze u samoj raketi. Radi toga se emituje signal iz predajnog uređaja 1 i prima energija odražena od cilja. Za stvaranje signala može se koristiti energija radio-talasa ili energija svetlosnih, toplotnih, ultrazvučnih i zvučnih talasa.

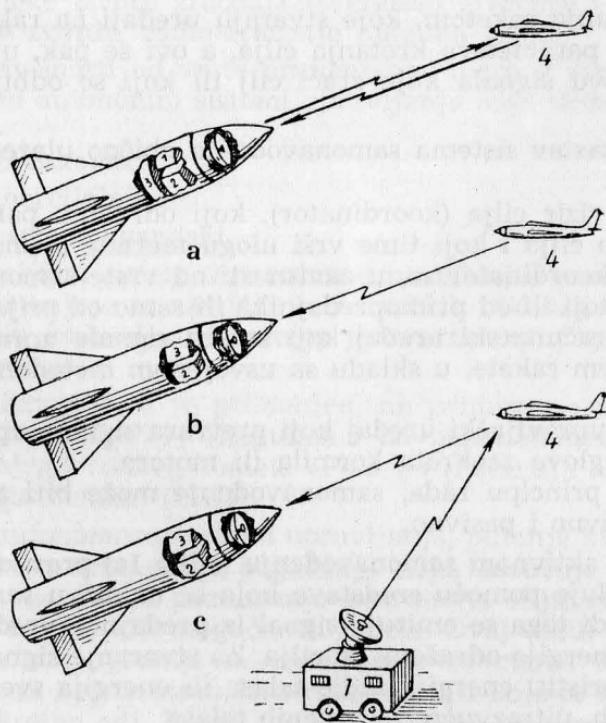
Raketa koja koristi aktivno samonavođenje potpuno je autonomna u letu i ne zahteva nikakve spoljašnje izvore energije.

Pri poluaktivnom samonavođenju (slika 1c), kao i pri aktivnom, za određivanje pravca na cilj koristi se energija signala odraženog od cilja. Razlika je u tome što se izvor energije, koji ozračava cilj, nalazi izvan raketom (na zemlji, brodu ili avionu). U tom slučaju se cilj »osvetljava« pomoću stranog izvora. Kod većine sistema poluaktivnog samonavođenja obično se kao energija za »osvetljavanje« cilja



koristi energija radio-talasa, koji imaju dovoljno veliki do-met prostiranja i malo slabljenje u atmosferi.

Poluaktivno samonavodenje, u poređenju sa aktivnim, omogućuje da se postigne veća daljina dejstva zahvaljujući većim snagama signala, emitovanih iz predajnog ure-



Sl. 1 — Vrste samonavodenja:

a — aktivno samonavodenje, b — pasivno samonavodenje, c — poluaktivno samonavodenje, 1 — predajni uredaj, 2 — prijemni uredaj, 3 — uredaj za upravljanje letom rakete, 4 — cilj

daja 1, s obzirom da je snaga predajnika koji se postavlja u raketni ograničena težinom i gabaritima.

Pri pasivnom samonavodenju (slika 1b), za određivanje pravca na cilj koristi se energija koju zrači cilj.

Cilj može biti izvor zračenja elektromagnetskih (svetlosnih i radio) i zvučnih talasa, kao i izvor radioaktivnog zračenja.

Pri pasivnom samonavođenju naročito se mnogo primenjuje toplotno ili infracrveno zračenje objekata, koje ih izdvaja od okolne sredine.

Potrebno je imati u vidu da pri svim vrstama samonavođenja uređaji u raketi samostalno rešavaju zadatak susreta raketne sa ciljem.

Sistemi samonavođenja omogućavaju da se sa velikom tačnošću uništavaju manevrišući ciljevi, pri čemu se tačnost navođenja povećava proporcionalno približavanju rakete cilju.

Jedan od glavnih nedostataka sistema samonavođenja je relativno mala daljina (domet) dejstva.

Sistemi samonavođenja mogu se koristiti na raketama bilo koje vrste, ali su najviše primjenjeni na raketama »vazduh-vazduh« i »zemlja-vazduh« (»brod-vazduh«). Na primer, rakte za vazdušnu borbu »Falkon« (Falcon) (SAD), čiji je domet oko 8 km, imaju nekoliko modifikacija, koje se razlikuju po glavama za samonavođenje. Uپedo sa aktivnom ili poluaktivnom radarskom glavom, na raketu se može postaviti i pasivna glava za samonavođenje, koja koristi infracrveno (toplotno) zračenje.

*

Kombinovano upravljanje se sastoji u paralelnom ili postupnom korišćenju dvaju ili više načina upravljanja radi postizanja najveće efikasnosti uništavanja cilja pri velikoj daljini navođenja raket.

Postupna kombinacija načina upravljanja najviše je primenjena. Na primer, pri navođenju vođene rakte »sperry-1« vrste »vazduh-vazduh«, koristi se navođenje po radio-snopu na početnom i poluaktivno samonavođenje na završnom delu putanje.

Kombinovano upravljanje sa različitim kombinacijama načina upravljanja može biti primenjeno na raketama svih vrsta.

1.2. Zadaci koje rešavaju sistemi daljinskog upravljanja

Sistemi daljinskog upravljanja se mogu primenjivati na raketama različitih tipova, koje se koriste kako u miro-ljubive, tako i u ratne svrhe. Za mnoge tipove raketa sistem daljinskog upravljanja predstavlja osnovni sistem.

Za rešavanje postavljenih zadataka sistemi daljinskog upravljanja se mogu koristiti samostalno ili u kombinaciji sa drugim sistemima upravljanja, radi poboljšanja njihovih tehničkih i taktičkih mogućnosti. Mnoge se rakete u procesu navođenja postupno upravljaju sistemima daljinskog upravljanja, autonomnog navođenja ili sistemom sa-monavodenja.

U procesu navođenja rakete sistemom daljinskog upravljanja, u zavisnosti od namene rakete, rešava se ceo kompleks taktičkih i tehničkih zadataka. Tako, na primer, bojne rakete su namenjene za uništavanje različitih neprijateljskih objekata (zemaljskih, vazdušnih, kosmičkih, pokretnih i nepokretnih).

Rakete koje se primenjuju u miro-ljubive svrhe koriste se za istraživanje kosmičkog prostora, stratosfere i jonsfere.

Cilj primene daljinski vođenih raketa određuje obim zadataka koje sistem upravljanja mora rešiti u svakom konkretnom slučaju.

Rakete vojne namene, u zavisnosti od mesta lansiranja i mesta objekta koga treba uništiti, mogu se uslovno podeliti na četiri vrste:

- »zemlja-zemlja« (»brod-zemlja«, »brod-brod«);
- »zemlja-vazduh«;
- »vazduh-vazduh«;
- »vazduh-zemlja«.

Sistemi daljinskog upravljanja (vođenja) mogu biti postavljeni na raketama različitih vrsta, a to opet određuje i krug zadataka, koje sistem rešava.

Sistemi daljinskog vođenja raketa »zemlja-zemlja« mogu se primenjivati za navođenje protivtenkovskih vođenih raketa, balističkih raketa različitog dometa i aviona-

-projektila. Ciljevi ovih raketa mogu biti sporopokretni ili nepokretni objekti na zemljinoj površini. Za navođenje raket je u ovom slučaju potrebno poznavanje koordinata cilja i koordinata upravljačkog punkta, koje predstavljaju polazne podatke za rešavanje sledećih zadataka:

- proračuna putanje leta rakete;
- proračuna veličine odstupanja rakete od proračunske putanje;
- stvaranja i prenosa na raketu komandi upravljanja kormilima i, ukoliko je potrebno, motorom radi obezbeđenja kretanja rakete po zadatom programu.

Ovi zadaci se rešavaju pomoću uređaja koji se uglavnom nalaze na upravljačkom punktu.

Sistemi daljinskog upravljanja se najšire primenjuju za navođenje raketa »zemlja-vazduh«, koje su namenjene za uništavanje manevrišućih, tj. onih koji mogu menjati putanju leta, i nemanevrišućih ciljeva, tj. onih koji se kreću po unapred poznatom određenom zakonu. U manevrišuće ciljeve spadaju avioni i avioni-projektili, a u one koji ne manevrišu spadaju balističke rakete i veštački Zemljini sateliti.

Pri navođenju rakete na cilj sistem daljinskog upravljanja mora da vrši:

- neprekidnu kontrolu parametara kretanja cilja i rakete;
- izbor metode navođenja rakete na cilj, koja se određuje na osnovu parametara putanje leta cilja i tehničkih mogućnosti rakete;
- izračunavanje veličine odstupanja rakete od zadane putanje leta;
- stvaranje i prenos, na raketu, komandi upravljanja kormilima i radom motora radi dovođenja rakete u oblast susreta sa preciznošću koja obezbeđuje uništenje cilja;
- određivanje momenta aktiviranja bojne glave rakete ili momenta uključenja blizinskog upaljača i davanje odgovarajućih komandi.

Osim pobrojanih zadataka, sistemi daljinskog vođenja, pomoću uređaja koji ulazi u njihov sastav, mogu rešavati takođe zadatke otkrivanja cilja, izbora cilja za uništenje,

izdvajanja cilja iz sredine sa veštačkim ili prirodnim smetnjama itd.

U savremenim sistemima daljinskog upravljanja ceo kompleks ovih zadataka rešava se pomoću automatskih uređaja i elektronskih računara. Intervencija čoveka je, po pravilu, ograničena na izvršavanje najprostijih operacija.

Široka primena sistema daljinskog upravljanja za navođenje raketa »zemlja-vazduh«, objašnjava se dosta kvalitetnim tehničkim karakteristikama sistema, a ponekad i zato što nije moguće primeniti neki drugi sistem upravljanja.

Tako, na primer, za navođenje raketa na balističke ciljeve, koji imaju vrlo velike brzine i veliki domet, po mišljenju stranih stručnjaka, najpogodniji je sistem daljinskog upravljanja, jer se u današnje vreme u SAD smatra da je samonavođenje duž čitave putanje leta antirakete tehnički neostvarljivo. Doista domet sistema navođenja antirakete mora biti ogroman. Na primer, ako je brzina balističke rakete jednaka 7 km/s , srednja brzina antirakete oko 3 km/s , iako do susreta treba da dođe na daljini 150 km, onda u tom slučaju u trenutku lansiranja antirakete rastojanje do cilja iznosi 500 km. Oprema sistema samonavođenja, koja bi mogla otkriti bojnu glavu balističke rakete na takvom rastojanju, previše bi bila glomazna, tako da je raketa ne bi mogla nositi.

Primena sistema daljinskog vođenja za navođenje antiraketa omogućava da se na antirakete postave relativno jednostavni i pouzdani uredaji pri dovoljnoj tačnosti samog navođenja.

Sistemi daljinskog upravljanja se koriste i za upravljanje različitim kosmičkim objektima, koji predstavljaju iste onakve radiom upravljane rakete, kao što su i rakete koje su ih izbacile na proračunsku putanju. U takve objekte spadaju veštački Zemljini sateliti, kosmičke i globalne rakete, koje se upravljaju sa zemaljskog upravljačkog punkta. Pri upravljanju takvom vrstom objekata, sistem daljinskog upravljanja mora rešavati dosta širok kompleks zadataka i obezbediti:

- izbacivanje objekta pomoću vođene rakete na proračunsku putanju;
- upravljanje orijentacijom objekta u prostoru;
- upravljanje prenosom dobijenih informacija na zemaljski upravljački punkt;
- povratak objekta (u slučaju potrebe) na Zemlju;
- upravljanje letom objekta.

Svi ovi zadaci se rešavaju pomoću signala i komandi za upravljanje kormilima, sistemom za orientaciju, uređajima za merenje i motorima kosmičkog objekta. Ovi signali i komande se emituju sa zemaljskog upravljačkog punkta.

Prema tome, iz navedenih primera sledi da se sistemi daljinskog upravljanja raketama, zahvaljujući svojim tehničkim mogućnostima, široko primenjuju za upravljanje raketama različite namene, kada one izvršavaju široki kompleks zadataka, koji je pred njima postavljen.

Glava II

METODE NAVOĐENJA DALJINSKI UPRAVLJANIH RAKETA

Metoda navođenja predstavlja određenu organizaciju kretanja rakete po unapred zadanom zakonu.

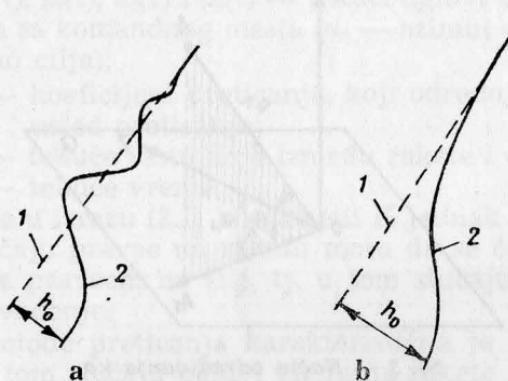
Putanja leta daljinskih upravljenih raketa može se podeliti na dve karakteristične deonice: na etapi izvođenja na zadanu putanju leta i etapi navođenja po putanji.

Zadatak sistema daljinskog upravljanja na etapi izvođenja je da za minimalno moguće vreme izvede raketu na zadanu putanju leta. Putanja leta rakete na etapi izvođenja na putanju zavisi od mnogih faktora, uključujući uslove lansiranja, položaj snopa radara za praćenje rakete u trenutku hvatanja (zahvata) signala od rakete, tačnost izbacivanja rakete u snop radara, metodu izvođenja rakete na putanju navođenja itd. Na etapi izvođenja rakete na putanju sistem daljinskog upravljanja upravlja letom rakete pomoću komandi upravljanja kormilima, čija veličina zavisi od veličine odstupanja rakete od proračunske putanje navođenja. Na slici 2 pokazane su dve najkarakterističnije putanje leta rakete na etapi izvođenja na proračunsku putanju. Za putanju prikazanu na slici 2a karakteristične su oscilacije, pri kojima raketa u procesu izvođenja na putanju jedan ili više puta preseca proračunsku putanju navođenja. Za drugu putanju (slika 2b), nпротив, karakteristično je postupno izvođenje rakete na zadani pravac leta.

Etapa izvođenja rakete na putanju smatra se završenom kada veličina odstupanja rakete od zadane putanje

leta postane manja od neke određene veličine i kada je više ne premašuje.

Na etapi navođenja putanja leta rakete je određena odabranom metodom navođenja i putanjom kretanja cilja.

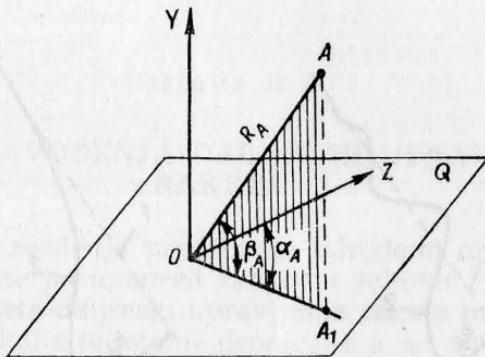


Sl. 2 — Putanje leta rakete na etapi izvođenja na proračunsku putanju:
a — oscilatorno izvođenje, b — postupno (kontinualno) izvođenje, 1 — proračunska,
2 — stvarna

Za komandne metode navođenja sa upravljačkog punkta je karakteristično da sve tačke putanja leta rakete i cilja, ako je cilj pokretni objekat, leže na zracima koji izlaze iz upravljačkog punkta. Ovo se objašnjava potrebom određivanja njihovih koordinata, koje se ostvaruju odgovarajućim vizirima, i potrebom upravljanja raketom u letu. Zbog toga je crtanje putanje leta daljinski upravljanje rakete za zadalu metodu navođenja i određenu, proizvoljno odabranu, putanju kretanja cilja podesnije vršiti na zracima koji izlaze iz upravljačkog punkta.

Pravac zraka u prostoru najpodesnije je određivati pomoću dva ugla: azimuta α_A , tj. ugla u horizontalnoj ravni, računatog u smeru kretanja kazaljke na satu, između pravca Z , odabranog za referentni, i projekcije zraka OA , na horizontalnu ravan Q ; — mesnog ugla β_A , tj. ugla izme-

du horizontalne ravni Q i zraka OA (slika 3). Ovi uglovi se još nazivaju uglovi viziranja. Poznavajući u svakom trenutku uglove viziranja raketne i kosu daljinu u toku njenog navođenja na cilj, može se nacrtati putanja leta raketne.



Sl. 3 — Način određivanja koordinata tačke A iz upravljačkog punkta O :

Q — horizontalna ravan, OZ — usvojeni smer odmeravanja azimuta, OY — vertikalni pravac, OA_1 — projekcija zraka OA na horizontalnu ravan, α_A — azimut tačke A , β_A — mesni ugao tačke A , R_A — kosa daljina.

Pri navođenju raketne na cilj, pravac upravljački punkt-rakete može se u svakom trenutku poklapati sa pravcem upravljački punkt-cilj. U tom slučaju se radi o tzv. direktnom navođenju. Ako se pravac na raketu poklapa sa pravcem usmerenim u tačku, koja se nalazi ispred cilja, onda se u tom slučaju radi o metodi navođenja sa preticanjem.

Pri bilo kojoj metodi navođenja raketa mora se vršiti prostorno upravljanje letom u dvema ravnima. U zavisnosti od putanje i koordinata cilja, kao i od izabrane metode navođenja, u svakom trenutku se na raketu šalje komanda, koja za dotični trenutak određuje pravac kretanja raketne prema cilju.

Za svaku metodu navođenja raketa sa komandnog mesta mogu se napisati opšte matematičke zavisnosti uglova

viziranja rakete od putanje leta cilja (od uglova viziranja cilja):

$$\begin{aligned}\alpha_r(t) &= \alpha_c(t) + K \cdot r(t); \\ \beta_r(t) &= \beta_c(t) + K \cdot r(t),\end{aligned}\quad (2.1)$$

gde su: $\alpha_r(t)$, $\beta_r(t)$, $\alpha_c(t)$ i $\beta_c(t)$ — tekući uglovi viziranja rakete i cilja sa komandnog mesta (α_r — azimut rakete, β_r — mesni ugao cilja);

K — koeficijent preticanja, koji određuje popravku usled preticanja;

$r(t)$ — tekuće rastojanje između rakete i cilja;

t — tekuće vreme.

Ako je u izrazu (2.1) koeficijent K jednak nuli ($K=0$), u tom slučaju pravac na raketu mora da se čitavo vreme poklapa sa pravcem na cilj, tj. u tom slučaju postoji direktno navođenje.

Za metode preticanja karakteristična je nejednačina $K \neq 0$. U tom slučaju uglovi viziranja rakete razlikuju se od uglova viziranja cilja za veličinu ugla preticanja, koji je određen koeficijentom preticanja i rastojanjem između rakete i cilja. Znak ugla preticanja određuje se smerom kretanja cilja, a faktor $r(t)$ omogućava da se postigne jednakost uglova viziranja rakete i cilja u tački susreta.

2.1. Direktno navođenje ili metoda »tri tačke«

Za metodu direktnog navođenja je karakteristično da se raketa u toku celog leta do susreta sa ciljem mora nalaziti na pravoj liniji, koja spaja komandno mesto sa ciljem, tj. u svakom trenutku pravac na raketu mora se podudarati sa pravcem na cilj. Prema tome, prava linija koja spaja komandno mesto i cilj obavezno mora proći kroz raketu, tj. jednom pravom se u svakom trenutku mogu spojiti tri tačke: komandno mesto (upravljački punkt), rakaeta i cilj. Ova činjenica je uslovila da se metoda direktnog navođenja ponekad naziva metoda »tri tačke«.

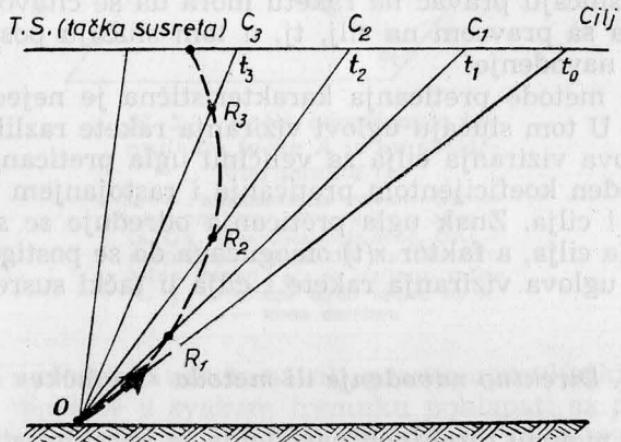
Iz izraza (2.1) može se dobiti matematički izraz za metodu direktnog navođenja, koji karakteriše zavisnost

uglova viziranja rakete od putanje cilja. Na osnovu (2.1) može se zapisati (pri $K = 0$):

$$\alpha_r(t) = \alpha_c(t) \text{ i}$$

$$\beta_r(t) = \beta_c(t).$$

Na osnovu matematičkog izraza za metodu direktnog navođenja i pretpostavke da je brzina rakete na celoj putanji konstantna, može se nacrtati putanja rakete za bilo koju putanju cilja. Radi uprošćenja slike, crtanje se obično vrši za svaku ravan navođenja posebno. Na slici 4 je pokazana putanja rakete u vertikalnoj ravni pri njenom navođenju na cilj primenom metode »tri tačke«.



Sl. 4 — Putanja leta rakete pri primeni metode direktnog navođenja (metoda »tri tačke«)

Radi lakšeg crtanja putanja cilja se podeli na odsečke koji odgovaraju vremenskim intervalima Δt . Za koordinatni početak (početak računjanja odsečaka-intervala) uzima se tačka putanje u kojoj se cilj nalazio u trenutku lansiranja rakete (trenutak t_0). Izračunajmo put koji raketa preleti za vreme Δt ; pronađimo tačke kroz koje prolazi putanja (tačke 0, R_1 , R_2 itd.), postupno nanoseći duži, koje su

jednake putu rakete za vreme Δt , iz tačke 0 do preseka sa zrakom OC_1 , iz dobijene tačke R_1 do preseka sa sledećim zrakom OC_2 itd. Spajanjem dobijenih tačaka (R_1, R_2 itd.) ravnomernom krivom, dobijamo putanju rakete pri upravljanju putem metode direktnog navođenja.

Ako se na taj način nacrta putanja leta rakete, može se odrediti mesto susreta rakete sa ciljem i vreme leta rakete.

Metoda direktnog navođenja ima niz suštinskih prednosti.

Kao prvo, za navođenje raketa ovom metodom uopšte nije potrebno poznavanje rastojanja do cilja i do rakete, tj. navođenje se može vršiti ako se samo mere uglovi viziranja cilja i rakete.

Kao drugo, pri upravljanju po ovoj metodi navođenja može se vršiti navođenje nekoliko raketa istovremeno, koje lete sa određenim međusobnim vremenskim intervalom. Pri tome se praćenje raketa ostvaruje jednim istim radarskim snopom za viziranje. Lansiranje serije (rafala) raket omogućava pouzdanije uništenje protivničkog objekta.

Kao treće, za istovremeno viziranje cilja i rakete može se koristiti jedan isti uredaj postavljen na komandnom mestu.

Uporedo sa preimcućstvima, metoda direktnog navođenja ima jedan ozbiljan nedostatak. On se sastoји u prilično velikom iskrivljenju putanje navođenja, koje je posebno značajno na delu približavanja rakete. Ovo iskrivljenje je utoliko veće ukoliko je veća brzina i ubrzanje cilja. Ako raka poseduje ograničenja u pogledu mogućnosti potpunog obavljanja potrebnog manevra, znatno se smanjuje pouzdanost uništenja cilja, usled odstupanja raket od putanje navođenja završnom delu putanje leta. Ovaj nedostatak ograničava primenu metode »tri tačke« za navođenje raket na brze i manevrišuće ciljeve (brze avione, avione-projektili itd.), ali je moguće široko korišćenje ove metode za navođenje raket na nepokretne i spore ciljeve (tenkove, brodove, helikoptere). Metoda »tri tačke« posebno se mnogo primenjuje za navođenje protivtenkovskih vođenih raket.

2.2. — Navođenje sa konstantnim koeficijentom preticanja

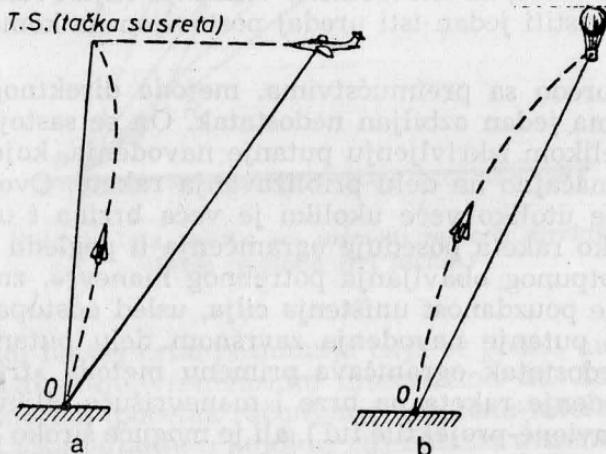
Nedostaci metode »tri tačke« uslovili su traženje efikasnijih metoda navođenja raketa na brze i manevrišuće ciljeve. Ovakve su metode navođenja raketa u tačku preticanja. Jedna od metoda preticanja, koja se primenjuje u sistemima daljinskog upravljanja, je metoda navođenja sa konstantnim koeficijentom preticanja.

Putanja rakete pri upotrebi ove metode može se matematički izraziti korišćenjem izraza (2.1), ako se koeficijent K zameni konstantnim brojem A . U tom slučaju izraz (2.1) dobija oblik:

$$\begin{aligned}\alpha_r(t) &= \alpha_c(t) + A \cdot r(t) \quad i \\ \beta_r(t) &= \beta_c(t) + A \cdot r(t),\end{aligned}\tag{2.1}$$

gde je: A — konstantna veličina.

Pri navođenju po ovoj metodi veličina ugla preticanja će se menjati samo promenom rastojanja r između rakete i cilja, smanjujući se proporcionalno njihovom približavanju.



Sl. 5 — Putanje leta rakete pri primeni metode navođenja sa konstantnim koeficijentom preticanja:
a — navođenje na pokretni cilj, b — navođenje na nepokretni cilj

Moguće putanje leta rakete kod metode navođenja sa konstantnim koeficijentom preticanja pokazane su na slici 5. Ova metoda omogućava da se znatno ispravi putanja zbog navodenja rakete u tačku preticanja, koja je isturena napred, što opet omogućava da se poveća verovatnoća uništenja cilja, jer se znatno smanjuju opterećenja rakete kada ona izvodi manevr.

Za navođenje sa konstantnim uglom preticanja je karakteristično da se veličina ugla preticanja ne menja u zavisnosti od brzine cilja (za određeno rastojanje između rakete i cilja). Čak i pri navođenju rakete na nepokretan cilj putanja dobija određenu krivinu (slika 5b), koja je utočili veća ukoliko je veći koeficijent preticanja.

Veličina koeficijenta preticanja se obično bira u skladu sa opsegom brzina ciljeva, za čije je uništavanje predviđen dati sistem daljinskog upravljanja. Za uništavanje ciljeva, koji poseduju velike brzine moraju se odabirati i veliki uglovi preticanja.

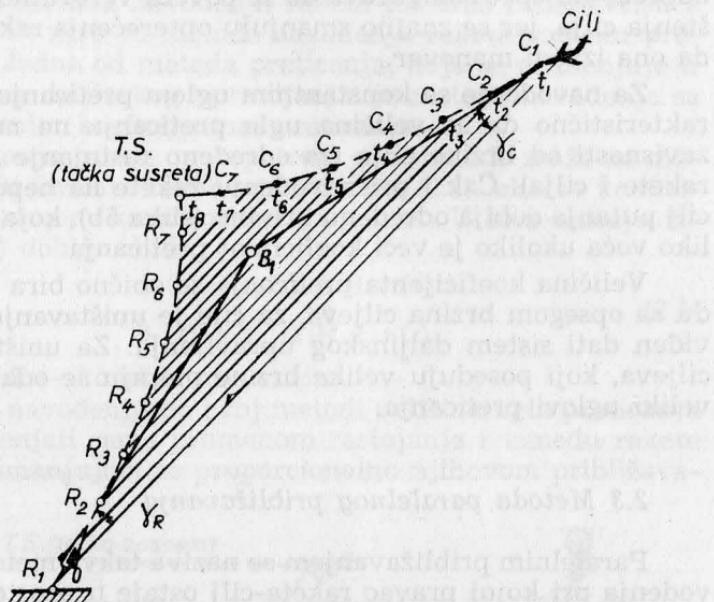
2.3 Metoda paralelnog približavanja

Paralelnim približavanjem se naziva takva metoda navođenja pri kojoj pravac raketa-cilj ostaje u prostoru nepromenljiv (uvek je paralelan sam sebi). To znači da će linija koja spaja raketu i cilj sve vreme u procesu navođenja ostati paralelna nekom zadanim pravcu. Za zadani pravac se u sistemima daljinskog upravljanja može uzeti pravac komandno mesto-cilj u trenutku lansiranja rakete, ili pravac raketa-cilj u trenutku izvođenja rakete na putanju navođenja.

Na slici 6 su prikazane putanje leta cilja i rakete pri navođenju rakete metodom paralelnog približavanja u vertikalnoj ravni.

Ako se pretpostavi da je brzina rakete konstantna na čitavoj etapi navođenja, može se nacrtati putanja rakete na način koji je izložen u odeljku 2.1. Za razliku od crtanja putanje pri navođenju rakete po metodi »tri tačke«, gde tačke putanje leže na zrakovima koji izlaze iz komandnog

mesta, pri metodi paralelnog približavanja tačke putanje rakete nalaze se na pravama koje prolaze kroz određene tačke putanje cilja i koje su paralelne zadanim pravcu (na slici — pravcu $R_1 C_1$).



Sl. 6 — Putanja leta rakete pri navođenju metodom paralelnog približavanja

Radi lakšeg crtanja putanje rakete, podelimo putanju leta cilja na jednakе odsečke, koji odgovaraju jednakim vremenskim razmacima Δt . Iz dobijenih tačaka C_1, C_2 itd. crtaju se prave paralelne pravcu $R_1 C_1$.

Iz početne tačke R_1 nanese se put, koji je raketa prešla za vreme Δt , do preseka sa pravom povučenom iz tačke C_2 . Na taj način se dobija sledeća tačka putanje rakete — R_2 .

Na isti način se određuju tačke R_3, R_4 itd. putanje rakete pri njenom navođenju metodom paralelnog približavanja. Ako se dobijene tačke povežu kontinualnom kri-

vom do njenog preseka sa putanjom cilja, dobija se putanja rakete (na slici je prikazana crtkastom linijom).

Pri idealnom navođenju metodom paralelnog približavanja, u svakom trenutku mora biti ispunjen uslov

$$V_r \sin \gamma_r = V_c \sin \gamma_c, \quad (2.3)$$

gde su: V_r i V_c — brzina rakete i cilja;

γ_r i γ_c — uglovi između linije raketa-cilj i pravaca leta rakete i cilja.

Metoda paralelnog približavanja predstavlja metodu navođenja u tačku preticanja sa maksimalnim ispravljanjem putanje leta rakete. Ako cilj, počevši od nekog trenutka (na primer, trenutka t_1), leti pravolinijski i konstantnom brzinom, onda će putanja rakete biti takođe pravolinijska, tj. raketa će se kretati po pravoj $R_1 B_1$ u pravcu tačke preticanja B_1 .

Može se dokazati da pri manevru cilja koji ima konstantnu brzinu krivina putanje rakete neće biti veća od krivine putanje cilja, tj. uvek će putanja rakete, ako se cilj kreće pravolinijski i konstantnom brzinom, biti prava linija.

Prema tome, korišćenje metode paralelnog približavanja omogućava primenu raketu koje imaju iste manevarske mogućnosti kao i cilj. Ovo je važno preim秉stvo ovakve metode navođenja.

Ako se brzina rakete u toku navođenja menja, dolazi do odgovarajućeg iskrivljenja njene putanje, koje je utočili manje ukoliko je manje ubrzanje rakete.

Navođenje raketu primenom metode paralelnog približavanja pomoću sistema daljinskog upravljanja povezano je sa poteškoćama ostvarenja uslova (2.3), koji zahteva određivanje veličine i smera brzine rakete i cilja, kao i izračunavanje pravca raketa-cilj u prostoru.

Određivanje ovih parametara kretanja cilja i rakete dovodi do znatnog usložnjavanja zemaljskih uređaja i postavlja strožije zahteve u pogledu tačnosti rada ovih uređaja. Zbog toga se u primjenjenim sistemima daljinskog upravljanja obično koriste druge metode navođenja, koje su u suštini bliske metodi paralelnog približavanja.

Metoda paralelnog približavanja se može približno ostvariti pomoću metode punog preticanja (ili potpunog ispravljanja). Pri ovakvoj metodi navođenja, za izračunavanje putanje rakete u sistemu daljinskog upravljanja mogu se koristiti opšti izrazi (2.1) u kojima koeficijent preticanja K na složen način zavisi od brzine promene ugaonih koordinata cilja i brzina leta rakete i cilja.

Putanja leta rakete pri primeni metode punog preticanja može biti određena na osnovu izraza (2.1), u kojima koeficijent preticanja K predstavlja funkciju parametara kretanja cilja i rakete. U tom slučaju se putanja rakete određuje izrazima:

$$\begin{aligned}\alpha_r &= \alpha_c + K(\dot{\alpha}_c, V_r, V_c) \cdot r(t) \quad i \\ \beta_r &= \beta_c + K(\dot{\beta}_c, V_r, V_c) \cdot r(t),\end{aligned}\tag{2.4}$$

gde je: $r(t)$ — rastojanje između rakete i cilja;

$\dot{\alpha}_c, \dot{\beta}_c$ — brzine promene uglova viziranja cilja;

V_r, V_c — brzine leta rakete i cilja.

Veličina koeficijenta preticanja u izrazima (2.4) obično je direktno proporcionalna brzini promene ugaonih koordinata cilja. Ukoliko je veće $\dot{\alpha}_c$ i $\dot{\beta}_c$ utoliko veću vrednost dobija koeficijent K , a samim tim utoliko i tačka preticanja mora biti više ispred cilja. Međutim, ukoliko je veća brzina rakete utoliko je manje njeno vreme leta, i, prema tome, susret rakete sa ciljem ostvariće se pri manjem vremenu leta cilja. Zbog toga je veličina koeficijenta preticanja K obratno proporcionalna brzini rakete.

U tački susreta je $r = 0$, pa su prema tome uglovi viziranja rakete jednaki uglovima viziranja cilja, tj. ispunjava se uslov za susret rakete sa ciljem.

Veličina ugla preticanja pri metodi punog preticanja odabira se tako što se pravac u tački preticanja približno podudara sa pravcem u tački susreta za slučaj pravolinjskog kretanja cilja sa konstantnom brzinom leta.

Metoda punog preticanja ima iste prednosti kao i metoda paralelnog približavanja. Konkretno, to su znatno ispravljanje putanje rakete i malo vreme leta rakete do tačke susreta sa ciljem. Osim toga, ostvarenje ove metode

u sistemima daljinskog upravljanja zadaje manje poteškoća i može se postići jednostavnijim sredstvima.

Metode paralelnog približavanja u čistom obliku nemaju primenu u sistemima upravljanja raketama sa komandnog mesta.

2.4 Metoda polupreticanja

Metoda polupreticanja predstavlja poseban slučaj metode paralelnog (proporcionalnog) približavanja.

Putanja rakete je pri ovoj metodi navođenja određena istim izrazima kao i pri metodi punog preticanja (2.4). Karakteristična osobenost metode polupreticanja jeste u tome da je koeficijent preticanja proporcionalan polovini brzine promena ugaonih koordinata.

Matematički izraz za putanje rakete pri njenom navođenju po metodi polupreticanja ima oblik:

$$\alpha_r = \alpha_c + K \left(\frac{\dot{\alpha}_c}{2}, V_r, V_c \right) \cdot r(t) \text{ i}$$

$$\beta_r = \beta_c + K \left(\frac{\dot{\beta}_c}{2}, V_r, V_c \right) \cdot r(t).$$

Pri ovoj metodi navođenja krivina putanje rakete je nešto veća u odnosu na metodu punog preticanja, usled toga što je pravac prema tački preticanja bliži pravcu prema cilju.

Pojava metode polupreticanja uslovljena je primenom višekanalnih radara sa sektorskim pretraživanjem prostora, koji imaju mogućnost istovremenog praćenja rakete i cilja. Pri tom se putanja rakete bira tako da u procesu navođenja ona ne izlazi izvan granica sektora pretraživanja.

Dobra strana metode polupreticanja je znatno ispravljanje putanje rakete, naročito na delu njenog približavanja cilju, u odnosu na metodu direktnog navođenja. Ovo omogućava da se metoda primenjuje za navođenje raketa na brze ciljeve. Ako je cilj nepokretan, putanja rakete predstavlja pravu liniju.

Prema tome, metoda polupreticanja znatno proširuje mogućnosti sistema daljinskog upravljanja i olakšava uslove navođenja raketa na brze i manevrišuće ciljeve.

2.5. Specifičnosti navođenja antiraketa

Pojava takvih napadačkih sredstava kao što su balističke rakete velikog dometa i velikih letnih brzina stvorila je i problem borbe protiv njih. Za balističke rakete je karakteristično da je njihova putanja određena unapred poznatim zakonima kretanja. Ove rakete spadaju u grupu nemanevrišućih ciljeva. Međutim, usled malih dimenzija i veoma velike brzine leta uništavanja balističkih raketa u današnje vreme predstavlja veoma složen problem. Izbor metode navođenja antirakete igra značajnu ulogu u rešavanju ovog problema.

Metodi navođenja antiraketa postavlja se niz zahteva, bez čijeg ispunjenja nije moguće postići zadovoljavajuću efikasnost sistema navođenja antiraketa.

Pre svega, mora se obezbediti dovoljno veliko ispravljanje putanje leta antiraketa, naročito na njenom završnom delu. Ovo je uslovljeno vrlo velikom brzinom približavanja antirakete i cilja, kada je strogo ograničeno vreme koje stoji na raspolaganju za ostvarenje manevra. Ograničene su takođe i mogućnosti antirakete da izvršava manevar izvan granica Zemljine atmosfere, gde se, po mišljenju stranih stručnjaka, moraju uništavati bojne glave balističkih raketa.

Zatim, metoda navođenja antiraketa mora obezbediti minimalno vreme leta do proračunske tačke susreta. Ovaj zahtev je vezan sa strogim vremenskim planom rada sistema navođenja antiraketa, u kojem je izvršavanje pojedinih operacija strogo određeno.

Ovakve zahteve mogu zadovoljiti samo metode navođenja sa preticanjem i to, konkretno (od napred razmatranih metoda) metoda paralelnog približavanja.

Uzimajući u obzir prirodu putanje balističkog cilja, konkretno to da se let odvija po strogo određenom zakonu, moguće je unapred izračunati verovatnu tačku susreta

antirakete sa ciljem sa tačnošću koja obezbeđuje navođenje antirakete po optimalnoj putanji. Tačnost određivanja rejona susreta biće utoliko veća ukoliko se tačnije mogu odrediti parametri kretanja cilja.

Optimalna putanja mora u potpunosti zadovoljavati napred izložene zahteve. Jedna od optimalnih metoda navođenja antiraketa može biti metoda navođenja u proračunsku tačku susreta. Pri primeni ove metode, pomoću računarskih uređaja izračunavaju se koordinate tačke susreta antirakete i cilja, koje se neprekidno koriguju u zavisnosti od dobijenih informacija o parametrima putanje leta cilja.

Antiraketa se usmerava u rejon susreta sa ciljem, upravljanjem sa komandnog mesta. U toku navođenja sve se tačnije određuju koordinate tačke susreta na osnovu čega se ostvaruju odgovarajuće popravke putanje leta antirakete.

Pri dатој методи navođenja, putanja leta antirakete je bliska pravolinijskoj putanji.

2.6 Kombinovane metode navođenja

Pod kombinovanim metodama navođenja raketa podrazumevaju se takva navođenja pri kojima se u procesu upravljanja raketom postupno koristi više različitih metoda navođenja.

Korišćenje više metoda pri navođenju jedne raketom uslovljeno je potrebom dovođenja raketom do cilja uz uslov najmanjeg promašaja. Samo je u tom slučaju moguće pouzdano uništenje cilja.

Kombinovane metode navođenja naročito se široko primenjuju u sistemima koji koriste nekoliko načina upravljanja raketom u letu. Na primer, u sistemima samo-navođenja primena metode paralelnog približavanja ne uzrokuje naročite teškoće. Međutim, ovakvi sistemi imaju relativno mali domet. Sistemi daljinskog upravljanja mogu se koristiti za navođenje raketom na velike daljine, ali je tačnost njihovog navođenja, u odnosu na sisteme samo-

navođenja, mala i znatno se smanjuje ukoliko se tačka uništenja cilja udaljava od upravljačkog punkta.

Kombinacija ovakva dva sistema omogućava da se postigne pouzdano uništenje cilja na dovoljno velikim daljinama i pri velikim brzinama. Pri tome se, na početnom i srednjem delu putanje leta rakete, navođenje može ostvarivati sistemom daljinskog upravljanja uz primenu metode »tri tačke«, a na završnom delu putanje sistemom samonavođenja, uz primenu metode paralelnog približavanja. Ovakva kombinacija metoda navođenja omogućava da se postigne veoma velika efikasnost uništenja cilja na velikim daljinama, usled znatnog ispravljanja putanja na deonici približavanja rakete cilju.

Iz navedenog primera se vidi da kombinacija dve različite metode navođenja omogućava poboljšavanje taktičko-tehničkih karakteristika sistema navođenja raketa i znatno proširuje njihove mogućnosti.

Kombinovane metode navođenja se mogu primenjivati u jednom istom sistemu upravljanja letom rakete. U ovom slučaju se usvaja takva kombinacija metode navođenja koja će obezbediti najbolju putanju leta rakete na etapi navođenja i njeno maksimalno ispravljanje na deonici približavanja rakete i cilja.

Na kraju je potrebno ukazati da je korišćenje jedne ili druge metode navođenja uglavnom određeno vrstom cilja, a ne samo mogućnostima sistema upravljanja letom rakete. Na primer, nema smisla primenjivati metode preticanja za uništavanje sporih ciljeva (tenkova, brodova, vazdušnih balona itd.), kada brzina rakete mnogo prevažilazi brzinu cilja. U tom se slučaju uspešno može primeniti metoda direktnog navođenja, koja se koristi u dosta jednostavnim sistemima upravljanja.

Međutim, metode direktnog navođenja su neefikasne pri navođenju raketa sa nepokretnog komandnog mesta na brze i veoma brze ciljeve. U tom slučaju se javlja potreba za efikasnijim metodama navođenja, odnosno za metodama navođenja sa preticanjem, koje omogućavaju navođenje raketa čije su brzine manje od brzina ciljeva.

Glava III

PRINCIPI KONSTRUKCIJE SISTEMA DALJINSKOG UPRAVLJANJA

Postoje veoma različite konstrukcije sistema daljinskog upravljanja. Struktura sistema se bazira na sledećim osnovnim principima:

- nameni, koja određuje uslove korišćenja datog sistema, konkretno, kakav kompleks zadataka mora sistem rešavati, kakve ciljeve i na koji način treba uništavati, kako se sistem može koristiti u posebnim slučajevima itd;
- taktičko-tehničkim zahtevima, koji određuju parametre datog sistema daljinskog upravljanja (verovatnoću uništenja cilja, pouzdanost i tačnost funkcionisanja sistema u različitim uslovima itd.).

U zavisnosti od namene sistema i postavljenih zahteva u sistemima daljinskog upravljanja koristi se određeni način upravljanja. Svaki konkretni sistem ima svoje specifičnosti u pogledu konstrukcije i rada, kako sistema u celini tako i pojedinih njegovih elemenata. Ipak, postoje zajednički principi konstruisanja sistema daljinskog upravljanja na osnovu kojih se i može govoriti o sistemima daljinskog upravljanja, ne vezujući se za neki konkretni tip sistema.

3.1. Sastav i uzajamna veza elemenata sistema daljinskog upravljanja

Za svaki konkretni tip sistema daljinskog upravljanja karakteristično je postojanje jednih istih osnovnih elemenata, koji izvršavaju određene zadatke. Iako za svaki

posebno uzet sistem, elementi sistema mogu biti različite konstrukcije i imati različite pokazatelje, ipak, razmatrajući kakve funkcije vrše dotični elementi u svim sistemima istoga tipa, može se uočiti da su zadaci koje oni izvršavaju, uglavnom isti.

Razmotrimo sastav i rad dva tipa sistema daljinskog upravljanja, koji su u inostranstvu najrasprostranjeniji, i to: sistema komandnog daljinskog upravljanja i sistema navođenja po radarskom snopu.

Komandni sistem daljinskog upravljanja vrši sledeće funkcije:

- meri koordinate cilja i rakete;
- meri veličine odstupanja rakete od propisane putanje;
- formira upravljačke komande i emituje ih na raketu;
- prima i pretvara upravljačke komande u dejstva, koja vraćaju raketu na proračunsku (propisanu) putanju.

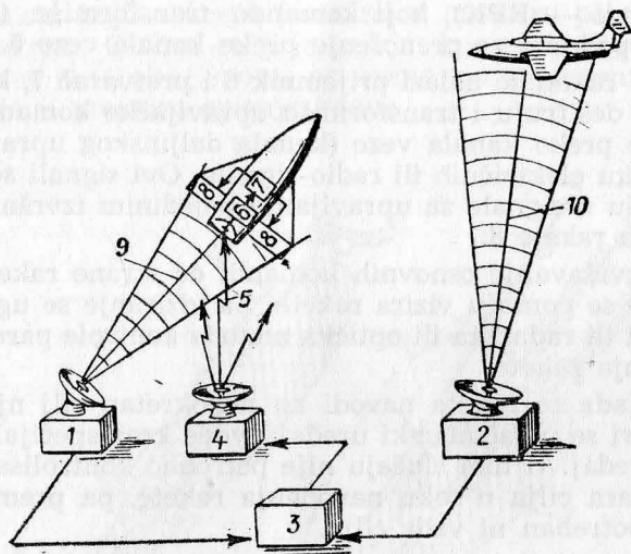
Ove funkcije se mogu izvršavati pomoću kompleksa uređaja povezanih u jedinstven sistem, koji uključuje sledeće elemente:

- uređaj ili uređaje za merenje koordinata cilja i rakete (tzv. viziri cilja i rakete);
- računarske uređaje koji izvršavaju sve potrebne matematičke i logičke operacije;
- uređaj za formiranje i emitovanje upravljačkih komandi (predajnik komandi);
- kanal za prenos komandi (kanal veze između upravljačkog punkta i rakete);
- prijemnik i pretvarač komandi u raketni.

Na slici 7 pokazana je blok-šema komandnog sistema daljinskog upravljanja i uzajamna veza uređaja koji se nalaze u sastavu ovog sistema.

Viziri cilja 2 i rakete 1 u procesu navođenja neprekidno mere tekuće koordinate cilja i rakete. Na ulaz ovih uređaja sa linija viziranja 9 i 10 dolaze signali od cilja i rakete u obliku elektromagnetskih oscilacija određene strukture, ili u obliku infracrvenih, svetlosnih i drugih zračenja. Pomoću uređaja koji se nalaze u sastavu vizira

vrši se odgovarajuća obrada signala, čime se dobijaju izlazne veličine, koje nose informacije o koordinatama cilja i rakete.



Sl. 7 — Blok-šema sistema daljinskog upravljanja

1 — vizir rakete, 2 — vizir cilja, 3 — računarski uređaj ili računar, 4 — uređaj za emitovanje upravljačkih komandi, 5 — kanal za prenos komandi, 6 — prijemnik u raketi, 7 — pretvarač komandnih signala, 8 — izvršni organi (kormila) rakete, 9 — linija viziranja rakete, 10 — linija viziranja cilja

Računarski uređaj 3 izračunava veličinu odstupanja rakete od propisane putanje, stvara signal greške (signal odstupanja), koji predstavlja osnovu za stvaranje komande za upravljanje letom rakete. Zatim se u skladu sa odabranom metodom navođenja formiraju upravljačke komande.

Pored stvaranja upravljačkih komandi po položaju, računarski uređaj u nekim sistemima daljinskog upravljanja može stvarati i upravljačke komande po brzini, koje su predviđene za upravljanje radom raketnog motora, kao

i komande za upravljanje uređajima za osiguranje i aktiviranje bojne glave i za uključenje blizinskog upaljača.

Sve nabrojane upravljačke komande dolaze na uređaj za emitovanje upravljačkih komandi 4 (radio-predajnik komandi — RPK), koji komande transformiše tako da budu podesne za prenošenje preko kanala veze 5.

U raketi se nalazi prijemnik 6 i pretvarač 7, koji primaju, dešifruju i transformišu upravljačke komande koje dolaze preko kanala veze (kanala daljinskog upravljanja) u obliku električnih ili radio-signala. Ovi signali se transformišu u signale za upravljanje pojedinim izvršnim uređajima raketе 8.

Izvršavanje osnovnih komandi od strane rakete kontroliše se pomoću vizira rakete. Za viziranje se uglavnom koristi ili radarska ili optička metoda kontrole parametara kretanja rakete.

Kada se rakaeta navodi na nepokretan cilj njeni parametri se u računarski uređaj uvode kroz specijalan ulazni uređaj. U tom slučaju nije potrebno kontrolisanje parametara cilja u toku navođenja rakete, pa prema tome nije potreban ni vizir cilja.

Komandni sistemi daljinskog upravljanja mogu koristiti različite metode navođenja u zavisnosti od tehničkih mogućnosti uređaja koji ulaze u njihov sastav. Pri tome se parametri kretanja rakete i cilja mogu meriti jednim istim vizirom, uz razdvojeno praćenje signala cilja od signala rakete.

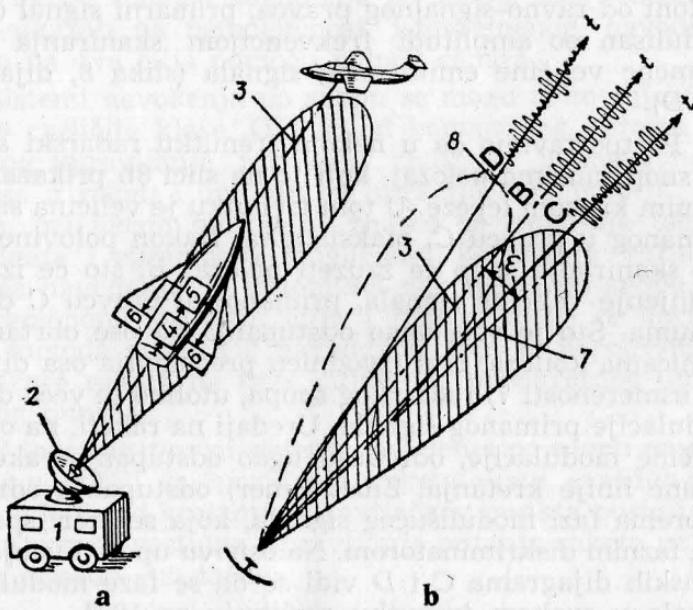
Sistem navođenja po radarskom snopu se karakteriše time što se signali upravnjanja položajem rakete formiraju neposredno u samoj raketи, u zavisnosti od njenog položaja u odnosu na snop elektromagnetskih talasa vizira, a putanja leta menja se pri kretanju ovoga snopa u prostoru.

U raketi se nalazi oprema koja određuje položaj raketе u odnosu na snop (smer i veličinu odstupanja) i koja obrazuje upravljačke signale za kormila.

Snop se u principu može stvarati pomoću uređaja za usmereno zračenje svetlosnih, infracrvenih ili radio-talasa.

Ovakvi uređaji mogu biti reflektori ili antene različitih konstrukcija.

U većini inostranih sistema navođenja po snopu primjenjuju se radari čiji antenski uređaji formiraju uzak igličast snop, koji se kreće (skanira) u prostoru po određenom zakonu. Obično se primjenjuje konusno skaniranje radarskog antenskog snopa, pri kome osa snopa za vreme obrtanja u prostoru opisuje konus.



Sl. 8 — Blok-šema sistema za navođenje po radarskom snopu i princip formiranja ravnosignalnog pravca:

1 — radar, 2 — antena radara, 3 — ravnosignalni pravac, 4 — prijemnik, 5 — pretvarački uredaj, 6 — kormila, 7 — osa radarskog snopa, B — vremenski dijagram signala u ravnosignalnom pravcu, C, D — vremenski dijagрами signala при одступању од ravnosignalnog pravca

Na blok-šemi (slika 8a) pokazan je sastav sistema navođenja po snopu i uzajamna veza elemenata za slučaj kada radarski antenski snop istovremeno prati cilj i ra-

ketu. Pravac kretanja rakete (pravac na cilj) zadaje se osom obrtanja radarskog snopa 3, na kojoj se obrazuje tzv. ravnosignalni pravac. Pri tome osa dijagrama usmerenosti (dijagrama zračenja radio-talasa) 7 obrazuje neki ugao ϵ sa ravno-signalnim pravcem (slika 8b). Radarski snop se obrće tako da za svaki njegov obrtaj osa 7 u prostoru opisuje konus. Pri tome je u svakoj tački ravno-signalnog pravca veličina signala konstantna za sve vreme trajanja ciklusa skaniranja (slika 8, dijagram B). Ako se rakaeta otkloni od ravno-signalnog pravca, primarni signal će biti modulisan po amplitudi frekvencijom skaniranja usled promene veličine emitovanog signala (slika 8, dijagrami C i D).

Prepostavimo da u nekom trenutku radarski antenski snop zauzima položaj, koji je na slici 8b prikazan šrafiranim krakom lepeze. U tom trenutku je veličina signala, primanog u pravcu C, maksimalna. Nakon polovine periode skaniranja snop će zauzeti položaj B, što će izazvati smanjenje veličine signala, primanog u pravcu C do minimuma. Sto je veći ugao odstupanja od ose obrtanja (u granicama konusa, čiju izvodnicu predstavlja osa dijagrama usmerenosti 7) radarskog snopa, utoliko je veća dubina modulacije primanog signala. Uređaji na raketni, na osnovu veličine modulacije, određuju ugao odstupanja rakete od zadane linije kretanja. Znak (smer) odstupanja određuje se prema fazi modulišućeg signala, koja se meri specijalnim faznim diskriminatom. Na osnovu upoređivanja vremenskih dijagrama C i D vidi se da se faze modulišućih signala u svakom trenutku razlikuju za 180° .

Prijemnik 4, koji se nalazi u raketni, u zavisnosti od veličine ugla odstupanja rakete u odnosu na ravno-signalni pravac formira signal greške (signal odstupanja), čija je veličina proporcionalna dubini modulacije primljenog signala. Signal greške dolazi na pretvarački uređaj 5, koji deluje na kormila 6 tako da se rakaeta vraća na ravno-signalni pravac.

Prema tome, u sistemima navođenja po radarskom snopu, rakaeta se u toku čitavog leta kreće prema cilju, kako bi se reklo, duž »vodice« koju predstavlja ravno-sig-

nalni pravac. Pri tome sa upravljačkog punkta mora biti zadan samo pravac leta rakete (pravac na cilj) a potpuno je nepotrebno merenje koordinata rakete.

Zahvaljujući autonomnosti rada uređaja u svakoj raketni, po snopu jednog istog radara na jedan cilj se može istovremeno navoditi nekoliko raket, koje su startovale sa određenim vremenskim razmakom. Pri tome je dovoljno odrediti samo pravac na cilj. Uporedo sa jednostavnosću konstrukcije sistema navođenja po snopu, kao nedostatak treba ukazati na nemogućnost istovremenog navođenja raket na dva cilja pomoću jednog radara.

Sistemi navođenja po snopu se mogu primenjivati za raketne različite klase. Oni se od komandnog sistema daljinskog upravljanja razlikuju znatnom jednostavnosću uređaja u raketni i uređaju na upravljačkom punktu. Međutim, pri većim daljinama znatno se smanjuje tačnost navođenja i ograničava mogućnost korišćenja različitih metoda navođenja. U sistemima navođenja po snopu, pri istovremenom viziranju cilja i rakete, može se koristiti samo metoda direktnog navođenja, koja je nepodesna za navođenje raket na brze ciljeve sa nepokretnog upravljačkog punkta.

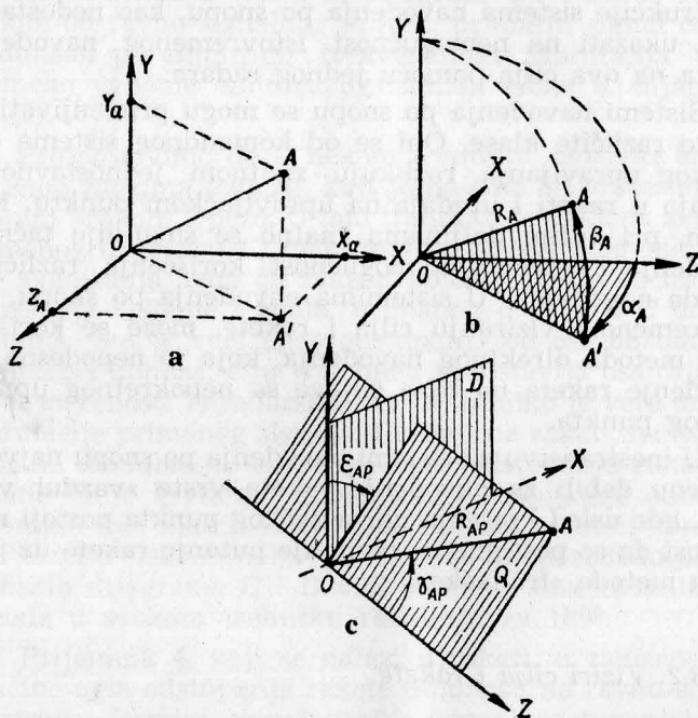
U inostranstvu su sistemi navođenja po snopu najveću primenu dobili za navođenje raket vrste »vazduh-vazduh«, gde usled kretanja upravljačkog punkta postoji mogućnost da se postigne ispravljanje putanje rakete uz primenu metode »tri tačke«.

3.2. Viziri cilja i rakete

Za navođenje rakete na pokretan cilj u sistemima daljinskog upravljanja potrebno je poznavanje tekućih koordinata rakete. Ako se, na primer, koristi metoda navođenja po snopu, dovoljno je samo određivanje pravca na cilj. Daljina cilja je u tom slučaju potrebna samo za određivanje momenta lansiranja rakete, s obzirom da raketa poseduje ograničen domet. Koordinate rakete se pri navođenju po snopu ne moraju određivati, pošto se raketa

pomoću sopstvenih uređaja samostalno kreće duž ravno-signalnog pravca u smeru cilja.

Pri navođenju raketa pomoću komandi, koje se formiraju na komandnom mestu, potrebno je poznavanje i koordinata rakete, a ne samo koordinata cilja, kako bi se mogle stvoriti potrebne upravljačke komande. Tekuće koordinate cilja i rakete se u ovom slučaju mere specijalnim uređajima, koji se nazivaju vizir cilja i vizir rakete.



Sl. 9 — Koordinatni sistemi:
a — pravougaoni (Dekartov), b — sferni, c — dvoravanski

Parametri kretanja cilja i rakete moraju se meriti u nekom koordinatnom sistemu, koji je usvojen za dati sistem daljinskog upravljanja. Za ovakav sistem se može koristiti, na primer, Dekartov koordinatni sistem (O , X , Y , Z), koji je predstavljen na slici 9a. Koordinatni poče-

tak (O), po pravilu, vezan je za mesto u kome se nalazi upravljački punkt, a smerovi osa su vezani sa određenim orijentirima.

Položaj bilo koje tačke u prostoru, pa prema tome i položaj cilja ili rakete, može se odrediti koordinatama odmerenim duž odgovarajućih osa (X , Y , Z). Tako, na primer, na slici je položaj tačke A u prostoru određen koordinatama x_A , y_A , z_A . Ovakav koordinatni sistem nije podesan za sisteme daljinskog upravljanja u kojima se primenjuje neposredno viziranje cilja i rakete sa upravljačkog punkta pomoću radara, daljinomera i sličnih sredstava. Za vizire cilja i rakete podesniji su koordinatni sistemi u kojima se za jednu od koordinata cilja (rakete) koristi kosa daljina.

U savremenim sistemima daljinskog upravljanja najviše se primenjuju tzv. sferni koordinatni sistem (slika 9b) i dvoravanski koordinatni sistem (slika 9c).

U ovim koordinatnim sistemima se iz upravljačkog punkta O (koordinatni početak) fiksiraju dva pravca: OY — pravac vertikalno nagore i OZ — pravac od kojeg se vrši odmeravanje u horizontalnoj ravni. Za stacionarni upravljački punkt, pravac od koga se vrši odmeravanje u horizontalnoj ravni obično je vezan sa određenim orijentirom (na primer, sa pravcem na jug). Za pokretni upravljački punkt ovaj pravac može biti vezan sa najkarakterističnjim orijentirom punkta. Položaj svake tačke u prostoru u ovim koordinatnim sistemima može biti određen pomoću dva ugla i kose daljine.

U sfernom koordinatnom sistemu (slika 9b) položaj svake tačke u prostoru (na primer, tačke A) može biti određen:

- veličinom ugla u horizontalnoj ravni između pravca OZ i linije preseka vertikalne ravni, koja prolazi kroz osu OY i tačku A , sa horizontalnom ravni (OA');
- veličinom ugla u vertikalnoj ravni između linije OA' i pravca na tačku A ;
- veličinom kose daljine OA .

Ugao u horizontalnoj ravni (α_A) naziva se azimut, a u vertikalnoj (β_A) — mesni ugao.

U dvoravanskom koordinatnom sistemu (slika 9c), za određivanje položaja tačke A u prostoru, potrebno je kroz osu OZ i tačku A provući kosu ravan Q , a kroz osu OY vertikalnu ravan normalnu na osu OZ . Tada se položaj tačke A u prostoru može odrediti sledećim koordinatama: veličinom ugla γ_{AP} u kosoj ravni između ose OZ i pravca na cilj OA , veličinom ugla ε_{AP} nagiba ravni Q u odnosu na osu OY i veličinom kose duljine OA (R_{AP}).

U nekim sistemima daljinskog upravljanja uopšte nije potrebno izračunavati absolutne koordinate cilja i rakete. Dovoljno je samo odrediti položaj rakete u odnosu na cilj ili u odnosu na neku zadalu tačku u prostoru (na primer, u odnosu na podatke akvizicije). U ovakvim sistemima se primenjuje tzv. relativno merenje koordinata, pri čemu se za koordinatni početak uzima zadana tačka u prostoru ili zadani pravac.

Primena nekog mernog koordinatnog sistema za viziranje cilja i rakete uslovljena je podesnošću njegovog korišćenja u uređajima sistema daljinskog upravljanja.

Ulogu vizira u sistemima daljinskog upravljanja mogu vršiti optički instrumenti, reflektori, radari itd.

Na primer, za navođenje protivtenkovske vođene raketе »dart« (SAD) posmatranje cilja i rakete vrši operator pomoću optičkog sistema. On pomoću komandi, koje šalje sa upravljačkog punkta na raketu preko žične veze, teži da raketu zadrži na liniji viziranja cilja. U tom slučaju operatoru nisu potrebne absolutne koordinate cilja i rakete, pošto on navodi raketu na osnovu relativnog položaja rakete i cilja.

Optički instrumenti, koji se primenjuju kao viziri, imaju vrlo veliku sposobnost razdvajanja ciljeva, pa se pomoću njih mogu odvojeno posmatrati međusobno bliski predmeti na dosta velikom rastojanju. Optički instrumenti su dobro zaštićeni od smetnji i oni omogućavaju da se cilj pouzdano razlikuje od okoline. Međutim, domet optičkih instrumenata je ograničen zonom direktnе vidljivosti, prozračnošću sredine i stepenom osvetljenosti cilja, a primena automatskih sistema za praćenje cilja izaziva velike tehničke poteškoće.

Optički viziri se u inostranstvu primenjuju, uglavnom, u sistemima za navođenje vođenih protivtenkovskih raketa koje imaju ograničen domet.

Strani stručnjaci u današnje vreme rade na projektu primene optičkih sistema za otkrivanje i praćenje balističkih ciljeva. Da bi se smanjio uticaj atmosfere, predviđa se da se optički viziri postave na veštačke Zemljine slike ili na avione koji lete na velikim visinama. Korišćenje optičkih sistema za određivanje koordinata balističkih ciljeva, po mišljenju stranih stručnjaka, omogućice da se znatno poveća tačnost određivanja njihovih ugaonih koordinata pri dovoljnim daljinama otkrivanja, kao i da se poveća sposobnost sistema da izdvoji cilj od lažnih ciljeva-smetnji.

Optički instrumenti za sada još nisu našli široku primenu u savremenim sistemima daljinskog upravljanja. Radarska sredstva imaju veću primenu kao sredstva za vizirinje ciljeva i raketa, jer obezbeđuju dovoljno veliki domet, potrebnu tačnost određivanja koordinata i mogućnost primene uređaja za automatsko praćenje cilja i raket ili automatsko određivanje njihovih koordinata. Kao radarski viziri koriste se specijalno konstruisani radari.

Pod pojmom radar obično se podrazumeva uređaj koji emituje radio-signale i prima odražene signale. U radarskim uređajima se obično koristi širok opseg elektromagnetskih talasa, od nekoliko metara do nekoliko milimetara. U sistemima daljinskog upravljanja se, uglavnom, primenjuju decimetarski i santimetarski opsezi talasa.

Radari u sistemima daljinskog upravljanja po svojoj nameni mogu se podeliti na radare za viziranje cilja ili praćenje cilja, na radare za viziranje raket i na radare višestruke namene, koji su predviđeni za istovremeno viziranje i cilja i raket.

Radari za viziranje cilja obično koriste osobinu cilja da odražava (difuzno reflektuje) elektromagnetske talase, koji udaraju u njega. U tom cilju se pomoću predajnika, koji se nalazi u sastavu radara, formiraju snažni radio-signali, koji se emituju u pravcu cilja. Deo energije signala, odražen od cilja u suprotnom smeru, prima se prijemnim

uređajem, pojačava i dovodi na uređaje za obradu dobijenih informacija.

Glavne karakteristike radara za viziranje cilja su:

- maksimalni domet otkrivanja cilja R_{\max} ;
- maksimalni domet automatskog praćenja cilja $R_{\max, ap}$;
- tačnost određivanja koordinata;
- sposobnost razdvajanja ciljeva po daljini i uglovima itd.

Domet otkrivanja cilja zavisi od mnogih faktora u koje, između ostalih, spadaju:

- veličina efektivne odrazne površine cilja;
- uslovi prostiranja radio-talasa;
- snaga predajnika;
- osetljivost prijemnika i neki drugi faktori.

Svi ovi faktori su u toku rada radara podvrgnuti slučajnim promenama. Prema tome, maksimalni domet otkrivanja ciljeva takođe nije konstantna veličina. Za radare u sistemima daljinskog upravljanja obično se naznačava takva vrednost R_{\max} za koju verovatnoća otkrivanja cilja određenog tipa iznosi 90%. Treba imati u vidu da u ostalih 10% slučajeva cilj može biti otkriven i na rastojanjima manjim od R_{\max} . Pri tome se ne isključuje mogućnost otkrivanja cilja i na rastojanjima koja premašuju ukazanu maksimalnu vrednost.

Domet automatskog praćenja cilja, po pravilu, manji je od dometa otkrivanja i za svaki konkretni tip radara određen je, uglavnom, tehničkim karakteristikama uređaja za praćenje.

Tačnost određivanja koordinata zavisi od metode merenja koordinata, tehničkih karakteristika pojedinih uređaja u sastavu radara i od mnoštva raznih slučajnih faktora koji se praktično ne mogu predvideti ili uzeti u obzir (iznenadne promene režima rada raznih uređaja u sastavu radara, uticaj smetnji, slučajne greške operatora itd.).

Posedovanje velike sposobnosti razdvajanja ciljeva jedan je od osnovnih zahteva koji se postavljaju radarima za viziranje ciljeva primjenjenim u sistemima daljinskog

upravljanja. Sposobnost razdvajanja ciljeva karakteriše mogućnost posebnog otkrivanja i merenja koordinata za ciljeve koji su međusobno bliski. Ova sposobnost se ocenuje za svaku koordinatu, koju meri radar, posebno.

Radari za viziranje raketa u sistemima daljinskog upravljanja po pravilu su radari sa aktivnim odgovorom. To znači da predajni uređaj radara emituje u pravcu raketne upitne radio-signal, koji dolazi na uređaj za formiranje signala odgovora u raketni. Ovaj uređaj je, u stvari, primopredajnik radio-signala (retranslator). Signal odgovora se emituje u pravcu upravljačkog punkta (radara za viziranje raketa) pomoću specijalne antene, postavljene na raketni. Primena ovakvih uređaja omogućava pouzdano praćenje signala raketne na velikim daljinama, nezavisno od veličine odrazne površine raketne, koja je, po pravilu, dosta mala. Intenzitet signala odgovora u ovom slučaju je znatno određen snagom »odgovarača« postavljenog na raketni.

Sistemi sa aktivnim odgovorom ne upotrebljavaju se samo za praćenje bojnih vođenih raketa, već se mnogo primenjuju i za određivanje koordinata kosmičkih objekata, koji su udaljeni desetine i stotine miliona kilometara.

Postavljanje retranslatora na raketni omogućava da se znatno uproste uređaji koji ulaze u sastav radara za viziranje raketne, a da se istovremeno ne umanji tačnost njegovog rada na dovoljno velikim rastojanjima. U ovom slučaju se veliki dojem i visoka tačnost određivanja koordinata postižu jednostavnijim sredstvima nego u radarima za viziranje cilja.

Merenje koordinata cilja ili raketne pomoću radarskih uređaja zasniva se na različitim faktorima.

Merenje kose daljine zasniva se na svojstvu radio-talasa da se u prostoru šire, praktično, pravolinijski konstantnom brzinom (brzina prostiranja radio-talasa iznosi oko 300.000 km/s). Daljina prostiranja radio-talasa određuje se merenjem vremena zakašnjenja odraženog signala, ili signala — odgovora, u odnosu na trenutak emitovanja tzv. »sondirajućeg« signala (upitnog signala) iz predajnika. S obzirom da radio-signali pređu put od radara do cilja

i obratno, kosa daljina se može odrediti na osnovu sledeće proste jednačine:

$$R_e = \frac{ct_z}{2},$$

gde je: c — brzina prostiranja radio-talasa u prostoru;
 t_z — vreme zakašnjenja odraženog signala (usled prelaska puta radar — cilj — radar).

Na isti način može se odrediti kosa daljina do rakete, ali se mora uzeti u obzir i vreme zakašnjenja signala odgovora zbog inercije uređaja u raketni, koje je unapred poznato:

$$R_r = \frac{c}{2} (t_z - t_{zr}),$$

gde je: t_{zr} — vreme zakašnjenja signala — odgovora u uređajima u raketni (vreme aktiviranja odgovarača).

Merenje ugaonih koordinata raketne i cilja je moguće takođe zahvaljujući pravolinijskom prostiranju radio-talasa. Pravac na raketu ili na cilj se, po pravilu, određuje pomoću usmerenih antena koje emituju i primaju elektromagnetsku energiju u uskim snopovima određenog oblika (dijagrami usmerenosti ili dijagrami zračenja).

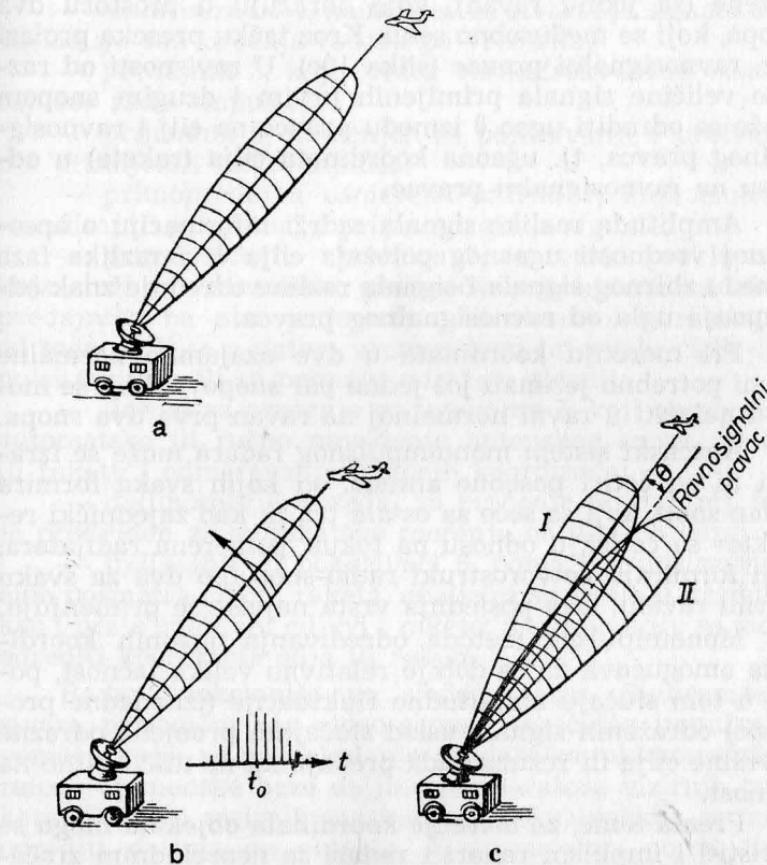
Postoji niz metoda određivanja pravca na cilj ili na raketu na osnovu primljenog odraženog signala.

1. *Metoda maksimuma.* Metoda maksimuma jeste u tome što se antena pokreće (podešava) sve dok se na izlazu prijemnog uređaja ne dobije maksimalna vrednost signala. U tom slučaju koordinatu cilja ili raketne predstavlja pravac ose antenskog snopa u trenutku maksimalnog primljenog signala. Ova metoda se obično primenjuje u raderima koji imaju snop igličaste forme (slika 10a).

2. *Metoda skaniranja.* Metoda predviđa postupno pretraživanje prostora pomoću antenskog snopa. Pretražuje se prostor u kojem se nalazi cilj ili raketa. Pri tome se na pokazivaču radara mogu videti signali cilja čija se veličina menja u toku prelaska snopa preko cilja (rakete) po zakonu

koji je određen oblikom snopa. Koordinate cilja ili rakete mogu se odrediti prema položaju antene u trenutku koji odgovara centru signala, tj. u trenutku t_0 (slika 10b).

Metoda skaniranja se mnogo primenjuje u radarima sa antenskim snopovima, koji skaniraju po određenom za-



Sl. 10 — Dijagrami usmerenosti antena pri različitim metodama određivanja ugaonih koordinata:

a — antenski snop radara pri metodi određivanja ugaonih koordinata po maksimumu, b — antenski snop pri metodi određivanja ugaonih koordinata skaniranjem i oblik primljenoj signala (paket impulsa) na pokazivaču radara, c — oblik antenskog snopa pri monoimpulsnoj metodi određivanja ugaonih koordinata (u jednoj koordinatnoj ravni)

konusu, i sa automatskim praćenjem signala (od cilja ili od rakete) po ugaonim koordinatama.

3. *Monoimpulsna metoda*. Ova metoda omogućava određivanje pravca na osnovu jednog primljenog signala odraza (na osnovu jednog impulsa) pomoću dve prijemne antene (za jednu ravan), koje obrazuju u prostoru dva snopa, koji se međusobno seku. Kroz tačku preseka prolazi tzv. ravnosignalni pravac (slika 10c). U zavisnosti od razlike veličine signala primljenih prvim i drugim snopom može se odrediti ugao θ između pravca na cilj i ravnosignalnog pravca, tj. ugaona koordinata cilja (rakete) u odnosu na ravnosignalni pravac.

Amplituda razlike signala sadrži informaciju o apsolutnoj vrednosti ugaonog položaja cilja θ , a razlika faza između zbirnog signala i signala razlike određuje znak odstupanja ugla od ravnosignalnog pravca.

Pri merenju koordinata u dve uzajamno normalne ravni potrebno je imati još jedan par snopova, koji se moraju nalaziti u ravni normalnoj na ravan prva dva snopa.

Antenski sistem monoimpulsnog radara može se izraditi ili od četiri posebne antene, od kojih svaka formira jedan snop, koji se seče sa ostala tri, ili kao zajednički reflektor sa četiri, u odnosu na fokus, pomerena radijatora, koji formiraju četvorostruki radio-snop (po dva za svaku mernu ravan). Ova poslednja vrsta najviše se primenjuje.

Monoimpulsna metoda određivanja ugaonih koordinata omogućava da se dobije relativno velika tačnost, pošto u tom slučaju amplitudne fluktuacije (iznenadne promene) odraženih signala usled slučajnih promena odrazne površine cilja ili režima rada predajnika ne utiču bitno na tačnost.

Prema tome, za merenje koordinata objekata mogu se koristiti i impulsni radari i radari sa neprekidnim zračenjem. U inostranim sistemima daljinski upravljanjih raket naročito se mnogo primenjuju impulsni radara. Ovo je uslovljeno činjenicom da se pomoću njih može najjednostavnijim sredstvima meriti daljina i ugaone koordinate objekta, kao i mogućnošću korišćenja jedne antene za prijem i emitovanje signala. Pored toga, impulsna me-

toda omogućava vremensko razdvajanje signala primljenih od različitih objekata, tj. ona omogućava vremensku selekciju primljenih signala.

U sastav impulsnog radara obično ulaze sledeći uređaji (slika 11a):

- sinhronizator 4, namenjen za stvaranje signala koji usklađuju rad uređaja radara po vremenu;
- predajnik 3, koji stvara visokofrekventne »sondirajuće« radio-impulse;
- prijemnik 5, namenjen za pojačavanje i pretvaranje primljenih radio-impulsa;
- primopredajna usmerena antena 1, koja emituje »sondirajuće« (upitne) i prima odražene signale;
- primopredajna skretnica 2, (antenski preklopnik) koja služi za automatsko prekopčavanje antene sa izlaza predajnika na ulaz prijemnika, ili obratno, u zavisnosti od toga da li se u datom vremenskom intervalu radio-impulsi emituju ili se primaju odraženi signali;
- uređaj za praćenje po uglovima 7, koji obezbeđuje automatsko ili ručno navođenje antenskog snopa na cilj ili raketu i odmeravanje ugaonih koordinata;
- daljinomer 8, (uređaj za praćenje po daljini), koji je predviđen za automatsko merenje daljine do cilja;
- indikatori ili pokazivači 6, pomoću kojih se vizuelno posmatra cilj ili raketa, analizira situacija u vazduhu, kao i prate odabrani ciljevi i rakete; na indikatoru se mogu odrediti koordinate cilja ili rakete.

Radar funkcioniše na sledeći način. Sinhronizator stvara periodični niz video-signala (najčešće impulsnih), pomoću kojih se vrši okidanje predajnika, okidanje generatora vremenske baze daljine i generatora vizirnih markera. Pomoću vizirnih markera na pokazivačima se može odrediti daljina do objekta. Sinhronizator, pored toga, stvara signale, koji obezbeđuju normalan rad uređaja za praćenje, namenjenih za obradu informacija koje polaze i predaju izmerenih koordinata računarskim uređajima.

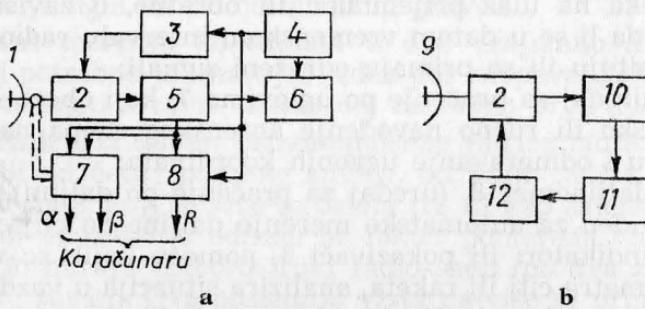
»Sondirajući« radio-impulsi sa izlaza predajnika prenose se preko primopredajne skretnice u antenu i zatim se zrače u prostor. Usmerenost zračenja energije radio-

-singnala postiže se primenom specijalnih antenskih uređaja, koji u određenom pravcu obrazuju snop željenog oblika.

Odrazi koji dolaze primaju se istom antenom i preko primopredajne skretnice dolaze na ulaz prijemnika. Antena se priključuje na prijemnik u pauzama između emitovanja »sondirajućih« impulsa.

Prijemnik pojačava odražene signale, detektuje ih i u obliku video-impulsa prenosi na pokazivače i prateće uređaje radi dalje obrade dobijenih informacija.

U sastav radara za praćenje cilja i rakete ulaze, po pravilu, jedni isti uređaji, koji se međusobno razlikuju samo po tehničkim karakteristikama. Međutim, u prvom slučaju na ulaz prijemnika dolazi odraženi signal od cilja, a u drugom — signal stvoren u odgovaraču raketne.



Sl. 11 — Blok-šema impulsnog radara i odgovarača:

1 — radarska antena, 2 — primopredajna skretница, 3 — predajnik, 4 — sinhronizator, 5 — prijemnik, 6 — pokazivač, 7 — uređaj za praćenje po ugaoim koordinatama, 8 — uredaj za praćenje po duljini (daljinomer), 9 — antena odgovarača, 10 — prijemnik raketne, 11 — modulator, 12 — generator signala — odgovora (odgovarač)

Na slici 11b je pokazana blok-šema impulsnog odgovarača na raketni, u čiji sastav ulaze sledeći elementi:

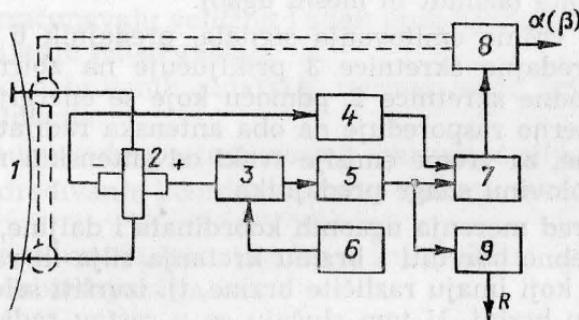
- antena 9, koja se koristi za prijem upitnih radio-impulsa i emitovanje signala-odgovora;
- primopredajna skretница (antenski preklopnik) 2;
- prijemnik 10;
- modulator 11, koji formira impulse za okidanje predajnika;

— predajnik (generator signala-odgovora) 12.

Upitni signal iz antene preko primopredajne skretnice dolazi na ulaz prijemnog uređaja, koji ga pojačava i pretvara u video-signal namenjen za okidanje modulatora.

Modulator stvara signal u obliku impulsa ili impulsnog koda. Modulator okida generator signala-odgovora. Visokofrekventni signal-odgovora emituje se kroz primopredajnu skretnicu i antenu u pravcu radara za viziranje rakete.

Radar koji koriste monoimpulsnu metodu određivanja koordinata imaju specifičnu konstrukciju, koja se razlikuje od konstrukcije običnih impulsnih radara.



Sl. 12 — Blok-šema monoimpulsnog radara:

1 — primopredajna antena, 2 — talasovodna skretnica, 3 — primopredajna skretnica, 4 — pojačavač razlike signala, 5 — pojačavač zbirnog signala, 6 — predajnik, 7 — fazni detektor, 8 — prateći uredaj po ugaonim koordinatama, 9 — daljinomer.

Na slici 12 prikazana je blok-šema monoimpulsnog radara koji istu antenu koristi i za emitovanje i za prijem.

Pomoću dva radijatora u sklopu antene, smeštena u jednoj ravni, formiraju se dva snopa, koji se međusobno sekut. Odraženi signali primljeni antenom dolaze na ulaz talasovodne skretnice 2, koja ima osobinu da u dve izlazne grane može dobiti zbir signala i razliku signala. Ovi signali se vode na posebne pojačavače 4 i 5 odgovarajućih kanala razlike i kanala zbirka. Veličina razlike primljenih signala je proporcionalna ugлу odstupanja cilja ili rakete od ra-

vnosignalnog pravca. Međutim, samo poznavanje veličine ugla nije dovoljno. Potrebno je odrediti i smer ili znak odstupanja cilja (rakete) od ravnosignalnog pravca, tj. znak ugla Θ (slika 10c). Znak ugla Θ određuje se pomoću faznog detektora 7, merenjem faze odraženog signala u kanalu razlike. Referentni signal u ovom slučaju je signal iz kanala zbir, čija faza ne zavisi od pravca viziranja. Pored toga, signal zbir se koristi u daljinomeru za merenje kose daljine do cilja.

Signal određenog znaka i veličine sa faznog detektora 7 odlazi na prateći uređaj po uglovnim koordinatama 8, koji upravlja položajem antena i meri jednu od ugaonih koordinata (azimut ili mesni ugao).

Za vreme emitovanja signala, predajnik 6 se preko primopredajne skretnice 3 priključuje na zbirnu granu talasovodne skretnice 2, pomoću koje se energija signala ravnomerno raspoređuje na oba antenska radijatora. Prema tome, za vreme emisije svaki od antenskih radijatora zrači polovinu snage predajnika.

Pored merenja ugaonih koordinata i daljine, ponekad je potrebno odrediti i brzinu kretanja cilja ili razlikovati ciljeve, koji imaju različite brzine, tj. izvršiti selekciju ciljeva po brzini. U tom slučaju se u sastav radara uvode specijalni uređaji koji koriste Doplerov efekat. Doplerov efekat se zasniva na promeni frekvencije signala odraženog od pokretnog cilja. Ukoliko je veća brzina kretanja cilja utoliko se više razlikuje frekvencija odraženog signala od frekvencije emitovanog signala.

U uređaju za merenje brzine cilja ili u uređaju za selekciju po brzini frekvencija odraženog signala koji dolazi od cilja, upoređuje se sa emitovanom frekvencijom koja se pamti za potreban vremenski interval. Kao rezultat upoređenja signala, frekvencija dobijenih »izbijanja« (interferentnih oscilacija) biće proporcionalna veličini brzine cilja.

Selekcija ciljeva po brzini se koristi i za zaštitu radara od veštačkih pasivnih smetnji i za omogućenje rada radara u slučaju niskoletećih ciljeva, kada signali odraženi od mesnih predmeta znatno komplikuju posmatranje cilja.

3.3. Računarski uređaji

Računarom se naziva uređaj koji vrši zadane matematičke i logičke operacije nad veličinama uvedenim u njega, a koje su predstavljene nekom fizičkom veličinom u bilo kom obliku.

Računarski uređaji koji se primenjuju u sistemima daljinskog upravljanja obično rešavaju sledeće zadatke:

- proračunavaju putanje leta rakete u skladu sa odabranom metodom navođenja i parametrima kretanja cilja;
- određuju veličinu odstupanja rakete od proračunske putanje;
- izračunavaju veličinu i znak upravljačkih komandi za upravljanje letom rakete.

Pored nabrojanih zadataka, računar može vršiti i niz drugih funkcija:

1. — automatsko pretraživanje i otkrivanje cilja;
- određivanje koordinata tačke susreta rakete sa ciljem; *odnosno veličine preticanja*
3. — određivanje trenutka lansiranja rakete; *od otvaranja vatre*
2. — odabiranje cilja itd.

U zavisnosti od namene sistema daljinskog upravljanja i njihovih taktičko-tehničkih karakteristika, računarskim uređajima se postavljaju odgovarajući zahtevi u pogledu brzine funkcionisanja, obimnosti obrađivanih informacija i tačnosti izračunavanja.

U nekim sistemima daljinskog upravljanja (na primer, u sistemu navođenja protivtenkovskih raket), operator može vršiti funkcije računarskog uređaja. Međutim, u ovakvim slučajevima, zadaci koje rešava operator moraju biti vanredno jednostavniji, a primenjena metoda navođenja raket dovoljno prosta (metoda »tri tačke«). Pri velikom obimu obrađivanih informacija i kada se koriste metode navođenja sa preticanjem, koje zahtevaju relativno složene matematičke proračune, čovek nije u stanju da izvršava navođenje raket na cilj. Prirodno, da se u tom slučaju javlja potreba primene automatskih računarskih uređaja.

*u skladu
s istražišćem*

U stranim sistemima daljinskog upravljanja, u današnje vreme se primenjuju dve vrste računarskih uređaja:

— analogni računari (računari sa kontinualnim funkcionisanjem) u kojima se matematičke operacije vrše na veličinama u obliku sporopromenljivih napona ili struja;

— digitalni računari (cifarske računske mašine) u kojima se logičke i aritmetičke operacije vrše pomoću cifarskih kodova.

Analogni računari su, po pravilu, specijalizovani uređaji konstruisani za rešavanje samo određenih zadataka. Zbog toga se njihova konstrukcija, uzajamna povezanost elemenata i funkcionisanje određuju prirodom rešenja.

Kao primer ćemo razmotriti rad analognog računara koji se koristi u sistemu navođenja raketa na cilj, uz primenu metode sa konstantnim koeficijentom preticanja. Radi pojednostavljenja razmatraćemo rešavanje zadataka samo u jednoj od ravni navođenja (na primer, pri navođenju rakete po azimutu α).

Na ulaz računara iz radara (slika 13) dolaze koordinate cilja (α_c — ugao viziranja cilja i R_c — kosa daljina do cilja) i stvarne koordinate rakete (α_{rs} — ugao viziranja rakete i R_r — kosa daljine do rakete). Koordinate cilja i rakete su predstavljene naporima proporcionalnim veličinama uglova viziranja i kosih daljina,

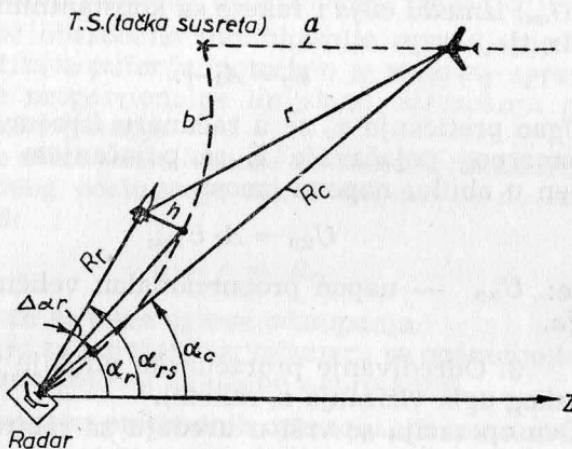
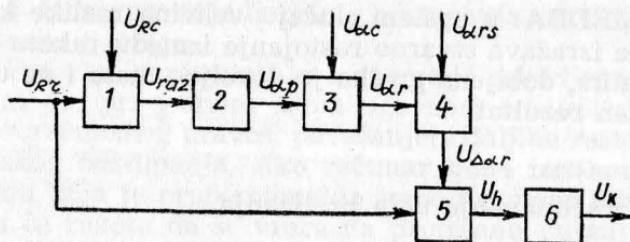
$$U_{\alpha p}, U_{Rc}, U_{\alpha rs}, U_{Rr}$$

Konačan rezultat izračunavanja u računaru mora biti signal proporcionalan veličini upravljačke komande, koju treba poslati na raketu da bi se obezbedilo njen kretanje po proračunskoj putanji, a koja je određena izrazom (2.2).

Izračunavanje veličine upravljačke komande može se podeliti na niz postupnih operacija, koje izvršavaju određeni elementi u računaru.

Na slici 13 predstavljena je jedna od varijanti blok-sema računara čiji ćemo rad razmotriti po pojedinačnim operacijama.

1. Izračunavanje veličine rastojanja između rakete i cilja (r).



Sl. 13 — Blok-šema analognog računara koji se primjenjuje za navođenje rakete metodom sa konstantnim koeficijentom preticanja i skica parametara cilja i rakete, koji se mere:

1 — I uredaj za oduzimanje, 2 — pojačavač sa koeficijentom pojačanja A_1 , 3 — uredaj za sabiranje, 4 — II uredaj za oduzimanje, 5 — uredaj za množenje, 6 — pojačavač, a — putanja cilja, b — proračunska putanja rakete

U ovom slučaju se mogu koristiti veličine kosih daljina, izražene naponima U_{Rc} i U_{Rr} . Ako se ovi naponi dovedu na uredaj za oduzimanje 1, dobije se:

$$U_{raz} = U_{Rc} - U_{Rr}$$

gde je: U_{raz} --- napon proporcionalan rastojanju između rakete i cilja.

PRIMEDBA: u opštem slučaju veličina razlike kosih daljina ne izražava stvarno rastojanje između rakete i cilja. Međutim, dobijena greška je dovoljno mala i ne utiče na konačan rezultat.

2. Izračunavanje ugla preticanja.

Ugao preticanja α_p (u računaru njemu odgovara napon $U_{\alpha p}$) izračunava se kao proizvod rastojanja r (u računaru U_{raz}) između cilja i rakete sa konstantnim koeficijentom A_1 , tj.

$$\alpha_p = A_1 \cdot r.$$

Ugao preticanja α_p se u računaru izračunava pomoću jednosmernog pojačavača 2, sa pojačanjem A_1 , i predstavljen u obliku napona iznosi:

$$U_{\alpha p} = A_1 U_{raz}, \quad (3.2)$$

gde je: $U_{\alpha p}$ — napon proporcionalan veličini ugla preticanja.

3. Određivanje proračunske putanje rakete (proračunskog ugla viziranja α_r rakete).

Ova operacija se vrši u uređaju za sabiranje 3 sabiranjem napona:

$$U_{\alpha r} = U_{\alpha c} + U_{\alpha p}, \quad (3.3)$$

gde je: $U_{\alpha r}$ — napon proporcionalan veličini proračunskog ugla viziranja rakete.

4. Određivanje veličine ugla $\Delta\alpha_r$ odstupanja rakete od proračunske putanje.

Ova operacija se vrši u bloku 4, određivanjem razlike ugaonih koordinata stvarnog i proračunskog položaja rakete:

$$U_{\Delta\alpha r} = U_{\alpha rs} - U_{\alpha r}, \quad (3.4)$$

gde je: $U_{\Delta\alpha r}$ — napon proporcionalan veličini ugla odstupanja rakete od proračunskog pravca.

5. Izračunavanje linijskog odstupanja rakete h od proračunske putanje.

Potreba izvršavanja ove operacije uslovljena je činjenicom da, pri jednom istom ugaonom odstupanju rakete od proračunskog pravca, povećanjem daljine raste veličina linijskog odstupanja. Ako računar bude izračunavao komandu koja je proporcionalna samo ugaonom odstupanju, onda će raketa da se vraća na propisanu putanju sporije na većim rastojanjima nego na manjim. Usled toga smanjiće se brzina funkcionisanja i tačnost sistema upravljanja na najvažnijoj deonici približavanja rakete cilju.

Da bi se obezbedilo najefikasnije upravljanje letom rakete duž čitave putanje, potrebno je stvarati upravljačke komande proporcionalne linijskom odstupanju rakete od proračunske putanje.

Linijsko odstupanje h može se odrediti na osnovu poznatog ugaonog odstupanja $\Delta\alpha_r$ i daljine R_r do rakete, kao proizvod:

$$h = \Delta\alpha_r \cdot R_r.$$

Ovaj izraz važi za male uglove odstupanja.

U uređaju za množenje u računaru se operacije izvode nad veličinama koje su analogne nabrojanim.

6. Kao rezultat prethodnih operacija, na izlazu uređaja za množenje dobija se napon koji je proporcionalan veličini linijskog odstupanja h .

$$U_h = U_{\Delta\alpha_r} \cdot U_{R_r}, \quad (3.5)$$

7. Izračunavanje veličine upravljačke komande.

Ova operacija se može vršiti pomoću pojačavača sa konstantnim pojačanjem, ili pomoću funkcionalnog uređaja (u zavisnosti od tehničkih karakteristika sistema upravljanja letom rakete). U opštem slučaju je veličina komande K proporcionalna veličini linijskog odstupanja. Sa izlaza računara komanda se dobija u vidu napona

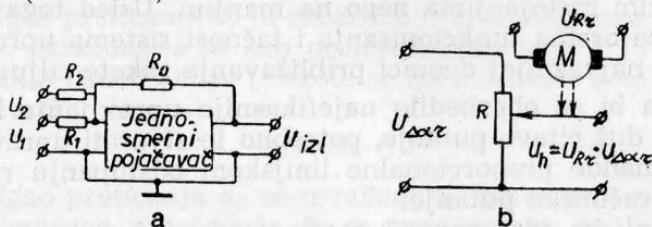
$$U_k = L \cdot U_h. \quad (3.6)$$

gde je: L — koeficijent proporcionalnosti.

Na osnovu izraza (3.1, 3.2, 3.3, 3.4 i 3.5) može se odrediti zavisnost veličine upravljačke komande od ulaznih signala:

$$U_k = L \cdot U_{Rr} [(U_{ars} - U_{ac}) - A_1 (U_{Re} - U_{Rr})].$$

U svojstvu elemenata za sabiranje i oduzimanje u analognim računarima mogu se primeniti operacioni pojačavači (slika 14a).



Sl. 14 — Šema operacionog pojačavača (a) i elektromehaničkog uređaja za množenje (b)

Izlazni napon operacionog pojačavača određen je formulom:

$$U_{izl} = - \left(\frac{R_o}{R_1} U_1 + \frac{R_o}{R_2} U_2 \right) \quad (3.7)$$

i zavisi od veličina ulaznih napona U_1 i U_2 . Svaki od ulaznih napona ulazi u sastav zbiru sa nekim koeficijentom srazmernim, čija je veličina određena odnosom otpornika R_o , R_1 i R_2 .

Za prosto sabiranje napona veličine otpornika moraju biti jednake ($R_o = R_1 = R_2$) i u tom slučaju je

$$U_{izl} = -(U_1 + U_2)$$

Pri korišćenju operacionog pojačavača u svojstvu elemenata za oduzimanje, potrebno je na ulaz dovesti napone, koji se oduzimaju, sa suprotnim predznacima*).

Uredaji za množenje (ili umnožaci) su najčešće elektromehanički elementi, ili elektronski prekidači — umnožaci.

*) Jednom od napona se menja predznak. — Prim. prev.

Elektromehanički uređaj za množenje predstavlja potenciometar, pri čemu je zakon kretanja klizača potenciometra određen jednom od veličina koje se množe, koja, po pravilu, ne menja znak.

Na slici 14b pokazana je šema uređaja za množenje veličina $U\Delta\alpha_r$ i U_{Rr} .

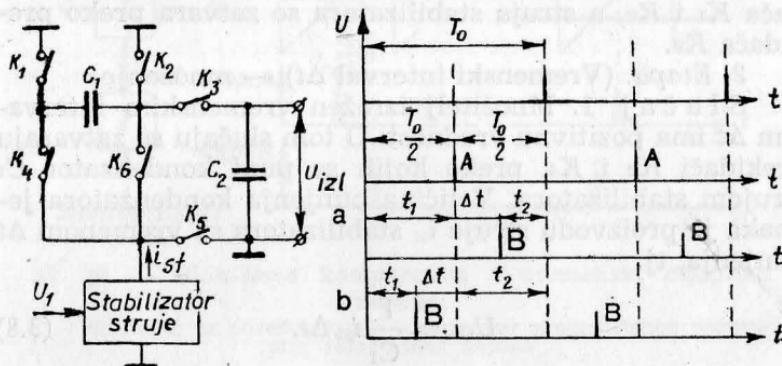
Elektromehaničko množenje je najjednostavnije, ali poseduje niz bitnih nedostataka.

Kao prvo, tačnost množenja je mala usled grešaka koje unose mehanički elementi.

Kao drugo, potreba pretvaranja električne veličine (napona U_{Rr}) u mehaničko kretanje klizača uslovjava primenu dosta glomaznih i ne sasvim pouzdanih elektromehaničkih uređaja.

U savremenim analognim računarima mnogo se primjenjuju tzv. elektronski umnožaci, koji poseduju dovoljno veliku tačnost izvršavanja operacija množenja.

Elektronski umnožaci se primjenjuju za množenje dva napona koja se neprekidno menjaju u toku vremena. Jedna od veličina se izražava jednosmernim naponom (sporopromenljivim naponom), a druga širinom impulsa ili vremenskim intervalom između impulsa, koji imaju konstantnu periodu ponavljanja T_o . Elektronski umnožaci su naročito



Sl. 15 — Elektronski umnožač:

a — vremenski dijagram impulsa B pri pozitivnim vrednostima množitelja, izraženog vremenskim intervalom, b — vremenski dijagram impulsa B pri negativnim vrednostima množitelja

podesni za množenje dvopolnih napona, tj. napona koji mogu dobijati i pozitivne i negativne vrednosti.

Jedna od varijanti umnožača i vremenski dijagrami pokazani su na slici 15.

Na dijagramu je dvopolni umnožač predstavljen u viđu vremenskog intervala Δt između impulsa A i B . Pri pozitivnim vrednostima množitelja impulsi B slede za impulsima A (impulsi A se poklapaju sa sredinom vremenskog intervala T_0), a pri negativnim vrednostima množitelja impulsi B se nalaze u prvoj polovini intervala T_0 .

Za uvođenje drugog množitelja u šemu koristi se stabilizator struje. Stabilizatorom struje upravlja se pomoću napona čija je veličina proporcionalna veličini drugog množitelja, tj. struja i_{st} je upravno proporcionalna veličini dovedenog napona U_1 .

U elektronskom umnožaču pored stabilizatora struje i elektronskih prekidača, postoje dva kondenzatora: kondenzator za nagomilavanje elektriciteta C_1 i pamteći kondenzator C_2 . Kapacitetnost kondenzatora C_2 je mnogo manja od kapacitetnosti C_1 .

Rad šeme je najpodesnije razmatrati po etapama.

1. Etapa. (vremenski interval t_1) — priprema šeme za operaciju. U ovom slučaju prekidači K_1 , K_2 i K_5 su zatvoreni. Kondenzator C_1 je potpuno ispraznjen preko prekidača K_1 i K_2 , a struja stabilizatora se zatvara preko prekidača K_5 .

2. Etapa. (Vremenski interval Δt) — množenje.

Slučaj 1. Množitelj izražen vremenskim intervalom Δt ima pozitivnu vrednost. U tom slučaju se zatvaraju prekidači K_2 i K_4 , preko kojih se puni kondenzator C_1 strujom stabilizatora. Veličina punjenja kondenzatora jednaka je proizvodu struje i_{st} stabilizatora sa vremenom Δt punjenja, tj.

$$U_{C1} = \frac{1}{C_1} i_{st} \Delta t. \quad (3.8)$$

Slučaj 2. Množitelj izražen vremenskim intervalom Δt ima negativnu vrednost. U tom slučaju se zatvaraju prekidači K_1 i K_6 . Struja stabilizatora će puniti kon-

denzator C_1 protičući kroz njega u suprotnom smeru, tj. znak punjenja kondenzatora promeniće se u odnosu na prvi slučaj. I u ovom slučaju veličina punjenja je određena izrazom (3.8).

3. Etapa. (Vremenski interval t_2) — predaja punjenja.

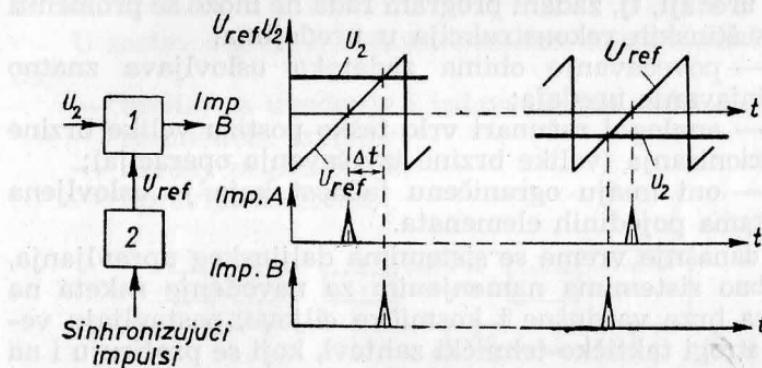
U ovom slučaju su zatvoreni prekidači K_1 , K_2 i K_3 . Deo punjenja se preko prekidača K_1 , K_2 i K_3 sa kondenzatora C_1 prenosi na pamteći kondenzator. Ako je ostvaren uslov $C_1 \ll C_2$, napon na kondenzatoru C_2 biće približno ravan veličini napona U_{C1} . Prema tome,

$$U_{izl} = K_{ist} \Delta t = A \cdot U_1 \cdot U_2,$$

gde je: K — koeficijent pojačanja šeme ($K < 1$);
 A — konstantna veličina.

U ovoj šemi prekidači K_1 , K_2 i K_3 moraju imati dvostranu provodnost, a ostali prekidači mogu biti jednopoljni.

U elektronском умноžачу мора се, при доношењу дводелног споропроменљивог напона (U_2), овај напон претходно претворити у временски интервал помоћу специјалног уређаја за poređenje (komparatora).



Sl. 16 — Blok-šema komparatora i vremenski dijagram naponata:

1 — elemenat za poređenje, 2 — generator nesimetričnog testiranog referentnog napona

Na slici 16 pokazana je blok-šema komparatora i naponski dijagrami. Na ulaz elementa za poređenje 1 dovodi se sporopromenljivi jednosmerni napon U_2 , koji predstav-

lja analognu veličinu jednog množitelja. Na drugi ulaz ovog elementa deluje linearno rastući testerasti referentni napon sa periodom T_0 . Ovaj napon stvara generator testera rastog napona 2, koji se uključuje sinhronizujućim impulsima.

Kada se ulazni napon po veličini podudari sa testera-stim naponom, element za poređenje trenutno (skokom) menja svoje stanje (na primer, jedna elektronska cev se blokira)*). Početno stanje se uspostavlja u početku svake periode. U momentu skoka na izlazu se obrazuje kratko-trajni impuls B .

Veličina vremenskog intervala Δt između impulsa B i impulsa A , koji se podudaraju sa sredinom taktnog intervala T_0 , proporcionalna je veličini ulaznog napona, a vremenski položaj impulsa B u odnosu na impuls A izražava znak ulaznog napona.

Analogni računari široko se primenjuju u sistemima daljinskog upravljanja. Međutim, oni poseduju niz bitnih nedostataka, kao što su:

- analogni računari su, po pravilu, usko specijalizovani uređaji, tj. zadani program rada ne može se promeniti bez suštinskih rekonstrukcija u uređajima;
- povećavanje obima zadataka uslovljava znatno usložnjavanje uređaja;
- analogni računari vrlo teško postižu velike brzine funkcionisanja (velike brzine izvršavanja operacija);
- oni imaju ograničenu tačnost koja je uslovljena greškama pojedinih elemenata.

U današnje vreme se sistemima daljinskog upravljanja, posebno sistemima namenjenim za navođenje raketa na veoma brze vazdušne i kosmičke ciljeve, postavljaju veoma strogi taktičko-tehnički zahtevi, koji se proširuju i na računare, s obzirom da oni predstavljaju »moždane centre« ovih sistema. Računari ne samo što moraju rešavati veliki obim logičkih i matematičkih zadataka, nego moraju funkcionišati vrlo brzo, posedovati dovoljnu tačnost izvršava-

*) Ulogu elementa za poređenje obično vrše bistabilni ili monostabilni multivibratori koji mogu biti u dva različita stanja u pogledu prevodenja struje. — Prim. prev.

nja operacija i neophodan obim pamćenja. Ove uslove mogu zadovoljiti samo digitalne računske mašine.

Savremene elektronske digitalne računske mašine su u potpunosti automatizovane, počevši od vršenja operacija sa brojevima i izvršavanja programom određene postupnosti operacija, pa sve do kontrolisanja ispravnosti rada pojedinih blokova. Digitalne računske mašine rade po unapred sastavljenom programu koji je uveden u pamteće celije mašine.

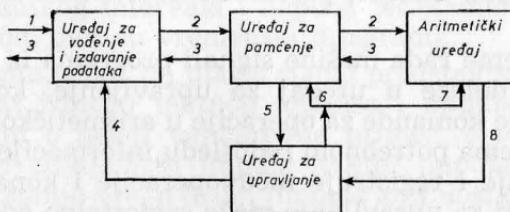
Program predstavlja redosled komandi i signala, koji upravljaju postupnošću izvršavanja pojedinih operacija.

Svaki digitalni računar ima nekoliko radnih programa, a sama mašina odabira jedan od njih, ili određeni redosled međuprograma, u zavisnosti od prirode i uslova izvršavanja postavljenih zadataka.

Pored rešavanja matematičkih zadataka, digitalni računar može izvršavati i logičke operacije (na primer, traženje i otkrivanje cilja, odabiranje cilja za uništenje itd.). Sve operacije, uključujući i logičke, u digitalnom računaru vrše se sa brojevima, koji su izraženi kodom usvojenim za datu mašinu.

U sastav digitalne računske mašine ulaze sledeći uređaji:

- uređaj za uvođenje i izdavanje podataka;
- aritmetički uređaj;
- uređaj za pamćenje;
- upravljački uređaj.



Sl. 17 — Blok-šema digitalne računske mašine:

1 — ulazna informacija, 2 — brojevi, 3 — rezultat, 4 — upravljanje uvođenjem i izdavanjem podataka, 5 — program, 6 — komande adresa, 7 — komande za operacije, 8 — signali o izvršenju operacija

Opšta struktura šema digitalne računske mašine sa međusobnim vezama pojedinih uređaja pokazana je na slici 17.

Aritmetički uređaj izvršava aritmetičke i logičke operacije nad brojevima i komandama u toku rešavanja zadatka.

Uređaj za pamćenje je namenjen za registrovanje, čuvanje i izdavanje polaznih podataka, međurešenja i konačnih rezultata, kao i programa za rešavanje.

Upravljački uređaj automatski upravlja svim uređajima mašine u toku izvršavanja programa rešavanja zadatka.

Uređaj za uvođenje i izvođenje podataka namenjen je za pripremu i uvođenje u mašinu polaznog brojčanog i programskega materijala, kao i za izdavanje rezultata.

Na ulaz uređaja za uvođenje i izdvajanje podataka dolaze informacije sa izlaza pojedinih uređaja sistema daljinskog vođenja u obliku električnih impulsnih signala, koji predstavljaju brojeve izražene u usvojenom kodu. U uređaju za uvođenje i izdavanje podataka ulazne informacije se upisuju u registre, koji predstavljaju elemente operativnog pamćenja, a odatle se po komandama za upravljanje uvođenjem podataka, koje dolaze iz upravljačkog uređaja, ove informacije prenose u predene celije uređaja za pamćenje, pridajući svakom broju svoju adresu. —

Uređaj za pamćenje može čuvati informacije kako one koje su uvedene u mašinu, tako i rezultate međuoperacija, program rada mašine, protrebne konstante i konačne rezultate.

Za vreme rada mašine signali programa iz uređaja za pamćenje dolaze u uređaj za upravljanje, koji formira upravljačke komande za operacije u aritmetičkom uređaju, odabira prema potrebnom redosledu informacije iz uređaja za pamćenje i registruje međuoperacije i konačne rezultate. Uredaj za upravljanje može samostalno odabirati potrebne programske signale i, ukoliko je potrebno, menjati redosled izvršavanja programa. Odabiranje brojeva iz uređaja za pamćenje, radi izvršavanja operacija nad njima, vrši se po komandama koje u sebi sadrže i kôd adrese. Po

tim komandama brojevi iz uređaja za pamćenje dolaze u aritmetički uređaj, gde se u skladu sa komandom nad njima vrši neka operacija.

Rezultati međuoperacija idu po određenim adresama u uređaj za pamćenje, gde se čuvaju do sledećeg korišćenja. Iz aritmetičkog uređaja se posle izvršenja svake operacije šalje u uređaj za upravljanje signal o izvršenju operacija.

Konačni rezultat se u obliku impulsnog cifarskog kôda preko uređaja za uvođenje i izdavanje podataka, po komandi iz uređaja za upravljanje prenosi u sistem daljinskog upravljanja.

Informacije iz uređaja sistema daljinskog upravljanja mogu na ulaz digitalnog računara dolaziti u obliku impulsnih cifarskih kodova ili u obliku konstantnih i sporopromenljivih napona. U poslednjem slučaju u uređaju za uvođenje i izdavanje podataka vrši se pretvaranje informacija u cifarski kod.

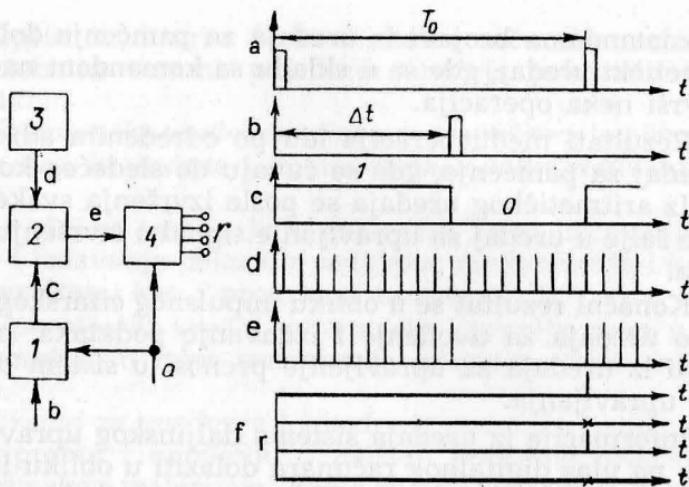
U specijalnoj literaturi podrobnije je opisana konstrukcija digitalnih računskih mašina i funkcionalisanje njihovih uređaja.

U većini inostranih radarskih sistema signali koji dolaze na digitalne računare obično se izražavaju električnim naponom ili vremenskim intervalom. Ovakvi signali se pretvaraju u impulsni cifarski kôd pomoću specijalnih uređaja.

Na slici 18 i 19 predstavljene su blok-šeme pretvaraњa vremenskog intervala i napona jednosmerne struje u cifarski kôd, dati su vremenski dijagrami.

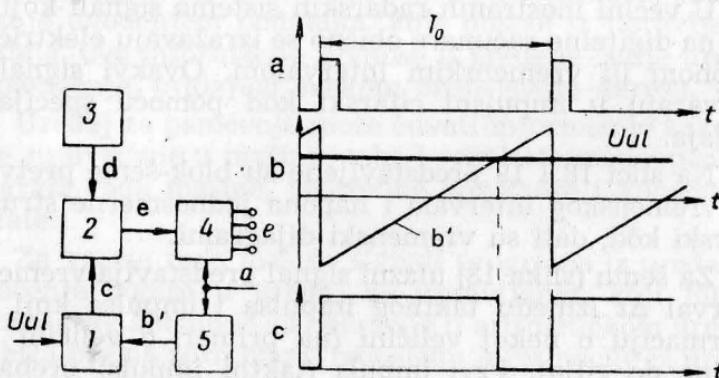
Za šemu (slika 18) ulazni signal predstavlja vremenski interval Δt između taktnog impulsa i impulsa koji nosi informaciju o nekoj veličini (na primer, o veličini kose daljine do cilja). Prvi impuls (taktni impuls) prebacuje triger*) u stanje »1«, a drugi (impuls koji nosi informaciju) — u stanje »0« (slika 18c). Dobijeni impulsi dolaze na upravljeni ventil 2, koji u toku vremena Δt propušta im-

*) Bistabilni multivibrator koji ima 2 stabilna stanja u pogledu provodnosti za struju. — *Prim. prev.*



Sl. 18 — Šema pretvaranja vremenskog intervala u vremenski kod:

1 — triger, 2 — upravljaní ventil, 3 — generator impulsa, 4 — brojač impulsa, a — taktni impulsi, b — radni impulsi, c — upravljači impulsi, d — izlazni napon generatora, e — brojački impulsi, f — impulsni binarni kod.



Sl. 19 — Šema pretvaranja jednosmernog napona u cifarski kôd;

1 — komparator, 2 — upravljeni ventil, 3 — generator impulsa, 4 — brojač impulsa, 5 — generator nesimetričnog testerastog napona, a — taktni impulsi, b — vremenski dijagram ulaznog i testerastog napona, c — upravljački impulsi.

pulse generatora 3 na brojač 4. Broj impulsa koji prođu na brojač za vreme Δt proporcionalan je ulaznoj veličini.

Taktni impulsi upravljaju radom brojača impulsa. Kada na brojač dođe taktni impuls vrši se očitavanje binarnog broja*) zapisanog u toku prethodnog taktnog intervala, a brojač se priprema za rad u nastupajućem taktu.

Na taj način šema pretvara radarske informacije, izražene vremenskim intervalima, u cifarski binarni kôd.

Šema predstavljena na slici 19 funkcioniše analogno. Razlika je u tome što se jednosmerni napon prethodno pretvara u impulsni napon čije je trajanje proporcionalno veličini ulaznog signala. Dobijeni impuls, kao i u prethodnom slučaju, deluje na upravljeni ventil.

Frekvencija impulsa generatora određuje tačnost pretvaranja ulaznih informacija u cifarski kôd. Ukoliko je frekvencija impulsa veća utolikoj je veća tačnost pretvaranja.

Šema digitalnog arhitekta

*) Broj izražen u binarnom brojnom sistemu koji se upotrebljava u digit. računarima. — Prim. prev.

stvoren i potreban je da se učinju sredstva za
izmjenjivanje i prenos podataka između zemljane
zemlje i svemira. Uz to, u svemiru se moraju
postaviti sateliti i tekući i zemljani sateliti
treba da budu u mogućnosti da se komuniciraju
i da se mogu prenositi razne informacije.

Glava IV

METODE I UREĐAJI ZA PRENOŠENJE KOMANDI

Komandni signal predstavlja napon ili struju određenog oblika.

U zavisnosti od primjenjenog kanala za prenošenje komandi (kanala veze) i metode prenošenja komandi, komanda po veličini i znaku može biti izražena određenim parametrima električnog signala ili radio-signala (amplitudom, fazom, frekvencijom).

U sistemima daljinskog upravljanja primenjuju se dve vrste kanala za prenošenje komandi: žični vodovi i radio-kanali.

Žični vodovi za vezu se danas, po pravilu, primenjuju u onim sistemima daljinskog upravljanja koji imaju relativno malu daljinu navođenja rakete i podzvučnu brzinu leta (na primer, sistemi protivtenkovskih vođenih raketa).

Radio-kanali za prenošenje komandi se primenjuju u svim ostalim sistemima za navođenje raketa. Radio-kanali obezbeđuju pouzdan rad pri dosta velikim udaljenostima i brzinama. Upravljačka komanda se po radio-kanalu prenosi u obliku radio-signala, koji je modulisana na specijalan način.

U radio-kanalima sistema daljinskog vođenja mogu se primenjivati radio-talasi metarskog, decimetarskog ili santimetarskog talasnog opsega. Za svaki radio-kanal odbira se određena frekvencija, koja se naziva nosećom frekvencijom. Na toj frekvenciji se prenosi informacija sa upravljačkog punkta o prirodi i veličini upravljačke komande, koja je obično sakrivena u modulišućem signalu. Modulišući signal na određen način predstavlja šifrovanu komandu.

Od zemaljskih uređaja sistema daljinskog upravljanja potrebno je na raketu prenosi istovremeno, ili u određenom vremenskom intervalu, više komandi. Da bi bilo moguće prenosići sve komande jednom nosećom frekvencijom, na koju je podešen prijemnik rakete, za svaku komandu se koristi određeni niskofrekventni signal, koji se naziva pomoćnom nosećom frekvencijom i kojim se moduliše noseća radio-frekvencija.

Upotreba pomoćnih nosećih frekvencija omogućava dovoljno jednostavno i pouzdano ostvarivanje višekanalnih radio-veza sa zajedničkim visokofrekventnim radio-kanalom za sve veze.

U radio-kanalima sistema daljinskog upravljanja obično se primjenjuje amplitudna (AM) ili frekventna (FM) modulacija noseće frekvencije. Pri tome se visokofrekventni signal moduliše pomoćnom nosećom po amplitudi ili po frekvenciji.

Pomoćna noseća frekvencija se takođe moduliše. U zavisnosti od primjenjenog načina šifriranja upravljačkih komandi u datom radio-kanalu, modulacija pomoćne noseće može biti amplitudna, frekventna ili impulsna.

Kao što je poznato, svaka informacija (uključujući i komande) može se prenosi u vidu kontinualnih ravnomerno promenljivih veličina ili u vidu prekidnih (diskretnih) vrednosti. Za prenošenje komandi daljinskog upravljanja koriste se obe metode: metoda neprekidnih komandi i metoda diskretnih ili fiksiranih komandi.

4.1. Metode formiranja i prenošenja neprekidnih komandi

Pri ovim metodama prenosa, veličina upravljačke komande se kontinualno menja u određenim granicama koje zavise od tehničkih mogućnosti rakete i sistema daljinskog upravljanja.

Za prenošenje neprekidnih komandi obično se koristi mogućnost kontinualne promene amplitude, frekvencije ili faze električnog ili radio-signala, kao i odgovarajućih parametara impulsa.

Neprekidne komande sa kontinualnom promenom amplitude signala mogu se prenositi samo onim kanalima daljinskog upravljanja u kojima se veličina signala, koji se prenosi sa komandnog mesta na raketu, ne smanjuje pri povećanju daljine do rakete. Ova metoda prenošenja komandi može se primeniti, na primer, u sistemima daljinskog upravljanja sa žičnim vezama pri relativno maloj dužini kanala veze.

U sistemima daljinskog upravljanja sa radio-kanalom za vezu, amplituda signala koga prima prijemnik u raketi zavisi od rastojanja između rakete i upravljačkog punkta. Tako, na primer, pri povećanju rastojanja između rakete i upravljačkog punkta za dva puta, amplituda primljenog signala se smanjuje četiri puta. Na odgovarajući način se pri povećanju rastojanja za deset puta, amplituda signala smanjuje sto puta, tj. smanjenje amplitude signala koga prima prijemnik rakete proporcionalna je kvadratu rastojanja između rakete i upravljačkog punkta.

Ovo značajno smanjenje veličine signala koga prima prijemnik rakete pri povećanju rastojanja, ne dozvoljava da se u sistemima daljinskog upravljanja sa radio-kanalom za vezu koriste metode neposredne modulacije prenošenog signala po amplitudi sa kontinualno promenljivim naponom, koji je proporcionalan veličini upravljačke komande. U ovom slučaju primenjuju se specijalne metode, pri čemu se koriste različiti načini šifriranja.

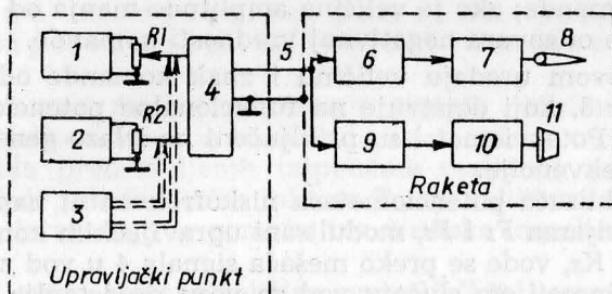
Razmotrićemo nekoliko konkretnih primera formiranja i prenošenja upravljačkih komandi.

A. Formiranje i prenošenje neprekidnih upravljačkih komandi u sistemima sa žičnom vezom

U sistemima sa žičnom vezom upravljačke komande se mogu prenositi u obliku sporopromenljivih jednosmernih napona, čija se veličina i znak određuju upravljačkim komandama, ili u obliku niskofrekventnih napona sa amplitudnom ili impulsnom modulacijom.

Primena složenijih metoda prenošenja komandi preko žičnih veza nije preporučiva, jer bi to dovelo do nepotrebнog komplikovanja uređaja na upravljačkom punktu i na raketи.

Za upravljanje raketom u letu potrebno je prenositi najmanje dve vrste komandi: upravljačke komande po kursu (»desno-levo«) i upravljačke komande po propinjanju (»gore-dole«). Pri istovremenom prenosu dveju kontinualnih upravljačkih komandi, predstavljenih u obliku sporopromenljivih jednosmernih napona, potrebno je imati dva kanala žične veze, tj. najmanje tri provodnika. Međutim, kada je duljina navođenja rakete nekoliko kilometara, tada će i težina provodnika za vezu biti znatna. Postavljanjem kalemova sa provodnicima na raketу (kao što se to obično čini u savremenim sistemima daljinskog upravljanja sa žičnim kanalima za vezu), raketи se povećava težina i gabariti. Često se javlja potreba za prenošenjem



Sl. 20 — Blok-sema predajnog i prijemnog uređaja sistema daljinskog upravljanja sa žičnom vezom:

- 1, 2 — generatori napona sa frekvencijama F₁ i F₂, R₁ i R₂
- funkcionalni potenciometri, 3 — operator, 4 — mešač, 5 — žičani vod za vezu, 6, 9 — filtri za frekvencije F₁ i F₂,
- 10 — pretvarači električnog signala u ugao zaokreta korimila, 8, 11 — kormila za kurs i propinjanje

još nekih komandi, pa je zbog toga najpodesnija primena višekanalnih vodova za vezu, tj. vodova koji se sastoje iz para provodnika, ali imaju mogućnost istovremenog prenošenja više od dva signala.

U višekanalnim vodovima za vezu obavezno je raspoznavanje istovremeno prenošenih signala. Svaki signal mora imati svoju »karakteristiku«, tj. osobinu koja je svojstvena samo datom signalu i po kojoj se on može izdvojiti iz ostalih. Ovakvu karakteristiku može predstavljati frekvencija na kojoj se prenosi neki signal (upravljačka komanda).

Na slici 20 pokazana je blok-šema uređaja za formiranje i prenošenje upravljačkih komandi, uz primenu amplitudne modulacije nosećih niskofrekventnih oscilacija.

Uređaj radi na sledeći način.

Pomoću generatora 1 i 2 stvaraju se niskofrekventni naponi sa frekvencijama F_1 i F_2 , koji predstavljaju prenosne informacije o veličini i znaku upravljačkih komandi K_1 i K_2 . Veličina i znak upravljačkih komandi određeni su veličinom i znakom applitude niskofrekventnog signala u odnosu na nulti nivo. Ako je amplituda signala veća od određenog nultog nivoa, onda to odgovara pozitivnoj vrednosti komande; ako je veličina amplitude manja od nultog nivoa, to odgovara negativnoj vrednosti komande.

U ovom uređaju veličinu i znak komande određuje operator 3, koji dejstvuje na funkcionalne potenciometre R_1 i R_2 . Potenciometri su priključeni na izlaze generatora niske frekvencije.

Sa klizača potenciometra niskofrekventni naponi sa frekvencijama F_1 i F_2 , modulisani upravljačkim komandama K_1 i K_2 , vode se preko mešača signala 4 u vod za vezu 5. U najprostijem slučaju vod za vezu predstavlja dvožičan kabl.

Na ulazu upravljačkih uređaja u raketu nalazi se dešifrador komandi, koji se sastoji od filtara 6 i 9, podešenih na frekvencije F_1 i F_2 . Dešifrador komandi razdvaja signale komandi u dva posebna kanala. U svakom od ovih kanala vrši se pojačavanje i pretvaranje električnog signala upravljačke komande u ugao zaokreta kormila 8 i 11.

Na taj način, operator, posmatrajući kroz optički vizir cilj i raketu, može delovanjem na odgovarajuće organe upravljati letom raketete, težeći da se pravac njenog kretanja poklopi sa pravcem na cilj.

B. Formiranje i prenošenje neprekidnih komandi u sistemima daljinskog upravljanja sa radio-kanalom za vezu

U sistemima daljinskog upravljanja sa radio-kanalom za vezu ulogu prenosnika informacija vrše radio-talasi, koji se dobro šire u prostoru.

Veličine i znaci upravljačkih komandi obično su skriveni u modulišućem signalu, koji predstavlja upravljačku komandu u šifriranom obliku. U mnogim savremenim sistemima za prenošenje komandi primenjuje se amplitudna modulacija noseće radio-frekvencije. Za modulišuće signale mogu se primeniti sinusne oscilacije određene frekvencije ili impulsni signali.

Razmotrićemo nekoliko metoda formiranja i prenošenja upravljačkih komandi u sistemima sa radio-kanalom za vezu.

(1) Širinska impulsna modulacija i frekventna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće

Pri ovoj metodi prenošenja signala, veličina i znak upravljačke komande izražavaju se u obliku vremenskih intervala predstavljenih impulsima različitog polariteta, koji slede sa određenim taktom T_0 , tj. veličina i znak komande izražavaju se pomoću tzv. širinske impulsne modulacije.

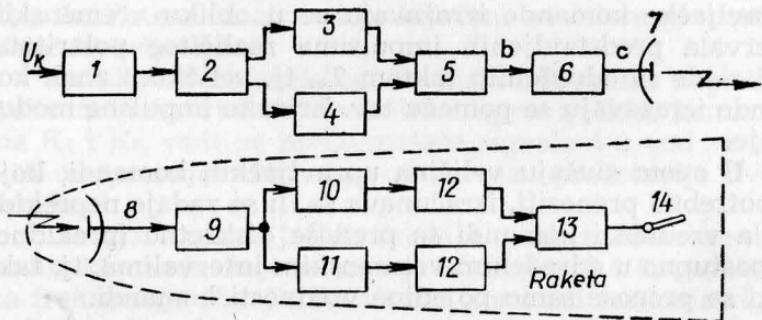
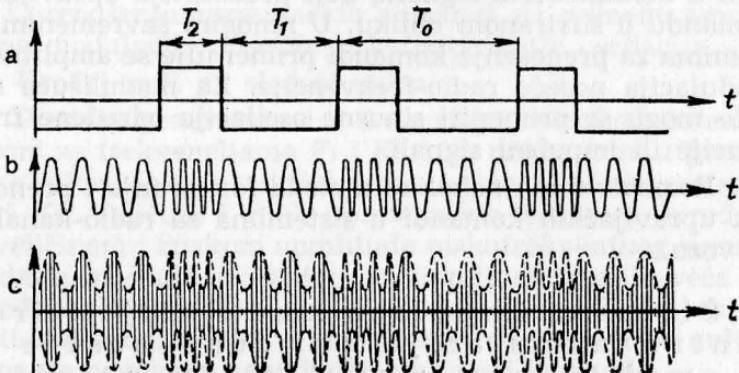
U ovom slučaju veličina upravljačkih komandi, koje je potrebno prenositi, izračunava se ili se zadaje neprekidno, a vrednosti komandi se prenose diskretno (prekidno) — postupno u određenim vremenskim intervalima, tj. faktički se prenose samo pojedine vrednosti komandi.

Bez obzira na prekidnost prenošenja signala pri primeni ove metode, u kojoj se vrednost komande prenosi u toku određenog vremena, koje odgovara taktnom intervalu, prenošena veličina komande može se kontinualno menjati promenom širine impulsa T_1 i T_2 u granicama taktnog intervala. Zbog toga ova metoda, i njoj analogne, spada u klasu metoda prenošenja neprekidnih komandi.

Odnos širina impulsa T_1 i T_2 (slika 21a) proporcionalan je veličini komande (koeficijentu komande X_k):

$$X_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}. \quad (4.1)$$

Na primer, ako je veličina T_1 veća od T_2 , to odgovara pozitivnoj vrednosti komande, a ako je T_1 manje od T_2



Sl. 21 — Blok-šema uređaja za formiranje signala sa širinskom impulsnom i frekventnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije i vremenski dijagrami:

1 — šema formiranja impulsa T_1 i T_2 , 2 — upravljački uredaj, 3, 4 — generatori frekvencija F_1 i F_2 , 5 — uredaj za sabiranje, 6 — generator noseće frekvencije, 7 — predajna antena, 8 — antena rakete, 9 — prijemnik, 10 i 11 — filtri za frekvencije F_1 i F_2 , 12 — detektori, 13 — uredaj za oduzimanje, 14 — upravljačko kormilo

— odgovara negativnoj vrednosti. Pri nultoj vrednosti komande širina impulsa T_1 jednaka je širini impulsa T_2 .

Signal predstavlja zbir niskih frekvencija F_1 i F_2 (slika 21b), koje popunjavaju odgovarajuće vremenske intervale T_1 i T_2 . Dobijenim naponom pomoćne noseće frekvencije vrši se amplitudna modulacija nosećeg visokofrekventnog signala, koji se pomoću antene od predajnika komandi emituje na raketu (slika 21c).

Na slici 21 pokazana je jedna od mogućih varijanti šema za formiranje signala upravljačkih komandi i vremenski dijagrami.

Na ulaz uređaja iz računara dolazi upravljačka komanda U_k u obliku jednosmernog napona. U bloku 1 se veličina i znak napona, koji predstavljaju analogiju upravljačke komande, pretvaraju u vremenske intervale T_1 i T_2 . Pri kontinualnoj promeni veličine ulaznog napona kontinualno se menja i odnos vremenskih intervala T_1 i T_2 u taktnom intervalu T_0 . Zatim impulsi, koji odgovaraju vremenskim intervalima, dolaze na upravljački uređaj 2.

Upravljački uređaj, postupno, za vreme T_1 i T_2 okida niskofrekventne generatore F_1 i F_2 (3 i 4).

U uređaju za sabiranje 5 obrazuje se zajednički frekventno-modulisani signal u kome se naizmenično menjaju frekvencije F_1 i F_2 . Ovim signalom se amplitudno moduliše napon noseće frekvencije koju stvara generator 6. Ovako dobijen signal kroz antenu predajnika komandi emituje se u pravcu rakete.

Uređaji u raketi moraju biti takvi da mogu pretvoriti radio-signale upravljačkih komandi u odgovarajući zaokret kormila. Za izvršenje ovog zadatka u sastav uređaja za vođenje rakete ulaze:

— antena, koja prima radio-signale upravljačkih komandi;

— prijemni uređaj, koji omogućava pojačavanje primljenih radio-signala i izdvajanje modulišućeg napona niske frekvencije;

— uređaj za raspodelu i pretvaranje, pomoću koga se naponi frekvencije F_1 i F_2 pretvaraju u upravljačke signale, koji deluju na kormila rakete.

Na slici 21 pokazana je takođe i blok-šema uređaja rakete za dešifriranje i pretvaranje radio-signala upravljačkih komandi.

Radio-signal primljen antenom 8 rakete dolazi na ulaz prijemnog uređaja 9 u kojem se pojačava do potrebne veličine i detektuje sa ciljem izdvajanja niskofrekventnih modulišućih signala, koji se dovode na razdvajačke filtre 10 i 11, podešene na frekvencije F_1 i F_2 .

Za pretvaranje sinusnih napona niske frekvencije, izdvojenih u filtrima, u impulse služe detektori 12 koji stoje na izlazu filtara. Trajanje dobijenih impulsa ravno je trajanju emisije odgovarajućih napona frekvencija F_1 i F_2 .

Pomoću detektora svaka emisija sinusnog napona se pretvara u video-impuls odgovarajuće širine (T_1 i T_2).

Pošto su veličine i znak komande pri ovoj metodi prenošenja određeni jednačinom (4.1), javlja se potreba dobijanja razlike vremenskih intervala u raketni. Zbog toga se impulsi širine T_1 i T_2 sa izlaza detektora vode na uređaj za oduzimanje 13, koji predstavlja pretvarač vremen-skog intervala u signal za upravljanje kormilima.

Analogna metoda formiranja i prenošenja upravljač-kih komandi prema pretprojektu, trebalo je da se primeni u sistemu navođenja raketna klase »zemlja-vazduh« »Burgung« (Nemačka). U ovom sistemu je predviđena primena optičkih instrumenata za praćenje cilja i raketne. Za poboljšanje vidljivosti raketne na njoj je trebalo da budu postavljeni specijalni traseri. Raketom je trebalo da upravlja operator, pomoću upravljačke ručice na specijalnom pultu. Pri tome je operator bio dužan da održava raketu na liniji viziranja cilja (metoda »tri tačke«).

Upravljačka ručica je povezana sa generatorom koji stvara impulse određene širine u zavisnosti od položaja ručice. Ovi impulsi se pretvaraju u impulse niske frekvencije kojima se moduliše noseća frekvencija predajnika.

Signali primljeni pomoću antene na raketni pretvaraju se u ovakvim sistemima u impulse jednosmerne struje, kojima se napajaju polarizovani releji. Ovi releji upravljaju radom kormila. Postoje dva ovakva releja za dve ravni upravljanja (po kursu i po propinjanju). Kormila

rakete u toku upravljačkog procesa osciluju frekvencijom upravljačkih impulsa. Vreme u toku koga se kormilo nalazi u svakom od dva stabilna krajnja položaja zavisi od širine impulsa, a širina je sa svoje strane određena položajem upravljačke ručice.

(2) **Vremenska impulsna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće**

Pri ovoj metodi formiranja signala upravljačkih komandi, veličina i znak komandi izražavaju se vremenskim intervalom T_1 (slika 22b). U ovom slučaju se kao neophodan uslov javlja odašiljanje taktnih impulsa pomoću kojih se određuje vremenski interval, koji opet određuje veličinu i znak upravljačke komande.

Vremensko pomeranje komandnog (radnog) impulsa može se kontinualno menjati u granicama taktnog intervala, pri kontinualnoj promeni veličine upravljačke komande. Vremensko pomeranje će biti utoliko veće ukoliko je veća prenošena komanda.

Veličina upravljačke komande (koeficijent komande) može se odrediti, kao i pri prethodnoj metodi, izrazom (4.1).

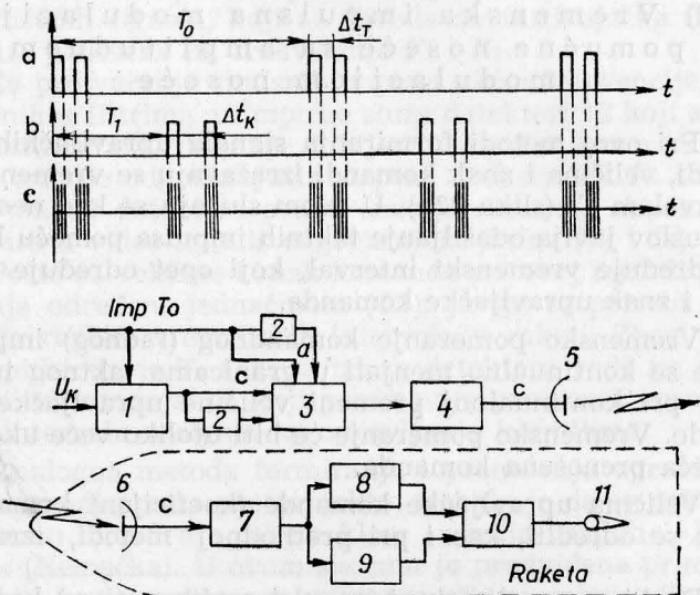
Da bi se mogli taktni impulsi razlikovati od komandnih, oni se obrazuju u obliku kodiranih impulsnih parova sa različitim vremenskim intervalima između impulsa, tj. svaki taktni i radni impuls predstavlja kôd obrazovan pomoću dva vremenski pomerena impulsa.

Taktni i radni impulsi se emituju jednom nosećom frekvencijom radi pojednostavljenja predajnika radio-komandi i prijemnika u raketni.

Na slici 22 je prikazana blok-šema uređaja za prenošenje komandi i uređaja rakete za dešifriranje i pretvaranje radio-signalata sa vremenskom impulsnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, kao i vremenski dijagrami.

Iz računarskog uređaja na ulaz uređaja za prenošenje komandi dolazi jednosmerni napon U_k , koji predstavlja

analogiju upravljačke komande, i taktni impulsi iz synchronizujućeg uređaja. Pretvarač napona u vremensko zakanjenje (1) stvara u granicama takta T_0 impulse čije je zakašnjenje u odnosu na taktni impuls proporcionalno veličini dovođenog jednosmernog napona.



Sl. 22 — Blok-šema predajnog i prijemnog uređaja i vremenski dijagrami napona radio-kanala sa vremenskom impulsnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije:

1 — pretvarač napona u vremensko zakanjenje, 2 — zakašnjavajući vod, 3 — mešač, 4 — generator noseće frekvencije, 5 — predajna antena, 6 — prijemna antena, 7 — prijemnik, 8 — šema izdvajanja taktnih impulsa, 9 — šema izdvajanja komandnih impulsa, 10 — pretvarač, 11 — upravljačko kormilo, a — kod taktnih impulsa, b — kod komandnih impulsa, c — izlazni signal.

Kao pretvarači mogu biti primjenjeni sanatroni ili fantastroni u sklopu sa drugim elementima, formirajući na taj način šemu čije se funkcionalisanje bazira na poređenju zadatog jednosmernog napona sa nesimetričnim testera-stim referentnim naponom.

Radni impulsi iz pretvarača odlaze na mešač 3 po dva kanala. U jednom od ova dva kanala impulsi se zakašnjuju (zadržavaju) za određeno vreme. U mešaču se obrazuje modulišući signal koji predstavlja niz taktnih i radnih impulsa.

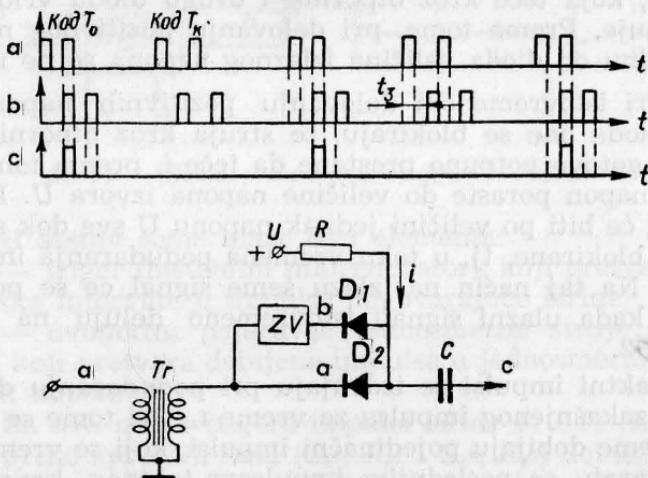
Taktni impulsi se formiraju pomoću zakašnjavajućeg voda 2, koji određuje kôd impulsa za svaki radio-kanal posebno.

Niz komandnih i taktnih impulsa iz mešača 3 ide za okidanje visokofrekventnog generatora, sa čijeg se izlaza radio-impulsi kroz antenu emituju u pravcu rakete.

Radio-signali upravljačkih komandi primljeni antennom 6 rakete, posle pojačavanja i detektovanja u prijemniku 7, dolaze na dešifrador taktnih i radnih impulsa (8 i 9), gde se odvojeno formiraju taktni i komandni impulsi.

Uređaj 10 pretvara vremensko zakašnjenje radnih impulsa u odnosu na taktne impulse u upravljački signal za upravljanje kormilima rakete.

Razmotrimo specifičnosti šeme za izdvajanje taktnih impulsa i pretvaračkog uređaja.



Sl. 23 — Šema izdvajanja taktnih impulsa i vremenski naponski dijagrami:

a — kodovi taktnih i komandnih impulsa, b — zakašnjeni kodovi, c — taktni impulsi

Na ulaz šeme za izdvajanje taktnih impulsa (slika 23) dolazi niz pozitivnih video-impulsa sa izlaza prijemnog uređaja, koji obuhvata taktne i radne impulse.

Ovaj niz video-impulsa preko transformatora T_r dolazi na diodu D_2 , a preko zakašnjavajućeg voda ZV na diodu D_1 . Zakašnjavajući vod zakašnjava signale za vreme t_z , koje je jednak intervalu između impulsa taktnog koda. Intervali između impulsa taktnog koda i radnog koda su različiti. Ovo omogućava da se relativno lako izdvoje taktni i radni kodovi na taj način što se pomoću zakašnjavajućeg voda postiže podudaranje impulsa u kodu na ulazu dioda u potrebnom trenutku.

U početnom stanju, kada na ulazu šeme nema signala, obe diode su otvorene. Napon U gotovo potpuno pada na otporniku R , jer je ukupna otpornost otvorenih dioda, sekundarne zavojnice transformatora i zakašnjavajućeg voda neznatna u odnosu na veličinu otpornosti otpornika R . Ako se jedna od dioda blokira pozitivnim impulsom, onda se izlazni napon praktično ne menja, pošto se veličina struje, koja teče kroz otpornik i drugu diodu vrlo malo smanjuje. Prema tome, pri delovanju pozitivnog napona na jednu od dioda veličina izlaznog napona se ne menja.

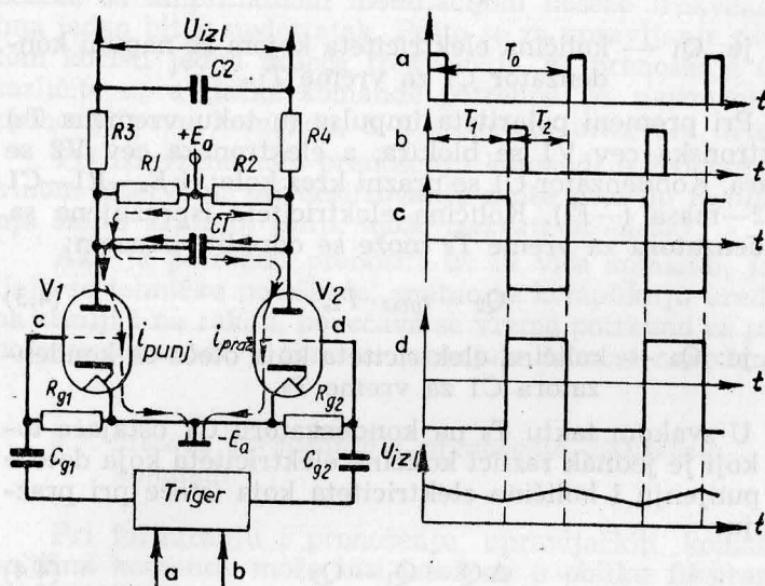
Pri istovremenom delovanju pozitivnih napona na obe diode one se blokiraju, te struja kroz otpornik R i diode gotovo potpuno prestane da teče i, prema tome, izlazni napon poraste do veličine napona izvora U . Izlazni napon će biti po veličini jednak naponu U sve dok su obe diode blokirane, tj. u toku vremena podudaranja impulsa koda. Na taj način na izlazu šeme signal će se pojaviti samo kada ulazni signali istovremeno deluju na diode D_1 i D_2 .

Taktni impulsi se izdvajaju pri podudaranju direktnog i zakašnjenog impulsa za vreme t_z . Pri tome se sa izlaza šeme dobijaju pojedinačni impulsi, koji se vremenski podudaraju sa poslednjim impulsem taktnog koda (slika 23c).

Analogno funkcioniše i šema za izdvajanje radnih impulsa. Ove dve šeme se međusobno razlikuju samo po

veličini zakašnjenja potrebnog za podudaranje impulsa na ulazu dioda.

Izdvojeni taktni i radni impulsi dolaze na šemu pretvaračkog uređaja (slika 24), koji formira signal za upravljanje kormilima u obliku jednosmernog napona.



Sl. 24 — Šema pretvarača i naponski dijagrami

U sastav šeme ulaze dva elementa:

- triger (bistabilni multivibrator), koji pretvara vremenske intervale u impulse odgovarajuće širine;
- dvotaktni pojačavač jednosmerne struje sa filterom, koji pretvara dobijene impulse u jednosmerni upravljački napon.

Sa dva izlaza trigera impulse širine Γ_1 i Γ_2 (slika 24c i d) preko sprežnih kola (C_{g1} , R_{g1} i C_{g2} , R_{g2}) dolaze na upravljačke rešetke elektronskih cevi dvotaktnog pojačavača jednosmerne struje (V1 i V2). U toku vremena Γ_1 elektronska cev V1 je otvorena, a elektronska cev V2 blokirana, pošto na jednoj upravljačkoj rešetki deluje pozitivni

tivni, a na drugoj negativni napon. Kondenzator C_1 puni se strujom i_{punj} kroz kolo: $+E_a—R_2—C_1—V_1—\text{masa} (—E_a)$. Veličina tovara (punjenja) kondenzatora C_1 za vreme T_1 može se odrediti izrazom:

$$Q_1 = i_{\text{punj}} T_1, \quad (4.2)$$

gde je: Q_1 — količina elektriciteta kojom se napuni kondenzator C_1 za vreme T_1 .

Pri promeni polariteta impulsa (u toku vremena T_2) elektronska cev V_1 se blokira, a elektronska cev V_2 se otvara. Kondenzator C_1 se prazni kroz kolo: $+E_a—R_1—C_1—V_2—\text{masa} (—E_a)$. Količina elektriciteta ispražnjena sa kondenzatora za vreme T_2 može se odrediti izrazom:

$$Q_2 = i_{\text{praž}} T_2, \quad (4.3)$$

gde je: Q_2 — količina elektriciteta koja oteče sa kondenzatora C_1 za vreme T_2 .

U svakom taktu T_0 na kondenzatoru C_1 ostajaće tovar koji je jednak razlici količine elektriciteta koja doteče pri punjenju i količine elektriciteta koja isteće pri pražnjenju:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (4.4)$$

Poznavajući veličinu zaostalog tovara ΔQ i kapacitet struja punjenja i struja pražnjenja konstantne u toku vremena i jednake po veličini ($i_{\text{punj}} = i_{\text{praž}} = I$). Na osnovu tog uslova i izraza (4.2), (4.3) i (4.4) može se naći zavisnost zaostalog tovara ΔQ od odnosa vremenskih intervala:

$$\Delta Q = I (T_1 - T_2). \quad (4.5)$$

Poznavajući veličine zaostalog tovara ΔQ i kapacitet kondenzatora C_1 , može se odrediti veličina ravnotežnog (ustaljenog) napona na izlazu filtra (R_3, R_4, C_2):

$$U_{\text{izl}} = \frac{\Delta Q}{C_1} = \frac{1}{C_1} (T_1 - T_2) \quad (4.6)$$

Prema tome, veličina i znak izlaznog napona su u, krajnjoj liniji, određeni veličinom i smerom vremenskog pomeranja komandnog impulsa u odnosu na sredinu takt-nog intervala T_0 .

Primena vremenske impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije ima jedan bitan nedostatak. Pošto se za upravljanje raketom koristi jedna noseća frekvencija, za prenošenje dve različite upravljačke komande potrebno je naizmenično prenositi prvu komandu, a u sledećem intervalu drugu.

Pri istovremenom prenošenju komandi u jednom taktnom intervalu, pri dešifrovanju može doći do izobliče-nja što, u krajnjoj liniji, može izazvati promašaj.

Ako je potrebno prenositi tri ili više komandi, javljaju se tehničke poteškoće, znatno se komplikuju uređaji na zemlji i na raketni, povećava se vreme potrebno za pre-nošenje komandi, a time se smanjuje tačnost navođenja.

4.2. Metode formiranja i prenošenja diskretnih komandi

Pri formiranju i prenošenju upravljačkih komandi veličina komande može biti izražena u obliku fiksiranih (diskretnih ili prekidnih) vrednosti.

Metode formiranja i prenošenja diskretnih komandi primenjuju se u sistemima daljinskog upravljanja kako sa žičnim vezama između upravljačkog punkta i raketom, tako i u sistemima sa radio-kanalom za vezu. U sistemima daljinskog upravljanja sa radio-kanalom za vezu ove me-tode se obično kombinuju sa kodnim metodama moduli-sanja radio-signala.

Minimalni potreban broj pojedinih fiksiranih vrednosti upravljačkih komandi određuje se karakteristikama sistema daljinskog upravljanja.

Na ulaz uređaja za prenos komandi iz računara ili upravljačkog punkta (u tom slučaju raketom upravlja operator), upravljačke komande mogu dolaziti u vidu bi-narnog impulsnog koda (ako je primenjena digitalna ra-

čunska mašina) ili u obliku jednosmernog napona (ako je u sistemu daljinskog upravljanja primjenjen analogni računar, ili ako upravljanje vrši operator). U poslednjem slučaju se na ulazu uređaja za prenos komandi neprekidni signal pretvara u diskretni, tj. predstavlja se odvojenim fiksiranim vrednostima koje odgovaraju određenim veličinama ulaznog signala.

Razmotrimo nekoliko konkretnih metoda za formiranje i prenos diskretnih upravljačkih komandi.

A. Metode primenjene u sistemima sa žičnim vezama

Kao primer ćemo razmotriti kanal prenošenja komandi »duren-detmold« (Nemačka) primjenjen za navođenje raketa na udaljenosti preko deset kilometara.

Metoda predviđa prenošenje fiksiranih vrednosti upravljačkih komandi po kursu i propinjanju u obliku jednosmernih napona. Pri tome se prenose samo dve vrednosti svake upravljačke komande (»levo-desno«) i »gore-dole«). Vrsta komande zavisi od položaja u kome se nalazi upravljačka ručica.

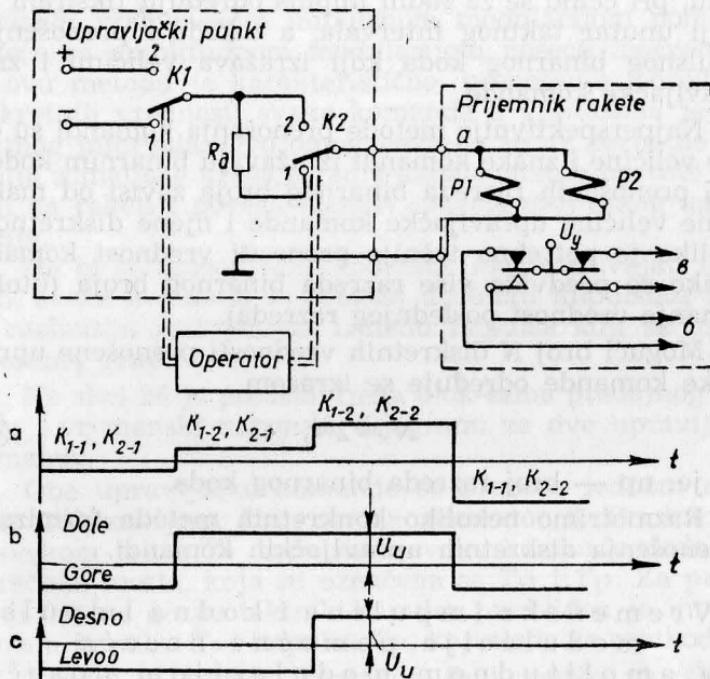
Komande po propinjanju prenose se u obliku napona različitog polariteta; svakom polaritetu signala odgovara jedna od dve vrednosti upravljačke komande (»gore« ili »dole«). Komande po kursu prenose se u obliku dva napona sa određenim vrednostima amplituda; svakoj vrednosti odgovara jedna upravljačka komanda (»desno« ili »levo«).

Na slici 25 pokazana je šema za formiranje i prenos upravljačkih komandi preko kanala »duren-detmold« i vremenski naponski dijagrami za različite položaje upravljačke ručice.

Upravljačke komande po propinjanju formiraju se pomoću preklopnika (povezanog za ručicu) K_1 , koji ima dva fiksirana položaja u kojima se može priključiti napon različitog polariteta.

Prekidačem K_2 (takođe povezanim za ručicu) može se skokom promeniti amplituda izlaznog signala, koja je određena odnosom veličina dodatnog otpornika R_d i ot-

pornosti kalemova releja P_1 i P_2 . Releji P_1 i P_2 prijemnika uključuju kormila. Relej P_1 upravlja kormilima po propinjanju reagujući na polaritet napona, a relej P_2 upravlja kormilima po kursu, reagujući samo na veličinu amplitude napona.



Sl. 25 — Šemski formirajući i prenosa upravljačkih komandi preko kanala sistema »duren-detmold« i vremenski naponski dijagrami za različite položaje prekidača K_1 i K_2 :

a — napon koji se prenosi na raketu, b — promena znaka upravljačke komande K_1 , c — promena znaka komande K_2

U ovoj metodi upravljanja letom rakete ne postoji tzv. »nulta« komanda, tj. komanda koja obezbeđuje pravolinjski let rakete. U slučaju prekida veze raketa će se kretati po krivoj koja predstavlja deo kružnice određenog poluprečnika. Pravac kretanja zavisiće od poslednje upravljačke komande, koja je bila primljena u uređajima na raketi pre prekida veze.

B. Metode primenjene u sistemima sa radio-kanalom za vezu

Stvaranje diskretnih upravljačkih komandi u sistemima sa radio-kanalom za vezu može da se vrši po vremenu, pri čemu se za radni impuls određuju fiksirani položaji unutar taktnog intervala, a takođe i prenošenjem impulsnog binarnog koda koji izražava veličinu i znak upravljačke komande.

Najperspektivnije metode prenošenja komandi su one koje veličine i znake komandi izražavaju binarnim kodom. Broj prenošenih razreda binarnog broja zavisi od maksimalne veličine upravljačke komande i njene diskretnosti. Ukoliko je potrebno tačnije prenositi vrednost komande utolikoj se predviđa više razreda binarnog broja (utolikoj je manja vrednost poslednjeg razreda).

Mogući broj N diskretnih vrednosti prenošene upravljačke komande određuje se izrazom

$$N = 2^{np}, \quad (4.7)$$

gde je: np — broj razreda binarnog koda.

Razmotrimo nekoliko konkretnih metoda formiranja i prenošenja diskretnih upravljačkih komandi.

(1) Vremenska impulsna i kodna impulsna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće

Vremenska impulsna modulacija i kodna impulsna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće zahtevaju rastavljanje taktnog intervala na određen broj vremenskih intervala (kanala ili kadrova) koji je jednak zbiru diskretnih vrednosti svih prenošenih komandi. Ovo omogućava da se u jednom taktnom intervalu prenosi nekoliko upravljačkih komandi. Svaka komanda dobija određena mesta u kojima se mogu nalaziti komandni impulsi.

Na primer, ako postoje samo dve komande, tada su posle svakog taktnog impulsa neparni kanali predviđeni

za prenošenje radnog koda prve komande, a parni za prenošenje radnog koda druge komande. Pri tome se radni kod u zavisnosti od veličine komande razmešta u jednom od kanala koji su određeni za datu komandu.

Prema tome, za razliku od prenošenja neprekidnih komandi vremenskom impulsnom modulacijom pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, za ovu metodu je karakteristično prenošenje određenih diskretnih vrednosti svake komande u granicama jednog taktnog intervala. Ovo omogućava da se uz neznatno složenije zemaljske uređaje radio-kanala znatno uprosti uređaji na raketni i poveća tačnost sistema daljinskog upravljanja.

Da bi se upravljačke komande mogle izdvajati u raketni, svaka komanda se prenosi u obliku impulsnog koda sa različitim rastojanjem između impulsa koji se nalaze u kodnoj grupi.

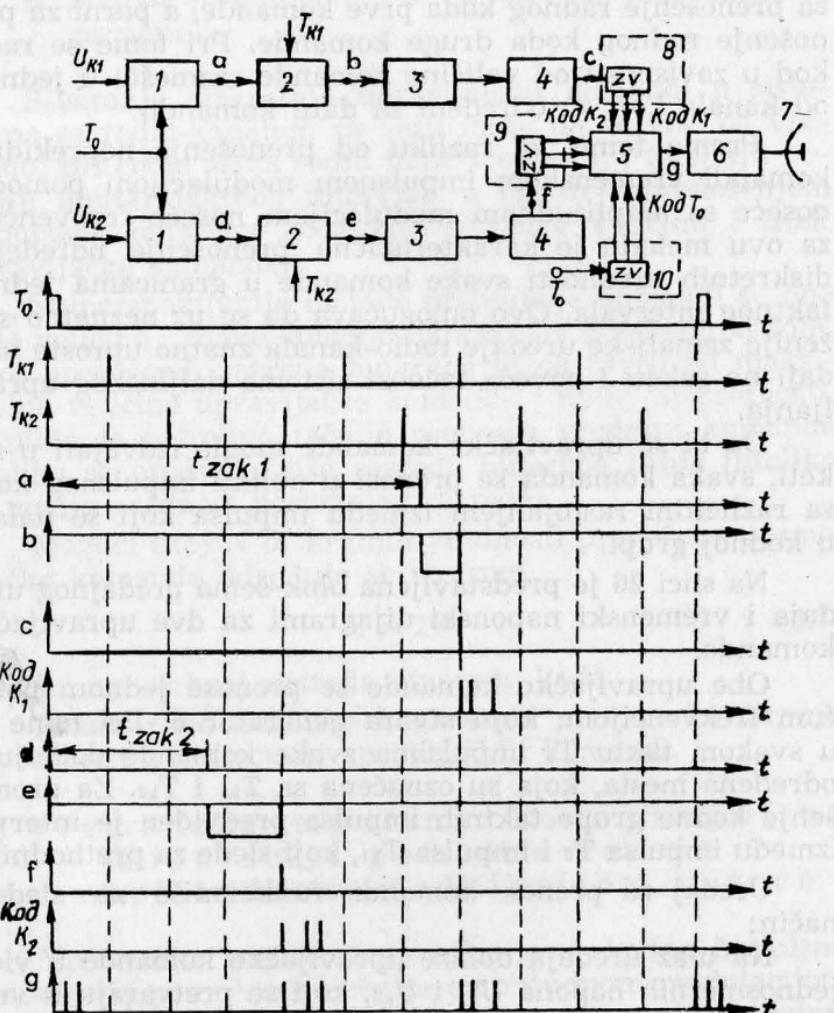
Na slici 26 je predstavljena blok-šema predajnog uređaja i vremenski naponski dijagrami za dve upravljačke komande.

Obe upravljačke komande se prenose jednom nosećom frekvencijom, koju stvara generator 6. Pri tome se u svakom taktu T_0 impulsima svake komande dodeljuju određena mesta, koja su označena sa T_{k1} i T_{k2} . Za prenošenje kodne grupe taktnih impulsa predviđen je interval između impulsa T_0 i impulsa T_{k1} , koji slede za prethodnim.

Uredaj za prenos komandi funkcioniše na sledeći način:

Na ulaz uređaja dolaze upravljačke komande u vidu jednosmernih napona U_{k1} i U_{k2} , koji se pretvaraju u vremenske intervale u taktu T_0 . Da bi se vremenski intervali vezali za određene fiksirane vrednosti, komandni impulsi okidaju trigere 2. Suprotno prebacivanje trigera ostvaruje se odgovarajućim, po vremenu prvim, impulsima T_{k1} ili T_{k2} (slika 26b, e).

Posle diferenciranja i detektovanja dobijenih impulsa izdvaja se impuls koji odgovara zadnjem frontu impulsa trgera i koji određuje vremenski položaj početka kodne grupe.



Sl. 26 — Blok-šema uređaja za prenošenje diskretnih komandi preko radio-kanala sa vremenskom impulsnom modulacijom i kodnom impulsnom modulacijom pomoćne noseće frekvencije:

1 — šema pretvaranja jednosmernog napona u vremenski interval, 2 — triger, 3 — dešifrador, 4 — detektor, 5 — mešač, 6 — generator noseće frekvencije, 7 — predajna antena, 8, 9 i 10 — šifratori komandnih i taktnih impulsa, a, d — komandni impulsi K_1 i K_2 na izlazu komparatora, b, e — impulsi za fiksiranje komandi K_1 i K_2 , c, f — radni impulsi komandi K_1 i K_2 , g — impulsi za okidanje generatora nosećih frekvencija.

Dobijeni radni impulsi i impulsi takta odlaze na šemu za šifriranje 8, 9 i 10, gde se svaki od njih pretvara u određenu kodnu grupu, koja se sastoji od tri impulsa sa različitim vremenskim međurastojanjima.

Zajednički modulišući signal obrazuje se u mešaču 5, odakle odlazi za okidanje generatora noseće frekvencije 6 (slika 26g).

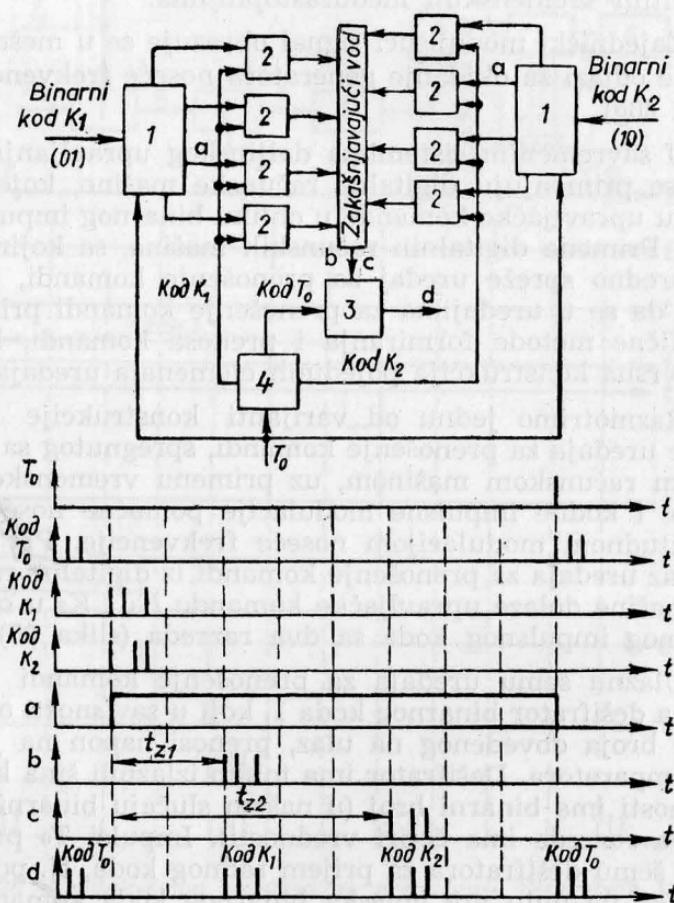
U savremenim sistemima daljinskog upravljanja sve više se primenjuju digitalne računske mašine, koje formiraju upravljačke komande u obliku binarnog impulsnog koda. Primena digitalnih računskih mašina, sa kojima se neposredno spreže uređaj za prenošenje komandi, prisiljava da se u uređajima za prenošenje komandi primene specifične metode formiranja i prenosa komandi, kao i svojevrsna konstrukcija pojedinih elemenata uređaja.

Razmotrimo jednu od varijanti konstrukcije blok-šeme uređaja za prenošenje komandi, spregnutog sa digitalnom računskom mašinom, uz primenu vremenske impulsne i kodne impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije. Pri tome na ulaz uređaja za prenošenje komandi iz digitalne računske mašine dolaze upravljačke komande K_1 i K_2 u obliku binarnog impulsnog koda sa dva razreda (slika 27).

Ulagnu šemu uređaja za prenošenje komandi predstavlja dešifrator binarnog koda 1, koji u zavisnosti od veličine broja dovedenog na ulaz, prenosi napon na jedan od komparatora. Dešifrator ima toliko izlaznih šina koliko vrednosti ima binarni broj (u našem slučaju binarni broj sa dva razreda ima četiri vrednosti). Impulsi T_0 pripremaju šemu dešifratora za prijem radnog koda, tj. postavljaju ga na nulu pre dolaska binarnog koda komandi iz digitalne računske mašine.

Pošto se aktivira, dešifrator 1 daje jednosmerni napon (slika 27a) na jedan od komparatora 2 (ventil), koji se otvara da bi na zakašnjavajući kôd prošao radni kôd komande doveden na drugi ulaz. Kôd se sastoji iz tri impulsa razdvojena vremenskim intervalima.

Zakašnjavajući vod ima po četiri fiksirana izvoda za svaku komandu, koji određuju mesta radnih kodova u taktnom intervalu.

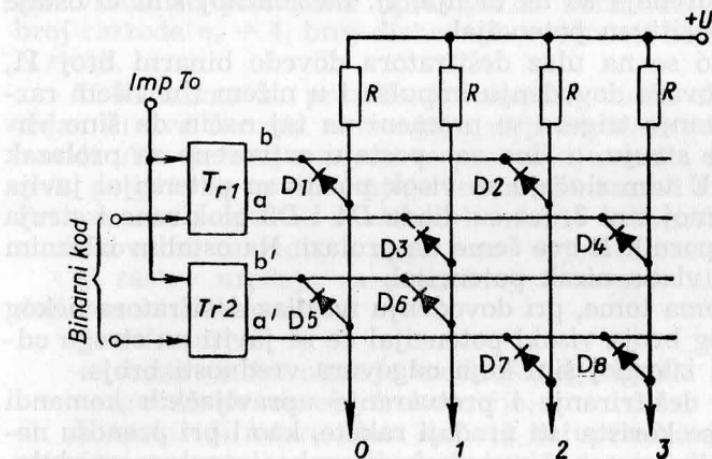


Sl. 27 — Blok-šema uređaja za prenošenje komandi i vremenski dijagrami pri upotrebi vremenske impulsne i kodne impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije (varijanta 2):

1 — dešifrador binarnog koda, 2 — komparator, 3 — mešač, 4 — generator impulsnih kodova, a — izlazni napon dešifratora, b, c — radni kodovi komandi K_1 i K_2 , d — impulsi za okidanje generatora noseće frekvencije

Zakašnjeni impulsni kodovi K_1 i K_2 sa zakašnjavajućeg voda dolaze na mešač 3, gde se formira niz modulišućih impulsa, koji se sastoji od troimpulsnih kodova T_0 , K_1 i K_2 . Ovi impulsi okidaju generator noseće radio-frekven-cije. Struktura radio-signalata upravljačkih komandi analoga je radio-signalatu prethodne varijante.

Od pojedinih elemenata uređaja za prenošenje komandi, razmotrićemo rad šeme dešifratora binarnih kodova (slika 28).



Sl. 28 — Šema dešifratora binarnog koda

Dolasku svakog binarnog koda prethodi impuls T_0 , koji postavlja trigere u takav položaj da je izlaz »a« otvoren za struju, a izlaz »b« — zatvoren. Prvo stanje odgovara niskom potencijalu, a drugo visokom pozitivnom potencijalu.

Na nekoj od izlaznih šina dešifratora javiće se napon, jednak veličini napona izvora U , samo ako su obe diode, koje su spojene sa datom šinom, zatvorene za struju.

Trigeri se impulsima T_0 postavljaju u takvo stanje da su diode $D1$ i $D5$ zatvorene, pa prema tome na izlaznoj šini O vlada visoki potencijal.

Na ostalim izlaznim šinama vladaju niski potencijali usled padova napona na otpornicima R , stvorenih stružama koje teku kroz diode i izlaze trigera.

U impulsnom binarnom kodu uobičajeno je da se jedinica u nekom razredu označava prisustvom impulsa, a nula odsustvom impulsa, prema tome, binarnom broju 00 odgovara odsustvo impulsnih napona i u nižem i u višem razredu na ulazima trigera. Prema tome, ako se posle prispeća impulsa T_0 na dešifrator dovede binarni broj 00, stanje uređaja se ne menja, tj. na izlaznoj šini O ostaje visok pozitivan potencijal.

Ako se na ulaz dešifratora dovede binarni broj 11, što odgovara dovođenju impulsa i u nižem i u višem razredu, stanje trigera se promeni na taj način da šine »b« provode struju, a šine »a« postaju zatvorene za prolazak struje. U tom slučaju se visok pozitivan potencijal javlja na izlaznoj šini 3, jer su diode D_4 i D_8 blokirane i struja kroz otpornik R ove šeme ne prolazi. Na ostalim izlaznim šinama vlada nizak potencijal.

Prema tome, pri dovođenju na ulaz dešifratora nekog binarnog broja visoki potencijal će se javiti na strogo određenoj izlaznoj šini koja odgovara vrednosti broja.

Za dešifriranje i pretvaranje upravljačkih komandi obično se koriste isti uređaji raketne, kao i pri prenosu neprekidnih komandi putem vremenske impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, uz razdvajanje radnih komandi K_1 i K_2 u jednom taktnom intervalu.

(2) Kodna frekventna modulacija pomoćne noseće i amplitudna modulacija noseće

Pri ovoj metodi komande se prenose u obliku binarnih brojeva. Raznim razredima binarnih brojeva odgovaraju različite frekvencije pomoćnih nosećih oscilacija. Skup ovih frekvencija obrazuje radni kôd.

Pri praktičnom ostvarenju kodne frekventne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije podesno je koristiti postupno prenošenje

pojedinih razreda binarnog koda komande, a odvojene impulse emisije razdvajati taktnim impulsima, koji su potrebni za primenu uređaja rakete za prijem radnog koda.

Blok-šema predajnog uređaja radio-kanala sa kodnom frekventnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, za slučaj prenosa binarnog koda sa četiri razreda, kao i vremenski dijagrami obrazovanja signala pokazani su na slici 29.

Na osnovu izraza (4.7) može se odrediti broj diskretnih vrednosti prenošene upravljačke komande. Ako je broj razreda $n_r = 4$, broj diskretnih vrednosti komande je $N = 16$.

U kanalima za prenošenje binarnog koda obično se jedan ili dva razreda namenjuju za prenošenje znaka komandi. Ako je broj razreda za prenošenje znaka komandi mali, po pravilu se namenjuje jedan viši razred komandi. Pri tome se pozitivno značenje komande označava nulom u znakovnom razredu, a negativno — jedinicom.

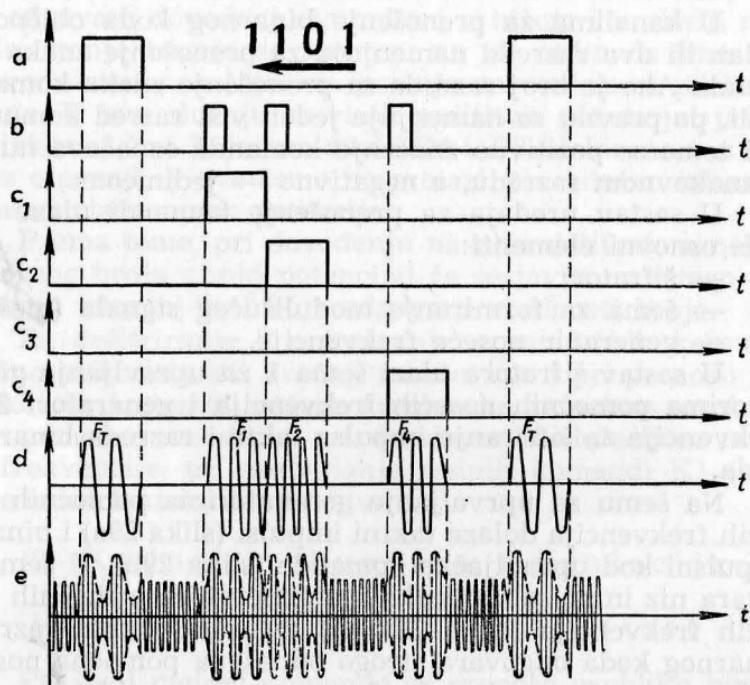
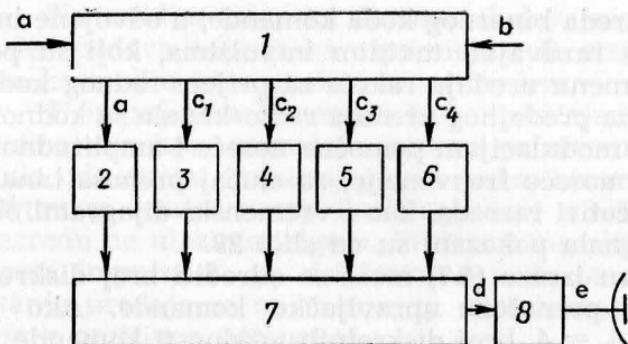
U sastav uređaja za prenošenje komandi ulaze sledeći osnovni elementi:

- šifrator;
- šema za formiranje modulišućeg signala (mešač);
- generator noseće frekvencije.

U sastav šifratora ulazi šema 1 za upravljanje generatorima pomoćnih nosećih frekvencija i generatori 2—6 frekvencija za šifriranje impulsa takta i razreda binarnog koda.

Na šemu za upravljanje generatorima pomoćnih nosećih frekvencija dolaze taktni impulsi (slika 29a) i binarni impulsni kod upravljačke komande (slika 29b). U šemi se stvara niz impulsa, koji okidaju generatore pomoćnih nosećih frekvencija (slika 29a, c₁, c₂, c₄). Svakom razredu binarnog koda odgovara strogo određena pomoćna noseća frekvencija. Generatori 3—6 pomoćnih nosećih frekvencija F₁, F₂, F₃ i F₄ okidaju se samo kada postoji jedinica u odgovarajućem razredu binarnog koda.

U šemi za formiranje modulišućeg signala (mešaču) 7 pojedine niskofrekventne komponente pretvaraju se u zajednički niz, koji se sastoji iz frekvencija šifriranja taktnih impulsa i razreda binarnog koda (slika 29d).



Sl. 29 — Blok-šema uređaja za prenošenje komandi i vremenski dijagrami za radio-kanal sa kodnom frekventnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije:

1 — šema za upravljanje generatorima pomoćnih nosećih frekvencijsa, 2–6 — generatori pomoćnih nosećih frekvencijsa F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , 7 — šema za formiranje modulišućeg signala, 8 — generator noseće frekvencije, 9 — predajna antena, a — impulsi takta, b — impulsi binarnog koda 1011, c_1 , c_2 , c_3 i c_4 — razdvojeni impulsi radnog (binarnog) koda, d — modulišući signal, e — radio-signal komande

Ovaj niz pomoćnih nosećih frekvencija dolazi na generator 8 noseće frekvencije radi amplitudne modulacije radio-signalata upravljačke komande (slika 29e).

Binarni kod druge upravljačke komande K_2 može se prenositi istovremeno sa binarnim kodom komande K_1 . U tom slučaju se za razrede binarnog koda K_2 uzimaju posebne frekvencije za šifriranje, koje zatim dolaze na zajedničku šemu za formiranje modulišućeg signala.

Prema tome, pri formiranju signala uz primenu kodne frekventne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije koristi se postupno prenošenje razreda binarnog koda pri paralelnom prenošenju upravljačkih komandi sa zajedničkim taktnim signalima za obe komande.

Da bi se dobili signali za upravljanje kormilima, na raketi se impulsni binarni kôd pretvara u konstantan napon, proporcionalan veličini prenošene upravljačke komande.

Blok-šema uređaja rakete pri primeni kodne frekventne modulacije pomoćne noseće, sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije i odgovarajući vremenski dijagrami pokazani su na slikama 30 i 31.

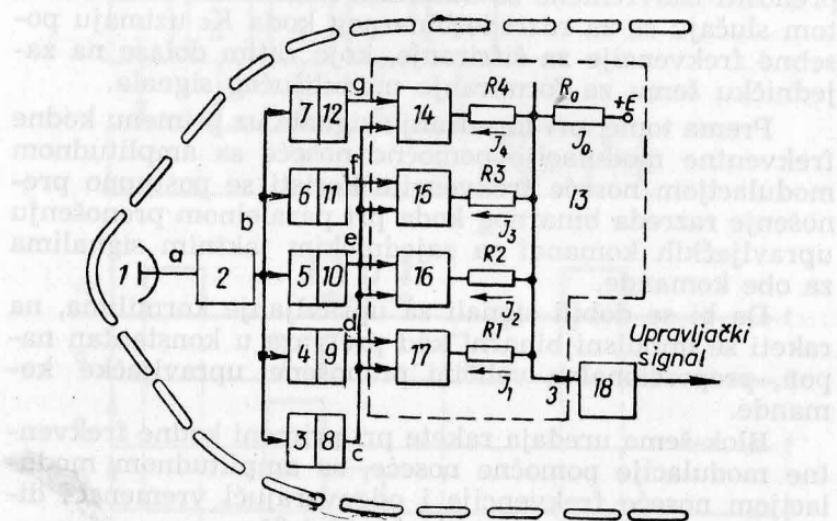
Iz antene 1 raketne na ulaz prijemnog uređaja 2 dolazi radio-signal, koji predstavlja noseću frekvenciju modulisanu frekvencijama za šifriranje (slika 31a). Na izlazu prijemnika, posle pojačanja i detektovanja, postupno se pojavljuju impulsni signali pomoćnih nosećih frekvencija, koji odgovaraju taktnom (F_T) i radnim signalima (F_1 , F_2 , F_3 , F_4). Ovi signali se odvajaju pomoću pojasnih filtera 3—7 po pojedinim kanalima.

Ako u signalu postoji neka od pomoćnih nosećih frekvencija, u odgovarajućem kanalu se formiraju, pomoću šema za formiranje okidačkih impulsa 8—12, okidački impulsi (slika 31c, d, e, f, g) koji predstavljaju taktne impulse i impulse binarnog koda. Ovi impulsi odlaze na pretvarač binarnog broja u jednosmerni napon (13).

Pretvarač broja u naponu sastoji se od nekoliko trijera 14—17, u zavisnosti od broja razreda binarnog broja, koji se koristi u datom kanalu daljinskog upravljanja, sa

svojim otpornicima R_1 , R_2 , R_3 i R_4 , koji su priključeni za jedan od izlaza tragera i za zajednički otpornik R_0 .

Dolaskom taktnog impulsa na ulaz, trageri se postavljaju u takvo stanje pri čemu kroz otpornike R_1 — R_4 teku



Sl. 30 — Blok-sema uređaja rakete za formiranje upravljačkog signala za kormila pri prenosu preko radio-kanala sa kodnom frekventnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije:

1 — prijemna antena; 2 — prijemnik; 3 — 7 — razdvajajući filtri na frekvencijama F_1 , F_2 , F_3 , F_4 i F_5 ; 8—12 — šeme formiranja okidačkih impulsa; 14—17 — trageri; 18 — uređaj za formiranje signala za upravljanje kormilima; 13 — pretvarač broja u napon

odgovarajuće struje I_1 , I_2 , I_3 i I_4 . Parametri tragera i otpornika izabrani su na taj način da je uvek ispunjen uslov

$$\begin{aligned} I_2 &= 2 I_1; \\ I_3 &= 4 I_1; \\ I_4 &= 8 I_1. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Izlazni napon pretvarača, koji odlazi na šemu 18, može se odrediti izrazom

$$U_{izl} = E - I_0 R_0, \quad (4.9)$$

gde je: E — napon izvora za napajanje u odnosu na nulli potencijal;

I_0 — sumarna struja, koja teče kroz otpornik R_0 .

Veličina otpornika R_0 bira se tako da u početnom stanju tragera, pad napona na njemu bude jednak veličini napona izvora, tj. $I_0 R_0 = E$.

Ako se za relativnu jedinicu merenja napona uzme veličina $I_1 R_0$, može se odrediti veličina napona izvora za napajanje (u relativnim jedinicama).

Prema tome, pri

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \text{ i } U_{izl} = 0 \quad (4.10)$$

$$\text{veličina iznosi } E = 15 I_1 R_0,$$

tj. veličina napona izvora za napajanje iznosi petnaest relativnih mernih jedinica, što odgovara broju 1111, izraženom binarnim kodom sa četiri razreda.

Pri dolasku impulsa binarnog kôda odgovarajući trigeri se prebacuju u drugo stanje, pri čemu prestaje struja kroz njihove opterećujuće otpornike, pa se prema tome smanjuje i struja I_0 .

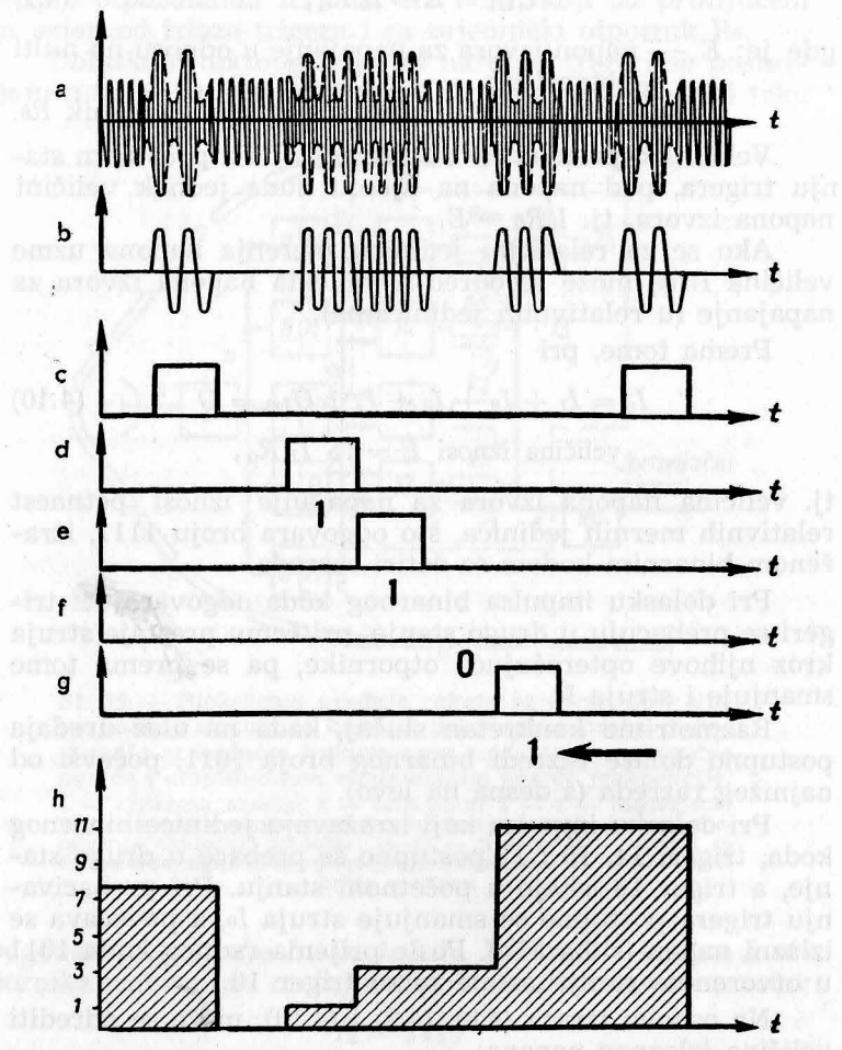
Razmotrimo konkretan slučaj, kada na ulaz uređaja postupno dolaze razredi binarnog broja 1011, počevši od najnižeg razreda (s desna na levo).

Pri dolasku impulsa koji izražavaju jedinice binarnog kôda, trigeri 14, 15 i 17 postupno se prebace u drugo stanje, a triger 16 ostaje u početnom stanju. Pri prebacivanju trgera postupno se smanjuje struja I_0 , a povećava se izlazni napon (slika 31h). Posle prijema radnog kôda 1011 u otvorenom stanju ostaje samo triger 16.

Na osnovu izraza (4.8), (4.9) i (4.10), može se odrediti veličina izlaznog napona:

$$U_{izl} = E - I_3 R_0 = 11 I_1 R_0.$$

Prema tome, veličina ustaljenog napona pri prijemu binarnog kôda 1011 na izlazu pretvarača iznosiće 11 relativnih mernih jedinica.



Sl. 31 — Vremenski dijagrami napona u raznim tačkama šeme prikazane na slici 30 pri prenosu komande 1011:

a — radio-signal upravljačke komande; b — obvojnica signala upravljačke komande; c — izdvojeni taktni impuls; d, e, f, g — izdvojeni impulsi radnog koda; h — dijagram formiranja jednosmernog napona koji je proporcionalan veličini date upravljačke komande

Pri dolasku sledećeg taktnog signala pretvarač se vraća u početni položaj i postaje spreman za prijem novog koda.

Uređaj rakete konstruisan je tako da se u slučaju nestanka signala komande ili jednog taktnog signala pamti poslednja primljena komanda.

(3) Kodna impulsna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće

U radio-kanalima u kojima je primenjena kodna impulsna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, kao i u prethodnom slučaju, komande se prenose po metodi fiksiranih vrednosti. Najviše je rasprostranjeno prenošenje upravljačkih komandi u obliku impulsnog binarnog koda.

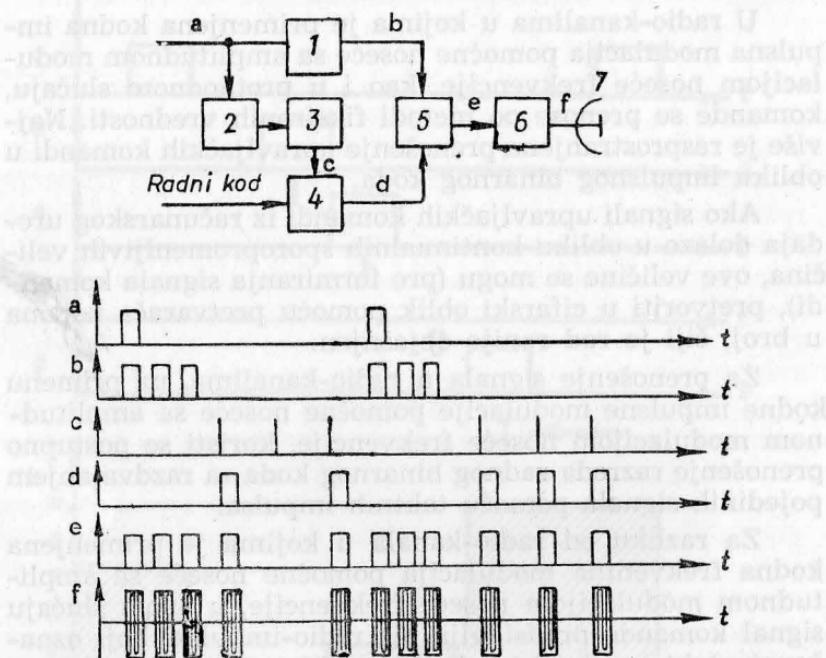
Ako signali upravljačkih komandi iz računarskog uređaja dolaze u obliku kontinualnih sporopromenljivih veličina, ove veličine se mogu (pre formiranja signala komandi), pretvoriti u cifarski oblik pomoću pretvarača napona u broj, čiji je rad ranije objašnjen.

Za prenošenje signala u radio-kanalima, uz primenu kodne impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, koristi se postupno prenošenje razreda radnog binarnog koda sa razdvajanjem pojedinih signala pomoću taktnih impulsa.

Za razliku od radio-kanala u kojima je primenjena kodna frekventna modulacija pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, u ovom slučaju signal komande predstavlja niz radio-impulsa, koji označavaju takt i radni kôd. Ova specifičnost određuje i konstruktivne karakteristike uređaja za formiranje i prenos upravljačkih komandi, kao i uređaja rakete za ovu vrstu modulacije.

Kao primer razmotrićemo moguću blok-šemu i princip rada uređaja za formiranje i prenošenje komandi, uz primenu kodne impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije za jedan

upravljački kanal u kojem se koristi binarni kôd sa tri razreda (slika 32). Na ulaz uređaja dolaze taktni impulsi i radni kôd upravljačke komande. Šema kodiranja 1 pretvara taktni impuls u kodnu grupu, koja se sastoji iz tri impulsa razdvojena vremenskim intervalima. Ovim se postiže bolja zaštita radio-kanala od ometanja (slika 32b). Da bi se izvršilo vremensko razdvajanje taktnih impulsa i radnog koda, radni kôd se sabira sa impulsima zakašnjениm za vreme t_z (slika 32c), koji se formiraju pomoću šema 2 i 3 od taktnih impulsa. Kôd taktnih impulsa i radni kôd



Sl. 32 — Blok-šema predajnog uređaja radiokanala sa kodnom impulsnom modulacijom pomoćne noseće i amplitudnom modulacijom noseće frekvencije i vremenski naponski dijagrami:

1 — šema kodiranja taktnih impulsa; 2 — šema zakašnjjenja; 3 — šema formiranja brojačkih impulsa; 4 — pamteći uređaj; 5 — uređaj za sabiranje; 6 — generator noseće frekvencije; 7 — predajna antena;
a — taktni impuls; b — kôd taktnih impulsa; c — brojački impuls; d — impuls binarnog kôda brojeva 101 i 111; e — modulišući signal; f — radio-signal upravljačke komande

dolaze na uređaj za sabiranje 5, gde se formira zajednički niz impulsa-signala. Ovi impulsi okidaju generator noseće frekvencije 6. Dobijeni niz radio-impulsa pomoću predajne antene 7 emituje se u pravcu rakete.

Signalni upravljačkih komandi dolaze na prijemnu antenu uređaja za dešifriranje komandi rakete (slika 33), koji pretvara impulsni binarni kôd u napone komandnog signala.

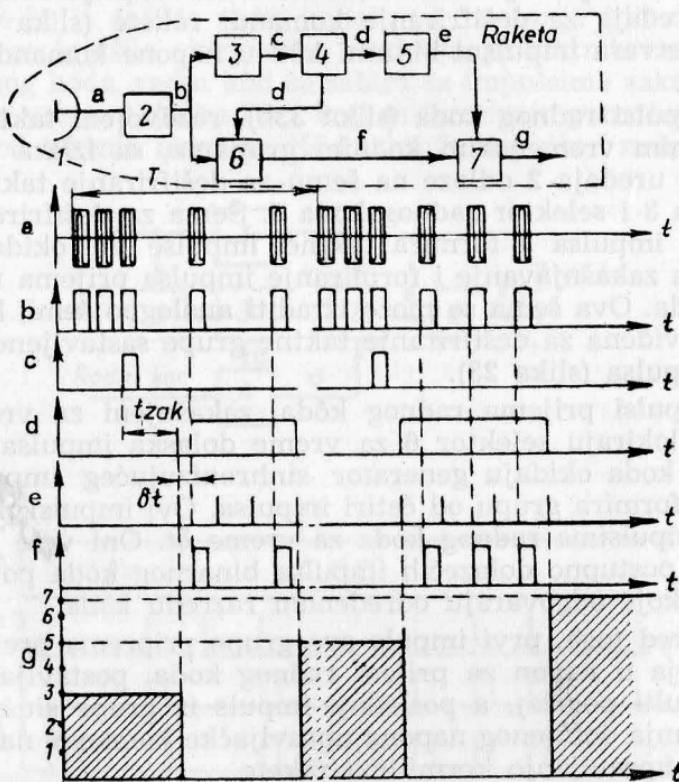
Impulsi radnog koda (slika 33b), razdvojeni taktnim impulsnim vremenskim kodnim grupama, sa izlaza prijemnog uređaja 2 odlaze na šemu za dešifriranje taktnih impulsa 3 i selektor radnog koda 6. Šema za dešifriranje taktnih impulsa 3 formira taktne impulse za okidanje šeme za zakašnjavanje i formiranje impulsa prijema radnog koda. Ova šema se može izraditi analogno šemi, koja je predviđena za dešifriranje taktne grupe sastavljene od dva impulsa (slika 23).

Impulsi prijema radnog kôda, zakašnjeni za vreme t_{zak} deblokiraju selektor 6 za vreme dolaska impulsa binarnog koda okidaju generator sinhronizujućeg impulsa 5, koji formira grupu od četiri impulsa. Ovi impulsi pretvoreni impulsima radnog koda za vreme δt . Oni vrše raspodelu postupno dolazećih impulsa binarnog koda po cilijama koje odgovaraju određenom razredu koda.

Pored toga, prvi impuls ove grupe priprema pretvarač broja u napon za prijem radnog koda, postavljajući ga u nulti položaj, a poslednji impuls iz grupe služi za predavanja dobijenog napona upravljačke komande na organ za upravljanje kormilima rakete.

Primena kodne impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, za razliku od kodne frekventne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije, podvrgнутa je u većem stepenu uticaju različitih vrsta smetnji, naročito pri prijemu radnog koda. Na primer, pojava bilo kakvog slučajnog šumskog skokovitog signala (»špica«) u višem razredu prenošenog broja može znatno izobličiti veličinu ili znak upravljačke komande, a time prouzrokovati i znatno izobličenje putanje rakete.

Drugi nedostatak primene kodne impulsne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije je složeniji i manje pouzdan uređaj za dešifriranje i pretvaranje signala upravljačkih komandi raket.



Sl. 33 — Blok-šema uređaja rukete za dešifrovanje upravljačkih komandi pri kodnoj impulsnoj modulaciji pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije i vremenski dijagrami napona u raznim tačkama pri prijemu brojeva 101 i 111:

1 — prijemna antena, 2 — prijemnik, 3 — šema dešifrovanja taktnih impulsa, 4 — šema zakašnjenja i formiranja impulsa za prijem radnog koda, 5 — generator impulsa sinhronizacije, 6 — selektor radnog koda, 7 — pretvarač broja u napon, a — radio-signal upravljačke komande, b — obvojnica signala upravljačke komande, c — izdvajanje taktnih impulsa, d — otvarački impulsi za radni kôd, e — brojački impulsi za radni kôd, f — impulsi binarnog koda brojeva 101 i 111, g — jednosmerni napon proporcionalan veličini primljene komande

kete u odnosu na uređaj radio-kanala sa primenom kodne frekventne modulacije pomoćne noseće sa amplitudnom modulacijom noseće frekvencije.

Razmotreni načini formiranja i prenosa upravljačkih komandi ne obuhvataju sve metode koje se mogu koristiti u kanalima daljinskog upravljanja. Primena neke metode za prenošenje komandi uslovljena je opštim taktičko-tehničkim zahtevima u odnosu na sistem daljinskog upravljanja, potom namenom sistema, kao i podesnošću primene uređaja za prenošenje komandi u sklopu sa drugim elementima sistema daljinskog upravljanja.

Glava V

SISTEMI NAVOĐENJA ANTIRAKETA »NAJK-ZEVS« I »NAJK-X«

Sistem »najk-zevs« predstavlja kompleks uređaja i opreme, predviđen za presretanje i uništavanje balističkih ciljeva. Sistem je osnovno sredstvo protivraketne odbrane objekata.

U sistem »najk-zevs« ulazi osmatrački radar za blagovremeno otkrivanje, radar za identifikaciju cilja (radar za selekciju), radar za praćenje cilja, radar za navođenje antiraketa, računarski uređaj i baterija antiraketa.

Osmatrački radar za blagovremeno otkrivanje sastoji se od dva uređaja koji su medusobno udaljeni 300 m, i to: predajnog uređaja sa snagom od nekoliko desetina megavata i prijemnog uređaja sa vrlo velikom osetljivošću (zahvaljujući primeni molekularnog pojačavača sa niskim nivoom šumova).

Predajna antena se obrće po azimutu za 360° , brzinom od 10 o/min. Sa predajnom antenom sinhronizovana je prijemna antena koja predstavlja metalno sočivo sa lepezastim dijagramom usmerenosti u vertikalnoj ravni. Prijemna antena je konstruisana u obliku polusfere prečnika 24 m i napunjena je penastom plastičnom masom sa metalnim utvrđivačima.

Zahvaljujući velikoj snazi predajnika i veoma visokoj osetljivosti prijemnika, domet otkrivanja balističkog cilja od strane radara iznosi oko 1.600 km, iako ovakav cilj ima relativno malu odraznu površinu.

Radar za identifikaciju ima specijalnu antenu čiji se snop može regulisati, što je potrebno za povećanje spo-

sobnosti razdvajanja po ugaonim koordinatama. Primena klistronskog pojačavača snage od nekoliko desetina mega-vata u predajnom uređaju omogućava praćenje cilja na daljini većoj od 1.000 km.

Radar za praćenje cilja radi u impulsnom režimu i ima antenu sa oštrom usmerenim snopom koji obezbeđuje dovoljno tačno određivanje ugaonih koordinata cilja na velikim daljinama. Da bi se postigao uzak igličast snop primenjena je antena sa paraboličnim reflektorom, prečnika 7,6 m, koja se nalazi pod poklopcom od plastične mase, prečnika 12 m. Maksimalni domet radara premašuje 800 km.

Radar za navođenje antiraketa je radar sa aktivnim odgovorom. Antena predajnog uređaja kanala radio-upravljanja montirana je zajedno sa antenom radara za navođenje i ima uzak usmereni snop.

U sistemu »najk-zevs« primenjena je elektronska digitalna računska mašina, koja može u jednoj sekundi izvršiti do 200.000 aritmetičkih operacija. Ovakva brzina funkcionisanja je neophodna za pravovremeno rešavanje zadatka susreta antirakete sa ciljem.

Vatrenu jedinicu predstavlja baterija. Ona se sastoji od 24 antirakete, koje se nalaze u podzemnim bunkerima.

Antiraketa »najk-zevs« je trostopena raketa sa raketnim motorima na čvrsto gorivo. Dužina antirakete je 14,7 m, maksimalni domet oko 250 km, a maksimalna brzina oko 4 km/s.

Prepostavlja se da će bojna glava antirakete biti nuklearna sa trolil-ekvivalentom oko jedne megatone.

U trećem stepenu antirakete smeštena je bojna glava i uređaji radio-komandnog sistema upravljanja, uključujući uređaje za prijem i dešifriranje upravljačkih komandi, prijemnik i generator signala odgovora, uređaj za upravljanje kormilima, žiroskope i izvore napajanja.

Protivaraketni sistem »najk-zevs« radi automatski. Predviđeno je i ručno upravljanje. Ceo tok leta cilja i antirakete reprodukuje se na posebnom pokazivaču sa trodimenzionalnom slikom, koji je postavljen na komandnom mestu.

Na slici 34 prikazana je struktturna šema sadejstva pojedinih uređaja sistema »najk-zevs« u toku presretanja bojne glave balističke rakete.

Od sistema za daljinsko otkrivanje BMWES*) na komandno mesto (u računar) dolaze podaci o položaju cilja, koji služe za navođenje snopova antena osmatračkih rada- ra 2 i 3 u tačku otkrivanja i hvatanja cilja. U toku praćenja tekuće koordinate cilja od radara se šalju u računsku mašinu radi izračunavanja parametara putanje bojne glave balističke rakete i izrade podataka o položaju cilja za ostala sredstva sistema »nike-zevs«. Na deonici identifikacije b, pomoću radara za identifikaciju i računara, analiziraju se podaci o ciljevima, koji se nalaze u snopu rada- ra, a potom se daje komanda za presretanje cilja. Istovremeno se određuje i potreban broj antiraketa.

Radar za praćenje cilja se uključuje po komandi za presretanje i na osnovu akvizicijskih podataka. Ove podatke daje računska mašina i na osnovu njih se snop rada- ra navodi na cilj radi praćenja.

Bateriji se daje komanda za pripremu antiraketa za lansiranje.

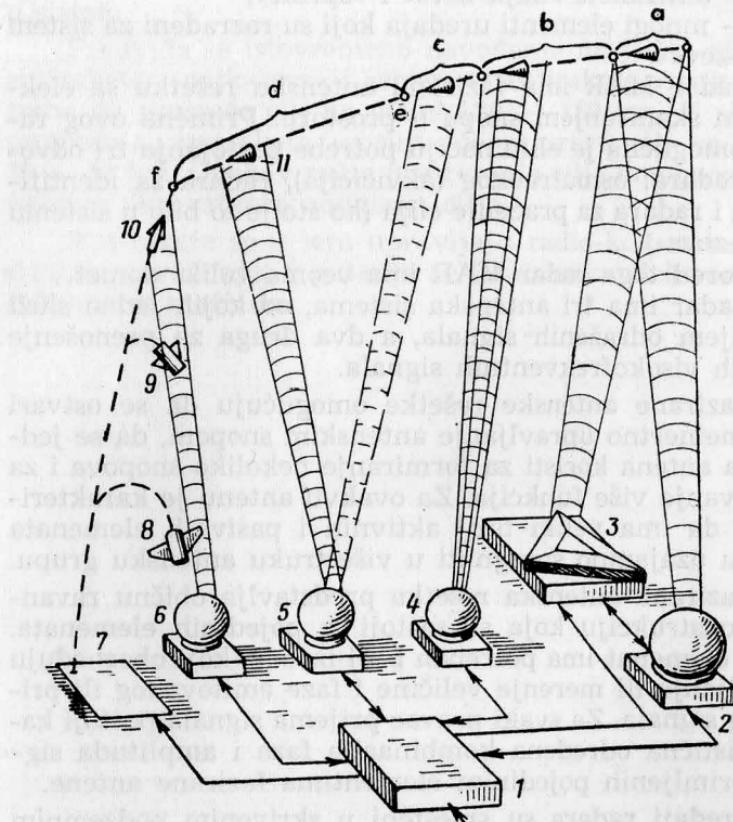
Podaci iz radara za praćenje cilja 5 uvide se u računsku mašinu, koja na osnovu njih tačnije određuje putanju bojne glave balističke rakete, zatim određuje trenutak lansiranja antiraketa, njihove optimalne putanje i trenutke aktiviranja bojnih glava.

Posle starta, radar 6 zahvata i prati signal odgovora antirakete i predaje računskoj mašini tekuće koordinate koje se upoređuju sa proračunskim. Na osnovu rezultata poređenja stvaraju se komande za upravljanje letom rakte i komanda za aktiviranje bojne glave. Komande se preko uređaja za prenos komandi emituju na antiraketu.

Posle izvršenja programa presretanja cilja sva se sredstva u sistemu vraćaju u početni položaj i pripremaju za dejstvo po drugom naznačenom cilju.

*) BMEWS — BALLISTIC MISSILE EARLY WARNING SYSTEM — Sistem za blagovremeno upozoravanje na balističke projektile u okviru protivraketne odbrane Severne Amerike. — Prim. prev.

U SAD se ispituje takođe protivraketni sistem »najk-X«, koji predstavlja kombinaciju usavršenog antiraketnog sistema »najk-zevs« i nove antirakete »sprint«.



Od sistema osmatračkih radara velikog dometa

Sl. 34 — Šema sadejstva sredstava sistema »najk-zevs« u toku presretanja cilja:

1 — upravljački punkt sa računarskim uredajima, 2, 3 — radari za blagovremeno otkrivanje, 4 — radar za identifikaciju, 5 — radar za praćenje cilja, 6 — radar za praćenje antirakete, 7 — baterija antiraketa, 8, 9, 10 — I, II i III stepen antirakete »najk-zevs«, 11 — bojna glava balističke rakete, a — deonica otkrivanja i zahvatljanja cilja radarom za blagovremeno otkrivanje, b — deonica identifikacije cilja, c — deo preciziranja koordinata cilja, d — deonica leta bojne glave balističke rakete do tačke susreta, e — trenutak lansiranja antirakete, f — tačka susreta

U sastav sistema »najk-X« ulaze:

- višestruki radar tipa MAR;
- radar za praćenje antiraketa MSR;
- antirakete »najk-zevs« i »sprint«;
- mnogi elementi uređaja koji su razrađeni za sistem »najk-zevs«.

Radar MAR ima faziranu antensku rešetku sa električnim skaniranjem snopa u prostoru. Primena ovog radara omogućila je eliminaciju potrebe postojanja tri odvojena radara: osmatračkog (akvizicija), radara za identifikaciju i radara za praćenje cilja (ko što je to bilo u sistemu »najk-zevs«).

Pored toga radar MAR ima veoma veliki domet.

Radar ima tri antenska sistema, od kojih jedan služi za prijem odraženih signala, a dva druga za prenošenje snažnih visokofrekventnih signala.

Fazirane antenske rešetke omogućuju da se ostvari brzo, neinertno upravljanje antenskim snopom, da se jedna ista antena koristi za formiranje nekoliko snopova i za izvršavanje više funkcija. Za ovakvu antenu je karakteristično da ima veliki broj aktivnih i pasivnih elemenata koji su uzajamno spregnuti u višestruku antensku grupu.

Fazirana antenska rešetka predstavlja običnu ravninsku konstrukciju koja se sastoji iz pojedinih elemenata. Svaki elemenat ima potreban broj izvoda, koji obezbeđuju upravljanje ili merenje veličine i faze emitovanog ili primanog signala. Za svaki pravac prijema signala postoji karakteristična određena kombinacija faza i amplituda signala primljenih pojedinim elementima fazirane antene.

Uređaji radara su smešteni u skrivenim podzemnim bunkerima i samo izlazni elementi fazirane rešetke nalaze se u nadzemnim objektima sa kupolama.

U sistem »najk-X« ulazi takođe i nova računska mašina sa tranzistorima, koja ima veoma veliku brzinu obrade podataka.

Antiraketa »sprint« poseduje veću brzinu u odnosu na raketu »najk-zevs« i predviđena je za presretanje ciljeva na malim visinama (35—50 km). Pretpostavlja se da vreme leta antirakete do cilja neće biti duže od 10 s.

Smatra se da će sistem »najk-X« u odnosu na sistem »najk-zevs« imati veću sposobnost izdvajanja bojnih glava od lažnih ciljeva i da će moći presretati ciljeve u većem opsegu visina zahvaljujući uvođenju antirakete »sprint« u sistem.

Predviđa se istovremeno navođenje na jedan cilj obe antirakete: »najk-zevs« i »sprint«. Antiraketa »najk-zevs« treba da presreće cilj na visini 120 — 160 km. U slučaju promašaja, antiraketa »sprint« će presresti cilj na visini 35 — 50 km. Ovakav način presretanja cilja omogućće povećanje verovatnoće uništenja cilja.

Antirakete se u letu upravljaju radio-komandnim sistemom navođenja, a putanja se izračunava elektronskom računskom mašinom.

VOJNA BIBLIOTEKA »INOSTRANI PISCI«

— NOVINE IZ VOJNE NAUKE I TEHNIKE —

1. — *Nikolajev*, RAKETA PROTIV RAKETE, str. 191, cena 7,5 n. din.
2. — *Surikov*, BORBENA PRIMENA RAKETA, str. 181, cena 7 n. din.
3. — *Levantovski*, LETOVI KA MESECU I PLANETAMA SUNČEVOG SISTEMA, str. 190, cena 8,5 n. din.
4. — *Zalepa*, BORBA PROTIV NISKOLETEĆIH CILJEVA — str. 66, cena 6 n. din.
5. — *Zihanov i Strelkov*, DALJINSKO UPRAVLJANJE RAKETAMA — str. 116, cena 7 n. din.
6. — *Savkin*, TEMPO NAPADA, str. 178, cena 10 n. din.
7. — *Turčenko i Fedulov*, ODBRAMBENA DEJSTVA U TOKU NAPADA, str. 160, cena 10 n. din.
8. — *Barčenkov*, ELEKTRONIKA OBUČAVA, UPRAVLJA I KONTROLIŠE — str. 108, cena 8 n. din.
9. — *Miščenko*, RADARSKI CILJEVI — str. 144, cena 10 n. din.

K. I. ZIHANOV
B. G. STRELKOV

DALJINSKO UPRAVLJANJE RAKETAMA

Redigovao prema originalu
vazduhoplovnotehnički kapetan I klase
Dimitrijević Dragan, dipl. inž.

*

Jezički redaktor
Veljko Aleksić, prof.

*

Tehnički urednik
Andro Strugar

*

Korektor
Gordana Rosi

*

Naslovna strana
Sava Rajković

Tiraž 4.000
Štampanje završeno 1968.
Cena 7 n. d.

VOJANIK I K
RTE ŠTRUKOV

DALINSKO UPRAVILJANJE RAVNATEAMA

Pravilnik o dalinskom upravljanju
ravnateljama i ravnateljicama
dalinskog upravljanja

Ustavni list
Vlada Republike Srbije

