

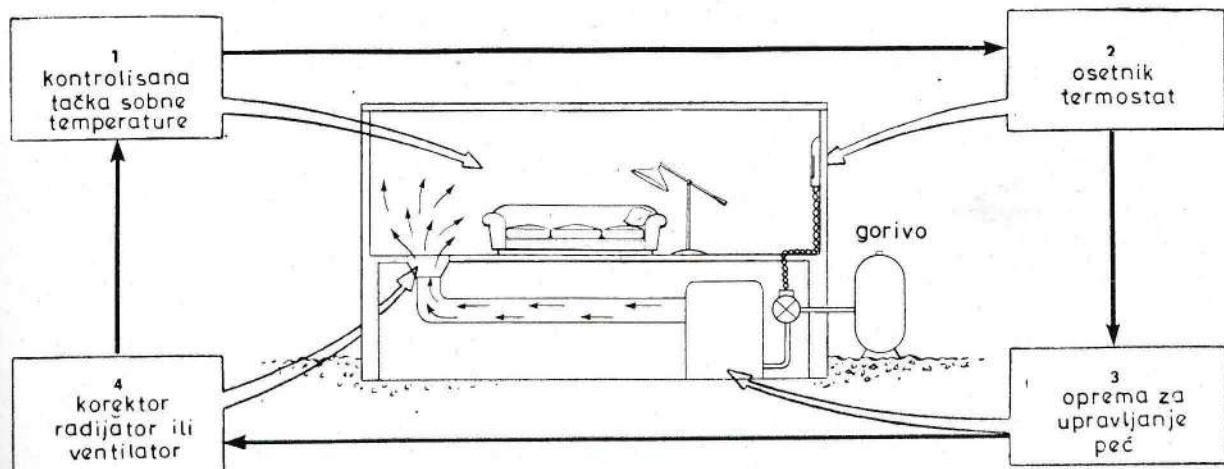
Elementi sistema upravljanja vođenim projektilima

Ova glava pojedinačno tretira naprave koje sačinjavaju različite vrste sistema upravljanja vodenih raketa. Da bi se shvatila uloga ovih elemenata u sistemima upravljanja ukratko je objašnjen princip rada tih sistema, a u jednoj od sledećih glava detaljnije se obrađuje rad sistema.

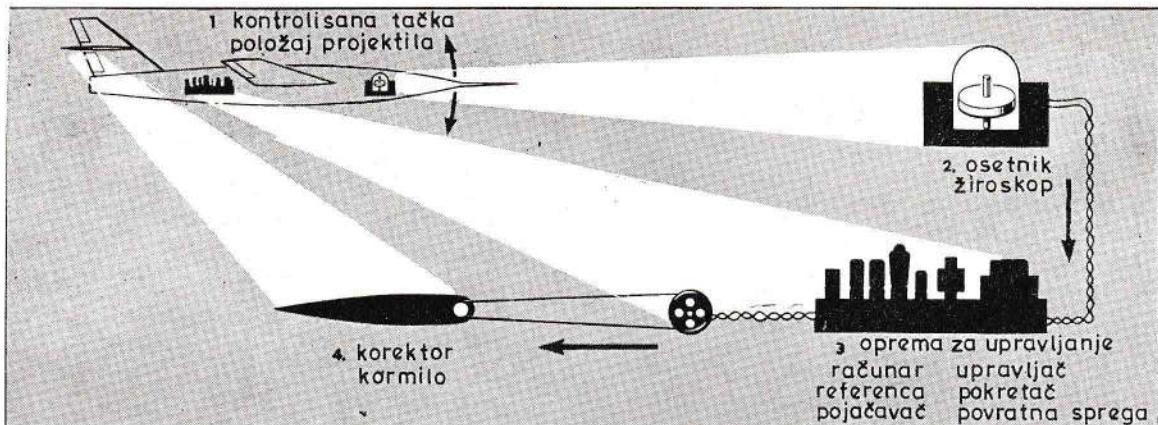
Sistem upravljanja vođenog projektila jeste — kako nam i ime kazuje — sistem koji automatski upravlja letom projektila. On je sličan sistemima automatskih pilota u nekim od velikih aviona. Za vreme leta sistem pravovremeno pokreće kontrolne naprave i deluje na projektil tako da sprečava propinjanje, promenu pravca, uvijanje napred i natrag, repno uvijanje i valjanje.

Principi rada sistema upravljanja projektila su isti kao i bilo kog automatskog sistema upravljanja. Takav sistem neprekidno unosi korekciju određenih regulišućih parametara koje proverava i na osnovu rezultata provere obavlja dalje korekcije. Ovo sačinjava ciklus međusobno zavisnih akcija koji se zove sistem upravljanja sa povratnom spregom (sa zatvorenom petljom). Svaki blok-dijagram akcija je spojen tako da formira zatvoreno kolo, kao što je prikazano na slici 211.

Za rad svakog sistema upravljanja neophodna su četiri glavna uslova. *Prvi uslov je da sistem ima nešto što se može kontrolisati.* Na primer, bilo bi nemoguće kontrolisati temperaturu spoljne atmosfere.



Sl. 211 — Četiri dela svakog automatskog sistema za upravljanje



Sl. 212 — Četiri glavna dela svakog sistema upravljanja vođenog projektila

Drugi važan uslov je sredstvo za detekciju ili osećanje odstupanja kontrolisane veličine od željenih uslova ili reference. Ovo odstupanje obično se zove greška.

Treća funkcija je da se informacija o grešci prepravi u oblik koji se može upotrebiti za regulaciju naprave za kontrolu. Naprava za kontrolu ili korekciju u stvari izvršava korekciju kontrolisane veličine i predstavlja četvrti uslov za rad nekog sistema.

Jedan od najopštijih automatskih kontrolnih sistema upotrebljen je za održavanje određene temperature u sobi. Temperatura na koju je termostat postavljen postaje referenca. Ako temperatura odstupi od ove reference, termostat detektuje odstupanje i šalje signal greške u ventil za gorivo. Toplotu proizvodi oprema koja prati termostat. Pomoću radijatora ili otvara u zidu, u sobu se ubacuje toplost potrebna za korekciju. Za to vreme termostat stalno meri temperaturu i osigurava da se dovod goriva prekine pravovremeno, da bi se održala referentna temperatura.

Slika 210 pokazuje četiri uslova neophodna za rad automatskog sistema, koji je sada primjenjen u sistemu upravljanja za položaj projektila. Položaj projektila je veličina koja se kontroliše. Odstupanje može da se detektuje pomoću žiroskopa. Oprema za kontrolu menja ovaj signal u silu koja može da pokrene kontrolne površine za odgovarajuću veličinu. Naprava koja u stvari izvršava korekciju je kontrolna površina (ili pokretnе mlažnice itd.).

Proces upravljanja ovim nije završen. Kad se projektil kreće pod dejstvom akcija za korekciju, podaci o ovom kretanju vode se natrag kao informacija ka detektoru, pošto on kontinualno detektuje visinu. Ova povratna informa-

cija upotpunjuje glavnu spregu sistema. Glavna sprega ponekad se zove dinamička sprega, pošto ona uključuje u pokret vođeni projektil.

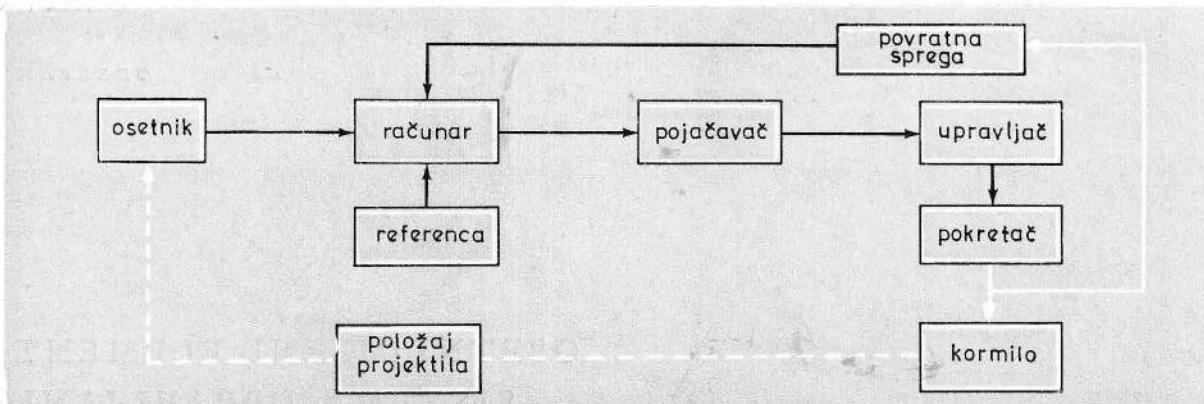
Slika 212 takođe ukazuje na glavne funkcije sistema vođenog projektila. Svaki element sadrži sve zahteve ili samo deo od četiri zahteva neophodna za funkcionisanje sistema projektila. Glavne funkcije su prikazane u obliku blok-dijagrama na slici 213 sa nazivom Opšti blok-dijagram sistema upravljanja projektila.

Svakoj od osnovnih jedinica sistema upravljanja odgovara jedna od osam funkcija osnovnog sistema upravljanja projektila.

Ove funkcije ne moraju uvek biti onakve kao što su prikazane na slici. I pored toga, slika daje osnov za razumevanje funkcije pojedinih elemenata sistema.

Sistem koji se upotrebljava za upravljanje projektilom sastoji se od određenog broja električnih, mehaničkih i elektronskih elemenata, koji su predstavljeni kao deo opreme projektila i međusobno su povezani, tako da omogućuju funkcionisanje kompletног sistema upravljanja. Sistem za upravljanje prvenstveno je konstruisan zato da obezbedi stabilnost projektila za vreme njegovog leta od lansera do cilja. Postoji takođe sekundarni kontrolni sistem konstruisan sa ciljem da se sprovedu široka istraživanja projektila, od čijih rezultata zavisi da li će se usvojiti u naoružanju. Zahtevi poligonske sigurnosti takođe igraju ulogu u konstruisanju kontrolnog sistema za ma koji specifični projektil.

Sistem za upravljanje mora biti u mogućnosti da pokrene snažnu kontrolnu površinu u cilju održavanja datog položaja u letu i određenog (fiksног) kursa ili pravca leta. Sistem mora da bude tako konstruisan da operator u jednom avionu-upravljaču ili na nekoj zemaljskoj sta-



Sl. 213 — Opšti blok-dijagram sistema upravljanja projektila

nici može da pomoći daljinskog vođenja, manevriše projektilom, tj. da ga propinje (penje), da ga spušta, ili da ga u drugom pravcu usmerava. Ovo je potrebno za uspostavljanje željenih aerodinamičkih karakteristika. Da bi ispunio ove uslove, sistem upravljanja mora biti u mogućnosti da radi sledeće:

mora da uspostavi fiksne referentne linije u prostoru, u odnosu na koje se mere odstupanja u kursu ili promene u položaju leta;

mora da poseduje mehaničko ili elektromehaničko sredstvo pomoći koga po zahtevu može da pokreće kontrolne površine. Takav uređaj obično se zove servouredaj;

mora da poseduje sredstvo za merenje veličine i pravca ugaonih odstupanja projektila od referentnih linija, kao i položaja kontrolnih površina koji servosistem uspostavlja;

mora da poseduje uređaje za pretvaranje podataka o otklonu projektila od zadatih parametara u odgovarajući rad celog sistema upravljanja. Na ovaj način se obezbeđuje let projektila u zadatom pravcu.

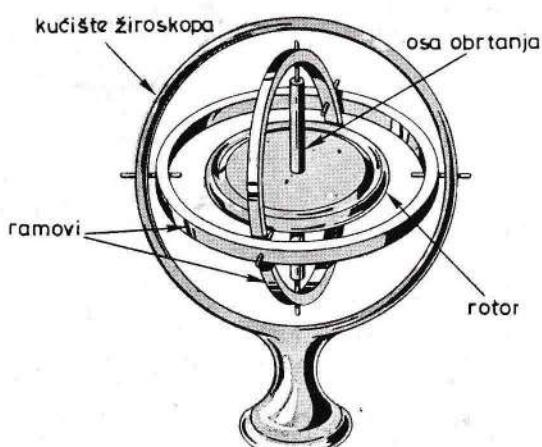
Način na koji kontrolni sistem projektila ispunjava ove zahteve objašnjen je u sledećim poglavljima. U ovoj glavi biće obrađena funkcija pojedinih elemenata podistema iz kojih se sastoji sistem upravljanja.

OSETNI (MERNI) ELEMENTI SISTEMA UPRAVLJANJA

Osetni element u sistemu upravljanja projektila je uređaj koji je sposoban da otkrije odstupanje projektila od željenih uslova leta. U ovoj glavi su obrađeni sledeći merni elementi: žiroskopi, visinomeri i prenosnici. Žiroskop se smatra osnovnim mernim elementom u mađarem rakrenom sistemu upravljanja. Visinomeri i prenosnici su upotrebljeni kao merni instrumenti u sekundarnim ili pomoćnim servospremama kontrolnog sistema upravljanja. Davači greške, koji otkrivenu informaciju prepravljaju u korisan oblik, takođe su obrađeni u ovoj glavi.

ŽIROSKOPI — OSNOVNI OSETNI ELEMENTI

Pre nego što se obradi primena žiroskopa u sistemu upravljanja, treba nabrojati nekoliko osnovnih definicija šta je žiroskop.



Sl. 214 — Slobodni žiroskop

Kao što je ranije navedeno, žiroskop je mehanički uređaj koji sadrži jedan tačno balansiran rotor. Rotor se okreće oko centralne osovine (osovina koja prolazi kroz centar gravitacije). Ako je to slobodan žiroskop, on je montiran tako da se može nagnuti ili okrenuti u bilo kom pravcu oko svog centra gravitacije. Na slici 214 prikazan je jedan takav žiroskop. Kada se rotor okreće velikom brzinom, takav pribor dobija žiroskopske osobine.

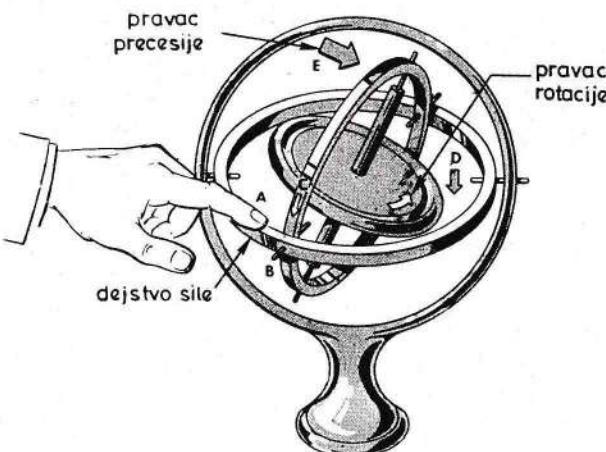
Krutost (postojanost) žiroskopa u prostoru čini da se žiroskop može upotrebiti kao referentni ili merni elemenat za kontrolu leta projektila.

KRUTOST ŽIROSKOPA

Krutost ili žiroskopska inercija je svojstvo žiroskopa da se odupre mađare kojoj sili koja nastoji da mu otkloni rotor iz ravni rotacije. Moć žiroskopa ili veličinu krutosti određuju tri faktora: težina rotora, raspodela težine i brzina obrtanja rotora. Krutost može da se poveća povećanjem težine rotora. Žiroskop s teškim rotorom ima veću krutost od žiroskopa s lakisim rotorom, ako se oba žiroskopa obrću istom brzinom. Krutost žiroskopa može se povećati raspoređivanjem težine prema spoljnoj ivici rotora, što je moguće dalje od ose rotora, ali tako da to ne poveća težinu rotora. Krutost je takođe veća ukoliko je brzina obrtanja veća (rotor koji se polako obrće daje žiroskopu malu ili nikakvu krutost).

ŽIROSKOPSKA PRECESIJA

Sledeća važna karakteristika žiroskopa je žiroskopska precesija. Postoje dve vrste žiroskopske precesije: stvarna ili pobuđena precesija i prividna precesija.

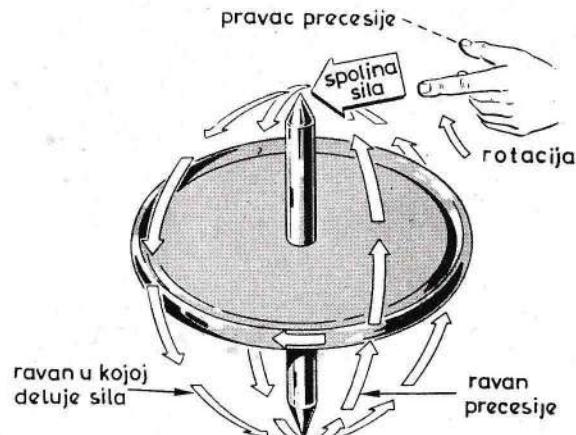


Sl. 215 — Zakon ruke za određivanje pravca precesije žiroskopa

Stvarna precesija. Stvarna žiroskopska precesija je svojstvo žiroskopa koje prouzrokuje da rotor bude pomeren ne u pravcu sile koja na njega deluje, nego za 90 stepeni od pravca sile, i to u pravcu obrtanja rotora. Ako jedna sila deluje u tački A, i to nadole, ona je preneta kroz stožer B na ram C, takođe kao sila koja deluje nadole. Ova sila kreće se 90 stepeni u pravcu rotacije i prouzrokuje kretanje tačke D nadole, uz istovremeno kretanje (precesiju) tačke E. (Slika 215).

Lak način da se zapamti pravac precesije žiroskopa, kada na njega deluje spoljna sila, jeste da se zna »zakon ruke«, kao što je pokazano na slici 216. Prste leve ili desne ruke valja postaviti u pravcu obrtanja žiroskopa i ispružiti kažiprst u pravcu sile koja deluje na žiroskop. Palac će tada da bude okrenut u pravcu precesije.

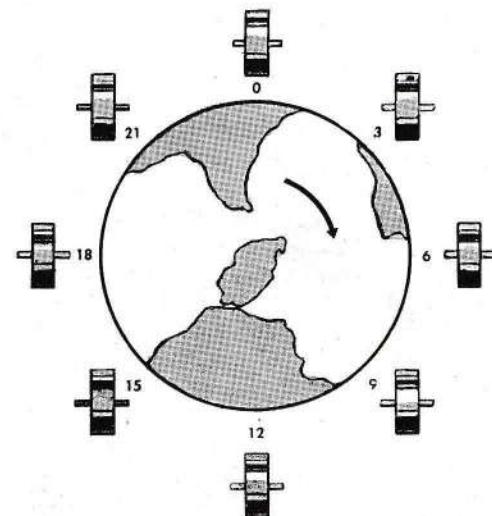
Očigledno je, iz prethodnog objašnjenja žiroskopske precesije, da sila koja deluje na žiroskop u centru njegove gravitacije neće učiniti da se osa rotora nagne i da žiroskop time izmeni prethodno uspostavljeni položaj. Dakle, neće doći do pojave precesije. Prema tome, žiroskop koji rotira može biti pokretan u ma kojem pravcu, isto kao i žiroskop u miru pod uslovom da njegove osovine ostanu paralelne sa svojim prvobitnim položajem u prostoru. Prema tome, žiroskop obezbeđuje stabilnost samo u odnosu na nagnjanje sopstvene ose obrtanja. Takođe, žiroskop koji rotira može da bude upotrebljen da obezbedi stabilizaciju jedino u ravnima koje sadrže njegove ose obrtanja. Za potpunu stabilizaciju u svakom avionu potrebna su dva žiroskopa, koja imaju, jedan u odnosu na drugog, ose obrtanja pod pravim ugлом. Iz tog razloga su potrebna oba žiroskopa i vertikalni i hori-



Sl. 216 — Precesija žiroskopa

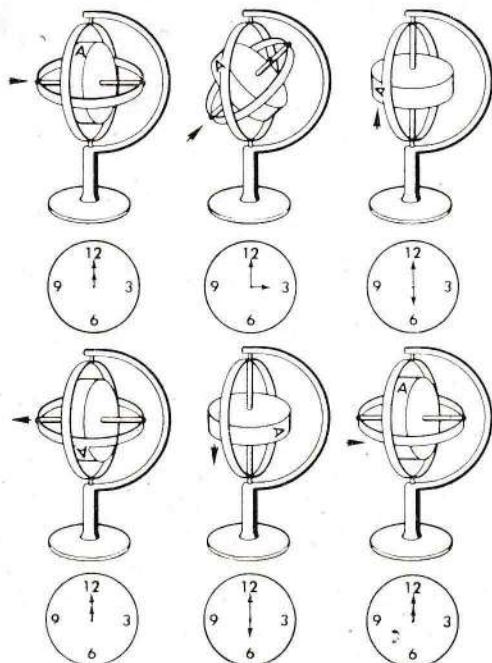
talni — da bi se dobila potpuna stabilizacija i da bi se uspostavile potrebne referentne linije u odnosu na koje se može meriti odstupanje.

Prividna precesija. Pošto krutost fiksira u prostoru osu obrtanja žiroskopa, ta osa je upravljena u jednom određenom pravcu. Zemlja, koja rotira, obrće se ispod žiroskopa. Odатле izgleda da se nagnje osa žiroskopa. Na primer, jedan žiroskop na ekvatoru ima horizontalnu osu obrtanja u odnosu na zemlju i upravljenu u pravcu istok — zapad kao što je pokazano na sledećoj slici 217. Zemlja se okreće u pravcu strelice (u pravcu kazaljke na satu) sa ugaonom brzinom od jednog obrtaja na 24 časa. Za posmatrače u prostoru izgledaće da osa obrtanja održava svoj položaj u pravcu istoka. Ali za posmatrače na zemlji izgledaće da se osa obrtanja postepeno



Sl. 217 — Položaj žiroskopa u prostoru oko zemlje

naginje. Posle 3 časa, osa obrtanja biće nagnuta za 45 stepeni, a posle 6 časova za 90 stepeni (u vertikalnom položaju). Valja obratiti pažnju na skice prividne precesije na slici 218. Posle 12 časova osa rotacije ponovo je horizontalna ali sada je upravljenja u pravcu zapada. Posle 24 časa ona je ponovo u svome početnom položaju, upravljena ka istoku.



Sl. 218 — Prividna precesija

Ovaj fenomen stvara iluziju da se žiroskop obrće i da u toku svaka 24 časa izvrši jedan obrtaj. Međutim, žiroskop zadržava svoj položaj u prostoru, a zemlja se obrće oko njega. Ovo okretanje u odnosu na žiroskop zove se prividna žiroskopska precesija. Najveća prividna precesija je na ekvatoru, prema polovima se smanjuje, a na samim polovima je ravna nuli. Prividna precesija čini žiroskop nepodesnim kao referencu pri upotrebi u dužim vremenskim periodima, ukoliko nije primenjena neka vrsta mehanizma za ukrućivanje ili za kompenzaciju koji bi održavao žiroskop u stalnom odnosu prema površini zemlje. U relativno kratkim vremenskim periodima žiroskop, ipak, može da bude upotrebljen za uspostavljanje zadovoljavajuće reference, i to bez upotrebe mehanizma za ukrućivanje ili kompenzaciju.

ŽIRO-DRIFT (POMERANJE NULE)

Žiroskop nije uvek u pravcu u kojem bi teorijski trebalo da bude upravljen. Ove greške u žiroskopu su prouzrokovane slučajnim netačnostima sistema. Rezultujuće promene položaja ose obrtanja zovu se drift. Postoje tri glavna izvora drifta.

a. *Neizbalansiranost.* Kada radi na brzinama ili temperaturama različitim od predviđenih, žiroskop često postaje dinamički neizbalansiran. Određena neizbalansiranost postoji u svakom žiroskopu, pošto proces proizvodnje ne daje potpunu simetriju sastavnih elemenata.

b. *Trenje u ležajima.* Usled trenja u ležajima ramova gubi se energija i pozicija ramova postaje netačna. Trenje u ležajima obrtnе osovine prouzrokuje drift jedino ako trenje nije simetrično. Podjednako trenje svud oko u ležaju prouzrokuje samo promenu brzine obrtanja.

c. *Inercija ramova.* Kad ram rotira gubi se energija usled inercije ramova. Što je veća masa rama, veći je i drift prouzrokovani ovom pojavom.

Izgleda nemoguće da se sasvim eliminiše drift u žiroskopu. Ipak, u poslednjim godinama većki uspesi su postignuti u smanjivanju veličine drifta. Upotrebljene metode ukratko su opisane u ovom poglavljju.

ZABRAVLJIVANJE RAMOVA

Ako su dva rama žiroskopa postavljena u istu ravan, žiroskop nije slobodan za precesiju. Kao rezultat toga pri dejstvu nekog momenta, sile precesije zabrave žiroskop u krutu poziciju.

Dva osnovna svojstva žiroskopa — krutost u prostoru i precesija — su upotrebljena u žiroskopskim instrumentima. Krutost je upotrebljena da se u prostoru uspostavi referenca na koju ne deluje kretanje tela koje je nosi, a precesija je iskorišćena za kontrolu rotacije zemlje, trenja u ležajevima i neizbalansiranosti, prema tome u cilju održavanja reference u potrebnom položaju.

ODREĐIVANJE BRZINE

Kada se u projektalu nalazi žiroskop sa dva rama, od kojih je jedan ograničen (fiksiran) oprugama, ili nekim sličnim sredstvom, on saopštava silu sredstvu za ograničenje (oprugama) koja je proporcionalna ugaonoj brzini kretanja projektila u jednoj ravni. Merenjem date sile na ograničivačima direktno se dobija indikacija brzine skretanja.

UPOTREBA ŽIROSKOPA U VOĐENIM PROJEKTILIMA

Za stabilizaciju projektila potrebna su najmanje dva merna žiroskopa. Svaki od ova dva žiroskopa je upotrebljen za uspostavljanje fiksne referentne linije od koje se meri skretanje projektila bilo po pravcu (kursu) ili po položaju leta. Jedna od tih linija je vertikalna i postavljena je normalno na površinu zemlje. Ova linija prolazi kroz osu rotora vertikalnog žiroskopa i u odnosu na nju može se meriti odstupanje od položaja leta oko ose valjanja, ili oko ose propinjanja projektila, kao što je pokazano na slici 219.

Odstupanje od pravca leta ne može da bude mereno pomoću vertikalne referentne linije. U prostoru mora da bude uspostavljena duga horizontalna fiksna linija da bi odstupanje od pravca leta moglo biti mereno. Ova referentna linija prolazi kroz osu rotora horizontalnog žiroskopa i zato je stabilna u prostoru. Pošto se odstupanje od kursa meri od ove referentne linije, ona je postavljena paralelno sa horizontalnom osom projektila, kao što je prikazano na slici 220.

Žiroskopi koji se primenjuju u projektilima podeljeni su u dve grupe: žiroskopi koji se upotrebljavaju za stabilizaciju, kao žiroskopi za sisteme upravljanja, i žiroskopi koji se upotrebljavaju za vođenje i za stabilizaciju.

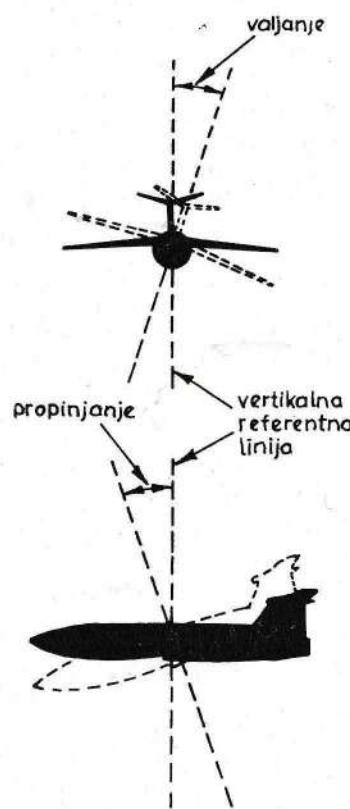
Žiroskopi, koji se upotrebljavaju samo za stabilizaciju, obično su adaptacija postojećih konstrukcija. Da bi tipičan žiroskop za merenje vertikalnog ili horizontalnog pomeranja mogao biti upotrebljen sa spoljnim signalima vođenja, treba da ima sledeće karakteristike:

- a. Snaga — naizmenična dvofazna ili trofazna struja, 400 — 2000 Hz (cikla u sekundi).
- b. Merni elemenat — magnetski ili kapacitivni davač, ili potenciometar za precesiju.
- c. Veličina — 5 do 6 palaca kubnih (80 do 95 cm³), u hermetički zatvorenom kućištu.
- d. Težina — 3 do 5 funti (1,35 do 2,25 kg).

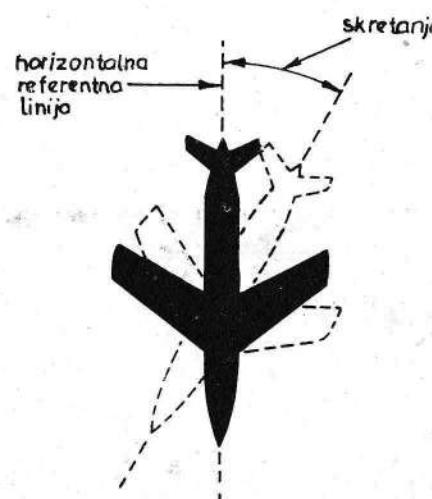
Takov žiroskop, kad je snabdeven signalima vođenja, daje adekvatnu stabilizaciju projektilu, uz brzinu precesije veću od 1 stepen po minuti.

Kao što je ranije rečeno, za stabilizaciju projektila potrebna su najmanje dva žiroskopa za merenje pomeranja. Kada su predviđeni kru-govi ili drugi manevri, često postaje potrebno da se upotrebni sistem od tri žiroskopa, ali sa jednom mernom osom po žiroskopu. Obično sistem sa tri žiroskopa može upotrebljavati istu konstrukciju žiroskopa za sve tri pozicije, što smanjuje probleme proizvodnje i održavanja.

Za specijalne potrebe moguće je upotrebiti žiroskop za merenje pomeranja vrlo male ukupne zapremine 4 × 4 × 4 palca (10×10×10 cm) koji teži manje od 3 funte 1200 gr.



Sl. 219 — Vertikalna referentna linija koja pokazuje skretanje u odnosu na ose valjanja i propinjanja



Sl. 220 — Horizontalna referentna linija koja pokazuje skretanje oko ose skretanja

Žiroskopi koji se upotrebljavaju i za vođenje i za stabilizaciju su slobodni žiroskopi, koji, prema tome sa koliko su veštine konstruisani, i obezbeđuju odgovarajuću prostornu referencu. Ovakvi žiroskopi su obično veći i teži od običnih žiroskopa. Obično, žirokop za vođenje je građen sa jednim relativno velikim i vrlo brzim rotorom sa ogromnim ugaonim momentom, koji se obrće na mikrofrikcionim ležajevima u ramovima. »Perfektni« slobodni žirokop ovoga tipa, balansiran u neutralnoj ravnoteži, održavaće svoju osu obrtanja u konstantnoj ugaonoj poziciji u prostoru.

BRZINSKI ŽIROSKOP

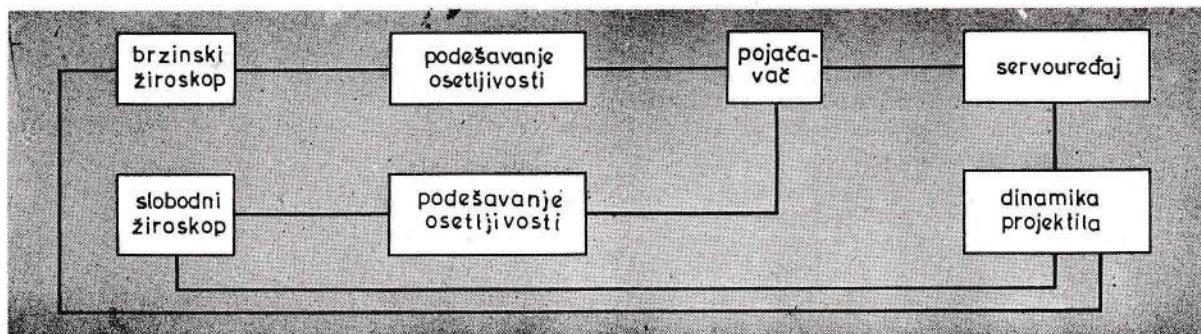
Pored kontrolnih signala koji se dobijaju od vertikalnog i horizontalnog žiroskopa, a koji su proporcionalni skretanju projektila, za tačnu kontrolu i glatko povraćanje u željeni položaj zahteva se i signal koji je proporcionalan brzini skretanja. Brzinski žirokop daje signal brzine skretanja. Brzinski žirokop ima ograničen ram, a slobodan je da se okreće samo oko jedne ose. Ipak, on je pravi žirokop, na drugi način saobražen istim osnovnim principima kao i ostali žiroskopi. Osa obrtanja žiroskopa za brzinu skretanja montirana je paralelno sa pravcem leta rakete. Brzinski žirokop za valjanje montiran je tako da mu je osa obrtanja paralelna sa osom propinjanja projektila, upravno na pravac leta. Žirokop za brzinu propinjanja montiran je tako da mu je osa obrtanja paralelna sa osom skretanja projektila, takođe upravno na pravac leta.

Primena brzinskog žiroskopa. Iskoriscavanje jedino signala skretanja kao sredstva za davanje korekcije upravljanja u kontrolnom sistemu autopilota svodi se na tendenciju da se letelica skrene ili propne oko željenog kursa. Kada su upotrebljeni jedino signali skretanja, primena upravljanja da se dovede letelica natrag na kurs rezultira u nadkorekcijama usled inercije

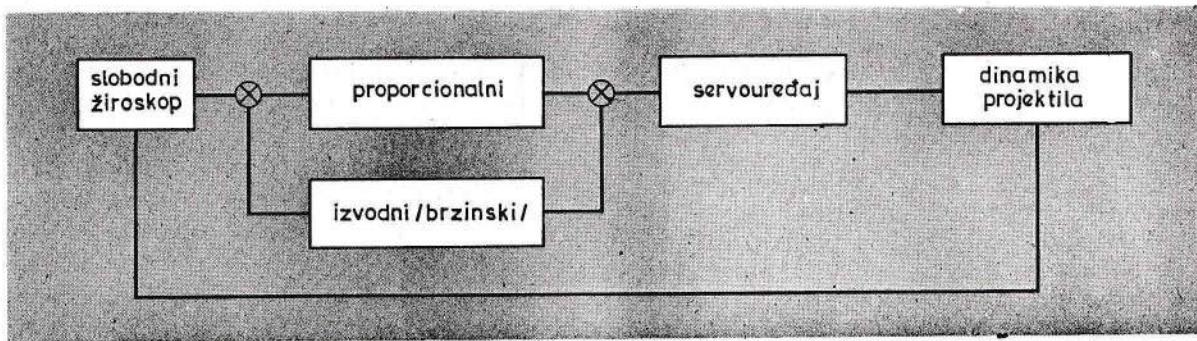
projektila. Kontrolni sistem, zbog toga, ne treba da ima samo sredstvo za utvrđivanje položaja letelice u prostoru, nego i sredstvo za detekciju brzine promene položaja. Sabiranjem signala brzine promene položaja sa signalom skretanja, svedena je na minimum tendencija letelice ka natkorekcijama i dobijen je bolji stepen stabilnosti.

Današnji sistemi za stabilizaciju projektila upotrebljavaju slobodni i brzinski žirokop, ili kolo za diferenciranje u spremi sa slobodnim žiroskopom, sa ciljem da se servomehanizam za kontrolu obezbedi sa oba signala — signalom za promenu položaja i signalom za brzinu promene položaja. Uvođenje brzinskog signala daje dobro aerodinamičko prigušenje. Slika 221 pokazuje šemu funkcije sistema koji se upotrebljava da bi se osetilo kretanje projektila oko njegovih kontrolnih osovina. Sistem pripada jednom kanalu za kontrolu projektila, koji upotrebljava i brzinski i slobodni žirokop. Osetljivost se podešava da bi se uspostavio odnos signala brzine od brzinskog žiroskopa prema pozicionom signalu od slobodnog žiroskopa. Ovi signali se vode do jednog pojačavača koji sabira dva signala i daje izlazni napon proporcionalan njihovom zbiru. Ovaj napon vodi se na servosistem koji postavlja kontrolne površine u tačan položaj, da bi se uglovi promene i brzine promene sveli na nulu.

Slika 222 je blok-dijagram funkcija jednog kontrolnog kanala koji sadrži slobodni žirokop i jedno računsko kolo. Naponski signal sa slobodnog žiroskopa ide na proporcionalni i diferencirajući kanal grešaka računara. Proporcionalni kanal vrši proporcionalno pojačavanje signala. Diferencirajući kanal pojačava i diferenira signal jednim RC kolom. Zatim se ova dva signala kombinuju i vode u servosistem. Servosistem pomera kontrolne površine, a ugao skretanja vraća se natrag na nulu preko odgovora vođenog projektila na otklon kontrolne površine.



Sl. 221 — Kanal upravljanja projektila koji upotrebljava slobodni brzinski žirokop



Sl. 222 — Kanal upravljanja projektila koji upotrebljava slobodni žiroskop i računsku mrežu

Brzinski žiroskop, koji je upotrebljen u prvoj primeni, sličan je slobodnom žirokopu u tome što ima veliki žiroskopski momenat jer mu se rotor obrće. Ipak se razlikuje u tome što je slobodan da rotira samo oko jedne osovine i osetljiv je samo na ugaonu brzinu kretanja; to jest, ugaono kretanje njegovog kućišta, pri prekoračenju određene brzine, izaziva promenu položaja ose obrtanja žiroskopa u odnosu na prostor. Takve promene javljaju se za 90° u pravcu rotacije od ugaonog momenta koji deluje i u pravcu kretanja. Slika 223 prikazuje dejstvo brzinskog žiroskopa kada je on upotrebljen u sistemu projektila.

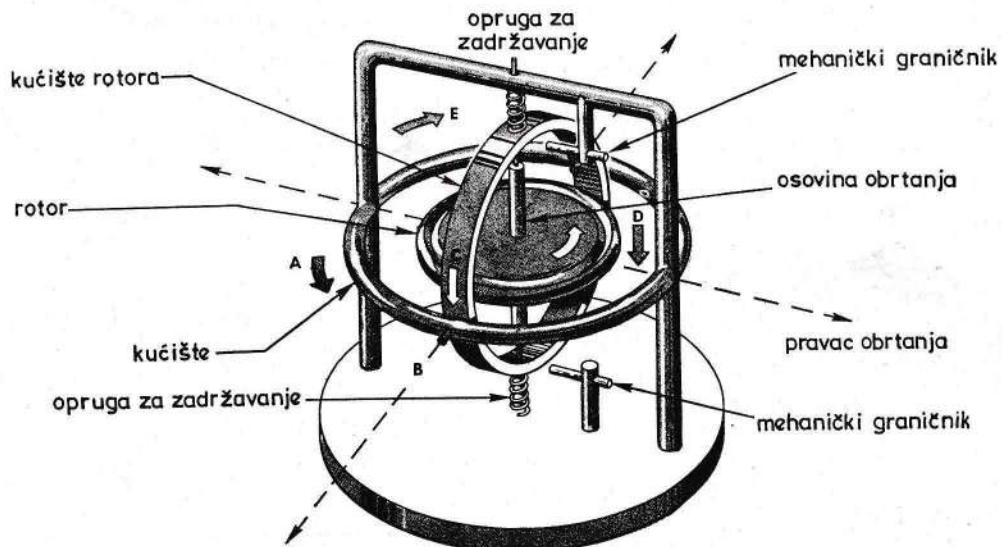
Ugaona sila koja deluje na kućište u tački »A« prenosi se preko stožera »B« kao sila koja deluje nadole na ram »C«. Ova sila kreće se za 90° u pravcu obrtanja i prouzrokuje momenat koji deluje nadole u »D« sa potomjom precesijom u »E«. Čim ugaona brzina koja je saopštена

kućištu prestane, opruge za ograničavanje povrate žiroskop u njegov neutralni položaj.

Primena brzinskog žiroskopa kod projektila visokih performansa mora da bude od zнатне koristi. Tri brzinska žiroskopa kombinovana sa kompaktnim elektronskim integratorima daju odličan izvor reference skretanja gde god vođenje nije funkcija žiroskopskog sistema. Kontrolni sistemi ovoga tipa su u opsegu između žiroskopskih i elektronskih dostignuća.

GREŠKA ŽIROSKOPA

Kao što je poznato, nekontrolisani drift u žiroskopu je onaj drift koji je prouzrokovani trenjem u ležajima i dinamičkom neuravnoveženošću. Ova vrsta drifta daje nepredviđenu precesiju žiroskopa. Pravidni drift u žiroskopu je drift koji se pojavljuje usled obrtanja Zemlje. Kon-



Sl. 223 — Dejstvo brzinskog žiroskopa

struktori i proizvođači žiroskopa danas koncentrišu svoje glavne snage na otklanjanje nepredviđenog drifta. Do pre nekoliko godina najtačniji žiroskopi koji su se mogli dobiti imali su nekontrolisane greške od plus ili minus 1 lučne minute u minuti vremena ili 1 stepen po času.

Veliki napredak učinjen je poslednjih nekoliko godina u performansama slobodnih i brzinskih žiroskopa. Ipak, ovi elementi još uvek imaju velike netačnosti uglavnom zahvaljujući trenju, specijalno kada se kućište žiroskopa ubrzava. Sadašnji tipovi žiroskopa su osetljivi instrumenti i ne mogu izdržati grubo rukovanje. Fine površine njihovih ležaja kvare se tokom lagerovanja. Pa ipak, u izvesnim uslovima lansiranja raketa i za najprostije sisteme stabilizacije često se zahteva upotreba slobodnih žiroskopa.

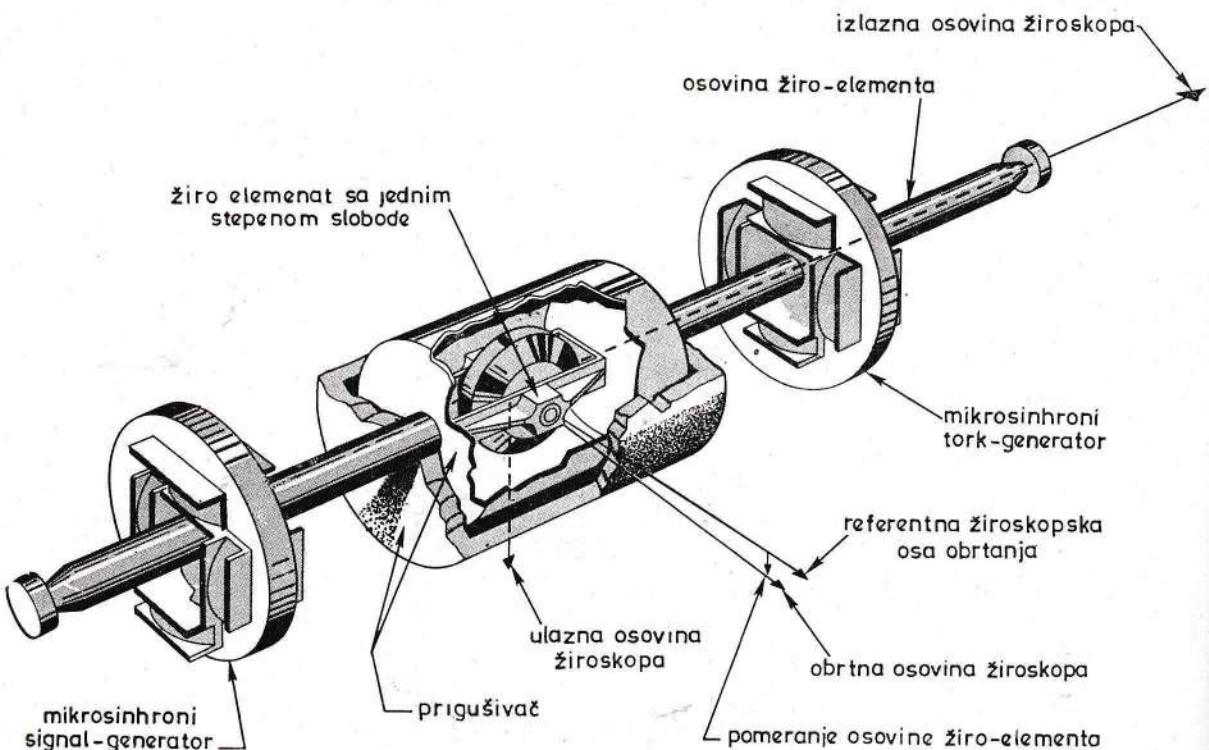
Jedan od uslova za idealan sistem vođenja projektila je da sistem bude neosetljiv prema neprijateljskim ometanjima. Od mnogo predloženih sistema vođenja samo dva ispunjavaju te uslove i to astronavigacijski sistem i inercijalni sistem. Oba ova sistema vođenja zavise od žiroskopa kojeg imaju za svoju osnovnu referencu. Astronavigacijski sistem za teleskop mora imati stabilizovanu žiro-platformu, a inercijalni sistem stabilizovanu platformu za merače ubrzanja.

Nepredviđene greške reda od jednog stepena po času rezultiraće u grešci projektila od 110 km po času leta. Prema tome, i za let od samo nekoliko minuta trajanja, očekivana tačnost nije velika.

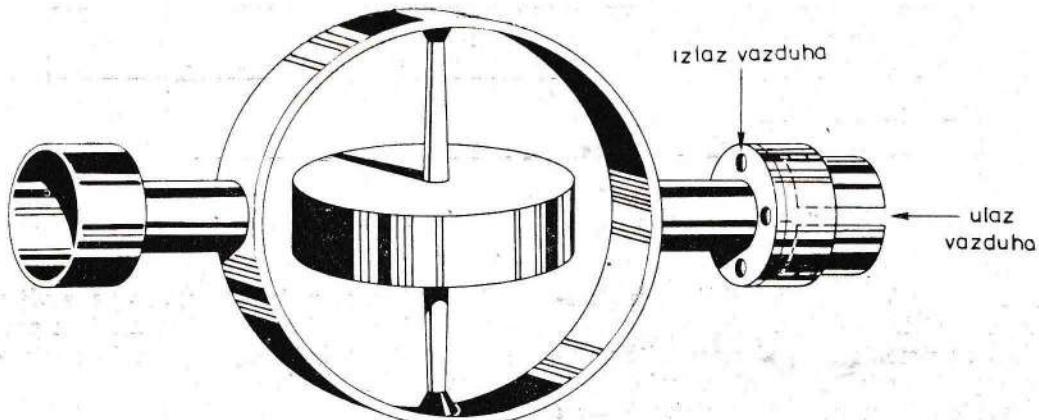
Pošto je trenje u ležajevima ramova glavni uzrok nepredviđenog drifta u žiroskopima, problem u povećanju stabilnosti žiroskopa savlađivan je smanjivanjem ovog trenja.

Plivajući žiroskop. Plivajući žiroskop je dobar primer progrusa koji je učinjen u razvoju što tačnijih instrumenata koji se upotrebljavaju kao žiroskopi za vođenje projektila. Ovi elementi, koji se zovu i draper-žiroskopi ili HIG žiroskopi, su žiroskopi viskozno prigušeni, sa jednim stepenom slobode, sa mikrotork-generatorom i mikrosignal-generatorom montiranim na izlaznoj osovini žiroskopa. Mikrotork-generator daje obrtni momenat ramu žiroskopa.

Ovaj žiroskop se zove žiroskop s jednim stepenom slobode zato što je njegov ram sloboden da se obrće samo oko jedne ose u odnosu na kućište žiroskopa. Ova osovina se zove izlazna osovina i normalna je na osu obrtanja rotora (referentna osa). Treća osovina zove se ulazna osovina žiroskopa i normalna je kako na osovinu obrtanja rotora tako i na izlaznu osovinu.



Sl. 224 — Integrirajući žiroskop



Sl. 225 — Žiroskop sa vazdušnim ležajima

Ako je kućište žiroskopa podvrgnuto nekoj ugaonoj brzini sa komponentom oko ulazne osovine, oko izlazne osovine razvija se momenat precesije.

Slika 224 pokazuje presek integrirajućeg žiroskopa. Rotor žiroskopa je u prigušnom kućištu. Mikrosignal-generator i tork-generator montirani su, kao što je prikazano, na osu žiroskopa. Prostor između prigušnog i spoljnog kućišta ispunjen je viskoznim fluidom za prigušivanje sa velikom specifičnom težinom. Usled velike specifične težine fluid služi da na njemu pliva prigušno kućište žiroskopa i osovine žiroskopskog rama, što umanjuje trenje u ležištima ramova. Na taj način mnogo se umanjuje nekontrolisani drift usled trenja. Zato što viskozni prigušni fluid nosi žiroskop, on je relativno oslobođen neželjenih efekata izazvanih ubrzanjem koji se pojavljuje u običnim žiroskopskim konstrukcijama. Ovo je odlučujuća prednost integrirajućeg žiroskopa za njegovu primenu u projektilima.

Osetljivost prigušnika za integriranje na ugaonu brzinu kao ulaz i momenat kao izlaz je funkcija viskoziteta prigušenog fluida, što opet zavisi od temperature fluida. Zato se u žiroskopsko kućište oko prostora koji sadrži fluid za prigušivanje postavljaju grejači sa odgovarajućom termostatičkom kontrolom da bi fluid održali na željenoj temperaturi i prema tome održali željene karakteristike prigušenja.

Ako je taj žiroskop ugrađen u raketu tako da mu je ulazna osoina paralelna sa osom propinjanja ili skretanja projektila, momenat koji deluje na izlaznu osovinu biće proporcionalan razlici između željene ugaone brzine projektila i stvarne ugaone brzine oko dotične osovine. Kako tečnost ima funkciju integriranja momenta, elemenat može biti smatrana kao kom-

binacija mernog instrumenta za merenje ugaone greške i integratora u kaskadi.

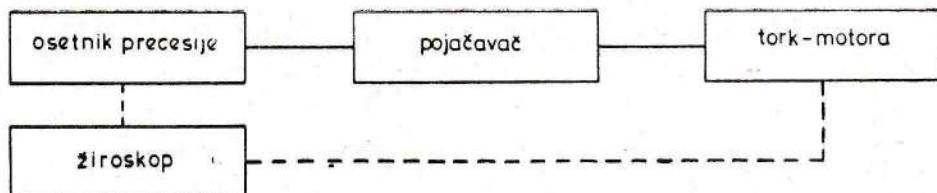
Žiroskopi sa vazdušnim ležajima. Druga metoda, pomoću koje nekontrolisana greška žiroskopa nastala usled trenja u ležajima može znatno da se umanji, je upotreba vazdušnih ležaja. Zahvaljujući primeni ove vrste ležaja, trenje se svodi na jedan toliko zanemarljiv stepen da se može smatrati kao komponenta nulte veličine. Vazdušni ležaji rade na istom principu kao vakuumski uređaji za čišćenje u kojima jedna velika gumeni lopta lebdi na koničnoj vazdušnoj struji. Osnovni princip žiroskopa sa vazdušnim ležajima prikazan je na slici 225.

Iako dosta usavršeni, vazdušni ležaji dali su jedan neželjeni autorotacioni ili turbinski momenat prouzrokovani nesimetrijom vazdušnog toka i Fukovim strujama. Usavršavanje konstrukcije ležaja bez sumnje će eliminisati ove nedostatke. Početni uspesi u ovom pravcu pokazali su da su u žiro-stabilizaciji moguća stotstruka poboljšanja.

ŽIROSKOPI — SRCE RAKETNOG SISTEMA UPRAVLJANJA

Žiroskopski sistem je srce raketnog sistema upravljanja. Funkcija žiroskopskog sistema je da postavlja zahtev za pokretanjem upravljanja letelice, kako bi se projektil održao na određenom položaju.

Zahtevi u pogledu tačnosti žiroskopa sistema upravljanja nisu tako rigorozni kao za žiroskope sistema vođenja. Žiroskopi proizvedeni u toku II svetskog rata još se upotrebljavaju u sistemima upravljanja mnogih projektila. Na prvi pogled ne može se jasno videti zašto žiroskop za merenje pomeranja, koji se upotrebljava u autopilotu projektila, ne mora da bude tako



Sl. 226 — Sistem za vertikalno uspravljanje žiroskopa

tačan kao žiroskop koji se upotrebljava u sistemu vođenja projektila. Ipak, dublja analiza otkriva da su primjenjeni sasvim različiti principi. Žiroskop za vođenje mora da daje tačnu referencu projektila, u odnosu na njenu željenu putanju na zemlji, a u žiroskopu za merenje pomeranja instrument mora davati referencu raketnom kontrolnom sistemu, samo u odnosu na njegov položaj u letu.

Žiroskop za merenje vertikalnog pomeranja može biti opremljen sistemom za uspravljanje, da bi se održao u relativno ravnom položaju. Sistem za uspravljanje mora biti u mogućnosti da održi žiroskop za merenje pomeranja u dozvoljenim granicama, potrebnim za reference položaja leta.

KOLA ZA USPRAVLJANJE I OPSLUŽIVANJE ŽIROSKOPA

Žiroskopi za merenje pomeranja se kontrolisu ili čuvaju uspravni pomoću sistema za uspravljanje i opsluživanje, ili samo pomoću sistema za opsluživanje. Vertikalni žiroskopi se

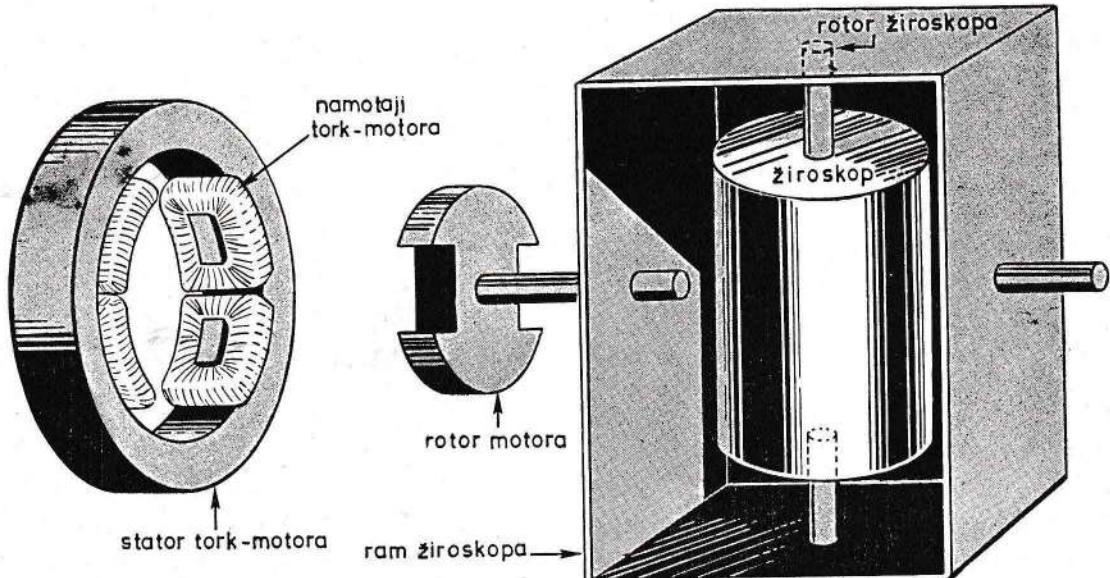
kontrolisu pomoću sistema za uspravljanje, dok se horizontalni žiroskopi kontrolisu pomoću sistema za opsluživanje i pomoću sistema za uspravljanje ili nivelišanje.

VERTIKALNO USPRAVLJANJE ŽIROSKOPA

Vertikalni žiroskop se upotrebljava za stabilizaciju projektila oko ose propinjanja ili valjanja. Dva tork-motora održavaju uspravnom žiroskopsku osu u obe ravni (blok-dijagram sistema za uspravno održavanje vertikalnog žiroskopa prikazan je na slici 226).

Davač žiro-precesije može biti mački od velikog broja tipova. Da bi se to objasnilo, detaljno je obrađen sistem klatna koji je prikazan na slici 228.

Četiri sekundarna namotaja spojena su u parove, a svaki namotaj u jednom paru je suprotne faze. Parovi su postavljeni u podnožju gvozdenog tega klatna koji deluje kao magnetska sprega između primarnog namotaja i četiri sekundarna namotaja. Kada je osovina žiroskopa vertikalna, sprega je na svakom paru sekun-



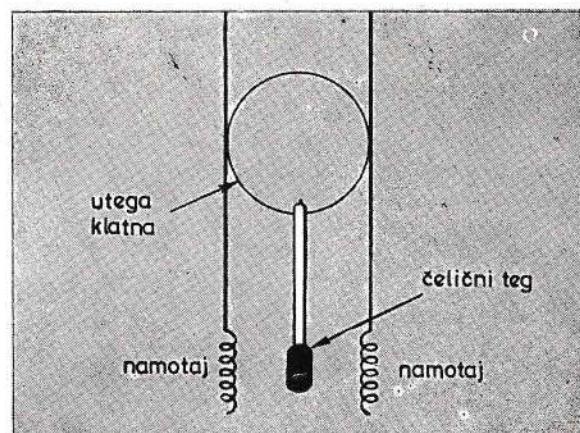
Sl. 227 — Sklop žiroskopa i tork-motora

darnih namotaja jednaka, ali pošto su namotaji svakog para fazno suprotni (u opoziciji), izlazni signal je ravan nuli.

Namotaji ovog uređaja, sličnog transformatoru, urezani su u rotor žiroskopa, a teg klatna je obešen da pada na osovinu rotora. Zato, kada osovina rotora žiroskopa skrene od vertikale, teg klatna poveća spregu u namotaju jednoga para i smanji spregu u drugom paru. Amplituda tako dobijenog signala određena je veličinom precesije žiroskopa. Signal koji se može pojaviti kroz jedan ili oba para sekundarnih namotaja potom se pojačava i šalje na odgovarajući tork-motor, koji daje silu kojoj se žiroskopska osa obrtanja precesira natrag u vertikalni položaj. Teg klatna prigušen je u tečnosti da bi se sprečile suviše velike oscilacije.

Pojačavač za uspravljanje je običan pojačavač, koji je sposoban da pojača signal precesije do napona dovoljno velikog da bi se upravljao tork-motor.

Tork-motor je obično dvofazni kavezni tip indukcionog motora. Neki sistemi za uspravljanje mogu da sadrže integratorsku spregu u cilju korekcije dinamičke neuravnoteženosti žiroskopa (blok-dijagram takvog sistema prikazan je na slici 229). Davač precesije šalje signal do pojačavača za uspravljanje, koji ga pojačava na napon dovoljno velik za pogon žiroskopskog tork-motora. Pojačavač za integriranje takođe prima signal sa davača precesije, a njegov izlaz se vodi na motor koji pomera klizač potencimetra preko velike redukcije. Prema tome, za slučajne male greške, izlaz iz potenciometra biće vrlo mali; ali za konstantnu grešku, koja se može pojaviti ako je žiroskop dinamički neizbalansiran, potenciometar se pomera dovoljno dugo za potpunu kompenzaciju neizbalansiranosti žiroskopa. Izlaz iz potenciometra vraća se natrag u pojačavač za uspravljanje i pojavljuje se kao konstantan signal na tork-motoru žiroskopa.

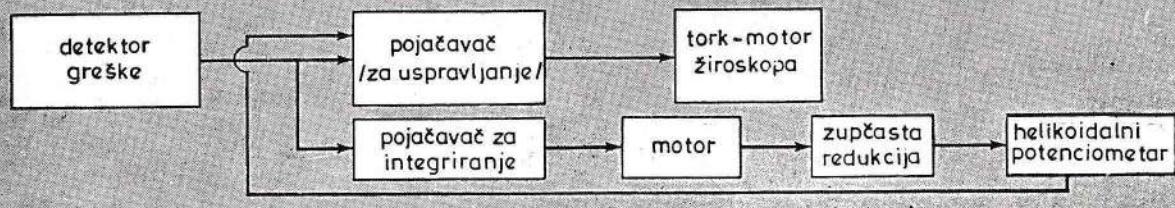


Sl. 228 — Davač precesije žiroskopa

SISTEMI ZA OPSLUŽIVANJE I USPRAVLJANJE ŽIROSKOPA

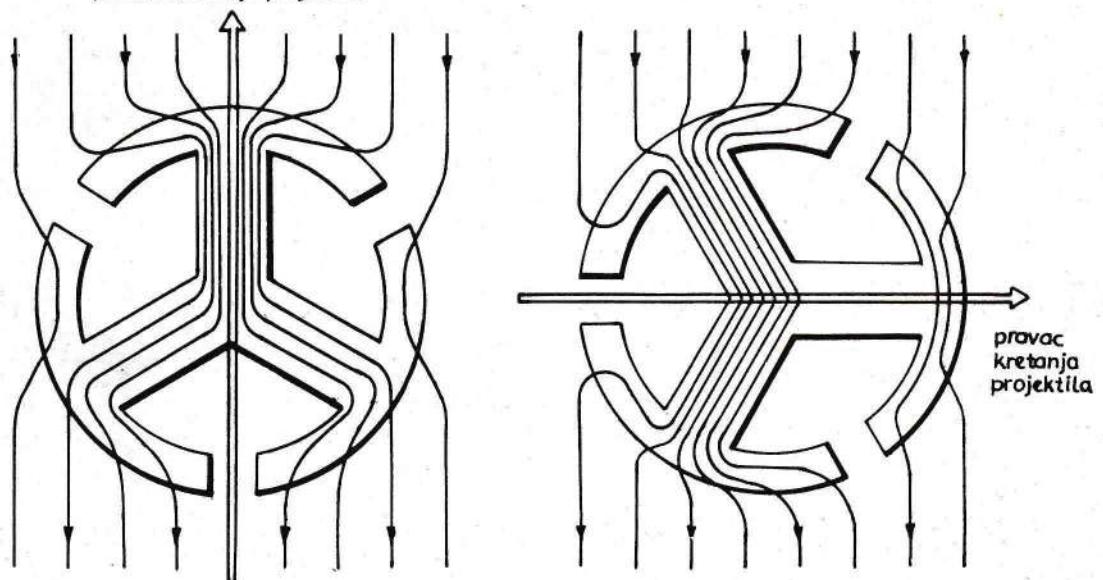
Sistem za nivisanje i sistem za opsluživanje primjenjeni su kod horizontalnog žiroskopa. Sistem za nivisanje služi za održavanje žiroskopa i horizontalnom položaju, dok sistem za opsluživanje omogućuje žiroskopu da dâ indikacije pravca.

Najpoznatija referenca za rad horizontalnog žiroskopa je magnetsko polje zemlje. Ona se postiže pomoću fluksne cevi, koja je elemenat za osećanje pravca zemljinog magnetskog polja. Sastoji se od primarnog namotaja i tri sekundarna namotaja koji su namotani na metalnom jezgru. Snaga za pobuđivanje primarnog namotaja i signali pobuđeni u sekundarnim namotajima vode se kroz izvode, koji su smešteni ispod kompenzatora koji služi kao poklopac. Fluksna cev obešena je o klatno na univerzalnom zglobu pomoću kuglica i toliko je teška da u granicama kontinualno odgovara ubrzaju. Da bi se sprečila suviše velika njihanja u letu, kuglica je ispunjena fluidom za prigušivanje.



Sl. 229 — Sistem za uspravljanje žiroskopa sa integratorom

pravac kretanja projektila



Sl. 230 — Promene fluksa u fluksnoj cevi sa promenom pravca kretanja

Osnov fluksne cevi je zvezdasto jezgro napravljeno od lamelisanog metala visokog permabiliteta. Jezgro liči na točak sa tri paoka, rasečen na obodu između paoka. Valja obratiti pažnju na sliku 230. Glavčina jezgra je proširena da bi primila jezgro oko koga je namotan primarni (pobudivački) namotaj. Namotaj se pobuđuje iz izvora 23 volta 400 Hz. Svaki krak paoka omotan je davačkim (sekundarnim) namotajem i završava se metalnim lukom koji služi kao kolektor fluksa.

Fluksna cev radi na sledeći način: kada raste pozitivna poluperioda pobudne struje, ona uspostavlja magnetsko polje, koje otkloni zemljin magnetizam iz paoka. Otklonjeni fluks seče namotaje davača na svakom paoku indukujući struju u njima. Kada pozitivna poluperioda pobudivačke struje opada, zemljin fluks, usled većeg permabiliteta paoka u poređenju sa okolinim vazduhom, ponovo ulazi u pauke, opet seče namotaje davača i indukuje struju ali suprotnog polariteta. Prema tome, jedna poluperioda naizmenične struje proizvodi punu periodu indukovane struje. Negativna poluperioda pobudivačke naizmenične struje proizvodi istu akciju kao i pozitivna poluperioda. Kako pobudivačka struja ima učestanost od 400 Hz, indukovana struja ima udvostručenu učestanost tj. 800 Hz.

Veličina indukovane struje u namotajima davača varira prema broju magnetskih linija koje seku namotaj. Broj magnetskih linija koje

presecaju namotaje varira prema položaju pojedinog paoka u odnosu na magnetski pol (magnetski sever). Prema tome, svaki davački namotaj proizvodi napon određene veličine, koji se šalje na odgovarajuće »Y« namotaje selsina fluksne cevi za korekciju žiroskopa po pravcu. Veličina poslatog signala zavisna je od položaja davačkog namotaja u odnosu na magnetski meridijan. Ovaj prenos stvara magnetski vektor. Vektor varira po svom položaju u odnosu na stator u istom odnosu kao što i paoci fluksne cevi menjaju položaj u odnosu na linije zemljiniog magnetizma. Rotor selsina fluksne cevi, ako je postavljen pod pravim uglom na ovaj vektor, ne daje nikakav napon. Takav beznaponski položaj smatra se kao poklapanje rotora sa vektorom.

Kompenzator ometa konstantne distorzije koje vode poreklo od magnetskih delova letelice i električnih aparatura postavljenih u blizini fluksne cevi. Kompenzator je kompaktna jedinica sa četiri stalna magneta koji se suprotstavljaju silama koje teže da ga otklone iz njegovog položaja. Magneti se okreću pomoću dve rezane osovine. Kada je kompenzator priključen davaču (fluksnoj cevi), osovine su potpuno saglašene. Jedna osovina ima utisnut žig »NS« (sever-jug) a druga »EW« (istok-zapad). Ako su tačke na osovinama poravnate s onima na poklopcu kompenzatora, magneti su u neutralnom položaju.

ŽIROSKOPSKA KONTROLA PRAVCA TIPO S-1

Žiroskopska kontrola pravca tipa S-1 sadrži električni žiroskop. Osovina obrtanja žiroskopa ne podudara se samo sa tangentom površine zemlje, nego je takođe uskladena sa zemljinim magnetskim poljem, u cilju davanja osnovne magnetske reference prema kojoj može biti određen magnetski kurs projektila.

Ram koji je montiran na izlivenu osnovu nosi većinu unutrašnjih elemenata. Poklopac, koji je providan da bi omogućio očitavanje skale kompara, pokriva sve unutrašnje elemente a pričvršćen je za osnovu.

Tork-motor za nivелisanje je dvofazni indukcion tip i ima vertikalnu momentnu osovinu. Motor se sastoji od statora pričvršćenog na vrhu vertikalnog prstena i kavezogn rotora pričvršćenog na ram. Ukoliko osa okretanja žiroskopa nije u horizontalnom položaju davač-libela sa tečnošću uključuje motor, koji vraća osu okretanja žiroskopa u horizontalni položaj.

Tork-motor za opsluživanje sličan je dvo-faznom indukcionom tipu motora. Ima horizontalnu momentnu osovinu i sastoji se od statora montiranog na kućištu žiroskopa i kavezogn rotora pričvršćenog na stranu vertikalnog prstena. Pogoni se pomoću napona koji je pojačan i fazno detektovan koji poravnava žiroskop i magnetske linije detektovane pomoću fluksne cevi. Napon se stvara u rotoru selsina fluksne cevi žiroskopske kontrole pravca.

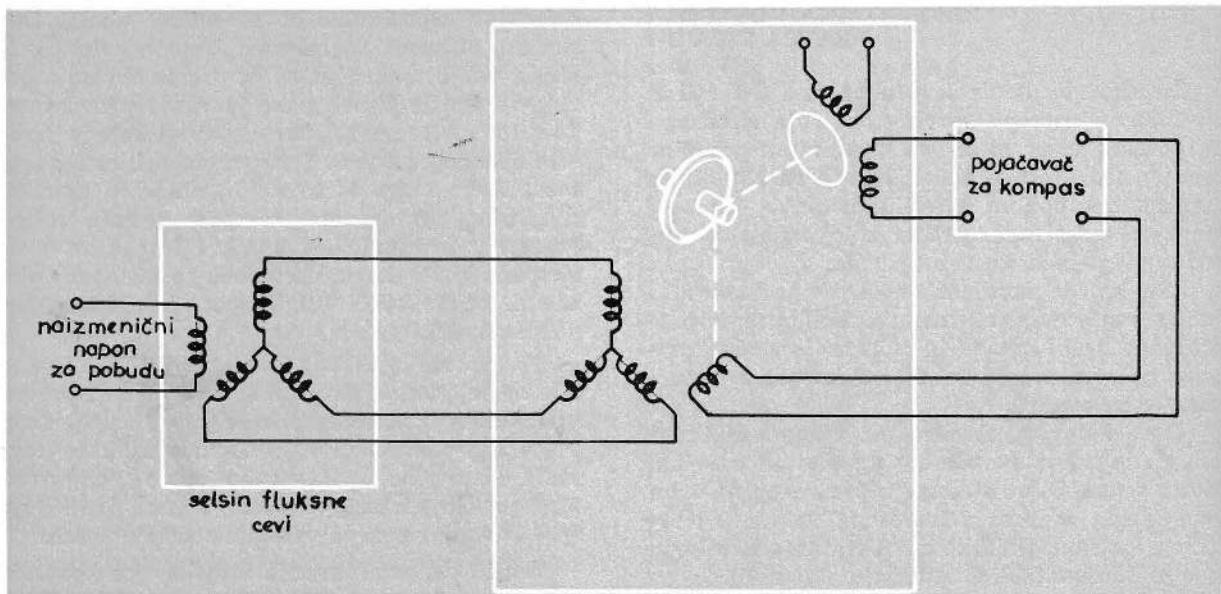
Rotor selsina fluksne cevi žiroskopske kontrole pravca fiksiran je za donji stožer vertikalnog prstena i okreće se (relativno) u odnosu na stator koji je pričvršćen za ram elementa. Kada se pobude relei za stavljanje sistema u pogon, davač trenutno uspostavi magnetski vektor u statoru selsina fluksne cevi. Ovaj magnetski vektor je rezultanta silnica zemljinog magnetizma koje su detektovane u tri predajnika na paocima. Rotor selsina fluksne cevi, koji je pričvršćen za vertikalni prsten ili spoljni ram žiroskopa, ne može biti poravnat sa tim vektorom. Svaka nesaglašenost između rotora i vektora sama po sebi je faktor korekcije, koji je u ovim uslovima napon, i biće kontinualno generisan u rotoru. Ovaj napon, posle pojačanja i faznog detektovanja, pogoni tork-motor za opsluživanje dok se ne postigne potpuna saglašenost između rotora selsina i vektora. Žiroskop obrće vertikalni prsten, pošto on odgovara sili precesije tork-motora. Ovo obrtanje dovodi rotor selsina fluksne cevi u saglašenost sa vektorom, zauzavljajući generisanje napona u rotoru, a samim tim i dejstvo tork-motora. Ako bi osovina žiroskopa tokom leta imala drift po

azimutu, uspostavila bi se slična akcija. Suprotno, efikasna saglašenost između rotora selsina i vektora održava se za vreme obrtanja pri rotaciji kutije žiroskopske kontrole pravca, sa fiksnim statorom selsina oko vertikalnog žiro-stabilisanog prstena i njegovog selsinskog rotora. Kako magnetski vektor, obeležen pomoću daljinskog predajnika kompara, ostaje nepokretan u prostoru, predajnik i kutija za žiroskopsku kontrolu pravca obrću se efektivno oko njega, održavajući saglasnost između rotora selsina i vektora.

Za vreme njihovog obrtanja, centrifugalne sile nastoje da skrenu fluksnu cev klatna prema vertikalnoj komponenti zemljinog magnetskog polja i prema tome daju signalu fluksne cevi malu distorziju. Ipak, usled sporog odgovora žiroskopske precesije na ovaj signal, indikacija (pokazivanje) pravca efektivno ostaje tačna.

Selsin za usmeravanje žiroskopske kontrole pravca smešten je vertikalno pored selsina fluksne cevi, a njihovi rotori su učvršćeni na isti stožer vertikalnog prstena. Stator selsina za usmeravanje priključen je ramu iznad selsinskog statora fluksne cevi. Rotori ili statori oba selsina kreću se jednovremeno, zavisno od toga da li rotaciju proizvodi vertikalni prsten ili kutija (kućište). Rotor selsina za usmeravanje pobudovan je iz izvora napajanja od 115 V, 400 Hz da bi proizveo magnetsko polje koje indukuje napon u namotajima statora spojenim u »Y«.

Kada projektil skreće u ma kom pravcu, fluksna cev, pošto je spojena sa projektilom, skreće sa njim. Kada skreće fluksna cev, skreću i njeni paoci i namotaji i neprekidno menjaju položaj i odnos prema magnetskom meridijanu. Usled promene toga odnosa, zemljin fluks u različitim količinama preseca svaki paok. Sledstveno tome, veličina indukovanih napona u svakom davačkom namotaju na paoku neprekidno varira. Isto tako on varira i u »Y« (u zvezdi) spojenim namotajima statora selsina fluksne cevi u žiroskopskoj kontroli pravca. Prema tome, novi vektori se formiraju neprekidno, kako u predajniku tako i u statorskom namotaju selsina fluksne cevi, koji se u stvari okreće relativno u odnosu na ove namotaje, kao kada bi se kazaljka kretala preko neke skale. Ipak, kutija žiroskopske kontrole pravca, na koju je pričvršćen stator selsina, takođe se obrće sa projektilom, i ugaono pomera stator. Zato ovi magnetski vektori, mada se obrću u odnosu na namotaje statora, konstantno ostaju saglašeni sa rotatom selsina fluksne cevi koji je pomoću žiroskopa čvrsto fiksiran u jedan položaj. Pod takvim uslovima, nesaglašenost se može pojavit jedino ako dođe do drifta žiroskopa.



Sl. 231 — Principijelni dijagram sistema za opsluživanje I-2

Upotrebljeni pojačavači obavljaju dve funkcije: pojačavaju signal rotora selsina fluksne cevi u žiroskopskoj kontroli pravca i detektuju fazu signala, pa prema tome kontrolišu smer i veličinu momenta u tork-motoru za opsluživanje.

VISINOMERI — ELEMENTI ZA MERENJE VISINE

Instrumenti koji se upotrebljavaju za merenje visine zovu se visinomeri. Dva glavna tipa visinomera su *visinomeri na pritisak*, koji daju približno tačnu visinu iz koje se može izračunati još tačnije vrednost, i *apsolutni visinomeri* ili *radio-visinomeri*, koji direktno daju absolutnu visinu.

Visina se odnosi na visinu letelice u vazduhu, a definisana je kao vertikalno odstojanje iznad neke tačke ili ravni, koja se upotrebljava kao referenca. Znači da može biti onoliko mnogo različitih visina koliko ima referentnih ravnih u odnosu na koje se visina meri.

VISINOMER NA PRITISAK

Visinomer na pritisak je obični aneroidni barometar, koji registruje atmosferski pritisak na kalibrисаној skali obeležеној u vrednostima visine umesto u santimetrima živinog stuba. Sastoji se od male hermetizovane komore iz koje je odstranjen vazduh. Pritisak ili težina spoljnog vazduha teži da sabije komoru, ali se

ovakvoj tendenciji odupire opruga. Kada se poveća atmosferski pritisak, komora se sabije; kada atmosferski pritisak opadne, komora se pod dejstvom opruge opet raširi. Ovo lagano kretanje povećava se mehanički i registruje u vrednosti visine koja bi proizvela odgovarajuću promenu pritiska pod standardnim uslovima.

Visinomer na pritisak, iako je kalibrisan u metrima, stvarno meri atmosferski pritisak na visini leta i prikazuje ovu vrednost u metrima iznad određenog nivoa pritiska. Ako je pritisak bio konstantan za neki nivo visine, visinomer može da bude konstruisan tako da pokazuje stvarnu visinu koja odgovara nekom pritisku. Ali kako pritisak ne ostaje sasvim konstantan na ma kojoj visini, visinomer ne može direktno davati tačnu visinu.

Kompromisno, visinomer je konstruisan tako da pokazuje promene visine kada pritisak varira prema nekoj proizvoljnoj meri. Ova proizvoljna mera zove se standarni pritisak. Za ma koju promenu pritiska visinomer pokazuje odgovarajuću promenu visine u odnosu na standardni pritisak.

Visinomer na pritisak konstruisan je za merenje visine od 28.000 do 31.000 palaca (710 do 790 m/m) živinog stuba, iznad ma kojeg nivoa pritiska. Ma koji pritisak pokazan na skali visinomera predstavlja nivo pritiska u odnosu na koji visinomer meri standardnu visinu.

Za dobru navigaciju ili bombardovanje tačni apsolutni visinomer je važna potreba. Apsolutna visina može da se izračuna iz očitavanja visi-

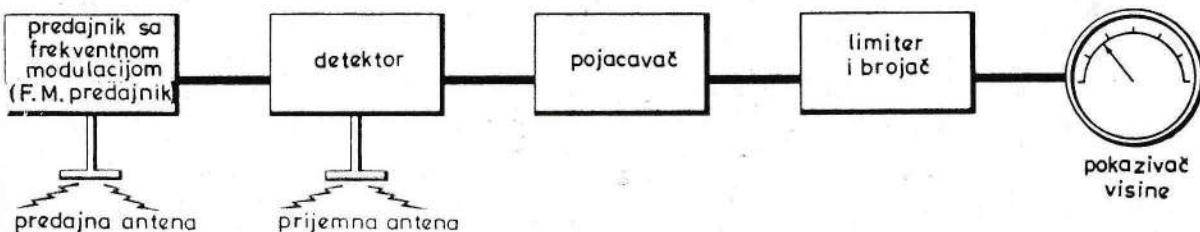
nomera na pritisak, ali rezultati su često nepoznati. Usled promena atmosferskih uslova, korekcije koje se primenjuju da bi se dobila tačna visina samo su približne. Pored toga, svaka greška učinjena u određivanju visine terena daje odgovarajuću grešku u apsolutnoj visini. Takva greška u apsolutnoj visini daje nezadovoljavajuću putnu brzinu za određivanje puta na malim visinama.

Visinomer čelijskog tipa. Ovakav visinomer je, u stvari električni barometar za određivanje visine. Visinomer detektuje promene visine i pretvara ovaj podatak u električni signal. Element se sastoji od namotaja fine platinske žice, grejane električnom strujom i smeštene u jednu probušenu obvojnici. Otvor je uvek spojen sa nekom statičkom linijom (nivoom) pritiska. Kada se menja visina ili statički pritisak, menjaju se takođe uslov pod kojim namotaj ispušta svoju toplotu, a menjaju se i temperatura i otpor namotaja. Ova karakteristika iskorisćena je na taj način što je namotaj spojen u jednu granu »Vistonovog mosta«. Kao što je prikazano na slici 232, obično se postavljaju dve čelije u mostu. Da bi se sprečila temperaturna promena okoline, jedna čelija je otvorena a druga hermetizovana. Izlazni signal iz mosta proporcionalan je jedino promeni pritiska, pošto se obe čelije menjaju sa temperaturom, a samo jedna sa pritiskom.

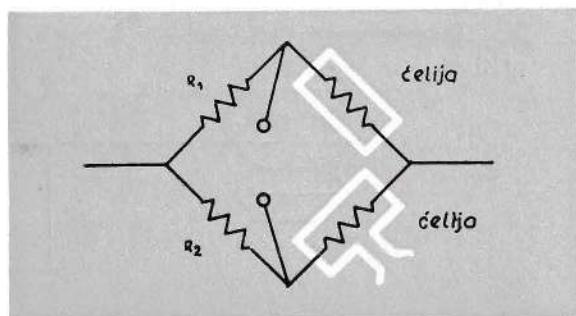
Visinomer čelijskog tipa meri visine do 150 km. Široki opseg daje mu prednost u odnosu na mehanički aneroid. Druga prednost ovog visinomera u odnosu na mehanički aneroid je u tome što je jedan elemenat, koji se sastoji iz dve čelije, sasvim kompaktan, visina jedne individualne čelije iznosi samo 4 cm.

RADIO-VISINOMER

Mnogi tipovi aviona imaju radio-visinomer sa frekventnom modulacijom. Ovi visinomeri mogu biti upotrebljavani za automatsko održavanje projektila na određenoj visini. U velikim projektilima takođe se može upotrebiti radio-visinomer kao blizinski upaljač.



Sl. 233 — F-M radio merač visine

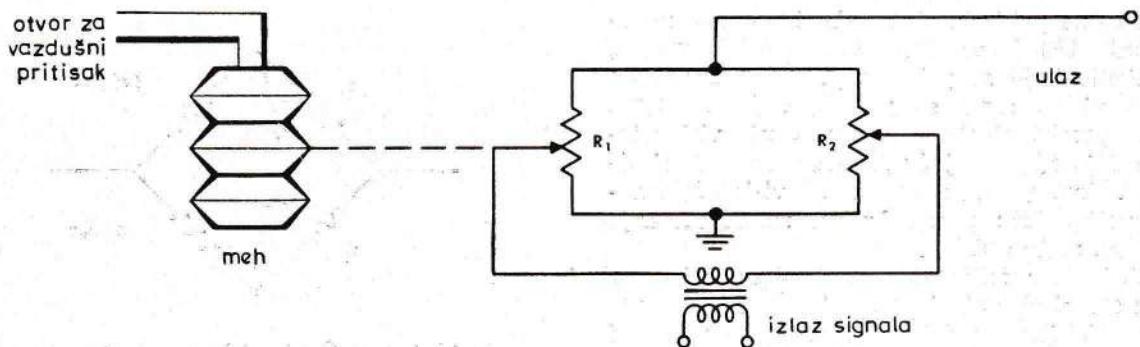


Sl. 232 — Čelije visinomera u mostu

U radio-visinomeru sa frekventnom modulacijom predajnik odašilje prema zemlji talas koji je frekventno modulisan pomoću simetričnog triangularno modulisanog napona. Reflektovana energija prima se u odvojenoj anteni i kombinuje sa energijom koja se direktno uzima iz predajnika generatora. Generiše se razlika u učestanosti, koja zavisi od karakteristika visinomera i visine letelice.

Razlika učestanosti se pojačava, a rezultirajući naizmenični napon se zasićuje i vodi u brojač. Anodna struja brojača je proporcionalna visini, a ampermetar u strujnom kolu služi kao indikator visine. Uprošćeni blok-dijagram radio-visinomera sa frekventnom modulacijom prikazan je na slici 233.

U nekim radio-visinomerima indikator visine je katodna cev. Na ekranu katodne cevi, nula ili referentni impuls se proizvodi pomoću emitovanog (otposlatog) radio-talasa, a drugi, reflektovani impuls se proizvodi uz pomoć reflektovanog radio-talasa. Povećanjem visine povećava se i vreme putovanja, što se odražava u povećanju odstojanja između dva impulsa razmeštena (prikazana) na ekranu katodne cevi. Prema tome, na ekranu katodne cevi moguće je konstruisati proporcionalnu skalu koja će indicirati visinu kao relativno odstojanje između dva impulsa.



Sl. 234 — Prenosnik brzine vazduha sa električnim mostom

PRETVARAČI — MERNI ELEMENTI ZA ODREDIVANJE PROMENA BRZINE VAZDUHA I VISINE

Webster je definisao pretvarač kao »uređaj, koji pogonjen snagom jednog sistema daje snagu, u istoj ili nekoj drugoj formi, drugom sistemu«. U većini primena u projektilima, pretvarač je upotrebljen da promeni mehaničko dejstvo, koje izaziva promene pritiska, u referentni napon, koji je proporcionalan mehaničkoj promeni. Ovo dejstvo nastaje spajanjem mehaničkog dejstva na klizač linearног potenciometra. U oblasti projektila pretvarač se često upotrebljava kao krajnji instrument u telemetarskim sistemima. Pretvarači su komponente koje se upotrebljavaju da bi se pretvorile promene brzine vazduha i promene visine u električne signale.

PRETVARAČI ZA MERENJE BRZINE VAZDUHA

Kolo za merenje brzine vazduha upotrebljava se za održavanje konstantne određene brzine vazduha kod projektila. Promene u brzini vazduha mogu se ostvariti izmenom položaja regulatora brzine ili izmenom položaja propinjanja projektila. Pretvarač brzine vazduha može se sastojati od grupe aneroidnih komora, mehanički priključenih na klizač linearног potenciometra, ili grupe aneroidnih komora koje

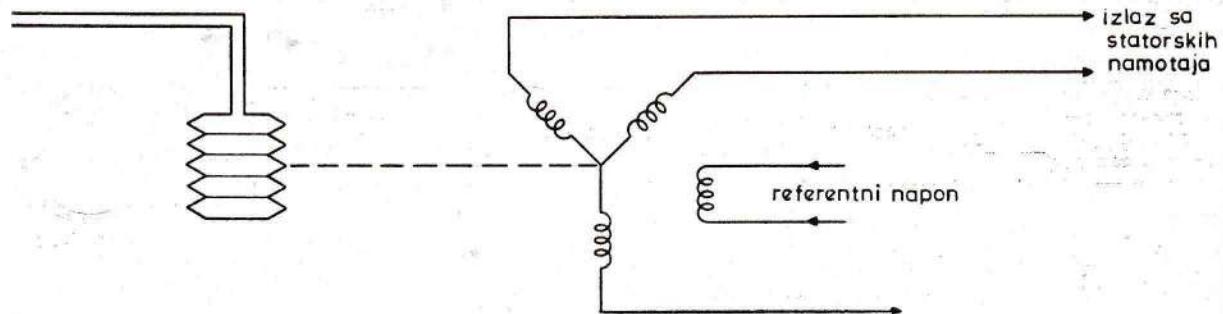
su mehanički priključene na rotor ili stator selsina. Ove komore stavljuju se u dejstvo pomoću promene vazdušnog pritiska. Zato, kada se menja brzina vazduha, aneroidne komore se šire ili sabijaju prouzrokujući promene u položaju klizača potenciometra, odnosno rotora ili statora selsina. Za potenciometarski tip pretvarača za brzinu vazduha obično se upotrebljava kolo u obliku mosta, kao što je prikazano na slici 234.

Klizač potenciometra R_1 vezan je za komore i menja svoj položaj na potenciometru kad god se pojave promene u vazdušnom pritisku. Klizač potenciometra R_2 podešen je na potenciometru tako da most bude balansiran na referentnu brzinu vazduha koja se želi.

Pre nego što se projektil lansira obavi se balansiranje mosta nanošenjem pritiska vazduha koji je ekvivalentan pritisku vazduha referentne brzine. U toj tački učvrsti se klizač na potenciometru R_2 pomoću zavrtnjeva ili sličnih uređaja.

Slika 235 prikazuje selsinski tip pretvarača za brzinu vazduha. Stator selsina mehanički je spojen na takav način da širenje ili sabijanje aneroidnih komora prouzrokuje obrtanje statora selsina.

Kada jedanput merni element odredi promenu visine projektila, dobijeni podatak se pretvara u upotrebljivi oblik. Za te svrhe služe davači.



Sl. 235 — Selsin kao prenosnik brzine vazduha

DAVAČI — UREĐAJI ZA PRETVARANJE PODATAKA SA MERNIH ELEMENATA U KORISTAN OBLIK

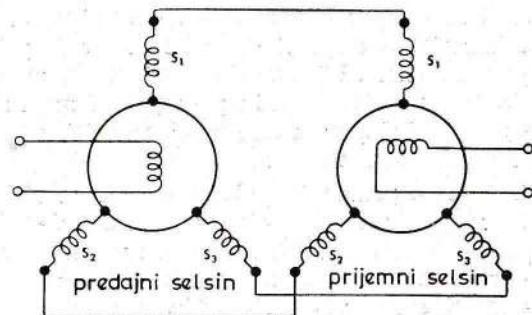
Davač je uređaj koji na osnovu podatka mernog elementa proizvodi signal odgovarajućeg oblika. Ovi signali moraju da zadovolje specijalne zahteve servosprege u kojoj se upotrebljavaju (kao faza, amplituda, efekat opterećenja itd.).

Merni uređaji, podesni za kontrolu položaja projektila, obično koriste ugaono ili linearno pomeranje koje je proporcionalno merenoj veličini ili razlici između iznosa merene veličine i nekog željenog iznosa potrebnog za rad. Fizičke dimenzije pomeranja mogu varirati. Svaka promena zahteva različite vrste davača koji mogu da ispunе različite potrebe servosprega.

Davač najpre mora imati izlazno čulo. To znači on mora da bude sposoban da razlikuje pravac pomeranja i da proizvede signal koji je u mogućnosti da pokaže taj pravac. U električnim davačima to se često čini upotrebom razlike u fazi ili polaritetu. Idealan davač treba da ima maksimalan izlaz za minimalno kretanje davača i mora da ima linearan izlaz. Takođe mora imati minimalan momenat ili gubitke usled trenja koji bi se reflektovali natrag na merni elemenat.

Dalji zahtevi koji se postavljaju davačima, da bi se mogli upotrebiti u projektilima, jesu male dimenzije i male težine. Davači takođe moraju imati fini opseg u blizini nule, a električni davači ne smiju imati ni fazni pomak usled promena položaja.

U sistemu za upravljanje projektilom upotrebljavan je ceo niz davača, ili se je s njima eksperimentisalo. Većina od njih su električni. Neki pneumatski uređaji takođe su bili upotrebljavani u sistemima u kojima je bilo poželjno



Sl. 236 — Sprega selsina

da se električna komponenta svede na minimum, ali se nisu pokazali potpuno zadovoljavajući, pa se ovde ne tretiraju.

Od električnih davača koji su u upotrebi najčešće se sreću sledeći:

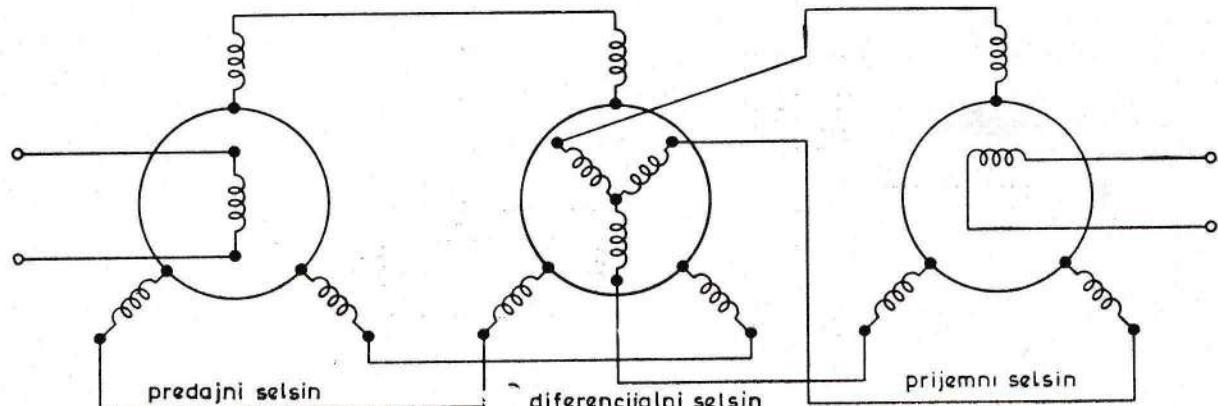
- a. Selsin
- b. Potenciometar
- c. Induktivni davač
- d. Kapacitativni davač

Svaki od ovih davača preporučljiv je za specifične primene u kojima su specijalno potrebne njihove karakteristike.

SELSINSKI DAVAČ

Selsinski davač takođe se zove sinhroelement (autosinhro, mikrosinhro itd.). Obično se sastoji od para selsina motanih kao predajni selsin i prijemni selsin. Oni daju tačnu električnu identifikaciju ugaonog kretanja, mogu da se naprave da budu mali i laki, da imaju konstantnu fazu pri varijaciji pomeranja, ali nemaju dovoljno osetljivosti za minijaturne ugaone varijacije.

U slikama 236 i 237 data su dva osnovna sistema selsinskih davača. Kada su predajni



Sl. 237 — Sprega selsina

selsin i prijemni selsin direktno spojeni, formiraju kompletan davački sistem. Kao što je prikazano na slici 237, diferencijalni selsin može da bude postavljen između predajnog i prijemnog selsina. Primena diferencijalnog selsina kasnije je detaljno opisana.

Obe šeme prikazuju položaj električne nule. Kod prijemnog selsina električna nula definisana je kao položaj rotora u kome namotaji statora ne indukuju napon u namotaju rotora. Ovakva situacija nastupiće kada je osovina rotorskog namotaja upravna na osovinu statorskog namotaja S_1 .

Način rada prijemnog selsina. Prijemni selsin i predajni selsin spojeni su u takav položaj da daju električnu nulu. Treba uočiti relativni položaj između dva rotora na slici 236. Nikakav se napon ne indukuje u namotaju rotora od namotaja S_1 , jer su rotor i namotaj upravni jedan na drugog. Struje u namotajima S_1 i S_2 su jednakе i suprotne i zbog toga u rotoru ne mogu da nastanu indukovani naponi koji bi bili jednak i suprotni. U ovom položaju u rotoru se ne indukuje nikakav napon.

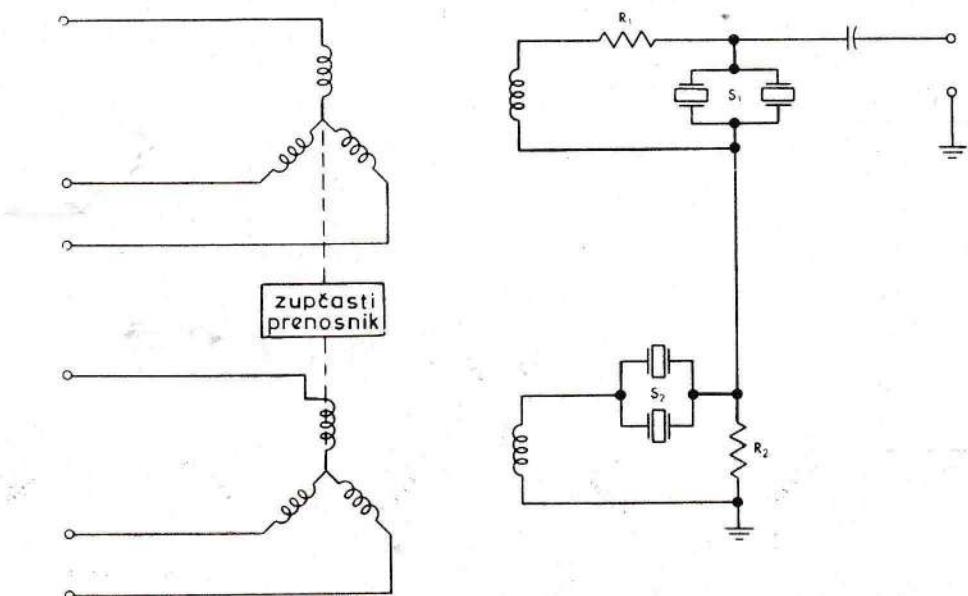
Kada se osovina prijemnog selsina okreće za 90 stepeni u pravcu kazaljke na časovniku ili suprotno od tog pravca, položaj namotaja S_1 i rotorskog namotaja je takav da se u rotoru prijemnog selsina indukuje maksimalan napon. Struje u namotajima S_2 i S_3 su jednakе i istog smera i zbog toga indukuju u rotoru napone koji su jednak i istog polariteta. Rezultat je da se u ovom položaju u rotoru indukuje mak-

simalan napon, a indukovani napon je ili u fazi, ili je pomeren za 180 stepeni u odnosu na napon koji postoji u rotoru predajnog selsina.

Izlazni napon koji daje rotor predajnog selsina zove se signal greške, zato što veličina i faza ovog napona pokazuju za koliko su i u kom pravcu dva rotora pomereni jedan u odnosu na drugog. Okretanjem rotora predajnog selsina tako da njegov položaj bude upravan na položaj rotora predajnog selsina signal greške se otklanja ili svodi na nulu. Ovaj položaj se понекad uzima kao nulti položaj. Običan sistem selsinskog davača nema oštro izražen nulti položaj, što znači da nije osetljiv na mala pomeranja. Iz tog razloga često se upotrebljava dvokanalni sistem da bi se povećala osetljivost davača.

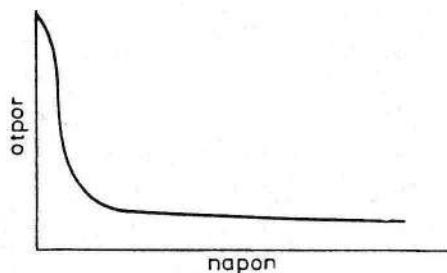
Dvokanalni selsinski sistem. U dvokanalском selsinskom sistemu brzi ili fini selsin mehanički je spojen sa sporim ili grubim selsinom preko redukcije broja obrtaja, kao što je prikazano na slici 238. Pomoću prikazanog sistema, signal greške može da bude skidan sa finog selsina, i to za mala ugaona pomeranja rotorskih osovina. Kada signal greške pređe neku određenu vrednost menja se položaj releja, pa se signal greške uzima sa rotora grubog selsina. Ovim je osetljivost povećana, jer fini selsin pokazuje osetnu ugaonu skretanja za mala skretanja grubog selsina.

Drugi tip dvokanalског selsinskog sistema ne zahteva nikakve prekidače ili releje između selsina u paru. U ovom sistemu primenjena je



Sl. 238 — Dvokanalni selsinski sistem

karakteristika selsinskog ispravljača da mu otpor raste sa padom napona. Kao što je prikazano na dijagramu na slici 239, otpor ispravljača je visok za niske napone i opada sa porastom napona.



Sl. 239 — Otpor u funkciji napona selenskog ispravljanja

Kada je ugaoni pomak rotora grubog selsina velik u odnosu na nulti položaj, signal greške grubog selsina je velik. Ovaj napon se podeli između selenskog ispravljača i otpornika. Pošto je napon greške velik, deo napona na selenskom ispravljaču je mali u poređenju sa delom napona na otporniku. Zato veći deo pada napona je na otporniku. Za ovo vreme izlaz iz finog selsina može da bude velik ili mali zato što se fini selsin obrne nekoliko puta za vreme jednog obrtaja grubog selsina. Izlaz iz finog selsina ograničen je selenskim ispravljačem S_1 i otpornikom R_1 na dva ili tri volta; izlazni napon za sledeće kolo je zbir napona na R_2 i S_1 . Sve dok je izlazni napon grubog selsina veći od dva ili tri volta, on je dominantan nad ukupnim izlaznim naponom iz servosistema. Kad se sistem približi nultom položaju, veći deo izlaznog napona iz grubog selsina padne na S_2 .

Kada se sistem nalazi na tri ili četiri stepena od nultog položaja, napon grubog selsina na otporu R_2 je tako mali da malo utiče na signal greške. Zbog toga se signal greške uglavnom sastoji i iz signala finog selsina.

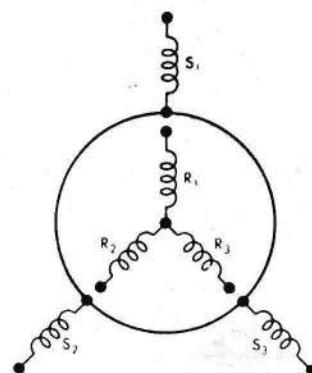
Diferencijalni selsin. Ovaj selsin električki obavlja istu funkciju koju mehanički diferencijal obavlja u mehaničkom sistemu. Diferencijal je mehanički sistem koji spaja tri osovine na taj način što se jedna osovina obrće za jedan iznos koji je jednak razlici iznosa sa kojima se obrću ostale dve osovine. Diferencijalni selsin oduzima dva ulaza, a prijemni selsin pokazuje razliku između njih. Dejstvo diferencijalnog selsina može da se okreće tako da se dva ulaza sabiraju pomoću prijemnog selsina.

Stator diferencijalnog selsina sličan je statoru običnog selsina. Sastoje se od tri namotaja spojena u zvezdu na međusobnom odstojanju od

120 stepeni oko unutrašnje strukture polja statora. S druge strane, rotor diferencijalnog selsina potpuno se razlikuje od rotora običnog selsina, što se vidi iz slike 240. Ovaj rotor je cilindričan i ima tri namotaja spojena u zvezdu, namotana u žlebove i postavljena po periferiji na međusobnom odstojanju od 120 stepeni. Tri klizna prstena spajaju veze rotora sa spoljnjim kolom kao i kod običnog selsina. U položaju električne nule, namotaji rotora R_1 , R_2 i R_3 okrenuti su tako da su poravnati sa namotajima S_1 , S_2 i S_3 prema oznakama indeksa.

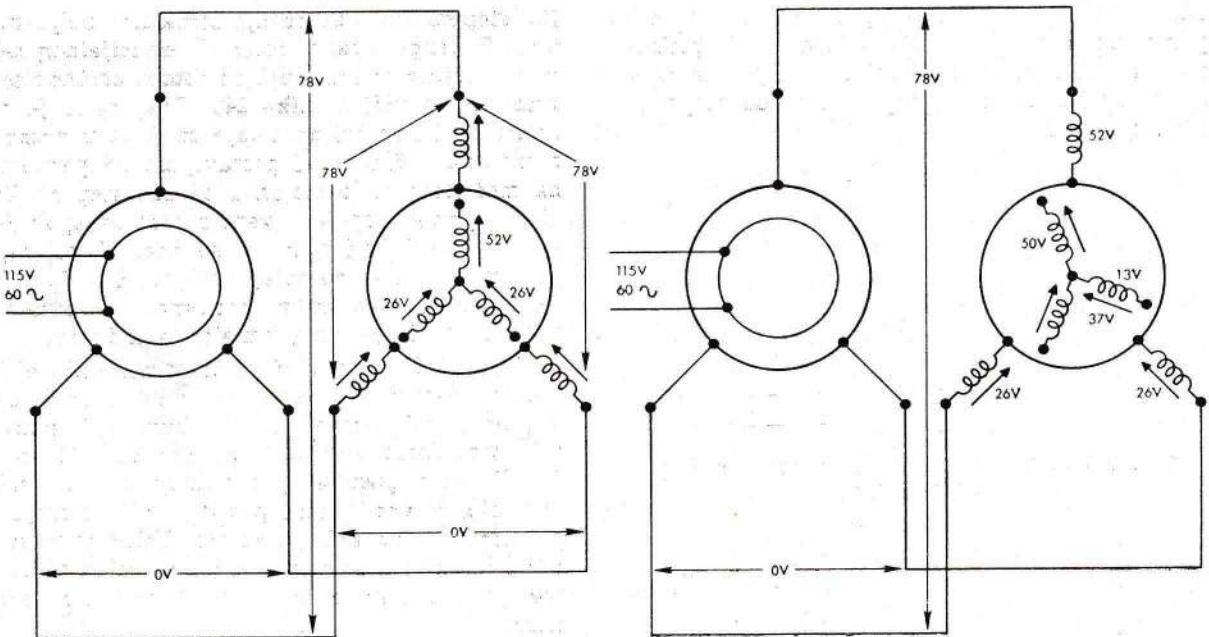
Kao i obični selsini, i diferencijalni selsin radi na principu transformatora. Stator deluje kao primarni, a rotor kao sekundarni namotaj transformatora sa prenosnim odnosom 1:1. Da bi se postigao prenosni odnos 1:1, usled gubitaka u vazdušnom procepu, više navojaka je namotano na kalemu rotora. Usled toga, stator diferencijalnog selsina uvek mora da se upotrebljava kao primarni a rotor kao sekundarni namotaj.

Transformatorsko dejstvo diferencijalnog selsina prikazano je na slici 241. Oba rotora su u položaju električne nule, statori su povezani kao što je prikazano, a rotor diferencijalnog selsina je otvoren. Pošto su statori međusobno paralelno spojeni, naponi u oba statora su jednaki i u fazi su. Statorski napon diferencijalnog selsina indukovane, preko transformatorskog dejstva, slične napone u svakom od namotaja rotora.



Sl. 240 — Diferencijalni selsin

Ako se rotor diferencijalnog selsina okreće za 15 stepeni, a rotor predajnog selsina ostane u prvobitnom položaju, naponi u statorima biće isti kao i ranije. Naponi indukovani u namotajima rotora diferencijalnog selsina biće manji usled toga što sada ceo fluks svakog namotaja statora ne seče odgovarajući namotaj rotora.



Sl. 241 — Transformatorsko dejstvo u diferencijalu

Diferencijalni selsin prima dva ulaza — jedan električni a drugi mehanički. On oduzima vrednost jednog ulaza od drugog i prenosi njihovu razliku.

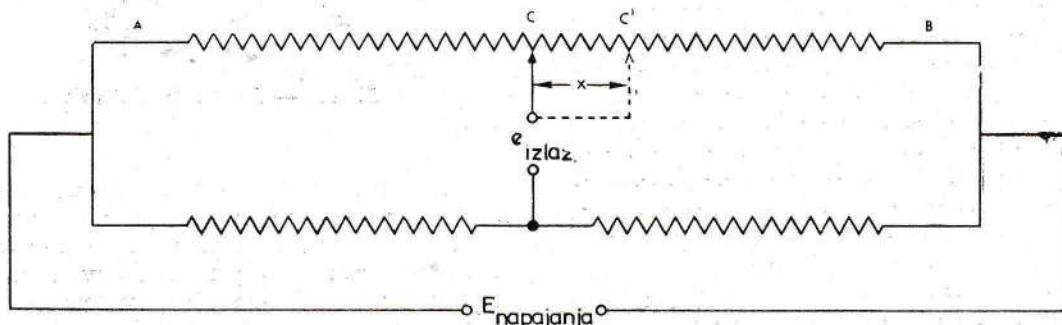
POTENCIOMETARSKI DAVAČI

Potenciometar je otpornik sa izvodom, kod kojeg se položaj izvoda može menjati pomoću neke vrste mehaničkog upravljanja. Standardni visokootporni potenciometri, koji se upotrebljavaju u kolima komunikacione tehnike, upotrebljavaju za potenciometre — otporne elemente koji se sastoje od tankog sloja uglja, koji je postavljen na neki izolujući materijal. Ovi elementi nisu praktični za upotrebu u servosistemima, jer se otpor kod otpornika sa ugljenim slojem menja tokom upotrebe, usled variranja

temperature i vlažnosti. Pošto se zahtevaju mnogo otpornije vrste, potenciometri koji se upotrebljavaju u servosistemima obično su otporni elementi napravljeni od većeg broja navojaka otporne žice.

Potenciometarski davač se lako fabrikuje i postavlja. Može biti postavljen u svaki položaj, a može dobro da radi i u mosnom tipu kontrolnog kola, iako obično ima veliki efekat opterećenja na kolo. Takođe nije osetljiv na variranje ugaonih promena reda veličine jedne minute, što ograničava njegovu primenu u pojedinim osetnim (mernim) elementima.

Stepen kompleksnosti kola u mostu ne zavisi od faktora od kojih zavise davači greške, ali su svi mostovi razne varijante osnovnog mosta, koji je prikazan na slici 242.



Sl. 242 — Principijelna shema električnog mosta sa potenciometrom

Ako je potenciometar (AB) postavljen u granu mosta, sa klizačem u položaju C, tako da deli ukupni otpor potenciometra na dve polovine, na izlazu iz mosta nema napona. Izlazni napon će se pojaviti ako se klizač otkloni za neko odstojanje (x) u položaj C'.

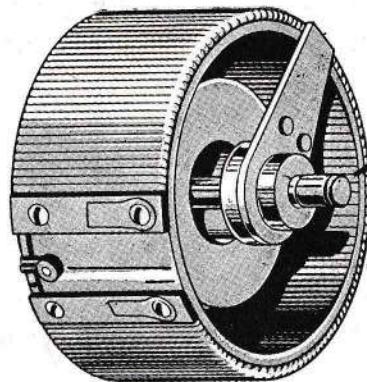
Pošto je potenciometar spregnut sa osetnim instrumentom tako da njegovo pomeranje odgovara odstojanju x, izlazni napon varira direktno sa pomeranjem.

Konvencionalni potenciometar. Većina potenciometara koji se upotrebljavaju u servosistemima u suštini su isti, sastoje se od otporne žice i pokretnog kliznog kontakta. Na žičnom potenciometru (konvencionalni tip prikazan na slici 243) otporna žica se mota na izolacionu traku. Traka, zajedno sa žicom, zove se otporno telo. Telo je savijeno tako da formira luk od skoro 360° i postavljeno je tako da klizač ostvaruje kontakt sa namotajima duž jedne ivice trake. Klizač se obično obrće neprekidno, ali na dužini maloga luka gubi kontakt sa otpornikom.

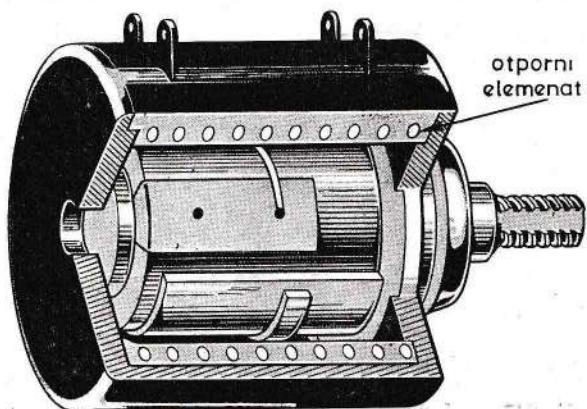
Za upotrebu u servosistemima, potenciometar treba smatrati pre izvorom promenljivog napona nego promenljivim otpornikom. Pošto je ulazni napon doveden na otporni elemenat, na izlazu između klizača i jednog kraja otpornika pojavljuje se deo tog napona. Međutim, izlaz iz potenciometra ne menja se onako kontinualno kao što se kreće klizač. Umesto toga, izlazni napon se menja u skokovima, a svaki skok je jednak razlici napona koja postoji između susednih navojaka žice. Za potenciometar koji ima 1000 navojaka žice na otpornom elemenatu kaže se da ima rezoluciju od jednog hiljaditog ili od 0, 1% (ovo znači da je najmanje promena izlaznog napona 1/1000 od ulaznog napona).

Da bi se poboljšao kvalitet potenciometra, otporni elemenat mota se ponekad u helikoidalnu spiralu, kao što je prikazano na slici 244. Da bi prešao ceo elemenat, klizač mora da napravi deset obrtaja i mada ova konstrukcija omogućuje mnogo više obrtaja na otpornom elemenatu, nedostatak joj je da se klizač ne može konstantno obrtati. Kako je promena napona duž otpornog elementa proporcionalna promeni otpora, jednostavno je napraviti nelinearni potenciometar upotrebljavajući nejednaka tela potenciometra.

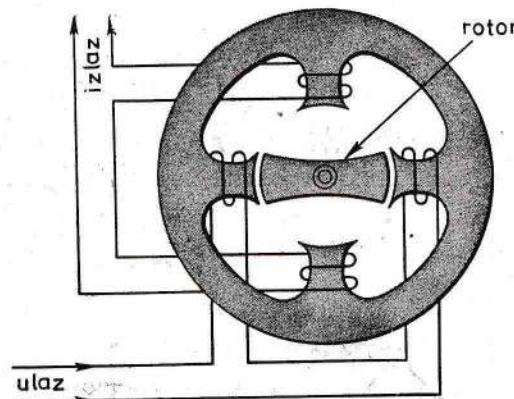
Indukcioni potenciometar. Indukcioni potenciometar sličan je selsinu, ali ima samo jedan rotorski i jedan statorski namotaj. Podešavanjem oblika polova može se postići da izlazni napon bude proporcionalan ugaonom položaju osovine u određenom ograničenom opsegu, a ne sinusu ugaonog položaja osovine. Indukcioni



Sl. 243 — Žični potenciometar

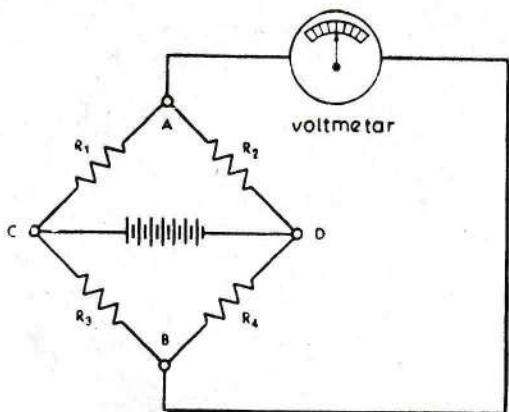


Sl. 244 — Presek potenciometra sa otpornim elementima motanim u spiralu (helikoidalni potenciometar)

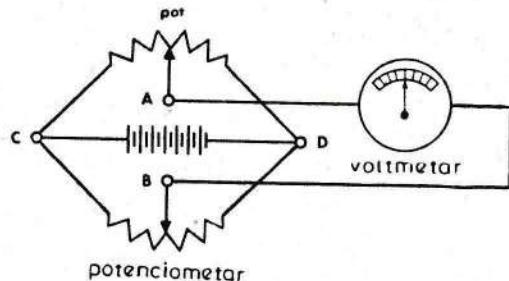


Sl. 245 — Mikroselsin

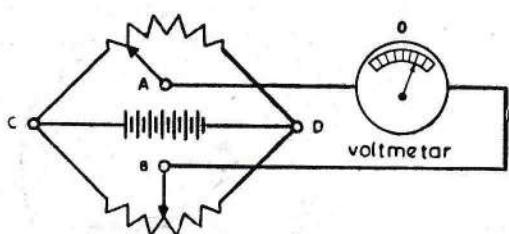
potenciometar složeniji je nego obični potenciometar i može biti upotrebljen jedino u kolima naizmenične struje. Prednost mu leži u činjenici da mu je veća rezolucija nego kod većine žičnih potenciometara.



Sl. 246 — Jednosmerni električni otporni most



Sl. 247 — Jednosmerni električni most sa potenciometrima

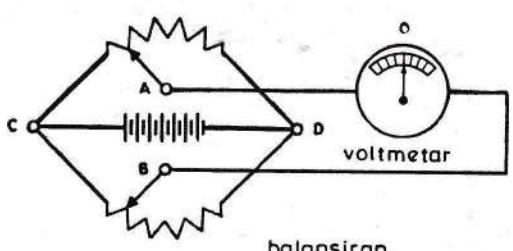


Mikroselsin. Mikroselsin, koji je prikazan na slici 245, ponekad se upotrebljava kao inducioni potenciometar. Glavna prednost mu je u tome što nema električnih veza sa rotorom, a sledstveno tome nema četkica. Magnetsko polje ulaznih namotaja magnetizuje gvožđe rotora. Ukoliko rotor nije u nultom položaju, njegovo magnetsko polje indukuje napon u izlaznim namotajima. U ograničenom opsegu, izlazni napon je proporcionalan ugaonom pomaku rotora. Mikroselsin, kao i drugi magnetski elementi, zahteva naizmeničnu struju.

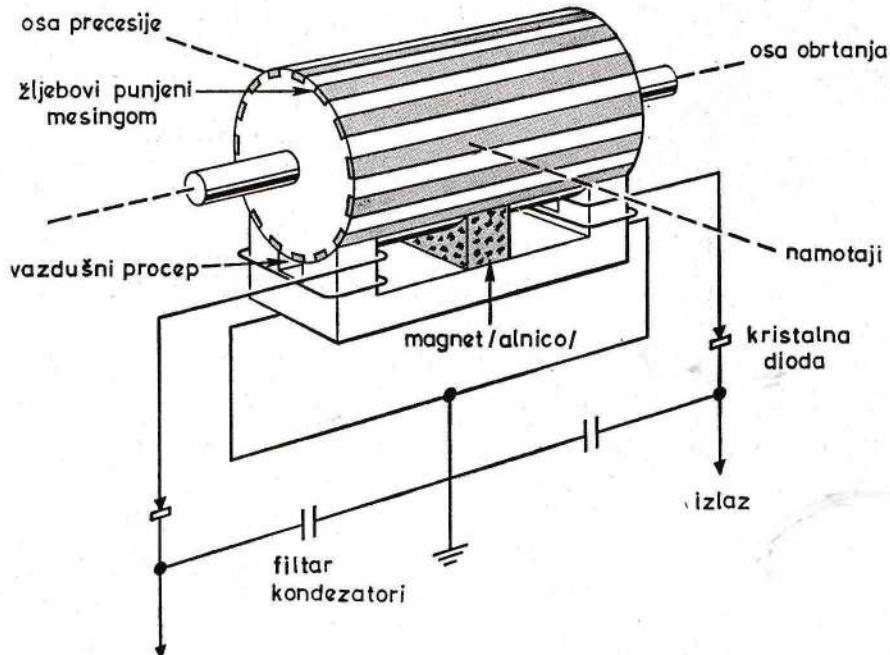
Potenciometri u električnom mostu. Potenciometri se ponekad upotrebljavaju u električnim mostovima da bi dali signal koji je proporcionalan pravcu i veličini otklona u sve tri kontrolne ose. Da bi se dobila osnovna predstava o otpornim mostovima, treba obratiti pažnju na most na slici 246. Jednaki otpornici R_1 i R_2 radno su vezani na izvor jednosmernog napona. Na ovaj izvor takođe su na red spojeni jednaki otpornici R_3 i R_4 . Prema tome R_3 i R_4 paralelno su spojeni sa otpornicima R_1 i R_2 . Pošto su R_1 i R_2 otpornici istih vrednosti, oni dele napon na svojim krajevima na dva jednak dela. Na sličan način pad napona na otporniku R_3 jednak je padu napona na otporniku R_4 . Prema tome, u ovom kolu nema naponske razlike između tačaka A i B.

Ukoliko se u svaku granu mosta umesto otpornika stavi po jedan potenciometar, kao što je prikazano na slici 247, električni most suštinski ostaje nepromenjen. Ako se klizači postave na tačnu električnu sredinu potenciometra, voltmeter neće pokazivati nikakvu električnu razliku između tačaka A i B. Ukoliko se klizač pomeri nalevo, most će postati neizbalansiran i uspostaviće se razlika napona između klizača »A« i »B«. Pod pretpostavkom da je otpor namotaja potenciometra jednako raspoređen od jednog do drugog kraja, veličina pokazanog napona (na voltmetu) proporcionalna je dužini predenog puta klizača. Kada se balansirani električni most upotrebljava u svrhe upravljanja, napon koji se dobije na klizaču kada je most neizbalansiran zove se upravljački napon.

Ukoliko se klizač potenciometra »B« pokreće preko namotaja potenciometra u odgovarajućem smeru i veličini može se ponovo izbalansirati električni most, a da se klizač »A« ne vrati u svoj početni položaj. Ova činjenica je prikazana na slici 248. Potenciometar »B« će proizvesti upravljački signal suprotnog pravca, koji će izbalansirati signal koji je prethodno proizveo potenciometar »A«. Polaritet koji pokazuje voltmeter kada je most neizbalansiran zavisi od pravca pomeranja klizača potenciometra »A«.



Sl. 248 — Neizbalansirani most koji daje signal za upravljanje i izbalansirani most



Sl. 249 — Reluktanski davač greške u sklopu sa žiroskopom

Prosti električni most koji je prikazan u prethodnim stavovima pobuđuje se jednosmernom strujom, pa se prema tome, pravac upravljačkog signala određuje polaritetom voltmetra. U praksi je mnogo praktičnije pobuđivati most naizmeničnom strujom. Prema tome, pravac upravljačkog signala u naizmeničnom električnom mostu mora da se odredi pomoću faze naizmenične struje.

DAVAČI GREŠKE SA PROMENLJIVIM MAGNETSKIM OTPOROM

Davači greške sa promenljivim magnetskim otporom intenzivno su bili istraživani. Ovakvi davači greške upotrebljavaju se sa osetnicima koji imaju mala pomeranja ili oscilatorna kretanja. Daju najveće izlaze po jedinici pomeranja sa minimalnim efektom opterećenja, ali zahtevaju stabilne oscilatore, pa prema tome zahtevaju od projektila raspoloživi prostor i težinu.

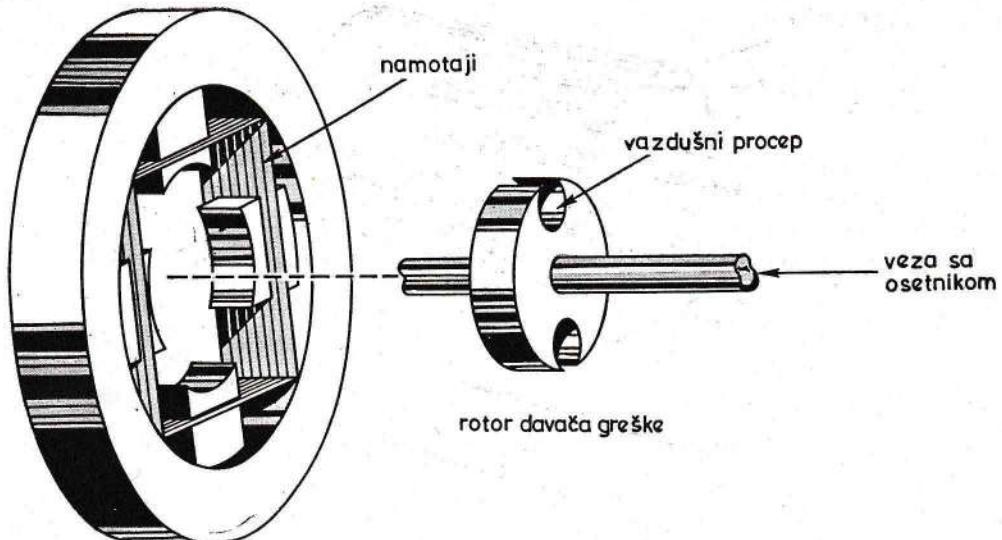
Razvijen je određeni broj vrsta davača greške sa promenljivim magnetskim otporom. Pošto je za rad ovih davača neophodan oscilatorni napon, oni se mogu i klasirati prema metodi koja se upotrebljava da bi se obezbedio taj napon. Davač greške sa unutrašnjim oscilatorom prikazan je na slici 249. Slika prikazuje rotor brzinskog žiroskopa i njegov davač greške sa promenljivim magnetskim otporom. Davač gre-

ške sastoji se od metalne mase u obliku slova E, sa namotajima oko krajeva i stalnim magnetom postavljenim u centru. Rotor žiroskopa je od gvožđa koje je ižlebljeno, a žlebovi su ispunjeni mesingom da bi se nadoknadila izgubljena težina.

Magnetska sila koju daje magnet prouzrokuje magnetski tok kroz oba kraja mase davača, kroz rotor žiroskopa i natrag u magnet. Obrtanje žiroskopa prouzrokuje pravilno variranje magnetskog otpora na putanji fluksa, prema tome da li mesing ili gvožđe prelazi preko krajeva E profila. Ovo uspostavlja pravilno variranje gustine fluksa i u namotajima indukuje naizmenični napon. Naponi u namotajima poništavaju jedan drugog.

Kada žiroskop procesira vazdušni pročep, na svakom kraju ima suprotnu varijaciju proporcionalnu ubrzaju, usled čega se u namotajima indukuju različiti naponi. Razlika ova dva naponi proporcionalna je ubrzaju i predstavlja signalni napon pošto se taj napon prethodno ispravi. Smer izlaza prikazan je ovde kao razlika u polaritetu.

Jedan drugi tip davača sa promenljivim magnetskim otporom (prikazan na slici 250) sastoji se od statora koji sadrži dva para namotaja montiranih u obliku prostornog kvadrata. Jedan par namotaja pobuđuje se naizmeničnim naponom konstantne amplitude iz referentnog oscilatora. U drugom paru namotaja indukuje



Sl. 250 — Samostalni reluktanski davač greške

se napon preko rasečenog čeličnog rotora, koji je spojen sa ramom žiroskopa. Variranje položaja projektila prouzrokuje promenu ugla između rotora i namotaja davača greške; amplituda naizmeničnog napona koji se indukuje u davaču menja se proporcionalno; faza indukovanih napona razlikuje se za 180 stepeni zavisno od pravca promene položaja projektila od nultog položaja.

KAPACITATIVNI DAVAČI GREŠKE

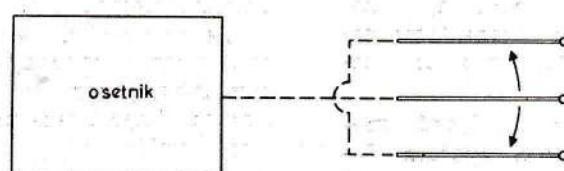
Davač greške sa promenljivim kapacitetom upotrebljava pokretnu ploču kondenzatora postavljenu između dve fiksne ploče. Osetni element pokreće centralnu ploču i varira kapacitete dvaju kondenzatora. Koriste se izlazi iz

kondenzatora koji se povežu u odgovarajuće električno kolo. Ovaj davač greške je vrlo osetljiv.

OSETNI ELEMENTI — DRUGI ZAHTEV RAKETNOG SISTEMA UPRAVLJANJA

Poznato je da žiroskopi, visinomeri i prenosiči predstavljaju sredstvo za detekciju odstupanja projektila od željene reference.

Sledeće poglavље odnosi se na računske elemente koji pomažu da se ispuni treći zahtev za automatske sisteme upravljanja. Računari, uz druge tipove elemenata, prepravljaju informaciju o greški u oblik koji može da bude upotrebljen za regulisanje uredaja upravljanja projektila.



Sl. 251 — Kapacitativni davač greške

RAČUNARSKI ELEMENCI SISTEMA UPRAVLJANJA

Dosad su razmatrani metodi za detekciju (otkrivanje) raznih odstupanja projektila od željenih uslova. Na početku poglavlja, u opštem blok-dijagramu, ustanovljeno je da se ova odstupanja detektuju pomoću osetnih elemenata koji rade u zajednici sa referentnim elementima. Poznato je da se izlaz^{*)} iz osetnog elementa smatra greškom,^{**)} koja sasvim razumljivo, predstavlja postojeće odstupanje projektila od željenih uslova. Najvažnija odstupanja su promena u položaju projektila. Mogu takođe da budu detektovani i drugi podaci, na primer promena u brzini, visini, ugaonom, aksijalnom ili bočnom ubrzavanju. Odstupanja od željenih uslova mogu da budu prouzrokovana promenom vazdušnih struja, pritiska ili promena potiska projektila.

Iako izlaz iz osetnog elementa predstavlja situaciju koja mora da bude korigovana, on retko direktno ide na pokretač, koji izaziva promene na projektilu. Prethodno se mora prilagoditi i pojačati signal greške. Ova operacija sastoji se od prilagođenja signala postojećoj informaciji koja zahteva tačno funkcionisanje upravljanja. Ova operacija je predstavljena pomoću bloka »računara«, koji u sistemu blok-dijagrama sledi iza osetnog bloka.

U sistemu upravljanja računar se sastoji od sledeća tri glavna tipa elemenata:

1. Mešači^{***})
2. Integratori
3. Diferencijatori

^{*)} Izlazni signal — Prim. red.

^{**) Signalom greške — Prim. red.}

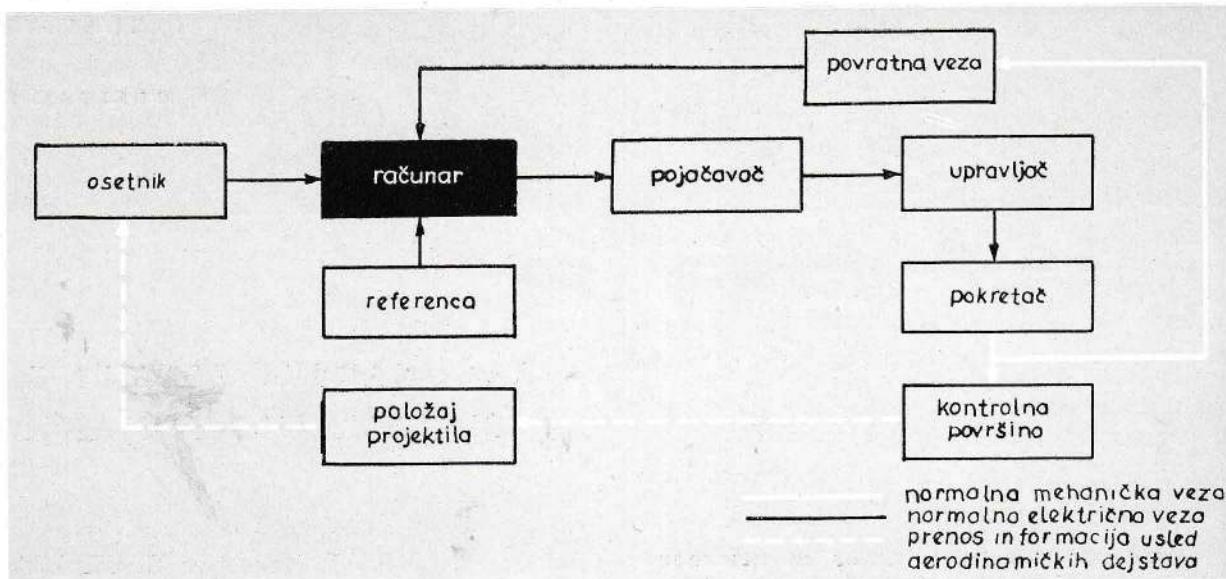
^{***)} Kod nas se češće ovi elementi zovu »sumatori« jer se u njima vrši sabiranje (algebarsko) signala iste vrste a različite veličine. — Prim. red.

VRSTE MEŠAČA (SABIRAČA ILI SUMATORA)

Mešač je ma koje kolo ili uređaj koji kombinuje informacije iz dvaju ili više izvora. Svaki raketni sistem upravljanja, koji radi kao što je prikazano na osnovnom blok-dijagramu (slika 252), mora da kombinuje više signala. Prema prikazanom dijagramu, povratni signal se kombinuje sa signalom greške sa osetnog elementa. Sa ovim signalom greške često se kombinuje diferencirani ili integrirani signal koji se proizvodi u računaru. U nekim pojektilima zajedno se mešaju različiti ulazi. Ovo mešanje pojavljuje se kada zahtevana aerodinamička reakcija zavisi od dve promenljive ili od većeg broja promenljivih. Na primer, ako jedan sistem kontroliše ponašanje projektila u ravni propinjanja, propinjanje može da bude izazvano položajem projektila, visinom ili brzinom. Za detekciju svake od ove tri promenljive može se upotrebiti izdvojeni osetnik. Svi ovi signali mešače se zajedno, tako da svaka od promenljivih ima potreban uticaj na aktuator za propinjanje.

ZAHTEVI ZA MEŠAČE (SABIRAČE)

Da bi jedan mešač ispravno funkcionisao, on mora da kombinuje signale u tačnoj proporciji, smeru i veličini. Ako se povratni signal kombinuje sa signalom položaja, on mora biti određene jačine u odnosu na signal greške. Ova proporcija određuje se uz pomoć težinskih faktora. Na taj način se određuje komparativna težina ili uticaj signala. Na primer, potrebno je sabrati tri signala X, Y i Z, i u poređenju sa veličinom signala X, treba upotrebiti samo je-



Sl. 252 — Principijelni blok-dijagram upravljanja projektila

dnu trećinu signala Y i jednu polovinu signala Z. Trećina od Y i polovina od Z su težinski faktori.

Signal sa mernog elementa mora da proizvede dejstvo u željenom pravcu. Povratni signal mora biti suprotan ulaznom signalu. Takođe, za pravi iznos upravljanja, izlazni signal mora da bude tačne veličine. Normalno se može ostvariti i sabiranje i oduzimanje signala kao i druge funkcije. Procesi potrebni za tačna mešanja signala smatraju se računskim funkcijama.

Vrste mešača koji se upotrebljavaju uglavnom zavise od vrste sistema upravljanja. Na primer, većina sistema su u osnovi elektronski, usled čega su većina mešača elektronski. Mešači takođe mogu da budu mehanički, pneumatski ili hidraulični. Ove vrste su objašnjene na sledećim stranama, a poznavanje različitih vrsta mešača pomaže da se upoznaju funkcije mešača u kolima projektila. Takvo poznavanje takođe pomaže da se analizira pogrešno funkcionisanje mešača, koje se može pojaviti.

ELEKTRONSKI MEŠAČI

U osnovi, princip svakog elektronskog mešača svodi se na osnovnu teoriju kola i elektronskih cevi. Mešači se sastoje ili od impedansnog kola (sastavljenog od otpornika, induktivnosti i kapacitivnosti), ili od višestepenih kola sa elektronskim cevima. Informacije koje

se kombinuju predstavljene su amplitudom i fazom pojedinog napona.

Mešači kombinuju napone iz izvora, kao što su izlazi iz davača, diferencijatora, integratora, kola povratnih sprega ili kola vođenja. Bez obzira na to kakvi su izvori, oni su označeni na slikama 253, 254, 255 i dalje standardnim simbolom kao generator naizmeničnog napona.

U sistemima upravljanja elektronski signali obično su naizmenični. Ovi signali se prepravljaju u jednosmerne pre nego što se dovedu do pokretača koji pokreće kontrolne uređaje.

Faza naizmeničnih signala određuje smer. Ako dva određena signala treba da proizvedu isto dejstvo na kormilo, u mešaču oni moraju da budu u fazi. Ponekad su potrebni kapaciteti i induktiviteti da bi pomerili faze signala, tako da se oni mešaju sa potpuno tačnom fazom. Ako se upotrebljavaju jednosmerni signali, oni se moraju mešati sa odgovarajućim polaritetom.

Paralelni mešanj. Najprostiji metod da se kombinuju naponi jeste da se dovedu na zajedničku impedancu uz pomoć električne veze. Izvodi napona su u paraleli kao što pakazuje slika 253.

Ovo kolo obično je izmenjeno u praksi. Promena, kao što je pokazano na slici 254, sastoji se u dodatnoj impedanci u svakoj grani. Dodatni otpori redukuju napone svake grane u odnosu na zajedničku impedancu »Ro«. U analizi kola takvi otpornici obično se zovu atenuatori.

U stvari, tri razloga zahtevaju promenu ovih otpornika.

Prvo, oni redukuju protok struje od izvora kada se ne može povećati otpor »Ro«. Redukcija struje opterećenja smanjuje potrošnju snage i istovremeno izlaz sa davača (izvora napon) čini linearnim.

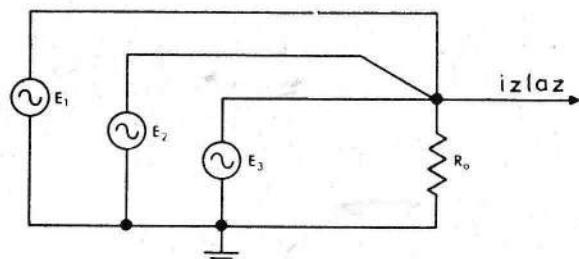
Drugo, ovi otpori omogućuju konstruktoru da podesi veličinu signala koji će da bude doveden do »Ro«. Zahvaljujući ovakvom podešavanju, signali se mešaju u tačnom odnosu (ili sa tačnim težinskim faktorima), a to je vrlo važan uslov. Često je primenom serijskog otpora lakše smanjiti izlaz iz davača, nego da se od davača zahteva određena vrednost izlaza.

Treće, dodatni otpornici reduciraju greške koje su prouzrokovane spregama između pojedinih izvora signala. Ove sprege proizvodi struja od jednog izvora koja utiče na napon koga bi normalno proizveo drugi izvor. Takva greška pojavljuje se na izvoru čija se unutrašnja impedanca menja (na primer potenciometarski ili induktivni davači kod kojih raste induktivno polje sa porastom struje). Uzrok ove greške biće razumljiviji posle uvida u teoriju superpozicije.

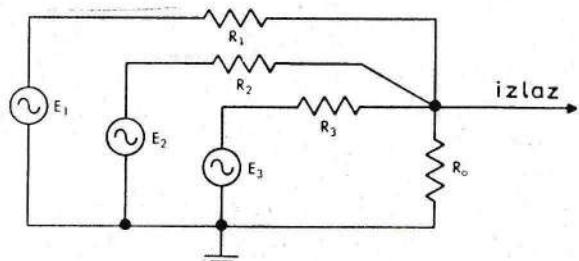
Funkciju jednog kola sa više izvora napona uopšte je mnogo teže shvatiti nego funkciju kola sa samo jednim generatorom. Da bi se razumeli procesi u prvoj vrsti električnih kola, valja poznavati upotrebu standardnog zakona u elektrici: teoremu superpozicije. Ako se jedno električno kolo sa linearnim impedancama pobuđuje pomoću dva ili više generatora, struja ili napon u svakoj određenoj tački mreže je izražena kao zbir napona ili zbir struja koji bi proizveo svaki generator ako bi sam bio priključen na tu mrežu, pod uslovom da su drugi generatori zamenjeni njihovim unutrašnjim impedancama. Ova teorema može se primeniti pri analizi kola prikazanog na slici 255.

Slika 256 ilustruje zakon superpozicije. Na njoj se vide struje i naponi koje proizvodi svaki izvor posebno. Strelica pokazuje tok elektrona pod pretpostavkom da je u datom trenutku polaritet naizmeničnog generatora kakav je prikazan na slici.

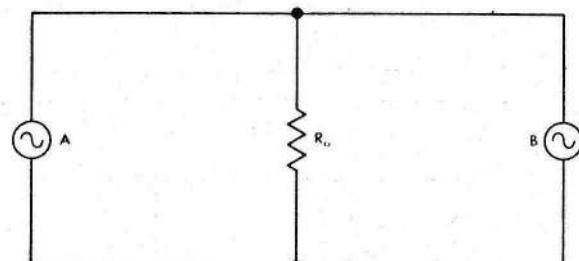
U svakom slučaju prikazana je struja koju je prouzrokovao samo jedan napon. Ako se kolo posmatra sa oba izvora napona, stvarna struja u svakoj grani je vektorski zbir komponenata koje postoje kada se izvori posmatraju izdvojeno. Vektorski zbir je rezultat koji se dobije kada se naponi kombinuju na način koji zavisi od amplituda i faznih razlika.



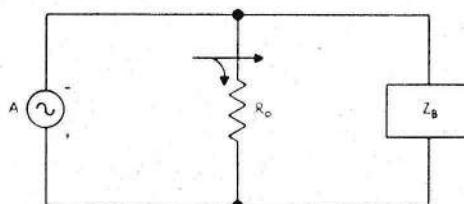
Sl. 253 — Principijelno kolo za paralelni način mешanja signala



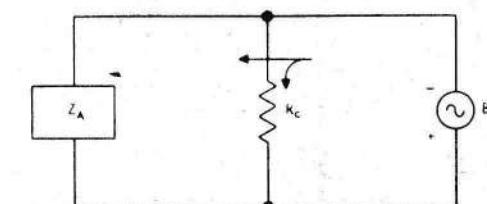
Sl. 254 — Praktično kolo za paralelni način mешanja signala



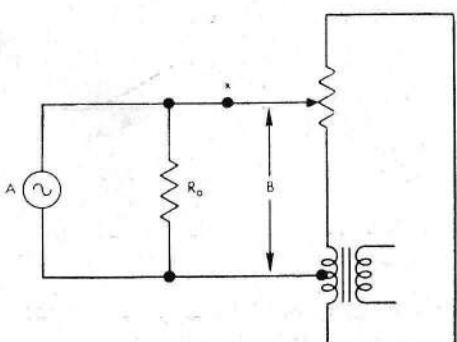
Sl. 255 — Obično kolo sa dva izvora napona



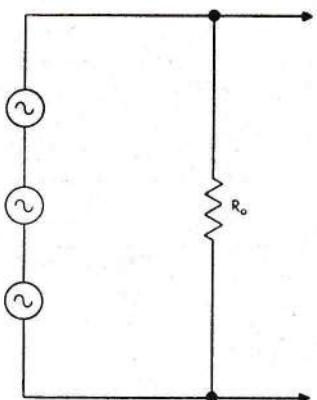
Sl. 256 — Prikaz kola koja odvojeno posmatraju uticaj svakog napona



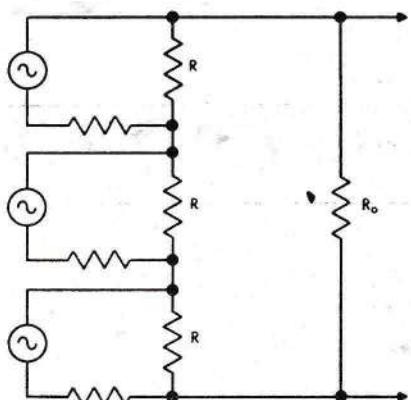
Primena teoreme superpozicije dokazuje da gornje kolo može biti upotrebljeno kao mešač i da se radni otpori mogu upotrebiti da bi se podesio odnos signala. Ukupan napon na otporniku » R_o « zavisi od ukupne struje. Kako je ukupna struja vektorski zbir struja u granama, izlazni napon ne zavisi samo od veličina napona izvora nego i od impedanca u svakoj grani.



Sl. 257 — Kolo u kome će se menjati unutrašnja impedanca



Sl. 258 — Principijelno kolo za serijsko mešanje signala



Sl. 259 — Stvarno kolo za serijsko mešanje signala

Kao što je ranije spomenuto, promene unutrašnjih otpora upotrebljenih davača odražavaju se u netačnim amplitudama signala. Ako je signal sa potenciometarskog davača kombinovan sa signalom izvora »A«, kao što je prikazano na slici 257, struja koju razvija izvor »A« zavisi od ukupne impedance kola. Kada se ova impedance menja pokretanjem potenciometra, menja se i struja izvora »A«. Promena struje menja napon izvora »A« koji se dovodi na » R_o « iako uzrok ove promene ne menja informaciju koja je predstavljena naponom »A«.

Ako bi se umetnuo jedan otpornik u tačku »X«, umanjilo bi se variranje struje usled pomeranja potenciometra, i prema tome bio bi manji efekat na napon signala izvora »A«.

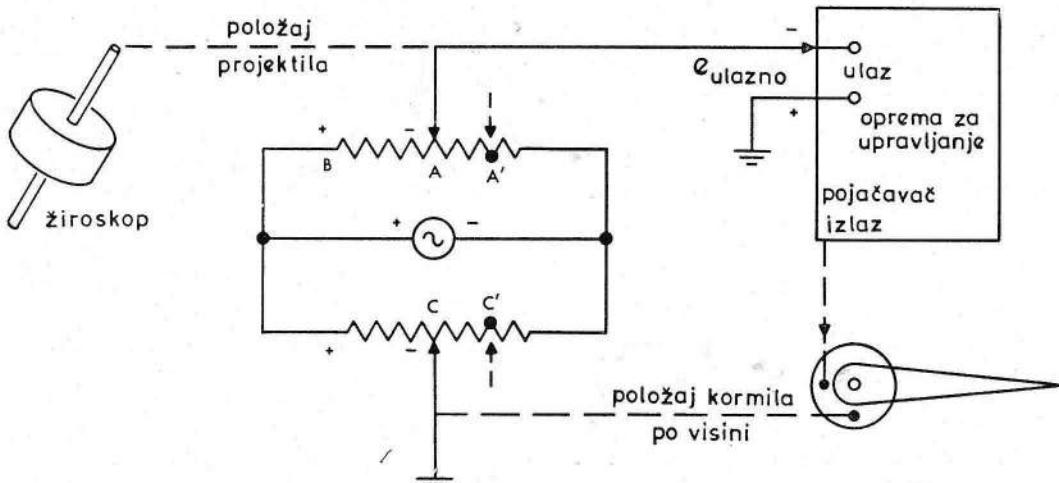
Serijsko mešanje. Naponi se takođe kombinuju rednim vezivanjem na zajedničko opterećenje, kao što je prikazano na slici 258.

Osnovni nedostatak ove metode je da ukupna struja opterećenja mora da protiče kroz svaki izvor. Ovo osnovno kolo normalno se realizuje kao što je prikazano na slici 259. Otpornici su uključeni iz istih razloga kao i u slučaju paralelnog tipa mešača.

Zbir svih padova i porasta napona u jednom zatvorenom kolu mora biti jednak nuli. Zbog toga je u osnovnom kolu napon na » R_o « zbir napona na krajevima generatora. U praktičnom kolu napon na » R_o « je zbir napona na priključenim otpornicima »R«.

Vistonov most kao mešač. Vistonov most sa potenciometrima u granama meša informacije o položaju dobivene sa dva izvora. Na primer, treba da budu detektovane i kombinovane informacije o položaju žiroskopa i kontrolne površine. Kao što je prikazano na slici 206, upotrebljena su dva klizna kontakta. Jedan kontakt mehanički je spojen sa ramom žiroskopa a drugi sa kontrolnom površinom. Fizički, potenciometri su postavljeni na priličnom odstojanju. Most se upotrebljava umesto dva električna davača i mešača.

Svrha kola je da meša napon koji je proporcionalan pomeranju žiroskopa sa naponom koji je proporcionalan položaju kontrolne površine. Specijalno se ova dva signala često kombinuju u sistemima, pošto jedan signal predstavlja ulazni signal greške, a drugi je povratni signal. Potenciometri su podešeni tako da je most izbalansiran ako je projektil u tačnom položaju i ako je kontrolna površina poravnata sa strujom vazduha, usled čega se na pojačavač ne šalje signal koji bi prouzrokovao korekciju. Pretpostavimo jedan trenutak kada su polariteti naizmeničnih napona onakvi kao što je prikazano na slici 260, napon na »AB«



Sl. 260 — Mešanje dva signala pomoću Vistonovog mosta

tačno je poništen sa »BC«, tako da je e_{in} jednak nuli.

Ako vođeni projektil skrene od odstojanja za koje je pokrenut gornji klizač (AA), napon proporcionalan tome skretanju dovodi se na pojačavač (pod pretpostavkom da je potencijometar linearan i da kroz pojačavače ne teče struja opterećenja). U zamišljenom momentu napon je negativan. Ako je vođeni projektil u položaju u kome treba da se nalazi, ali kontrolna površina još nije poravnata sa vazdušnom strujom napon je proporcionalan odstojanju za koje je pokrenut donji klizač (CC') dovodi se na pojačavač. U zamišljenom trenutku on je pozitivan. Obično se obe akcije pojavljaju istovremeno, pa je prema tome napon koji se dovodi na pojačavač rezultanta dvaju napona. U ovom slučaju mešać obavlja oduzimanje, pošto signali, koji su prouzrokovani pomeranjem, teže da se ponište. Rezultanta e_{in} je negativna zato što je otklon gornjeg potenciometra prikazan većim nego što je otklon donjeg potenciometra. (Kontrolna površina, prema tome, mora da bude otklonjena od struje vazduha.) Da će rezultanta biti negativna, može se dokazati jednačinom napona za zatvoreno kolo. Polazeći od puno izvučenih krajeva ulaza imamo:

$$e_{in} - e_{ab} + e_{bc} = 0$$

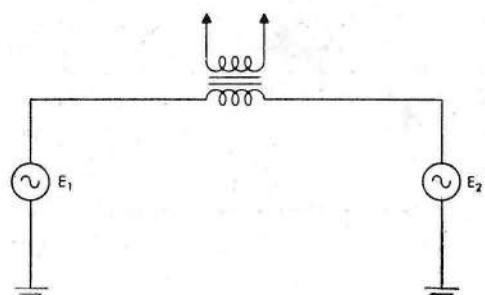
Težinski faktori zavise od mehaničkih veza i od otpornika koji su dodati kolu mosta.

Impedansna kola upotrebljavaju se često da bi se signal podelio na više od jednog opterećenja. Kod podele signala primenjuju se isti problemi i analiza kola kao i pri kombinovanju

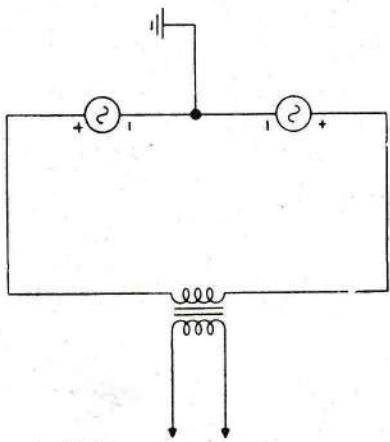
signala. Problem postaje mnogo komplikovaniji kada se opterećenja napajaju i drugim signallima, pošto jedna mreža mora da bude konstruisana tako da bude dovoljno izdvojena od neželjenih napona sa svakog opterećenja.

Transformatorski mešaći. Primarna zavojnica transformatora može zameniti izlaznu impedanciju »Ro« serijskog ili paralelnog mešača. Kod ovakvih mešača, sekundarni napon je proporcionalan vektorskom zbiru ulaznih napona.

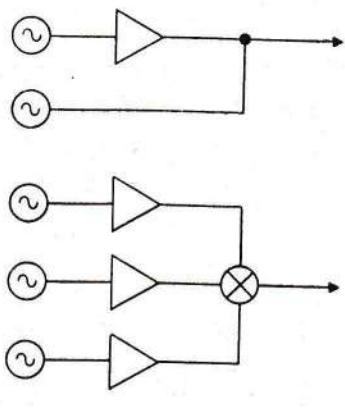
Posmatrajmo transformator na koji deluju dva redno vezana napona, kao na slici 261. Pretpostavimo da nema nikakvih otpornosti. Pretpostavimo, takođe, da je osciloskopom ustavljen da je napon »E₁«, u fazi sa naponom »E₂«, — oba merena u odnosu na masu. Postavlja se pitanje: da li se naponi u transformatoru sabiraju ili oduzimaju? Signali se u transformatoru moraju oduzimati jer dve komponentne struje teku u suprotnom pravcu (u opoziciji su). Drugim rečima, manji napon će delimično kompenzirati veći. Objasnjenje za ovo može se lako dobiti ako se posmatra situacija



Sl. 261 — Serijski mešać sa transformatorom na izlazu



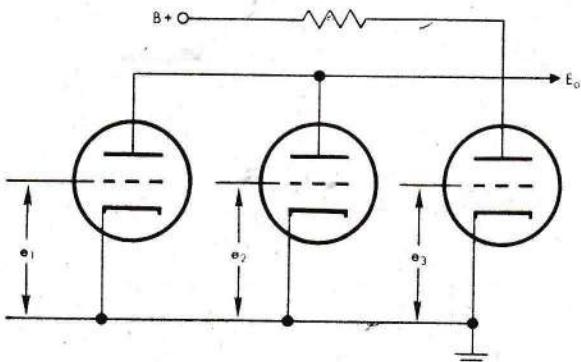
Sl. 262 — Serijski mešač sa ulaznim naponima vezanim u opoziciju



Δ = simbol pojačavača

\sim = izvor napona

Sl. 263 — Vrste paralelnih mešača koji upotrebljavaju elektronske cevi za pojačavač i izolaciju



u nekom određenom trenutku kada su polarieti napona određeni. Ovo je pokazano na slici 262.

Transformator se može upotrebjavati kao mešač i tako da se jedan napon dovede na primar, a drugi na sekundar. U ovom slučaju se u sekundar dovodi jednosmerni signal (spopromenljivi signal) ili naizmenični signal vrlo niske frekvencije, jer bi normalni naizmenični signali vršili povratno dejstvo na primer putem indukcije.

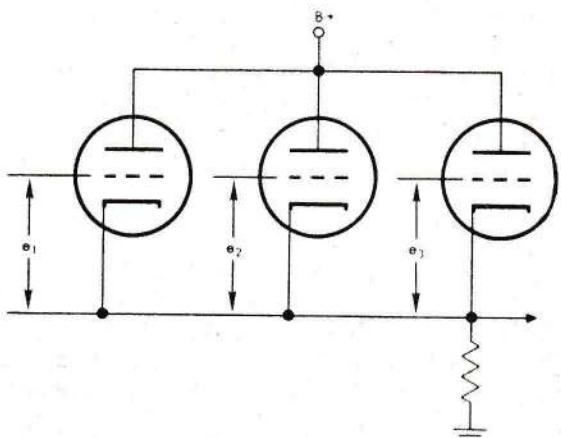
Mešači sa elektronskim cevima. Drugi način da se eliminiše sprega između napona izvora je upotreba kola sa elektronskim cevima, što je prikazano na slici 263. Signal se ne može voditi natrag kroz niskofrekventni pojačavač koji se upotrebljava u sistemima upravljanja. Naravno, pojačavač takođe služi u korisnu svrhu da se poveća snaga signala.

Dva alternativna kola za cevi mešač paralelnog tipa prikazana su na slici 264. Broj mogućih ulaza nije ograničen. Pod pretpostavkom da su cevi identične, slični ulazi imaju isti uticaj na izlaz. Težinski faktor može se uvesti upotrebom potenciometra na ulazu ili otpornika u izdvojenim kolima anode.

Paralelno kolo pojačavača može biti podešeno tako da daje zbir ili razliku ulaza. Takav diferencijalni pojačavač je prikazan na slici 265. E_o je proporcionalno vektorskom zbiru ulaznih napona, a napon između anoda proporcionalan je razlici napona na ulazima.

Katodni pojačavači*) takođe mogu biti upotrebljeni da bi sprečili povratnu vezu ili refleksiju izlaznog napona. Nedostatak katodnih po-

*) Katodni ponavljači ili katodni pojačavači skoro ne menjaju napon signala; — dakle ponavljaju signal, ali pojačavaju snagu signala. — Prim. red.



Sl. 264 — Vrste paralelnih sabirača sa elektronskim cevima

jačavača je što ne pojačavaju napon, ali im je prednost što imaju vrlo veliku ulaznu impedancu, koja se uglavnom ponaša kao otvoreno kolo. Kada je katodni pojačavač priključen na davač (ili na ma koje kolo), on praktično ne predstavlja opterećenje.

Kod elektronskih mešaća najčešće se kombinuju signali u samoj cevi. Više signalnih napona može da bude dovedeno na različite elektrode elektronske cevi i da izazove promenu anodne struje kao na slici 266. Efekat promene anodne struje usled jednog izvora ima mali uticaj na ostale izvore napona, pošto su impedance između elektroda kod elektronske cevi sa većim brojem mrežica visoke. Obično se ovakvo mešanje vrši sa različitim učestanostima i naziva se modulacija^{*)}. Mešanje je slično sa mešanjem u komunikacijskoj vrsti elektronske opreme, kao u radiju, televiziji i predajnicima za vođenje projektila. Ovakvo mešanje takođe upotrebljava nisku učestanost u sistemima upravljanja.

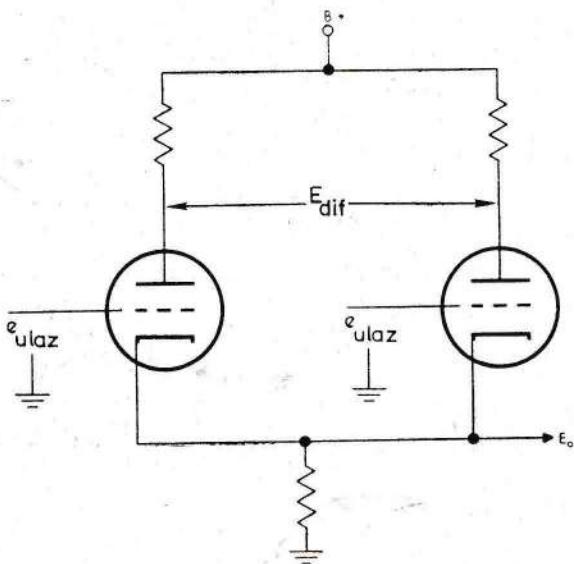
Broj ulaza je ograničen brojem elektroda elektronske cevi. Težinski faktori zavise od karakteristika cevi i od elemenata na koje se dovode ulazni naponi. Treba обратити pažnju na to da se izbegnu greške koje nastaju usled nelinearnosti karakteristika elektronskih cevi.

Paralelni tip mešaća sa otpornicima, koji je ranije spomenut, često je vezan za pojačavač velikog pojačanja, koji je stabilizovan upotrebom negativne povratne sprege. Pojačavač sa negativnom povratnom spregom održava skoro konstantan odnos između ulaza i izlaza, zato što je variranje pojačanja reducirano povratnom spregom. Odnos uglavnom zavisi od vrednosti otpornika, kao što je prikazano na slici 267. Ako se pretpostavi da je pojačanje pojačavača beskonačno, izlaz isključivo zavisi od odnosa otpornika.

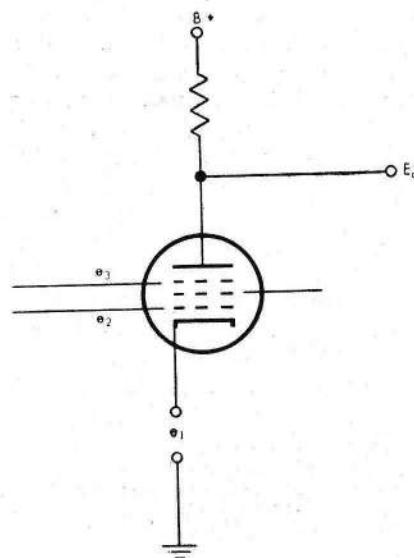
DIFERENCIJALNI SELSINI

Do sada je govoren samo o mešanju informacija, koje su predstavljene amplitudom naizmeničnog ili jednosmernog električnog signala. Informacija koja je predstavljena ugaonim položajem osovine može se preneti i mešati pomoću upotrebe diferencijalnih selsina.

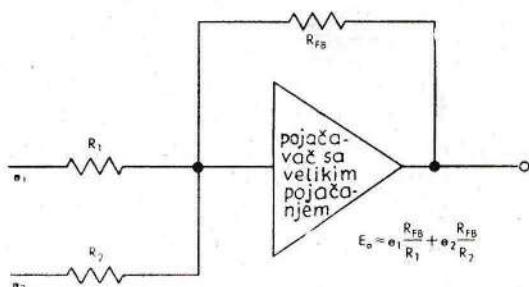
Jednostavni deo sistema upravljanja koji upotrebljava diferencijalne selsine za mešanje informacija o položaju, prikazan je na slici 268. Žiroskop postavlja u određeni položaj rotor jednog standardnog selsina. Pošto je na rotor doveden pobudivački napon, uspostavlja se mag-



Sl. 265 — Diferencijalni pojačavač

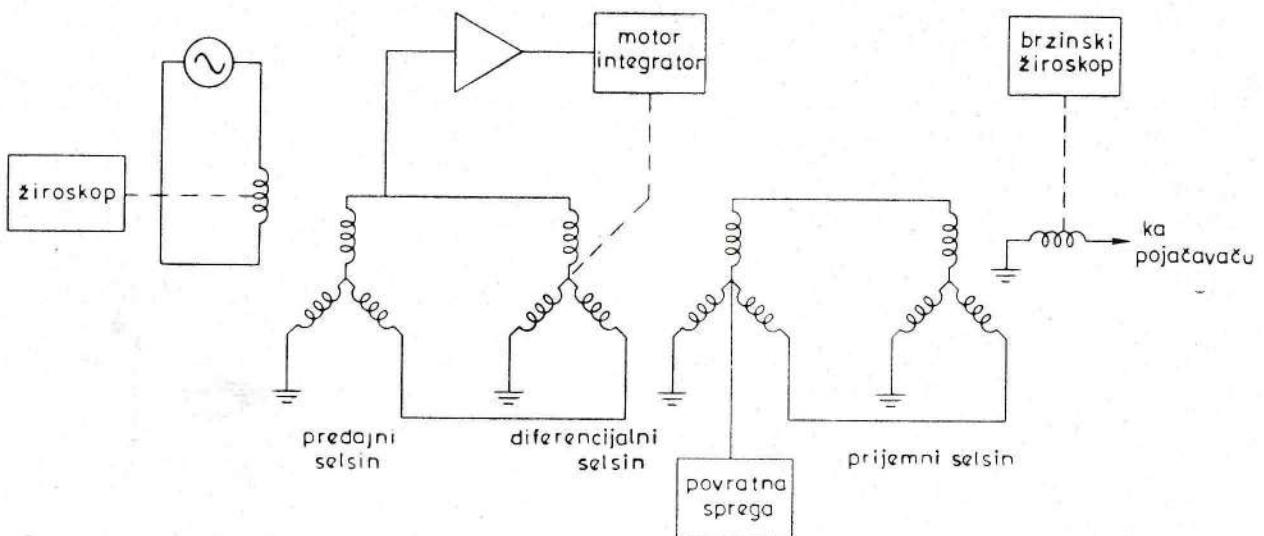


Sl. 266 — Vrsta mešaća sa elektronskom cevi sa više rešetki



Sl. 267 — Pojačavač sa negativnom povratnom vezom kao paralelni mešać

^{*)} Ako signali imaju različite učestanosti onda se i kod nas upotrebljava termin »mešaći«, za razliku od predhodnih »sumatora«. — Prim. red.



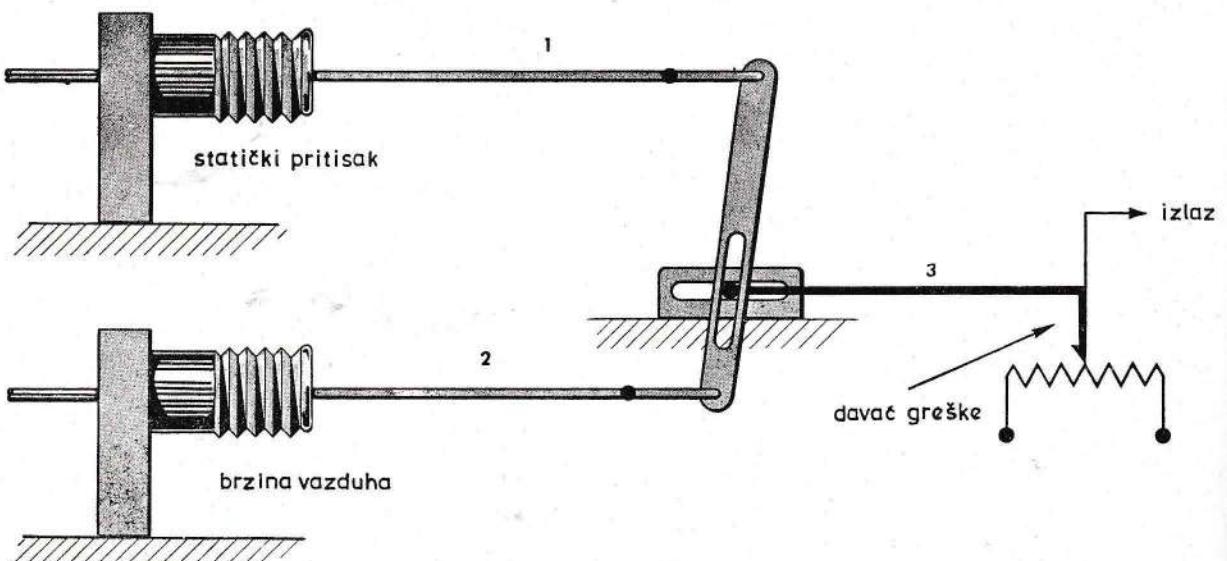
Sl. 268 — Kombinovanje informacija pomoću upotrebe standardnih i diferencijalnih selsina

netsko polje sa pravcem koji zavisi od položaja rotora. Ovo magnetsko polje indukuje napone u statoru, pa se na taj način polje može preneti na diferencijalni selsin. Pravac magnetskog polja u krajnjem selsinu zavisi od položaja prvobitnog selsina i položaja oba namotaja diferencijalnog selsina u odnosu na krajnji selsin. Ulaz u pojačavač zavisi od položaja četiri uređaja. Uticaj svakog od uređaja određen je mehaničkim vezama. Mehaničkim i električnim vezama selsina i diferencijalnih selsina utvrđuje se smer informacija položaja. U kolo se može uključiti ma koja razumljiva veličina namotaja diferencijalnog selsina, pošto su jedino ograničenje te-

žina i gubici u snazi. Na slici su selsini postavljeni tako da na pojačavaču proizvedu nulu (nulti ulaz).

MEHANIČKI MEŠAČI

Informacije se mogu kombinovati pomoću mehaničkih mešača, koji su napravljeni od osovine i zupčanika. Lateralna pozicija može se kombinovati pomoću poluga u ravni, kao što je prikazano na slici 269. Prepostavlja se da osovine broj jedan i dva rade nezavisno i da njihovi položaji predstavljaju informacije koje treba kombinovati. Tri spoja slobodno se okreću.



Sl. 269 — Mešanje signala mehaničkim sredstvima

Položaj osovine broj tri predstavlja skaliranu srednju vrednost položaja druge dve osovine, usled toga što vertikalni krakovi poluge nemaju istu dužinu u odnosu na osovinu broj tri. Pравac kretanja osovine predstavlja smer srednje vrednosti.

Izlaz iz osovine broj tri može da pokreće električni davač. Prema tome, polužni mešač može eliminisati potrebu za dva davača koji bi služili da se položaji osovine pre mešanja pretvore u električni signal. Ako ulazi na osovine broj jedan i dva raspolažu sa dosta snage, izlaz može direktno da pokreće pneumatski ili hidraulični ventil.

Pomoću zupčanika mogu se kombinovati informacije položaja ili ugaone brzine, uz pomoć standardnih zupčanika diferencijala istoga tipa kao oni koji su upotrebljeni na zadnjim osovinama automobila. Ako ulazne osovine nose informaciju položaja, ovo će se pokretati polako i približno održavati isti srednji položaj. Položaj izlazne osovine konstantno pokazuje razliku između položaja dveju ulaznih veličina. Ako su informacije predstavljene brzinama obrtanja osovine, ugaona brzina izlazne osovine predstavlja razliku između ulaznih brzina.

Ukoliko se ne želi da se ulazi razlikuju, ulazne osovine mogu se tako izabrati da izlaz predstavlja zbir ulaza. Sabiranje ulaza može se primeniti na oboje, kako na informaciju položaja, tako i na informaciju brzine. Promenom odnosa zupčanika mogu se birati težinski (skalni) faktori.

PNEUMATSKI I HIDRAULIČNI MEŠAČI (SABIRACI)

Informacija se ponekad prenosi pomoću pneumatskih ili hidrauličkih cevi. Signali se stvaraju promenom pritiska u cevi. Ovakvi signali mogu se sabirati spajanjem dveju cevi u jednu. Vazdušni (pneumatski) davač greške kontroliše veličinu vazdušnog protoka. Odnos signala zavisi od podešenosti davača ili od podešenosti vazdušnog pritiska pre davača.

Sa ovim kratkim opisom pneumatskih i hidrauličkih mešaća završava se analiza mešaća i prelazi na analizu integratora.

RAZNOVRSNOST FUNKCIJA INTEGRATORA

Pošto integrator obavlja matematičke operacije na signalu koji u njega ulazi, on je u sistemu upravljanja deo računske sekcije. Integrator menja ulaz u oblik koji predstavlja novu informaciju, koja je tražena iz jednog od mnogih razloga o kojima će kasnije biti reči.

Prosto rečeno, integral konstantnog signala proporcionalan je njegovoj amplitudi pomnoženoj sa vremenom za koje taj signal postoji. Na primer, pretpostavimo da izlaz iz jednog signala iznosi četiri volta i da ga je proizveo konstantni ulazni signal koji je trajao jednu minutu. Ako je isti signal trajao samo pola minute, izlaz bi trebalo da ima napon dva volta. Naravno, ovde se pretpostavlja da je integrator idealan. Prema tome, kontrolni integrator je uređaj koji računa vreme za koje egzistira neki ulazni signal. Suprotno tome treba se podsetiti da je izlaz iz jednog osetnog elementa, koji predviđa kontinualno upravljanje, obično trenutno proporcionalan nekoj grešci vodenog projektila. Proporcionalni signali predstavljaju osnovna sredstva neprekidnog upravljanja. Integralno upravljanje je druga metoda u neposrednom upravljanju.

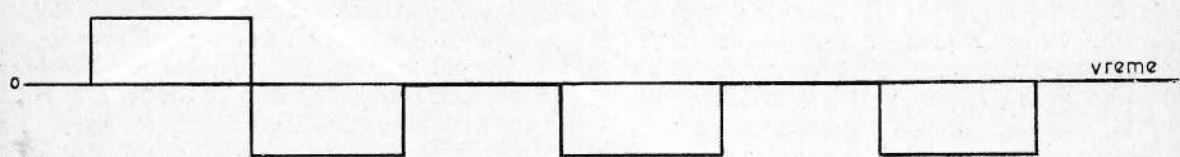
Obično stvarna greška vođenog projektila nije konstantna, kao što je pretpostavljeno u gornjem primeru. Umesto toga amplituda i smer greške menjaju se zavisno od uslova leta vođenog projektila. Mada je tako, tačna integracija je proporcionalna proizvodu iz vremena rada i srednjoj grešci koja je postojala za vreme tog vremena. Ako se smer greške menja za vreme perioda integracije, signal suprotnog smera smanjiće konačni izlaz iz integratora. Integrator se može smatrati neprekidnim računarom, pošto on uvek proizvodi napon koji je proporcionalan proizvodu iz srednje vrednosti ulaza i vremena.

Može se reći da integracija greške u funkciji vremena predstavlja sabiranje ili akumulisanje greške za vreme određenog vremenskog perioda. U stvari, jedna definicija za izraz integratori je »dati ukupan iznos, dati sumu ili totalan iznos«.

Svaki integrator kasni u svom radu ili, kako se kaže, poseduje efekat kašnjenja. Na primer, uspostavila se konstantna greška. Iako ulazni signal iznenada dostiže određenu vrednost, ako nije prošlo određeno vreme, to jest u tom istom trenutku, izlaz će biti jednak nuli (pod pretpostavkom da je izlaz prethodno bio podešen na nulu). Izlaz će postojano da raste kao i u prethodnom primeru. Prema tome, treba smatrati da će reakcija nešto da kasni.

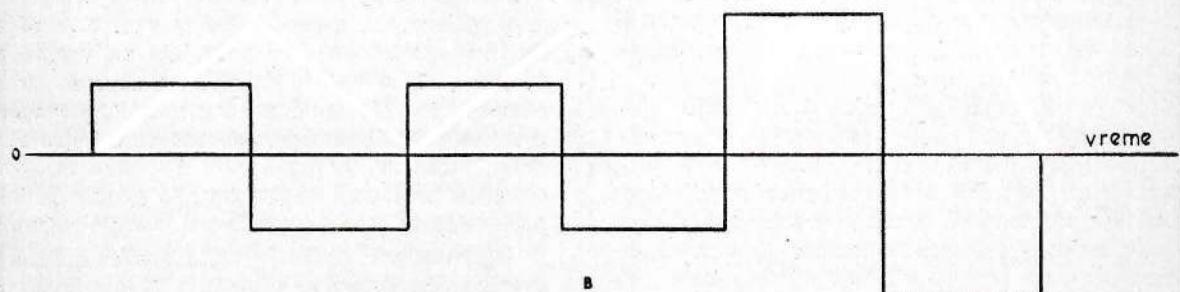
Na slici 270 prikazani su dijagrami konstantnih ulaznih grešaka i izlaza pod pretpostavkom da integrator radi bez greške. Efekat kašnjenja može se posmatrati ako se uvede vreme pre nego što izlaz predstavlja signal koji se može uočiti. Takođe je potrebno da prođe određeno vreme da bi se uočilo smanjenje izlaza posle otklanjanja ulaza.

Izlazi stvarnih integratora mogu se razlikovati od izlaza koji su prikazani na slici 270, usled



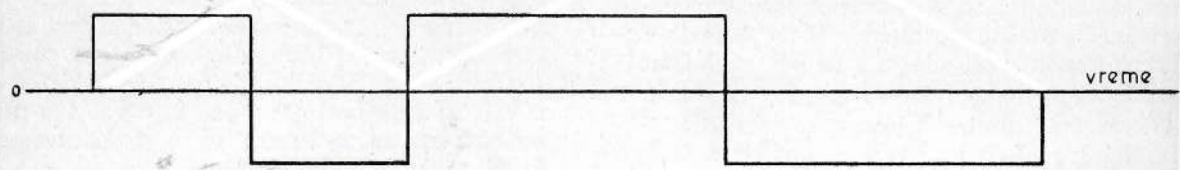
A

smer izlaza zavisi od smera srednje vrednosti ulaza



B

veći ulaz daje brže promene na izlazu

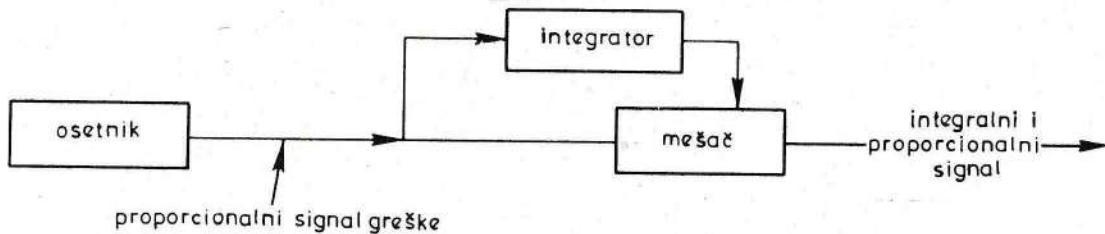


C

ulazni signal dužeg vremena trajanja daje veći izlaz

— ulazni napon
izlazni napon

Sl. 270 — Izlazi iz idealnog integratora



Sl. 271 — Uvođenje integralnog upravljanja u proporcionalni sistem

karakterističnih grešaka svakog specijalnog uređaja za integriranje.

Takođe integrator filtrira signale sa visokom učestanošću. Na primer, na ulaz je doveden signal koji varira mnogo brže. Pošto je perioda ulaznog signala vrlo kratka, izlaz praktično neće prikazivati ništa. Uredaj filtrira signale viške učestanosti, pošto je relativno neosetljiv na brze promene signala greške.

Neki integratori su mnogo tačniji nego drugi, što zavisi od načina na koji rade. Da bi se proizveo jedan integrator čiji bi izlaz bio tačno proporcionalan integralu ulaza, treba savladati velike probleme. Prvo, integrator treba da bude sposoban da linearno reaguje na svaki nivo signala koji bi se na njega mogao dovesti. To znači da ako se ulazni signal poveća dva puta, izlaz iz integratora treba da bude dva puta veći nego ranije. Drugo, ova reakcija treba da bude brza. Treće, integrator mora imati moć »pamćenja«. Na primer, na izlazu iz integratora uspostavljen je određeni signal i više nema ulaznog signala. Da bi rezultat bio zadovoljavajući, isti signal se mora zadržati na izlazu. Gornja tri kvaliteta različito su zastupljena u integratorima, što uglavnom zavisi od vrste integratora koji je upotrebljen.

UPOTREBA INTEGRATORA U VOĐENIM PROJEKTILIMA

U sistemima projektila postoje slučajevi u kojima je važan signal koji je proporcionalan grešci koja se akumulisala u određenom intervalu vremena. Obično se ovaj integralni upravljački signal pomoću mešača kombinuje sa proporcionalnim signalom. Ovaj proces je prikazan na slici 271. Zavisi od namene da li će integralni signal biti dodat signalu greške ili oduzet od njega.

Integralni signal upotrebljava se da bi podržao proporcionalni signal i dao garanciju da će u jednom sistemu uvek biti napravljena dovoljna korekcija. Jedna od takvih primena pojavljuje se kasnije prilikom objašnjenja elektrohidrauličkog sistema. Stepen upravljanja koji

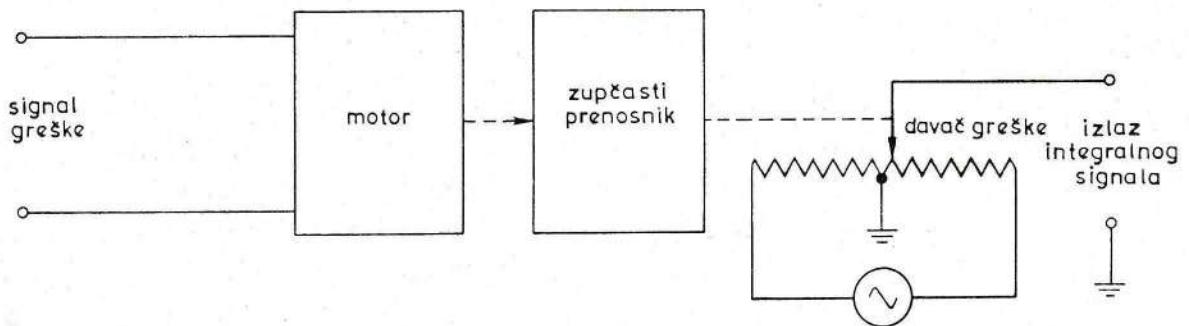
može da pruži čisto proporcionalan signal je ograničen. Nadupravljanje*) (ili podupravljanje)**) prouzrokuje prekomerno pokretanje projektila. Postoje slučajevi kada sama proporcionalna kontrola nije dovoljna da savlada jaku i stalnu silu koja otklanja projektil. U tom slučaju proporcionalni signal greške ima stalnu komponentu koja deluje na integrator. Pošto je greška jednog smera (određena pravcem bočnog vetra), izlaz iz integratora se povećava sa vremenom i povećava proporcionalni signal sve dok korekcija na kraju ne bude obavljena. Izlaz iz integratora se zadržava da bi napajao signal potreban za korekciju u cilju savladavanja relativno konstantnog uticaja koji dolazi od postojanog bočnog vetra. U ovome slučaju integrator obezbeđuje potrebbni konstantni signal.

Integratorski signal oduzima se od proporcionalnog signala da bi se eliminisale nepoželjne komponente signala. Principijelna shema je ista kao ona koja je prikazana na slici 271, osim što je obrnut smer izlaza iz integratora. Kao što je ranije kazano, izlaz odgovara na signal greške koji dugo traje ali je relativno neosetljiv na njegove brze promene. Kada proporcionalni i integralni signal deluju suprotno jedan na drugog, eliminise se nepoželjna konstantna komponenta proporcionalnog signala.

Poslednja karakteristika je potrebna da bi se automatski balansirao izlaz iz jednog pojačavača. Signal prouzrokovani neizbalansiranošću pojavljuje se kao konstantna komponenta totalnog izlaza i suprotna je integralu ulaza. Slično, svaka neizbalansiranost koja dolazi od osetnika, kao ekscentričnost selsina ili neizbalansiranost žiroskopa, ovom metodom može dobiti suprotnu komponentu. Ipak, mogu se pojaviti nepoželjne posledice jer postoji mogućnost da se eliminise i konstantni signal koji je poželjan. U takvom slučaju, sa izlaza integratora vodi se dovoljna povratna sprega na njegov ulaz, da bi se ograničila izlazna amplituda integratora.

*) Preterana korekcija pri upravljanju. — Prim. red.

**) Nedovoljna korekcija pri upravljanju. — Prim. red.



Sl. 272 — Integrator sa motorom promenljive brzine

Komponente napona koje proizvodi izlaz i koje polako variraju mogu se smatrati kao referenca za signale koji se menjaju mnogo brže. Pošto ovaj referentni napon nije fiksiran za određenu vrednost, integralno upravljanje ponекад se naziva plivajuće (lebdeće) upravljanje.

Sledeća važna primena integratora je u inercijalnim sistemima vođenja. Upotrebljavaju se da se iz podataka ubrzanja i brzine izračunaju podatak o dometu.

INTEGRATOR SA MOTOROM PROMENLJIVE BRZINE

Prvi tip integratora koji ćemo opisati jeste tip sa motorom promenljive brzine, koji je u obliku blok-dijagrama prikazan na slici 272. Kratko rečeno, signal, koji treba da bude integriran dovodi se na jedan motor. Brzina motora proporcionalna je ulaznom signalu. Motor je tako napravljen da polako pogoni jedan davač greške. Rastojanje koje pređe davač greške proporcionalno je integralu ulaznog signala. Pod pretpostavkom da je položaj davača u početku bio nula, njegov izlazni napon biće proporcionalan integralu ulaznog signala. Dijagram prikazuje upotrebu linearног potenciometra u cilju detekcije integriranja.

Signal greške najpre se vodi na pojačavač snage, kako bi postao dovoljno jak da pogoni motor promenljivim brzinama. Iza motora se nalazi zupčanički reduktor sa velikom redukcijom da bi se sprečio motor da za vreme normalnog rada integratora odagni kontakt na jedan ili drugi kraj potenciometra. Signal polako raste sa vremenom, u zavisnosti od otklanjanja potenciometra od srednje tačke ili od balansiranog položaja.

Motor se obrće u pravcu koji zavisi od polarieta ili faze ulaznog signala. Ako je motor naizmeničan, integriranje se vrši po obvojnici naizmeničnog signala. U praksi amplituda signala nije konstantna nego nepravilno varira.

Ona čak može da menja smer. Fizički, ovo obrtanje smera proizveće suprotno obrtanje motora.

Ako se pretpostavi da integrator iznenada primi signal amplitude »B«, brzina obrtanja motora proporcionalna je ulaznom signalu, tj.:

$$V_m = K_1 B.$$

Usled toga, kontakt se polako kreće uлево ili уdesno od nultog položaja, i to brzinom koja je proporcionalna brzini motora, tj.:

$$V_c = K_1 K_2 B.$$

Odstojanje koje pređe kontakt jednako je izvodu iz brzine i vremena:

$$d = V_c t, \text{ ili}$$

$$d = K_1 K_2 B t,$$

gde je t vreme za koje konstantna greška egzistira. Izlazni napon jednak je odstojanju kontakta potenciometra od nultog ili izbalansiranog položaja, tj.:

$$E_o = K_1 K_2 K_3 B t.$$

Svaka od tri konstante zavisi od određenih nezavisnih faktora koji potiču od samog uređaja, kao broja obrtaja motora u minuti, prenosa zupčanika i napona kojim se most napaja. One mogu da budu spojene u jednu konstantu:

$$E_o = KBt,$$

gde je:

$$K = K_1 K_2 K_3.$$

Ovo pokazuje da je izlazni napon proporcionalan proizvodu ulaznog napona i vremena. Konstanta proporcionalnosti zavisi od uređaja i mora se usvojiti pri konstruisanju sistema.

Da bi ovaj integrator radio bez greške, moraju biti ispunjena dva uslova: brzina obrtanja motora mora da bude direktno proporcionalna ulaznom naponu greške i izlaz iz potenciometra

uvek mora da je proporcionalan odstojanju koje prede kontakt od nultog položaja.

Ta dva idealna uslova teško je ostvariti u praksi. Na primer, kriva ulazne snage u funkciji brzine obrtanja motora nikad nije potpuno prava linija. Negativna povratna sprega pomoći će da se olakša ovaj problem. Drugi problem zahteva upotrebu linearnih potenciometara. Ako se kao izlazni davač upotrebljava selsin, pojaviće se greška pri velikim otklonima ugla. Eksremi svakog određenog davača određuju radni opseg davača.

Ipak, da bi jedan integrator uspešno funkcionišao u sistemu vođenih projektila on ne mora da bude idealan, pošto se od njega zahteva da radi samo u određenim granicama. Ove granice se određuju za vreme konstruisanja sistema upravljanja i one zavise od aerodinamičnosti projektila i od samog sistema upravljanja.

Početni uslovi. Normalno se davač greške, koji daje ulaz u integrator, dovodi na null položaj pre početka integracije. Ponekad se zahteva da se početni položaj razlikuje od nultog položaja. Integrator će stoga krenuti sa konstantnim izlazom, a svaka promena izlaza zavisiće od ulaza. Takvo predodređenje signala na početku je važno, pošto predstavlja uslov koji treba da postoji na početku integrisanja. Taj uslov se zove početni uslov.

MEHANIČKI INTEGRATOR SA KUGLICOM I DISKOM

Ovakav mehanički integrator upotrebljava se u preciznim računarskim uređajima, na primer u nišanima za bombardovanje i analognim računarima, a može se primeniti i u projektilima. Način rada može mu se poređiti sa načinom

rada integratora promenljive brzine, u kojem brzina zavisi od signala greške. U ovom slučaju brzina motora je konstantna a menja se prenosni odnos reduktora u zavisnosti od signala greške. Na slici 273 prikazan je mehanički integrator sa diskom i kuglicom.

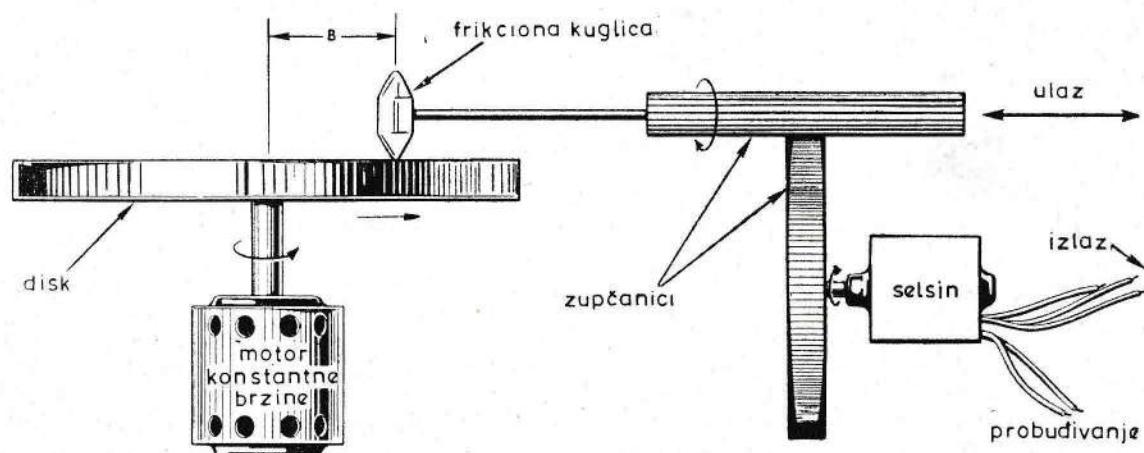
Kuglica se okreće usled dodirivanja sa diskom koji rotira. Kontaktna tačka diska, zavisno od signala greške, menja se od centra diska do njegove periferije. Kada je kuglica u centru ona se ne okreće. Na spoljnoj ivici diska kuglica se najbrže okreće. Rastojanje na kome se kuglica okreće proporcionalno je integralu signala greške u odnosu na vreme. Neka vrsta osetnika detektuje ovo odstojanje.

Amplituda ulaza određena je odstojanjem »B«. Brzina obrtanja selsinskog davača je mala. Ona zavisi od brzine obrtanja diska, odstojanja »B« i prenosnog odnosa zupčanika. Otklon selsina zavisi od brzine i vremena. Za pomeranje u blizini nule izlaz iz selsina će biti:

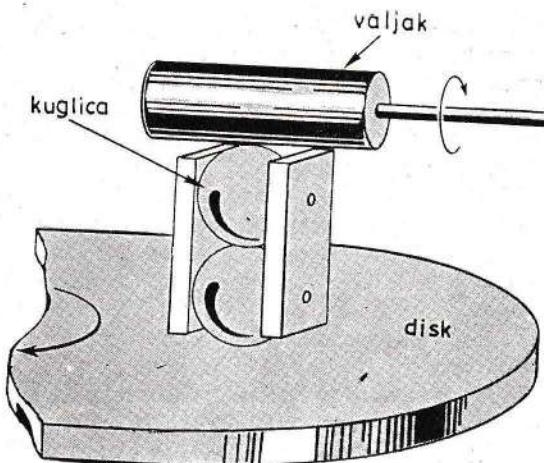
$$E_o = KBt.$$

Ovakav rezultat je dobiven i za integrator sa promenljivom brzinom, mada konstanta proporcionalnosti »K« može biti različita. Kao što pokazuje jednačina, izlazni napon je opet proporcionalan integralu signala u odnosu na vreme.

Gornja jednačina prepostavlja da između diska i kuglice nema klizanja. Pošto klizanje izaziva grešku, kontaktna tačka je pod pritisom. Neprecizna izrada i habanje takođe unose greške. Dodatna kuglica i valjak, koji su prikazani na slici 274, na kojoj se nalazi kontaktni sistem diska, savlađuju izvesne greške tipične za osnovni integrator.



Sl. 273 — Integrator sa diskom i kuglicom



Sl. 274 — Kontaktni sistem integratora

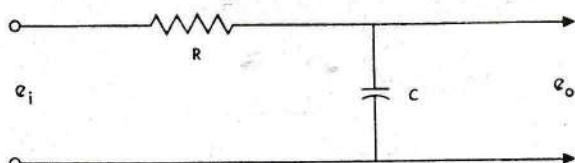
Svaka funkcija u projektiliu obično se integriše u odnosu na vreme. Motor konstantne brzine može da uspostavi vremensku referencu u kojoj određen broj obrtaja diska predstavlja određeno vreme. Ipak, uopšteno govoreći, integrisanje se može pojaviti u odnosu na svaku drugu referencu. U tom slučaju brzina diska menja se tako da predstavlja drugu referencu.

I integrator sa motorom promenljive brzine, i integrator sa motorom konstantne brzine zasnivaju se na činjenici da je pomeranje koje proizvodi neka brzinska funkcija proporcionalno integralu te brzinske funkcije. To je izraženo odnosom:

odstojanje = brzina (srednja) pomnožena sa vremenom gde odstojanje ne zavisi samo od brzine, nego i od vremena za koje postoji ta brzina.

R — C INTEGRATOR

Jedan prost integrator, koji se najčešće upotrebljava, sastoji se od dva električna elementa: otpornika i kondenzatora. Ovo osnovno kolo je prikazano na slici 275.



Sl. 275 — Osnovno kolo R-C integratora

Napon na kondenzatoru je proporcionalan integralu struje punjenja. Ovo se može objasniti ako se zna da napon na jednom kondenzatoru iznosi:

$$E = \frac{Q}{C}$$

Za svaku datu vrednost kondenzatora (C) napon je direktno zavisao od količine elektriciteta (Q) koja je u stvari elektronska neizbalansiranost ploča kondenzatora. Količina elektriciteta zavisi od struje i vremena za koje ta struja protiče. Navedeni uslovi slični su definiciji integriranja, koja je data na početku ovog poglavlja.

Činjenica da je napon proporcionalan integralu struje punjenja daje mogućnost da se R — C kolo upotrebni kao integrator. Napon na kondenzatoru je izlaz iz integratora. Treba обратити pažnju na to da se dovede struja punjenja koja će biti proporcionalna ulaznoj informaciji.

Svrha otpornika je da od ulaznog naponskog signala »e_i« proizvede struju koja će biti proporcionalna naponu. U momentu kada se napon priključi, struja opterećenja je:

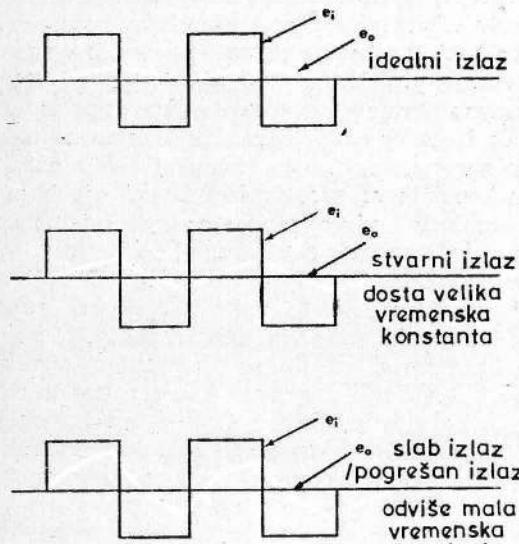
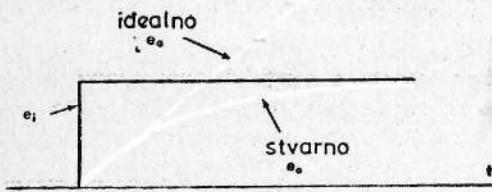
$$I = \frac{e_i}{R}$$

Na žalost, ova proporcionalnost neće se zadržati. Kako se kondenzator puni, njegov napon se suprotstavlja struci punjenja i ona postaje sve manje proporcionalna ulaznom signalu. Rezultirajuća greška izlaza pokazana je prvom krivom »e_o« na slici 276. Idealan izlaz, za konstantni ulazni signal, kao što je prikazano na dijagramu, postojano će rasti. Ovaj postojani porast postići će se samo neposredno posle priključivanja napona, dok kondenzator još nije postao napunjen.

Greška R — C integratora smanjuje se upotrebom kola sa velikom vremenskom konstantom. Takvo kolo sporije puni kondenzator. Rezultat je mnogo tačnije integrisanje ulaznog signala, kao što je prikazano na dve krive koje kao primer upotrebljavaju četvrtast impuls kao ulaz. Idealni izlaz bio bi pravilan trouglasti impuls. Mada velika vremenska konstanta daje mnogo tačnije rezultate, ona za isti ulazni signal daje manji izlaz. Bolje integrisanje postiže se upotrebom pojačavača sa negativnom povratnom spregom i velikim pojačanjem.

R — C INTEGRATOR SA POJAČAVAČEM

Običan integrator, koji je shematski prikazan na slici 277, upotrebljava pojačavač sa velikim pojačanjem, sa kondenzatorom koji predstavlja povratnu vezu za varijacije izlaza. To je Milerov integrator. Pojačavač daje izlaz koji nije ograničen ulaznim signalom, kao što je to slu-



Sl. 276 — Krive pokazuju grešku običnog R-C integratora

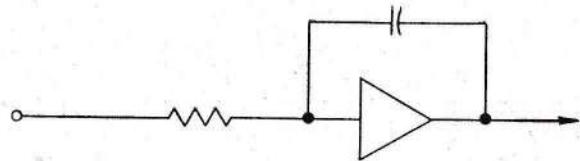
čaj kod običnog R — C integratora. Takođe, pojačavač daje svaku energiju koja se zahteva od izlaza. Funkcija ulaznog signala je kontrola struje opterećenja.

Funkcija se može objasniti ako se pretpostavi da je ulazni signal konstantan, kao što je prikazano na slici 278. Na primer, početni uslovi jednaki su nuli, to jest:

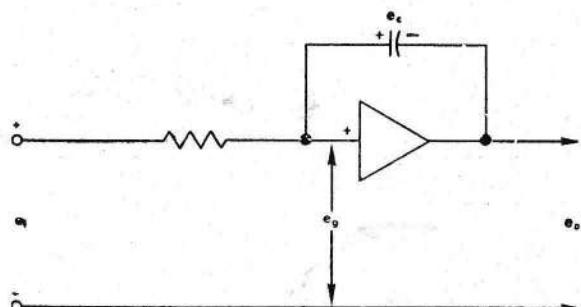
$$e_i = e_g = e_o = 0$$

Treba pretpostaviti da je kondenzator ispraznjen. Tada se dovodi pozitivan napon » e_i « koji treba integrirati. Polaritet kondenzatora za vreme punjenja je ovakav kao što je prikazan na slici, pošto leva ploča kondenzatora privlači elektrone. Na slici 279 je prikazan pravac putanja elektrona pri punjenju integratora.

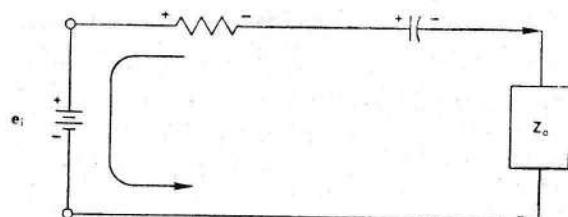
Napon koji se meri na ulazu u pojačavač » e_g « teži da raste u pozitivnom smislu, pošto je tačka vezana direktno na » e_i «. Ovome naponu



Sl. 277 — Pojačavač integrator



Sl. 278 — Pojačavač integrator sa pozitivnim ulazom



Sl. 279 — Putanja elektrona pri punjenju integratora

suprotstavlja se suprotan napon povratne sprege. Izlaz će biti — Ae_g (znakom »A« se obeležava pojačanje pojačavača), a znak minus pokazuje da izlaz u odnosu na ulaz ima suprotan polaritet ili fazu. Izlaz se menja »A« puta brže ili strmije nego » e_g «. Izlazni napon biće negativan i pomagaće punjenje kondenzatora.

Za određeni ulazni napon struja punjenja kondenzatora ograničena je na posebnu vrednost koja nastoji da održi » e_g « praktično jednakim nuli. Ako bi struja prešla tu vrednost, » e_g « bi opalo za mali iznos usled povećanja pada napona na R. Tada bi e_o ($e_o = A e_g$) opalo i struja punjenja kondenzatora opala bi na početnu vrednost. Ako bi inicijalna struja punjenja opala, pojavilo bi se suprotno dejstvo. Prema tome, struja punjenja je stabilizovana na specifičnu vrednost koja je proporcionalna ulaznom naponu. Ovo eliminiše grešku (nju kod običnog RC

integratora prouzrokuje » e_i «) i nepostojanost proporcionalnosti struje punjenja kondenzatora.

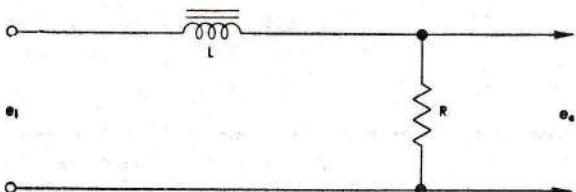
Konstantnu struju punjenja mora da da » e_o « i pored činjenice da se postojano povećanje napona kondenzatora suprotstavlja struci punjenja. Da bi to mogao da uradi, » e_o « u stvari je izlazni napon koji predstavlja integral konstantnog ulaznog signala.

Sličan proces se odvija i u slučaju kod kojeg ulazni signal iznenadno postaje negativan. Ponetreti će tada biti suprotni onima koji su prikazani u datom primeru. Iako su navedeni primjeri prosti, željeni rezultat dobiće se i za mnogo komplikovaniji ulazni signal. Otklanjanje » e_i « imaće mali efekat na izlaz koji postoji u tome trenutku, pošto će se pojačavač suprotstaviti tendenciji kapaciteta za pražnjenje.

Granice » e_o « su određene pojačavačem, a ne vrednošću » e_i « ili opsegom » e_g «. Izlazni stepen biće konstruisan tako da proizvede povećani izlaz za svaku moguću ulaznu amplitudu i za svaki mogući period. Izuzetak od ovoga bio bi integrator koji je konstruisan tako da pored funkcije integratora ima i funkciju ograničavača.

INTEGRATOR TIPA R — L

Kombinacija otpornika i induktivnog namotaja može se takođe upotrebiti kao integrator. Treba обратити pažnju na to da su na slici 280 komponente R — L integratora spojene suprotno od komponenata u R — C integratoru. Ovo



Sl. 280 — Obični R-L integrator

kolo daje isti rezultat kao i RC kolo, a poseduje i iste nedostatke. Usled otpornosti induktivnog namotaja postoji još jedna greška. R — C kolo upotrebljava se mnogo više nego R — L kolo.

TEMPERATURNI INTEGRATOR

Kao integrator za male vremenske intervale može se upotrebiti grejani elemenat čija je temperatura proporcionalna integralu ulazne struje u taj elemenat. Toplotni detektor u ovom slučaju može da posluži kao izlaz iz integratora. Ovakav integrator ima ograničenu mogućnost pamćenja.

INTEGRISANJE POMOĆU VISKOZNOG PRIGUŠENJA — INTEGRISUĆI ŽIROSKOP

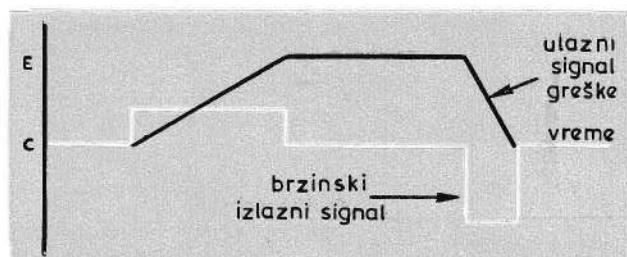
Integrisanje je moguće upotrebom integrisućeg žiroskopa sa viskoznim prigušenjem, onakvog kao što je bio opisan u poglavljju o žiroskopima. Pošto ovaj žiroskop ima samo dva stepena slobode, ne smatra se slobodnim žiroskopom. Funkcija integrisanja proizvodi se kada žiroskop precesira a njegova precesija se ograničava silom koju stvara ulje. Sila, koja prouzrokuje precesiju žiroskopa, proizvodi ugaono skretanje projektila. Precesija integrisućeg žiroskopa nije ograničena samo na nekoliko stepeni, kao što je to slučaj kod brzinskog žiroskopa. Iznos precesije zavisi od sile koja je prouzrokuje i od vremena njenog trajanja. Skretanje vođenog projektila zavisi od brzine i vremena ugaonog kretanja. Zbog toga postoji određeni odnos između ugla žiroskopske precesije i ugla skretanja projektila. Iako sila na žiroskopu zavisi od brzine skretanja, žiroskop daje informaciju skretanja kao rezultat integrisanja, koje je usledilo u elementima žiroskopa.

Sada ćemo objasniti sistem deferenciranja, poslednji od tri osnovna tipa komponenata jednog računarskog elementa.

FUNKCIJE SISTEMA DIFERENCIRANJA

Sistem diferenciranja (diferencijator) je deo sekcijske računara u sistemu upravljanja, pošto on, kao i integrator, obavlja na ulaznom signalu matematičku operaciju. Ipak, ova radnja se mnogo razlikuje od integriranja. Izlazni signal se menja u novi oblik koji predstavlja novu informaciju. Ova informacija popravlja stabilnost sistema upravljanja. Treba se podsetiti na to da ulazni signal prenosi neke vrste informacije o projektilu, na primer grešku položaja, ugaoni otklon, grešku visine, grešku brzine vazdušnog strujanja ili položaj kontrolne površine.

Ukratko, komponenta koja obavlja diferenciranje jeste uređaj koji daje izlaz proporcionalan brzini promene amplitude ulaznog signala. Matematička operacija koja određuje brzinu kojom se neki signal menja zove se diferenciranje. Ako ulazni signal sporo raste ili opada, izlaz iz diferencijatora je mali. Ako se signal menja brže, i njegov izlaz biće proporcionalno veći. I ako je ulazni signal velik, izlaz iz diferencijatora biće nula sve dok se ulazni signal ne bude menjao. Izlaz iz većine diferencijatora menja smer kada se ulaz menja od jednog sig-



Sl. 281 — Brzinski izlaz zavisi od brzine promene ulaznog signala

nala koji raste u signal koji opada. Slika 281 prikazuje izlaz iz diferencijatora za jednostavne ulaze.

Vrlo često se susreću brzinski elementi (diferencijatori). Svaki uređaj koji direktno pokazuje brzinu nekog objekta je diferencijator. Primer za to je brzinomer automobila. Merni signal u brzinomjeru je obrtanje jedne osovine. Pošto se kilometraža prenosi preko jedne ekstremne velike zupčaste redukcije, neophodna je neka vrsta uređaja za osećanje diferenciranja da bi se detektovala i indukovala brzina.

Ovu rotacionu brzinu može detektovati centrifugalna sila ili magnetizam. Na primer, teg je pričvršćen za neki deo koji rotira. Teg je pričvršćen tako da se može otklanjati suprotno naponu opruge. Veličina centrifugalne sile koja nastoji da odgurne teg od osovine zavisi od brzine obrtanja. Prema tome, otklon tega je mera brzine.

Za indikaciju brzine obrtanja može se upotrebiti specijalni generator, pošto je brzina kojom se magnetske silnice sekut određena izlaznim naponom. Tada voltmetar može da se kalibriše u obrtajima na čas, miljama na čas ili nekim sličnim jedinicama.

SVRHA DIFERENCIJALNOG UPRAVLJANJA

Komponente diferenciranja upotrebljavaju se sa ciljem da se poboljša stabilnost sistema. Ovo je uopštena konstatacija, iako se ona može, manje ili više, pripisati svakom uređaju sistema upravljanja. Diferencijalni sistem upotrebljava se u svim operacijama upravljanja gde se zahteva definisan iznos vremena. Kod projektila, korekcija skretanja ne može da se obavi u trenutku kad se pojavi skretanje, jer kad bi to bilo moguće, ne bi ni bilo skretanja. Ovakvo upravljanje bilo bi idealno, ali to je nemoguće pošto sistem, da bi mogao da radi, mora da detektuje neku grešku. Stepen za koji će se sistem približiti idealnoj situaciji zavisi od konstruk-

cije sistema i od zahteva opterećenja, kao što su veličina kormila i aerodinamičnost projektila.

Pošto bi, opisani idealni sistem upravljanja imao vremensko zaostajanje ravno nuli, što znači da projektil uopšte ne bi skretao, teži se da se stvarni sistemi što više približe idealnom. Kormilo i komandne površine konstruisane su tako da se brzo postiže korekcija položaja projektila. Kontrolne površine se pokreću pomoću snažnog pokretanja, koje brzo deluje i koje koristi pojačani signal greške da bi proizveo brz odgovor. Ipak je redukovanje zaostajanja, kada se ostvaruje na ovaj način, ograničeno.

Oscilacije. Može se postaviti pitanje zašto da se ne poveća pojačanje signala greške, koji dolazi od osetnika, tako da se, i ako se pojavi malo odstupanje projektila, proizvede signal, koji bi skoro trenutno korigovao projektil. Do određene granice ova ideja je sasvim u redu. Signal koji je odviše velik vraća projektil preko željene pozicije do neke suprotne greške. Rezultirajuća suprotna greška prouzrokuje skretanje projektila natrag ka prvobitnom pravcu. Rezultat svega su prilične oscilacije oko željelog položaja.

Prigušenje neželjenih oscilacija. Dodavanjem diferencijalnog signala nastaje određeno prigušenje oscilacija. Kao što je poznato, izraz »*Prigušiti*« znači ograničiti ili zadržati. Prema veličini, prigušenje može biti kritično prigušenje, potprigušenje i natprigušenje.

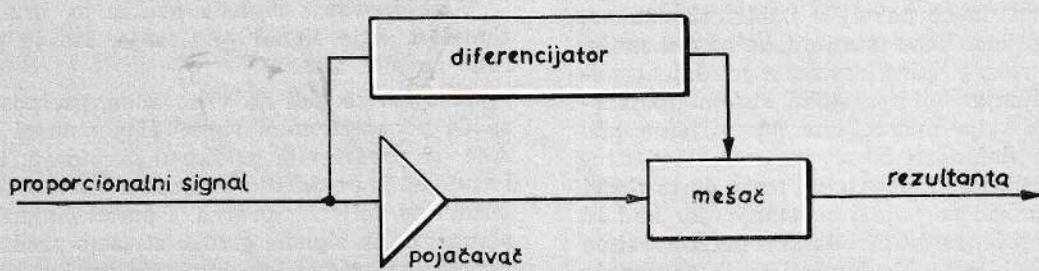
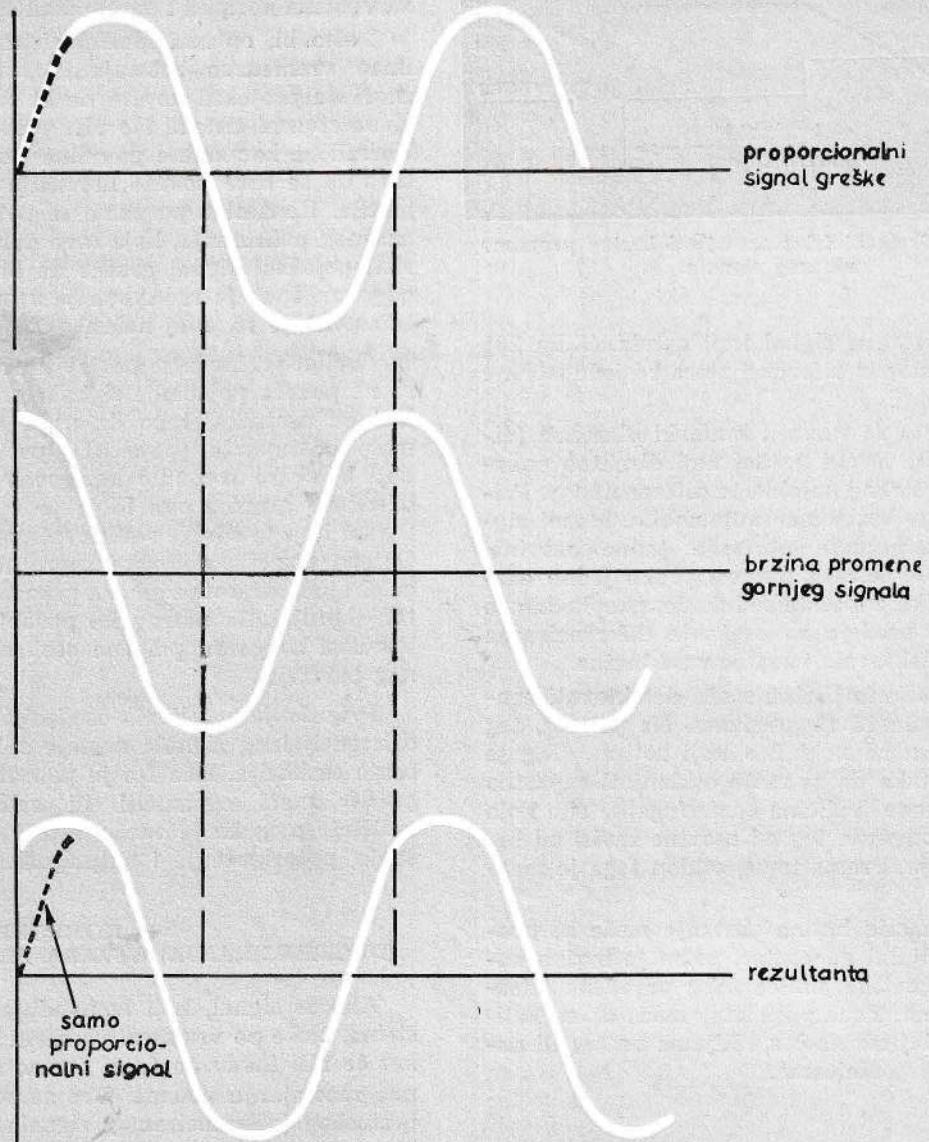
KOMPONENTA BRZINE (DIFERENCIRANJA) STVARA PREDNJAČENJE

Ako se signal, koji komanduje dejstvom sistema, može po vremenu pomeriti unapred, efekat će biti takav da će se osetno smanjiti ukupno zaostajanje sistema. Ovo se postiže pomoću brzinskog (diferenciranog) signala koji se kombinuje sa proporcionalnim signalom da bi se dobio rezultirajući signal koji pretiče izvorni proporcionalni signal.

Kombinovanje signala greške sa brzinskim signalom daje signal preticanja, što je prikazano na slici 282.

Kao što se vidi na vrhu slike, pretpostavlja se da proporcionalni signal ima sinusni oblik. Ako on predstavlja grešku u skretanju, to pokazuje da je projektil skrenuo na jednu ili drugu stranu od željenog pravca. I pored činjenice da sinusni oblik signala greške stvarno predstavlja nepoželjne uslove leta, ovde je upotrebljen jer je kao primer najpogodniji.

Sledeći talasni oblik prikazuje izlaz iz uređaja za diferenciranje kada se kao ulaz upotrebi



Sl. 282 — Način dobijanja signala koji prednjači pomoću diferencijatora

deo proporcionalnog signala. Valja obratiti pažnju na to da je izlaz iz uređaja za diferenciranje ravan nuli u trenutku kad je ulazni signal na maksimumu i da izlaz nema promenu brzine. Kriva greška biće najveća kada se ulazni signal greške menja najvećom brzinom. Ovaj fenomen pojaviće se kada je napon greške jednak nuli. U toj tački izlazni signal je maksimalan i pokazuje maksimalnu brzinu u promeni ulaznog signala.

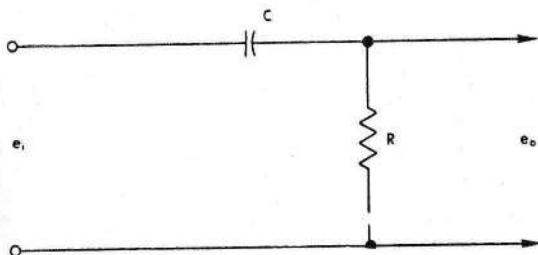
Vektorsko sabiranje dveju sinusoida (diferencirane i proporcionalne), koje nisu u fazi, daje sinusoidu sa fazom negde između dve prethodne sinusoide. Ovaj rezultat je prikazan u trećem redu iste slike.

Dva signala se sabiraju u takvim odnosima da proizvedu najveću osetljivost sistema. Optimalni odnos se određuje iz niza komponenti sistema i aerodinamičnosti projektila. On može da varira sa svakom promenom u konfiguraciji, sa težinom ili sa visinom projektila. Nаравно, da bi se dobilo prihvatljivo ponašanje projektila, veličina diferencijalnog signala treba samo da bude u uskim određenim granicama.

Valja uočiti da diferencijalni izlaz postoji samo kada postoji promena u skretanju projektila. Ako brzinski signal ne bi bio kombinovan sa signalom greške, ne bi postojao način da se upravlja sistemom pri konstantnoj grešci. Tačke se može kombinovati brzinski signal položaja sa signalom vođenja.

KOLO ZA PREDVIĐANJE

Diferencijalna kola često se zovu kola preticanja, kola za fazno preticanje, diferencijatori, ili kolo za predviđanje. Termini su analogni i variraju jedino prema pojmu stvari. Izraz »brzinski« odnosi se na činjenicu da je signal proporcionalan brzini promene ulaznog signala. Izraz »diferencijator« odnosi se na matematičku operaciju pod koju treba podvrgnuti jednačinu ulaznog signala da bi se dobila tačna jednačina izlaznog napona. Na slici 282 vidi se poreklo izraza »kolo za predviđanje« i »kolo za fazno preticanje«.



Sl. 283 — Kola za diferenciranje

Ali zašto uređaj za diferenciranje treba zvati »uređajem za predviđanje«? Potrebno je da se razmotri proporcionalni signal koji je na slici izvučen debelom isprekidanom linijom. Za vreme ovog perioda greška se povećava. Za ovo vreme rezultantni signal je mnogo veći nego što je sama vrednost proporcionalnog signala. Ako bi se projektil polako skretao od želenog pravca, rezultantni signal bi uglavnom bio komponenta proporcionalnog signala.

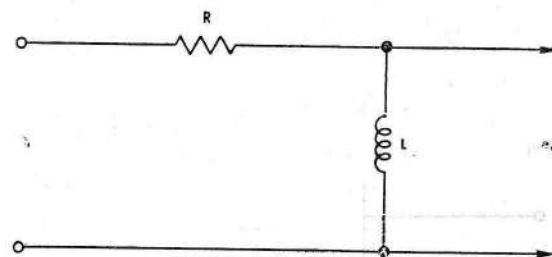
Kada pri brzom skretanju projektila u sistemu signala upravljanja ne bi bilo brzinskog signala, tada bi signal upravljanja izazvao pričično veliko skretanje pre nego što se uspostavi korekcija. Brzinsko kolo »previdi« mogućnost velikih skretanja u odnosu na sadašnja iz postojanja velike promene skretanja i poveća efekat korekcije. Rezultat toga je da projektil sa brzinskim komponentama u sistemu upravljanja neće skretati tako mnogo kao kad njih nema.

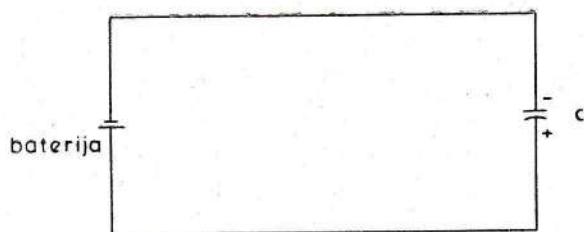
ELEKTRONSKA BRZINSKA KOLA

R — L i R — C kombinacije, koje se upotrebljavaju u elektronskim integratorima, služe takođe i u efektivnim diferencijatorima kada su im komponente spojene, kao što je prikazano na slici 283.

Induktivno kolo proizvodi diferenciranje zato što je promena struje proporcionalna brzini promene struje. Ovde se pretpostavlja da je kalem idealan, bez omskog otpora. Pad napona usled omskog otpora prouzrokuje grešku u izlaznom naponu. Zbog toga se mnogo češće upotrebljavaju R — C kola.

Kapacitivno kolo proizvodi diferenciranje zato što je promena struje proporcionalna brzini promene napona na krajevima kondenzatora. Pad napona na otporniku u kolu zavisi od struje punjenja kondenzatora. Prema osnovnoj teoriji kondenzatora, napon na krajevima kondenzatora određuje se neizbalansiranošću elektrona na njegovim pločama. U kolu na slici 284 baterija prenosi elektrone sa donje ploče na gornju, tako da je » e_c « jednako dovedenom naponu.





Sl. 284 — Teorijsko kolo za diferenciranje

Na primer, napon na bateriji raste polako i uz postojanu brzinu priraštaja. Struja punjenja biće proporcionalna brzini promene napona pošto se » e_g « takođe menja. Prema tome, kondenzator čini osnov kola za diferenciranje.

Teorijsko kolo, koje je prikazano, pošto ne sadrži omski otpor ili neku drugu impedancu, može da radi kao idealni diferencijator. Ipak je nemoguće da se ostvari takav diferencijator, pošto postoje impedance naponskog izvora i žice za povezivanje. Pored toga, potrebna je neka metoda za detekciju struje punjenja. Pošto je struja obično mala, na red sa kondenzatorom postavlja se otpornik, a napon na njemu koristi se kao izlaz. Usled potrošnje energije u otporniku, stvara se greška i zakašnjenje u odgovoru izlaza.

Zakašnjenje postoji usled toga što svako RC kolo ima određenu vremensku konstantu. Na primer, ako se određena brzina na ulazu iznenada promeni na drugu ulaznu brzinu, izlaz iz diferencijatora neće trenutno dati pravu indikaciju novog ulaza. Uzrok ove greške poznat je pod imenom »tranzijent napona«. Upotreba malih R—C vremenskih konstanti umanjuje zakašnjenje odgovora. Ovo takođe smanjuje veličinu izlaza.

U većini slučajeva signal greške kontrolnog sistema modulisan je naizmeničnim naponom od 400 Hz. Pre nego što se ovaj signal dovede na kondenzator kola za diferenciranje, on se demodulira na promenljivi jednosmerni napon. Demodulacija je neophodna zato što je kolo diferencijatora namenjeno da detektuje brzinu

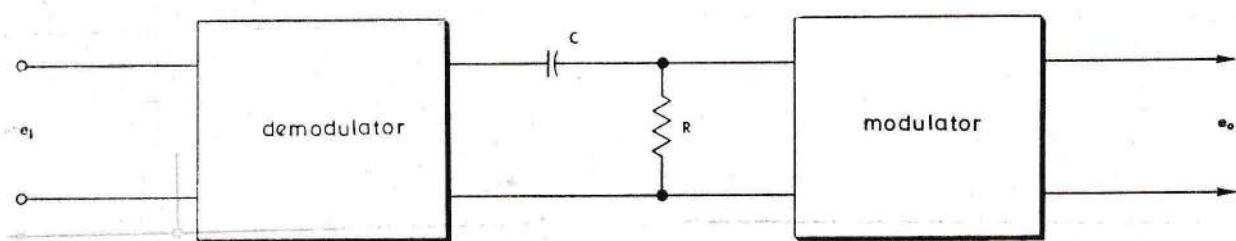
promene amplitudine koja je predstavljena obvojnicom ulaznog signala, a ne varijacijama čija frekvencija iznosi 400 Hz. Kao što je prikazano na slici 285, signal može, pošto prođe kroz kolo za diferenciranje, ponovo da bude modulisan. Modulacija i demodulacija mogu takođe da budu analizirane kao računske funkcije. Slika 286 prikazuje izlaz iz diferencijatora kada ulaz ima oblik četvrtastog impulsa. Prilično tačan izlaz će se dobiti ako vremenska konstanta kola ne pređe četiri puta periodu ulaznog signala. Idealan izlaz je teorijski. Ako se ulaz menjaju trenutno, idealan izlaz će biti beskonačno velik. U praksi je ovaj izlaz ograničen omskim otporom kola.

Upotreba pojačavača, kao što je to bio slučaj kod integratora, otkloniće greške osnovnog R—C diferencijatora. Pojačavač nadoknađuje većinu izgubljene energije i omogućava upotrebu malih vremenskih konstanti zato što povećava izlaz.

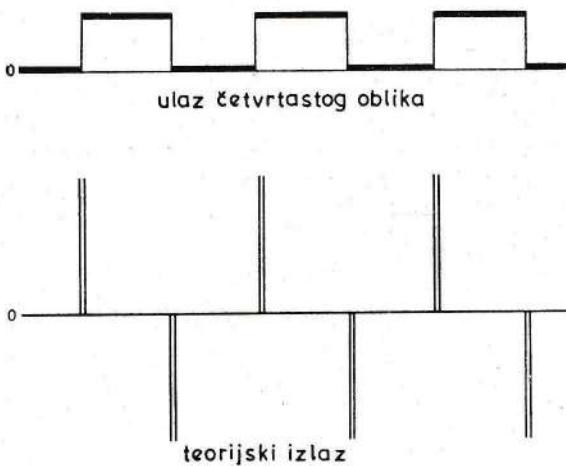
R — C DIFERENCIJATOR SA POJAČAVAČEM

Kao što je prikazano na slici 287, R—C diferencijator sa pojačavačem upravo je suprotan elektronskom integratoru. Kolo ovog diferencijatora ima na ulazu kondenzator a u grani povratne veze otpornik. Pojačavač može da bude sa modulatorom u cilju redukcije drifta i šuma. Pri analizi ovakvog kola normalno je da se prepostavi da pojačavač ima beskonačno pojačanje. Na osnovu ove prepostavke, može se smatrati da je » e_g « jednako nuli. Iako je beskonačno pojačanje neostvarljivo, pojačavač treba da ima vrlo veliko pojačanje. Ako bi se menjao » e_l « i » e_g « bi težio da se menja, ali će se napon negativno povratne sprege praktično suprostaviti promeni » e_g «.

Od tendencije » e_g « za promenom zavisće izlazni napon. Prema tome on će biti proporcionalan brzini promene » e_g «.



Sl. 285 — Brzinsko kolo za modulisani signal



Sl. 286 — Izlazi iz RC diferencijatora

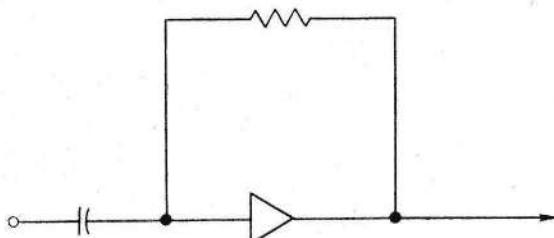
Posmatrajući polaritete moguće je dati istu analizu. Slika 288 prikazuje isto kolo, uz pretpostavku da postoji stalni pozitivni ulazni signal. »C« je napunjen na postojanu vrednost, pa je prema tome ulazni signal:

$$e_g = 0$$

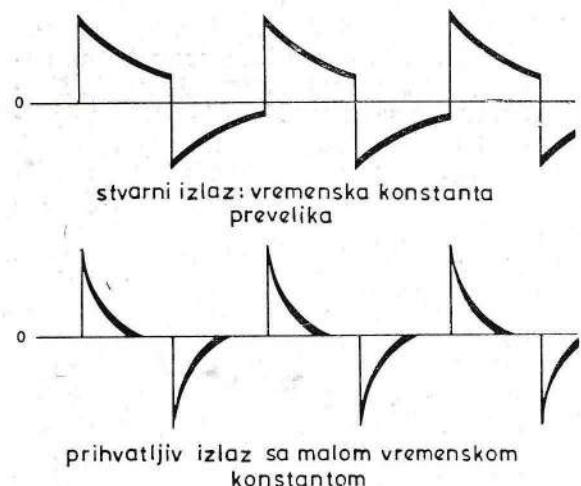
i

$$e_o = 0$$

Na primer, signal greške iznenada naraste. »C« počinje da gubi elektrone s leve strane a dobiva s desne strane. Punjenje »C«-a nastoji da » e_g « raste ka pozitivnim vrednostima. Na izlazu se ovaj proces odražava kao negativan napon koji raste nekom brzinom »A« puta bržom nego ulaz. Struja koju proizvodi izlaz menja »C« brzo na novu vrednost » e_i «. Izlaz je veliki impuls napona koji pokazuje brzu promenu ulaznog napona » e_i «. To je željeni izlaz. Amplituda » e_o « nije ograničena sa » e_i «, kao što je bio slučaj u običnom RC kolu, što omogućava energiju koju daje pojačavač. Ako bi » e_i « opadalo, bio bi proizveden izlazni impuls suprotnog polariteta.



Sl. 287 — RC diferencijator sa pojačavačem



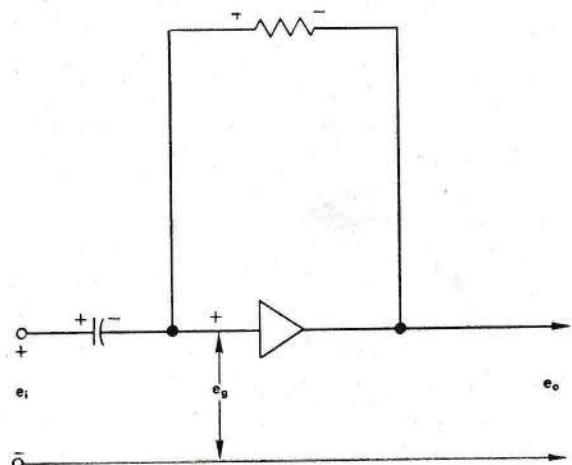
Sl. 288 — Isti RC diferencijator sa pojačavačem sa pozitivnim izlazom

MEHANIČKI DIFERENCIJATOR

Integrator sa kuglicom i diskom, koji je opisan ranije, može da bude spojen na takav način da mu izlaz bude proporcionalan brzini promene koja postoji između dveju promenljivih. Na priklučku je potreban mešać, koji se realizuje pomoću zupčanika (mehanički diferencijal). Način rada mehaničkog diferencijatora neće biti analiziran u ovom priručniku. Uredaj je mnogo podesniji za analogne računare, dok R — C diferencijator sa pojačavačem obezbeđuje dovoljnu tačnost za svrhe projektila.

BRZINSKI ŽIROSKOP

Izdvojeni osetnik često se upotrebljava da bi se proizveo brzinski signal. Za ovu svrhu konstruisan je specijalan tip žiroskopa — brzin-



ski žiroskop. Brzinski žiroskop ima jedan stepen slobode, ali mu je omogućena precesija od nekoliko stepeni i u drugoj ravni. Precesija žiroskopa u ovoj ravni ograničena je pomoću opruge, koje nastaje da ga vrate u srednji položaj. Ma kakva precesija u ovoj ravni dolazi kao rezultat sile na ramovima. Ugaono kretanje kućišta oko neke osovine prouzrokuje ovu силу, koja je proporcionalna brzini skretanja. Veličina malih devijacija žiroskopa je rezultat sile precesije koja mora da nadvlada dejstvo opruge.

Skretanje žiroskopa može se detektovati pomoću davača greške i ono predstavlja brzinski signal. Za svaku ravan kretanja projektila, u kojoj se želi brzinski signal, potreban je izdvojeni brzinski žiroskop. Ovaj brzinski signal obično se kombinuje sa izlazom iz slobodnog žiroskopa. Brzinski žiroskopi su opisani u poglavljiju o žiroskopima.

REKAPITULACIJA RAČUNSKIH FUNKCIJA

Kao što je poznato, brzinski uređaji daju način za kontinualnu kontrolu jednog sistema. Oni predstavljaju treći način kontinualne kontrole koji smo objasnili. Ta tri načina su:

proporcionalni
integralni
diferencijalni (brzinski).

Proporcionalna kontrola upravlja opterećenjem pomoću signala greške, koji je proporcionalan veličini skretanja tela koje se kontroliše iz željene tačke. Osetnik proizvodi ovaj signal. Integralna kontrola upravlja opterećenjem pomoću signala koji predstavlja akumulisanu grešku. Integralni signal proizvode uređaji objasnjeni prilikom opisivanja integratora. Brzinska (diferencijalna) kontrola upravlja opterećenjem pomoću signala koji je proporcionalan brzini sa kojom se skretanje menja. Kada se upotrebni brzinska ili integralna kontrola, izlaz se obično kombinuje sa proporcionalnim signalom da bi se na projektil proizveo željeni efekat. Iako se integralna i brzinska kontrola potiru, ponekad se pojavljuju u istom sistemu. Praktično, svaki sistem sadrži brzinski uređaj pošto omogućuje da projektil brzo reaguje na grešku koja se razvije.

Nije neophodno da se računska operacija vrši na onom mestu, na kojem je naznačena u osnovnom blok-dijagramu. Mešanje signala i razvoj integralnog i brzinskog signala uključuju računske funkcije sistema upravljanja prema položaju gde se odigrava sama radnja.

REFERENTNI ELEMENTI KONTROLNIH SISTEMA

Za naše svrhe, reference kontrolnih sistema podelićemo u tri kategorije. Ove kategorije su: reference napona, vremenske reference i fizičke reference.

Pre nego što opišemo reference napona, prvu kategoriju referenci o kojima ćemo govoriti, bacićemo još jedan pogled na osnovni blok-dijagram sistema upravljanja vođenog projektila, koji je prikazan na slici 289, tako da vidimo gde dolazi »referentni« blok posmatrajući sistem kao celinu.

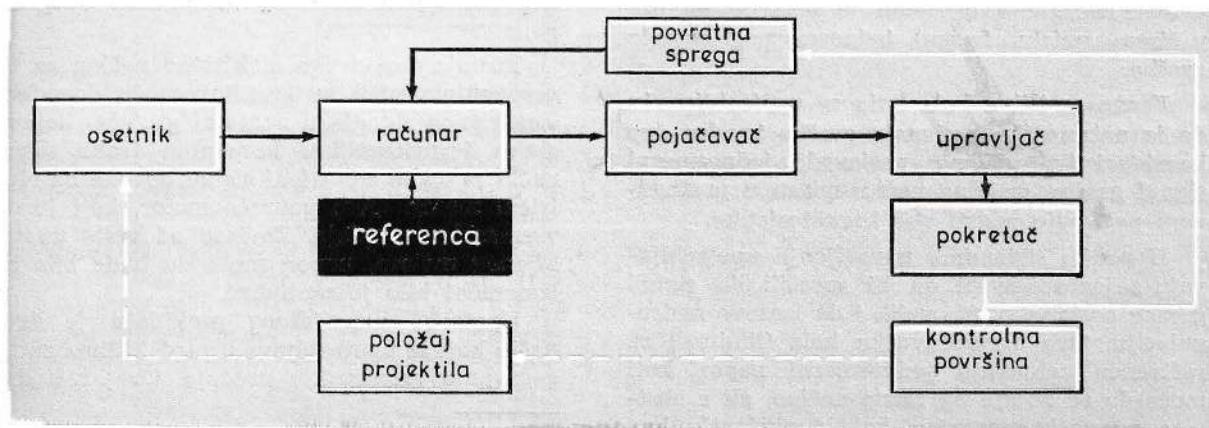
REFERENCE NAPONA

Da nema reference u sistemu upravljanja, sistem ne bi znao kako za neku grešku da izvrši korekciju. Zbog toga, električni sistem upravljanja ne bi mogao tačno da funkcioniše a da nema neku vrstu reference napona.

REFERENCE NAIZMENIČNOG NAPONA

U mnogim postojećim sistemima upravljanja signali greške imaju oblik naizmeničnog napona. Ovi signali greške sadrže dve karakteristike bez kojih sistemi upravljanja ne bi mogli pravilno da obavljaju korekcije. Ove karakteristike su: prvo, veličina skretanja ili veličina greške, i drugo, pravac skretanja ili smer greške.

Veličina skretanja je predstavljena amplitudom signala greške. Kada se povećava veličina skretanja, povećava se i amplituda signala greške. Ako bi usled pokretanja kontrolnih površina došlo do smanjenja veličine skretanja, opadala bi amplituda signala greške. Kada skretanje opadne na nulu, amplituda signala greške takođe opadne na nulu. Prema tome kad nema odstupanja nema ni signala greške. Kod naiz-



Sl. 289 — Principijelni blok-dijagram sistema upravljanja projektila

VREMENSKE REFERENCE

Vreme je drugo sredstvo koje automatskom pilotu može da posluži kao referenca. Prvenstveno, ove reference imaju oblik određenih vremenskih perioda za vreme kojih se obavljaju (ili se ne obavljaju) određene funkcije automatskog pilota. Definicija vremenske reference koja se upotrebljava u sistemima upravljanja je:

Vremenski uređaj koji se upotrebljava da bi za vreme određenog vremenskog perioda kontrolisao specifičnu funkciju automatskog pilota.

KARAKTERISTIKE VREMENSKIH UREĐAJA

Po fizičkim karakteristikama i načinu rada vremenski uređaji mnogo se razlikuju. Neke od ovih fizičkih karakteristika treba pomenuti ovde da bi se bolje razumeli specifični uređaji i njihova primena. Ove karakteristike opet će biti pominjane kada se bude govorilo o raznim vremenskim uređajima. Svi vremenski kontrolni uređaji zahtevaju neki način pomoću koga će biti inicirani ili trigerovani.* Pošto se svi vremenski uređaji u nekom sistemu ne trigeraju istovremeno, svaki od njih mora imati svoj sopstveni triger (okidač).

Za trigerovanje (okidanje) nekog vremenskog uređaja najčešće se upotrebljava neki oblik električnog signala. Ponekad se ovaj električni signal vodi u solenoid čije se jezgro pokreće kada se solenoid pobudi. U ovim slučajevima pokretanjem jezgra trigeruje se vremenski uređaj. Ovaj način primenjuje se naročito kada je solenoid stvarno deo vremenskog uređaja, a ne samo uređaj za trigerovanje. U specijalnim slučajevima naponski ulaz je normalan električni signal na vremenskim uređajima, a trigerovanje nastupa sa nastankom ovog napona.

Postoje dva druga električna načina za trigerovanje. Jedan se izvodi pomoću dovođenja električnog signala u namotaj grejača, koji zagreva termoosetljivu bimetalu traku. Drugi način je da se električni signal dovede na električni motor. Ovaj pokreće motor, koji je deo vremenskog uređaja. Zavisno od vrste upotrebljenog motora, napon može da bude bilo naizmenični bilo jednosmerni.

Upotreba inercijalnog prekidača je drugi način koji se upotrebljava u projektilima za trigerovanje vremenskih uređaja. Ovaj metod je

* Kod nas se za »trigerovanje« upotrebljava najčešće izraz »okidanje«. — Prim. red.

meničnog signala pravac greške određuje se fazom naizmeničnog signala. Kao što se može zaključiti, ovo pomeranje faze samo po sebi ne može da saopšti sistem upravljanja u kom pravcu treba da izvrši korekciju ukoliko ne postoji nešto čime se ova faza može uporediti, a to je referentni naizmenični napon.

Mogu postojati dva pravca skretanja oko svake ose upravljanja. Prema tome, potrebne su samo dve faze da bi se sistemu upravljanja saopštilo u kom pravcu treba da pokrene kontrolne površine za svaku osu posebno. Obično je jedna od ovih faza u fazi sa referentnim naizmeničnim naponom, i zove se nulta faza, dok je druga fazno pomerena za 180° u odnosu na referentni naizmenični napon i obično se zove π (pi) faza.

Upotrebo fazno osetljivih kola, koja po rede fazu signala greške sa naizmeničnim referentnim naponom, automatski pilot može iz signala greške da izvuče informaciju o »pravcu skretanja« i da pokrene komandne površine u tačnom pravcu da bi korigovao grešku položaja.

Ovaj referentni naizmenični napon obično je naizmeničan izvor napajanja sistema upravljanja. On služi takođe i kao pobuđivački napon za osetne elemente koji stvaraju signal greške.

REFERENCE JEDNOSMERNOG NAPONA

Većina mehanizama koji se upotrebljavaju u kontrolnim elementima zahtevaju jednosmerni signal greške, pa je prema tome neophodno da se kaže kako jednosmerni napon može da obezbedi obe karakteristike koje sadrži naizmenični signal greške. Amplitude jednosmernog signala greške pokazuju veličinu skretanja. Pravac skretanja prikazan je polaritetom (ili, u širem smislu, fazom) jednosmernog signala greške.

Fazno osetljiva kola koja se upotrebljavaju da iz naizmeničnog signala greške izvuku dve karakteristike obično proizvode jednosmerni signal greške, koji na način opisan u prethodnom poglavljju sadrži obe karakteristike.

U nekim sistemima upravljanja upotrebljavaju se ograničavači da bi sprečili da signal greške postane suviše velik i da izazove nadregulaciju. Ova ograničavačka kola (limiteri) za referencu zahtevaju jednosmerni napon, koji može da se dobije na razne načine, ali s obzirom na način upotrebe, kola funkcionišu kao deo referentnog elementa sistema upravljanja.

objašnjen kasnije pri opisu pneumatskog vremenskog uređaja sa klipom.

Potreba određenog stepena tačnosti, za svaku specifičnu primenu, veoma utiče na izbor vremenskih uređaja. Za neke upotrebe dozvoljene su relativno male tačnosti vremenskih uređaja. Druge upotrebe mogu da zahtevaju najveći stepen tačnosti koji se može dobiti od vremenskih uređaja.

Kada se vremenski uređaji upotrebljavaju u vođenim projektilima, mora se razmotriti efekat koji na njihovu primenu mogu imati velike promene temperature i pritiska. Promena ulaznog napona može uticati na tačnost nekih vremenskih uređaja koji upotrebljavaju električne motore. Tačnost pojedinih vremenskih uređaja kao i uređaji opisani su kasnije.

Na jednostavnost ili kompleksnost vremenskog uređaja utiče karakteristika koja se može nazvati »obnavljanje dejstva« (»repetition of operation«). Ako neki vremenski uređaj za vreme leta projektila treba da se upotrebni samo jedanput, njegov mehanizam obično radi na jednostavan način. Naprotiv, ako vremenski uređaj treba da se upotrebni više puta za vreme leta projektila, tj. treba da obnavlja svoju funkciju u svakom ponovljenom ciklusu, rad njegovog mehanizma obično će biti komplikovan. Jedini izuzetak od ovoga je završni vremenski uređaj koji se sam repetira bez dodatnog mehanizma.

Većina vremenskih uređaja imaju izlaz u obliku električnog prekidača. Primena vremenskog uređaja će odrediti da li će u normalnom radu kontakt da bude otvoren ili zatvoren.

Ako vremenski uređaj obavlja više od jedne funkcije, postoje dva načina da se izvrši promena u kolu. Prvi način je da se u vremenskom uređaju upotrebi prekidač sa višestrukim kontaktima, te se u ovom slučaju može da otvara ili zatvara veći broj električnih kola. Drugi način sastoji se u iskoriscavanju jednopolnog prekidača, koji uključuje ili isključuje rele koje ima potreban broj kontakta.

PRIMENE VREMENSKIH UREĐAJA

Neke od primena vremenskih uređaja, koje su opisane kasnije u tekstu, ne mogu striktno imati funkcije sistema upravljanja, ali su ipak objašnjene dovoljno jer se koriste u raznim sistemima. Neke od primena mogu se smatrati kao funkcije vođenja, a neke kao funkcije lansiranja ili funkcije sistema napajanja. Vremenski uređaji za kontrolu imaju široku primenu.

Jedna od prvih primena vremenskih uređaja u projektilima bila je da drže žiroskop zabravljen za vreme velikih ubrzanja u periodu lan-

siranje. Trigerovanje vremenskih uređaja, koji se upotrebljavaju za ove svrhe, može se obaviti pomoću napona dobijenih od zemaljske opreme za vreme priprema lansiranja, ili pomoću inercijalnog prekidača, koji bi se zatvorio upravo pošto projektil napusti lanser.

Vremenski uređaj može da bude upotrebljen za trigerovanje drugih vremenskih uređaja, kao što je slučaj u JB-2 (vođena bomba). U ovom projektu mehanički vremenski uređaj bio je upotrebljen da bi u određeno vreme posle lansiranja okidao druge mehaničke vremenske uređaje. Drugi vremenski uređaj bio je upotrebljen da bi precesirao žiroskop pravca za određeni ugao. Vreme koje se nanese na drugi vremenski uređaj kontrolisalo je veličinu ugla obrtanja.

U mnogo slučajeva upotrebljeni su vremenski uređaji za precesiranje žiroskopa i postavljanje određenog ugla obrtanja. Ovo obrtanje je obično oko ose skretanja, ali u nekim sistemima vođenja za završni deo putanje, žiroskop se precesira oko ose propinjanja da bi se projektil doveo u poniranje. Vremenski uređaji koji se upotrebljavaju za precesiranje žiroskopa treba da budu tačni.

Vremenski uređaji imaju široku primenu u programnim sistemima. Neki vremenski uređaji će isključiti sistem za napajanje, ukoliko busteri nisu aktivirani u određenom vremenskom periodu, pošto je sistem za napajanje razvio određenu brzinu ili potisak. Ovo obezbeđuje jedan bezbednosni period za oticanje pogrešnih funkcija. Vremenski uređaji često kontrolišu rad paljenja buster, a često su upotrebljeni i u programnim sistemima lansera za kontrolu visine penjanja projektila.

Upotreba vremenskih uređaja za komandno vođenje je još jedna od njihovih primena. Vremenski uređaj kontroliše rele koji ostaje pobuđeno za sve vreme za koje postoji komandna noseća učestanost. Ako se noseća učestanost izgubi, rele okida vremenski uređaj. Pošto prođe određeno vreme, ukoliko noseći talas nije bio primljen, vremenski uređaj obavi svoju funkciju i omogući unapred postavljenoj funkciji komandnog sistema vođenja da stupi u dejstvo. Opitni centar Vazduhoplovnih snaga za projektil (The Air Force Missile Testing Center) na ovaj način primenjuje vremenske uređaje pri ispitivanju projektila. Uređaj postavi projektil da se okreće dok on ponovo ne primi kontrolnu noseću učestanost.

Jedna druga specifična primena vremenskih uređaja je u vezi sa sistemima za upravljanje i opsluživanje žiroskopa. Za vreme jednog vremenskog zakašnjenja, koje uspostavi vremen-

ski uređaj, žiroskop precesira mnogo većom brzinom nego pod normalnim uslovima rada. Pošto je prošao taj vremenski period, vremenski uređaj uspostavi kolo koje omogući žiroskopu da procesira njegovom normalnom brzinom.

MEHANIČKI VREMENSKI UREĐAJI

Satni mehanizam je jedini mehanički vremenski uređaj koji je bio upotrebljen u sistemu projektila. Njegov način rada sličan je načinu rada običnog budilnika. Na običnom budilniku može da se podešava vreme aktiviranja zvona do dvanaest časova, dok se na satnom mehanizmu, koji se upotrebljava kao vremenski uređaj, obično može postaviti relativno kratak period od nekoliko sekundi ili minuta. Budilnik se pokreće energijom koja je akumulisana u glavnoj opruzi pomoću okretanja jednog dugmeta na poledini budilnika. Vremenski uređaj na principu satnog mehanizma uglavnom se pokreće na isti način. Da bi se nanelo vreme zadržavanja, dugme na prednjoj strani vremenskog uređaja treba okrenuti tako da strelica na skali pokazuje željeno vreme. Ovo daje energiju glavnoj opruzi vremenskog uređaja i odgovara navijanju budilnika.

Kada dođe vreme, koje je na budilniku uspostavljeno, zvoni zvono; kada prođe vreme koje je postavljeno na vremenskom uređaju, zatvara se jedan prekidač (ili se otvara, što zavisi od načina primene vremenskog uređaja).

Uređaj za postavljanje vremenskog zadržavanja u satnom mehanizmu ne može se upotrebiti za vreme leta projektila pa je neophodna neka vrsta veze za okidanje. Ova veza obično se sastoji od jedne hvataljke koja se može opustiti ako se pobudi jedan solenoid. Ova vrsta vremenskog uređaja može se upotrebiti samo jedanput za vreme leta projektila i njegova tačnost je zadovoljavajuća.

Dve specifične primene satnog vremenskog uređaja bile su u kontrolnom sistemu JB-2, koji je opisan u glavi 7, poglavlje 1. U ovome sistemu petominutni satni mehanizam okida šezdesetsekundni satni vremenski uređaj. Vremenski uređaj koji se može upotrebiti za svako vreme od pet minuta okida se u momentu lansiranja

i određuje vreme zadanog zaokreta. Vremenski uređaj, koji može da se postavi na svako vreme do šezdeset sekundi, precesira žiroskop pravca na konačni kurs.

ELEKTRIČNI VREMENSKI UREĐAJI

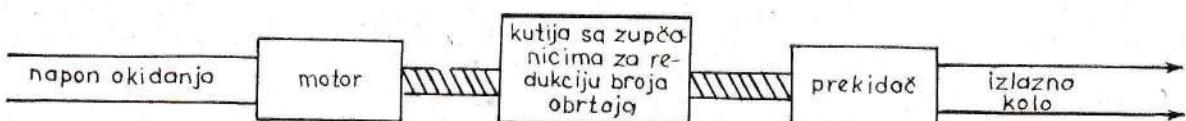
Dve vrste električnih vremenskih uređaja, koji će ovde biti opisani, jesu vremenski uređaji sa motorom i završni vremenski uređaji. I u jednim i u drugim uređajima okidanje obavlja električni signal. Kada se na vremenske uređaje priključi napon, počinje interval vremena ili period kašnjenja.

Vremenski uređaji sa motorom. Najprostiji vremenski uređaj sa motorom, koji je prikazan na slici 290, poseduje principe rada svih vremenskih uređaja sa motorom.

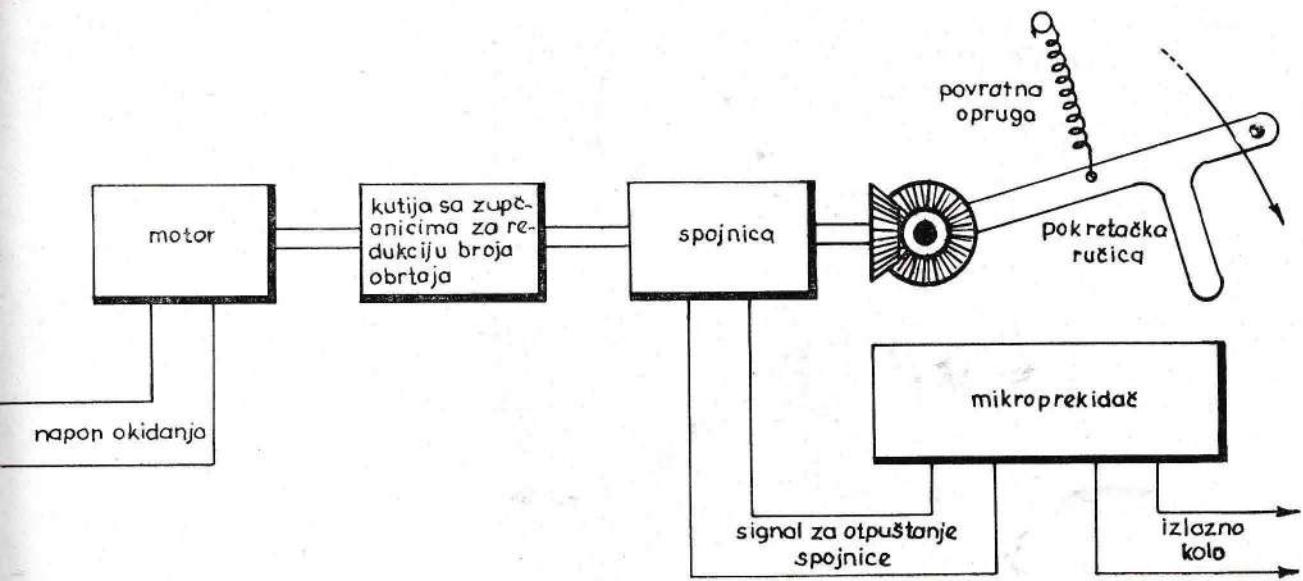
Napon okidanja pogoni motor. Zupčasti prenos reducira brzinu obrtanja osovine motora. Brzina je takva da izlazna osovina iz kutije za redukciju ne napravi pun obrt za vreme zahtevanog vremenskog perioda kašnjenja. Na primer, ako je potrebno kašnjenje od trideset sekundi, brzina izlazne osovine iz kutije za redukciju treba da bude oko jedan ili dva obrta u minuti. Jedna ručica je priključena na izlaznoj osovinu iz kutije zupčanika. Vreme koje je potrebno da ručica pređe od startnog položaja do tačke koja zatvara prekidač je vreme kašnjenja vremenskog uređaja. Ovaj prosti mehanizam može se upotrebiti samo jedanput za vreme leta projektila. Ako se zahteva repetiranje za vreme leta, mehanizam bi bio mnogo kompleksniji, kao što se vidi na slici 291.

Ponovo su prisutne osnovne komponente: kolo za okidanje, motor, kutija za redukciju broja obrtaja i prekidač na izlazu, ali je dodato još nekoliko stepena, koji omogućuju da vremenski uređaj automatski obnavlja svoje cikluse. Mehanizam sa spojnicom je neophodan da bi se mogla prekinuti veza između pogonske ručice i kutije zupčanika. Kada spojnica oslobođi pogonsku ručicu opruga je vraća natrag u njen prvobitni položaj.

Mikroprekidač, kao što je na slici prikazano, uspostavlja kontakte. Jedan prekidač je u izlaznom kolu vremenskog uređaja. Drugi prekidač otvara ili zatvara kolo spojnice. U slučaju koji



Sl. 290 — Način rada običnog vremenskog uređaja sa motorom



Sl. 291 — Način rada vremenskog uređaja sa motorom za obnavljanje ciklusa

je prikazan na slici 291 solenoid će verovatno upravljati spojnicom. Stvarni detalji kola solenoida zavise od konstrukcije spojnice. Za upravljanje spojnicom može se upotrebiti drugi način u istoj vrsti mehanizma, koji je gore opisan. U ovom slučaju napon za okidanje pobuduje takođe solenoid koji spaja spojnicu dok se motor okreće. Kada se napon za okidanje isključi, solenoid otpusti spojnicu i vremenski uređaj se automatski vrati u prvobitni položaj, s tim što je spreman za novi ciklus.

Spojnice se mogu otpustiti i na drugi način — korišćenjem mehaničkih sredstava. Za otpuštanje spojnice može se upotrebiti poluga, koja deluje kada se na nju pritisne pogonska ručica. Koji će se način otpuštanja spojnice upotrebiti zavisi od načina primene vremenskog mehanizma.

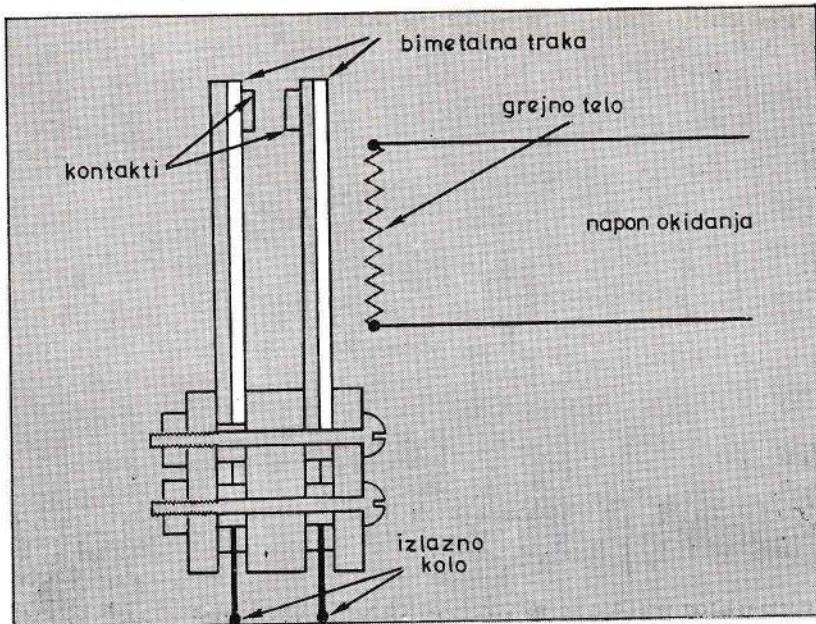
Ako se od vremenskog uređaja sa motorom prvenstveno zahteva tačnost, mehanizam mora da dobije još neke dodatke. Većina motora menjaju brzinu ako se menja ulazni napon. Ipak, ovo ne važi za sinhroni motor. Kada se u vremenskom uređaju upotrebljava ovakav motor nije potrebno da se reguliše napon, ali da bi vremenski uređaj bio tačan kada se upotrebljavaju drugi, a ne sinhroni motori, neophodno je da se reguliše bilo brzina, bilo ulazni napon. Postoje električna kola koja mogu da regulišu ulazni napon. Ako je potrebno da se reguliše brzina, da bi se dobila još veća tačnost, kao regulator se upotrebljava specijalni satni mehanizam. Momenat motora daje pogonsku snagu satnom mehanizmu za regulisanje brzine.

Lako se može videti da vremenski uređaj postaje sve komplikovaniji što su rigorozniji zahtevi u pogledu tačnosti.

Termoelektrični vremenski uređaji. Cevi sa topotnim kašnjanjem i relei sa topotnim kašnjanjem bili su neko vreme upotrebljavani da bi obavljali funkcije vremenskog kašnjanja. Velika prednost ovih vremenskih uređaja nad drugim je lakoća kojom oni obnavljaju svoje cikluse. Za ovo oni ne zahtevaju dodatna kola ili mehanizme. Međutim, vremenski uređaji imaju i jedan veliki nedostatak, a to je mala tačnost. Tačnost ovih vremenskih uređaja je relativno slaba i u poređenju sa ostalim vremenskim uređajima koji su opisani u ovom poglavljju.

Na slici 292 prikazana je cev sa topotnim kašnjanjem. Njene komponente su: dve bimetalne trake, grejno telo, par kontakta i sredstvo za držanje prostornog odstojanja između bimetalnih traka. Sa porastom temperature traka se naginje prema drugom kontaktu. Kada se bimetalna traka dovoljno zagreje, kontakti se spoje i zatvore izlazno kolo iz vremenskog uređaja. Veličina vremenskog zakašnjavanja zavisi od odstojanja između kontakta, to jest od toga koliko treba da se savije bimetalna traka da bi spojila kontakte. U ovom slučaju vremensko kašnjivanje je određeno unapred, a elementi se postavljaju u cev sa vakuumom, koja onemoćava ma kakvo naknadno podešavanje vremena kašnjavanja.

Tačnost zavisi od tačnosti napona koji se dovodi na grejno telo. Isto tako, na tačnost će uti-



Sl. 292 — Bimetalni vremenski rele

cati i to, ako bimetala traka nije dovoljno ohlađena pre sledeće upotrebe vremenskog uređaja, jer u tom slučaju topotni elemenat neće da zahteva isto vreme da bi dostigao temperaturu na kojoj se kontakti spajaju.

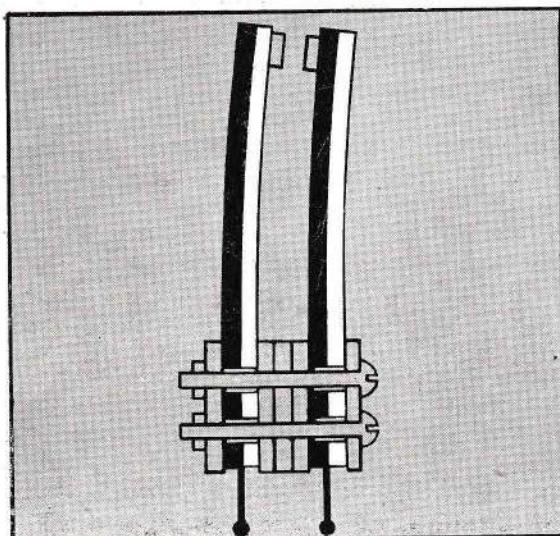
Iako temperatura okoline utiče na tačnost signalnih uređaja za vremensko kašnjenje sa topotnim efektom, ona malo utiče na neke od sledećih vremenskih uređaja. Temperatura okoline može imati širok opseg, približno od -50° do $+70^{\circ}\text{C}$, a da ozbiljno ne utiče na rad uređaja za vremensko kašnjenje sa topotnim efektom.

Ova delimična neosetljivost na temperaturu okoline postiže se postavljanjem dveju bimetalnih traka i pričvršćenjem po jednog od kontakta na svaku od njih, što je prikazano na slici 293. Kada se menja temperatura okoline podjednako se menja temperatura svake bimetalne trake. Promene u temperaturi okoline izazivaju istu veličinu promene temperature na svakoj traci, zato što su dve trake napravljene od dva ista metala i iste su veličine. To je prikazano na slici 293.

Vremenski uređaji sa bimetalnim releom obično nemaju kompenzaciju za temperaturu okoline, usled čega ih treba upotrebljavati u uređajima čija se temperatura reguliše. Na vremenskim uređajima sa bimetalnim releom moguće je podešavati vreme kašnjenja. Na slici 294 prikazan je zavrtanj za podešavanje, pomoću koga se može menjati rastojanje između kontakta.

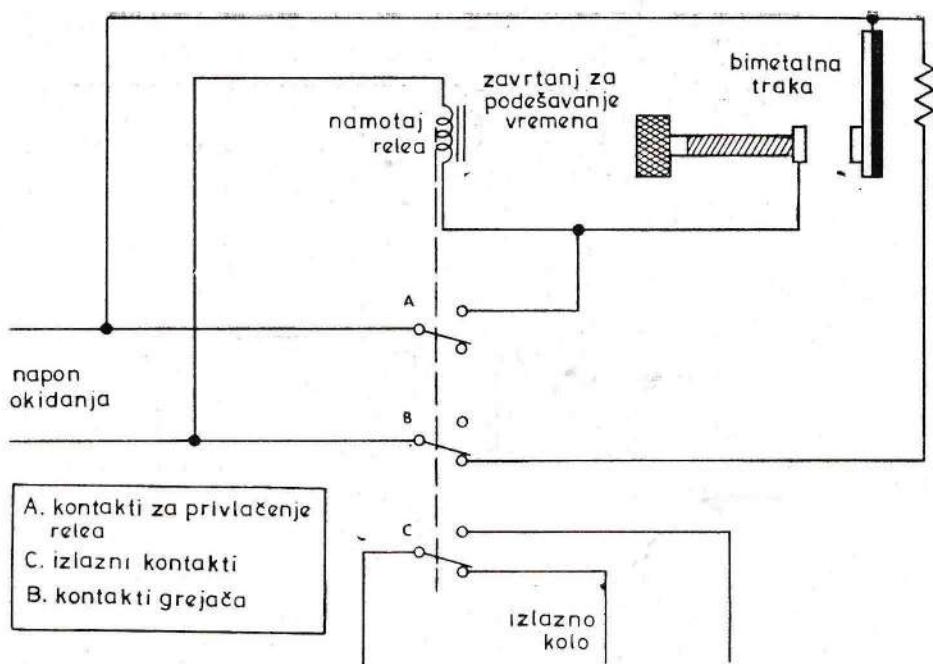
Bimetalno rele za vremensko kašnjenje koje je prikazano može se smatrati kombinacijom vremenskog uređaja i releja koji su ugrađeni u jedan elemenat.

Kada kolo za okidanje dovede signal, napon na grejno telo dovodi se preko relejskog kontakta »B«. Kako se zagreva bimetala traka, njeni kontakti se približavaju. Posle određenog perioda vremena, kontakti se zatvore i dovede se napon iz kola za okidanje na namotaj releja. Kada se pobudi kolo releja, promene se sva stanja kontakta na njemu. Kontakt »A« se postavi paralelno sa kontaktom na bimetaloj traci i stalno održava namotaj releja u pobuđenom



Sl. 293 — Bimetalni vremenski rele u ekstremnoj temperaturi okoline

Sl. 294 — Podešavanje vremena na bimetalnom vremenskom releu



stanju. Kontakt »B« prekine kolo grejnog tela pa ono počinje da se hlađi. Ako se namotaj relea jedanput pobudio, kontakt »A« se zatvorio, bimetalna traka je ispunila svoj zadatak i vremenski uređaj, ako mu je omogućeno da se ohladi, neće više da stupa u dejstvo. Kontakt »C« je sastavni deo izlaznog kola. Isključenjem napona okidanja prekinuće se pobuna relea i ova vrsta vremenskog uređaja lako će moći da ponovi istu operaciju u sledećem ciklusu. Vremenski uređaj će automatski biti spreman da opet ponovi svoj ciklus rada.

PNEUMATSKI VREMENSKI UREĐAJI

Kod pneumatskih vremenskih uređaja period vremena se određuje pomoću malog otvora kroz koji vazduh mora da prođe.

U poređenju sa drugim vrstama vremenskih uređaja, koji su opisani, ovi vremenski uređaji nisu naročito tačni. Faktori koji utiču na tačnost su atmosferski pritisak i promena temperature vazduha koji se nalazi u uređaju. Kao što je pomenuto, kod ovih vremenskih uređaja postiže se vremensko kašnjenje pomoću istiskivanja vazduha kroz neki mali otvor. Na tačnost će uticati promena gustine vazduha ili promena nivoa pritiska između vazduha u vremenskom uređaju i atmosferu, što se sigurno događa u projektu, koji je u pokretu. Ova vrsta vremenskog uređaja je prikladnija za operacije u fazi lansiranja, zato što takav uređaj tada obavlja svoje funkcije pod istim atmosferskim uslo-

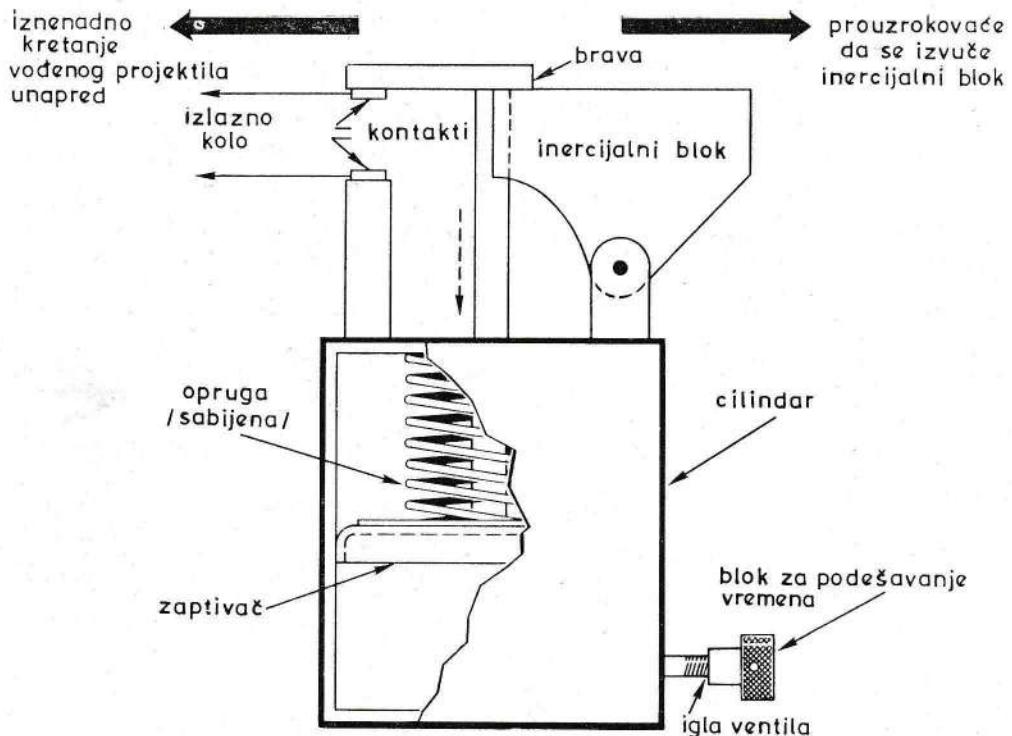
vima pod kojim je podešeno vremensko kašnjenje.

Da bi se lakše objasnili, pneumatski vremenski uređaji podeljeni su u dve grupe: pneumatski vremenski uređaji sa klipom i pneumatski vremenski uređaji sa dijafragmom.

Pneumatski vremenski uređaji sa klipom. Na slici 295 je prikazan pneumatski vremenski uređaj sa klipom.

Ovaj vremenski uređaj može se po svom radu uporediti sa ručnom pumpom. Kada se povuče ručica ručne pumpe, vazduh prolazi oko kožnog zaptivača. Isto se događa i kod ovog vremenskog uređaja. Kada se pritisne na ručicu ručne pumpe, iz nje se istiskuje vazduh kroz otvor na njenom kraju. U vremenskom uređaju sila opruge deluje na klip i vazduh u cilindru prolazi kroz otvor ventila. Svaki put kada je vremenski uređaj napet, opruga daje istu силу. Podizanjem klipa i zapinjanjem hvataljke na inercijalni blok napinje se vremenski uređaj. Pošto opruga svaki put daje istu силу, vreme koje je potrebno vremenskom uređaju da zatvori kontakte izlaznog kola zavisi od veličine otvora na ventilu i odnosa unutrašnjeg i spoljnog pritiska vazduha. Skica ventila je prikazana na slici 296. Igla i cevica ventila konični su tako da se procep između njih sužava kada se uvrće zavrtanj za podešavanje.

Inercijalni blok je triger ovog vremenskog uređaja. Sastoji se od metalnog bloka, koji ima dovoljnu masu da bi se povukao natrag kada



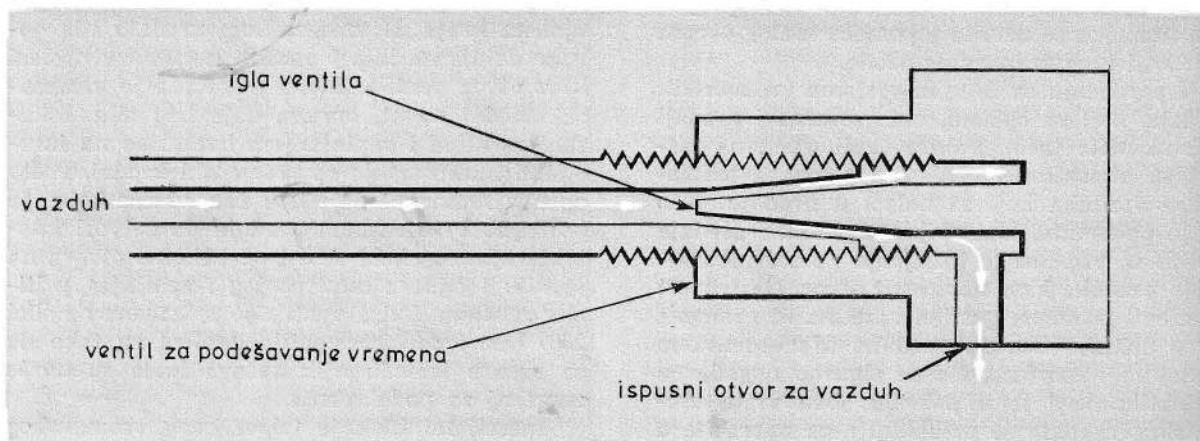
Sl. 295 — Pneumatski vremenski uređaj sa klipom

se podvrgne velikom ubrzaju, od čega je i nastao izraz inercijalni blok. Ovaj način trigerovanja ukazuje na to da se ovaj vremenski uređaj može upotrebiti jedino za vreme faze lansiranja.

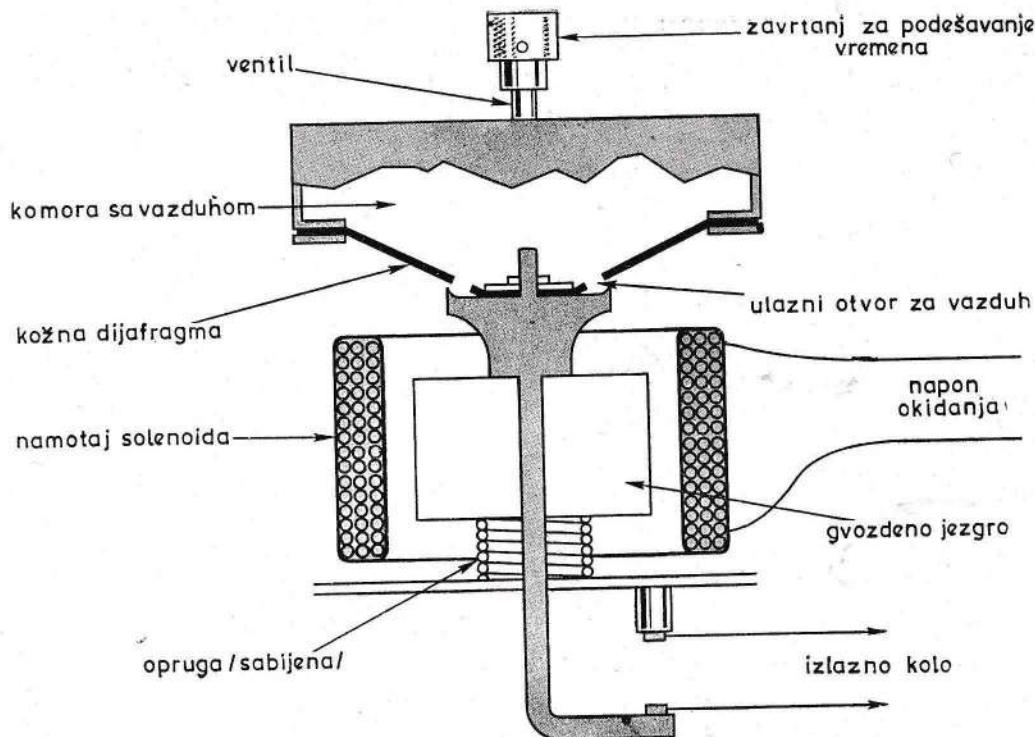
Vremenski uređaj sa dijafragmom. Pneumatski vremenski uređaj sa dijafragmom radi na istom principu kao i pneumatski vremenski uređaj sa klipom. Vazduh se uvlači a zatim ispušta kroz mali otvor. Vremensko kašnjenje

je određeno vremenom koje je potrebno da vazduh izade kroz otvor. Jedan primer pneumatskog vremenskog uređaja sa dijafragmom je prikazan na slici 297. Crtež prikazuje vremenski uređaj, koji je pripremljen da obavi vremensko zakašnjenje.

Normalni signal za ovaj vremenski uređaj je napon koji solenoid održava pobuđenim. Kada je namotaj solenoida pobuđen, on gura čelično jezgro nadole i na taj način pritiska op-



Sl. 296 — Ventil pneumatskog vremenskog uređaja sa klipom



Sl. 297 — Pneumatski vremenski uređaj sa dijafragmom

rugu. Kada je čelično jezgro u donjem položaju, dijafragma je zategnuta i omogućava vazduhu da napuni komoru za vazduh kroz otvor za ulaz vazduha.

Vremenski uređaj se okida prekidanjem naponu na solenoidu. Kada se to uradi, opruga pritiska polugu za pritiskanje na dijafragmu, zatvara ulazne otvore i polako istiskuje vazduh iz komore kroz ventil. Opet, zavrtanj za podešavanje reguliše otvor ventila a samim tim reguliše vremenski period koji je potreban da bi se zatvorili izlazni kontakti.

Ovaj vremenski uređaj je prilično tačan u poređenju sa drugim pneumatskim vremenskim uređajima i ne zahteva nikakav specijalni mehanizam, koji bi mu omogućio da obnavlja ciklus rada. Kada se napon ponovo dovede na solenoid, vremenski uređaj se pripremi za novi ciklus rada.

Vremenski uređaji se upotrebljavaju skoro u svim sistemima upravljanja. Razumljivo je da određeni vremenski uređaj može da obavi veći broj raznih funkcija. Upotrebu vremenskog uređaja diktiraju zahtevi projektila. Neki vremenski uređaji isključivo su sigurnosni uređaji koji moraju da se upotrebe za vreme razvoja projektila.

FIZIČKE REFERENCE

Osim napona i vremena postoji mnogo drugih referenci za sistem upravljanja projektila. Sve one mogu da se grupišu u grupu fizičkih referenci. Ove reference su prostor, gravitacija, zemljino magnetsko polje, barometarski pritisak i telo projektila.

U izvesnoj meri sve one daju referencu većini sistema upravljanja projektila. Prvenstveno, one formiraju grupu referenci od kojih osetni elementi formiraju signale greške.

Ovde će biti ukratko opisane sve fizičke referenice, što će upotpuniti pregled o elementima za reference i bliže objasniti osetne elemente koji se koriste ovim referencama.

Žiroskopi, s obzirom na njihove karakteristike, su osetni elementi koji se koriste prostorom kao referencom. U prostoru je uspostavljena referentna ravan i žiroskop oseća svako odstupanje od te referencije.

Masa zemlje privlači svako telo na površini zemlje velikom silom; ovo svojstvo se zove gravitacija. Koristeći se ovim privlačenjem kao referencom, klatno pokazuje tačku u kojoj je privlačenje najveće. Neki žiroskopi se precesiraju u vertikalnu referencu pomoću davača

greške na principu klatna i sistema za korekciju. Oni se obično zovu vertikalnim žiroskopima i kontrolišu položaj projektila u ravni propinjanja i valjanja.

Linije fluksa zemljinog magnetskog polja služe već mnogo godina kao reference pri upotrebi kompasa. Kompas se ne može upotrebiti u sistemu upravljanja projektila, ali postoji električni uređaj koji oseća Zemljino magnetsko polje i koji se može upotrebiti u sistemu upravljanja. Ovaj instrument poznat je pod imenom fluksne cevi. Te cevi se prvenstveno upotrebljavaju da slobodni žiroskop održe u datom pravcu u odnosu na Zemljino magnetsko polje. Ovaj žiroskop obično kontroliše kanal skretanja u automatskom pilotu.

Pritisak se koristi u aeronaustici već dugo vremena za pokazivanje visine. Projektil takođe može da se koristi visinomerom koji meri barometarski pritisak i daje signal greške ukoliko projektil nije na nekoj unapred određenoj visini.

Drugi instrument koji kao referencu upotrebljava atmosferski pritisak jeste indikator brzine vazdušnog strujanja. On upoređuje sta-

tički barometarski pritisak vazduha sa pritiskom vazduha ispred nosa projektila. Razlika, koja se dobije iz ovog poređenja je indicirana brzina vazduha.

Telo projektila je takođe referenca. Pomeranje kontrolnih površina ne može kao referencu da ima vertikalu ili neki dati pravac, zato što bi se ta referenca menjala sa promenom položaja projektila. Lakše je da se pomeranja kontrolne površine daju u odnosu na telo projektila kao na referencu.

Za indikaciju ugaonog položaja kontrolnih površina u odnosu na telo projektila upotrebljavaju se selsini. Potenciometar se takođe može upotrebiti za indiciranje ugaonog položaja kada mu se telo pričvrsti za telo projektila, a klizač mu se pokreće zajedno sa kontrolnom površinom.

Osetni elementi automatskog pilota klasifikovani su ovde prema referencama koje osećaju. Šire informacije o osetnim elementima nalaze se u poglavlju 1 ove glave.

Ovim se završavaju komponente referentnih elemenata. Sledеće poglavlje tretira elemente pojačavača.

POJAČAVAČI SISTEMA UPRAVLJANJA

Pojačavač je uređaj koji obično sadrži jednu elektronsku cev ili više takvih cevi, a čiji izlaz predstavlja uvećanu reprodukciju ulaznog signala. Pojačavači napona konstruišu se tako da na opterećenju u anodnom kolu pojačavača razviju napon koji je povećan što je moguće više puta. Pojačavači snage konstruišu se tako da na opterećenju u anodnom kolu razviju veliku snagu, bez obzira na napon.

I pojačavači snage i pojačavači napona se upotrebljavaju u sistemima upravljanja projektila. U ovom poglavlju su opisani i neki od ređe korištenih pojačavača.

POJAČAVAČI NAPONA

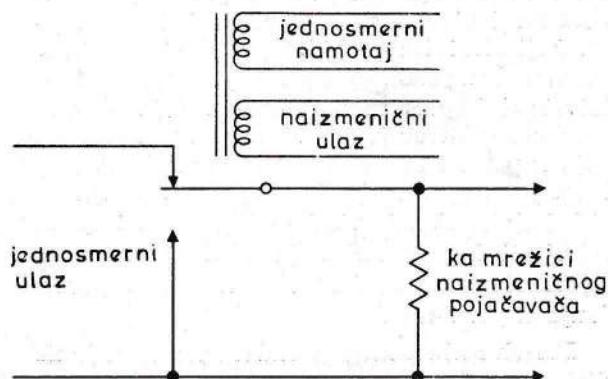
U sistemima upravljanja električni signali mogu da budu naizmenični ili jednosmerni. Kako u istom kolu neke komponente mogu da zahtevaju jednosmeran napon a druge naizmeničan, poželjno je imati uređaje koji mogu da pretvaraju električne signale iz jednosmernih u naizmenične i obratno. Ovu funkciju obavljaju modulatori.

Modulatori su uređaji koji u saglasnosti sa promenama ulaznog signala menjaju amplitudu, učestanost ili fazu nosećeg talasa. U sistemu upravljanja modulatori se uglavnom upotrebljavaju za pretvaranje polarizovanih jednosmernih signala u naizmenične signale sa tačno određenim fazama. Postoje različite vrste modulatora, koji u sistemima upravljanja mogu da ispunе ove funkcije. Ovde će se razmotriti mehanički i elektronski prekidači (Čoper) i modulatori sa ispravljачem. U delu o pojačavačima napona takođe su obuhvaćeni komutatori i parafazni pojačavači.

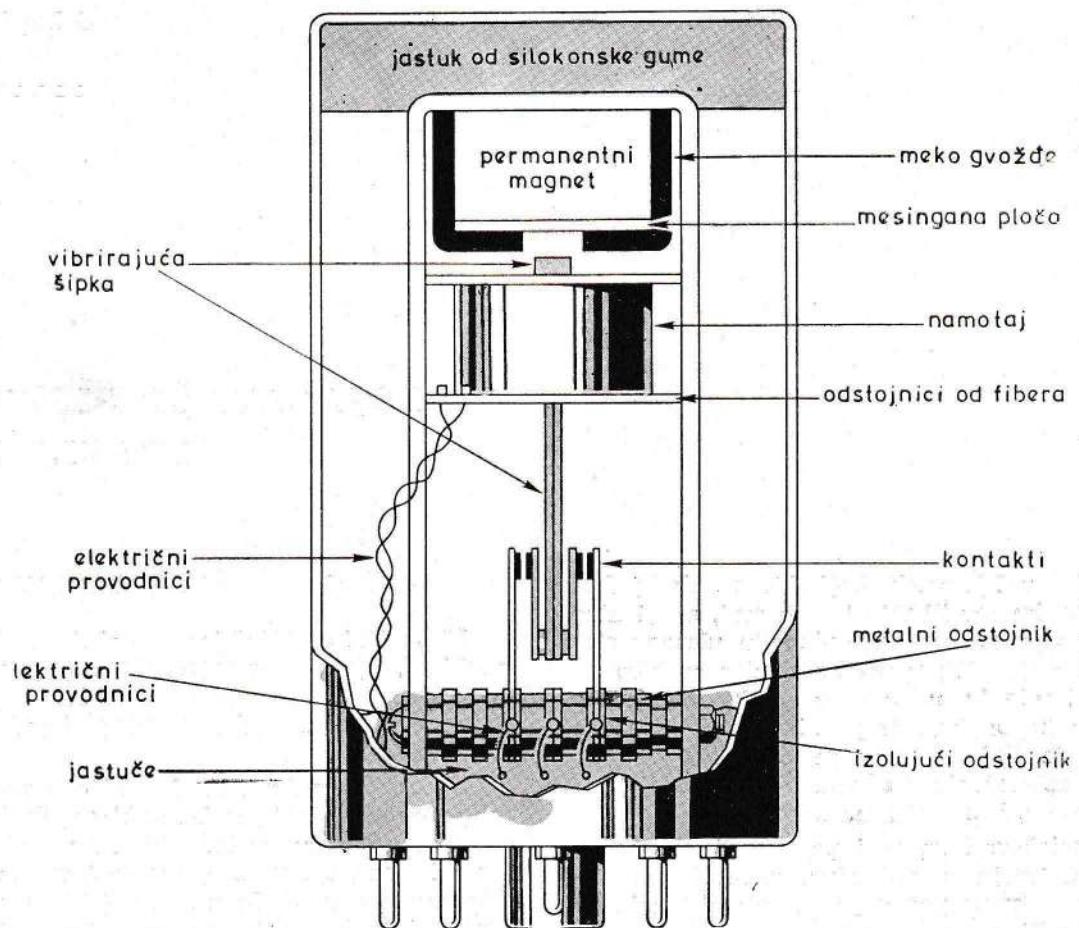
MEHANIČKI PREKIDAČI

Mehanički prekidač je u stvari sinhronizovan prekidač, čiji se izlaz naizmenično spaja sa ulazom i sa masom, ili sa nultim nivoom jednosmernog napona. Sledeće objašnjenje odnosi se na sliku 298.

Namotaj je pobuđen naizmeničnim naponom odgovarajuće učestanosti. Da bi se sprečilo da za vreme jednog ciklusa kalem privuče dva puta kotvu koja vibrira, propusti se određena jednosmerna struja kroz namotaj ili kroz drugi namotaj, koji je motan na istom jezgru. Ovako, kada naizmenična struja teče u jednom pravcu, njena magnetska sila dodaje se komponenti magnetske sile, koja potiče od jednosmerne struje, pa se kotva vibriranja privlači. Ali, kada naizmenična struja teče u suprotnom pravcu, njena se magnetska sila umanjuje s onom koja potiče od komponente jednosmerne struje i privlačna sila koja deluje na kotvu je



Sl. 298 — Mehanički prekidač



Sl. 299 — Presek mehaničkog prekidača

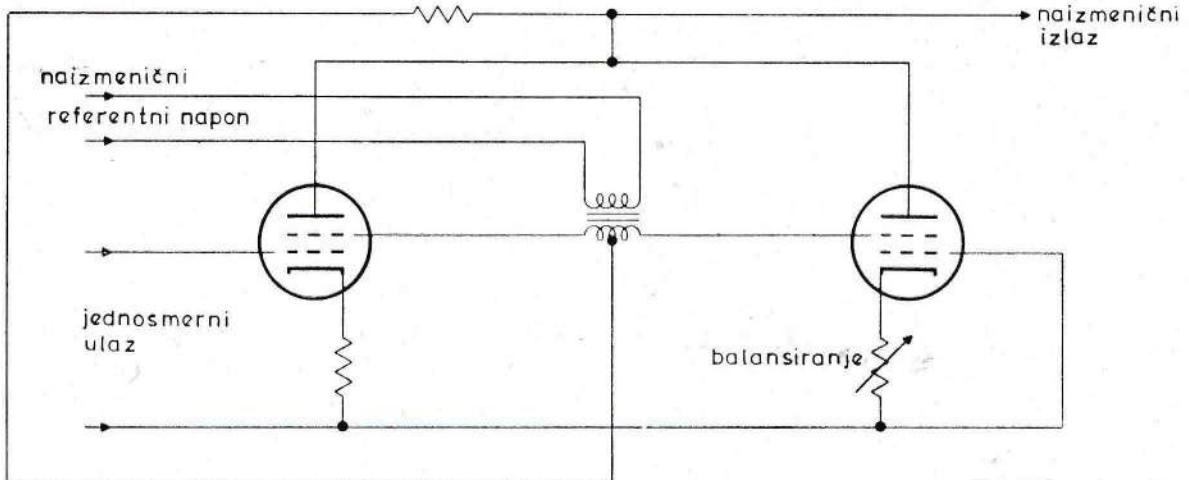
umanjena. Prema tome, kotva vibrira sa učestanom naizmenične struje. Da bi se smanjila snaga koja je potrebna za pogon kotve, kotva je obično podešena tako da prirodno vibrira svojom sopstvenom učestanom. Izlaz ima oblik četvrtastog impulsa i ima za polovinu periode nivo jednosmernog ulaza, a za drugu polovinu nulli nivo. Blok-kondenzatori u pojačavaju, koji sledi iza prekidača, otklanjam jednosmernu komponentu, tako da signal postane četvrtasti impuls sa amplitudom koja je proporcionalna nivou jednosmernog signala i fazom koja se pomeri za 180° kada se promeni polaritet jednosmernog signala. Ovaj pojačavač takođe diskriminiše signale visoke učestanosti, tako da četvrtasti impuls na kraju biva pretvoren u signal sinusnog oblika sa učestanom prekidanja u prekidaču.

Presek mehaničkog prekidača prikazan je na slici 299. U ovom specijalnom prekidaču je upotrebljen permanentni magnet umesto na-

motaja jednosmerne struje koji je prikazan na prethodnom prekidaču.

ELEKTRONSKI PREKIDAČ

Kolo elektronskog »čoper« — prekidača, koje je prikazano na slici 300, sastoje se od dveju elektronskih cevi, od kojih jedna na upravljačkoj rešetki ima pulzirajući jednosmerni signal, a druga fiksni napon. Naizmenični napon odgovarajuće učestanosti dovodi se na zaštitne rešetke; naponi na zaštitnim rešetkama su fazno pomereni za 180 stepeni. Kada kroz cev protiče ista struja, efekat porasta napona na jednoj zaštitnoj rešetki tačno je balansiran sa efektom pada napona na drugoj zaštitnoj rešetki, pa je prema tome ukupna struja, koja protiče kroz zajednički otpor opterećenja, nepromenjena i nema naizmeničnog izlaza. Kada je prisutan jednosmerni signal, ovaj uslov više ne važi. Na otporu opterećenja će se pojaviti naizmenični napon sa amplitudom, koja



Sl. 300 — Shema elektronskog prekidača

je proporcionalna nivou jednosmernog napona, i fazom, koja se menja za 180 stepeni kada se promeni polaritet jednosmernog signala.

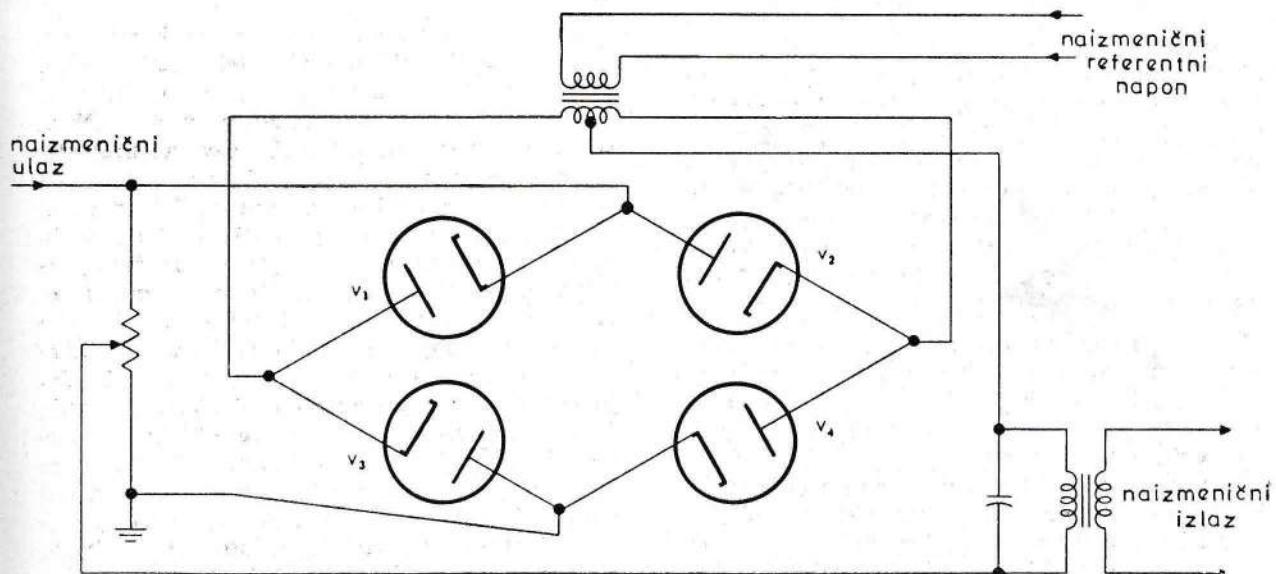
Promenljivi otpor u katodi jedne cevi upotrebljava se da bi se balansirala struja, tako da bi izlaz pao na nulu kada je ulaz nula.

Elektronska cev može na mnogo drugih načina dati isti rezultat kao i kolo koje je upravo opisano.

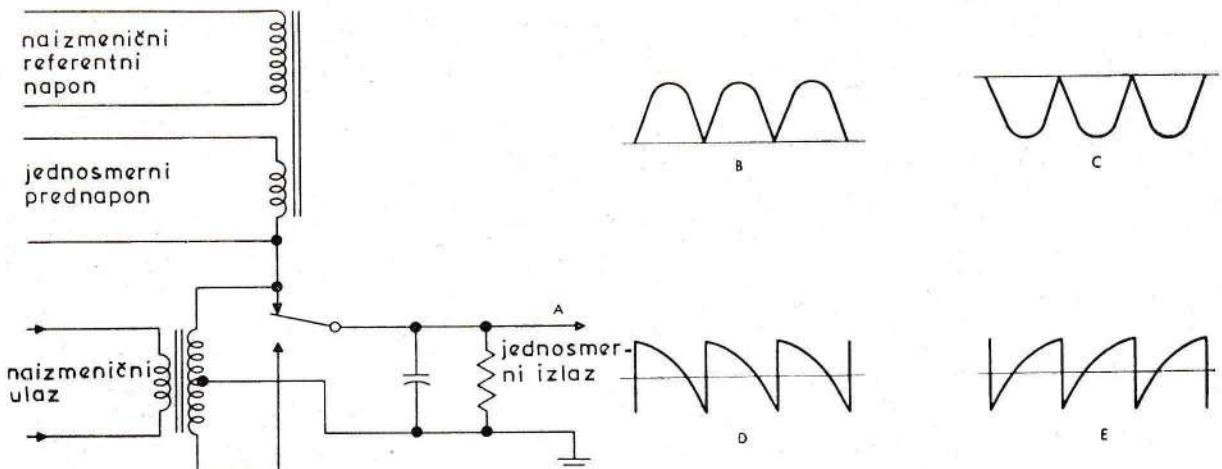
MODULATORI SA ISPRAVLJAČIMA

Jedan drugi tip sinhronog prekidača je modulator sa ispravljačima, koji je prikazan na slici 301. Za vreme jedne poluperiode, naiz-

menični jednosmerni napon prouzrokuje da struja teče kroz »V₁« i »V₂« a za vreme druge poluperiode struja teće kroz »V₃« i »V₄«. Diode koje ne provode deluju kao otvoreno kolo, a diode koje provode deluju kao relativno mali otpori. Zbog toga je jedan kraj ulaznog otpornika spojen sa srednjim izvodom delioca preko izlaza referentnog naizmeničnog transformatora. On je na istom naponu kao i srednji izvod sekundara transformatora. Izlazni napon je jednak naponu koji se pojavi na jednoj polovini ulaznog otpora. Usled dejstva prekidanja izlazno kolo se naizmenično podvrgava vrednostima napona na gornjoj i donjoj polovini ulaznog otpornika, a oba napona se mere u odnosu na



Sl. 301 — Kolo modulatora sa ispravljačem



Sl. 302 — Kolo sinhronog prekidača i izlazni talasni oblici

centar otpornika. Za vreme poluperiode naizmeničnog napona, rezultirajući naizmenični napon je jednak polovini ulaznog napona, a za vreme druge poluperiode naizmeničnog napona jednak je polovini ulaznog napona, ali je suprotan po polaritetu. Rad modulatora je isti kao i kod mehaničkog prekidača. Pošto je jedan kraj ulaznog otpornika obično vezan na masu, da bi se otklonila jednosmerna komponenta, potrebno je uzimati izlaz preko transformatora za odvajanje jednosmernog signala.

KOMUTATORI

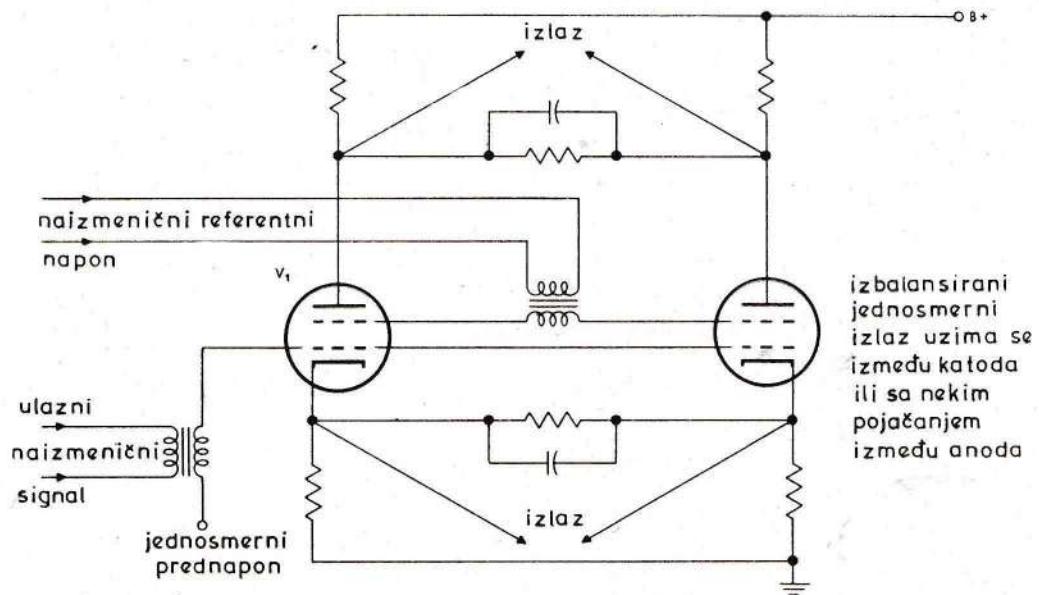
Komutator, koji je ponekad poznat kao fazno osetljivi detektor, čini isto pretvaranje kao i modulator, ali u suprotnom smislu. On na ulazu ima naizmenični signal a na izlazu daje jednosmerni signal. Za ulaz jedne faze razvija pozitivni jednosmerni izlaz. Za ulaz, koji se po fazi razlikuje za 180 stepeni, daje negativni izlaz. Za ulaz koji se po fazi razlikuje za 90 stepeni ne daje jednosmerni izlaz. Ima raznih vrsta komutatora, a tri od njih su: mehanički sinhroni prekidač, elektronski komutator i komutator sa ispravljačima.

Sinhroni mehanički prekidač. Sinhroni mehanički prekidač, onakav kakav je prikazan na sledećoj slici, ima kotvu koja vibrira i koja je slična kotvi u mehaničkom prekidaču. Treba uočiti da je za vreme polovine periode, kada je kotva u gornjem položaju, napon na gornjem kontaktu pozitivan. Za vreme sledeće poluperiode, kada je kotva u donjem položaju, napon na donjem kontaktu je takođe pozitivan. Rezultirajući izlaz biće sličan izlazu punotalasnog

ispravljača. Pošto se izlaz filtrira, on će imati jednosmernu komponentu, koja će biti proporcionalna amplitudi naizmeničnog ulaznog napona. Ako se faza na ulazu pomeri za 180 stepeni, izlaz će davati negativan jednosmeran napon.

U ova dva primera na slici 302 signali su prikazani talasnim oblicima »B« i »C«. Za signale koji bi se u odnosu na ove razlikovali za 90 stepeni, napon na svakom kontaktu promeni smer dok je kotva u spoju, pa je srednji napon nula kao što je prikazano na talasnim oblicima »D« i »E«. Prema tome, posle filtriranja nema jednosmerne komponente i nema izlaza iz ovog kola.

Elektronski komutator. Kao komutatori može se upotrebiti ceo niz elektronskih kola. Jedno od tih kola je prikazano na slici 303. Jednosmerni prednapon na obema upravljačkim rešetkama dovoljan je da obe cevi ne provode. Na primer, napon na upravljačkim rešetkama povećava se u pozitivnom pravcu istovremeno sa naponom na zaštitnoj rešetki cevi »V₁«. Za vreme poluperiode strujnog toka, zaštitna rešetka cevi »V₁« uvek je više pozitivna nego zaštitna rešetka cevi »V₂« i cev »V₁« vuče više struje. Zbog toga je katoda cevi »V₁« pozitivnija nego katoda cevi »V₂«, a anoda cevi »V₁« je negativnija nego anoda cevi »V₂«. Obrtanje faze signala na upravljačkoj rešetki prouzrokuje da cev »V₂« vuče više struje i da okrene polaritet kako napona između katoda, tako i napona između anoda. Ako se napon na upravljačkoj rešetki pomeri za 90 stepeni u odnosu na napon na zaštitnoj rešetki, za vreme polovine poluperiode za koje cev provodi, cev »V₁«



Sl. 303 — Elektronski komutator

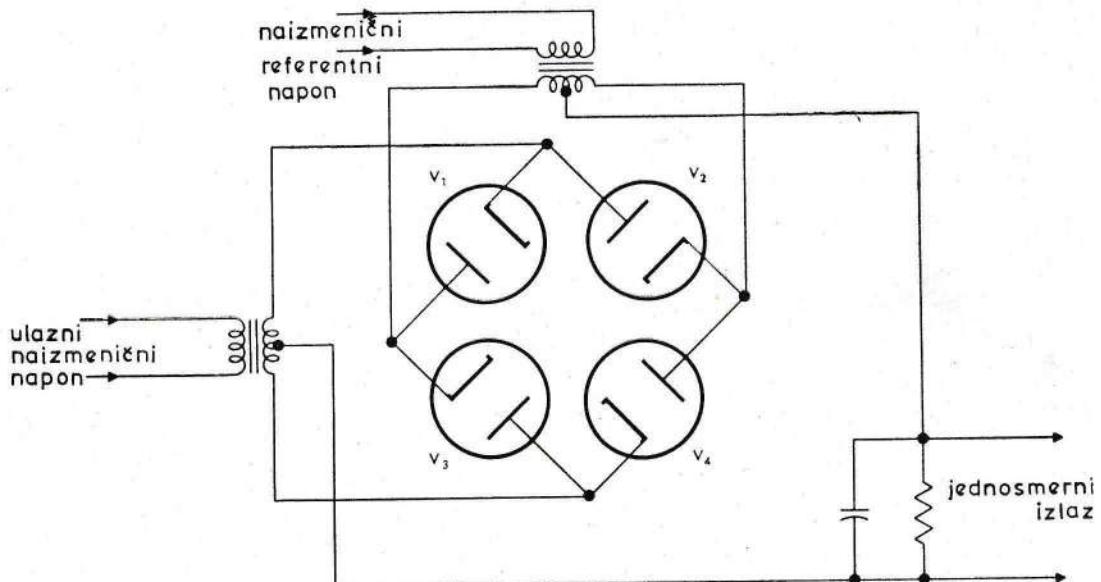
vući će veću struju nego cev »V₂«. Stanje je suprotno za vreme preostale periode. Zbog toga je jednosmerna komponenta na izlazu jednaka nuli. Ovakvo kolo je korisno kada jednosmerni izlaz ne treba da se razvije u odnosu na masu.

Komutator sa ispravljačima. Komutator sa ispravljačima, koji je prikazan na slici 304, radi uglavnom na isti način kao i modulator sa ispravljačima koji je opisan ranije. Za vreme polovine periode referentni naizmenični napon prouzrokuje da cevi »V₁« i »V₂« provode; za

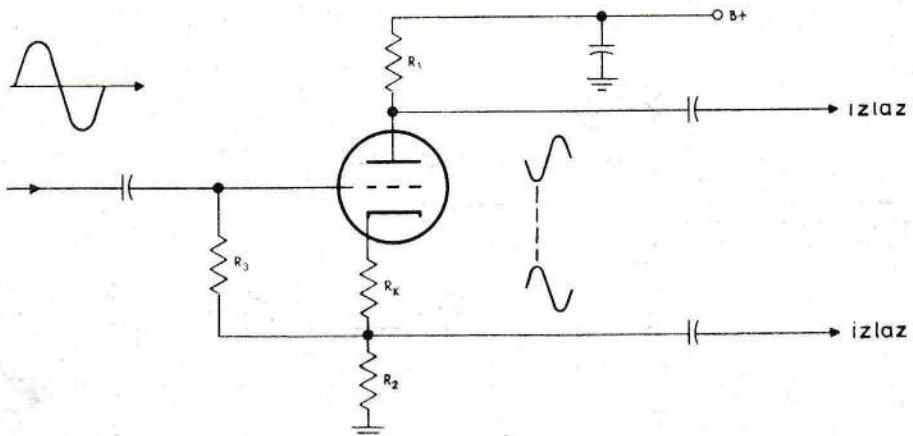
vreme druge polovine periode provode cevi »V₃« i »V₄«. Izlaz na kolo naizmenično se spaja od srednjeg izvoda ulaznog transformatora na spoj gornjih i na spoj donjih dioda.

PARAFAZNI POJAČAVAČI

Parafazni pojačavači upotrebljavaju se понекад da umesto transformatora rade u tzv. »puš-pul« kolima. Parafazni pojačavač je kombinacija pojačavača i faznog invertora. Na slici



Sl. 304 — Kolo komutatora sa ispravljačem



Sl. 305 — Parafazni pojačavač

305 prikazana je shema jedne vrste parafaznog pojačavača. U ovom kolu izlaz se uzima sa otpornika »R₁« i »R₂«. Ovi otpornici imaju istu vrednost, i pošto kroz njih teče ista struja, na njima se razvijaju podjednaki padovi napona. Naponi na ovim otpornicima imaju suprotan polaritet, pošto se izlaz uzima sa negativnog kraja otpornika »R₁« i pozitivnog kraja otpornika »R₂«.

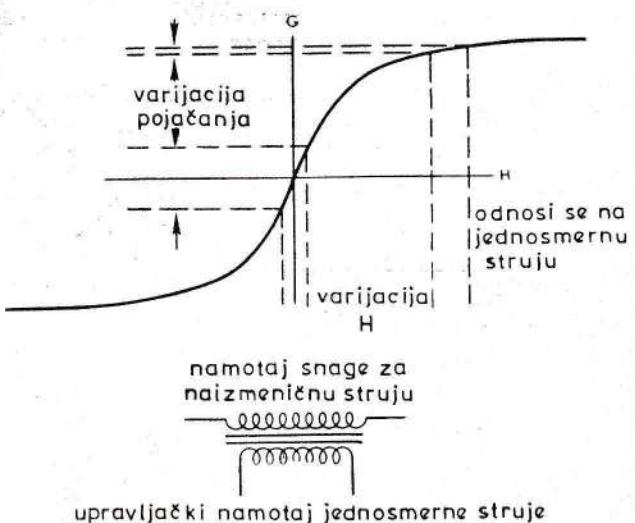
POJAČAVAČI SNAGE

Kao što je ranije konstatovano, pojačavači snage razvijaju veliku snagu u opterećenju anodnog kola. Pre nego što se pređe na razmatranje pojačavača snage, treba upoznati reaktore sa zasićenjem, koji se upotrebljavaju u elementima pojačavača snage u sistemima upravljanja projektilom.

REAKTOR SA ZASIĆENJEM*

Reaktor sa zasićenjem je, u stvari, induktivni kalem čija se induktivnost može menjati pomoću upravljačke struje. Kada struja protiče kroz namotaje nekog induktora sa magnetskim jezgrom, razvija se sila magnetizovanja (H) koja u jezgru uspostavlja magnetsko polje (G). Kada se promeni struja usledi promena sile magnetizovanja »H«, koja izazove promenu magnetskog polja »G«. Promenom »G« indukuju se naponi u svim namotajima koji su postavljeni na tom magnetskom jezgru. Naravno, indukovani napon je proporcionalan brzini kojom se »G« menja. Ako je »G« proporcionalno sa »H«, onda je indukovani napon proporcionalan brzini kojom se menja struja. Odnos između »G« i

»H« kod nekih vrsta materijala za magnetska jezgra je onakav kao što je prikazano na slici 306. Jedan namotaj, koji se nalazi na jezgru, indukuje napon kada kroz njega prolazi naizmenična struja. Ukoliko se kroz ovaj ili neki drugi namotaj doda jednosmerna struja, varijacije »H« se neće više kretati oko nule, koja je bila srednja vrednost dok je kroz namotaj proticala samo komponenta naizmenične struje. Umesto toga »H« osciliše oko vrednosti koja odgovara jednosmernoj komponenti struje. Ako je ta tačka dovoljno daleko od kolena na krivoj »G—H«, »G« će se vrlo malo menjati i indukovati mali napon. Od takvog materijala može se konstruisati induktivnost, koja je velika kada u namotajima ne teče jednosmerna struja i mnogo manja kada u namotajima teče jednosmerna struja.



Sl. 306 — G-H krive za reaktor sa zasićenjem

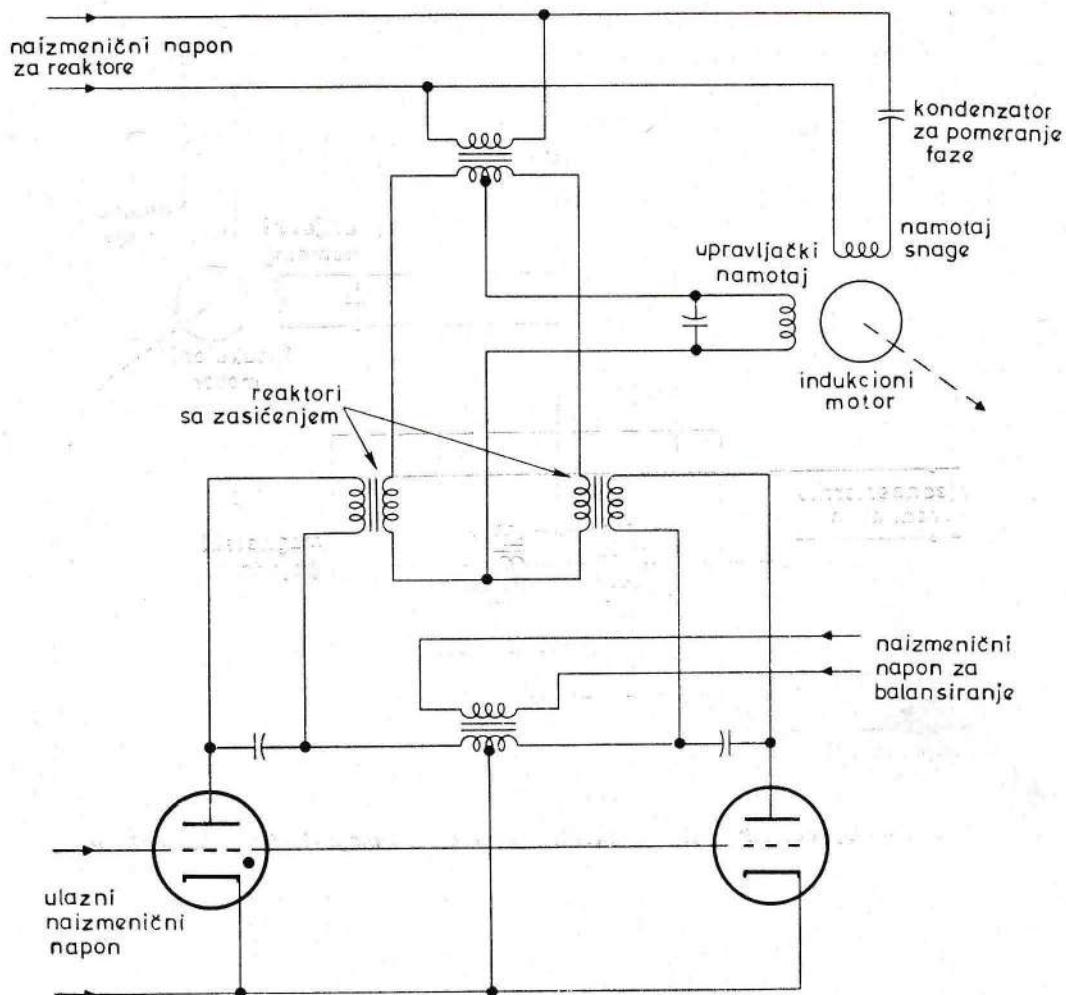
* Magnetno rele. — Prim. red.

UPRAVLJANJE MOTOROM NAIZMENIČNE STRUJE POMOĆU REAKTORA SA ZASIĆENJEM

Na slici 307 prikazan je par reaktora sa zasićenjem, koji su spojeni tako da se pomoću njih upravlja inducionim motorom naizmenične struje. Glavni namotaj motora spojen je sa mrežom na uobičajen način. Jedan kraj upravljačkog namotaja je spojen sa srednjim izvodom transformatora koji se napaja iz mreže. Drugi kraj je spojen, preko para reaktora sa zasićenjem, na oba kraja transformatora. Kada kroz nijedan od reaktora ne teče jednosmerna struja, upravljački namotaj nije pobuđen. Kada kroz jedan ili drugi reaktor teče jednosmerna struja, induktivnost opada, pa je upravljački namotaj motora spojen na jedan kraj transformatora

preko velike impedanse, a na drugi preko male impedanse. Usled toga se upravljački namotaj pobuđuje u jednom ili u drugom pravcu i na motoru se razvije momenat u jednom ili drugom pravcu. Par tiratrona napaja reaktore jednosmernom strujom. Ove cevi primaju naizmenični signal greške i anode su im spojene na izvor naizmeničnog napona.

Valja obratiti pažnju na to da se motor i reaktori mogu napajati naizmeničnom strujom jedne učestanosti, a signal greške i anodno kolo tiratrona strujom druge učestanosti. Kada je signal greške naizmeničan, umesto tiratrona mogu se upotrebljavati elektronske cevi. Ako je signal greške jednosmeran, on se možda može upotrebiti direktno da bi zasitio reaktor, ili kada signal nije dovoljno jak da izazove željeni stepen zasićenja, može se upotrebiti jednosmerni pojačavač.



Sl. 307 — Upravljačko kolo naizmeničnog motora sa reaktorima sa zasićenjem

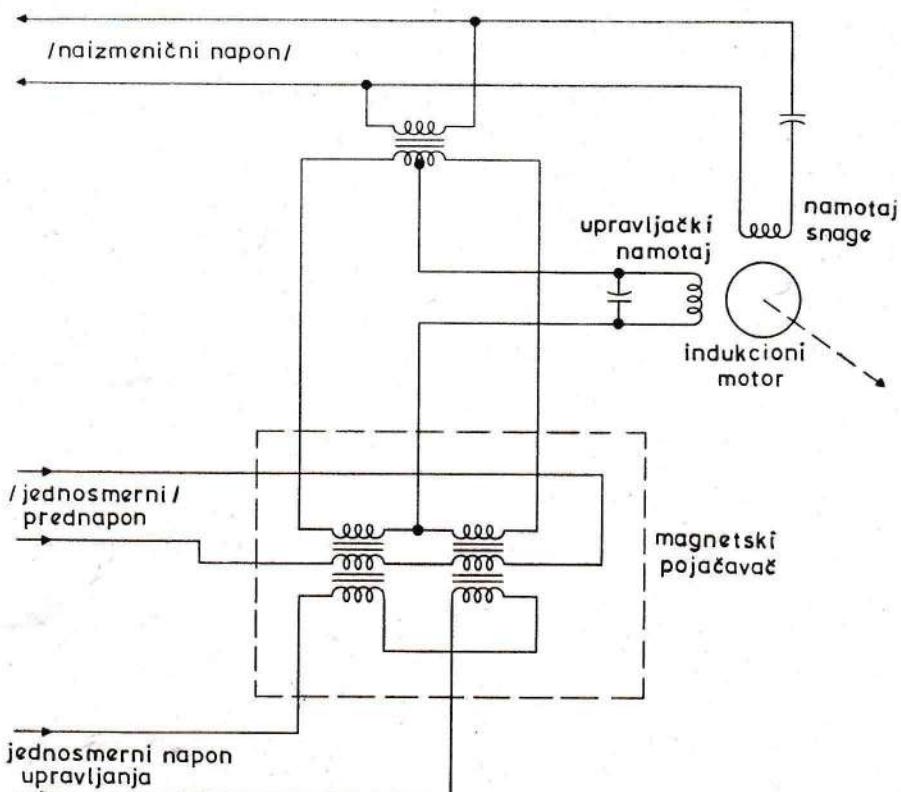
MAGNETSKI POJAČAVAČI

Magnetski pojačavač koristi se reaktorima sa zasićenjem. Ovi reaktori imaju specijalne namotaje kroz koje protiče jednosmerna struja koja se zove struja za predpobuđivanje. Na slici 308 prikazana je shema magnetskog pojačavača za upravljanje motorom naizmenične struje. Shema je skoro ista kao i ona za kontrolno kolo reaktora sa zasićenjem, osim što dva reaktora imaju kontrolne namotaje redno spojene. Pravac u kome teče struja za predpobuđivanje bira se tako da sila magnetisanja, koju razvija struja za predpobuđivanje, u jednom reaktoru pomaže silu koju razvija upravljačka struja, a u drugom reaktoru je umanjuje. U odsustvu upravljačkog signala jednosmerne struje su iste u oba reaktora i kontrolni namotaj motora nije pobuđen. Upravljačka i pretpobuđivačka struja se u jednom reaktoru sabiraju a u drugom oduzimaju.

Prema tome, u početku su oba reaktora delimično zasićena, a upravljačka struja još više zasićuje jedan reaktor, a smanjuje zasićenje drugoga. Upravljački signal zahteva jednosmernu struju, ali on se može dobiti i iz naizmeničnog signala greške uz pomoć fazno osjetljivog detektora.

I magnetski pojačavač i reaktor sa zasićenjem imaju istu namenu, jer je usled induktivnosti upravljačkog namotaja potrebno znatno vreme da se uspostavi upravljačka struja. Magnetski pojačavač je poželjniji od reaktora sa zasićenjem, jer nema ni pokretnih delova ni elektronskih cevi.

Ovaj opis pojačavača nije, naravno, potpun prikaz svih tipova pojačavača koji se upotrebljavaju u sistemima upravljanja. Cilj je bio da se upoznamo sa vrstama koje su manje uobičajene.



Sl. 308 — Upravljačko kolo naizmeničnog motora sa magnetskim pojačavačima

REGULATORI U SISTEMU UPRAVLJANJA

Regulatori u sistemima upravljanja projektila upravljaju radom izvršnog organa, koji odgovara na signal greške primljen od osetnog elementa. U nekim sistemima kontrolni element je pojačavač, čiji se izlaz vodi na motor. Ipak, u ovom poglavlju biće opisani samo oni regulatori, koji neposredno upravljaju pokretnim kormila u sistemu upravljanja. Treba обратити pažnju na to da na slici 309 blok »upravljača« dolazi iza bloka »pojačavača«.

Sledi opis solenoida zato što su oni važne komponente upravljačkih elemenata.

SOLENOIDI ZA POKRETANJE RAZVODNIKA I RELEA

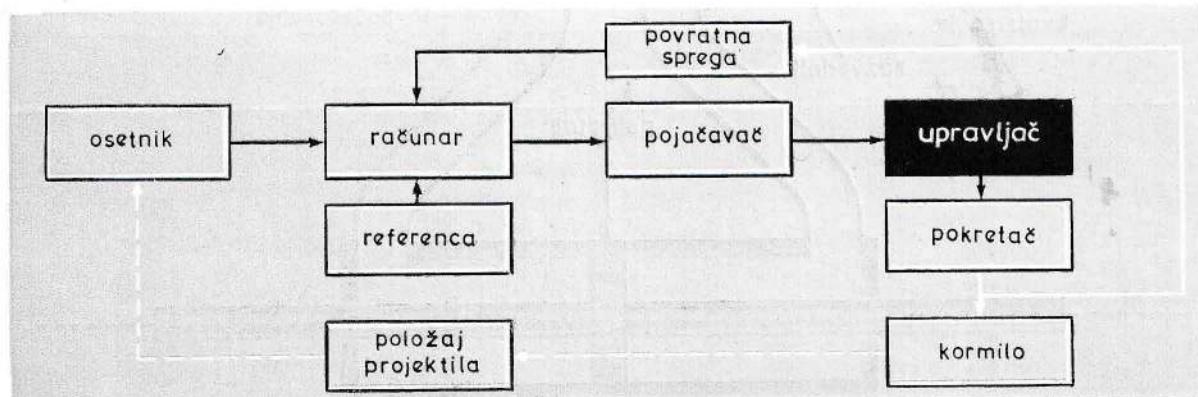
Solenoid se sastoji od kalema sa žicom, koji je motan oko šupljeg cilindra. On se upotrebljava da bi se proizvelo magnetsko polje. Ako se u unutrašnjosti cilindra smesti pokretno jez-

gro od mekog čelika, a kroz kalem protiče struja, magnetsko polje kalema teži da postavi jezgro u centar kalema. Solenoidni namotaji sa pokretnim jezgrima upotrebljavaju se za daljinsko upravljanje raznim elementima, npr. razvodnicima sa solenoidom i releima.

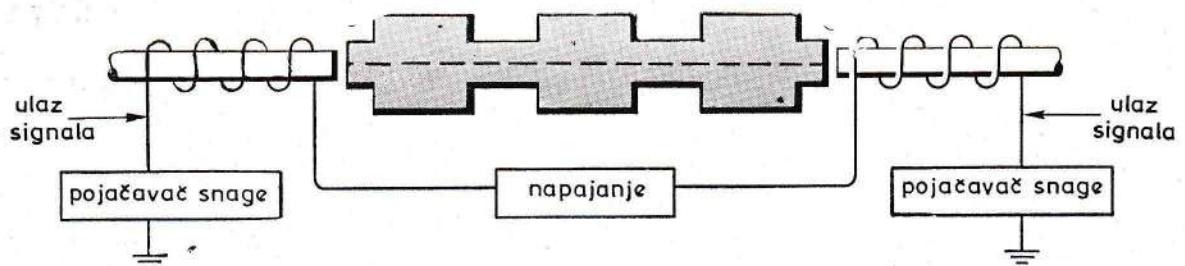
Ako se dva solenoida postave kao što je prikazano na slici 310 pomoću njih se može upravljati razvodnikom u hidrauličkom sistemu, pneumatskim sistemom itd.

RAZVODNIK ZA UPRAVLJANJE FLUIDOM U POKRETAČU

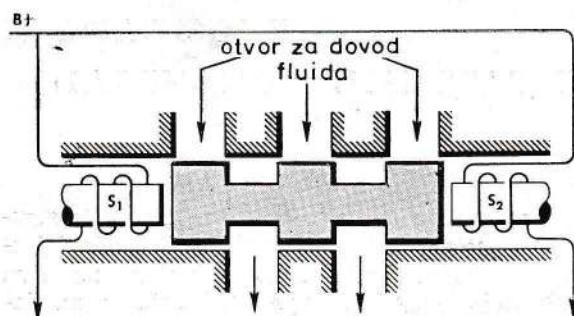
Razvodnici se upotrebljavaju u sistemima upravljanja koji imaju hidrauličke pokretnice. Razvodnik, koji je prikazan na slikama 311 i 312, sastoji se od solenoida sa obostranim dejstvom pomoću koga se upravlja položajem osnovice u razvodniku. Položaj kalema određuje



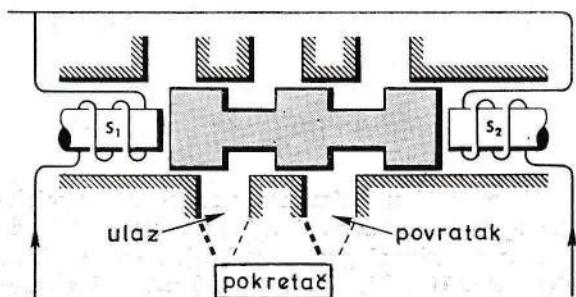
Sl. 309 — Principijelni blok—dijagram sistema upravljanja projektila



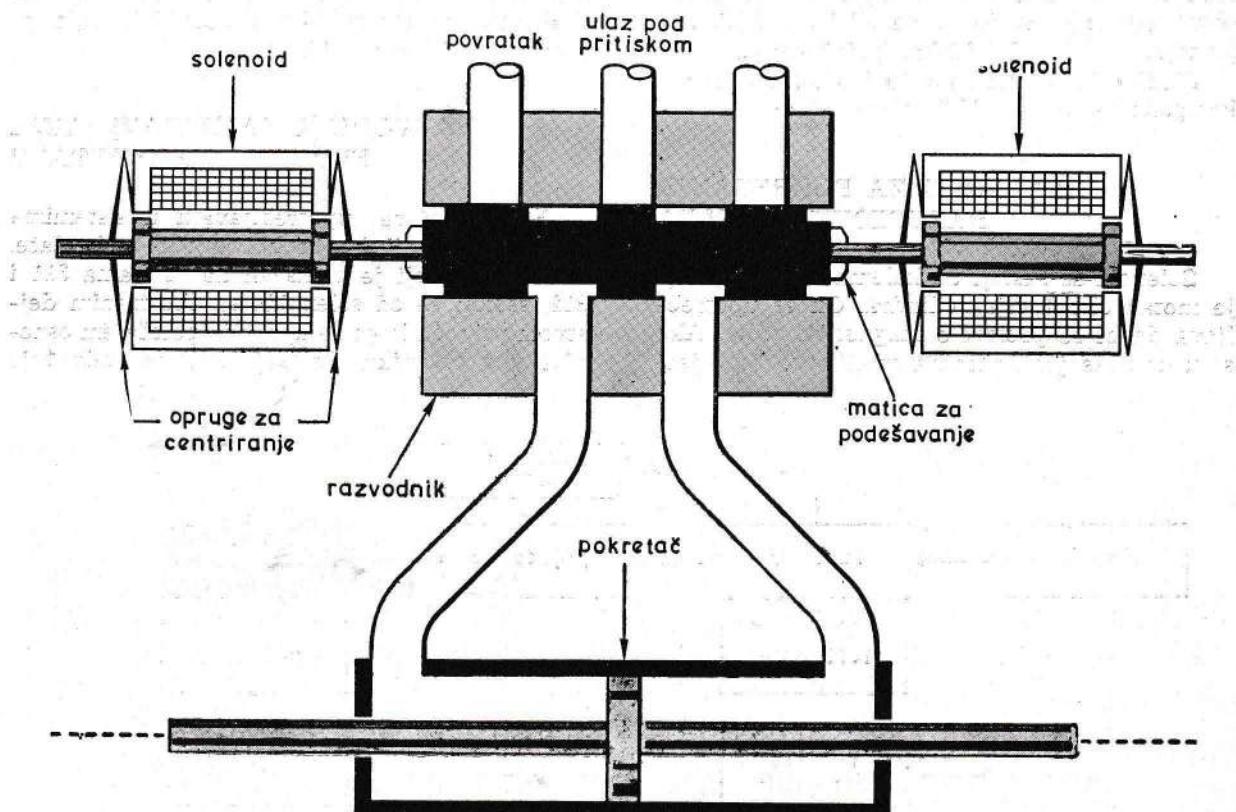
Sl. 310 — Selenoid sa obostranim dejstvom



Sl. 311 — Razvodnik (zatvoren)



Sl. 312 — Razvodnik (otvoren)



Sl. 313 — Hidraulički razvodnik i pokretač

koja će količina fluida teći u hidraulički pokretnički. Na slici 312 prikazan je kalem koji je posmeren iz svog centralnog položaja, kako bi se omogućilo fluidu da pod pritiskom teče u pokretnički. Kroz namotaje solenoida »S₂« protiče veća struja nego kroz namotaje solenoida »S₁«, pa prema tome »S₂« privlači klip. Ovom akcijom otvaraju se otvor na razvodniku. Sada je omogućeno da hidraulički fluid teče kroz razvodnik prema jednoj strani pokretnička. Kao što je prikazano, fluid sa druge strane pokretnička vraća se natrag kroz izlazni otvor. Na slici 313 data je kompletacija shema razvodnika i pokretnička.

RELEJNI PREKIDAČI KOJI UPRAVLJAJU KOLIMA JAKE STRUJE

Relejni prekidači se upotrebljavaju za dajinsko upravljanje kolima jake struje. Postavljeni su direktno između izvora snage i elemenata kojima upravljuju, tako da se omogući da kablovi kojima se provodi jaka struja budu što je moguće kraći. Relejni prekidač se sastoji od kalema ili solenoida, gvozdenog jezgra, fiksnih i pokretnih kontakta. Tanke žice spajaju krajeve solenoidnog namotaja sa izvorom snage koji predstavlja upravljački signal. Pod dejstvom upravljačkog signala uspostavlja se elektromagnetsko polje oko kalema.

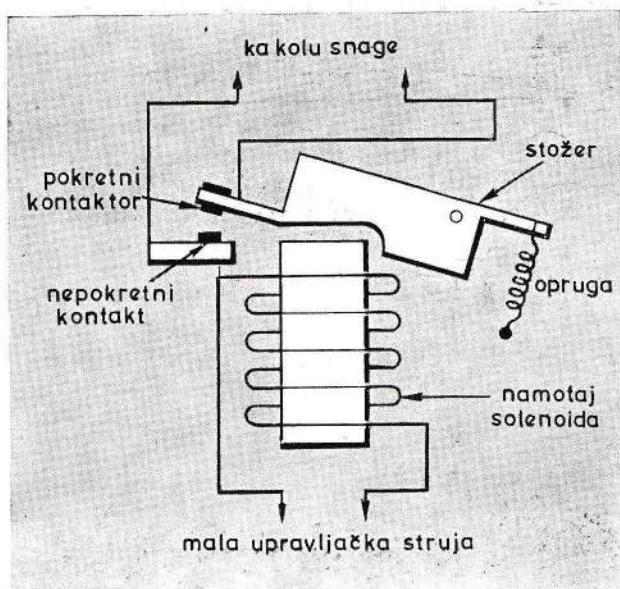
Na relejnem prekidaču, koji je prikazan na slici 314, gvozdeno jezgro je nepomično. Pod

dejstvom upravljačkog signala oko kalema se uspostavlja elektromagnetsko polje, koje magnetiše jezgro. Privlačenje jezgra na komad mekog gvožđa nadvlači silu opruge i zatvori kontakte. Ovaj proces zatvara kolo jake struje. Kada upravljački signal prestane da dejstvuje iščezne elektromagnetsko polje oko kalema. Tada opruga rastavi kontakte i prekine kolo jake struje.

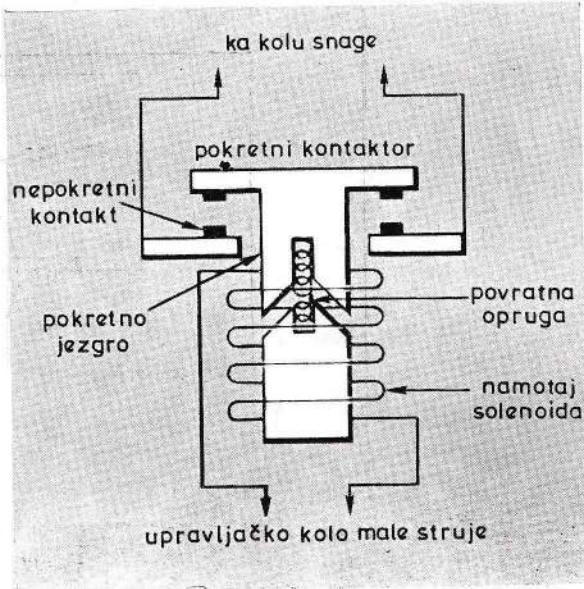
Kod druge vrste relejnog prekidača, koji je prikazan na slici 315, deo jezgra je pokretan. Kontakti su postavljeni na nosaču kalema ali su izolovani od njega. Kada se zatvori upravljački prekidač, uspostavi se elektromagnetsko polje oko kalema i prouzrokuje privlačenje pokretnih delova jezgra, čime se zatvaraju kontakti i uspostavi se kolo jake struje. Kada se upravljački prekidač otvori, iščezne elektromagnetsko polje u kalemu i povratna opruga vratiti jezgro u njegov početni položaj, čime se kontakti rastavljaju.

Što se kolo snage brže prekida, tim će biti manje varnica i kontakti prekidača će manje da sagorevaju. Relejni prekidači koji se upotrebljavaju za upravljanje kolima velikih motora imaju jake povratne opruge, koje brzo otvaraju prekidače.

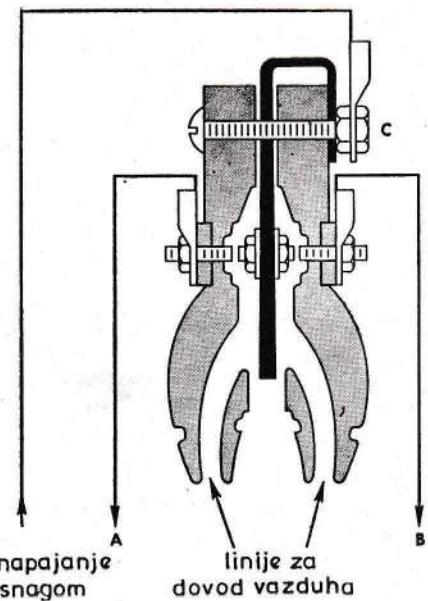
Relejni prekidači imaju, bilo odstojnik od izolujućeg materijala na svakom kraju kalema, bilo odstojnik od izolujućeg materijala na jednom kraju kalema, a na drugom metalni odstojnik. Ako se upotrebljava metalni odstojnik, on uzemljuje kraj kalema za kućište kalema. Pre-



Sl. 314 — Relejski prekidač sa nepokretnim gvozdenim jezgrom



Sl. 315 — Relejski prekidač sa pokretnim gvozdenim jezgrom



Sl. 316 — Pneumatski rele

ma tome, za ovaj kraj nije potrebna žica za uzemljenje.

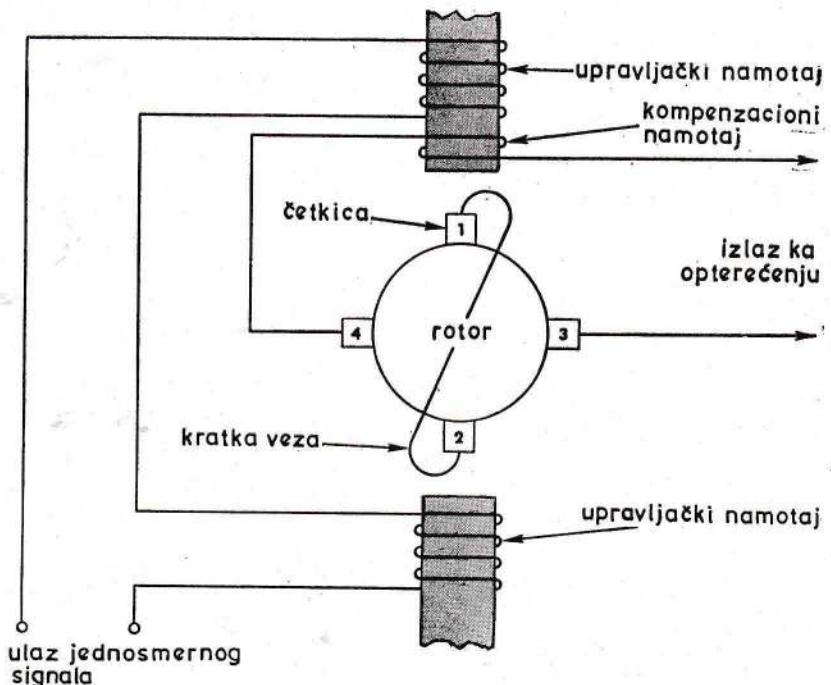
Da bi se omogućilo da kola, kojima se upravlja pomoću relejnih prekidača jake struje, nose velike struje, a da ipak budu zaštićena protiv kratkih spojeva, upotrebljava se specijalna vrsta osigurača, koji se zovu *strujni limiteri* (*ograničavači*). Strujni limiter dozvoljava velika

preopterećenja, koja su potrebna za startovanje motora, ali dejstvuju pre nego što nastane oštećenje kola ako je preopterećenje dugotrajno.

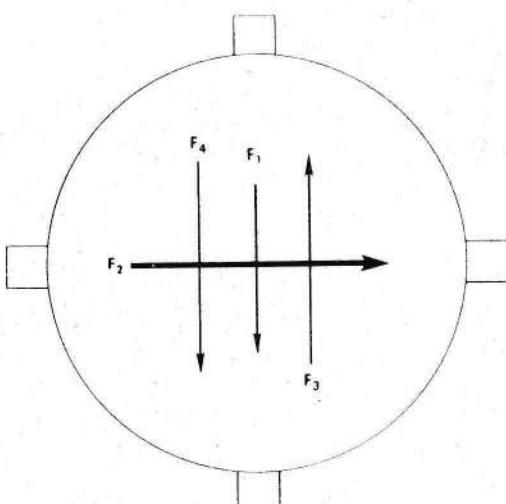
Na slici 316 prikazan je rele koji se pokreće pomoću vazdušnog pritiska. Sa releom su spojene dve dovodne linije, — po jedna sa svake strane dijafragme. Ova vrsta relea se upotrebljava u elektropneumatskom sistemu upravljanja. Kada se sistemu saopšti neki signal greške, pritisak vazduha se dovodi na jednu ili drugu stranu dijafragme. Pritisak savije dijafragmu i ona zatvara električno kolo od tačke »C« prema jednoj od druge dve tačke (»A« ili »B«). Na ovaj način snaga u releu se prenosi u odgovarajuće kolo za pokretanje. Slični relei mogu da se nađu i u elektrohidrauličkim sistemima u kojima se električno kolo uspostavlja pomoću hidrauličkog pritiska a ne pomoću pritiska vazduha.

AMPLIDINI — SPECIJALNE VRSTE GENERATORA JEDNOSMERNE STRUJE

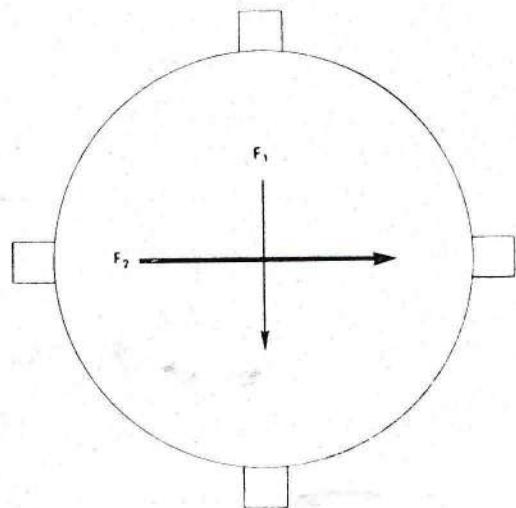
Amplidin se sastoji od generatora jednosmerne struje koji se pokreće pomoću izdvajenog motora. Generator jednosmerne struje može se smatrati kao pojačavač, pošto mala snaga koja se dovodi na kontrolni namotaj izaziva mnogo puta veću snagu na izlazu iz generatora. Shematski prikaz amplidina dat je na slici 317.



Sl. 317 — Principijelna shema amplidina



stvarno



efektivno

Sl. 318 — Magnetska polja u amplidinu

Kontrolni jednosmerni ulazni napon se upotrebljava da pobudi magnetsko polje, koja je prikazana kao par polova postavljenih iznad i ispod rotora. U namotajima rotora indukuje se napon usled obrtanja rotora u upravljačkom polju, onda kada namotaji prolaze kroz magnetsko polje. Pošto se ovi namotaji, u momentu presecanja upravljačkog polja, nalaze u vertikalnoj ravni pojaviće se napon na gornjoj i donjoj četkici, koje su obeležene brojevima 1 i 2. Ako bi na ove četkice bilo priključeno neko opterećenje, uređaj bi se ponašao kao obični generator jednosmerne struje. Treba obratiti pažnju na to da su na crtežu četkice 1 i 2 međusobno spojene, ili kratko spojene. Usled ovoga doći će do velike struje, koja će teći u kolu rotora i proizvesti drugo magnetsko polje, koje je mnogo jače od upravljačkog polja i nalazi se pod pravim uglom u odnosu na njega. Magnetske silnice drugog magnetskog polja nalaze se u horizontalnoj ravni. U namotajima rotora, kada oni presecaju drugo magnetsko polje, indukuje se napon koji se pojavljuje na drugom paru četkica (četkice 3 i 4), koje su postavljene na horizontalnoj osi. Ovaj indukovani napon je izlazni napon iz amplidina.

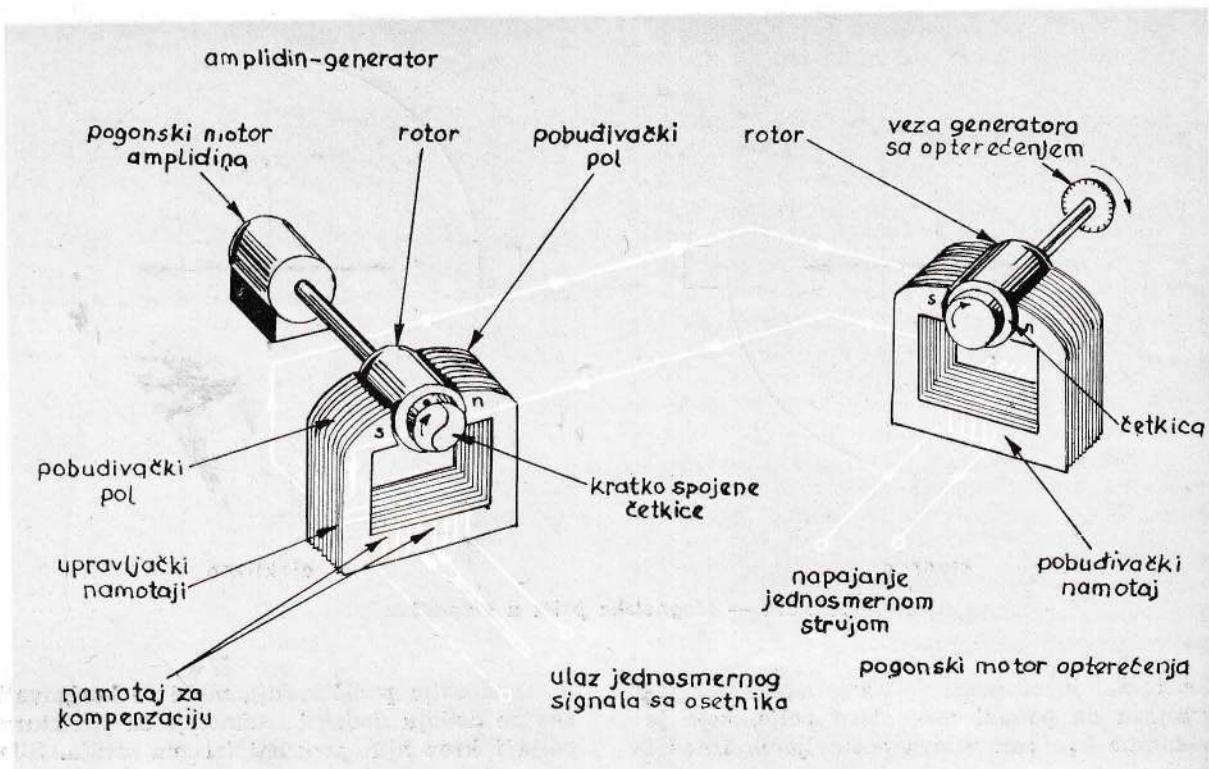
Problem od najvećeg značaja u odnosu na amplidin je poništavanje upravljačkog polja. Kada teče struja opterećenja, ona teče kroz namotaje rotora i proizvodi magnetsko polje. Ono nastoji da poništi upravljačko polje. Poništavanje upravljačkog polja je nepoželjna pojava, zato što to smanjuje pojačanje i prouzrokuje slabu regulaciju sistema amplidina.

Tendencija poništavanja može se korigovati ako se dodaju dodatni namotaji za strukturu polja i kroz njih propusti izlazna struja. Sila magnetizovanja, koja se proizvede prolaskom izlazne struje kroz dodatne namotaje, može da bude takva da balansira onu silu magnetizovanja koja se proizvodi usled protoka izlazne struje kroz namotaje rotora. Razna magnetska polja su predstavljena strelicama na slici 318. Kao što je prikazano, magnetska polja u amplidinu zauzimaju određene položaje i jedna u odnosu na druga imaju određene pravce.

»F₁« predstavlja upravljačko polje koje je proizveo ulazni napon. »F₂« predstavlja magnetsko polje koje je proizvela jaka struja koja prolazi kroz kratko spojeno kolo. »F₃« je magnetsko polje koje su proizveli namotaji kroz koje protiče izlazna struja i koje se suprotstavlja upravljačkom polju. »F₄« je magnetsko polje, koje proizvodi izlazna struja protičući kroz dodatne namotaje koji su dodati strukturi upravljačkog polja. Ovo magnetsko polje je jednakovo i suprotno polju »F₃«, usled čega ono balansira ili poništava dejstvo polju »F₃«.

Do sada je objašnjen princip rada amplidina. Sada će biti ukratko objašnjena primena amplidina, kao što je prikazano na slici 319.

Pogonski motor amplidina je spojen sa izvorom jednosmernog napona, usled čega će on da radi konstantnom brzinom i uvek u istom pravcu. Usled toga, rotor amplidina, koji je spojen na osovinu pogonskog motora amplidina, kretće se takođe istom brzinom i uvek u istom pravcu. Veze rotora motora za pogon opterećenja su



Sl. 319 — Amplidin generator spojen sa motorom za pogon opterećenja

spojene sa izlaznim četkicama amplidin-generatora. Usled toga, rad motora za pogon opterećenja zavisi od jednosmernog napona koga daje rotor amplidin-generatora. Na slici 319 je namotaj upravljačkog polja amplidina podeljen u dva jednakata dela koji su postavljeni na polove i na taj način kroz oba namotaja teku podjednake struje. Magnetska polja koja one stvaraju poništavaće se i na rotoru se neće indukovati nikakav napon, pošto njegovi namotaji neće presecati ni jednu liniju fluksa. Međutim, kada

kroz namotaj, koji je prikazan na slici desno (bele linije) teče jača struja, tada će se kroz jezgro uspostaviti magnetsko polje, koje će imati severni i južni pol u onim položajima u kojima su predstavljeni na slici. U namotajima rotora će se generisati napon. Tada će struja da prolazi kroz namotaje rotora motora za pogon opterećenja i prouzrokovati njegovu rotaciju.

Posebno regulatora u blok-dijagramu projektila dolaze pogonski elementi. Pogonski elementi su objašnjeni u sledećem poglavljju.

POGONSKI ELEMENTI SISTEMA UPRAVLJANJA

U bilo kom sistemu stabilizacije položaja projektila, energija, koja proističe iz detekcije neke greške u položaju projektila, mora biti transformisana u mehaničko kretanje, sa ciljem da se pokrene odgovarajući uredaj za upravljanje. Komponenta sistema upravljanja, koja vrši ovaj prenos i transformiše energiju na krajnje opterećenje sistema upravljanja, jeste pogonski elemenat ili pokretač.

Pogonski elemenat za jedan sistem upravljanja mora da bude biran na osnovu karakteristika ostalih komponenata sistema upravljanja. On mora da bude sposoban da brzo odgovori na ulazne signale greške. Odgovor unosi elemenat vremena*) između prijema signala i pokretanja uređaja za upravljanje. Istovremeno, pogonski elemenat mora da proizvede izlaz, koji za dati ulaz ima tačno određeni oblik i amplitudu. Drugim rečima, izlaz iz pokretača mora da bude ne-

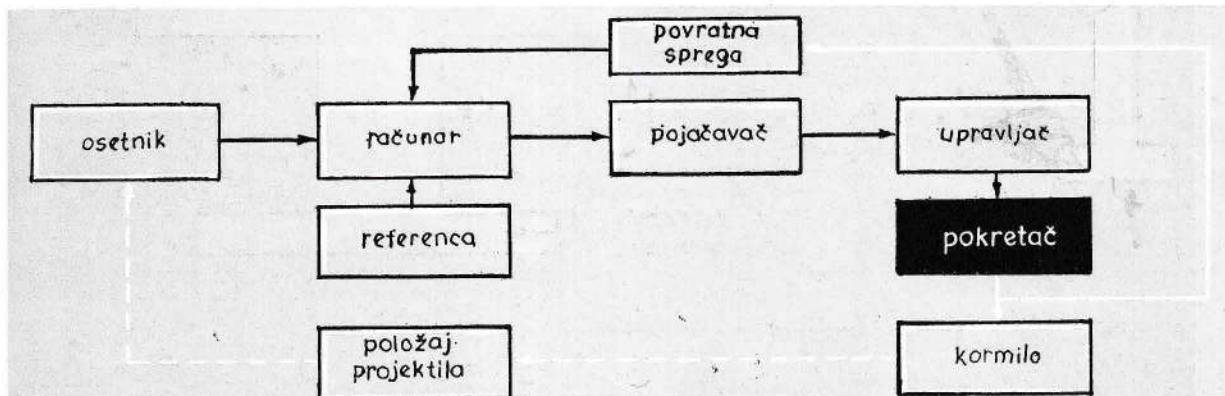
*) Unosi vremensko zakašnjenje u izvršenju operacije upravljanja. — Prim. red.

ka funkcija koja je proporcionalna signalu greške i mora da ima izlaznu snagu koja je potrebna za pokretanje opterećenja.

Uopšte, pogonski elementi upotrebljavaju jedan od sledećih načina, ili istovremeno više takvih načina za prenos energije: hidraulički, pneumatski ili električni. Svaki od ovih načina poseduje određene prednosti, ali svaki takođe postavlja pred konstruktora određene probleme. Prednosti i nedostaci svakog od ovih načina su objašnjene u glavi 7, koja tretira kompletne sisteme upravljanja.

ELEMENTI ZA HIDRAULIČKI PRENOS ENERGIJE

Princip, koji je prikazan na slici 321 i na kome je zasnovan prenos energije pomoću hidraulike, poznat je kao Paskalov zakon. Ovaj zakon glasi: »Kad se neki pritisak dovede na neku tačnost čije je širenje ograničeno odgo-



Sl. 320 — Principijelni blok-dijagram sistema upravljanja projektila

rajućom konstrukcijom, pritisak se ne umanjuje i prenosi se u svim pravcima kroz tečnost, bez obzira na oblik suda u kome se tečnost nalazi i na konstrukciju sistema».

Ovaj princip se mnogo i uspešno upotrebljava tokom celog niza godina. Veliki broj instrumenata i mašina, koje se svakodnevno upotrebljavaju sadrže neke vrste elemenata za hidraulički prenos energije. Dokaz ove tvrdnje su hidraulički zatvarači vrata, hidrauličke dizalice, hidrauličke kočnice na automobilima, hidrauličke dizalice za kola i automatski prenosnici kod savremenih automobila. Na isti način, u industriji projektila, primjenjeni su isti hidraulički principi za prenos energije u automatskim sistemima upravljanja.

Uopšte uvezši, hidraulički elementi za prenos energije su jednostavnii po načinu konstrukcije. Glavna prednost hidrauličkih sistema je u tome što oni za prenos energije ne iziskuju kompleksnu opremu zupčanika, poluga, koturova itd. Vremenska reakcija hidrauličkih sistema relativno je brza u poređenju sa nekim mehaničkim sistemima, zato što ovi sistemi imaju male zazore. Sile, koje se generišu u jednoj tački, prenose se brzo i sa malim gubitkom energije na prilična odstojanja. Takođe, hidraulička komponenta (hidraulički fluid) nije lomljiva (krhka), a kompletan mehanizam manje se haba u poređenju sa potpuno mehaničkim sistemom.

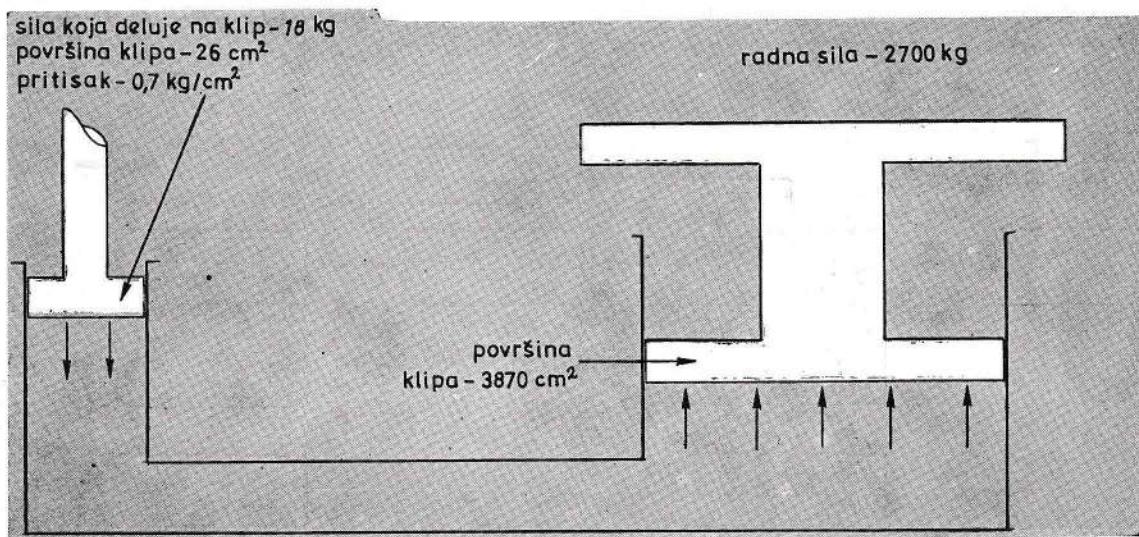
Pre nego što predemo na opisivanje nekog određenog hidrauličkog elementa, koji se upotrebljava u sistemima upravljanja projektila, potrebno je da upoznamo konstrukciju i način rada obične hidrauličke dizalice.

U osnovi, hidraulička dizalica se sastoji od odgovarajućeg suda, koji je snabdeven sa dva klipa i ispunjen fluidom, koji deluje kao medijum za prenos energije. Ova konstrukcija je prikazana na slici 321.

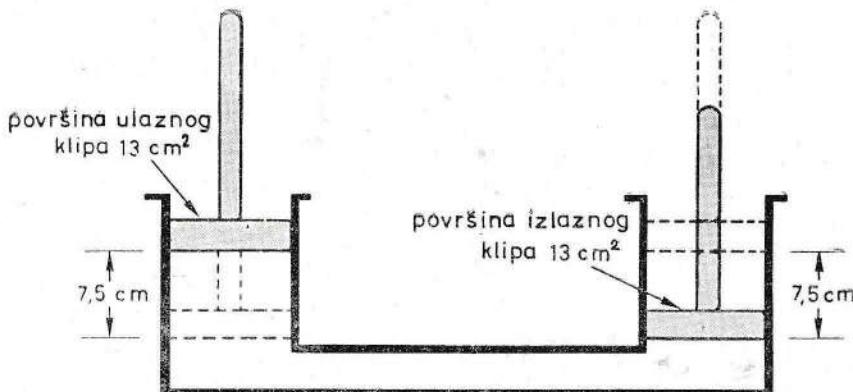
Na primer, spoljna sila od 40 funti (18 kg) deluje na vrh manjeg klipa. Ako manji kip ima površinu od 4 kvadranta palca (26 cm^2), onda sila od 40 funti (18 kg) koja deluje na kip proizvodi na površini tečnosti u sudu pritisak od 10 funti po kvadratnom palcu ($0,7 \text{ kg/cm}^2$). Veći kip, iznad koga je postavljeno opterećenje, ima površinu od 600 kvadratnih palaca (3870 cm^2). Pritisak sistema, od 10 funti ($0,7 \text{ kg}$) po kvadratnom palcu, deluje na svaki kvadratni palac (kvadratni santimetar) površine velikog klipa i prema tome proizvodi radnu силу od 6000 funti (2.700 kg). Može se zaključiti da se hidraulički sistem, pored toga što se upotrebljava za prenos energije, može takođe upotrebiti i za proizvođenje velike izlazne sile, uz korišćenje mnogo manje ulazne sile.

Takođe je važno zabeležiti da variranje veličine suda u kome se nalazi fluid i nepravilnost veze između jednog i drugog cilindra neće (u određenim granicama) uticati na prenos pritiska, koji je izazvan dovedenom silom. Druga činjenica koju treba zapamtiti je da je odnos površine izlaznog klipa prema površini ulaznog klipa jednak odnosu izlazne sile prema ulaznoj sili. Ukratko, za dati pritisak sila koju proizvodi radni kip je direktno proporcionalna njegovoj površini.

U nekim primenama hidrauličkih sistema od primarnog interesa može da bude odstojanje koje pređe izlazni kip, a ne pojačanje sile. Na



Sl. 321 — Principijelna skica hidrauličke dizalice



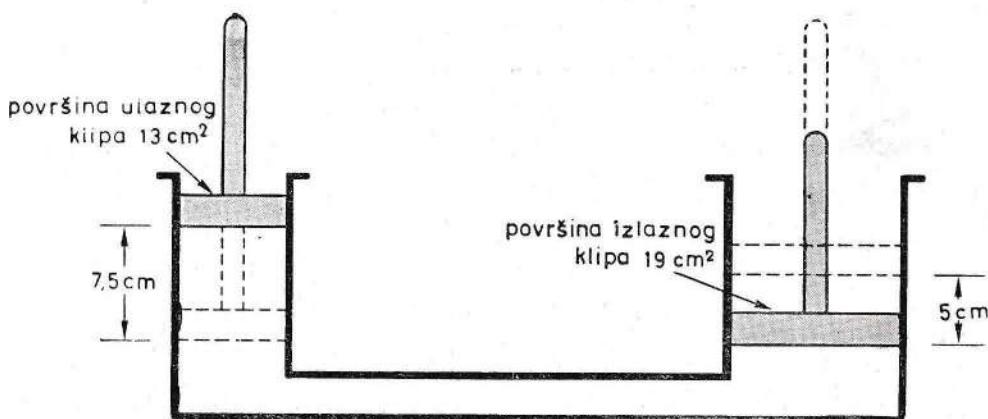
Sl. 322 — Hidraulički sistem sa podjednakim pomeranjem klipova

primer, može biti poželjno da izlazni klip prođe unapred određeno odstojanje. Ovaj zahtev može se ispuniti ako se upotrebni klip sa tačno određenom površinom. Sistem je objašnjen na slici 322. Oba klipa imaju površinu od 2 kvadratna palca (13 cm^2). Ako sila koja je dovedena na ulazni klip izazove njegovo kretanje na odstojanju od 3 palca (7,5 cm), klip će istisnuti 6 kubnih palaca (99 cm^3) fluida. U ovom slučaju, 6 kubnih palaca (99 cm^3) fluida predstavlja cilindrični stub sa površinom baze od 2 kvadratna palca (13 cm^2) i visinom od 3 palca (7,5 cm). Ovaj stub fluida mora da se negde smesti i tako on pomera izlazni klip. Pošto je površina izlaza 2 kvadratna palca (13 cm^2), izlazni klip mora da bude pomeren uzdužno za odstojanje od 3 palca (7,5 cm) da bi napravio prostor za 6 kubnih palaca (99 cm^3) fluida.

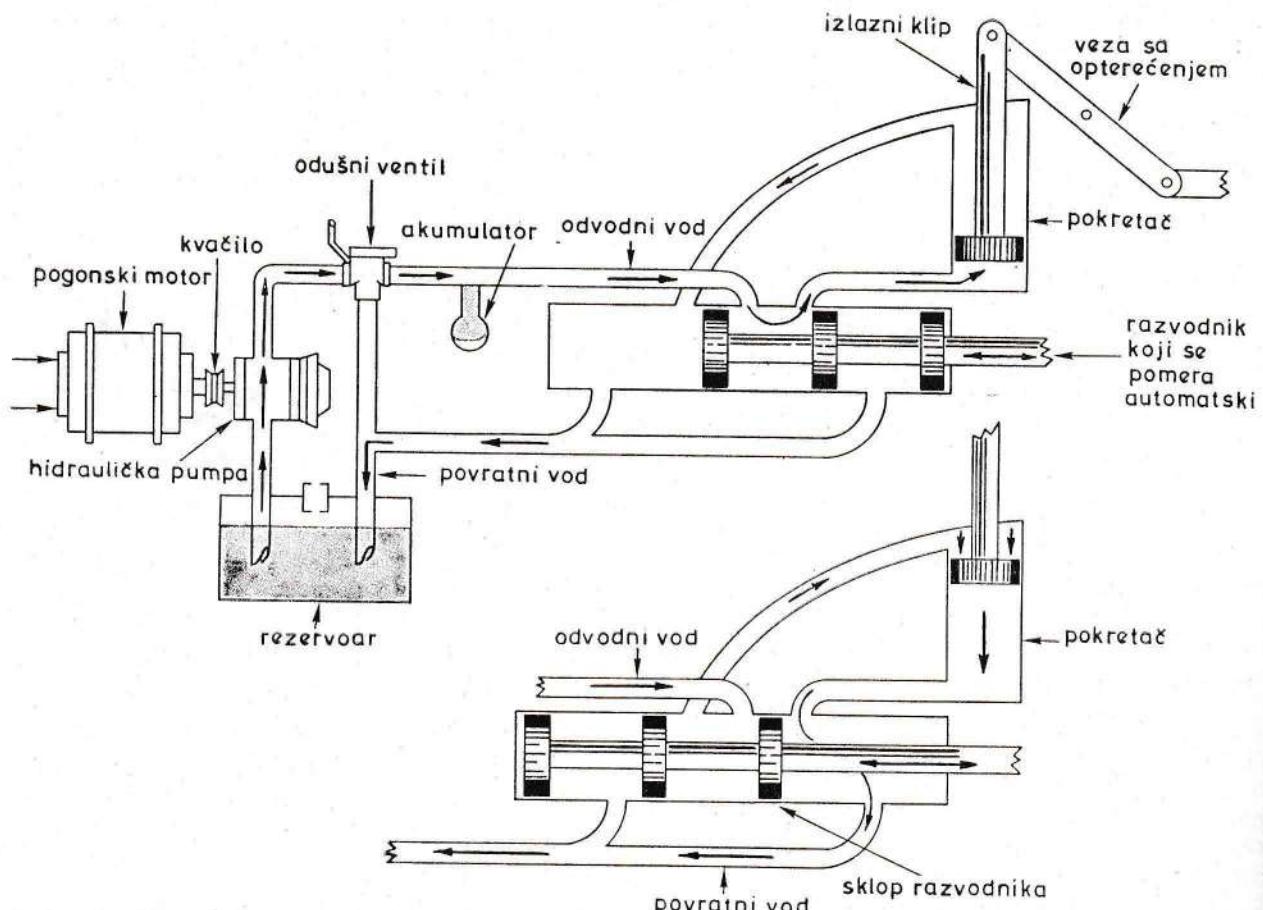
Sada je potrebno da razmotrimo sledeću skicu na slici 323 sa površinom ulaznog klipa od 2 kvadratna palca (13 cm^2) i površinom izlaznog klipa od 3 kvadratna palca (19 cm^2). Ako sila koja deluje na ulazni klip prouzrokuje da

se klip pomeri za odstojanje od 3 palca (7,5 cm) onda će 6 kubnih palaca (99 cm^3) fluida da bude potisnuto u ulazni cilindar. Izlazni klip, koji ima površinu od 3 kvadratna palca (19 cm^2), da bi napravio prostor za 6 kubnih palaca (99 cm^3) fluida, treba da se pomeri samo za dva palca (5 cm). Prema tome, ako se zanemare gubici usled trenja svojstveni jednom hidrauličkom sistemu za prenošenje energije, proizvod između ulazne sile i puta na kome ona deluje jednak je proizvodu između izlazne sile i puta na kome ona deluje. Ovaj odnos između sile i puta je važan činilac u konstruisanju hidrauličkih pokretačkih elemenata.

Sada ćemo objasniti primenu prenošenja pritiska u tečnostima na organe za pokretanje uređaja za upravljanje položajem u sistemima vođenja projektila. Zavisno od toga kakav rad treba da bude izvršen, variraće i raspored delova hidrauličkog pokretačkog sistema, kao i njegove fizičke dimenzije. Ipak, ilustracija jednog prostog hidrauličkog sistema na slici 324 prikazuje relativan raspored osnovnih kompo-



Sl. 323 — Hidraulički sistem sa proporcionalnim pomeranjem klipova



Sl. 324 — Komponente običnog hidrauličkog sistema

nenti. Pravac toka fluida kroz uređaj prikazan je strelicama.

Na slici 324 snaga koju daje električni motor pogoni hidrauličku pumpu. Pumpa kroz vodove pogoni fluid pod pritiskom — do hidrauličkog razvodnika. Hidraulički razvodnik, koji se automatski postavlja u dati položaj, određuje pravac toka fluida u pokretač sa klipom. Uz pomoć opreme koja se nalazi na pokretaču prenosi se kretanje klipa i sile koja sa njega deluje na opterećenje (upravljački uređaj). Sledi pojedinačna objašnjenja osnovnih komponenata ovog hidrauličkog sistema.

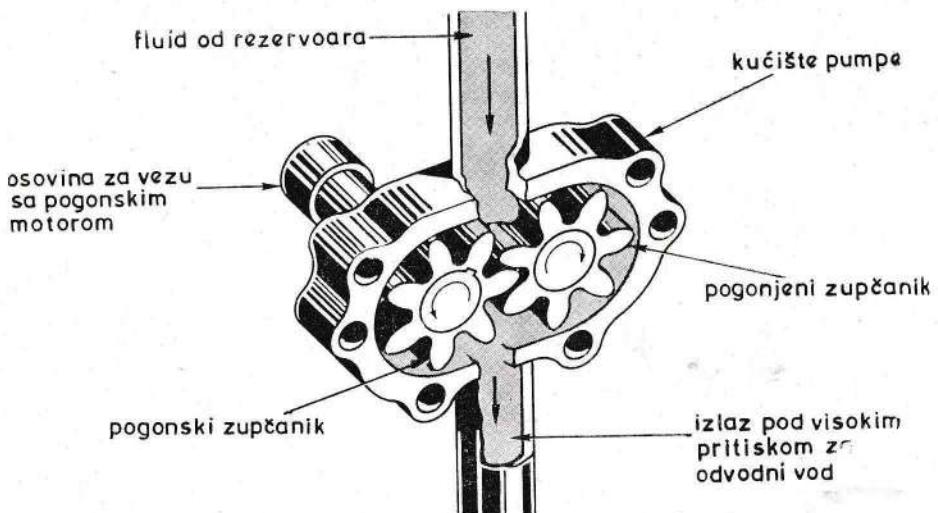
KONSTRUKCIJA I NAČIN RADA HIDRAULIČKIH PUMPI

Prvi pobuđivački elemenat hidrauličkog sistema jeste pumpa. Pumpu može da pogoni električni motor, li neki drugi izvor energije u projektilu. Ovaj izvor energije mora da obezbedi energiju koja je proporcionalna greški položaja. Dve vrste pumpi koje se često upotrebljavaju

jesu zupčasta pumpa i klipna pumpa (recipročna pumpa).

Zupčasta pumpa se uglavnom sastoji od dva zupčanika, koji su postavljeni tesno jedan uz drugi koji se obrću u jednom kućištu, kao što je prikazano na slici 325. Zazor između zubaca zupčanika i kućišta pumpe je mali. Da bi pumpa radila, dovodna cev je spojena sa rezervoarom tečnosti, a izlaz iz pumpe je spojen pomoću odvodne cevi visokog pritiska sa hidrauličkim sistemom. Kada zupci zupčanika prolaze pored ivice ulaznog otvora, oni zahvataju tečnost između zubaca i kućišta pumpe. Ova tečnost se prenosi oko kućišta do izlaznog otvora. Kada zupci zupčanika dođu na ulaz izlaznog otvora, tečnost koja se nalazi između zupčanika potiskuje se u odvodnu cev visokog pritiska. Fluid koji se pumpa u uređaj pomera hidraulički pokretač i opterećenje koje je na njega priključeno.

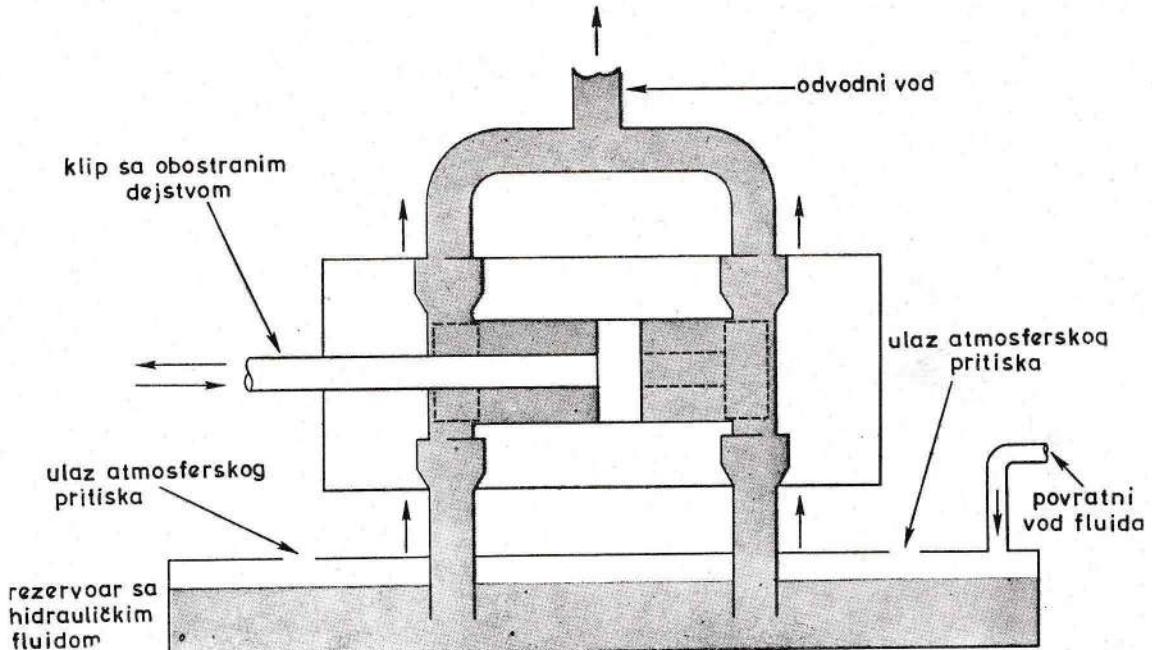
Kao što je pomenuto, druga vrsta pumpe koja se može upotrebljavati u hidrauličkim sistemima za prenošenje energije jeste klipna ili



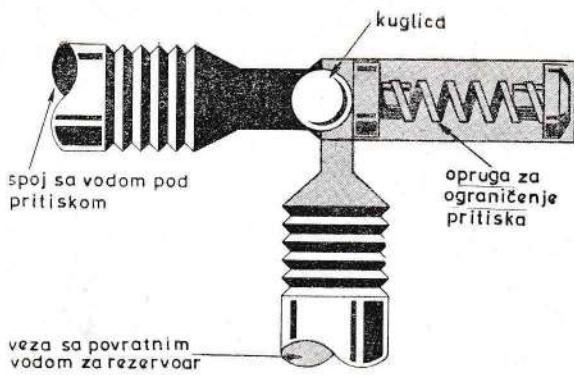
Sl. 325 — Hidraulička zupčasta pumpa

recipročna pumpa. Funkcionisanje ovakvih pumpi zavisi od kretanja pokretnih delova pumpe napred — natrag; one su spregnute sa odgovarajućim ventilima i pumpaju hidraulički fluid u odvodnu cev pod visokim pritiskom. Prednost klipnih pumpi je u tome što one mogu da razviju relativno veći pritisak nego pumpe druge vrste. Na slici 326 prikazana je obična pumpa sa obostranim dejstvom, koja daje neprekidni tok fluida. Povećanjem broja klipova u klipnoj pumpi postiže se veći protok i manja pulzacija.

Po slici se može zaključiti da je ovo pumpa sa dvostranim dejstvom. Kada se klip kreće zdesna nalevo, u desnom delu cilindra razvije se delimičan vakuum. Odmah posle toga, fluid koji se nalazi u rezervoaru pod atmosferskim pritiskom otvara ventil i ulazi u cilindar. Istovremeno, fluid koji se nalazi na onoj strani cilindra na kojoj se vrši pražnjenje nastoji da ponovo uđe u cilindar i zatvara ventil 2. Prema tome, prostor koji ostaje prazan kada se klip pokreće zdesna nalevo popunjava se fluidom iz

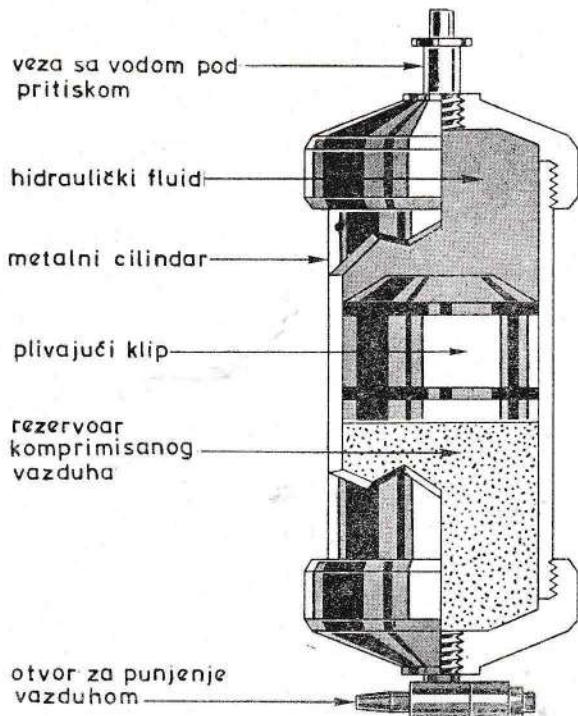


Sl. 326 — Klipna hidraulička pumpa sa obostranim dejstvom



Sl. 327 — Tipični hidraulički odušni ventil

rezervoara. Takođe, kada se klip kreće zdesna nalevo, on deluje silom na fluid koji se nalazi u levom delu cilindra, zatvara ventil 3 i otvara ventil 4. Kroz ventil 4 fluid pod pritiskom odlaže u odvodnu cev. Kad klip dostigne krajnji levi položaj, deo cilindra koji se tada nalazi s desne strane klipa potpuno je ispunjen fluidom. U povratnom taktu, sleva nadesno, zatvara se ventil 4, a fluid iz rezervoara otvara ventil 3 i ulazi u cilindar — da bi napunio prostor koji ostaje prazan iza klipa. U isto vreme zatvara se ventil 1, otvara se ventil 2 i fluid se potiskuje u odvodnu cev.



Sl. 328 — Hidraulički akumulator sa plivajućim klipom

Ukratko, u taktu kretanja klipa zdesna nalevo fluid ulazi kroz ventil 1 i izlazi kroz ventil 4, dok su ventili 2 i 3 zatvoreni. U taktu kretanja klipa sleva nadesno fluid ulazi kroz ventil 3 i izlazi kroz ventil 2, dok su ventili 1 i 4 zatvoreni.

ULOGA REZERVOARA U HIDRAULIČKOM SISTEMU

Rezervoar je mesto gde se drži fluid koji se upotrebljava u hidrauličkom sistemu. Fluid teče od rezervoara prema pumpi, koja ga pogoni kroz hidraulički sistem. Rezervoar takođe prima fluid koji se vraća pošto je na klipu hidrauličkog pokretača izvršio određeni rad.

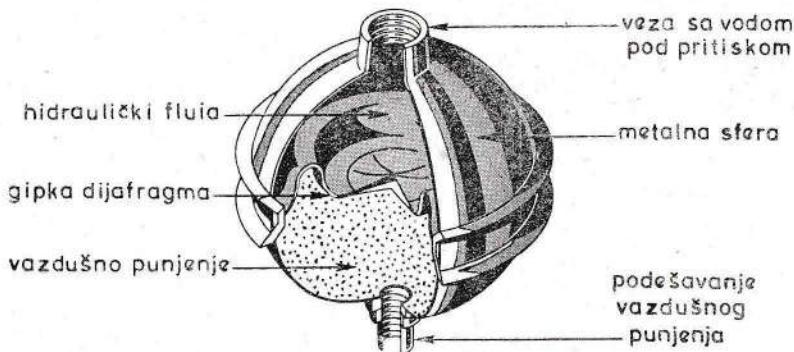
KONSTRUKCIJA I NAČIN RADA SIGURNOSNOG VENTILA

Sigurnosni ventili za pritisak konstruisani su tako da u hidrauličkom sistemu ograniče pritisak na neku maksimalnu vrednost, pa prema tome da spreče oštećenje delova sistema. Neki hidraulički sistemi umesto sigurnosnih ventila upotrebljavaju hidrauličke prekidače za regulaciju pritiska. Ovakvi prekidači kontrolišu rad pumpe snage, odgovarajući na promene pritiska u sistemu.

Tipični sigurnosni ventil za pritisak prikazan je na slici 327 i sastoji se od metalnog kućišta sa dva otvora. Jedan otvor je spojen sa vodom hidrauličkog sistema koji se nalazi pod pritiskom. Drugi otvor je spojen sa povratnim vodom za rezervoar. Opruga drži pod pritiskom jednu kuglicu u ograničenom prostoru voda, a kuglica sprečava fluid da u normalnim uslovima rada prođe u rezervoar kroz povrtni otvor. Međutim, kada pritisak na otvoru, koji je spojen sa vodom pod pritiskom, postane dovoljno velik da nadjača silu kojom opruga deluje na lopticu, ona se pomera iz svog ležišta. Ova akcija omogućava fluidu da prođe kroz izlazni otvor za rezervoar i da se ponovo vrati u njega. Prema tome, pritisak u hidrauličkom sistemu nikada ne može da pređe vrednost koja je potrebna da bi se nadjačala sila opruge konstruisane posebno za svaki sistem.

KONSTRUKCIJA I NAČIN RADA HIDRAULIČKOG AKUMULATORA

Akumulator služi kao pomoćno spremište hidrauličkog fluida pod pritiskom. Ponašajući se tako, on nastoji da priguši oscilacije ili udarne talase pritiska u hidrauličkom sistemu. Pulzirajući tok u hidrauličkom sistemu može da izazove vibracije komponenata i nestabilan rad onih uređaja za upravljanje na koje su priključeni akumulatori.



Sl. 329 — Hidraulički akumulator sa dijafragmom

Akumulatori mogu biti na plivajući klip, ili na dijafragmu. Obe ove vrste su prikazane na slikama 328 i 329.

Akumulator na plivajući klip sastoji se od metalnog cilindra koji je pomoću plivajućeg klipa podeljen na dve komore: komoru sa hidrauličkim fluidom i komoru sa vazduhom. Akumulator na dijafragmu sastoji se od dve šuplje polusfere napravljene od metala, a pomoću gipke dijafragme podeljen je na komoru sa hidrauličnim fluidom i komoru sa vazduhom. U obe vrste akumulatora vazdušna komora je napunjena vazduhom pod pritiskom, koji deluje na klip ili na dijafragmu. Ako pritisak u hidrauličkom sistemu postaje veći nego vazdušni pritisak u akumulatoru, fluid iz hidrauličkog sistema prelazi u komoru akumulatora. Ovaj fluid pritiska klip nadole, ili pak pritiska dijafragmu, pa se zbog toga vazduh sabija u vazdušnoj komori. U periodu maksimalnog opterećenja ili zaostajanja hidrauličke pumpe, sabijeni vazduh nastoji da istisne fluid iz akumulatora natrag u hidraulički sistem. Na taj način, podižući pritisak u akumulatoru izravnava se promene pritisaka u hidrauličkom sistemu.

ULOGA I NAČIN RADA HIDRAUЛИČKOG POKRETAČA

Svrha hidrauličkog pokretača je da transformiše pritisak fluida u mehaničku silu koja je potrebna za pokretanje nekih vrsta uređaja za upravljanje. U osnovi, hidraulički pokretač se sastoji od jednog cilindra sa odgovarajućim otvorom za ulaz i izlaz fluida, koji nosi klip i osovinu koja ga spaja sa cilindrom. Hidraulički pokretač je prikazan na slici 324 gde je nazvan »običan hidraulički sistem«. Pripada tipu na klip sa dvostranim dejstvom. Hidraulički fluid pod pritiskom može da se doveđe na obe strane klipa u pokretaču i, prema tome, može da iza-

zove kretanje na jednu ili na drugu stranu. Pri kretanju nagore, fluid pod pritiskom ulazi u cilindar s donje strane klipa, pritiska klip nagore i istiskuje fluid i iznad klipa natrag u rezervoar. Kretanje klipa pokretača nadole uslediće kada fluid bude ulazio u cilindar s gornje strane klipa. U tom momentu fluid koji se nalazi ispod klipa povratiće se u rezervoar.

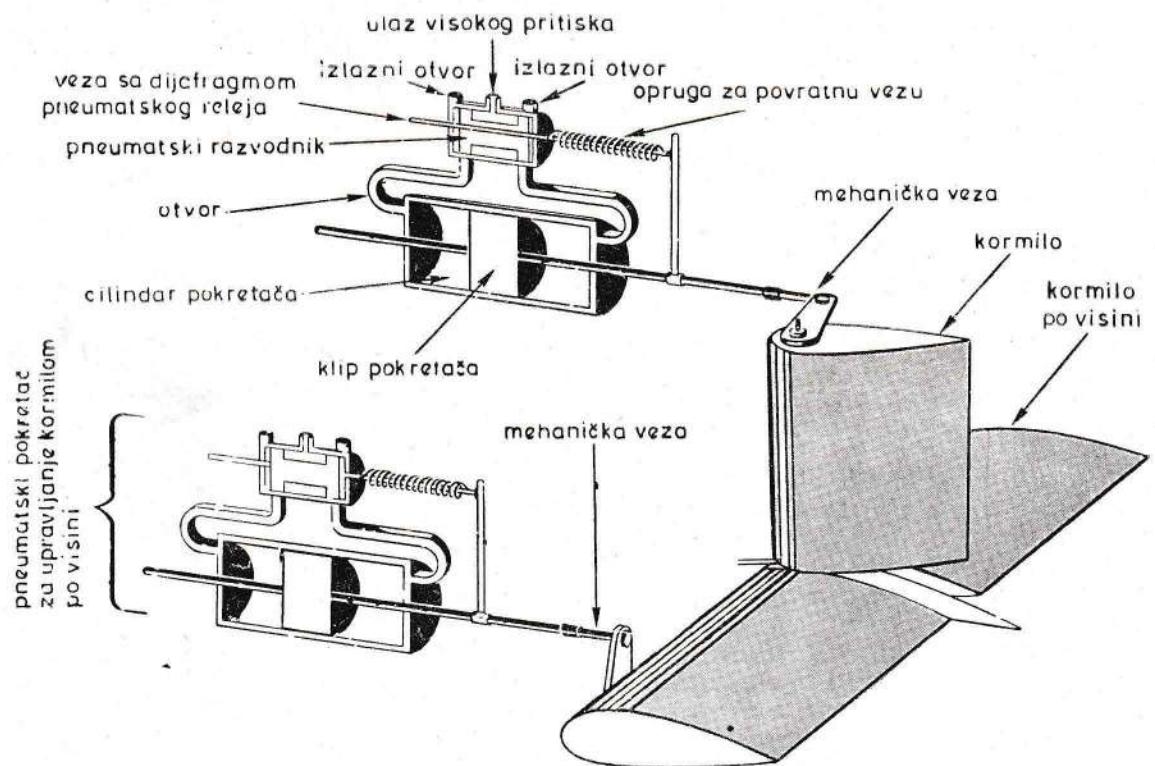
Drugi metod za prenošenje energije, koji će biti objašnjen, uvodi upotrebu pneumatskih elemenata.

PNEUMATSKI SISTEMI ZA PRENOŠENJE ENERGIJE

Sistemi koji upotrebljavaju vazduh kao medijum za prenošenje energije svrstani su u pneumatske sisteme. U osnovi, način rada pneumatskih sistema sličan je načinu rada hidrauličkih sistema, o kojima je upravo bilo reči. Najvažnija razlika između ova dva sistema sastoji se u tome što je medijum za prenošenje energije u pneumatskom sistemu gas, dok je takav medijum u hidrauličkom sistemu tečnost.

U pneumatskom sistemu vazduh koji dolazi iz nekog izvora pod pritiskom prolazi kroz odgovarajuće odvodne cevi ventila u regulatore pritiska, da bi izvršio rad na nekom mehaničkom elementu. Sabijeni vazduh obično je smešten u mentalne rezervoare. Energija pritiska koju je prvobitno posedovao vazduh prenosi se s jedne tačke na drugu i uz pomoć klipa ili dijafragme koja je spojena sa uređajem za upravljanje projektila, pretvara se u mehanički rad.

Za razliku od hidrauličkog sistema, pneumatski sistem ne može ponovo da upotrebi medijum koji je već izvršio neki rad. Iz tog razloga vazduh u rezervoaru mora da bude pod mnogo većim pritiskom nego što je potrebno za pokretanje opterećenja, kako bi se mogao održati adekvatan pritisak u sistemu i kada opadne pritisak u rezervoaru sistema.



Sl. 330 — Pneumatski pokretači mehanički vezani za kormila

Na slici 330 prikazana su dva pneumatska pokretača na klip sa dvostranim dejstvom, koji se upotrebljavaju za upravljanje kormilom pravca i visine.

Potrebitno je češće obraćati pažnju na tu skicu kada se čita sledeći opis konstrukcije i načina rada. Pneumatski razvodnik je mehanički spojen sa pneumatskim releom (nije prikazan) koji prima signal greške proizvedene odstupanjem projektila po pravcu. Dejstvo relea je takvo da na hidraulički razvodnik prenosi kako veličinu, tako i smer signala greške. Prema tome, početni pravac pomeranja pneumatskog razvodnika određene smerom signala greške. Na primer, projektil je odstupio po pravcu i signal greške iz hidrauličkog relea prouzrokovao je da se hidraulički razvodnik pokrene nadesno, čime se otvara desni otvor prema cilindru pokretača. Vazduh koji dolazi od ulaza pod visokim pritiskom prolazi kroz ovaj otvor i pokreće klipnu osnovu pokretača nalevo. Istovremeno, vazduh koji se nalazi u levom delu cilindra potiskuje se kroz otvor koji se nalazi u toj sekciji. Potisnuti vazduh izlazi u atmosferu kroz izlazni otvor pneumatskog razvodnika koji je postavljen na njegovom levom kraju.

Kretanje klipa pokretača prenosi se preko mehaničke veze na kormilo pravca, koje se

okreće i time upravlja projektil u željeni pravac leta. Kada se klip kreće, on saopštava jednu силу opruzi za povratnu vezu. Opruga za povratnu vezu je kalibrirana spirala opruga koja je postavljena između klipne osovine i pneumatskog razvodnika. Kretanje klipa dovodi oprugu u istegnuto ili sabijeno stanje, zavisno od pravca pomeranja klipa. U oba stanja opruga za povratnu vezu saopštava hidrauličkom razvodniku jednu silu, koja se suprotstavlja sili koju mu je saopštio pneumatski rele. Prema tome, pneumatski razvodnik kreće se pod dejstvom razlike dveju sila i ima pravac rezultirajuće sile. Kretanje klipa pokretača nastavlja se dok sila koja dolazi do opruge za povratnu vezu ne postane jednak, ali suprotna po smjeru, sili koju je pneumatskom razvodniku saopštio pneumatski rele. Kada se uspostavi ovaj uslov, pneumatski razvodnik je centriran i prestaje kretanje klipa pokretača. Kad se razvodnik ovako izbalansira, vazdušni tok prolazi kroz zazore pneumatskog razvodnika i dovodi isti pritisak na obe strane klipa pokretača. Ovo dejstvo drži klip i kormilo za koje je on spojen u položajima za korekciju koju je zahtevao signal greške.

Sila koja se dovodi na kormilo pravca prouzrokuje da se projektil vrati u željeni pravac

leta. Pošto se projektil sada kreće u pravcu suprotnom od pravca skretanja, na pneumatski rele dovodi se suprotni signal. Ovaj signal smanjuje силу коју је pneumatski rele saopštavao pneumatskom razvodniku. Kada se projektil približi položaju po pravcu, sila koju daje opruga za povratnu vezu veća je nego sila koju daje pneumatski rele. Sada se hidraulički razvodnik kreće nalevo i vazduh sa ulaza visokog pritiska gura klip pokretača natrag u neutralan položaj, što znači da je pravac kretanja klipa sada sleva nadesno. Ovo dejstvo ima za posledicu delimično otklanjanje upravljačke sile koja je bila dovedena na kormilo. Kada se smanji veličina sile upravljanja, smanji se i sila koju daje opruga za povratnu vezu. Zbog toga je smanjena brzina obrtanja, a sa njom i brzinski signal. Prema tome, sve sile se neprekidno smanjuju kako se vođeni projektil približava željenom položaju. Kada se željeni položaj ponovo dostigne, vazdušni signal je ravan nuli, sila opruge za povratnik veza je takođe ravna nuli, a klip pokretača i kormilo ponovo su centrirani. Sva kretanja prestaju dok projektil ponovo ne skrene po pravcu usled vazdušnog udara ili usled sopstvenih karakteristika leta.

Uz odgovarajuću modifikaciju mehaničkih veza, ovaj isti tip pokretača može da se upotrebi za pokretanje drugih upravljačkih uređaja. Na primer, pokretač za upravljanje kormila po visini koji je prikazan takođe na slici 330, skoro potpuno je isti kao opisani — različit je samo način na koji je mehanička veza spojena sa kormilom.

ELEKTRIČNI SISTEMI ZA PRENOŠENJE ENERGIJE

Postoje mnogi električni sistemi za prenošenje energije. Skup električnih komponenata u sistemima za prenošenje energije veoma je različit, zavisno od uloge koju sistem izvršava u projektalu. U svakom slučaju, uloga jednog takvog sistema u odnosu na pokretače uređaja za upravljanje jeste da prenese električnu energiju s jedne tačke na drugu gde se ona transformiše u mehaničko kretanje uređaja za upravljanje. Uopšte uzev, kao pokretači u električnim sistemima za prenošenje energije upotrebljavaju se motori.

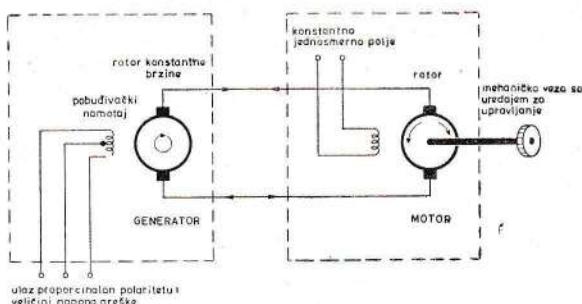
Vrsta električnog motora koji će se upotrebiti kao pokretač prvenstveno zavisi od veličine opterećenja i brzine kojom opterećenje valja pokretati. U principu, jednosmerni motori razvijaju veći startni momenat nego naizmenični motori i zbog toga se češće upotrebljavaju za pogon teških opterećenja kakva se sreću u u-

pravljanju projektila. Naizmenični motor je, u suštini, uredaj konstantne brzine i zbog toga nije preporučljiv kao servomotor kad je neophodna promena brzine obrtanja. Ova činjenica takođe uslovljava da se motor jednosmerne struje lakše može primeniti kao električni pokretač, nego motor naizmenične struje.

Kako je rotor motora jednosmerne struje mehanički spojen sa opterećenjem, mora da se primeni neko sredstvo za kontrolu brzine i pravca obrtanja. Dva načina za obavljanje ove kontrole su: kontrola napona koji se dovodi na pobudivačke namotaje i kontrola napona rotora. Kontrolom pobudivačkog namotaja biće omogućena kontrola brzine rotora jedino iznad neke minimalne brzine. Da bi se omogućilo da brzina obrtanja rotora može da se podesi na nulu mora da se primeni upravljanje sa strane rotora. Na ovaj način, ako struja ne teče kroz namotaje rotora, rotor se neće obrtati. S druge strane, kada struja teče kroz namotaje rotora, brzina i pravac obrtanja biće određeni veličinom i fazom napona greške. Obično je napon rotora servomotora kontrolisan dovođenjem napona greške na pobudivački namotaj generatora jednosmerne struje, a izlaz iz njega vodi se na rotor jednosmernog motora.

Na slici 331 prikazan je shematski raspored komponenata jednosmernog servomotora. Rotor jednosmernog generatora pogoni se konstantnom brzinom obrtanja. Kada se pobudivački namotaj jednosmernog generatora napaja pojačanom strujom signala greške, u namotajima rotora koji presecaju magnetsko polje indukuje se napon. Izlazni napon, indukovani u namotajima rotora, proporcionalan je brzini obrtanja rotora generatora i jačini magnetskog polja. Pošto se rotor obrće konstantnom brzinom, izlazni napon iz generatora menja se sa magnetskim poljem. Sa svoje strane, magnetsko polje je proporcionalno veličini i polaritetu napona signala kojim se to polje pobuduje. Promenljivi izlaz iz generatora se vodi na rotor jednosmernog servomotora. Pobudivački namotaj jednosmernog servomotora napaja se konstantnim jednosmernim izvorom. Prema tome, pravac i brzina obrtanja rotora su proporcionalni polaritetu i veličini struje rotora. Rotor jednosmernog motora mehanički je spojen sa uređajem za upravljanje i pokreće ga.

Upotreba jednosmernog motora kao pokretačkog elementa kojim se upravlja pomoću generatora, kao što je prikazano na slici 331, izaziva jednu neželjenu reakciju koja se mora odstraniti ukoliko se želi da servoupravljanje bude uspešno. Problem se pojavljuje usled tendencije da magnetska struktura generatora os-



Sl. 331 — Principijelna shema upotrebe jednosmernog motora kao pokretača

tane magnetizovana. Ona teži da ostane magnetizovana i pošto struja magnetizovanja opadne na nulu usled korekcije neaksijalnosti upravljanja koju proizvodi ova struja. Zaostalo magnetsko polje nastoji da indukuje u obrtnim namotajima rotora malo magnetsko polje čak i za vreme odsustva struje pobudivačkog kola. Ova reakcija je najnepoželjnija u servoprimeni, usled toga što će jednosmerni motor nastaviti da razvija momenat i u odsustvu signala greške. Reakcija ove vrste, koja je upravo opisana, prouzrokuće da se opterećenje pomeri dalje nego što se želelo.

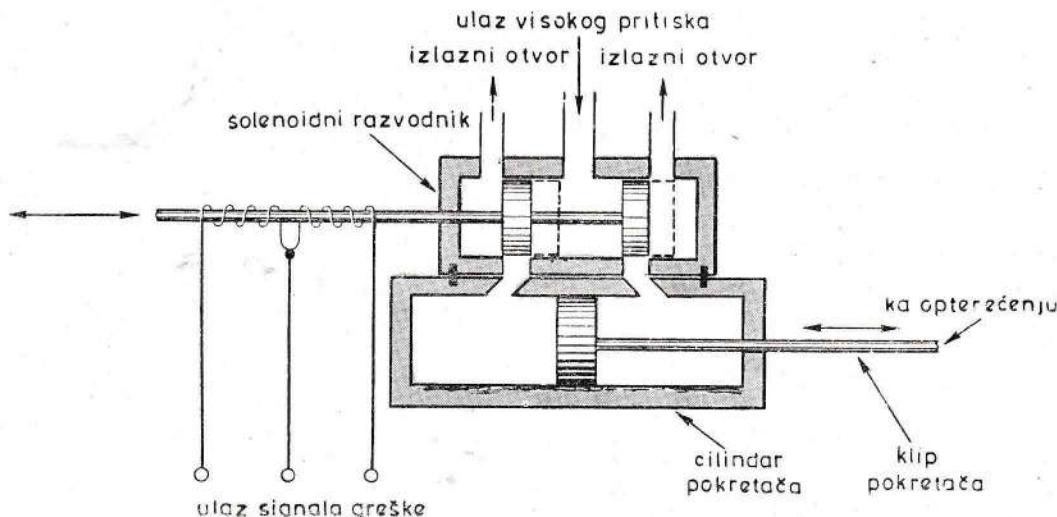
Ovaj problem, može se rešiti upotrebom dodatnih namotaja na polovima generatora. Ako se ovi pomoći namotaji pobuduju slabom naizmeničnom strujom, naizmenično magnetsko polje koje će iz ovoga rezultirati prouzrokuće da srednja magnetizacija magnetskog polja generatora padne na nulu — kada pobudivačka struja prekine da teče u glavnim pobudivačkim namotajima. Ipak se može primetiti da naiz-

menična struja koja teče u pobudivačkom namotaju takođe prouzrokuje mala rasipanja u glavnom magnetskom polju. Ova reakcija prouzrokuje malu naizmeničnu komponentu u izlazu generatora prema servomotoru.

Kao rešenje za ovaj drugi problem, na rotor generatora se, umesto pomoćnih namotaja za uvođenje naizmeničnog magnetskog polja stavljujaju mali stalni magneti — tako da se okreću zajedno sa rotorom. Ovako postavljeni stalni magneti stvaraju naizmeničnu magnetopobudivačku silu u statoru generatora i omogućuju da jednosmerni izlaz iz generatora padne na nulu kada nije pobuđeno glavno magnetsko polje. Pošto stalni magneti imaju stalni položaj u odnosu na namotaje rotora, oni u ovim namotajima ne mogu indukovati napon. Usled toga, na izlazu generatora nema komponente naizmenične struje i momenat servomotora kontroliše se mnogo tačnije uz pomoć napona greške.

KOMBINOVANI SISTEMI ZA PRENOŠENJE ENERGIJE

Ponekad se u pokretačima za upravljačke uređaje — da bi se postigli željeni rezultati — upotrebljavaju dva različita načina za prenošenje energije. Na primer, elektropneumatski pokretač u suštini se sastoji od klipa koji radi pod dejstvom sabijenog vazduha, čiji je pravac kretanja određen pomoću selektora. Ovaj selektor postavlja se u određen položaj električnim putem. U stvari, ovaj uređaj može se smatrati kao kombinacija upravljača i pokretača, to jest, razvodnik koji se pokreće električnim putem radi upravljač, a klip koji se pogoni



Sl. 332 — Shema tipičnog elektropneumatskog pokretača

pneumatskim putem je pokretač. Specifičnosti u navedenim kombinacijama elemenata zahtevaju poseban osvrt u ovom poglavlju.

Skica 332 pokazuje raspored komponenti tipičnog elektropneumatskog pokretača.

Iz crteža je vidljivo da solenoidni razvodnik reguliše dovod i odvod vazduha ka cilindru pokretača i od njega. Položaj razvodnika je određen polaritetom ulaznog signala greške. Takođe, vreme za koje razvodnik ostaje u određenom položaju zavisi od vremenskog intervala u toku kojeg signal greške ima određeni polaritet.

Kao što je prikazano na slici 332, razvodnik i klip zauzimaju neutralne položaje. Ako postoji signal greške određenog polariteta, on će prouzrokovati da se razvodnik pomeri nadesno, ali ne toliko daleko da bi prekoračio odstojanje koje je ograničeno isprekidanim linijama. Ovaj novi položaj razvodnika omogućuje vazduhu pod visokim pritiskom da prođe kroz razvodnik do klipa pokretača. Klip pokretača kreće se nalevo, i u isto vreme istiskuje se vazduh sa leve strane kliza kroz razvodnik preko levog izlaznog otvora. Za vreme ovog dejstva, izlazni otvor koji se nalazi na desnoj strani je zatvoren. Kada se ispravi greška u položaju, razvodnik i klip pokretača ponovo će biti u neutralnim položajima.

Ako postoji signal greške suprotnog polariteta, solenoidni razvodnik se kreće nalevo. Vazduh visokog pritiska sada ulazi u cilindar pokretača sa leve strane klipa i gura ga nadesno. Vazduh koji se istiskuje iz desne komore cilindra pokretača prolazi kroz razvodnik i izlazi kroz desni izlazni otvor.

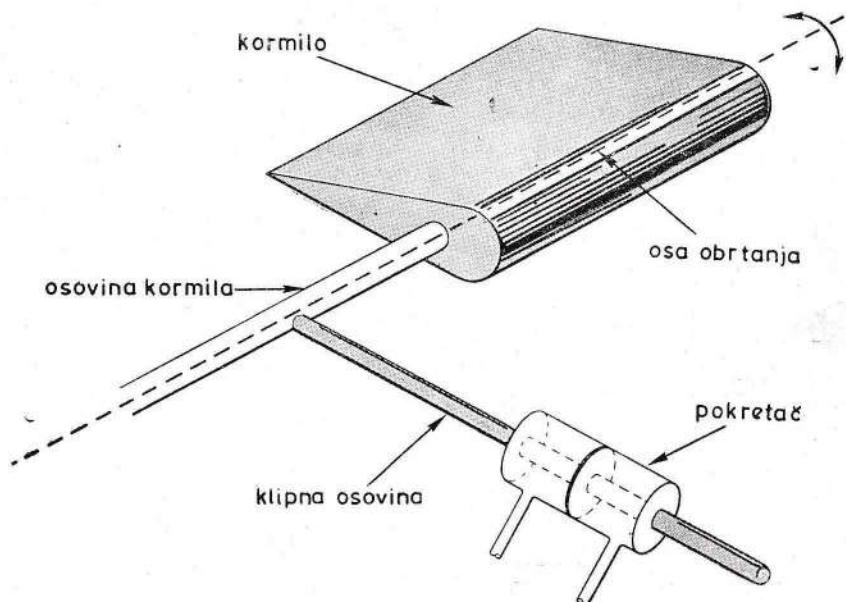
Principijelna konstrukcija i način rada, prikazani kod elektropneumatskog pokretača, mogu se takođe primeniti kod elektrohidrauličkog pokretača. Glavna promena sastoji se u upotrebi hidrauličkog fluida umesto vazduha za pogon klipa koji pokreće opterećenje. U oba slučaja solenoidni razvodnik omogućuje brz odgovor pokretača kada postoji signal greške.

UPOTREBA MEHANIČKIH VEZA ZA PRENOŠENJE ENERGIJE

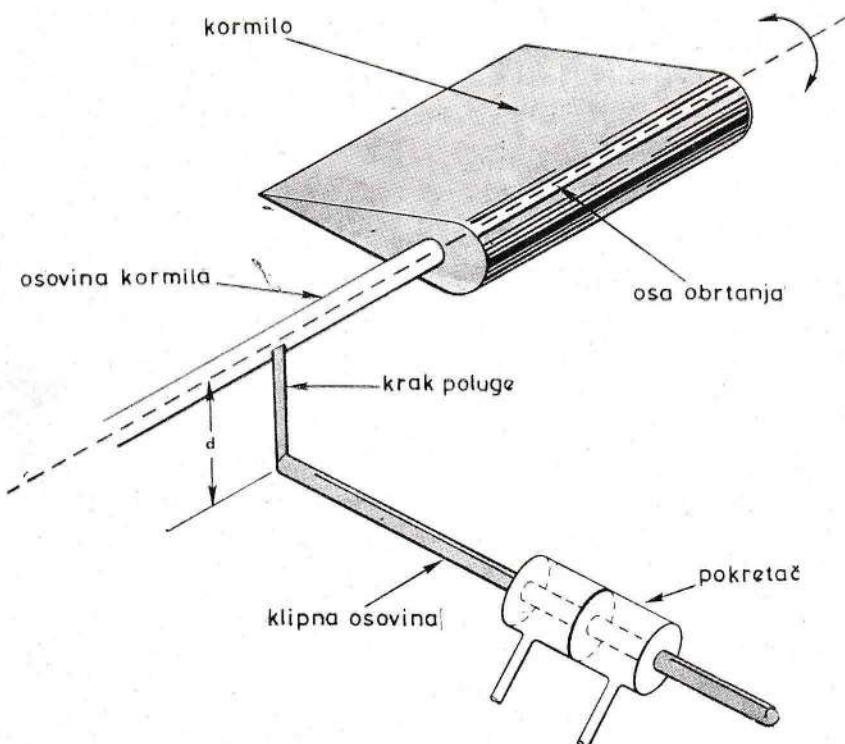
Da bi se u jednom sistemu za upravljanje položajem efektivno prenosa energija sa pokretača na uređaj za upravljanje, valja upotrebiti neke mehaničke veze. Uz tačnu konstrukciju mehanička veza (kao dodatak sistemu za prenošenje energije) takođe omogućuje bolje dovođenje date sile na uređaj za upravljanje. Ova prednost dobija se promenom tačke na koju sila deluje, kao i pojačanjem obrtnog momenta.

Da bi se detaljnije objasnilo ovo tvrdjenje razmotriće se situacija u kojoj je za pogon kormila upotrebljen klip, koji se pogoni hidrauličkim putem, a kormilo je konstruisano tako da se obrće oko jedne osovine — kao što je prikazano na slici 333.

Klipna osovina, koja je spojena sa centralnom osom kontrolne površine — kao što je prikazano — neće izazvati obrtanje osovine iako pokretač saopštava određenu silu.



Sl. 333 — Osovina vezana sa opterećenjem bez kraka poluge

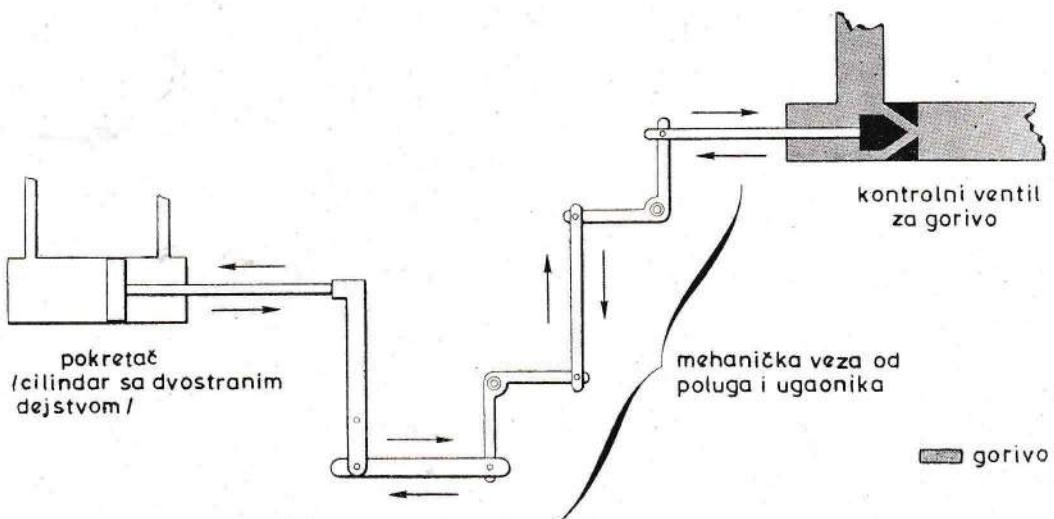


Sl. 334 — Pokretač spojen sa opterećenjem preko poluge sa krakom

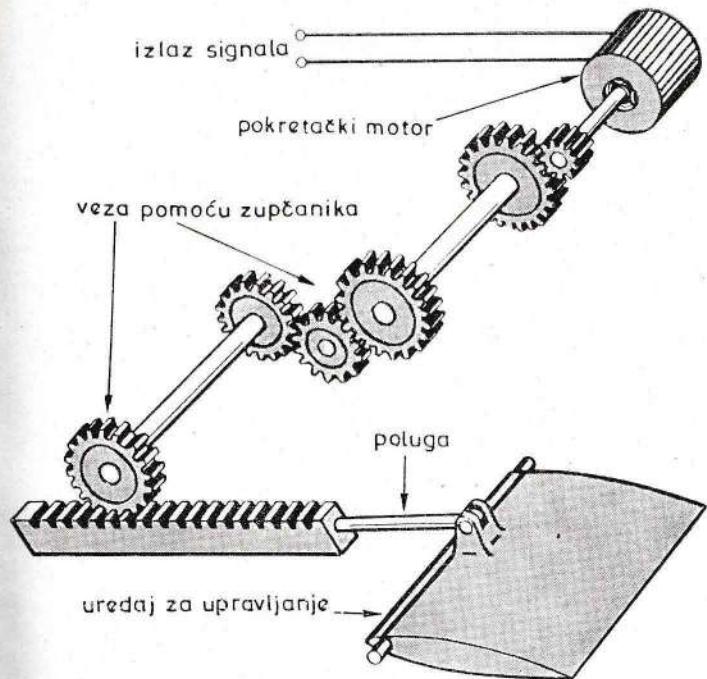
Prema slici 334, izlazna sila iz pokretača dovodi se na krak poluge, koja je pričvršćena za osovinu kontrolne površine. Tačka na koju se dovodi sila nalazi se na nekom odstojanju (d) od ose obrtanja. Sada se kontrolna površina obrće usled toga što se sila koju saopštava klip dovodi na neko odstojanje od ose obrtanja i za datu силу proizvodi se obrtni momenat. Na slici

na kojoj je prikazan pokretač bez poluge sa krakom (sl. 333) sila koju je saopštavao klip bila je dovedena na odstojanje jednak nuli od ose obrtanja. Usled toga obrtni momenat bio je jednak nuli.

Uređaji za mehaničke veze sastoje se u principu od kombinacije zupčanika, poluga i žica. Naravno, veza mora biti postavljena na takav



Sl. 335 — Poluge i ugaonici upotrebljeni kao mehanička veza između pokretača i opterećenja



Sl. 336 — Vrsta mehaničke veze pomoću zupčanika

način da smer i veličina izlaza iz pokretača prouzrokuje kretanje uređaja za upravljanje u tačnoj veličini i u željenom pravcu, kako bi se ispravila nastala greška u položaju. Obrnuto dejstvo izlaza iz pokretača proizvodi kretanje mehaničkih veza u suprotnom pravcu. S druge

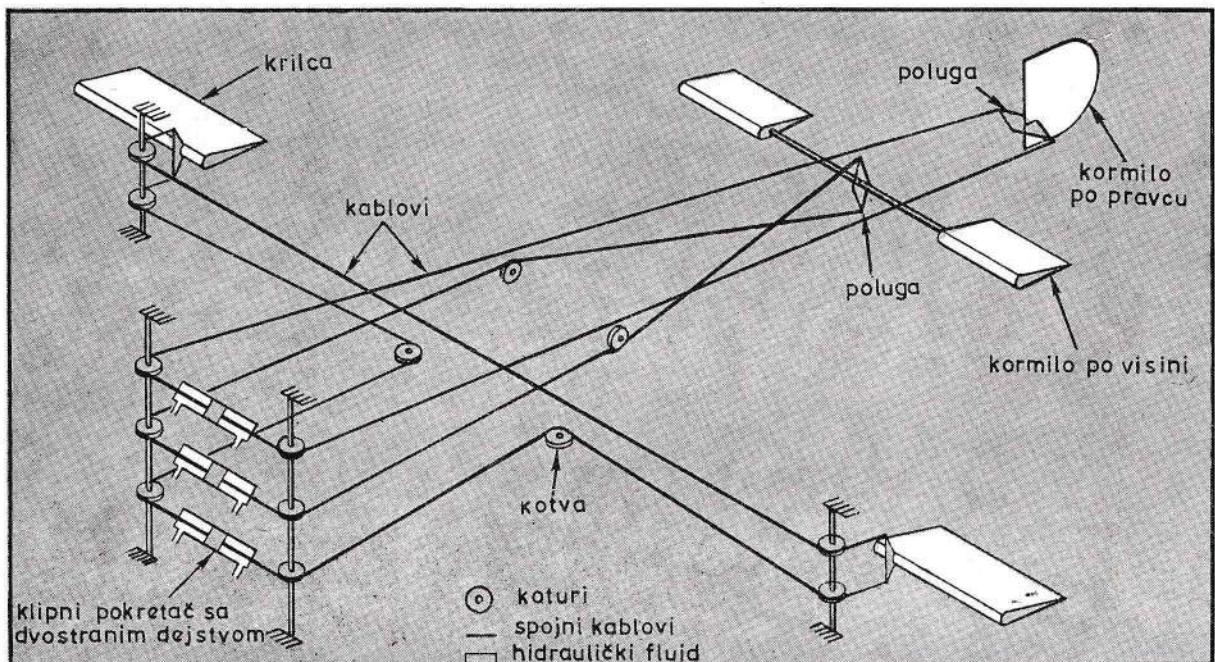
strane, ovakvo obrnuto kretanje prouzrokuje kretanje opterećenja u suprotnom pravcu.

Kao rezime poglavlja o mehaničkim vezama za prenos energije treba pogledati slike 335, 336 i 337. One prikazuju razne mogućnosti izvođenja mehaničkih veza pokretača sa opterećenjem. U svakom slučaju, pokretač se pokreće (bilo da se pokreće linearno ili da se obrće) u datom pravcu i predaje kretanje preko mehaničke veze do opterećenja. Ako se pravac kretanja pokretača obrne, ponovo će uslediti dejstvo mehaničke veze, ali sada u obrnutom pravcu od prethodnog.

KRATAK OSVRT NA METODE PRENOSA ENERGIJE

Kao što je poznato, način prenosa energije koji se upotrebljava u pokretaču zavisi od ostalih komponenata sistema upravljanja. Osobine svake od ovih metoda su razmotrene u glavi 7.

Prenos energije pomoću hidrauličkih elemenata je zasnovan na Paskalovom zakonu koji kaže: »Kad se neki pritisak dovede na tečnost u ograničenom sudu, pritisak se bez gubitaka prenosi u svim pravcima kroz tečnost, bez obzira na oblik suda koji predstavlja taj ograničeni prostor«. U principu, pneumatski sistem radi na način sličan načinu rada hidrauličkog sistema. Glavna razlika između ova dva sistema jeste medijum koji se upotrebljava za prenos



Sl. 337 — Kablovска veza od pokretača do kontrolnih površina

energije. Tečnost se upotrebljava u hidrauličkim sistemima, dok se vazduh primenjuje u pneumatskim sistemima.

Skup električnih komponenata u električnom sistemu za prenos energije u projektalu je različit, zavisno od uloge koju sistem mora da obavi. Ovi sistemi upotrebljavaju kao pokretače uglavnom jednosmerne motore. Ponekad su u

pokretaču upotrebljena dva načina za prenos energije. Elektromehanički pokretač je jedna takva kombinacija. On se sastoji od klipa koji se pokreće pneumatski, a pravac kretanja mu je određen uz pomoć električnog selektora.

Prenos energije pomoću mehaničkih veza u projektalu uglavnom se obavlja pomoću zupčanika, poluga i žica.

POVRATNE VEZE (POVRATNE SPREGE) U SISTEMIMA UPRAVLJANJA

Povratna veza ili povratna sprega u sistemima upravljanja projektila obezbeđuje pomoću povratnog signala neprekidne podatke o položaju kormila u odnosu na telo projektila. Ovi podaci obično se zovu povratni signali jer pokazuju kako je izlaz iz sistema upravljanja sleđio signal greške.

POVRATNI SIGNALI KAO POKAZIVAČI IZLAZA IZ UREĐAJA ZA UPRAVLJANJE

Povratni signal je indikacija izlaza iz uređaja za upravljanje. Signal je približno proporcionalan otklonu kormila u odnosu na pravac kretanja. On je indikacija izlaza iz opreme za upravljanje. Skretanje projektila je predstavljeno kombinacijom povratnog signala i signala greške.

Bez povratnog signala bilo bi nemoguće izbeći kolebanje kormila prilikom izmene vazdušnog pritiska i »udaranje« u graničnik svaki put kada dolazi signal sa osetnika. Povratna veza omogućuje da se kormilo otkloni za veličinu koja zavisi od snage signala greške. Ona takođe obezbeđuje signal da bi se kormilo vratilo na pravac vazdušnog strujanja.

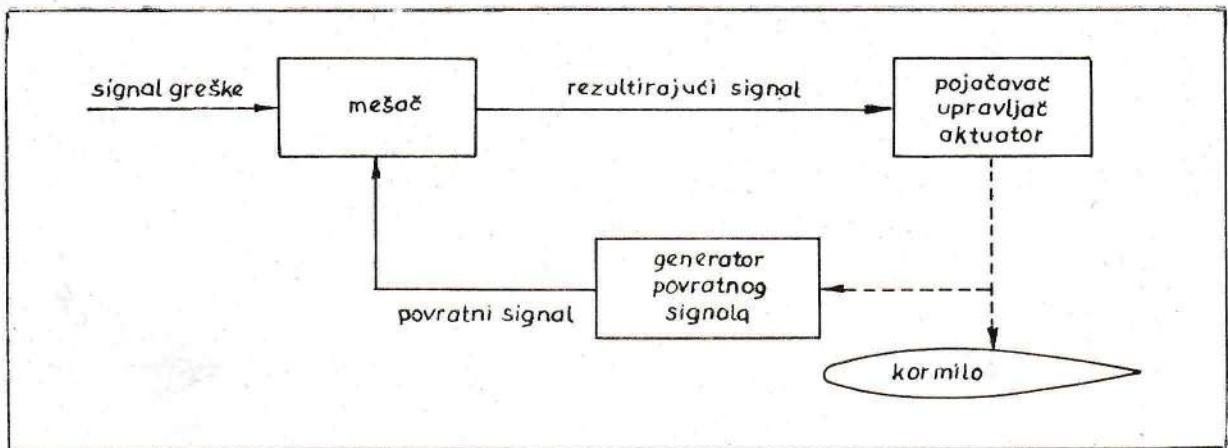
Povratni signal kombinuje se sa signalom greške na taj način što dejstvuje suprotno signalu greške. Signal greške je ipak dovoljno velik da proizvede potreban otklon kormila. Kada povratni signal postane velik kao i signal greške, kormilo se neće dalje otklanjati, pošto je rezultanta dvaju signala jednaka nuli (rezultanta je signal koji upravlja kormilom). Ako je signal greške velik, otklon kormila pre nego što se signali ponište takođe je velik. Pošto tada

projektil počinje da se vraća u željeni položaj, signal greške postaje manji. Povratni signal je tada veći, tako da resultantni napon ima obrnut polaritet. Ovaj napon pokreće kormilo u suprotnom pravcu sve dok se ono ponovo ne povrava sa strujom vazduha. Ovakvo dejstvo obezbeđuje ravnomerno i brzo upravljanje. To se ne može postići pomoću nekog sistema »uključeno — isključeno« koji dejstvuje uvek istom snagom, bez obzira na veličinu signala greške.

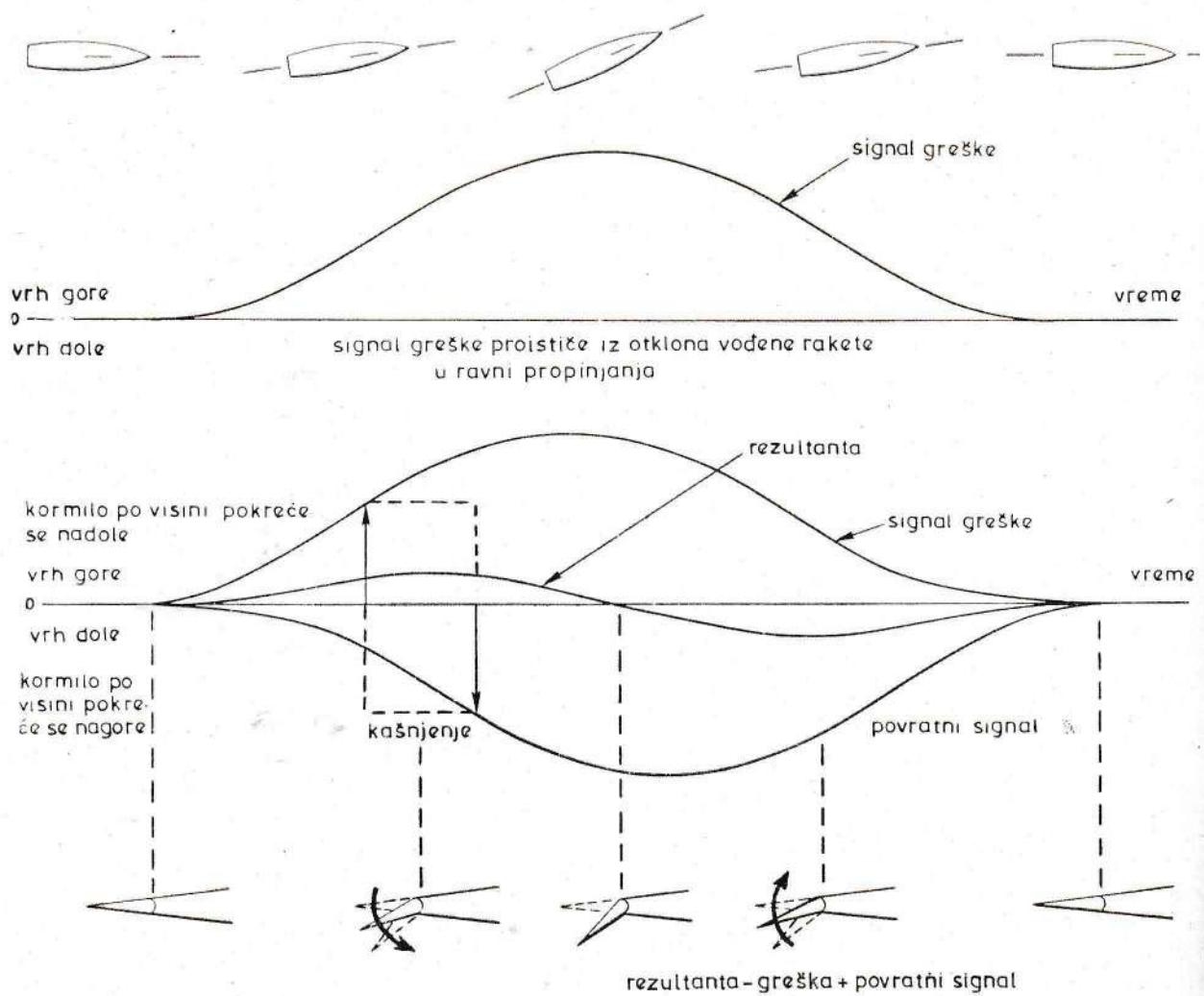
POVRATNE VEZE — DODATAK GLAVNIM POVRATNIM SIGNALIMA

Povratna veza dodaje se glavnom povratnom signalu sistema upravljanja. Povratna veza ima generator koji stvara povratni signal, a on se dodaje glavnoj dinamičkoj povratnoj grani. Glavna grana predstavlja podatak o reakciji položaja projektila i vodi ga natrag do osetnog elementa. Ugaono kretanje letelice zatvara glavnu spregu. Manja povratna grana (povratna sprega) vraća podatak o reakciji kormila, a ne o reakciji projektila. Ovaj povratak sačinjava manju spregu, koja sadrži manje opreme i u principu je od manje važnosti nego glavna sprega. Principijelni blok — dijagram upravljanja projektila, koji je prikazan na slici 320, sadrži obe spreve. Manja povratna veza je prikazana na slici 338.

Dodatna povratna sprega povećava brzinu kojom projektil odgovara na neku grešku. Osnovni princip automatskog upravljanja, koji se koristi reakcijom tačke kojom se upravlja kao osnovnom za dalju i kontinualnu korekciju, već je bio spomenut. U sistemima projektila



Sl. 338 — Povratna petlja sistema upravljanja vođenog projektila



Sl. 339 -- Odnos povratnog signala prema signalu greške

tačka kojom se upravlja je položaj projektila. Ako bi ova reakcija bila jedini vodič za dalje korekcije, ona bi se pojavila odviše kasno da bi mogla da obezbedi fino upravljanje. Reakcija je spora usled aerodinamičkog kašnjenja. Kada se otkloni kormilo prođe izvestan vremenski period pre nego što se projektil vrati u željeni položaj. Otklon kormila određuje silu koja nastoji da pokrene telo projektila, a ne direktno položaj tela projektila.

Bez povratne veze projektil bi težio da osciliše oko željenog pravca. Na primer, neka usled udara vetra, projektil bez povratne veze skrene nadesno. Osetnik detektuje grešku i otkloni kormilo u krajnji levi položaj da bi projektil vratio na kurs. Kormilo se zadržava u levom položaju sve dok ta greška postoji. Projektil se vraća na željeni pravac posle kraćeg vremena. Ovu činjenicu detektuje osetnik preko glavne povratne sprege, ali to je odviše kasno, pošto je projektil sada na putu da dobije levi otklon, — što zahteva desni otklon kormila. Operacija se ponavlja sama od sebe, stvarajući periodično kretanje zavisno od aerodinamičnosti projektila i od karakteristika sistema upravljanja.

Unutrašnja povratna sprega ranije šalje podatak natrag pošto u nju nije uključeno kašnjenje reakcije projektila. Ipak signal nešto kasni, pošto oprema za upravljanje ne radi trenutno. Kašnjenje sistema je prikazano na slici 339, koja daje kombinaciju greške i povratnog signala. Može se razmotriti ma koji trenutak za vreme perioda kada signal greške raste. U tom trenutku povratni signal je manji od signala greške. Ovo daje jedan rezultirajući signal. Potrebno je da prođe određeno vreme pre nego što povratni signal dostigne amplitudu signala greške koja postoji u datom trenutku. Ovo vreme je prikazano na slici 339 kao kašnjenje.

Na slici 339 je prikazano da se povratni signal dodaje signalu greške sa takvim polaritetom (ili fazom, ako je signal naizmenično modulan), da se suprotstavlja signalu greške. Prema tome, ova vrsta povratne veze je degenerativna. Ona se takođe može zvati inverznom ili negativnom povratnom vezom. Može se uporediti sa inverznom povratnom vezom koja se nalazi u mnogim elektronskim pojačavačima.

Signalni se kombinuju da bi se proizvela rezultanta koju predstavlja izlaz iz mešačkog kola. Mešači su opisani u poglavlju II ove glave. Rezultanta je korekcioni signal kojim se pokreće kormilo.

GENERATORI POV RATNIH VEZA KOJI DETEK TUJU IZLAZ SISTEMA

Uređaji koji detektuju izlaz sistema zovu se generatori povratnih veza, ili davači položaja kormila. To su uređaji za detekciju položaja, na primer selsinski predajnici, ili otporni davači.

Generatori povratnih veza su mehanički spojeni sa pokretačem, kormilima, ili njihovom međuvezom. Na isti način generator povratne veze može biti spojen sa mlaznicom, ili sa upravljačem mlaznice, ako su oni upotrebljeni za to da bi se obezbedila korekcija projektila. Svaki generator daje nulti signal pri polažaju kormila po liniji vazdušne struje.

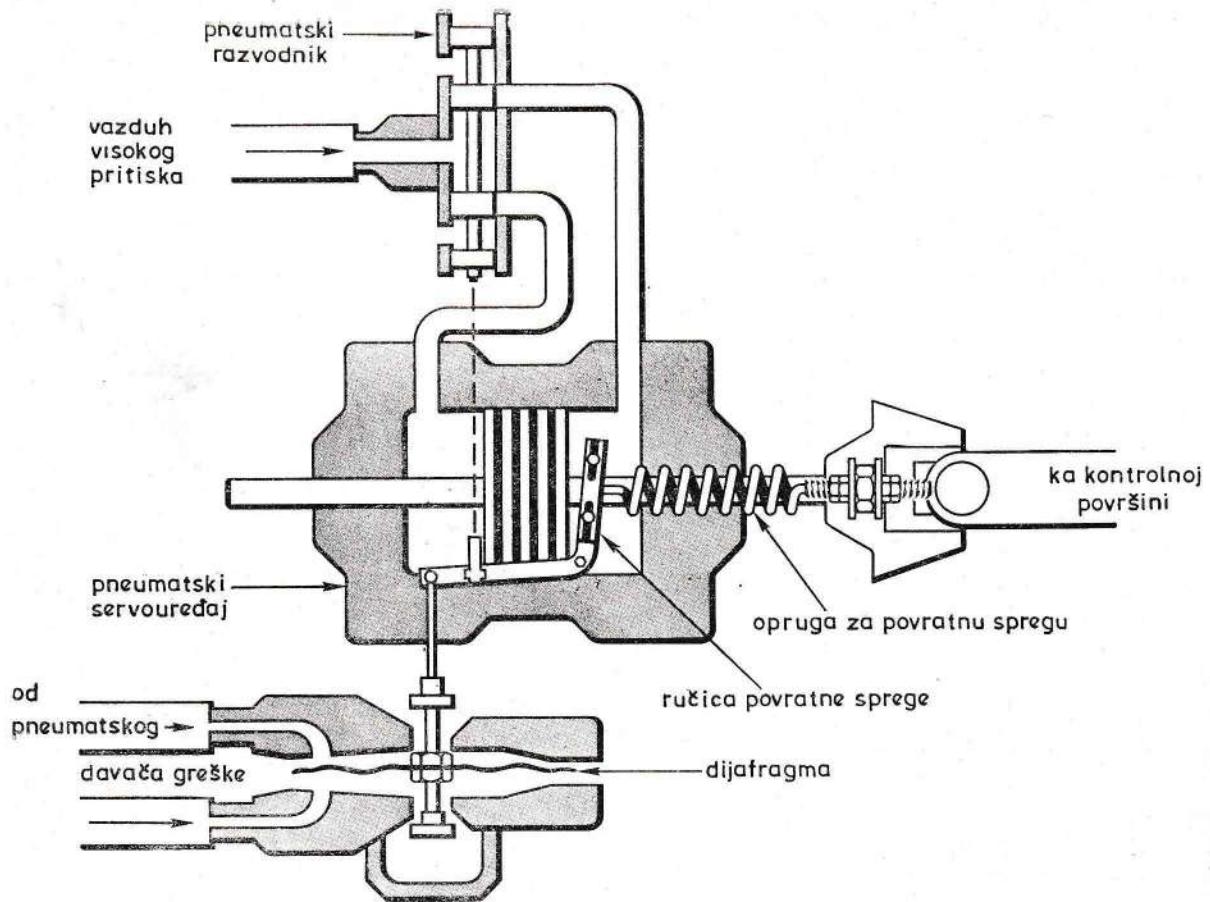
Selsinski predajnik i otporni davač greške su slični sa davačima greške koji se upotrebljavaju u sprezi sa žiroskopima da bi detekovali položaj projektila. Ovi uređaji ovde nisu opisani pošto su obrađeni u poglavlju o davačima greške.

MEHANIČKO PRENOŠENJE SIGNALA POV RATNE SPREGE

Postoji jedna vrsta povratne veze kod koje se podatak bolje prenosi mehaničkim nego električnim putem. Položaj kormila je određen pomoću sile koja se saopštava natrag upravljaču pomoću jedne opruge. Dejstvo ove opruge prikazano je na slici 340.

Na primer, signal u obliku vazdušnog pritiska, koji dolazi sa pneumatskog davača greške, pokreće nagore dijafragmu pneumatskog relea. Tada se ručica za povratnu vezu obrće u pravcu kazaljke na satu. Ovo mehanički pokreće nagore kalem pneumatskog razvodnika. Vazduh pod visokim pritiskom potiskuje klip pneumatskog pokretača nalevo. Ovim se opruga za povratnu vezu sabija, a ručica za povratnu vezu teži da se pokrene u pravcu koji je suprotni kretanju kazaljke na satu. Pošto se povratna sila suprotstavlja prvobitnom kretanju ručice za povratnu vezu, povratna veza je inverzna.

Veliki signal će proizvesti veći otklon kormila pre nego što povratna sila bude dovoljno velika da bi ručicu za povratnu vezu povratila na nulu. Opruga će tada pomeriti ručicu za povratnu vezu i pneumatski razvodnik u suprotnom pravcu da bi pokrenula kormilo natrag. Prema tome, opruga služi za to da se otklon kormila ograniči na neku vrednost koja zavisi od signala greške i zato da se kormilo povrati na pravac vazdušne struje. Za suprotne otklone dejstvo je slično.



Sl. 340 — Pneumatski rele i servouredaj sa mehaničkom povratnom vezom

STVARANJE ZATVORENOG CIKLUSA (ZATVORENE PETLJE) POMOĆU POVRATNE SPREGE

Obradom povratnih sprega završava se opis elemenata koji sačinjavaju zatvoreni ciklus sistema upravljanja projektila.

Kao što je utvrđeno, osetni elementi detektuju skretanje projektila od željenih uslova leta. Računski elementi menjaju signale da bi ti promenjeni signali predstavljali dodatni podatak. Bez elemenata za referencu sistem upravljanja ne bi bio u mogućnosti da izvrši željene promene u uslovima leta. Osnovna namena pojačavača je da proizvedu pojačanu reprodukciju

ulaznog signala. Kontrolni elementi u sistemima upravljanja projektila kontrolišu rad pokretača. Pokretači prenose energiju i transformišu je na krajnje opterećenje sistema upravljanja. I kao što je navedeno, elementi za povratne veze obezbeđuju neprekidne podatke o položaju kormila u odnosu na telo projektila; oni stvaraju povrtni signal koji radi kao dodatni signal glavne povratne sprege.*)

U sledećoj glavi obrađeni su elementi sistema vođenja.

*) Prema tome, posmatrajući prenos signala, povratna sprega je ceo sistem upravljanja zatvorila u jednu petlju.
— Prim. red.