

don 1967. — P. R. Thornton, Scanning electron microscopy, London 1968. — G. Schimmel, Elektronenmikroskopische Methodik, Berlin-Heidelberg-New York 1969. — K. W. Andrews, D. J. Dyson, S. R. Keown, Interpretation of electron diffraction patterns, London 1971. — W. H. Heywood, Scanning electron microscopy, London 1971. — E. Hornbogen, Durchstrahlungselektronenmikroskopie fester Stoffe, Weinheim/Bergstr. 1971. — A. M. Glare, ed., Practical methods in electron microscopy, Amsterdam 1972. — G. Thomas, Electron microscopy and structure of materials, Berkeley 1972. — L. Reimer, G. Pfefferkorn, Raster-Elektronenmikroskopie, Berlin-Heidelberg-New York 1973.

S. Popović

**ELEKTROOPREMA AVIONA** sastoji se od izvora električne energije, većeg broja potrošača (trošila električne energije) i sistema raspodele. Ona je u principu slična zemaljskoj elektroopremi, ali s obzirom na elektropostrojenje aviona koje radi pod težim i specifičnim uslovima, to se izvedba, a i primena pojedinih uredaja ponešto razlikuje od onih na zemlji. Kako od ispravnosti elektroopreme zavisi u priličnoj meri i sigurnost aviona, to se na kvalitet i pouzdanost te opreme postavljaju vrlo strogi zahtevi. Udeo elektroopreme u celokupnoj opremi sadašnjih aviona iznosi 20%...70%. U ovom će članku biti opisana samo specifična svojstva avionske elektroopreme, dok se u pogledu stručnih detalja čitalac upućuje na niz elektrotehničkih članaka TE koji će biti citirani u pojedinim poglavljima.

**Preim秉stva primene električne energije.** Za pokretanje i rad avionskih uredaja može se upotrebiti energija iz različitih izvora, kao npr.: mišićna energija posade, mehanička energija motora, pneumatska energija, hidraulična energija, hemijska energija, kinetička energija rotacionih masa, energija dobivena usled relativnog kretanja aviona u odnosu na vazduh i električna energija.

Od svih pomenutih vrsti energije električna se energija smatra najuniverzalnijom jer se ona lako pretvara u drugi oblik energije i stoga se može upotrebiti za napajanje energijom gotovo svih avionskih uredaja. Mogućnost primene ostalih vrsti energije na avionima ograničena je, međutim, za određene namene.

Primena električne energije daje mogućnost smanjenja broja primenjenih vrsti energije na avionima, a pored ostalog omogućava i unifikaciju opreme.

Električna energija ima u odnosu na druge vrsti energije još i druga preim秉stva, kao što su mogućnost jednostavnog i lakog prenosa i raspodele energije na potrošače. Nadalje se oblik električne energije (vrst struje, napon, učestanost) može lako izmeniti i dati struju koja odgovara pojedinim specijalnim potrošačima. Osim toga, električna je energija vrlo prikladna za napajanje uredaja za automatizovanje pojedinih neophodnih, često veoma komplikovanih radnji pri upravljanju avionom gde je neophodna redoslednost i uslovjenost. Automatizovani uredaji, naime, znatno olakšavaju upravljanje avionom i smanjuju naprezanje njegove posade pri radu, omogućavajući joj pri tome da usredsredi svoju pažnju na uspešno ispunjenje postavljenih zadataka.

Težina električnog sistema znatno je manja u odnosu na druge vidove prenosa energije zbog odsustva različitih vrsti prenosa kao npr. osovina, cevovoda, užadi itd. Osim toga manja je i zavojina celog sistema zajedno sa svim pomoćnim uredajima. Nadalje, uticaj temperature na rad električnog sistema je neznatan, tako da je električni sistem siguran u radu i ima dugi vek trajanja.

Potrebljeno je takođe napomenuti da je električni sistem u ratnim uslovima manje ugrožen od pogotka parčićima granate, odnosno puščanog metka, nego ostali sistemi prenosa energije. Ukoliko dode do oštećenja, oštećuje se, naime, napajanje jednog ili grupe uredaja, a ostali delovi sistema i dalje su sposobni da funkcionišu, dok bi na primer kod hidrauličnog sistema iscurilo hidro-ulje i ceo sistem bi prestao da funkcioniše.

Avijacija je oblast sa veoma velikim tempom tehničkog razvoja. Za svega nekoliko desetina godina brzine aviona porasle su na više od 3000 km/h, visine leta na više od 25 000 m, težine aviona na nekoliko stotina megaponda. Zajedno sa tim uspešno se razvijala i primena električne energije, sve više je rasla njen uloga i proširivala se oblast primene električnih uredaja na avionima, tako da u današnje vreme svaki avion — a posebno teški transportni avioni — imaju mnogobrojnu i relativno komplikovanu električnu opremu, koja obezbeđuje sigurnost leta u složenim meteorološkim uslovima, noću, pri poletanju i sletanju bez spoljne vidljivosti, kao i pri ispunjenju različitih drugih složenih zadataka.

U početku upotrebljavalala se na avionima automobilска elektrooprema. Tek postepeno razvijena je posebna elektrooprema i za avione. Na prvim avionima električni sistem služio je samo za paljenje smeće u cilindrima motora i za osvetljavanje skele instrumenta.

Danas, usled brzog razvoja avionskih motora stalno je rasla potreba za poboljšanjem sistema paljenja motora zbog povećanja broja cilindara, zatim stepena sabijanja, visine leta itd., pa se pojavio magnetni sistem za paljenje smeće

u cilindrima motora. U sadašnje se vreme velika pažnja poklanja novim sistemima paljenja avionskih motora kao što su npr. elektronsko, visokonaponsko i druge vrste paljenja. Primena magnetnog paljenja nailazi, naime, na vrlo velikim visinama na niz ozbiljnih teškoča jer se zbog razrednenosti vazduha menjaju njegove dielektričke osobine.

Već za vreme prvog svetskog rata električna energija počela se upotrebljavala na avionima osim za paljenje motora i za napajanje radio-uredaja koji su služili za komunikaciju, navigaciju i specijalne vojne svrhe. Radi omogućenja letova noću pojavilo se i električno osvetljenje i to najpre unutrašnje, pa spoljašnje, a zatim su se počela upotrebljavati posebna sredstva za osvetljavanje zemljišta pri sletanju, kao i za druge ratne svrhe.

Povećanje visine leta i letovi zimi zahtevali su između ostalog zagrevanje kabine za posadu, odnosno njihovih odela, i upotrebu uredaja za putnički komfort, zatim zagrevanje niza različitih uredaja, a na kraju i zagrevanje pojedinih delova aviona radi sprečavanja zaledivanja.

Radi bolje kontrole rada pojedinih elemenata motopropulzivne grupe počeo je posle 1925 broj električnih mernih instrumenata i različitih drugih mernih uredaja koji se služe električnim metodama za merenja nenelektričnih veličina. To su npr.: električni obrtomeri, termometri, gorivometri, analizatori izduvnih gasova i drugi. Sa razvitkom aviona povećale su se, naime, daljnje između motora i pilotske kabine, tako da se mehanički obrtomeri i kapilarni tipovi termometara nisu više mogli primenjivati, pa su ih zamenili električni instrumenti.

Kao posledica brzog razvoja i uspeha u stvaranju novih tipova aviona i avionskih motora, primena električne energije na avionima počela je još više da raste posle 1930. Došlo je do povećanja obima opreme koja je obezbeđivala sigurnost leta, što je zajedno sa sve većom snagom motora znatno komplikovalo upravljanje avionom, zahtevalo nepogrešan rad i napregnutu pažnju posade radi osiguranja bezbednog letenja i ispunjenja različitih zadataka, pri čemu se trošila velika količina električne energije za upravljanje različitim organima aviona, motopropulzivnom grupom, naoružanjem, radio-uredajima itd.

Tako su se, radi povećanja brzine leta pojavili oko 1935 uvlačeni stajni organi sa hidrauličnoelektričnim pogonom, koji se i danas upotrebljavaju, ali su im samo komande električne, a pogon hidraulični. Povećanje snage avionskih motora zahtevalo je posebne uredaje za pokretanje klipnih motora, pa su se za puštanje motora u rad počeli sa uspehom primenjivati elektromotori, tzv. električni starteri sa direktnim i indirektnim pogonom vratila.

Daljni uspesi u izgradnji aviona i avionskih motora doveli su do konstrukcije elisa sa promenom koraka električnim putem, do primene mehanizama daljinskog upravljanja pojedinim delovima turbomlažnih aviona i uredajima motopropulzivne grupe kao što su npr. regulatori temperature i dr. Električna se energija zatim upotrebljavala za automatsko punjenje oružja, brojače patrona, bacачe bombe, pokretanje turela, automatske nišane i sl., kao i za električne mehanizme za pogon zakrilaca, stabilizatora, za pogon stajnih organa, za regulaciju temperature, za upravljanje radijatorima i ventilatorima, trimerima i drugo. Na avionima su se počele upotrebljavati radio-stанице za vezu, kao i komandne radio-stанице velikih snaga, radio-navigaciona oprema, radio-visinomeri, radio-lokaciona oprema i drugo.

Naravno, pojava turbomlažnih aviona temeljno je izmenila neke od postojećih vrsti električne opreme i zahtevalo primenu niza novih električnih mašina i aparata. Tako su se pojavili novi električni merni instrumenti i uredaji za upravljanje pojedinim delovima turbomlažnih motora, automati za upravljanje brzinama obrtanja vratila turbokompresora i drugim uredajima na mlaznim avionima. Znatno više počelo se primenjivati i automatizovanje koje se uglavnom koristi električnom energijom. Očigledno je da je upotreba električne energije omogućila delimično ili potpuno automatizovanje pojedinih procesa u vezi upravljanja avionom, pojedinim njegovim organima i uredajima i znatno olakšala rad posade dozvoljavajući joj da usredsredi svoju pažnju na ispunjenje zadataka i na povećanje sigurnosti i bezposredničnosti leta, kako bi se isključila mogućnost izvršenja pogrešnih operacija pri upravljanju.

Primena automatskog upravljanja u avionskoj tehnici znatno je povećala sigurnost i bezbednost vođenja aviona i poboljšala njegova tehnička svojstva, ali je zato sa druge strane zahtevalo povećanje količine potrebitne električne energije. Stoga je došlo do daljeg povećanja snage izvora električne energije na avionu, što je imalo za posledicu složeniju električnu mrežu i potrebu za automatskim upravljanjem izvorima električne energije.

Upravljanje savremenim tipovima aviona bez pilota dovelo je takođe do odgovarajućeg povećanja zahteva koji se postavljaaju tehnicima automatskog upravljanja. Za tačno ispunjavanje zadatog procesa bilo je neophodno uvesti u sistem automatskog upravljanja računare i programsko upravljanje.

Zbog stalnog povećanja broja potrošača (trošila) i njihove snage povećavala se postepeno i instalirana snaga generatora. Na prvima avionima upotrebljavali su se obično automobilski generatori jednosmerne struje snage 200...300 W. Već pri kraju prvog svetskog rata avionski generatori imali su snagu ~ 500 W, a primenjivali su se za napajanje radio-uredaja, za optičku signalizaciju, za osvetljenje, za paljenje smeće u cilindrima motora i za zagrevanje različite opreme i sl. Posle prvog svetskog rata upotrebljavali su se i nadalje na avionima samo jednosmerni generatori.

Tako je npr. avion DC-2, izrađen 1934, imao električni generator snage 712 W, 50 A, napona 14,25 V. Avion DC-3, izrađen 1936, imao je dva generatora električne energije koji su zajednički imali snagu 1425 W. Docnje, neki transportni avioni težine više od 20 000 kp imali su ugrađena takođe po dva generatora od 100 A, čija je zajednička snaga iznosila 2 850 W. Potrebita je količina električne energije neprekidno rasla, pa su zbog toga na avionima ugrađeni ne jedan, već dva i više jednosmernih generatora električne energije paralelno vezanih, sa korišćenjem akumulatorske baterije kao rezervnog izvora električne energije.

Na letećim tvrdavama B-17 (drugi svetski rat) još je zadržana jednosmerna struja sa generatorom od 36 kW, kao i na supertvrdavama B-29 gde je snaga generatora već porasla na 60 kW, dok je posle drugog svetskog rata na bombarderima B-36 i B-50 snaga generatora dostigla već 120 kW.

Još je za vreme drugog svetskog rata, kada su se počeli proizvoditi avioni-bombardi velikih dimenzija, pojavila se oko 1943 potreba za prelaz na naizmeničnu struju. To je ostvareno prvo izgradnjom alternatora sa ukupnom snagom od 25 kVA na eksperimentalne avione. Već 1945 godine pojavljuje se još veći alternator snage 40 kVA, 3 × 120/208 V i sa učestanostu 400 Hz. Danas se na velikim avionima sve više primenjuju alternatori. Tako postoje npr. na avionu Douglas DC-9 dva glavna i jedan pomoćni generator, svaki prividne snage 40 kVA.

U vezi sa povećanjem snage i količine potrebitne električne energije na avionu, znatno se komplikovala proizvodnja, razvođenje i potrošnja električne energije. Zbog toga na savremenim avionima električna oprema predstavlja složeni sistem sa instalisanom snagom izvora električne energije koji dostiže i više od 250 kW, sa dužinom provodnika električne mreže od nekoliko

desetina do stotinu kilometara, sa stotinama pa i hiljadama različitih električnih mašina i aparata, mernih, kontrolnih, signalnih, komutacionih i zaštitnih uređaja, čija ukupna težina na savremenim teškim avionima iznosi nekoliko hiljada kiloponda. U vezi sa daljim povećanjem dužine leta i povećanjem brzina leta do 3 M, ukupna instalisana snaga električnih generatora mogla bi da poraste i do 700 kW, pri čemu će se takođe povećati i broj potrošača električne energije na avionima.

Celokupna elektrooprema aviona koja je detaljno opisana u idućim poglavljima može se podeliti: na izvore električne energije i pretvarače, na sistem za prenos i raspodelu električne energije, na potrošače (trošila) električne energije i uređaje za zaštitu uređaja i osoblja od uticaja statičkog (atmosferskog) elektriciteta. Sistem za paljenje gorivne smeše u motoru koji radi takođe na električnom principu bit će obraden sa motorima.

### Specifični uslovi rada

Komponente i uređaji elektroopreme kao i čitav sistem električnog postrojenja radi na avionima pod prilikama i uslovima koji su znatno nepovoljniji od onih na zemlji. Oprema na avionu izložena je nizu atmosferskih, mehaničkih, hemijskih, elektromagnetskih i drugih uticaja pod kojima mora ispravno raditi.

**Atmosferski uticaji.** Današnji avioni moraju da izvode letove nezavisno od vremena, često po složenim meteorološkim prilikama kao i na veoma velikim visinama. Svojstva atmosfere, u kojoj oni lete, zavise od visine. Sa njezinim povećanjem smanjuje se atmosferski pritisak, temperatura vazduha i njegova gustina, a time i sadržaj kiseonika i vlage u jedinici zapremine.

Pri smanjenju atmosferskog pritiska menjaju se i dielektrične osobine vazduha, tako da je na visini od 15 000 m vrednost dielektrične čvrstoće vazduha približno dva i po do tri puta manja nego na zemlji.

Temperatura vazduha opada u našim širinama do visine od 11 000 m za  $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  da bi se u donjoj stratosferi stabilizirala na nekim  $-50 \dots -60^{\circ}\text{C}$ .

Eksplotacija električne opreme na niskim temperaturama može da dovede do pojava oštećenja mehaničkog, električnog i hemijskog karaktera. Pri niskim temperaturama može doći do znatnog sniženja mehaničke čvrstoće pojedinih delova različitih električnih uređaja, pa čak i do njihova razaranja, a takođe se mogu pojaviti mehanička prenaprezanja koja otežavaju normalni rad pojedinih elemenata električne opreme. Tako se npr. u slučaju smrzavanja sredstava za podmazivanje, ukoliko se ne primenjuju specijalna protivzamrzavajuća sredstva, poveća trenje u mehanizmima električnih komponenata što otežava njihovo kretanje. Osim toga postaju pri niskim temperaturama obični izolirajući materijali kao npr. kaučuk krti i u njima se pojavljuju prskotine.

Pri letovima aviona sa velikim brzinama leta, većim od brzine zvuka, dolazi na velikim visinama — i pored niske temperature atmosferskog vazduha — do zagrevanja pojedinih delova aviona usled trenja njegovih površina o vazduh, što može da dovede do preteranog zagrevanja u unutrašnjosti aviona. Stoga mogu na električnoj opremi nastupiti nepoželjne pojave kao što su npr. smanjenje hladjenja električnih mašina, sniženje mehaničke čvrstoće pojedinih elemenata, pogoršanje elastičnih svojstava izolacionih materijala, povećanje korozije metalnih delova itd.

Promene temperature u širokim granicama dovode do promene otpora bakarnih namotaja i provodnika, zatim do izmene elastičnih svojstava opruga, a takođe i do promene dužinskih dimenzija pojedinih delova releja, regulatora i drugih električnih uređaja. Zbog toga dolazi do promene njihova regulisanja koje u pojedinim slučajevima može da dovede do pogoršanja normalnih uslova rada.

Kako se sa povećanjem visine pogoršava odavanje toplote električnih mašina, i ukoliko se ne bi primenjivale specijalne mere za njihovo intenzivno hladjenje, električni generatori bi na visinama od 10 000 m smeli da daju samo 20...25% od njihove nazivne snage.

Na visinama većim od 6 000 m nastupa u električnim mašinama nego *habanje četkica* zbog promene gustine vazduha što je detaljno opisano u poglavju Jednosmerni generatori.

**Uzroci mehaničkog karaktera** koji mogu da utiču na elektroopremu na avionima su uglavnom ovi: dinamičke sile, vibracije, inercijalne sile, mehanička preopterećenja, potresi i udari.

Dinamičke sile naizmeničnog dejstva izazivaju *vibracije*. Načelo su opasne vibracije koje se dobijaju obrtanjem kolenastih vratila klipnih avionskih motora usled naizmeničnog kretanja klipa i klipnjače, a takođe i vibracije usled obrtanja elise. Takve vibracije pojedinih delova aviona mogu da dovedu do oštećenja aviona i njegove opreme. Vibracije koje se pojavljuju na avionima mogu biti kako niske učestanosti od  $0,5 \dots 50\text{ Hz}$ , tako i više učestanosti do  $500\text{ Hz}$ . Delovanje vibracija pojačava se ako pojedini delovi stupaju u rezonanciju sa vibracijama.

Osim mehaničkog opterećenja od dinamičkih sila na avionima se mogu pojaviti i znatne *inercijalne sile* konstantnog pravca, npr. usled ubrzanja pri obrušavanju, pri zaokretima aviona, zatim pri zaletu za vreme poletanja i kočenju aviona za vreme sletanja.

Paljba iz vatrenog oružja na borbenim avionima takođe izaziva potrese koji se prenose na pojedine elemente električne opreme.

**Hemijski uticaji.** Važan faktor koji otežava uslove eksplotacije električne opreme na avionima jeste štetno hemijsko dejstvo vlage, zatim različitih kiselina i antifrise, a takođe i para goriva i maziva koji su prisutni u okolnoj atmosferi. Od posebnog značaja je *uticaj vlage* jer se zbog čestog postavljanja aviona na otvorenom prostoru, kao i pri visinskim letovima, kondenzuje vlaga na pojedinim delovima uređaja i metalnim delovima aviona. Avioni koji se nalaze u sastavu mornaričke avijacije pored uticaja vlage izloženi su još i uticaju slane vode. Sve ovo izaziva jaku koroziju metalnih delova, pa je zato neophodno primeniti materijale koji su otporni protiv korozije ili izvršiti njihovu površinsku zaštitu, npr. kadmiziranjem metalnih delova koje sadrže gvožđe i eloksiranjem delova izrađenih od aluminijuma i njegovih legura.

Prisustvo *para goriva i maziva, antifrise i kiselina*, ima znatan uticaj na izolacione materijale električnih uređaja, na primenjene plastične mase i na izolaciju električnih provodnika jer smanjuje njihova izolaciona svojstva — a ponekada i mehanička svojstva — izazivajući pri tome prevremeno stareњe izolacije.

**Elektromagnetni uticaji.** Usled toga što se različiti elementi električne opreme ugrađene na avionima nalaze u neposrednoj blizini jedan do drugog, mogu se pojaviti uzajamni uticaji, odnosno smetnje koje pogoršavaju normalni rad električnog sistema. Tako, npr., postavljanjem provodnika — kroz koji protiče električna struja — nedaleko od magnetskih kompasa, dolazi do devijacije kompasa usled čega su neophodno potrebne specijalne mere radi zaštite od takvih pojava ili radi njihove lokacije.

Osim toga, rad sistema električnog paljenja smeša u cilindrična motora, zatim rad vibracionih kontakata regulatora napona, pulzaciјe napona na kolektorima električnih mašina i dr., dovodi do pojava struja visoke učestanosti i do zračenja elektromagnetskih talasa koji stvaraju velike smetnje pri radu radio-uredaja, ukoliko se ne bi poduzele odgovarajuće zaštitne mere.

### Tehnički zahtevi

Savremeni avioni prelaze za relativno kratko vreme sa jedne visine na drugu, a trajanje njihovih letova može biti vrlo različito. Stoga se uslovi pod kojima radi njihova elektrooprema menjaju veoma brzo i unutar širokih granica. Zato je potrebno da električna oprema na letelicama bude u svome radu nezavisna od promene pritiska, temperature i vlažnosti vazduha koji je okružuje i da besprekorno radi pri atmosferskim pritiscima  $150 \dots 790\text{ mm Hg}$ , pri temperaturama  $+50^{\circ}\text{C} \dots -60^{\circ}\text{C}$  i pri relativnoj vlažnosti vazduha do 98%, kao i pri različitim i složenim meteorološkim uslovima, kao npr. pri kiši i snegu.

Prema tome, s obzirom na važnost i složenost funkcije koju vrši ceo sistem električne opreme na avionu, i na specifičnost uslova pod kojima radi u eksplotaciji, pred električnu se opremu na avionima postavljaju veoma teški zahtevi. Osnovni zahtev koji se postavlja jeste *sigurnost i besprekornost rada* električnog sistema pod bilo kojim uslovima, kako na zemlji tako i u vazduhu, pri različitim brzinama i na različitim visinama leta, kako noću tako i danju, pri letovima kroz oblake, pri poletanju ili sletanju aviona itd.

Osim sigurnog i besprekornog rada svake komponente električnog sistema, potrebno je u slučaju *oštećenja* ili *kratkog spoja* pojedinih komponenata, ili delova električne mreže, obezbediti ispravan dalj rad ostalog dela električnog sistema (npr. pojedinih izvora električne energije, dela električne mreže i potrošača), kao i omogućiti automatsko funkcionisanje električne opreme što duže vremena i u vanrednim okolnostima (npr. pri povišenom ili sniženom naponu napajanja, pri otkazu jednog dela električne mreže i automatskom uključivanju samo neophodnih potrošača preko pomoćne sabirnice, a ne preko glavne itd.).

Od električnog sistema se nadalje zahteva da ima *minimalnu težinu* i *minimalne dimenzije*, ali pri tome ne sme da dode do gubitka sigurnosti rada električne opreme i njene podobnosti za eksploraciju. Važan faktor koji utiče ne samo na rad već i na otpornost električne opreme na avionima bila bi mehanička, električna, termička i hemijska postojanost.

Od celokupne elektroopreme aviona traži se dovoljna *mehanička čvrstoća*, tj. otpornost na vibracije i postojanost na vibracije. Pod pojmom otpornosti na vibracije podrazumeva se sposobnost komponenata električnog sistema da izdrže vibracije bez mehaničkih oštećenja za sve vreme rada uz očuvanje svojih karakteristika. Pod postojanošću na vibracije podrazumeva se sposobnost delova električnog sistema da ne stupaju u rezonanciju sa vibracijama koje se pojavljuju na avionu i da pri tome sačuvaju svoje karakteristike.

Električni sistem na avionima treba da ima tu odliku da je brzo sposoban za dejstvo i da operacije izvodi velikom brzinom. Njegovo uhodavanje i njegova eksploracija moraju biti jednostavni, a mora postojati i mogućnost brze izmene delova i celih uređaja. Delovi elektroopreme (elemenata, podsklopova i sklopova) moraju biti što više unificirani što je od velikog značaja za održavanje i za današnji nivo i kvalitet proizvodnje. Avionska elektrooprema mora takođe biti što otporna i na spoljna oštećenja.

*Pouzdanost* (v. TE 4, str. 448) delova i celog sistema mora, dakle, biti što bolja kako bi on kroz dovoljno dugi vek i pod teškim uslovima rada izvršavao svoje funkcije na zadovoljavajući način, a uz što manju verovatnoću da će nastupiti kvarovi. Pored svega iznetog mora i cena elektroopreme biti što povoljnija.

Neki od tih zahteva, koji su postavljeni električnom sistemu na avionima, mogu da budu protivrečni, pa se tada u svakom konkretnom slučaju mora naći jedno kompromisno, optimalno rešenje. Naročito su protivrečni zahtevi koji sa jedne strane preterano ograničavaju težinu i dimenzije električnog sistema, a sa druge strane insistiraju na maksimalnoj mehaničkoj čvrstoći.

*Razmeštaj* tako složene i različite elektroopreme na avionima predstavlja relativno težak zadatak. Osim zadovoljavanja zahteva s obzirom na pogodnost u eksploraciji i mogućnost lako nadgledanja, tačnost izrade, laku montažu i demontažu, kao i male težine pojedinih elemenata električne opreme, potrebno je voditi računa i o ograničenom objemu kabina savremenih aviona naročito laki i srednjih tipova, što postavlja stroge zahteve s obzirom na dimenzije pojedinih komponenata električnog sistema na avionima.

#### Izbor naponu i vrsti struje

U početku primene električne energije na avionima (1919...1920) iznosio je napon avionske mreže 6 V. Ubrzo se tako niski napon pokazao kao neracionalan jer su provodnici imali prevelike poprečne preseke a samim tim i znatnu težinu. Stoga se u toku 1923...1924 napon povećao na 12 V pošto je već bio u upotrebi u automobilskoj industriji, da bi se zatim 1930 konačno izmenio na 24 V koji je napon definitivno usvojen i danas se nalazi u univerzalnoj upotrebi na avionima.

Tokom drugog svetskog rata na izvesnim avionima američke proizvodnje bilo je i električnih uređaja koji su radili sa naponom od 12 V. Do toga je došlo zbog toga jer su se električni uređaji automobilskog tipa ugradivali na avione.

U današnje vreme postoji tendencija ka daljem povećanju naponu i prelazu na *naizmeničnu struju* povećane učestanosti, s obzirom na pojavu mnogih potrošača električne energije koji za svoj rad zahtevaju *naizmeničnu struju*.

Optimalna vrednost napona električne mreže zavisi uglavnom od broja, karaktera i snage potrošača na avionima, tj. ona u znatnoj meri zavisi od tipa aviona.

*Niski napon* ima određena preimrućstva. On smanjuje mogućnost kratkih spojeva, olakšava rad kontaktnih delova i omogućava sigurniji rad kolektora i ugljenih četkica u visinskim uslovima. Pri nižem naponu potrebna je sijalicama manja električna energija za postizavanje istog svetlosnog fluksa. Osim toga su sijalice za niski napon i trajnije. Rezervna akumulatorska baterija za niži napon manja je po dimenzijama, a time i lakša po težini.

Pri *višem naponu* manji su poprečni preseci, a time i težine upotrebljenih provodnika jer su pri jednakom procentu pada naponu presek i težina provodnika obratno proporcionalni kvadratu napona. Električne mašine jednosmerne struje za viši napon (iznad 30 V), koji se takođe primenjuje u avijaciji, lakše su i jeftinije.

U sadašnje vreme na avionima sa jednosmernom strujom primenjuje se vreme na avionima sa jednosmernom strujom primenjuje kao nazivni napon generatora 28 V. Za potrošače koji trebaju jednosmernu struju višeg napona, odnosno naizmeničnu struju, vrši se pretvaranje jednosmerne 28 V-ne mrežne struje u drugi odgovarajući oblik s pomoću motor-generatora, odnosno statičkih poluvodičkih pretvarača. Smanjenje jednosmernog napona postiže se uvrštenjem rednog otpornika u kolo potrošača.

Dalje povećanje snage uz zadržavanje nazivnog napona generatora 28 V, vodi u sadašnje vreme ka preteranom povećanju struje, u magistralnim provodnicima, koja može na velikim avionima dostići vrednost 3000...4000 A. Zbog tako velikih jačina struje preseci električnih provodnika postaju nepogodni za montažu, a prenosni sistem postaje znatno veći po dimenzijama i po težini, dok različiti sklopni aparati (releji, prekidači itd.) postaju pri tome ne samo glamozniji nego i teško izvodljivi u konstruktivnom smislu. Ova okolnost posebno, a takođe i drugi faktori, zahtevaju neophodno povećanje napona električne mreže.

Pri izboru standardnog napona električne mreže treba uzeti u obzir osim drugih faktora posebno i bezbednost posade pri opsluživanju uređaja koji se napajaju strujom višeg napona.

Pri rešavanju zahteva o izboru vrsti struje treba prvenstveno uzeti u obzir karakteristike potrošača. *Jednosmerna struja* je povoljnija za pogon mehanizama koji zahtevaju električni motor sa velikim polaznim momentom ili sa velikom mogućnošću regulisanja brzine obrtanja. Ona odgovara i za sve vrste električnih magneta, za električne avionske instrumente koji služe za merenje neelektričnih veličina kao i za upravljačka kola.

*Jednosmerna struja*, nadalje, omogućava zajednički rad generatora sa akumulatorskom baterijom, što povećava sigurnost rada celog sistema i dozvoljava ugradnju generatora manje snage. U jednosmernim avionskim mrežama jednostavno se može ostvariti paralelan rad nekoliko generatora što takođe doprinosi sigurnosti i predstavlja znatno preimrućstvo.

Pitanje upotrebe *naizmenične struje* postalo je akutno naročito u razdoblju neposredno pred drugi svetski rat, usled povećane potrebe za električnom energijom na velikim putničkim i teretnim avionima, kao i na teškim bombarderima. Težina električnih uređaja i mreže jednosmerne struje za uobičajeni napon mreže na avionima od 24 V postala je, naime, suviše velika.

Obimna ispitivanja pokazala su da i *naizmenična struja* poseduje niz preimrućstava. Naizmenični mrežni napon može se s pomoću transformatora jednostavno promeniti na vrednost koja odgovara pojedinim potrošačima, a po potrebi s pomoću ispravljača ispraviti radi dobijanja jednosmerne struje potrebnog napona. Pri upotrebi naizmenične struje ne dolazi do korozije metalnih delova aviona izazvane pojmom elektrolize. Primenom indukcionih (kaveznih) elektromotora koji uopšte nemaju četkice izbegnute su sve poteškoće koje se pojavljuju u vezi s habanjem četkica na većim visinama. Težine i dimenzije tih motora manje su od jednosmernih, a brzina im obrtanja može biti velika. Polazni momenti indukcionih elektromotora obične konstrukcije nisu veliki. Međutim, sada postoje već savremene specijalne izvedbe takvih motora koji poseduju velik polazni moment, odnosno kojima se može regulisati brzina obrtanja. Ukoliko se primene više učestanosti (npr. 400 Hz), generatori i motri kompaktniji su i jeftiniji od mašina jednosmerne struje.

Upotreba još većih učestanosti stvara komplikacije pri konstrukciji. Mašine koje rade na višim učestanostima upotrebljavaju se za pogon žiroskopa i za još neke druge svrhe.

Naizmenična struja naročito je pogodna za pogon mehanizma koji ne zahtevaju električni motor sa velikim polaznim momentom i ne traže regulisanje njegove brzine obrtanja; nadalje, za napajanje uređaja radio-veze jer se primenom naizmenične struje lako dolazi do visokih jednosmernih napona i jer se ne pojavljuju radio-smetnje koje pri radu prave jednosmerne kolektorske mašine, a otpadaju i svi uređaji za njihovo otklanjanje. Naizmenična struja je prikladna i za električne uređaje sa sinhronom vezom s pomoću selsina i za daljinski prenos podataka, kao i za potrošače kao što su radio-lokatori, radio-navigacioni i drugi elektronski uređaji koji zahtevaju jednosmernu struju visokog napona čije je dobijanje preko elektromehaničkih pretvarača relativno teško.

Glavni nedostaci primene naizmenične struje na avionima uglavnom su: električni generator naizmenične struje (alternator) obično pokreće avionski motor koji u zavisnosti od režima leta ima promenljivu brzinu obrtanja. Da bi se usprkos tome dobila konstantna brzina obrtanja generatora i struja konstantne učestanosti, treba primeniti poseban prenosni uređaj tzv. regulator; paralelan rad više sinhronih generatora što ih pogone avionski motori teže se ostvaruje zbog niza poteškoća, mada regulatori održavaju prilično konstantnu brzinu obrtanja; akumulatorska baterija ne može izravno upotrebiti kao rezervni izvor električne energije za napajanje naizmenične mreže, već samo uz primenu poluvodičkog statičkog invertora ili motor-generatora koji jednosmernu struju akumulatora pretvara u naizmeničnu struju i time u slučaju kvara svih generatora, odnosno na zemlji omogućuju napajanje ograničenog broja važnijih potrošača.

Zbog tih nedostataka veliki broj aviona još uvek upotrebljava jednosmernu struju kao glavni izvor električne energije, a naizmeničnu struju kao pomoćni.

Ako su generatori naizmenične struje (alternatori) pokretani od posebnih nezavisnih motora, kao npr. od pomoćnog klipnog ili turbomlaznog motora, ili pak od elise isturene u struju vazduha, oni se tada vrlo lako mogu regulisati, ali su u takvim slučajevima specifične potrošnje motora, kao i težina, znatne. Velika teškoća, međutim, leži u tome što ovi pomoćni motori treba da i pri visinskim uslovima održavaju konstantan broj obrtaja.

Ako su alternatori pokretani od glavnih avionskih motora, regulisanje njihove brzine obrtanja vrlo je delikatno. Stoga se često odustaje od regulisanja i upotrebljavaju generatori sa promenljivom učestanošću.

Danas se najčešće upotrebljava *trofazna struja* faznog napona 115 V u učestanosti 400 Hz (uz primenu spoja u zvezdi sa uzemljenim neutralnim provodnikom), koja po težini provodnika približno odgovara jednoprovodnom električnom sistemu jednosmerne struje sa naponom od 115 V.

Učestanost od 400 Hz omogućava uštedu od 80% u težini u odnosu na ranije upotrebljavane struje u učestanosti 50 Hz i omogućava uz odgovarajući broj parova polova primenu prikladnih brzina obrtanja s obzirom na brzinu obrtanja avionskog motora.

#### IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kao izvori električne energije služe na avionima akumulatori i generatori jednosmerne, odnosno naizmenične struje. Za napajanje specijalnih električnih uređaja kojima ne odgovara struja iz avionske električne mreže, već trebaju struju druge vrsti, drugog napona ili struju različite učestanosti, primenjuju se različiti pretvarački uređaji koji se napajaju iz avionske mreže.

#### Akumulatori

Akumulatori su hemijski izvori jednosmerne struje u kojima, se može nakon njihovog ispražnjenja ponovnim punjenjem iz drugog izvora ostvariti reversni elektrohemski proces (v. *Akumulator*, TE 1, str. 48). To omogućuje akumuliranje (spremanje) primljene električne energije i njezino docnije trošenje za napajanje avionske električne mreže. Preim秉stvo je akumulatora u tome što mogu po potrebi u kratkim vremenskim razmacima dati struju relativno velike jačine.

Zadaci avionskih akumulatora vrlo su različiti, a zavise od tipa aviona. U slučaju kvara glavnih izvora električne energije, akumulator može služiti kao rezervni izvor za napajanje najvažnijih i za let neophodnih potrošača (trošila). To su npr. sistem za paljenje, merni instrumenti nedelektričnih veličina, minimalno osvetljenje, pumpe za gorivo, reflektori za sletanje i sredstva radio-veza. Radio-uredaji napajaju se iz akumulatora i u slučaju prisudnog spuštanja.

U mnogim tipovima aviona akumulatori služe za napajanje električnog startera i sistema za autonomno puštanje u rad kako klipnih, tako i turbomlaznih avionskih motora. U slučaju potrebe, ako avionski motor ne radi, akumulator je jedini izvor električne energije na avionu i on mora u iznimnim slučajevima imati mogućnost puštanja avionskog motora u rad.

U jednosmernim mrežama manjih aviona služe akumulatori za pokrivanje svih vršnih opterećenja koja su veća od maksimalno dozvoljenog opterećenja generatora, što omogućava da se upgrade generatori manjih snaga.

Akumulatori služe i za napajanje električnih uređaja pri polaganju i sletanju aviona kada su električni generatori još isključeni iz mreže, ukoliko nema pomoćnog generatora.

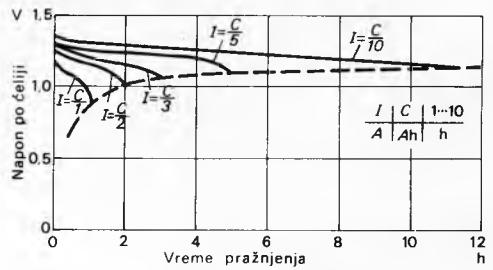
Iz akumulatora vrši se napajanje potrošača električne energije na stajanci aviona: za osvetljenje, za probu i proveru rada električnih uređaja manjih snaga, za vršenje pregleda aviona pre i posle leta itd., ukoliko ne postoji aerodromska akumulatorska baterija, odnosno zemaljski izvor električne energije koji napaja avionsku električnu mrežu preko određenog priključka na avionu.

Na većim avionima na kojima se upotrebljavaju još i pomoćni generatori, koji dobijaju pogon od posebnog motora, akumulatori se primenjuju za napajanje startera takvog motora, odnosno za njegovo puštanje u rad.

Na savremenim teškim avionima sa velikim brojem potrošača električne energije uloga akumulatora je neznačajna i oni služe samo kao rezervni izvor električne energije i to za vitalne potrošače čiji bi prekid rada bio uzrok udesu aviona. Ukoliko su to potrošači naizmenične struje, oni se napajaju preko malog pretvarača.

**Konstrukcija i smeštaj akumulatora.** Avionski akumulatori moraju da zadovolje izvesne specifične uslove kao što su: mala težina, male dimenzije, izdržljivost na veća trenutna opterećenja kao npr. paljenje reflektora, zatim stabilnost pri potresu, sigurnost rada na različitim temperaturama itd. Isto tako, ugradnjni akumulatori na avionu mora se posvetiti posebna pažnja. Na prvom mestu akumulator mora biti pristupačan, a njegova ugradnja i skidanje sa aviona veoma jednostavni i brzi. Akumulator treba da bude tako zatvoren da omogući gasovima izlazak, a da se elektrolit ne razlije pri obrtanju, što je naročito važno za razne školske i lovačke avione koji vrše različite akrobacije u letu.

**Vrste avionskih akumulatora.** Na savremenim se avionima upotrebljavaju olovni i znatno češće i alkalni akumulatori.



Sl. 1. Karakteristike pražnjenja nikl-kadmijumskega akumulatora. I Struja pražnjenja, C kapacitet akumulatora

**Olovni akumulatori** često se ugrađuju na avione i njihova je primena odavno usvojena. **Čelični akumulatori** za isti su kapacitet teži i skuplji od olovnih, ali su manje osetljivi na potrese, duže traju, a njihovo je održavanje lakše. Međutim, zbog manjeg stepena iskorištenja, manjeg napona po čeliji kao i trajnog opadanju napona pri pražnjenju, oni se redje primenjuju na avionima. **Nikl-kadmijumski akumulatori** su u pogledu zapremine, težine i kapaciteta ekonomičniji od olovnih. Njihov je napon u toku

pražnjenja stabilniji (sl. 1). Zbog tih svojih dobrih karakteristika i brze regeneracije oni se danas upotrebljavaju na mnogim savremenim vojnim i civilnim avionima. Npr. na avionu Douglas tipa DC-9 postoji takva akumulatorska baterija napona 28 V sa  $2 \times 11$  čelija koja poseduje kapacitet 40 Ah.

U novije vreme primenjuju se na avionima i alkalni *akumulatori srebro-cink*. Njihova je zapremina oko pet puta, a težina oko šest puta manja od olovnih akumulatora. Pogodni su za ugradnju u leteće projektile, gde su i doživeli svoju prvu primenu na letećim bombama V-1 i V-2 za vreme drugog svetskog rata. Oni poseduju i veliku mehaničku čvrstoću, tako da rade sasvim normalno i pri ubrzanjima od 1000 g za vreme od nekoliko milisekundi. Akumulatori srebro-cink pored dobrih imaju i neke loše karakteristike, pa se osim njih u poslednje vreme proizvode i *akumulatori srebro-kadmijum*, koji navodno imaju mnogo duži vek trajanja.

### Avionski električni generatori

Na avionima služe kao glavni, a ponekad i kao pomoći izvor električne energije generatori jednosmerne, odnosno različne struje.

**Opšti zahtevi.** Po principu rada oni su jednak običnim zemaljskim generatorima (v. *Električni strojevi*, TE 4, str. 153), ali se s obzirom na specifične uslove rada u avijaciji od njih bitno razlikuju kako u odnosu na konstruktivno izvođenje, tako i u odnosu na mehanička, električna, magnetna i toplotna opterećenja.

Osnovni su zahtevi koji se postavljaju konstruktorima avionskih generatora električne energije: maksimalna sigurnost, velika čvrstoća, minimalna težina i minimalne dimenzije. Zahtevi za maksimalnu sigurnost i veliku čvrstoću protivreče zahtevu za minimalnu težinu i dimenzije, pa se u praksi obično pribegava iznalaženju optimalnog rešenja koje uzima u obzir sve protivrečne faktore. *Velika čvrstoća* generatora električne energije treba da obezbedi siguran rad i u uslovima velikih mehaničkih opterećenja i vibracija, koje se javljaju usled rada avionskih motora (na koje su oni priključeni) kao i usled ubrzanja aviona pri evolucijama u vazduhu.

U opštem slučaju, ispunjenje zahteva *minimalne težine* generatora treba razmatrati u kompleksu sa pitanjem dobijanja maksimalne vrednosti *stepena iskorišćenja*. U današnje vreme, međutim, dobijanje minimalne težine avionskog generatora ostvaruje se s pomoći drugih važnih faktora kao što su: sredstva za poboljšanje uslova komutovanja, pružno hlađenje generatora, dopuštanje veće gustine struje u namotajima i dr. Sa daljim povećanjem snage avionskih generatora, sa razvitkom i usavršavanjem sistema hlađenja, sa uvodenjem novih vrsta regulatora napona, kao i uvodenjem novih izolacionih materijala, sve veći značaj dobija stepen iskorišćenja koji je povezan sa pitanjem minimalne težine generatora.

Smeštaj i montaža električnih generatora i njihovih pomoći uređaja na avionski motor povezani su zbog ograničenog raspoloživog prostora sa mnogim poteškoćama. Stoga je neophodno da dimenzije generatora budu minimalne, a njegov vanjski oblik prilagođen motoru.

Da bi se omogućilo stalno napajanje potrebno je da generator daje dovoljnu snagu pri što manjoj radnoj *brzini obrtanja* rotora. Radi smanjenja težine generatori se izrađuju od kvalitetnog materijala i rade sa većim brojevima obrtaja rotora, kao i sa znatno većom gustinom struje, kako u namotajima tako i ispod ugljenih četkica, pri čemu gustina struje u provodnicima avionskih generatora može da bude dvostruko veća nego kod zemaljskih generatora,

Zbog smanjenja težine avionski generatori obično imaju velike brzine obrtanja i to uglavnom od  $3000\text{--}12000 \text{ min}^{-1}$ . Po međunarodnoj podeli, međutim, postoje tri grupe avionskih generatora i to:

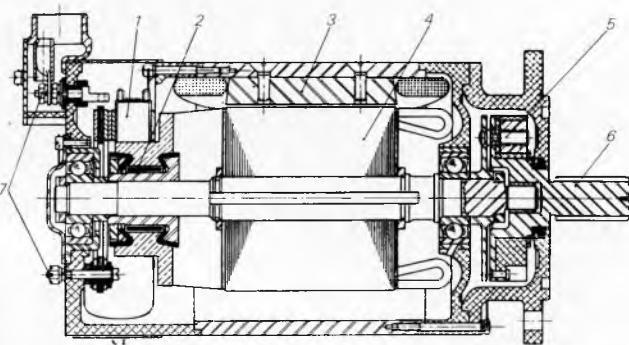
sporohodni, sa	$2200\text{--}4500 \text{ min}^{-1}$ ;
srednjohodni, sa	$3000\text{--}8000 \text{ min}^{-1}$ ;
brzohodni, sa	$4500\text{--}10000 \text{ min}^{-1}$ ;

od kojih se uglavnom upotrebljava druga i treća grupa, s tim što

u poslednje vreme postoji tendencija da se ide na još veće brzine obrtanja.

Karakteristična veličina za avionske generatore je tzv. *specifična težina*, tj. težina po jedinici snage. Avionski su generatori većih snaga u odnosu na zemaljske prosečno deset puta lakši po kilovatu. Tako je na primer težina jednosmernog generatora od jednog kilovata  $\sim 7 \text{ kp/kW}$ , generadora od šest kilovata  $\sim 3 \text{ kp/kW}$ , dok je generator od dvanaest kilovata težak svega  $\sim 2 \text{ kp/kW}$ .

**Generatori jednosmerne struje** na avionima po svom radu i po svojoj konstrukciji načelno se ne razlikuju od zemaljskih generatora (sl. 2). Međutim, s obzirom na to da generatori na avionima rade pod znatno težim uslovima, da je mesto za njihov smeštaj skočeno i da je poželjna što manja specifična težina, mora se ići na veću brzinu obrtanja ( $3000\text{--}12000 \text{ min}^{-1}$ ) i veću mehaničku, električnu i toplinsku naprezanja nego na zemlji. Stoga se avionski generatori izrađuju iz kvalitetnijih i izdržljivijih materijala.



Sl. 2. Poprečan presek tipičnog avionskog jednosmernog generatora. 1 Četkice, 2 kolektor, 3 pol, 4 rotor, 5 elastična spojnica, 6 vratilo, 7 priključne stezaljke

Najosetljiviji deo jednosmernih generatora je *kolektor* koji mora na avionima raditi pri temperaturama  $-50^\circ\text{C} \dots +250^\circ\text{C}$  i izdržati visoku brzinu obrtanja. Sem toga se na avionskim električnim mašinama pojavljuje još i problem *četkica*. Do visine  $\sim 6000 \text{ m}$  su prilike pod kojima rade ugljene četkice vrlo slične onima na zemlji. Uz dobru komutaciju četkice izdrže i do 1 000 pogonskih časova. Na većim se visinama vek četkica naglo smanjuje jer se one naglo troše, a na vrlo velikim visinama one se mogu za nekoliko minuta pretvoriti u prašinu. Na razini zemlje stvara se pri radu između lamela i četkica tanak odvajajući sloj koji se sastoji od bakarnog oksida, ugljene prašine, apsorbovanog kiseonika, vodenih pare i drugih nečistoća. Pri povećanju visine leta taj sloj postaje zbog smanjenja gustoće vazduha i količine vlage u njemu sve tanji, pa zbog povećanog trenja i porasta temperature dolazi do naglog habanja četkica. Da bi se veštački stvorio sloj za odvajanje, moraju se umesto običnih primeniti specijalne četkice koje su impregnirane barijum-fluoridom ili koje poseduju kanale ispunjene molibden-disulfidom.

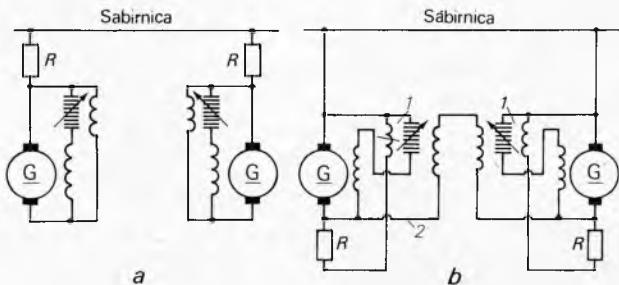
Problem četkica jedan je od razloga za prelazak na naizmeničnu struju. Naizmenični indukcioni motori rade, naime, bez četkica, a danas postoje već i sinhroni generatori bez četkica.

Radi postizavanja što boljeg komutovanja i pri različitim brzinama obrtanja avionski jednosmerni generatori opremljeni su obično sa pomoćnim polovima i kompenzacijom namotom. Maksimalna snaga što je može dati avionski generator ograničena je efikasnošću hlađenja, a ponekad i komutovanjem. Stoga se jednosmerni generatori retko izrađuju za snage veće od 18 kW.

Pri različitim režimima rada u toku leta menja se brzina obrtanja avionskih motora u širokim granicama (3,5 : 1). Stoga se od generatora traži da daju svoju nazivnu snagu i pri najnižoj brzini obrtanja motora i da održavaju stalni napon. Da bi se to postiglo mora se u kolo pobude generatora obavezno uvrstiti automatski regulator napona. Jednosmerni avionski generatori imaju običnu otočnu (porednu), a ponekad i složenu (kompaundnu) pobudu.

*Paralelni rad* jednosmernih generatora primenjuje se obično na avionima sa više motora, jer obično svaki motor pogoni po jedan jednosmerni generator. Da bi svi generatori bili jednakopterećeni, oni moraju imati jednak napon na stezaljkama i jed-

nake regulacione karakteristike, jer se promenom pobude menja njihovo opterećenje. Za izjednačenja unutarnjeg otpora generatora u red sa induktom (armaturom) stavlja se otpornik promenljiva otpora (sl. 3 a). Ako se napon generatora promeni, dolazi do promene pada napona na tom otporniku za izjednačenje i veće intervencije naponskog regulatora. Često se za istu svrhu primenjuju provodnici za izjednačenje, koji u ovom slučaju nisu spojeni izravno na namote pobude, već na poseban svitak kojim se deluju na regulator napona (sl. 3 b).



Sl. 3. Paralelan rad jednosmernih generatora: a uz primenu otpornika za izjednačenje  $R$  i automatskih regulatora napona sa ugljenim pločicama  $I$ , b uz primenu otpornika za izjednačenje  $R$ , automatskih regulatora napona sa ugljenim pločicama  $I$  i voda za izjednačenje 2 preko kojeg se napajaju dodatni namoti naponskih regulatora

**Generatori naizmenične struje (alternatori)** primenjuju se kao glavni i kao pomoći izvori električne energije u glavnim naizmeničnim avionskim mrežama. Načelno se oni po svojoj konstrukciji ne razlikuju od zemaljskih naizmeničnih generatora. Za napajanje glavne avionske mreže upotrebljavaju se redovito trofazni sinhroni generatori. Jednofazni alternatori, obično inducionog tipa, primenjuju se samo za neke specijalne svrhe.

**Konstrukcija generatora.** Avionski sinhroni generatori imaju pobudni namotaj na rotoru, a indukt (trofazni armaturni namotaj) u spoju zvezde sa izvedenom 0-tačkom nalazi se na statoru. Oni se grade za fazni napon 117 V (120 V) i linijski napon 203 V (208 V). Da bi se što više smanjile dimenzije i težina naizmeničnih električnih mašina, išlo se na avionima na višu učestanost struje (300...900 Hz). Međutim, najčešće se primenjuje kao nazivna učestanost 400 Hz.

Brzina obrtanja  $n$  sinhronih generatora ovisi pri odabranoj učestanosti  $f$  o broju pari polova  $p$  generatora prema jednačini  $n = f/p$  (odnosno za brzinu obrtanja u minutu  $n = 60f/p$ ), pa ona u ovisnosti o broju polova za učestanost 400 Hz iznosi:

	1	2	3	4
$n \text{ min}^{-1}$	24 000	12 000	8 000	6 000

Vidi se da su sinhroni avionski generatori brzohodne mašine.

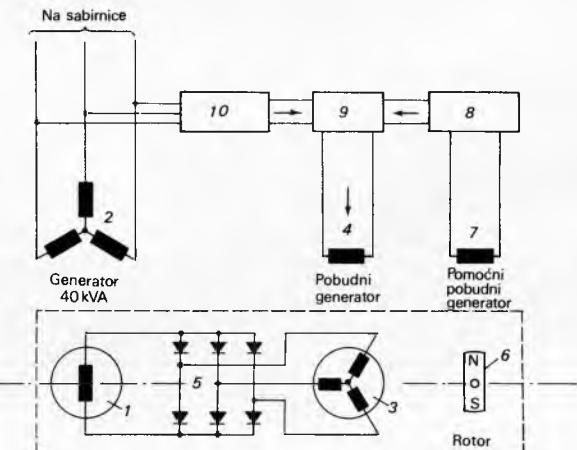
Broj obrtaja alternatora ograničen je vekom trajanja ležaja, kao i dozvoljenim mehaničkim naprezanjima od centrifugalnih sila koje se javljaju pri obrtanju rotora, tako da broj obrtaja kod većine generatora naizmenične struje na prelazi  $8000 \text{ min}^{-1}$  (šestopolni tip) do  $12 000 \text{ min}^{-1}$  (četvoropolni tip), sem kod specijalno izrađenih mašina i primenom specijalnog podmazivanja u kome slučaju je moguća izrada alternatora sa brzinama od  $24 000 \text{ min}^{-1}$  (dvopolni tip). Sinhrone mašine takvoga tipa su znatno lakše i predviđene su za rad sa turbinama, koje obično imaju velike brzine obrtanja. Primena takvih brzohodnih alternatora, takozvanih turbogeneratora, omogućila je da se u tom slučaju odstrani reduktor broja obrtaja, a samim tim smanji i težina.

Pobudivanje avionskih sinhronih generatora može biti strano (iz jednosmerne mreže), sopstveno, poredno ili složeno, sa jednosmernim pobudnikom (jednosmernim generatorom za pobudu) ili sa naizmeničnim pobudnikom i ispravljačem. Zbog potreškoća koje mogu pri kvarovima na uređajima i kratkim spojevima pri stranom i vlastitom pobudivanju nastupiti, primenjuju se obično na avionima pobudnici i to priključeni na osovinu generatora. Da se izbegnu četkice upotrebljavaju se u zadnje vreme gotovo isključivo tzv. *sinhroni generatori bez četkica*, tj. generatori sa naizmeničnim užbudnikom (sa induktom na rotoru) i ispravljačem koji rotira zajedno sa pobudnikom, pa stoga može izravno (bez primene četkica) napajati pobudni namotaj glavnog genera-

tora. Za regulaciju napona služi elektronički automatski regulator napona koji deluje na pobudnu struju pobudnika koja teče kroz njegove namotaje u statoru. Kao pobudna struja služi, dok još nije proradio glavni generator, ispravljena struja iz malog alternatora koji ima polove od permanentnog magneta. Time je uređaj potpuno neovisan o spoljnim izvorima. Na sl. 4 shematski je prikazan uredaj sinhronog generatora bez četkica sa aviona DC-9.

Zbog toga što se brzina obrtanja avionskih motora pri različitim režimima leta menjaju, primenjuju se na avionima dva tipa sinhronih generatora, i to: generatori sa promenljivom učestanom učestanosti i generatori sa stalnom učestanom učestanosti, kao i još neke međukombinacije.

Generatori sa promenljivom učestanom učestanosti spojeni su na avionski motor preko reduktora ili izravno, i njima se menja učestanost oko nazivne učestanosti (400 Hz) unutar širokih granica (npr. između 320 i 520 Hz) proporcionalno promenama brzine obrtanja avionskog motora. Napon tih generatora održava se, međutim, na stalnoj vrednosti s pomoću automatskog regulatora napona (npr. na  $117 \pm 1$  V). Naizmenična struja promenljive učestanosti upotrebljava se u tom slučaju samo za napajanje potrošača koji nisu osetljivi na promene učestanosti (npr. za grejanje, odleđivanje, neke elektromotorne pogone i sl.), dok se svi ostali potrošači napajaju jednosmernom strujom koja se dobiva ispravljanjem naizmenične struje.



Sl. 4. Pojednostavljena shema sinhronog generatora snage 40 kVA bez četkica sa trofaznim pobudnim generatorom i ispravljačem upotrebljenog na avionu tipa DC-9. 1 Pobudni namotaj generatora smešten na rotoru, 2 trofazni namotaj generatora na statoru, 3 trofazni namotaj pobudnog generatora smešten na rotoru, 4 pobudni namotaj pobudnog generatora postavljen na statoru, 5 ispravljač pobudne struje koji se sastoji od poluvodičkih dioda postavljenih na rotoru, 6 permanentni magnet koji rotira s rotorom i koji pobuduje pomoći pobudni generator koji je potreban pri puštanju glavnog generatora u pogon, 7 jednofazni statorski namotaj pomoći pobudnog generatora, 8 ispravljač pomoći pobudne struje, 9 preklopni i upravljački uređaj, 10 ispravljač i regulator napona



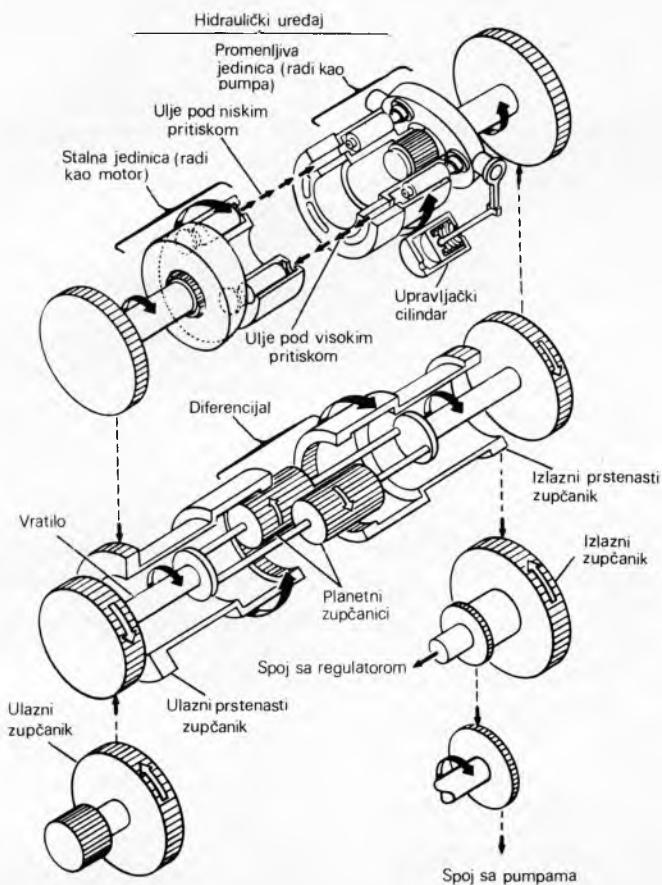
Sl. 5. Izgled uređaja za održavanje stalne brzine vrtnje (regulatora) tipa Sunstrand sa dodatnim alternatorom od 40 kVA

Generatori sa stalnom učestanom učestanosti povezani su sa avionskim motorom putem posebnog uređaja tzv. regulatora koji promenjuju brzinu obrtanja avionskog motora pretvara u stalnu brzinu obrtanja i njome pogoni generator. Takvi su prenosnici (sl. 5) danas već veoma usavršeni, sigurni u radu i sposobljeni za rad

# ELEKTROOPREMA AVIONA

21

sa većim snagama (npr. do 50 kW). Oni se sastoje od hidrauličke pumpe koju pogoni avionski motor, regulacionog sistema i hidrauličnog motora koji pogoni sinhroni generator. U uredaj je uključen i reduktor. Shematski prikaz takva uredaja prikazuje sl. 6.



Sl. 6. Shematski prikaz hidrauličko-mehaničkog uredaja za održavanje stalne brzine obrtanja koji je uvršten između pogonskog motora i generatora na avionu tipa DC-9. Hidraulički sistem (na slici gore) upravljan je preko upravljačkog cilindra mehaničkim centrifugalnim regulatorom sa oprugom deluje na diferencijal (u sredini slike), pa u slučaju kad je brzina obrtanja pogonskog motora premašila, povećava tu brzinu delujući na ulazni prstenasti zupčanik diferencijala; ukoliko je ona prevelička smanjuje tu brzinu, a ukoliko je tačna ne menja je. Strelice i oznake koje su ucrtane na slici odnose se na rad regulatora u slučaju kad je brzina obrtanja pogonskog motora premašila.

Za paralelan rad sinhronih generatora koje pogone avionski motori posredstvom regulatora potrebni su još dodatni regulacioni uredaji. Stoga se takav spoj obično izbegava. Lakše je ostvariti paralelan rad generatora koje pogone posebni pomoći motori.

Zahvaljujući brzohodnosti, intenzivnom hlađenju i primeni visokokvalitetnih materijala koji su takođe postojani na topotli, specifična težina po jedinici snage kao i dimenzije avionskih generatora naizmenične struje znatno su manje nego kod zemaljskih. Tako, npr., za avionske alternatore snage 15...60 kVA, sa brzinom obrtanja 6 000 min<sup>-1</sup>, težina po jedinici snage iznosi 1,4...0,7 kp/kVA.

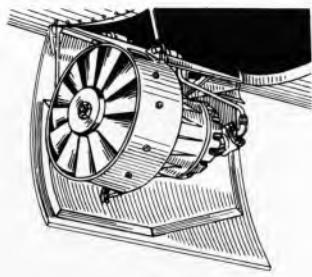
Na velikim avionima koji imaju više motora obično se ne ugrađuje jedan generator velike snage, već nekoliko generatora manje snage koji napajaju pojedine grupe potrošača ili su spajeni paralelno na zajedničke sabirnice. Paralelan rad električnih generatora povećava sigurnost napajanja potrošača električnom energijom, stvarajući rezervu u slučaju izbacivanja iz rada jednog generatora zbog njegovog kvara ili zbog zaustavljanja avionskog motora koji ga pokreće.

**Pogon generatora.** Za pogon avionskih električnih generatora može se upotrebiti sopstvena elisa, avionski motor ili poseban pomoći motor.

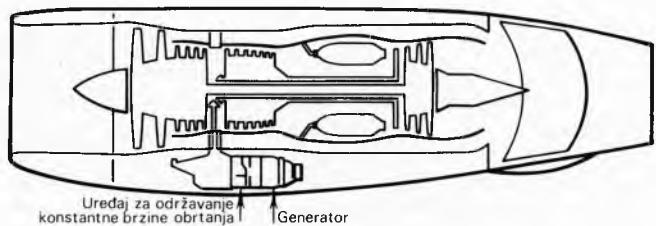
Za pogon avionskih generatora služila je prvobitno sopstvena mala elisa isturena u struju vazduha. Takav način pogona je sada zastareo i ne primenjuje se više u avijaciji zbog velikog aerodi-

namičkog otpora, zatim zbog mogućnosti kvara usled atmosferskih nepogoda (npr. zaledivanja) kao i zbog nemogućnosti rada na zemlji (sl. 7). Takvi su generatori sa svojom elisom bili ugrađeni na trupu aviona ili ispod krila. Danas se, međutim, upotrebljavaju samo kao pomoći izvori električne energije u slučaju otkaza glavnih izvora.

Za pogon savremenih generatora primenjuju se obično *izravno avionski motori*. Generatori se spajaju sa njima specijalnim spojnicama, obično preko uredaja za održavanje konstantne brzine obrtanja (sl. 8) ili preko reduktora sa prenosnim brojem 1,5...3 kod klipnih motora, a 0,65...0,8 kod turbomlaznih motora. Spoj se izvodi s pomoću frikcionih uredaja, elastičnih spojница ili pak s pomoću gipke osovine, kojoj je zadatak da spreči oštećenje generatora, odnosno habanje i deformaciju njegove osovine na mestu spoja za vreme njihovog puštanja u rad kao i pri naglim promenama brzine obrtanja avionskog motora.



Sl. 7. Pogon generatora električne struje s pomoću sopstvene elise



Sl. 8. Pogon generatora električne struje direktno od avionskog motora sa uređajem za održavanje konstantne brzine obrtanja

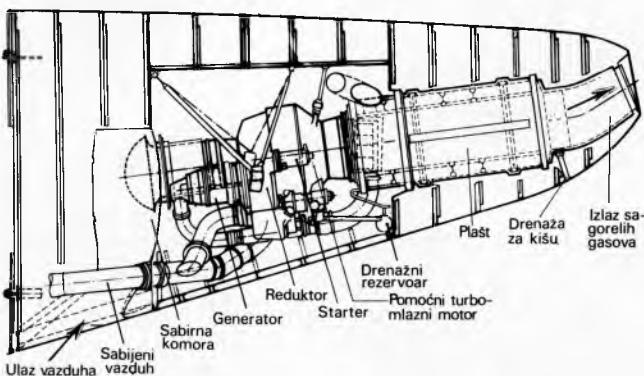
Pogon generatora s pomoću avionskih motora je najekonomičniji jer je težina ovih motora po KS mnogo manja od težine posebnih pomoći motori. Osim toga je pogon generatora pomoći avionskog motora relativno siguran i ima niz preimaučstava u odnosu na druge vrsti pogona. On je čak i jedino moguć na manjim i srednjim avionima zbog nedostatka mesta za ugradnju posebnog pomoći motori. Na velikim višemotornim avionima, gde obično svaki motor pogoni svoj generator, mogu se potrošaći u slučaju kvara jednog od avionskih motora, napajati električnom energijom iz drugih generatora koji su u radu.

Medutim, pogon generatora pomoći avionskog motora ima i niz nedostataka, kao što je npr. potreba ugradnje regulatora napona, jer avionski motori u zavisnosti od režima leta imaju promenljivu brzinu obrtanja, pa se usled toga i generatori koji dobijaju pogon od avionskih motora takođe obraću promenljivom brzinom. Paralelan rad dvaju ili više alternatora je teško ostvarljiv, čak i ako bi se promene učestanosti mogle podneti. Kada avionski motori rade sa malim gasom, ili ne rade uopšte, na avionu nema ni električne energije. Sem toga, puštanje u rad avionskih motora u prirudnim prilikama bilo bi u ovom slučaju otežano. Nedostatak predstavlja takođe i ograničene dimenzije, kao i težina generatora jer se on neposredno ugrađuje na avionski motor, zatim zahtev za velikom postojanošću na vibracije što je naročito važno kod savremenih forsiranih avionskih motora, kao i nemogućnost dobijanja električne energije od generatora kada avionski motor ne radi. Treba napomenuti da su uslovi rada generatora na mlaznim avionima sa gledišta otpornosti i postojanosti na vibracije nešto laksi nego na avionima snabdevenim sa klipnim motorima, usled toga što mlazni avioni imaju znatno mirniji rad.

Zato se u današnje vreme na velikim transportnim i vojnim avionima pored generatora električne energije, koji dobijaju pogon od avionskih motora, ugrađuje i *pomoći generator* sa pogonom od *posebnog motora* — klipnog ili turbomlaznog (sl. 9) — odgovarajuće snage. Time se otklanjamaju svi pomenuti nedostaci i omogućuje dobijanje električne struje i kada avion prinudno sleće, ili kada avionski motori nisu u pogonu. Takvi motori za pogon

## ELEKTROOPREMA AVIONA

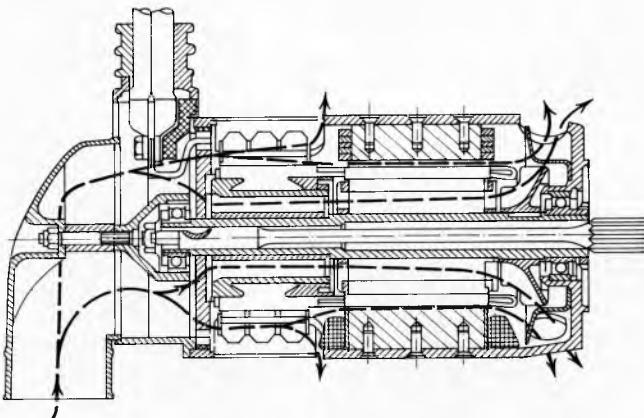
alternatora pružaju povoljno rešenje za napajanje električne mreže sa naizmeničnom strujom, jer kod njih postoji mogućnost održavanja konstantnog broja obrtaja. Pri takvom pogonu rad generatora je potpuno nezavisan od rada avionskih motora i generator može napajati električnu mrežu ne samo za vreme leta, već i na stajanci aviona ili kada avion prinudno sleti, odnosno kada avionski motori uopšte nisu u pogonu.



Sl. 9. Poseban turbomlazni motor za pogon generatora električne struje na avionu Airbus A-300 B

Preim秉stvo takvog individualnog pogona sastoji se u tome što pomoći generator i posebni motor mogu biti postavljeni na mestima koja su dovoljno prostrana za njihovu ugradnju i dostupna za posluživanje i u toku leta. Sem toga, električni generatori predviđeni za rad sa konstantnom povećanom brzinom obrtanja mogu imati manju težinu nego generatori čije se brzine obrtanja menjaju u širokim granicama. Takođe, pri individualnom pogonu električnog generatora relativno je prosti ostvariti paralelni rad dvaju ili više generatora naizmenične struje.

Mana individualnog pogona generatora je njegova nedovoljna ekonomičnost usled znatne težine posebnog motora, koji treba da omogući da bi agregat mogao stalno raditi sa velikom brzinom obrtanja, davati dovoljno snage i na visini gde je vazduh razredjeniji, mogao biti potpuno automatizovan i održavati tačno nepromenljivu brzinu obrtanja radi paralelnog spajanja dvaju ili više alternatora itd. Ukoliko se individualni pogon primeni za jedini glavni generator, relativno je mala sigurnost sistema jer pri oštećenju generatora ili motora, npr. u ratnim uslovima ili iz nekih drugih razloga, avion ostaje bez glavnog izvora električne energije pa je u takvom slučaju neophodno potrebno duplikirati uređaje. Stoga se u velikom broju slučajeva električni generatori sa individualnim pogonom primenjuju samo kao pomoći i rezervni izvori napajanja u slučaju havarije, ili kao izvori električne energije za puštanje avionskih motora u rad.



Sl. 10. Sistem hlađenja avionskog generatora

**Hlađenje generatora.** Zbog specifičnih uslova rada avionskih generatora postavljaju se i posebni zahtevi s obzirom na njihovo hlađenje. Hlađenje avionskih generatora izvodi se po-

godnom instalacijom i cevovodima kojima se dovodi brzi mlaz spoljnog vazduha (sl. 10).

Postoje dva osnovna sistema ventilacije avionskih generatora: *sopstvena ventilacija* koja se izvodi specijalnim ventilatorima ugrađenim na osovini generatora i *prirodna ventilacija* koja nastaje protokom vazduha za vreme leta aviona. U oba pomenuta slučaja postoje takođe još dva sistema ventilacije, i to: spoljni i unutrašnja ventilacija.

U sistemu *spoljne ventilacije* odvod topote u okolnu sredinu vrši se isključivo sa spoljnih površina tela generatora, što predstavlja ujedno i manu ovog sistema, jer hlađenje generatora nije dovoljno intenzivno. Vazduh hlađi, naime, samo spoljnu stranu tela generatora, tj. njegov najmanje zagrejan deo, a ne dolazi neposredno u kontakt sa unutrašnjim delovima generatora u kojima se javlja topota kao što su npr. namotaji, komutator i dr. Međutim, preim秉stvo ovog sistema je u tome što generator može biti potpuno zatvoren, tako da u njega ne može ulaziti nečistoća, prašina, ulje i dr. Kod sistema *unutrašnje ventilacije* vazduh za hlađenje prolazi kroz unutrašnjost generatora i odvodi topotu neposredno sa onih delova gde se topota i stvara.

Najracionalniji i najefikasniji sistem hlađenja avionskih generatora bio bi, dakle, sistem unutrašnje prirodne ventilacije jer on omogućuje da generator postane znatno lakši.

Pri letu aviona na većim visinama, gde je gustina vazduha manja, smanjuje se i količina vazduha koja prolazi kroz generator, a usled toga dolazi do unutrašnjeg porasta temperature. Na visinama do 11 000 m ova pojавa se donekle kompenzira opadanjem temperature vazduha za hlađenje srazmerno visini leta, dok se na većim visinama intenzitet vazdušnog hlađenja sve više smanjuje tako da već pri visinama leta iznad 15 000 m vazdušno hlađenje ne zadovoljava, pa je potrebno predvideti hlađenje nekim drugim fluidom.

Sem toga, pri velikim brzinama leta takav sistem hlađenja avionskih generatora nije pogodan jer temperatura vazduha koja služi za hlađenje generatora zbog kinetičkog zagrevanja uz trup aviona može da bude viša od 150 °C, tako da se generator ne može više uspešno hladiti. Takođe je potrebno predvideti hlađenje i drugim fluidom, npr. vodom, ili hlađenje primenom turborashladnih mašina zasnovanih na principu hlađenja vazduha usled njegovog adijabatskog širenja.

**Određivanje snage generatora.** Pri projektovanju električnog sistema za avion odredene namene vrlo je važan izbor najpovoljnijeg izvora električne energije. Sva se električna oprema aviona u eksploraciji ne upotrebljava obično istovremeno, već se većina potrošača, naročito potrošači velikih snaga, uključuje samo kratkotrajno, i to na različitim etapama leta aviona, pa je opterećenje izvora električne energije za vreme leta aviona vrlo neravnomerno što otežava izbor izvora električne energije na avionu (v. sl. 11).

Ako bi se izvor električne energije birao prema punoj nazivnoj snazi svih potrošača na avionu, težina i dimenzije izvora zнатно bi porasli, mada da vreme leta ne bi bili iskorisćeni u potpunosti. Ako bi pak snaga izvora bila nedovoljna, ona ne bi mogla da obezbedi napajanje celokupne električne opreme na avionu, što bi moglo da dovede do vrlo ozbiljnih posledica, pa čak i do oštećenja aviona.

Pri izboru izvora električne energije uvek je potrebno osim toga predvideti i rezervu za slučaj kvara jednog ili više generatora električne energije, pri čemu ona mora biti dovoljna za napajanje minimalnog broja neophodnih potrošača.

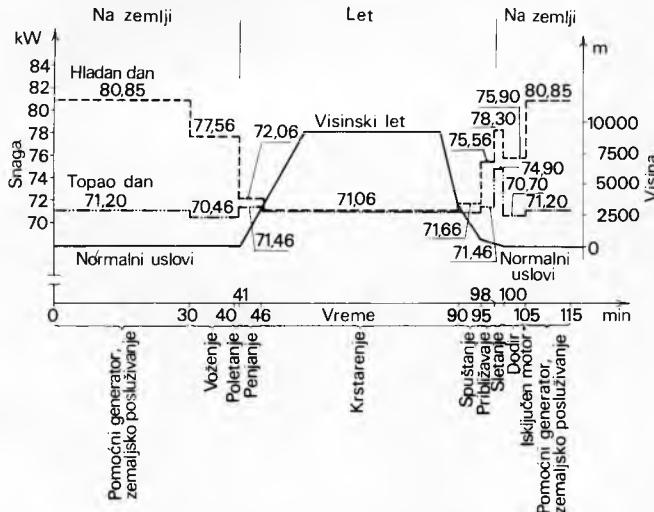
Izvori električne energije mogu se podeliti u dve grupe. U prvu grupu spadaju *glavni izvori* električne energije koji stupaju u dejstvo samo onda kada je brzina obrtanja avionskog motora veća od neke odredene vrednosti, kao što su npr. električni generatori koji se pogone osovinom avionskog motora. U drugu grupu idu izvori električne energije kojima je dejstvo nezavisno od brzine obrtanja avionskog motora. To su tzv. *rezervni i pomoći izvori* električne energije na avionima u koje spadaju akumulatori i pomoći generatori sa pogonom od posebnog motora.

Tokom leta, kada je brzina obrtanja avionskih motora velika, napajanje električnom energijom vrše glavni izvori električne energije, dok se napajanje s pomoći pomoći ili rezervnih iz-

vora obično vrši u početku i na kraju leta, kada brzina obrtanja avionskih motora nije dovoljno velika, a takođe i na stajanci aviona kada je motor zaustavljen. U nekim slučajevima mogu se istovremeno upotrebljavati kako glavni tako i rezervni izvori električne energije, o čemu treba pri izboru izvora voditi računa.

Pri izboru glavnog izvora električne energije treba najpre utvrditi koji sve potrošači postoje na avionu, a zatim ih nakon analize razvrstati u grupu stalnih potrošača električne energije i u grupu povremenih potrošača. U principu se za određivanje snage generatora uzimaju u obzir 100% nazivne snage stalnih potrošača i  $\sim 20\%$  nazivne snage povremenih potrošača.

Pravilan izbor izvora električne energije na avionu može se, međutim, izvesti samo na osnovu analize *dijagrama opterećenja izvora električne energije* pri eksploraciji aviona (sl. 11), koji predstavlja opterećenje izvora — u vatima ili u amperima — u zavisnosti od vremena i pojedinih etapa leta. Pre izrade dijagrama



Sl. 11. Dijagram opterećenja izvora električne energije u toku leta

električnog opterećenja glavnog izvora električne energije na avionu treba u tabelarni pregled (bilans) uneti nazivnu snagu svakog potrošača posebno, a potrošače svrstati pri tome u grupe prema njihovoj sličnosti, kao što su npr. elektromotorni pogoni, elektromehanizmi, elektrificirano naoružanje, radio-uredaji i navigacioni uredaji, osvetljenje, grejanje, signalni uredaji i različiti drugi potrošači električne energije.

Da bi se dobio dijagram opterećenja potrebno bi bilo ugraditi na avionu uredaje koji registruju ukupno opterećenje izvora električne energije, mada se u praksi dijagram opterećenja izvora električne energije dobija računskim putem. Radi toga se celokupno vreme leta deli na pojedine etape leta, u kojima se ukupno opterećenje može smatrati približno konstantnim, pa se zatim sabira snaga svih potrošača koji rade na pojedinim etapama leta i nanosi na dijagram kao zavisnost snage ili struje od vremena leta, što na dijagramu daje jednu stepenastu krivu. Tako je, npr., za putničke avione najmerodavnije opterećenje noćni let u zimskim uslovima pri maksimalnom korišćenju uredaja za grejanje, uredaja za osvetljenje i drugih električnih uredaja od vitalnog značaja; za teške bombardere merodavan je visinski noćni let sa bombardovanjem i istovremenim otvaranjem vatre; za lovačke avione merodavna je noćna vazdušna bitka kada se uključuju svi radio-uredaji, uredaji za sletanje, električni pogon stajnih organa i zakrilaca, kao i uredaji za osvetljenje.

Sa gledišta sigurnosti i simetričnog opterećenja avionskih motora obično se usvaja da je broj glavnih izvora električne energije jednak broju avionskih motora. Na savremenim teškim avionima sa velikom potrošnjom električne energije, ukupna snaga glavnih izvora električne energije bira se tako da se sva vršna opterećenja za vreme leta pokrivaju korišćenjem mogućnosti preopterećenja glavnih izvora električne energije. Na avionima sa relativno malom potrošnjom električne energije, gde se akumulatorska baterija koristi kao rezervni izvor električne energije,

izbor osnovnih izvora električne energije vrši se tako što se vršna opterećenja koja prelaze snagu osnovnih izvora električne energije pokrivaju iz akumulatorskih baterija.

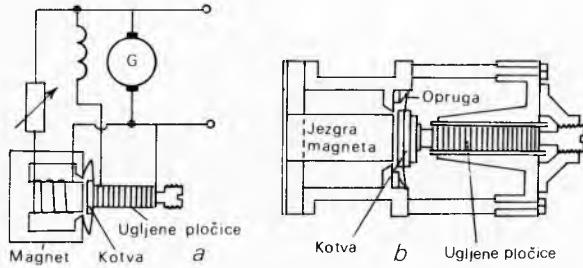
Pri izračunavanju potrošnje sistema sa naizmeničnom strujom treba uzeti u obzir i sačinioča snage ( $\cos \varphi$ ) svakog pojedinog potrošača i njegove promene.

### Regulatori napona

Brzina obrtanja avionskih motora na koje su priključeni glavni generatori menja se pri različitim režimima rada kao i na različitim visinama leta u granicama između 1 : 2 i 1 : 4. U pojedinim etapama leta menja se sem toga i opterećenje generatora. Da bi napon avionskih generatora, usprkos svemu, ostao praktično konstantan, potrebno je stalno regulisati njegov napon. Taj zadatak izvršavaju na avionima automatski regulatori napona. Ti precizni uredaji moraju biti konstruisani tako da rade tačno i pouzdano usprkos tome što su na avionima izloženi potresima, mehaničkim vibracijama kao i promenama temperature, pritiska i vlažnosti vazduha. Konstantan se napon u generatorima jednosmerne i naizmenične struje postiže i održava stalnim regulisanjem pobudne struje. Avionski automatski regulatori napona rade na različitim principima kao npr. na impulsnom ili vibracionom principu, s pomoću otpornika promenljivog otpora ili na principu električnog mosta.

Ranijih godina radila je većina avionskih generatora sa *vibracionim regulatorima* kojima se struja pobudnog kola prekida na dulje, odnosno kraće impulse i time menjala pobuda generatora u ovisnosti o naponu.

Zatim se kroz dugi niz godina upotrebljavao *regulator s promenljivim otporom*. Takav se regulator sastoji od stupa ugljenih pločica koje pri stiskanju, odnosno otpuštanju znatno menjaju svoj otpor a time i struju pobude. Za stiskanje stuba služi elektromagnetični uredaj kojim se menja pritisak na ugljeni stup ovisno o naponu (sl. 12).



Sl. 12. Automatski regulator napona sa ugljenim pločicama. a) Shema, b) konstrukcija

Sada se primenjuju skoro isključivo *elektronički automatski regulatori* koji rade s pomoću električnog mosta u kome su ugrađene Zenerove diode.

### Pretvarački uredaji

Na većini savremenih aviona postoje, pored elektroopreme koja se napaja izravno iz avionske električne mreže, i različiti drugi električni uredaji za napajanje kojima je potrebna druga vrsta struje, druga vrednost napona, odnosno druga učestanost, različita od one koju proizvode glavni generatori. Tako je npr. jednosmerna struja višeg napona potrebna za radio-predajnike kao i za neke elektromotore radi lakšeg regulisanja brzine ili radi postizavanja boljeg polaznog momenta. Jednofazna naizmenična struja služi za napajanje servouredaja, daljinskih prenosa, elektroničkih i navigacionih uredaja te radio-uredaja, eventualno za fluorescentno osvetljenje kao i za još neke druge potrošače. Naizmeničnu struju viših učestanosti (1 500–2 000 Hz) koriste radari, a višefaznu naizmeničnu struju indukcioni elektromotori kao i žiroskopski instrumenti i uredaji za obrtanje rotora (žiroskopa).

Stoga je potrebno da se i u jednosmernim i u naizmeničnim avionskim mrežama deo proizvedene električne energije pretvori u drugi oblik.

U većini slučajeva dobija se električna struja, koja se razlikuje od one u avionskoj električnoj mreži, putem preobražavanja s

pomoću različitih pretvaračkih uređaja, kao što su: rotirajući pretvarači, elektronički statički ispravljači, pretvarači i invertori, a za pretvaranje napona naizmenične struje transformatori.

U avionskim električnim mrežama sa jednosmernom strujom dolazi u obzir pretvaranje te struje u monofaznu i trofaznu naizmeničnu struju, kao i u jednosmernu struju povišenog napona.

U električnim mrežama sa naizmeničnom strujom vrši se pretvaranje te struje u jednosmernu struju, u naizmeničnu struju više učestanosti, a eventualno i u naizmeničnu struju iste učestanosti, ali sa visoko stabilnom učestanostu. Kod nekih vrsti potrošača može se pojavitи još i potreba za pretvaranjem vrednosti napona i broja faza, a kod drugih, kao npr. kod sistema automatskog upravljanja, pretvaranje ugla pomeranja između faza dva naponi ili struje u izlazni signal promenljive amplitudе (fazni pretvarači ili fazno osjetljivi uređaji).

Za preobražavanje oblika električne struje primenjuju se: a) pretvarači jednosmerne struje u jednosmernu povišenog napona; b) pretvarači jednosmerne struje u  $m$ -faznu naizmeničnu struju (invertori, izmenjivači); c) pretvarači naizmenične struje u jednosmernu (ispravljači); d) pretvarači naizmenične struje učestanosti  $f_1$  u naizmeničnu struju učestanosti  $f_2$  (konvertori); e) pretvarači naizmenične struje učestanosti  $f_1$ , u naizmeničnu struju iste učestanosti, ali sa visoko stabilnom učestanostu; f) pretvarači naizmeničnog napona  $U_1$  u naizmenični napon  $U_2$  (transformatori); g) pretvarači broja faza  $m$  i h) fazni pretvarači (fazno osjetljivi uređaji).

Pretvarači uređaji sem transformatora i ispravljača izvode se bilo kao rotacioni električni strojevi, bilo kao statički uređaji sa elektroničkim (sada obično sa silicijumskim) neupravlјivim i upravlјivim ventilima (diodama i tiristorima).

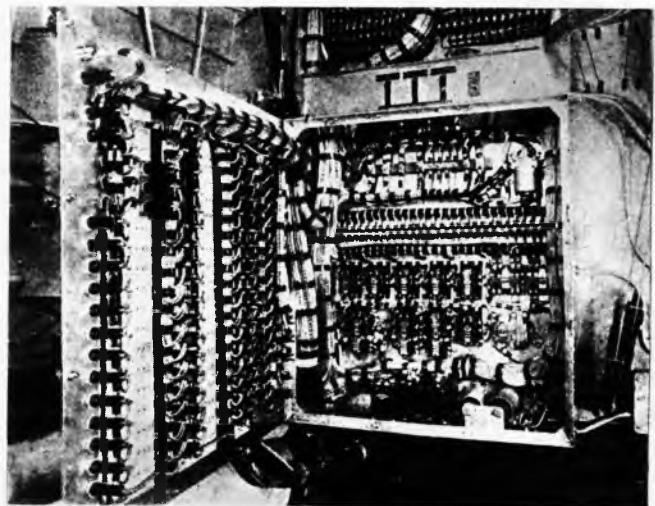
Pojedini potrošači mogu imati svoj sopstveni pretvarač (individualno napajanje) ili se može više potrošača spojiti na zajednički pretvarač (centralizovano napajanje).

Najširu primenu kao pretvarači imaju motor-generatori (sl. 13). To su, u stvari, dve samostalne električne maštine smeštene na istoj osovini: elektromotor i generator.

Na većini avionima sa jednosmernom mrežom primenjuje se veći broj pretvarača malih snaga (od 45...150 VA). U poslednje vreme, međutim, postoji tendencija ka smanjenju broja pretvarača ugradnjom jednog ili dva pretvarača veće snage (oko 4 500 VA), koji centralizovano napajaju potrošače naizmenične struje. Taj način je mnogo ekonomičniji i sigurniji, a pored toga i ukupna težina pretvarača je manja. Sem toga postoji i tendencija za prelazak na elektroničke statičke pretvaračke uređaje koji su lakši i vrlo pouzdani.

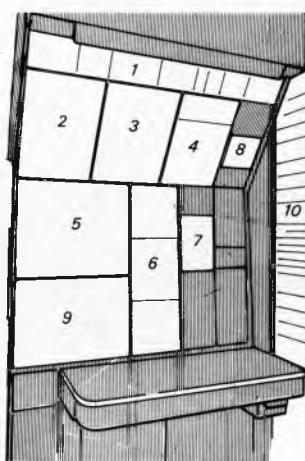
#### ELEKTRIČNA MREŽA AVIONA

Električna mreža je složen sistem koji služi za prenos i raspodelu električne energije na avionima. Na nju su priključeni i izvori i potrošači (trošila) električne energije. Avionska električna mreža sastoji od glavnih, razvodnih, rezervnih i pomoćnih kola koja sačinjavaju vodovi sa jednim, dva ili više provodnika; nadalje



Sl. 14. Glavna razvodna ploča

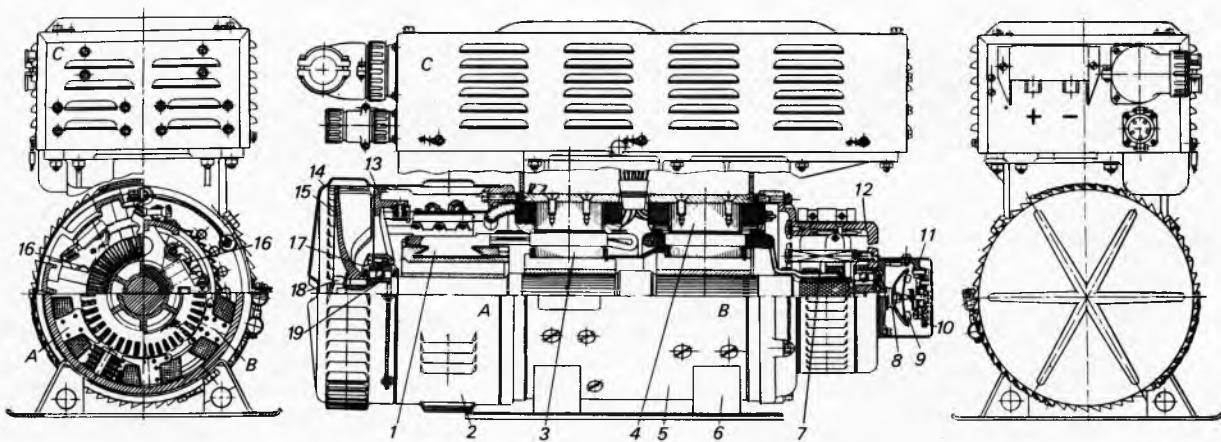
od glavne razvodne ploče sa sabirnicama na kojoj se nalaze organi za kontrolu, zaštitu, upravljanje i regulaciju; od glavnog razdelnika sa potrebnim organima i od više podrazdelnika sa potrebnom opremom koja služi za priključak potrošača (trošila).



Sl. 15. Kontrolna tabla inženjera leta. 1 Protipožarni sistem, 2 hidraulični sistem, 3 pneumatski sistem, 4 klimatizovanje i hermetizovanje kabine, 5 električni sistem, 6 motorski instrumenti, 7 pomoći motor, 8 pokazivač položaja vrata, 9 sistem za napajanje motora gorivom, 10 osiguraci

U taj sistem spadaju takođe i mnogobrojni montažni i ugradbeni elementi, priključci, razvodne kutije i ostala pomoćna oprema. Svi ti delovi i uređaji moraju se koncentrisati na veoma ograničenom prostoru u avionu uz ispunjenje svih zahteva za siguran rad, bezbednost, lako posluživanje i malu težinu.

Osnovni elementi pojedinih kola sistema prenosa i raspodelje električne energije na avionu jesu električni vodovi, po čijim provodnicima se prenosi električna struja od izvora električne energije do potrošača. *Glavna kola* služe za spajanje izvora sa sabirnicama i razdelnikom, dok se *razvodnim kolima* razvodi struja do pojedinih potrošača. *Rezervna kola* uključuju se automatski pri kvaru mreže radi napajanja najvažnijih potrošača. Pri oštećenju



Sl. 13. Konstrukcija pretvarača jednosmerne struje u naizmeničnu. 1 Kolektor, 2 omotač, 3 rotor, 4 stator, 5 telo, 6 postolje, 7 kontaktni prsten, 8 glava centrifugalnog prekidača, 9 tegovi, 10 ploča, 11 kapa, 12 zaštitnik, 13 zaštitnik, 14 kapa, 15 ventilator, 16 četkice, 17 prirubnica, 18 zavrtanje, 19 ležiste

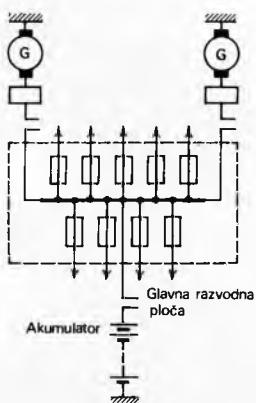
jednog od generatora, potrošači koji se napajaju električnom energijom spajaju se automatski ili ručno sa drugim generatorom.

Radi lakše montaže i demontaže električnih provodnika, kao i pojedinih električnih uređaja, spajaju se delovi električne mreže kao i električni uređaji sa svojim napojnim vodovima s pomoću specijalnih utikača i utičnica (v. sl. 36; 37) bez primene lemljenja.

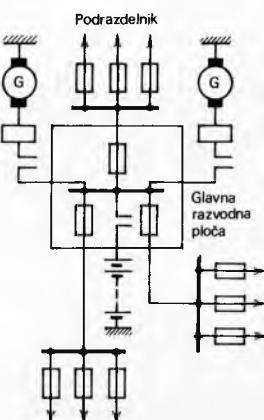
U razvodne uređaje spadaju sabirnice, razvodne ploče, podrazdelnici itd. (sl. 14). Broj razvodnih uređaja na avionu zavisi od njegovog tipa, kao i stepena elektrifikacije. Na razvodnim uređajima koncentriše se obično komutaciona i zaštitna aparatura koja služi za upravljanje potrošačima i izvorima električne energije na avionu, kao i za zaštitu električne mreže od kratkih spojeva i preopterećenja. Razvodna ploča smeštena je obično zajedno sa drugim sistemima na kontrolnoj ploči aviona (sl. 15).

Električne avionske mreže dele se prema vrsti struje na mreže jednosmerne struje i na mreže naizmenične struje, a prema vrednosti napona na mreže niskog napona (do 30 V) i na mreže višeg napona (više od 30 V).

**Sistemi raspodele električne energije na avionima.** Pri elektrifikaciji savremenih aviona mogu se u zavisnosti od razmara i tipa aviona primeniti tri sistema raspodele električne energije, i to: centralizovani sistem, kombinovan sistem i decentralizovani sistem.



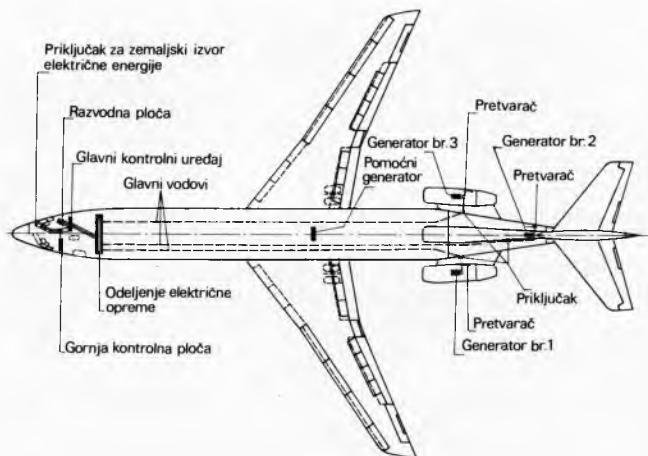
Sl. 16. Shema centralizovanog sistema prenosa i raspodele električne energije



Sl. 17. Shema kombinovanog sistema prenosa i raspodele električne energije

**Centralizovani sistem raspodele električne energije** (sl. 16) karakterističan je po tome što svi provodnici od izvora električne energije idu do sabirnice centralnog razvodnog uređaja, a zatim od sabirnice do potrošača električne energije. Zaštita svih provodnika za napajanje električnom energijom, kao i celokupno upravljanje izvorima i potrošačima električne energije usred-sredeno je na centralnom razvodnom uređaju kojem je ploča obično postavljena u neposrednoj blizini pilota. Na taj se način zaštita i kontrola celokupne električne opreme nalazi na jednom mestu, što je veoma povoljno ukoliko tu funkciju treba da obavlja jedan čovek koji proverava ispravnost rada električne mreže i otklanja njene eventualne neispravnosti. Nedostaci tog sistema su glomaznost centralnog razvodnog uređaja i pri većem broju potrošača velika težina električnih provodnika. Sem toga, nedostatak ovog sistema bila bi takođe i velika zavisnost celog sistema napajanja električnom energijom od ispravnosti centralnog razvodnog uređaja jer bi pri oštećenju tog uređaja svi potrošači izgubili napajanje.

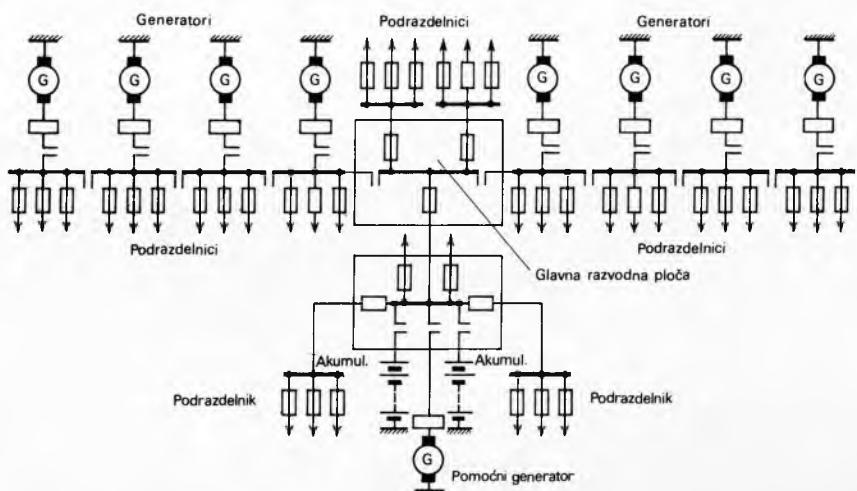
**Kombinovan sistem raspodele električne energije** (sl. 17) znatno je manji i lakši, a obično se upotrebljava na višemotornim transportnim i vojnim avionima. Na teškim avionima sa velikim brojem potrošača po-



Sl. 18. Dispozicija komponenata električnog sistema naizmenične struje na avionu Boeing B-727

javljuje se, naiće, potreba za upravljanjem električnim uređajima ne sa jednog, već sa različitim mestima na avionu. To omogućuje kombinovan sistem raspodele električne energije na avionu. Kod njega se vrši upravljanje izvorima električne energije na centralnom razvodnom uređaju, dok se upravljanje mrežama potrošača električne energije provodi preko razvodnog uređaja (podrazdelnika) pojedinih grupa potrošača. Od izvora električne energije provodnici vode do centralnog razvodnog uređaja, a od njega se dalje razilaze ka razvodnim uređajima (podrazdelnicima) pojedinih grupa potrošača, usled čega se znatno smanjuje težina električne mreže, uprošćava njeni montaže i olakšava eksploraciju.

**Decentralizovani sistem raspodele električne energije** nastao je zbog daljeg i sve većeg porasta broja potrošača električne energije i povećanja njihove snage. Kombinovan sistem raspodele električne energije ne predstavlja više pod tim uslovima zadovoljavajuće rešenje, pa se moralo preći na savremeniji, tzv. decentralizovani sistem raspodele električne energije. Zbog velike razgranatosti električne mreže, veće udaljenosti između uređaja (sl. 18) i zbog povećanja poprečnog preseka provodnika koji su vodili ka krupnim potrošačima električne energije, postalo je neophodno da se tokovi električne energije ne vode kroz sabirnicu centralnog razvodnog uređaja i razvodne uređaje grupe potrošača (podrazdelnike), već izravno, najkratim putem od najbližih izvora električne energije. Centralni razvodni uređaj u ovom sistemu uopšte ne postoji, a izvori električne energije spojeni su sa glavnom mrežom samo u različitim tačkama (sl. 19). Na tu glavnu mrežu priključen je niz razvodnih uređaja grupnih potrošača (podrazdelnika), sa kojih odlaze provodnici dalje ka pojedinačnim potrošačima električne energije na avionu. Na razvodnim uređajima grupnih potrošača (podrazdelnicima) postavljeni su i uređaji za zaštitu i upravljanje.



Sl. 19. Shema jednosmernog sistema prenosa i raspodele električne energije

## ELEKTROOPREMA AVIONA

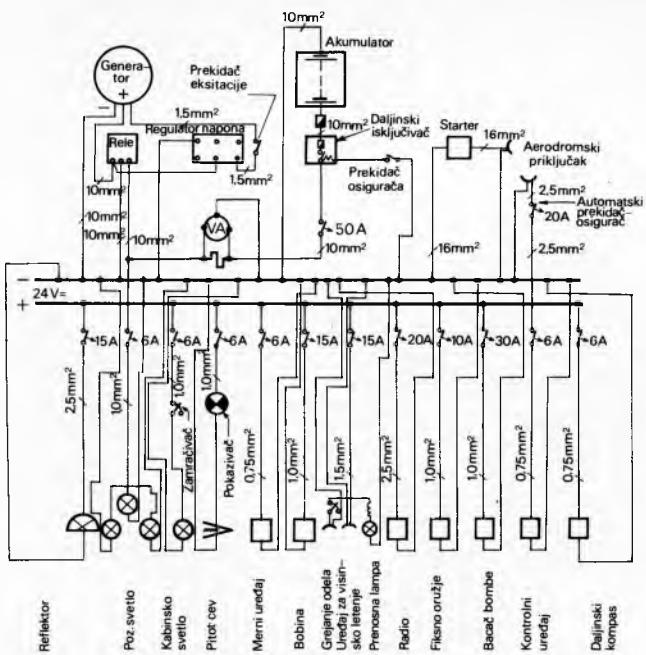
Veliki potrošači električne energije napajaju se od najbližih razvodnih uredaja grupnih potrošača (podrazdelenika), pri čemu se upravljanje vrši daljinski.

Preim秉stva decentralizovanog sistema raspodele električne energije jesu: smanjena i ekonomično raspoređena težina električne mreže, minimalna mogućnost oštećenja, mogućnost napajanja velikih potrošača neposredno iz jednog ili nekoliko generatora, i to odvojeno od glavne mreže usled čega varijacija naponu u momentu puštanja snažnih agregata u rad, kao i pri njihovom maksimalnom opterećenju, ne utiču na napon ostale mreže; u slučaju oštećenja jednog ili više generatora važnije potrošače električne energije napajaju preostali generatori. Ta preim秉stva, međutim, mogu se ostvariti samo pri znatnim snagama potrošača električne energije na avionu, kao i pri vrlo razgranatoj električnoj mreži.

Radi obezbeđenja besprekornog napajanja električnom energijom primenjuje se pored glavne mreže na teškim avionima još i tzv. rezervni sistem raspodele, izolovan od glavne električne mreže i napajan iz posebnog rezervnog izvora električne energije koji može da napaja samo nekoliko najvažnijih potrošača električne energije na avionu, pri čemu se neki od ovih potrošača dupliraju i priključuju jedan u glavnu mrežu, a drugi u rezervnu električnu mrežu.

**Sistemi jednosmernih mreža.** Na avionima sa električnom mrežom jednosmerne struje primenjuju se dva sistema prenosa električne energije od izvora do potrošača električne energije, i to: sistem sa jednim provodnikom i sistem sa dva provodnika (jednopravodni i dvopravodni sistem).

**System za dva provodnika** (sl. 20) karakterističan je po tome što svakome potrošaču, a takođe i svakom izvoru električne energije, dolaze po dva provodnika, pri čemu su ti provodnici izolovani jedan od drugog, a u isti mah i od mase aviona. Provodnik



Sl. 20. Shematski prikaz avionske električne mreže sa dva provodnika. Na shemi prikazani su i potrošači

koji ide od pozitivnog pola izvora električne energije ili od pozitivne sabirnice naziva se *direktnim provodnikom*, a provodnik koji polazi od negativnog pola, odnosno od negativne sabirnice naziva se *neutralnim provodnikom*. U početku se na avionima primenjivao isključivo sistem sa dva provodnika jer su avioni bili tada drvene ili mešane konstrukcije, pa nije postojala mogućnost da se metalna konstrukcija aviona iskoristi kao neutralni provodnik, tj. da se ostvari tzv. sistem sa jednim provodnikom.

Preim秉stva sistema sa dva provodnika prema sistemu sa jednim provodnikom jesu velika sigurnost sistema pri kratkim spojevima provodnika sa masom aviona koji ne izazivaju nikakve

posledice, a takođe i manji nivo magnetnih i elektromagnetskih smetnji koje utiču na pokazivanje instrumenata i rad radio-uređaja. Zato što su direktni i neutralni provodnici obično postavljeni jedan uz drugog uzdužno, ili na malom rastojanju jedan od drugog, magnetno se i električno polje koje je stvoreno strujama tih provodnika delimično međusobno kompenzira. Nedostatak je tog sistema velika težina provodnika koja je za ~ 25...40% veća nego kod sistema sa jednim provodnikom. Osim toga složenija je shema instalacije i montaža.

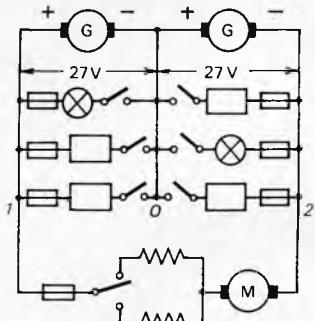
Sa prelaskom na metalne konstrukcije aviona, a takođe i usled porasta broja električnih uredaja na avionu i proširenja avionske električne mreže, smanjivanje težine provodnika električne mreže dobijalo je sve veći značaj. Radi smanjenja težine provodnika na nekim avionima su se počeli spajati neutralni provodnici koji su išli ka istom mestu na avionu, pri čemu je došlo do stvaranja mreže sa dva provodnika ali sa *zajedničkim neutralnim provodnikom* za sve potrošače, što je u stvari bio prvi korak ka prelazu na električnu mrežu sa jednim provodnikom. Zbog toga što u zajedničkim neutralnim provodnicima struje svih priključenih potrošača električne energije nikada ne teku istovremeno, može se njihov poprečni presek uzeti manji nego što je zbir preseka svih pojedinačnih provodnika.

Ponekada se na avionima upotrebljavaju i jednosmerne mreže sa *tri provodnika* koje se zovu i sistemi sa neutralnim provodnikom (sl. 21). One imaju izvesna preim秉stva s obzirom na svoju ekonomičnost, jer pri ravnomernom opterećenju obe polovine električne mreže nemaju električne struje u neutralnom provodniku, a zbog toga se njegov poprečni presek može uzeti manji. Kao neutralni provodnik može na avionu poslužiti metalna konstrukcija (masa) aviona, pa se dobije sistem prenosa sa *dva provodnika i uzemljjenim neutralnim provodnikom*. Na avionima ovaj sistem nije dobio veću primenu usled male sigurnosti i teškoće pri ostvarenju ravnomernog opterećenja obe polovine električne mreže.

Povećanje težine električne mreže, do koje je došlo usled porasta snage izvora električne energije na avionima i proširenja avionske električne opreme, doveo je do toga da skoro svi savremeni avioni sa jednosmernim napajanjem imaju danas električnu mrežu samo sa *jednim provodnikom* (sl. 22), jer taj sistem prenosa daje veliku ekonomičnost u provodnicima i drugim montažnim materijalima te uprošćava električnu mrežu i njen remont. Kao neutralni provodnik služi i tom sistemu masa (telo) aviona što zнатно smanjuje težinu električne mreže. Dalje preim秉stvo tog sistema prenosa električne energije na avionu sastoji se u tome što zнатno uprošćava shemu električne mreže, a njenu montažu olakšava. Takva električna mreža mnogo je pogodnija u eksploataciji jer je pristup neutralnom provodniku, tj. masi aviona, skoro u svim slučajevima relativno lak i uvek slobodan. Zahvaljujući dobroj provodljivosti tela aviona, pad naponu se pri tome praktično može zanemariti.

Međutim, nedostatak električne mreže sa jednim provodnikom jest velika opasnost od kratkih spojeva. Spoj bilo kojeg provodnika električne mreže sa masom aviona dovodi do kratkog spoja. Nedostatak je i povećanje nivoa elektromagnetnih i mrežnih smetnji što se svodi na minimum primenom filtera.

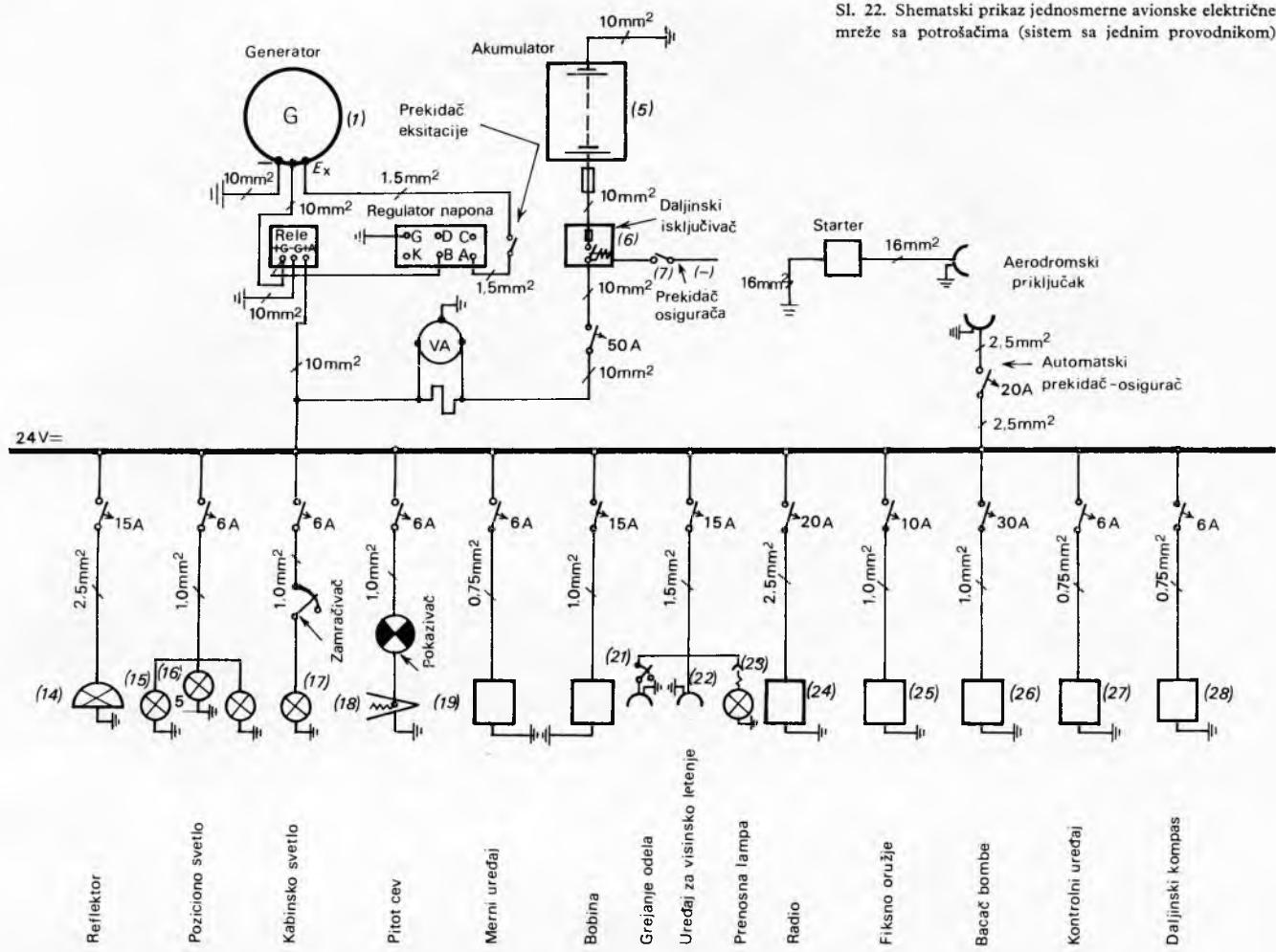
Pri primeni tog sistema prenosa električne energije moraju se na avionu preduzeti potrebne mere da električni spojevi između pojedinih delova aviona budu dobri i sigurni, jer telom aviona mogu proticati struje jačine više hiljada ampera koje pri rđavom kontaktu na sastavima konstrukcije aviona izazivaju pregrevanje spojnih mesta i narušavaju normalni rad električne mreže. Isto tako, neophodno je ostvariti siguran spoj neutralnih provodnika koji spajaju pojedine električne uredaje sa masom (telom) aviona.



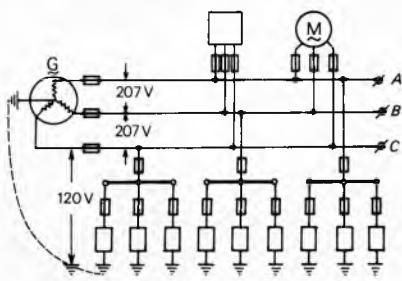
Sl. 21. Shematski prikaz mreže prenosa i raspodele električne energije jednosmerne struje sa tri provodnika

# ELEKTROOPREMA AVIONA

27



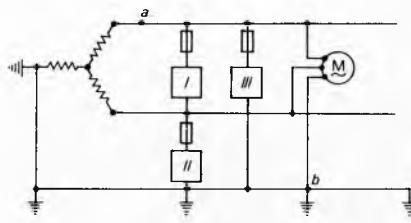
**Sistemi mreža za naizmeničnu struju.** Pri upotrebi naizmenične struje na avionu mogu se, u zavisnosti od broja faza, primeniti jednopravodni, dvopravodni i tropravodni sistem prenosa električne energije. Za prenos i raspodelu jednofazne naizmenične struje upotrebljavaju se na avionima električne mreže istih tipova kao za jednosmernu struju. Na mnogim savremenim avionima postoji pored glavne jednosmerne mreže još i električna mreža jednofazne naizmenične struje, koja služi za napajanje električnom energijom potrošača naizmenične struje. Obično se u tom slučaju upotrebljava telo aviona kao drugi provodnik.



Sl. 23. Shematski prikaz sistema trofazne naizmenične struje sa tri provodnika

Za prenos i raspodelu trofazne naizmenične struje koju daju sinhroni generatori kao glavni izvor električne energije, najčešće se primenjuju dva sistema prenosa električne energije u kojima telo (masa) aviona takođe služi kao jedan od provodnika. U prvom se sistemu prenosa uz spoj u zvezdi upotrebljava *tropravodni sistem prenosa trofazne naizmenične struje sa neutralnim provodnikom* za koji služi telo aviona (sl. 23). Preim秉tvo takvog sistema prenosa jeste mogućnost priključivanja potrošača kako na linijski napon tako i na fazni napon generatora, pri čemu

se potrošači jednofazne struje uključuju tako kao i potrošač jednosmerne struje pri jednopravodnoj električnoj mreži. Po drugom sistemu prenosa električne energije, tzv. *dvopravodnim sistemom prenosa trofazne naizmenične struje*, neutralni provodnik generatora ne izvodi se uopšte, a svi jednofazni potrošači koji se priključuju na linijski napon obrazuju spoj u trouglu, pri čemu se za jedan od linijskih provodnika iskorištava telo aviona (sl. 24). U takvom dvopravodnom sistemu prenosa trofazne naizmenične struje, napon između linijskih provodnika jednak je naponu između linijskih provodnika i mase aviona. Preim秉tvo tog sistema jeste u tome što u ovom slučaju postoje samo dva



Sl. 24. Shematski prikaz sistema trofazne naizmenične struje sa dva provodnika

linijska provodnika umesto tri, što dovodi do ekonomične težine električne mreže, ali s obzirom na neke nedostatke takvog sistema može se izvesti zaključak da je za teške avione najpogodniji ipak tropravodni sistem prenosa, s tim što je potrebno obezbediti ravnomerno opterećenje svih faza generatora električne energije.

**Oštećenje mreže.** Pri eksploraciji električne opreme na avionu, mogu nastupiti oštećenja pojedinih delova električne mreže usled kratkog spoja, nенormalnog režima rada, odnosno preopterećenja.

## ELEKTROOPREMA AVIONA

Pri tome je najčešće oštećenje avionske električne mreže kidanje provodnika, spajanje provodnika sa masom i kratki spoj, što može da dovede do vrlo ozbiljnih posledica kao što je oštećenje celog sistema prenosa i raspodele električne energije, do prestanka rada osnovne električne opreme na avionu, kao i do požara, eksplozije itd. Naročito je velika mogućnost povrede električne mreže u ratnim uslovima usled vatrengog dejstva protivnika. *Kratki spojevi* su najčešće i relativno teško oštećenje avionske električne mreže, naročito na avionima gde je primenjen sistem sa jednim provodnikom i gde kidanje provodnika električne mreže skoro uvek dovodi do kratkog spoja.

*Nenormalni režimi rada* električnog sistema na avionu mogu se pojaviti pri oštećenju jednog ili nekoliko izvora električne energije usled bilo kakvih povreda. Pri tome se može desiti da snaga preostalih izvora električne energije ne bude dovoljna za napajanje svih potrošača, a kao rezultat toga može da se dogodi da se napon u mreži veoma snizi, ponekada čak i do nule. Pri velikom sniženju napona većina električnih uređaja, aparata i mašina na avionu ne mogu normalno da rade, a neki od njih, npr. veoma opterećeni elektromotori, počinju uzimati struju koja znatno nadmašuje nazivnu vrednost.

Oštećenja avionskih električnih sistema mogu se isto tako pojaviti i usled *preopterećenja*. U preopterećenom elementu ili uređaju električne opreme protiču tada struje koje prelaze dozvoljene vrednosti. Pri relativno dugom proticanju takvih struja, temperature provodnika prelaze dozvoljenu vrednost, što dovodi do razaranja izolacije, kratkih spojeva i požara.

Prema tome, u slučaju pojave kratkih spojeva koji predstavljaju jedno od oštećenja električne mreže na avionu koje se u praksi najčešće susreće, mora se s pomoću zaštitne aparature brzo i automatski isključiti onaj deo električne mreže aviona na kojem se pojavio kratak spoj.

**Električni provodnici.** Provodnici služe na avionima za prenos električne energije od izvora do potrošača (trošila). Težina provodnika iznosi i do 1/3 ukupne težine elektroopreme. U početku upotrebljavali su se i na avionima ubičajeni instalacioni i automobilski provodnici. Međutim, zbog prevelike težine i neodgovarajuće konstrukcije tih provodnika prešlo se brzo na izradu posebnih avionskih provodnika.

Goli provodnik izrađuje se od mekih tankih bakarnih (ponekada i kalajisanih) žica upredenih u uže kako bi bio dovoljno savitljiv i elastičan. Izolacija i omotač provodnika moraju biti otporni na slabije mehaničke udarce, na trenje i vibracije, nadalje neosetljivi na delovanje vlage, ulja, antifriba, maziva i goriva i ne smeju pucati i gubiti elastičnost unutar širokog raspona temperatura od  $-50^{\circ}\text{C}$  ...  $+60^{\circ}\text{C}$ . Izolacija ne sme biti podložna starenju, mora biti otporna na plamen, a ako sagori, mora još neko vreme zadržati svoja izolaciona svojstva. Danas postoji velik broj avionskih provodnika vrlo različitih konstrukcija. Za izradu izolacije i omotača primenjuju se npr.: pamučni opleti, tanki slojevi stakla, fiber-staklo, različite plastične veštačke mase (polivinilklorid, neopren i dr.), silikoni, sintetička vlakna i specijalni izolacioni i na druge uplove otporni lakovi. Osim običnih avionskih provodnika primenjuju se specijalni provodnici za ekstremne temperature ( $-75^{\circ}\text{C}$ ... $+150^{\circ}\text{C}$ ).

Na avionima ne primenjuju se višežilni kabeli, već se više jednožilnih provodnika skupi u snop, povezuje i/ili uvlači u rukavce. Da se spreći pomeranje i lupanje pojedinih provodnika i snopova, oni se na podesnim rastojanjima pričvršćuju gipkim obujmicama izravno na konstrukcijske delove aviona ili ulažu u lagane plastične žlebove ili kutije.

Radi smanjenja težine ide se ponekad i na provodnike od aluminijuma.

Dimenzionisanje preseka provodnika vrši se ili prema dozvoljenoj gustini struje ili prema padu napona (dozvoljen je pad napona i do 10% nazivnog napona). (V. *Električni vodovi*, TE 4, str. 226 i *Elektrotehnički materijali*, str. 52.)

**Zaštita.** Zaštitna aparatura sastoji se iz topljivih osigurača i osigurača automatskog dejstva.

Ranijih godina se zaštita električnog sistema od prevelikih jačina struje vršila isključivo s pomoću topljivih osigurača. Poslednjih godina, međutim, univerzalno se primenjuju automatski osigurači. Pri ovom sistemu je ponovno uključivanje u rad, posle prekida, znatno brže i lakše jer ne uslovljava zamenu uloška osigurača.

U glavnim mrežama često se primenjuje diferencijalna zaštita, koja praktično trenutno isključuje oštećeni deo mreže.

Električni generatori se takođe zaštićuju pre svega od maksimalne i obratne struje, a u nekim sistemima i od povišenog napona, izmene polarnosti, kao i od spoja sa masom.

### POTROŠAČI (TROŠILA) ELEKTRIČNE ENERGIJE

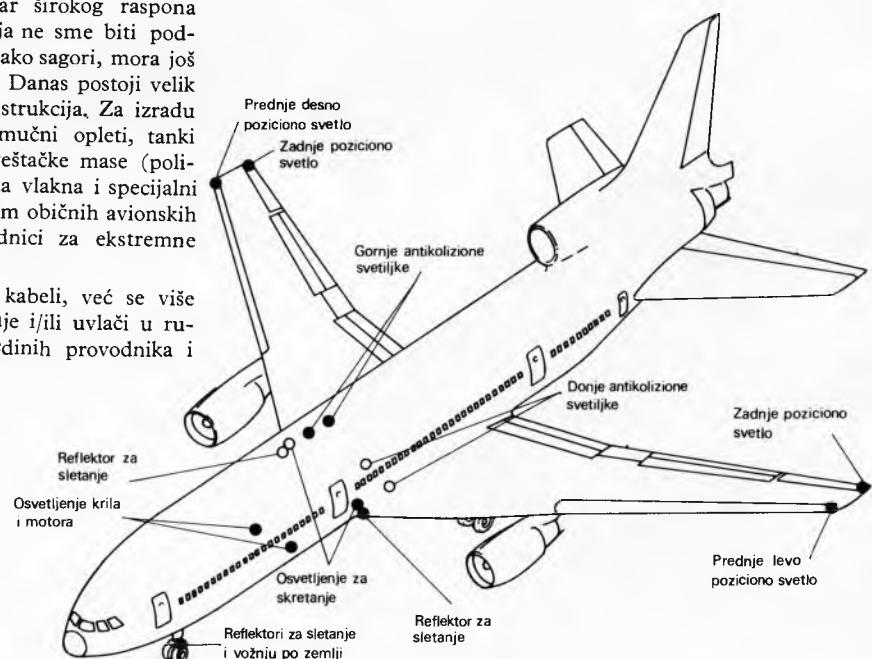
Avionski potrošači električne energije mogu se prema nameni svrstati u više grupe.

*Uredaji za osvetljenje i signalizaciju* kojima snaga može da iznosi i nekoliko kilovata. To su npr. poziciona svetla, osvetljenje kabine, osvetljenje instrumenata na instrumentskim tablama, različiti pokazivači, signalna svetla, reflektor za sletanje, zvučni signalni uređaji itd.

*Uredaji za grejanje, provetranje i odleđivanje* kojima snaga iznosi i po nekoliko desetina kilovata, a u koje spadaju uredaji za zagrevanje članova posade i opreme pilota, kiseoničke naprave, aerofotokamere, uredaj za provetranje kabine, zagrevanje prednjeg stakla kabine, napadnih ivica krila, repnih površina, krmila, krakova elise, Pitotove cevi itd.

*Uredaji za vezu i navigaciju*, u koje idu radio-uredaji, različite vrste radara, radio-kompassi, radio-visinomeri, radio-sonde, žiromagnetski kompassi itd.

*Elektromotori* i različiti uredaji koji služe za stavljanje u pogon i upravljanje izvršnim mehanizmima, kao i različitim delovima aviona kojima broj na većim avionima iznosi i po nekoliko stotina komada, a u koje spadaju: uredaji za otvaranje kabine, za pokretanje aerodinamičkih kočnica, krilaca, zakrilaca i trimera, uvlačenje i izvlačenje stajnih organa, promena koraka elise, različiti uredaji za sinhronizaciju i regulisanje svake vrsti, pokretanje pumpi za gorivo i mazivo, pokretanje različitih slavina, razvodnika, pokretanje kapaka za regulisanje hlađenja ulja, odnosno vode, zatim pogon žiroskopskih pokazivača skretanja, veštačkih horizontata, pokazivača kursa, žiroskopskih automatskih pilota, zatim komandovanje aerofotokamerama, fotokinomitrailjezom i dr., okidanje i repetirjanje mitraljeza i topova, ispaljivanje raketa, otkačinjanje bombi, okretanje turela itd.

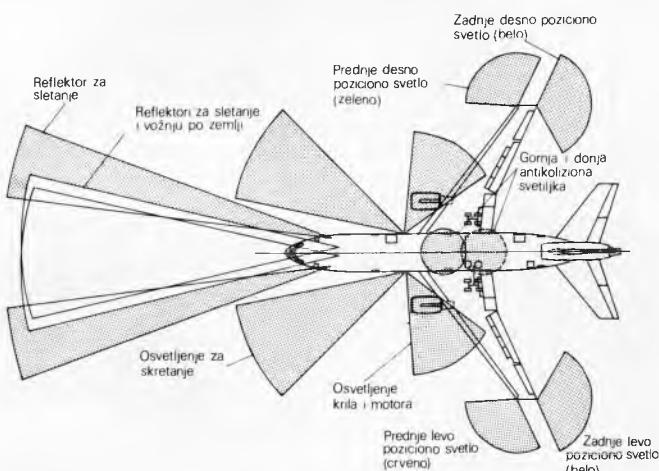


Sl. 25. Raspored spoljnog osvetljenja na avionu Lockheed Tri-star L-1011

**Kontrolno-merni uredaji**, kojima se princip dejstva zasniva na korišćenju električne energije, kao npr. električni termometri, automatski regulatori temperature, električni obrotomeri, električni gorivomeri, analizatori izdubnih gasova i različiti uredaji za давanje uzbune npr. u slučaju požara i sl.

### Osvetljenje

Sredstva za osvetljenje i svetlosnu signalizaciju važan su deo opreme savremenog aviona, a imaju zadatak da obezbede sigurno izvođenje noćnih letova i da putnicima pružaju udobnost. Osvetljenje na avionu obuhvata spoljno osvetljenje (sl. 25 i 26; reflektore za sletanje i poletanje, svetla za skretanje i svetla za osvetljenje krila i motora, navigaciona i antikoliziona svetla), svetla za opšte unutrašnje osvetljenje, sredstva za svetlosnu signalizaciju,



Sl. 26. Spoljno osvetljenje aviona sa ucrtanim sektorima svetljih

osvetljenje instrumenata i osvetljenje za posebne svrhe. (V. *Električno osvjetljenje*, TE 4, str. 263.)

**Osvetljenje pri poletanju i sletanju.** Da bi se noću sprečilo oštećenje aviona pri poletanju, sletanju i pri vožnji po zemlji, predviđeni su na avionima specijalni farovi i/ili jaki reflektori za osvetljavanje pojedinih sektora zemljišta oko aviona. Takvi farovi i reflektori mogu biti fiksno ugrađeni ili predviđeni za izvlačenje (v. sl. 26).

Šem električnih sredstava za osvetljenje zemljišta primenjuju se ponekad i pirotehnička sredstva, npr. padobranske rakete, načito u slučaju kad se sletanje vrši noću na aerodrom koji nije predviđen za noćno sletanje.



Sl. 27. Pokretni reflektor ugrađen na donjoj površini krila

**Stacionarni reflektori (farovi)** fiksno su ugrađeni u prednjoj ivici krila kako bi što bolje osvetlili sletnu površinu. Međutim, površina, što je oni osvetljavaju, i njegina osvetljenost nisu dovoljni za brze savremene avione.

**Reflektori za izvlačenje**, koji se upotrebljavaju u modernim avionima, ugradjuju se u krila, u trup ili pokretne stajne organe aviona (sl. 27). Oni se sastoje od specijalne električne sijalice snage do 1000 W kojoj se žarno vlakno nalazi u žizi reflektora. Sijalica, reflektor i zaštitno staklo čine jednu celinu koja se cela izmeni kad sijalica pregori. Te sijalice, koje se napajaju sa 28 V jednosmerne struje, imaju vrlo kratak vek trajanja, npr. od 400 W oko 100 sati, a od 1000 W svega oko 25 sati. Ti se reflektori s pomoći elektromotora izvlače za određeni ugao i nakon izvlačenja automatski upale, a pri uvlačenju gase. Oni omogućuju pilotu da jasno vidi 150...200 m poletno sletne staze s time da se najbliža granica nalazi na rastojanju 25...40 m od aviona.

Svi reflektori moraju biti pristupačni radi podešavanja i zamene sijalica.

**Svetla za skretanje** pri vožnji po prilaznim stazama i svetla za osvetljenje krila i motora dopunjavaju spoljno osvetljenje (v. sl. 26).

**Unutrašnje osvetljenje** može se podeliti na: osvetljenje kabina i ostalih prostorija, na osvetljenje uređaja i na osvetljenje pokazivača i skala instrumenata.

**Osvetljenje kabina** ostvaruje se kabinskim i plafonskim svetilkama (sl. 28). Za osvetljenje kabina primenjuju se sijalice srednje



Sl. 28. Plafonska svetiljka ugrađena u ventilator



Sl. 29. Unutrašnje osvetljenje putničke kabine na savremenim avionima je fluorescentno i uniformno, i može se po želji smanjiti ili pojačati (Avion Lockheed Tri-star L-1011)

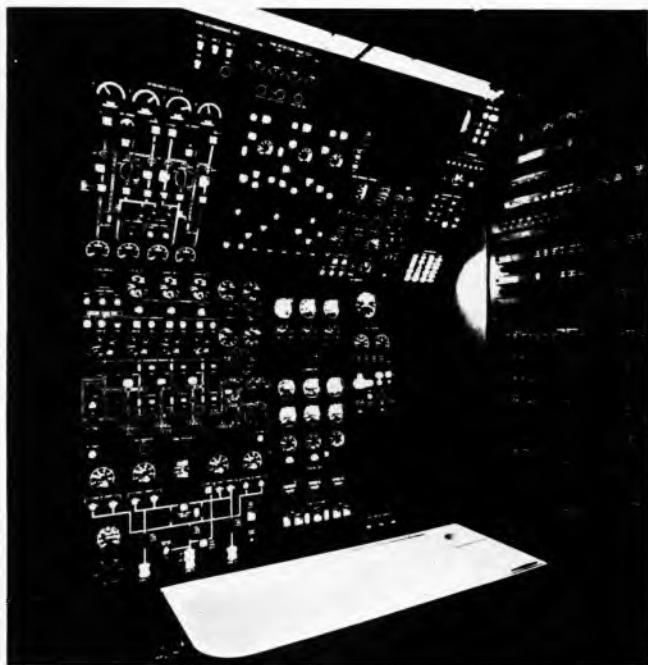
svetlosne jačine. Važnije je, naime, da svetlo u kabini bude ujednačeno nego da bude suviše jako. Na putničkim se avionima osim toga upotrebljavaju i fluorescentne sijalice (sl. 29) za koje je potreban napon od 115 V naizmenične ili jednosmerne struje. One daju jednolično svetlo, imaju dug vek trajanja i bolju svetlosnu korisnost (i do 45 lm/W). Međutim, prigušnice smiju se uz njih upotrebiti samo u slučaju napajanja naizmeničnom strujom stalne učestanosti. Obično se, međutim, na avionima kod svih vrsti struje kao balast primenjuje otpornik jer time rasvetni uredaji postaju lakši, mada im je u tom slučaju svetlosna korisnost lošija (~ 23 lm/W), ali još uvek oko dva puta bolja nego u običnim sijalicama (v. *Električno osvjetljenje*, TE 4, str. 270). Ukoliko izvor osvetljenja leži u vidnom polju, potrebno

je upotrebiti posebno sočivo radi dobijanja difuzne svetlosti, dok svetlosni snop svetiljki za čitanje u putničkim kabinama treba da ima što manje rasipanja (sl. 30).



Sl. 30. Osvetljenje za čitanje u putničkim kabinama postiže se snopom svetlosnih zraka sa minimumom rasipanja svetlosti

*Osvetljenje instrumenata* (sl. 31) treba da bude dovoljno jako, bez zaslepljivanja, ravnomerno raspoređeno, s tim da postoji mogućnost regulisanja jačine osvetljenja kako bi pilot bez velikog naprezanja očiju mogao da gleda čas napolje, čas unutra na instrumente. To je naročito potrebno u sumrak ili u zoru, kada je osvetljenje napolju dovoljno za jasno raspoznavanje predmeta, dok unutar aviona instrumenti izgledaju kao da su u senci i potrebno ih je jako osvetliti.



Sl. 31. Osvetljenje instrumenata

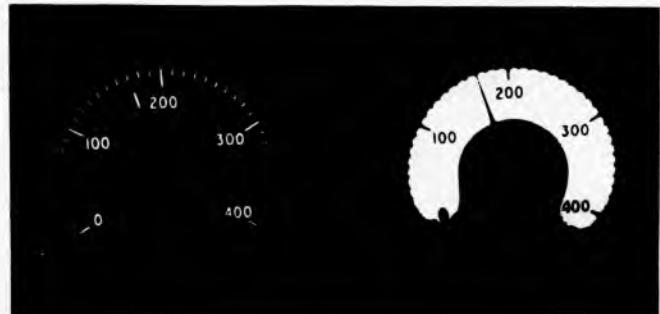
Instrumenti se mogu osvetliti bilo osvetljavanjem cele instrumenetske table, bilo individualnim osvetljavanjem svakog instrumenata posebno.

Osvetljenje cele *instrumentske table* može da se vrši s pomoću kabinskih svetiljki, koje se postavljaju ispred table i direktno osvetljavaju instrumente. Taj se način danas retko primenjuje, naročito na većim avionima jer je celu tablu teško ravnomerno osvetliti. *Indirektno osvetljenje instrumenata* je znatno bolje i često se upotrebljava. Sijalice su montirane na instrumenetskoj tabli pored instrumenata i bacaju svetlost ukosa na instrumente, dok zasloni ispred njih ne dozvoljavaju prolaz svetlosti u kabinu.

Najsavremenije je osvetljavanje s pomoću *ultraljubičastih zrakova*. Brojčanici instrumenata, natpsi i oznake premazani su slojem naročite materije koja svetli kada na nju padnu ultraljubičasti zrakovi. Ultraljubičasta svetlost dobija se iz specijalne sijalice napunjene argonom. Svetiljka sa tom sijalicom ugrađena je na izvesnom odstojanju od instrumentske table i celu je osvetljava, s tim što se osvetljenost menja po potrebi s pomoću promenljivog redno spojenog otpornika. Pri ovom osvetljenju uklonjeni su vidljivi, a propuštaju se samo ultraljubičasti zrakovi, tako da su izbegnuti neugodni refleksi vidljive svetlosti. Ultraljubičasto osvetljenje instrumenata vrlo je praktično i mnogo se primenjuje.

*Individualno osvetljenje* svakog instrumenta posebno može da se vrši na različite načine, kao npr. pomoću malih električnih sijalica, ugrađenih sa prednje strane svakog instrumenta, koje ili neposredno osvetljavaju brojčanik (ali tako da ne zaslepljuju posmatrača), ili se njihova svetlost vodi kroz naročiti stakleni prsten ugrađen oko brojčanika i tako dobija ravnomerno osvetljenje cele površine brojčanika.

Za istu svrhu služi i tzv. *beta-osvetljenje*. Tricijum, izotop vodonika, koji emituje  $\beta$ -zrakove nalazi se u hermetičko zatvorenoj cevčici koja je s unutrašnje strane presvučena fosforom.



Sl. 32. Skala instrumenata osvetljenja klasičnim (levo) i tzv. beta-osvetljenjem (desno), koje je bilo upotrebljeno na kosmičkim brodovima tipa Apollo pri odlašku astronauta na Mesec

Pod uticajem zračenja fosfor bez ikakvog spoljnog podsticaja svetli, pa se takve cevčice mogu upotrebiti za osvetljavanje instrumenata (sl. 32 desno), natpsi i drugih oznaka na avionima (npr. izlaza, nišana itd.).

Ipak, najčešći način individualnog osvetljenja svakog instrumenta posebno jeste primena specijalnih *svetlećih premaza*, kojima se prevuku brojke, glavni podeoci i kazaljka instrumenta, koji svetle kada ih obasja ultraljubičasta svetlost (sl. 32, levo). Fluorescentni premaz ima svojstva da zrači vidljivu svetlost kada se izloži ultraljubičastoj svetlosti; fosforecentni premaz emituje žućkasti sjaj kada je izložen bilo kojoj vrsti svetlosti, uključujući tu i ultraljubičaste zrakove, a svetleći premaz koji sadrži spojeve radijuma emituje zeleno-žutu svetlost kontinualno, pri čemu se ta emisija pojačava kada se obasja ultraljubičastom svetlošću. U praksi se upotrebljavaju i kombinacije različitih premaza.

**Svetlosna signalizacija** olakšava posadi obavljanje tekućih poslova, daje joj neprekidan uvid u rad često udaljenih mehanizama i uređaja, i obaveštava je o nastupajućim opasnostima. Signalna svetla mogu se podeliti na navigaciona svetla i na svetla za unutrašnju signalizaciju.

*Navigaciona (aeronavigaciona) svetla* dele se na poziciona i antikolizaciona svetla. Navigaciona svetla mora obavezno imati svaka letelica, a njihove su karakteristike (sektori svetljenja, konstrukcija i dr., v. sl. 26) međunarodno propisane.

S pomoću *pozicionih svetala* pokazuje letelica drugim letelicama i aerodromu svoje dimenzije i pravac leta. Poziciona svetla postavljena su: po jedno crveno na prednjem kraju levog krila, po jedno zeleno na prednjem kraju desnog krila i po jedno belo na stražnjem kraju obaju krila (sl. 33) i/ili na krajnjoj tački repa. Za poziciona svetla predviđene su svetiljke specijalne konstrukcije opremljene žaruljama od 20, odnosno 10 W (na jedrilicama 5 W). Sijalice tih svetala, naročito one na krilima, izložene su jakim vibracijama. Za njihovo napajanje primenjuje se napon 28 od V,

a često se radi veće pouzdanosti ugraduju i po dvije sijalice. Jacija svetla može se noću i pri letu bez spoljne vidljivosti pojačati da ne bi došlo do sudara u vazduhu.



Sl. 33. Poziciona svetla ugradena na krajevima krila

Osim pozicionih svetala postoje još i tzv. *antikolizaciona svetla* (donje crveno i gornje narančasto) sa rotirajućim svetlosnim mlažom, koje se upotrebljava radi dopune pozicionih svetala u slučajevima kada postoji mogućnost nailaska drugih aviona, kao i za vezu sa aerodromom prilikom spuštanja.

Osim toga, vojni avioni koji lete u formaciji snabdeveni su sa većim brojem plavo obojenih sijalica raspoređenih po gornjoj površini krila i trupa radi obeležavanja svoga položaja drugim avionima koji se nalaze u formaciji.

*Unutrašnja svetlosna signalizacija* upotrebljava se uglavnom za kontrolu rada pojedinih uredaja na avionu, kao i za unutrašnju vizuelnu signalizaciju između posade. Crvena boja signalnog svetla označava zabranu, odnosno opasnost, pri čemu treba odmah preduzeti odgovarajuće protivmere radi isključivanja opasnosti, zelena boja označava ispravno stanje, odnosno normalan rad, dok bela boja označava neutralno stanje. Signalizacija između posade ostvaruje se naizmeničnim uključivanjem i isključivanjem odgovarajućih boja.

Za kontrolu rada pojedinih uredaja na avionu primenjuju se specijalni vizuelni, a takođe i zvučni signali. Pri tome se signališe

onemogućen pri veoma niskim temperaturama, kao što su npr. satni mehanizmi, zatvarači fotoaparata, bacači bombi, bombarderski nišani, uredaji za sprečavanje zaledivanja pojedinih delova, npr. Pitotove cevi i Venturijeve trube, uredaji za zagrevanje prozorskih stakala i vetrobrana, a takođe i drugih delova aviona koji se mogu zalediti kao npr. krilnih i repnih površina, krakova elise, usisnika za ulaz vazduha u motor, zatim za zagrevanje vazduha koji dolazi u kabinu radi provetranja, za zagrevanje vode, ulja, a takođe i za zagrevanje članova posade, zaledene hrane, kao i mnoge druge svrhe.

**Izvori topote** u uredajima za zagrevanje obično su otpornički grejni elementi koji se zagrevaju pri prolazu električne struje kroz njih. Oni su izrađeni od metalnih žica ili traka, a namotani su na nosače od izolacionih materijala. Za izradu ovih otpornika upotrebljava se pre svega legura gvožđa, hroma i aluminijuma koja ima veliki specifični otpor, a mali temperaturni koeficijent. Ova legura predstavlja čvrsti, ali neelastični materijal koji može da se lomi pri uzastopnom savijanju. Zato se u slučajevima, kada grejni elementi treba da budu elastični i savitljivi, kao npr. u zagrevanom odelu, umesto ove legure primenjuju specijalni gipki provodnici. Sem pomenute legure za grejne elemente nekad se upotrebljavaju i druge legure, kao npr. konstantan, manganit i dr. (v. *Elektrotehnički materijali*, str. 68).

Grejni se elementi ili dograduju uz različite električne uredaje i čine sa njima jednu celinu, ili se u posebnim slučajevima ugraduju direktno u objekat koji se zagreva i namotavaju na bilo koji njegov metalni deo pri čemu se oblažu liskunom ili azbestom.

U poslednje vreme počeli su se primenjivati grejni elementi izvedeni u vidu sloja elektroprovodne boje, premaza ili nekog drugog elektroprovodnog sloja koji se nanosi na osnovni sloj od izolacionog materijala.

*Ugradivanju* grejnih elemenata treba posvetiti posebnu pažnju. Tako, npr., grejni elementi za zagrevanje kabinskih prozora treba da budu ugrađeni između slojeva vetrobranskog stakla tako da se njihovim prisustvom ne pogoršava vidljivost kroz njega, ili pak uredaji za odleđivanje krila, repnih površina itd., ne treba da kvare njihove aerodinamičke karakteristike. Isto tako, upotreba grejnih elemenata za grejanje kombinezona, rukavica itd. ne smeju da sruše njihovu elastičnost i gipkost. Za zagrevanje odela grejni elementi se ušivaju u njegovu postavu i uključuju u električnu mrežu. Nekad se za zagrevanje odeće upotrebljavalo tzv. elektroplatno, tj. platno u koje su utkani električni provodnici. Ono je sastavljeno iz pojedinih sekacija, koje se mogu povezati između sebe redno ili paralelno.

Često grejni elementi ne zagrevaju ceo objekat, već samo jedan njegov deo koji je najviše izložen zaledivanju, kao npr. samo prednji deo Pitotove cevi ili suženi deo Venturijeve trube, pri čemu se zagревa samo unutrašnji deo trube, dok su toplotni gubici na spoljnoj strani eliminisani. Da ne bi jednovremeno priključeni grejači suviše opteretili električnu mrežu, oni se ponekad uključuju uzastopno, po grupama.

### Elektromotorni pogoni i elektromehanizmi

Najveći deo električne energije pretvara se na avionima u mehaničku energiju koja služi za pokretanje različitih mašina i mehanizama. U mnogim od tih pogona predviđeno je automatsko, a ponekad i programirano upravljanje. Takav elektromotorni kompleks sastoji se od uredaja, a ponekad i od složenih sistema, kojima se električna energija pretvara u mehaničku energiju (elektromotori, elektromagneti i sl.), nadalje od uredaja za prenos mehaničke energije na izvršni mehanizam, eventualno uz pretvaranje brzine obrtanja (npr. reduktorom), kao i od uredaja za obično, automatsko ili programirano upravljanje kojima se obezbeđuje određeno kretanje, promena položaja i sl. Celi taj kompleks vezan je sa radnim mehanizmom konstruktivno i parametarski.

**Elektromotori** predstavljaju jedan od glavnih potrošača električne energije na avionu. Oni se napajaju iz avionske elek-

npr. niski pritisak goriva, niski pritisak ulja za podmazivanje, niski pritisak hidro-ulja, niski pritisak vazduha u kabini, položaj zakrilaca, položaj stajnih organa, povišenje temperature, pojавa požara i dr. Signalna svetla za pokazivanja položaja ili uslova rada pojedinih avionskih mehanizama i sistema treba da budu jasno vidljiva pri jakoj dnevnoj svetlosti, s tim da noću ne budu prejaka (sl. 34). Sklop signalnih svetiljki sastoji se obično iz jednog prozirnog sloja, ispod koga se nalazi posebno obojena površina. Njezina se boja neće pokazati sve dok se signalno svetlo ne upali i na taj se način eliminiše neizvesnost da li je signalno svetlo upaljeno ili nije. Često se na prozirni štitnik signalnih svetiljki (panela) stavljaju označke, simboli, slova ili natpisi kako bi se znalo šta one pokazuju.

### Električno grejanje

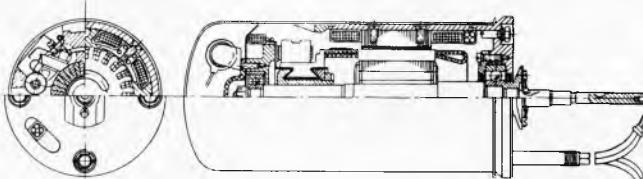
Električni uredaji za grejanje primenjuju se na avionima za zagrevanje mehanizama i instrumenata kojima rad može biti



Sl. 34. Unutrašnja i spoljna signalna svetla za slučaj opasnosti i hitnog evakuiranja

trične mreže i služe za dobijanje mehaničke snage za pogon različitih vrsti mehanizama, uredaja itd. (V. *Elektromotorni pogoni*, TE 4, str. 417.)

Na velikim savremenim avionima ima više stotina elektromotora različitih vrsti i karakteristika. Oni služe npr. za puštanje u rad avionskih motora, za promenu koraka elise, za pomoćne pumpe za gorivo (tzv. »buster-pumpe«, sl. 35), za pumpe za ulje, za hidraulične pumpe, za pojedine uredaje protiv zaledivanja, za



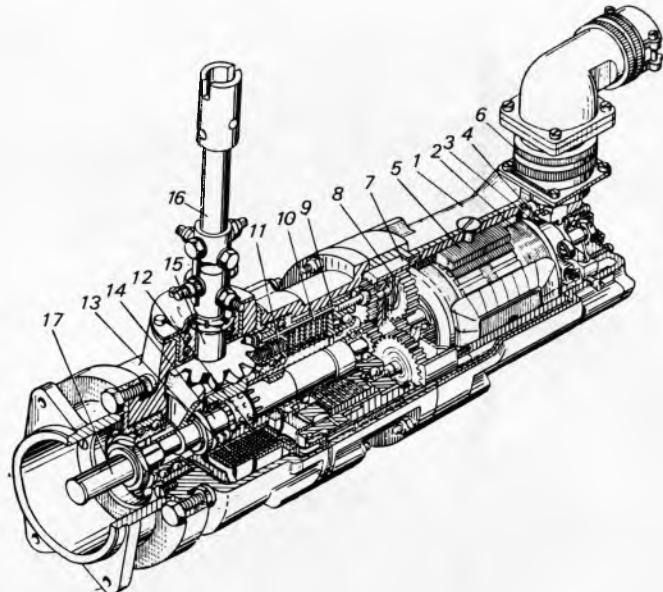
Sl. 35. Elektromotor jednosmerne struje upotrebljen za pogon pumpe centrifugalnog tipa za gorivo, koji treba montirati zajedno sa pumpom na dno rezervoara za gorivo i hladiti s pomoću goriva. Centrifugalna krilna pumpa pričvršćuje se neposredno na kraj vratila, a spaja se s pomoću prirubnice

pokretanje ventilatora za topli vazduh i regulisanje pritiska u kabini, za pokretanje kapotaža motora, uvlačenje i izvlačenje reflektora za sletanje, uvlačenje i izvlačenje stajnih organa (sl. 36), pokretanje zakrilaca (sl. 37), pokretanje trimera, za posluživanje naoružanja, pokretanje vitla pri utovaru bombi u avion, otvaranje vrata za bombe i odbacivanje bombi, pokretanje turele za avionske topove, za uvlačenje okvirnih antena radio-kompasa, za obrtanje žiroskopa (sl. 38), za pojedine avionske instrumente i za mnoge druge svrhe.

Najsnažniji elektromotori primenjuju se za puštanje avionskih motora u rad (starteri), kao i za uvlačenje i izvlačenje stajnih organa. Za puštanje avionskih motora u rad često se koriste starter-generatori koji pri puštanju u rad rade kao elektromotori, a zatim kao električni generatori. Manji elektromotori, međutim, upotrebljavaju se uglavnom za kontrolne mehanizme, kao i za mehanizme na avionskim instrumentima.

Avionski elektromotori mogu se podeliti po vrsti struje na motore jednosmerne struje, motore naizmenične struje i na takozvane univerzalne motore za rad i sa jednosmernom i sa naizmeničnom strujom. Zatim po načinu pobudivanja oni se mogu svrstati na elektromotore sa rednim, otočnim (porednim) i složenim pobudovanjem. Oni se takođe razlikuju po snazi, tako da postoje mikromotori  $\leq 1$  W, zatim motori malih snaga do 20 W, motori srednjih snaga 20...1000 W i motori velikih snaga veći od 1000 W.

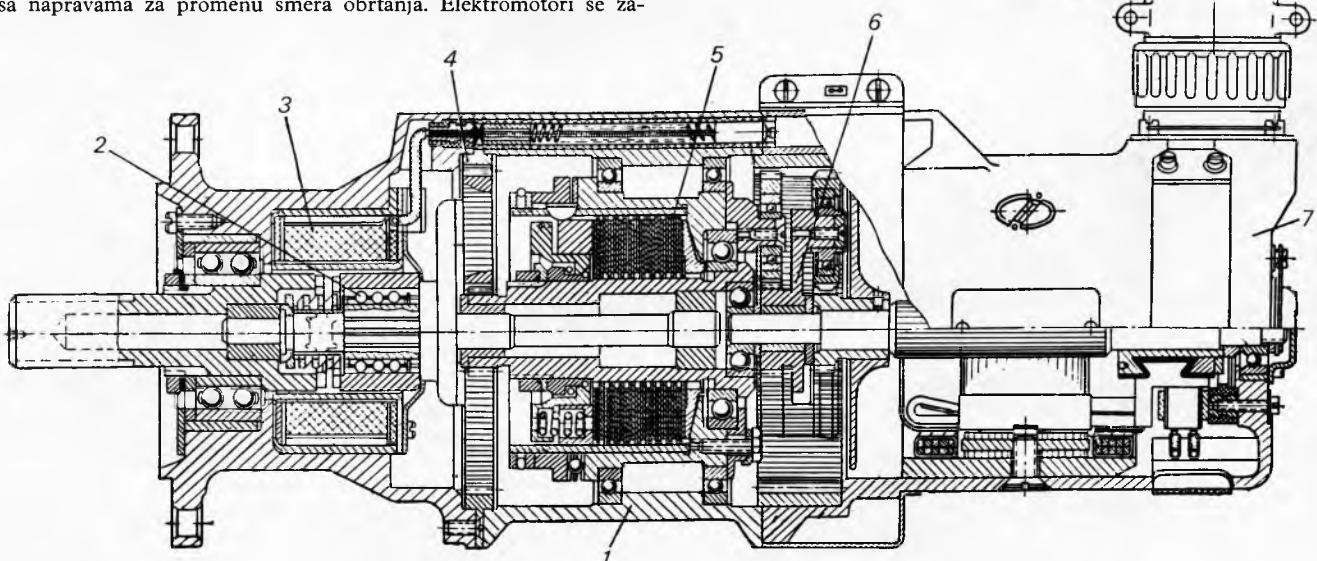
Osim toga, elektromotori se mogu podeliti po mehaničkim karakteristikama, a takođe i po brzinskim karakteristikama kao npr. višebrzinski motori i dr. Mnogi uredaji imaju elektromotore sa napravama za promenu smera obrtanja. Elektromotori se za-



Sl. 37. Elektromehanizam jednosmerne struje za pogon zakrilaca. 1 Elektromotor, 2 rotor, 3 kolektor, 4 ugljene četkice, 5 pol, 6 priključak, 7 reduktor, 8 planetarni zupčanici, 9 friciona spojnica, 10 fricioni diskovi, 11 opruga, 12 elektromagnetska spojnica, 13 namotaj, 14 klizač, 15 dopunski reduktor, 16 osovina rezervnog sistema, 17 vratilo

tim mogu podeliti po principu dejstva, a takođe i po konstruktivnom izvođenju, kao što su npr. motori sa unutrašnjim rotorom i motori sa spoljašnjim rotorom (za pogon žiroskopa). Osim toga, postoje elektromotori otvorene i elektromotori zatvorene izrade i različitih stepena zaštite npr. od eksplozivnih para, a u odnosu na sistem hlađenja postoje elektromotori sa prirodnom i sa sopstvenom ventilacijom itd.

Isto tako, po sistemu rada avionski elektromotori mogu se podeliti na elektromotore koji stalno rade i elektromotore koji rade samo povremeno. Većina avionskih mehanizama ima kratko-trajno dejstvo, pri čemu se veliki njihov broj uvrštava u sledeće režime rada: 20 sekundi rada sa jednim minutom prekida, ili jedan minut rada sa 10 minuta prekida, kao i 10 minuta rada sa

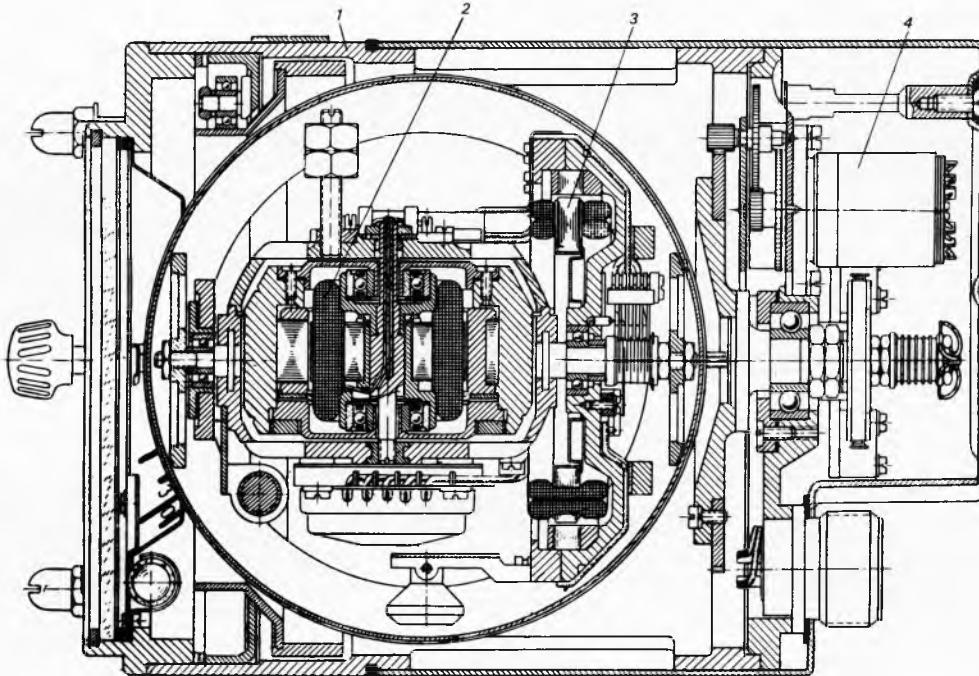


Sl. 36. Elektromehanizam za uvlačenje i izvlačenje glavnih stajnih organa na teškim avionima. 1 Telo reduktora, 2 aksijalno ležište, 3 elektromagnetska spojnica, 4 zupčanik, 5 friciona spojnica, 6 reduktor, 7 elektromotor, 8 utikač i utičnica za priključak provodnika

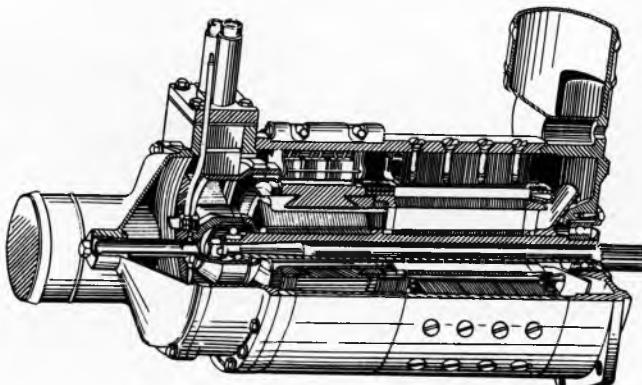
10 minuta prekida. Takvi elektromotori koji su predviđeni za kratkovremeni rad, ili za rad sa prekidima u toku relativno kratkog vremena, imaju manje dimenzije i težine.

U avijaciji se upotrebljavaju brzohodni elektromotori, tj. elektromotori sa velikim brzinama obrtanja jer imaju manje dimenzije i težinu za određenu snagu. Srednja vrednost brzine obrtanja

S obzirom na tako velike brzine obrtanja primenjuju se uz elektromotore reduktori koji imaju velike prenosne odnose i do 5 000 : 1, pa i veće, zbog toga što reduktori obezbeđuju sa jedne strane smanjenje brzine obrtanja izvršnog mehanizma na svega nekoliko obrtaja u minuti, a sa druge strane povećavaju obrtni moment približno isto toliko puta.



Sl. 38. Žiroskopski veštački horizont sa električnim pogonom. 1 Telo veštačkog horizonta, 2 elektromotor žiroskopa, 3 elektromotor za ispravljanje žiroskopa, 4 indukcijski motor

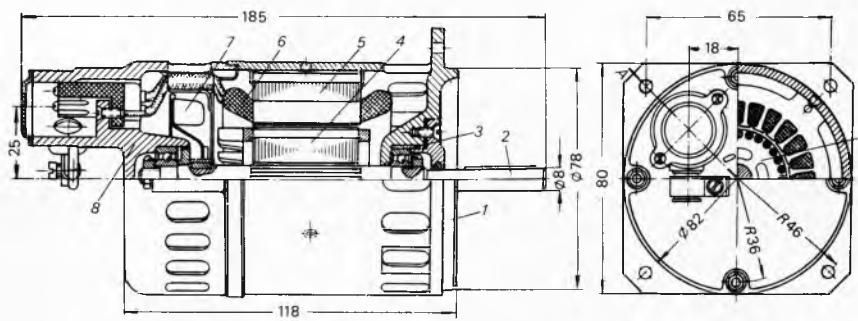


Sl. 39. Elektromotor jednosmerne struje

Elektromotori jednosmerne struje (sl. 39) izraduju se za snage od dela vata i nekoliko vata, pa sve do 30 kW i više, dok su im nazivne brzine obrtanja od 2 000 pa čak do 24 000  $\text{min}^{-1}$ . Specifična težina elektromotora iznosi 50...100 W/kp za elektromotore malih snaga, odnosno 700...1500 W/kp za elektromotore velikih snaga.

U današnje vreme u oblasti elektroopreme aviona zapaža se tendencija ka povećanju broja elektromotora naizmenične struje, kao i njihove srednje snage, a takođe i električnih mašina specijalne namene. Elektromotori naizmenične struje po broju faza dele se na trofazne, dvofazne i jednofazne, a po tipu na sinhrone, asinhronne, histerezne i kolektorske.

Veliki nedostatak primene naizmenične struje, međutim, saстоji se u tome što elektromotori naizmenične struje imaju lošije energetske karakteristike pri regulisanju (složenost regulisanja brzine) i lošije mehaničke karakteristike od elektromotora jedno-



Sl. 40. Avionski indukcijski motor (snage ispod 3 kW). 1 Telo, 2 vratilo, 3 čaura ležaja, 4 rotor, 5 stator, 6 namotaji statora, 7 ventilator i 8 zaštitnik

avionskih elektromotora iznosi: 5 000...6 000  $\text{min}^{-1}$ , a nekad dostiže i više od 20 000  $\text{min}^{-1}$ . U takvim elektromotorima za kratkotrajni rad dozvoljene su znatno veće struje za izabrane preseke provodnika.

smerne struje. Veoma nepoželjan faktor u sistemu naizmenične struje jeste sačinilac snage ( $\cos \varphi$ ). Ipak, elektromotori naizmenične struje (sl. 40) imaju izvesna preimuceštva kao što su npr. mala specifična težina i dimenzije, zatim jednostavnost i sigurnost

konstrukcije, lakoća pretvaranja energije, velika brzina, povoljni uslovi hlađenja i veća visina na kojoj se mogu iskoristiti, što je uslovilo prelaz na sistem napajanja naizmeničnom strujom viših učestanosti.

U današnje vreme usvojena je u avijaciji učestanost  $f = 400$  Hz, pri kojoj se obezbeđuju najbolje težinske i energetske karakteristike celog električnog sistema. Zbog toga će dimenzije i energetski pokazatelji elektromotora biti najbolji pri brzini obrtanja  $n = 24\ 000 \text{ min}^{-1}$  što se može postići sa dvopolnim motorima, tj. sa 1 parom polova (v. str. 20). Isto tako, s obzirom na stvarne brzine obrtanja mehanizama kao i na teškoće u vezi dobijanja sigurnih ležišta i postojanog podmazivanja, izrađuju se takođe i četvoropolni, šestopolni i osmopolni elektromotori sa sinhronim brzinama 12 000, 8 000 i 6 000  $\text{min}^{-1}$ .

U više slučajeva, međutim, primenjuje se u poslednje vreme naizmenična struja sa učestanoscu od 800...1200 Hz pa čak i 1600 Hz i više. Primena naizmenične struje više učestanosti objašnjava se time što se u tom slučaju smanjuju dimenzije i težina elektromotora, pojednostavljuje konstrukciju, a time povećava tačnost i sigurnost. Prema izvesnim podacima izrađuju se serije elektromotora snage do 10 kVA sa 400...10 000 Hz sa brzinom obrtanja 50 000  $\text{min}^{-1}$  i specifičnom težinom 0,5 kp/kW za elektromotor od 3 kW.

#### ZAŠTITA OD STATIČKOG ELEKTRICITETA

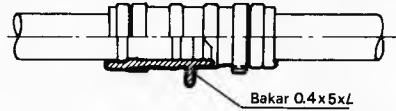
Zbog trenja između trupa aviona i vazduha kao i zbog influencije dolazi u toku leta do skupljanja elektriciteta na pojedinim delovima aviona. U vezi s time mogu se na pojedinim mestima aviona pojaviti vrlo visoki i međusobno različiti potencijali. Pri izjednačenju i prelazu električnih naboja dolazi između pojedinih metalnih delova do iskrenja što izaziva različite smetnje (npr. radio-smetnje), a može imati i štetne posledice (npr. probor izolacije provodnika, izazivanje požara). Nadalje, može pri prolazu aviona kroz olujne oblake doći i do atmosferskih pražnjenja i do izravnog udara groma u avion. Radi zaštite od svih tih pojava preduzima se niz mera koje idu za tim, da se potencijal svih delova na avionu međusobno izjednači njihovim kvalitetnim galvanskim spajanjem, da se količina elektriciteta koja se u toku leta skuplja na metalnim delovima aviona korištenjem delovanja šiljaka stalno lagano odvodi u vazduh, a pri sletanju na sletnu stazu preko nekog odvodnika, i time izbegnu nagla pražnjenja koja mogu dovesti i do udesa. Nadalje, da se zakriljavanjem unutrašnjosti aviona metalnom mrežom, tzv. *metalizacijom aviona*, nastoji na principu Faradeyeve kaveza smanjiti delovanje statičkog elektriciteta i udara groma i time obezbediti posadu i opremu aviona. Ta metalizaciona zaštitna mreža služi ujedno i kao protivteg antenama radio-uredaja. Ona mora biti dimenzionisana tako da izdrži trenutno struje velike jačine koje se pojavljaju pri udaru groma (v. *Elektricitet, statički*, TE 3, str. 580).

*Metalizaciona mreža* aviona sastoji se od primarnog kola (glavne zaštitne mreže) i od sekundarnog kola (sporednih veza). Na nju su priključeni odvodnici statičkog elektriciteta. Kod potpuno metalnih aviona služi oplata trupa i krila kao glavna zaštitna mreža. Pokretni delovi treba da budu galvanski spojeni s masom aviona, budući da njihovi ležajevi i zglobovi zbog malih dodirnih površina i prisustva sredstva za podmazivanje ne obezbeđuju siguran kontakt. Na avionima koji nisu potpuno metalni treba da mreža da je što gušća i da se montira što bliže spoljnim površinama aviona. Ona se sastoji od glavnih zaštitnih vodova koji su postavljeni na međusobnom odstojanju od  $\sim 1,5$  m i idu paralelno većoj dimenziji dela aviona (krila, trupa) koji se metalizira i od sporednih veza koje vezuju glavne vodove između sebe na svaki metar rastojanja, ali na manje-više nepravilan način kako bi se izbeglo stvaranje oscilirajućih struja.

Glavni vodovi treba da idu pravo, a ukoliko skreću s pravca treba da imaju veći poluprečnik krivine kako im se ne bi povećao prividni otpor za struje visoke učestanosti. Presek glavnih vodova treba da je najmanje  $40 \text{ mm}^2$  po jednom vodu. Da bi se izbegla mogućnost požara (npr. kada se vodovi zagreju usled prolaza struja prilikom udara groma) glavne vodove ne treba vezati za drvene ili za lako zapaljive delove.

Sekundarno kolo (sporedne veze) predviđeno je i za spajanje na masu svih metalnih delova aviona, od motora pa do prenosnih

koturića. Važniji metalni delovi treba da imaju što više spojeva sa masom. Sve metalne cevi i instalacije treba da budu povezane za masu s pomoću metalnih ogrlica na jednakom rastojanju ne većem od 0,5 m. Za cevi koje sprovode zapaljive tečnosti ova veza treba da je naročito brižljivo izvedena (sl. 41). Pokretni delovi

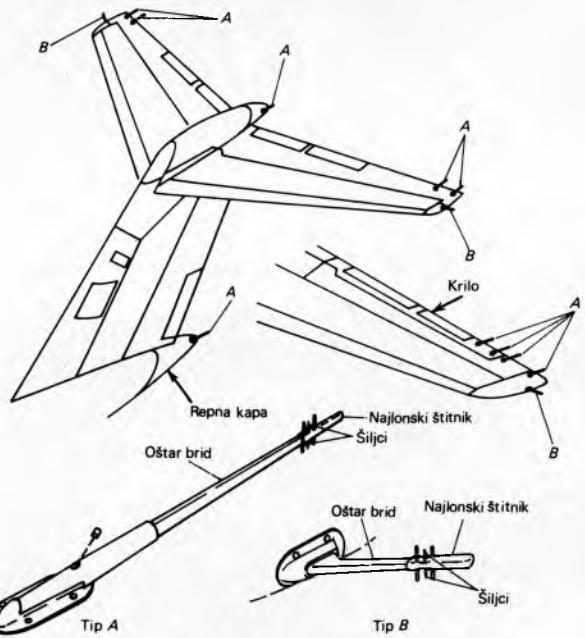


Sl. 41. Metalizacija cevi jednog avionskog sistema s pomoću bakarne trake za metalizaciju

treba da budu povezani za masu preko gipkih širokih i dobro vodljivih spojnih traka, kako bi se izbeglo iskrenje i stvaranje radio-smetnji. Te veze ne smeju ograničavati kretanje pokretnih delova.

Na avionima na kojima postoji glavna zaštitna mreža sa sporednim vezama otpor između ma koja dva metalna elementa strukture aviona ne sme da bude veći od  $0,05 \Omega$ . Da bi se elektronički uredaji (npr. radio-uredaji) koji su priključeni na antene zaštitili od atmosferskih izbjivanja, umeću se između strukturalnih, fiksnih i visećih antena i mase (zaštitne mreže) gromobranska iskrštači i plinski odvodnici.

*Odvodnici statičkog elektriciteta* omogućuju lagano pražnjenje aviona u letu i na zemlji, kako bi se izbeglo naglo izbjivanje koje bi moglo dovesti do požara. Ukoliko već ne postoje na krajevima aviona metalni delovi oštra ili šiljasta oblika, postavljaju se radi lakšeg pražnjenja na krajevima krila (v. sl. 33) i/ili na repu metalne resice ili posebni metalni delovi dužine  $\sim 10$  cm opremljeni metalnim šiljcima i oštrim bridom (sl. 42). Da bi se pri prizemljavanju



Sl. 42. Odvodnici statičkog elektriciteta na avionu DC-9

aviona izvelo pražnjenje statičkog elektriciteta, ugraduje se bilo na repnom ili nosnom točku, bilo na donjem delu trupa ili na tunelu hladnjaka za vodu, lančić, provodljivo uže ili traka koja se vuče po zemlji. U izvesnim slučajevima ovo pražnjenje se može sprovesti i preko guma repnog točka, koje imaju dodatak grafita te služe kao sprovodnik elektriciteta, kao što je slučaj npr. na avionu »Mosquito«. Ove su mere naročito važne kod aviona za transport tekućih goriva.

LIT.: R. Matson, Aircraft electrical engineering, New York 1943. — R. Živković, Tehnika vazduhoplovstva, Beograd 1951. — B. Ranković, Avionski instrumenti, Beograd 1960. — B. C. Kulabakin, B. T. Morozovskij, I. M. Sindeev, Proizvodstvo, preobrazovanie i raspredelenie elektricheskoy energii na samoletakh, Moskva 1956. — D. E. Bruskin, Elektrooborudovanie samolëtov, Moskva, 1956. — J. Cooley, J. Due, Equipment

électrique de bord, Paris 1958. — F. G. Spreadbury, Electricity in aircraft, London 1958. — S. Popović, Oprema aviona, Beograd 1960. — G. Wakefield, Aircraft electrical engineering, New York 1956. — A. Weinmann, Flugzeug-Elektrotechnik, München 1961. — A. И. Бертиков, Электрические машины авиационной автоматики, Москва 1961. — К. Н. Борисов, Основы авиационного электропривода, Москва 1962. — Д. Н. Сапиро, Авиационные электрические аппараты и механизмы, Москва 1962. — С. П. Колесов, Элементы авиационных автоматических устройств, Москва 1963.

N. Marcikić

**ELEKTROPRIVREDA I ELEKTROINDUSTRIJA.** Elektroprivreda je grana energetske privrede (v. *Energetika*) koja se bavi proizvodnjom, prenosom i distribucijom električne energije, te koordinacijom njezine potrošnje, a izrazom »elektro-industrija« obuhvaćaju se industrijska preduzeća koja proizvode mašine, naprave i uredaje potrebne za proizvodnju, prenos, distribuciju i potrošnju električne energije.

### ELEKTROPRIVREDA

Rad elektroprivrede na području određenog elektroenergetskog sistema (v. *Elektroenergetski sistem*) obuhvaća iznalaženje, ispitivanje i proučavanje potencijalnih izvora energije prikladnih za proizvodnju električne energije; izgradnju elektrana svih vrsta; izgradnju električnih dalekovoda svih napona, te transformatorskih i razvodnih stanica; izgradnju distribucijske mreže i njenih napojnih transformatorskih stanica; nadalje: pogon i održavanje svih postrojenja od elektrane do potrošača, raspodelu opterećenja unutar elektroenergetskog sistema prema tehničkim i ekonomskim kriterijima (dispečersku službu), prodaju električne energije potrošačima.

O proizvodnji električne energije u elektranama v. članak *Elektrane* (TE 3, str. 547). O povezivanju elektrana i njihovih opskrbnih područja u elektroenergetski sistem i o delovanju unutar tog sistema radi ekonomične proizvodnje dovoljne količine električne energije traženog kvaliteta i optimalne raspodele opterećenja među elektranama v. članak *Elektroenergetski sistem*. O prenosu električne energije v. članke *Dalekovodi*, *Električne mreže* (glava Mreže za prenos) i *Prenos električne energije*. O raspodeli električne energije v. članak *Električne mreže* (glava Mreže za distribuciju).

### Organizacija elektroprivrede

Elektroprivreda nije u svim zemljama jednako organizovana i njezina se organizacija u različitim zemljama i različito razvijala, zavisno od privrednih i historijskih uslova. U nekim zemljama proizvodnjom, prenosom i distribucijom električne energije bave se samostalna preduzeća, najčešće akcionarska društva. Interes javnosti zaštićen je time što su opštine, gradovi, pokrajine (kantoni), država itd. i akcionari ili vlasnici (samili ili pored privatnika) tih preduzeća, i/ili time što je rad preduzeća vezan uz koncesiju koja ih obavezuje da na svoju mrežu priključe svakog potrošača koji za to ispunjava odredene uslove. Tako u Švedskoj postoji jedno državno preduzeće, koje učestvuje sa ~50% u ukupnoj proizvodnji električne energije i ima dispečerski centar za celu zemlju, i 23 komunalna i privatna preduzeća. U Švajcarskoj takođe postoji veći broj elektroprivrednih preduzeća u vlasništvu komuna, kantona, federacije, privatnih i mešovitih društava; u nacionalnim okvirima obezbeđeno je slobodno energetsko tržište, a zajedničko je svim preduzećima planiranje i dispečerska služba. U SR Nemačkoj postoji ~170 po veličini vrlo različitih elektroprivrednih preduzeća; vlada nastoji da u upravnim telima elektroprivrednih koncerna javne uprave imaju većinu. U nekim nemačkim gradovima elektroprivredna su preduzeća mešovita komunalna društva koja se osim proizvodnjom i raspodelom električne energije bave i snabdevanjem grada plinom, topotom i vodom. Elektroprivredna preduzeća oformila su svoje udruženje (»Deutsche Verbundgesellschaft«) sa sedištem u Heidelbergu, koje ima zadatku da koordinira rad elektroprivrede u zemlji i održava veze s inostranstvom. Kao i u drugim zemljama, u Nemačkoj postoje pored »javnih« elektrana i industrijske elektrane koje proizvode električnu energiju za potrebe određene industrije i nemaju nikakvih obaveza prema javnosti. (U takvim elektranama proizvodi se u svetu ~30% ukupne električne energije.) Ti su »industrijski« proizvodači električne energije učlanjeni

u svoje udruženje (»Vereinigung Industrieller Kraftwerke« — VIK), koje koordinira njegov rad i šiti njihove interese.

U nekim drugim kapitalističkim zemljama elektroprivreda je nacionalizovana i njome se upravlja iz jednog centra. Tako je u Francuskoj od velikog broja različitih preduzeća stvorena jedinstvena državna organizacija »Électricité de France« (EdF), koja ima široku autonomnost u poslovanju i odlikuje se modernim osnovnim sredstvima (velikim hidroelektranama i termoelektranama, nuklearnim elektranama), racionalnim poslovanjem i odlično organizovanim naučno-istraživačkim radom. Elektroprivredom Francuske upravlja Administrativni savet EdF preko direkcija: za studije i istraživanja, za proizvodnju i prenos, za distribuciju, za investicionu izgradnju i opremu, za finansijske poslove i za personalne poslove. U operativnom pogledu jedinstvenim elektroenergetskim sistemom upravlja pet dispečerskih centara, čiji rad koordinira nacionalni dispečerski centar. Odgovornost u dispečerstvu je decentralizovana; nacionalna dispečerska služba obezbeđuje regulaciju frekvencije, rukovodi razmennom električne energije i brine se za to da proizvodnja energije u nacionalnom okviru bude ekonomski optimalna. U Italiji je 1962 elektroprivreda nacionalizovana i formirana je Nacionalna agencija za električnu energiju (Ente nazionale elettricità — ENEL), kojoj su podredena ranija preduzeća (nih 1074, od kojih je 931 bilo privatno). Agencija upravlja proizvodnjom, prenosom, distribucijom, prodajom, uvozom i izvozom električne energije preko osam direkcija. Nadzor nad njezinim radom obavlja Ministarstvo industrije i trgovine. ENEL obuhvaća ~70% ukupne italijanske proizvodnje električne energije; ostatak čine industrijska i posebna komunalna preduzeća. U organizacionom pogledu Italija je podeljena na osam elektroprivrednih regiona, regioni na području, a područja na zone. Naučno-istraživačka i dispečerska služba osnovane su na modernim koncepcijama. Elektroprivreda Engleske i Walesa nacionalizovana je 1947. Savet elektroprivrede zadužen je za funkcionisanje elektroenergetskog sistema; on nosi odgovornost za finansiranje i planiranje investicija, predlaže tarife, prognozira potrošnju itd. Savet ima tri komiteta: za odnose u elektroprivredi, za komercijalne poslove i za istraživački rad. Centralna uprava za proizvodnju i prenos električne energije eksploratiše elektrane i prenosnu mrežu i odgovorna je za planiranje i izgradnju proizvodnih i prenosnih kapaciteta. Pored dvanaest regionalnih uprava za distribuciju električne energije postoje četiri grupe za projektovanje i izgradnju. Elektroenergetskim sistemom upravlja nacionalni dispečerski centar u Londonu i osam područnih dispečerskih centara. Prenosna mreža podeljena je na distrikte. Područne uprave za distribuciju odgovorne su za distribucijsku mrežu i vrše maloprodaju struže potrošačima. U Austriji je takođe 1947 elektroprivreda nacionalizovana i organizovano devet zemaljskih elektroprivrednih preduzeća koja imaju zadatku da snabdevaju električnom energijom svoja područja i vrše razmenu sa susedima. Ta su preduzeća akcionarska društva čije su akcije u celini u rukama zemaljskih vlasti. Šest posebnih preduzeća bavi se izgradnjom i eksploracijom većih elektrana i mreža kojima kapacitet prelazi potrebe pojedinih zemalja. Pored toga postoje i dva slična međunarodna preduzeća na Dunavu. U Grčkoj jedna elektroenergetska korporacija ima isključivo pravo da proizvodi, prenosi i distribuiše električnu energiju za javne potrebe i prodaju. Ta je korporacija u administrativnom i finansijskom pogledu autonomna, a radi pod kontrolom Ministarstva industrije. Zemlja je radi distribucije električne energije podeljena u pet zona. Javna elektroprivredna korporacija vodi jedinstveni elektroenergetski sistem i nadležna je za razmenu električne energije s inostranstvom.

U Madžarskoj, Rumuniji i Bugarskoj za pitanja elektroprivrede nadležna su ministarstva: u Madžarskoj Ministarstvo teške industrije, u Rumuniji Ministarstvo električne energije, a u Bugarskoj Ministarstvo za goriva i energetiku. U Madžarskoj centralna organizacija »Trust« upravlja preduzećima za proizvodnju i prenos električne energije; distribucijom se bave regionalna preduzeća. U Rumuniji su za organizovanje i upravljanje poslovanjem elektroprivrednih preduzeća odgovorne stručne službe ministarstva, a za planiranje i izgradnju elektroenergetskih postrojenja u jedinstvenom elektroenergetskom sistemu ima u Mi-