

3.3. IZVRŠNI ELEMENTI

Izvršni ili servo elementi su elementi regulacijskog kruga koji služe za dovođenje postavnog člana (npr. ventila) u željeni položaj. Moraju imati dovoljnu snagu za pokretanje postavnog člana, brzinu i točnost. Neposredno djeluju na objekt regulacije. Na osnovi signala koji dobije od regulacijskog člana, izvršni član djeluje na ulaz staze, djelujući na tok energije ili materije. Mogu biti strojarški (mehanički, pneumatski ili hidraulički) elektrotehnički (električni servomotori, elektromagneti, pojačalo snage (tiristor)- npr. za regulaciju svjetla) i kombinirani.

Izvršni član se sastoji od **postavnog pogona**, što je obično neki motor (zovemo ga servomotor), i od **postavnog člana**, što je obično neki ventil. Postavni pogon i postavni član izvedeni su često kao jedan sklop. Postavni član može biti izveden i kao dio regulacijskog objekta.

3.3.1. Postavni pogon

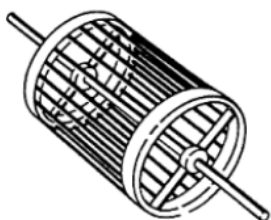
Postavni pogon može raditi kontinuirano ili nekontinuirano, tj. samo s dva izlazna položaja (otvoren ili zatvoren). Važni kontinuirani postavni pogoni su pneumatski membranski i klipni motori, hidraulički klipni motori i istosmjerni elektromotor, te izmjenični Ferrarisov motor. Od nekontinuiranih postavnih pogona najzanimljiviji su postavni magneti.

3.3.2. Postavni član

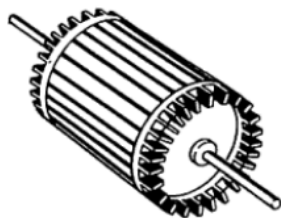
U većini slučajeva postavni je član ventil koji upravlja tokom energije ili materije. Mehanički ventili upravljaju protokom ulja, vode, zraka, itd., a „električni ventili“ upravljaju tokom električne struje. Uz ventile, postoje i prigušnice, zasuni itd. Npr. kormilom se podešava smjer gibanja broda ili aviona.

3.3.3. Električni postavni pogon. Elektromotori mogu biti pojačala ili postavni pogoni. Zbog mase armature i induktivnosti namota su tromi, tj. imaju rel. veliku masu po jedinici snage. Elektromotori ne dolaze u obzir u letjelicama gdje je važna težina uređaja. Elektromotorima treba smanjiti broj okreta 30 do 3 000 puta, što se zupčanim prijenosom postiže bez labavosti (oscilacija) samo za male snage motora - do 100 W i za postavne sile do 1kN.

Električni servomotori trebaju imati što brži odziv (rotore malog momenta inercije) i što linearniju statičku karakteristiku. Ima raznih vrsta električnih servomotora:



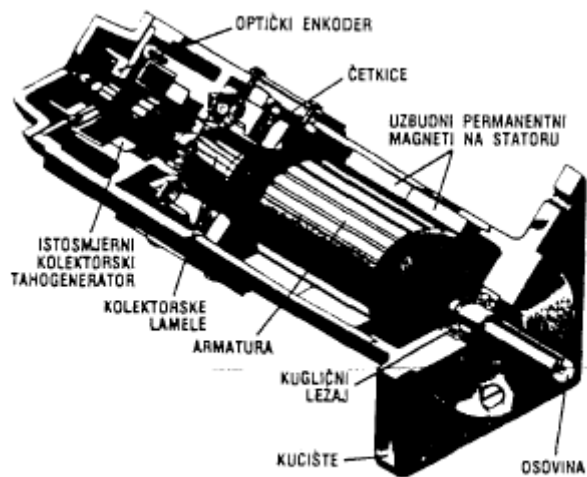
1. izmjenični,
2. istosmjerni,
3. ostali.



Izmjenični servomotori mogu biti **asinkroni** i **sinkroni**. Kod sinkronih rotor se vrti sinkrono s rotacijskim magnetskim poljem, a kod asinkronih rotor kasni. Mjera za to zaostajanje je klizanje. Izmjenični servomotori donedavno nisu imali širu primjenu u automatici zbog teškoća s podešavanjem brzine vrtnje. **Kavezni asinkroni** elektromotor je jeftin, trajan, pouzdan i nema četkice, manji je i lakši od drugih vrsta elektromotora. Nedostatak mu je složenost regulacije brzine vrtnje. Asinkroni (indukcijski) servomotori primjenjuju se za veće snage, iznad nekoliko kW.

Najviše se primjenjuju kod nereguliranih elektromotornih pogona, a sve više i za regulirani pogon. Ovo je omogućeno razvojem informacijske i energetske elektronike, odn. pojavom tiristorskih upravljačkih sklopova kojima se mijenja frekvencija i amplituda napona izmjenične struje.

Od raznih tipova elektromotora u tehnici regulacije su se najviše upotrebljavali istosmjerni motori, jer se kod njih može lako upravljati brojem okreta. Oni mogu biti upravljani ili strujom armature uz konstantnu struju magnetiziranja statorskih magneta, ili obratno.



sl. 5.4. Izgled istosmjernog servomotora s permanentnomagnetskom uzbuđom, tahogeneratorom i optičkim enkoderom

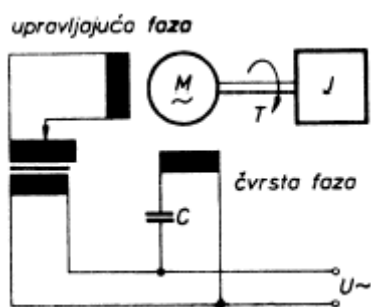
Istosmjerni kolektorski servomotori bili su najzastupljeniji u automatici sve do osamdesetih godina 20. stoljeća. Prednost im je jednostavna izvedba regulacije brzine vrtnje. Brzina vrtnje im je linearno ovisna o priključenom naponu. Zadnjih godina **nestaju iz uporabe**.

Prvi elektromotor koji je napravio Michael Faraday 1831. bio je istosmjerni. Uvođenjem izmjenične mreže naglo gube ulogu. Od tridesetih godina 20. st. opet se povećava njihova zastupljenost zbog jednostavne regulacije brzine vrtnje. Razvoj

elektronike u osamdesetima 20. stoljeća konačno ih prevladava.

Dobra svojstva istosmjernih servomotora su linearna mehanička karakteristika, veliki potezni moment (moment kratkog spoja) i jednostavna regulacija brzine vrtnje.

Nedostaci: Za istu snagu i zakretni moment imaju veću masu i veličinu u odnosu na druge vrste elektromotora. Veća je i potrošnja energije, kao i cijena. Najveći nedostatak im je mehanička komutacija. Kolektorske lamele i četkice se troše pa ih treba održavati. Nastaje iskrenje koje nije dopušteno u mnogim pogonima. Mehanička komutacija ograničava snagu i brzinu vrtnje. Uzbuda im može biti elektromagnetska ili permanentnomagnetska. Kod servomotora redovito se primjenjuju permanentni magneti.



sl. dvofazni asinkroni motor

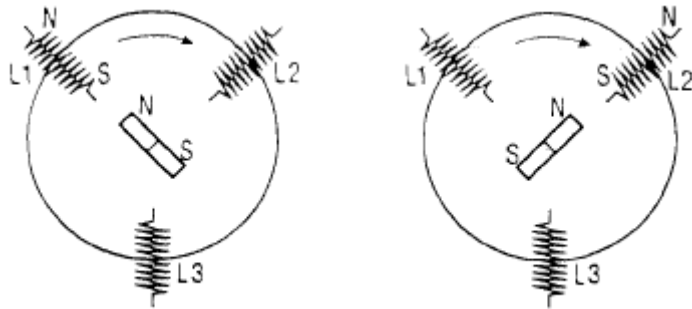
Često se izvodi i **dvofazni asinkroni motor**, nazvan još i **Ferrarisov motor**, kojeg je električna shema prikazana na sl. Obje faze napajaju se iz mreže, ali je struja kroz čvrstu fazu zbog velikog kondenzatora C fazno pomaknuta za 90° prema struji u upravljačkoj fazi. Osim toga, oba su namota prostorno pomaknuta za 90° , pa se dobije rotirajuće magnetsko polje. Zato se induciraju vrtložne struje, pa se stvara zakretni moment armature. Broj okreta mijenja se pomoću transformatora koji mijenja napon na upravljačkoj fazi, čime se poremećuje odnos snage u obje faze, a time i zakretni moment.

Prednosti dvofaznog asinkronog motora pred istosmjernim motorima: Napajanje je jednostavno iz mrežnog napona, nema kontakata, zbog šuplje izvedbe armatura nema velike tromosti pa se pri kočenju ne zagrijava.

Koračni (step) motori imaju sve veću primjenu kao i **elektronički komutirani motori**. Koračni i elektronički komutirani motori ne mogu raditi bez upravljačkih sklopova. Imaju bolja regulacijska svojstva nego izmjenični i istosmjerni servomotori.

Elektronički komutirani servomotori

Spajaju dobre osobine istosmjernih i izmjeničnih motora uz uklanjanje njihovih nedostataka. Mehanička komutacija zamijenjena je elektroničkom. Drugi su mu nazivi: beskolektorski motor, elektromotor bez četkica, sinkroni motor s permanentnim magnetima, engleski brushless motor (BLM), a ponekad i contactless ili comutatorless. I slijedni sustavi s ovakvim motorom imaju razne nazive: izmjenični slijedni sustav, AC servopogon, slijedni sustav s elektroničkom komutacijom ili elektronički komutirani servopogon. Osnovne prednosti ovih motora proizlaze iz konstrukcije bez četkica.



Sl. 5.9. Načelni prikaz rada elektronički komutiranog servomotora

Osnovna konstrukcija motora je prilično jednostavna, ali je upravljački sustav vrlo složen. Na rotor su zalijepljeni permanentni magneti. Stator obično ima tri faze. Na statorske namote se priključuje napon iz istosmjernog izvora napajanja preko invertora. Elektronički komutator stalno prespaja faze. U

motoru zbog toga nastaje okretno magnetsko polje. Rotor s permanentnim magnetima vrti se sinkrono s tim poljem. Tako je inverter priključen na istosmjerni napon, a motor se napaja iz invertora trofaznom izmjeničnom strujom. Ako struja teče kroz fazu L1, u statoru nastaje magnetsko polje koje privlači permanentni magnet na rotoru. Prespajanjem napajanja na fazu L3 zakrene se magnetsko polje koje privlači rotorski magnet. Na taj način stvoreno okretno magnetsko polje

uzrokuje sinkronu vrtnju rotora. Na statorske namote je priključen trofazni sustav struja čija se amplituda, frekvencija i faza mogu mijenjati u širokom opsegu:

- amplituda trofaznog sustava struja određuje moment motora,
- frekvencija trofaznog sustava struja određuje brzinu vrtnje,
- fazni pomak između trofaznog sustava struja i magnetskog polja rotora određuje smjer vrtnje.

Ovo je krajnje pojednostavljen prikaz rada. Kod stvarnih izvedbi prekapčanje faza je složenije. Obično se pobuđuju dvije faze odjednom zbog većeg momenta.

Upravljački uređaji za elektroničku komutaciju moraju imati podatak o točnom položaju rotora u svakom trenutku. Zato postoji mjerni član i pretvarač za određivanje trenutnog položaja rotora. To je obično Hallova sonda. Napon induciran u sondi je proporcionalan magnetskoj indukciji. Sonda je manja od 1 mm i može mjeriti gustoće magnetskog polja do 10^{-9} T. Položaj rotora se mjeri tako da se na osovinu pričvrste 3 magnetička razmaknuta za 120° . Pri svakom okretu osovine u Hallovim sondama generiraju se naponski signali. Tako je moguće ispravno komutirati struje u statorskim namotima. Ove struje su funkcija položaja rotora, a ne vremena. Elektronički komutirani motor opterećuje mrežu 5 - 10 puta manjom strujom nego odgovarajući istosmjerni servomotor. Potrošnja energije je manja do 3 puta. Motor ne treba održavati, osim ležajeva. Prije im je nedostatak bila granična snaga, no to se brzo mijenja:

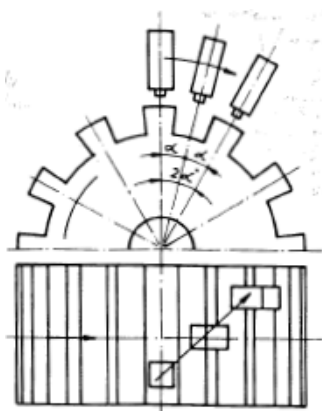
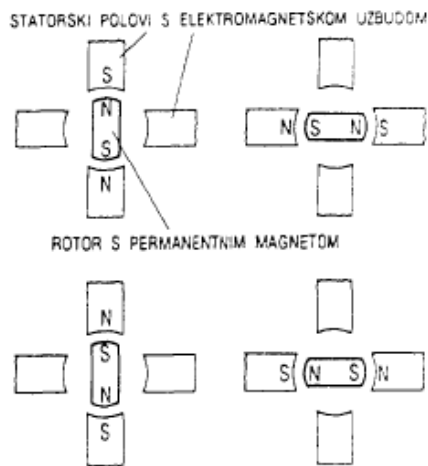
- 1980. do 1 kW
- 1990. do 20 kW,
- 1996. do 200 kW. (Ovo se odnosi na servomotore, a ne na invertore.)

Primjenjuju se npr. kod alatnih strojeva, manipulatora, robota, pogona magnetskih i optičkih diskova i magnetskih vrpca za pamćenje itd. Prikladni su gdje god se traži manja potrošnja i gubici. Manji su i lakši od ostalih servomotora za iste poslove. Ugrađuju se u rotacijske zglobove robota bez mehaničkog prijenosa. Zanimljiv je primjer iz SAD gdje je 1997. počela serijska proizvodnja prvog elektromobila na svijetu. Kod tog elektromobila inverter s IGBT tranzistorima dobiva istosmjerni napon iz olovnih akumulatora mase 380 kg. Glavni pogon je s elektronički komutiranim motorom snage 102 kW. Ovaj motor je nešto manji, lakši i ima veći stupanj korisnosti od odgovarajućeg kaveznog asinkronog motora. Nema mjenjača već samo fiksni reduktor. Najveća brzina vrtnje je 14 000 ok/min, a zakretni moment 164 Nm. Pogon je neposredno preko prednjih kotača. Računalo upravlja svim podsustavima.

Koračni servomotori

Koračni servomotori su jedinstveni među izvršnim članovima, jer mogu raditi neposredno s impulsima. Jedan impuls uzrokuje pomak rotora za jedan korak. Može se zakrenuti za točno određeni broj okretaja, odn. kut (jedini koji to može). Nije potreban D/A pretvarač na izlazu iz računala. Koračni motori se nazivaju još i step motorima (engleski stepping motor). Oni su elektromehanički pretvarači, jer im je ulazni signal niz električnih impulsa, a izlazni signal je pomak osovine. Iako su poznati već dugo, tek je razvoj digitalne elektronike omogućio njihovu primjenu. Idealni su za položajne slijedne sustave (pozicijske servosisteme) gdje se

vrlo točno namješta položaj radnog mehanizma. Upotrebljavaju se npr. za pokretanje diskova kod računala.



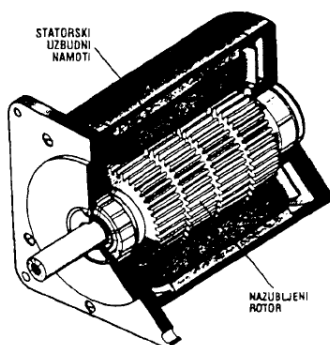
S. 92: STEP-MOTOR

može se rotor vrtiti po želji ili samo zakretati za željeni kut.

Izlazni signal iz računala je energetski slab pa se mora pojačati. To se obavlja u pobudnom sklopu (driveru) koji, osim pojačanja i kodira impulse u skladu s konstrukcijom određenog koračnog motora. Napajaju se istosmjernim naponom od 3 V do 30 V i strujom od 0,1 A do nekoliko desetaka ampera. Struja i napon napajanja su istosmjerni isprekidani signali.

U jednostavnijim primjenama koračni motor može pogoniti neki radni mehanizam i bez povratne veze. Za zahtjevnije pogone i slijedni sustav s koračnim motorom mora imati negativnu povratnu vezu. Elementi povratne veze su resolver ili optički enkoder. Koračni motori se dijele na dvije skupine:

1. Koračni motori s permanentnim magnetima na rotoru i višefaznim namotima na statoru. Do rotacije dolazi zbog pojave elektromagnetske sile između statorske uzbude i rotorskih magneta. Statorske faze se prekapčaju po strogo određenom redoslijedu u pobudnom sklopu i zato magnetsko polje statora rotira. Na slici je prikazan rad dvofaznog koračnog motora s 4 pola. Rotor se vrti u koracima po 90° . Praktične izvedbe motora imaju male korake. Imaju puno veći broj polova, pa rotor poprima oblik cilindričnog zupčanika (na rotoru je zalijepljen niz permanentnih magneta). Brzina vrtnje je određena frekvencijom komutacije faza (čak do 50kHz). Način rada: kad se isključi lijevi elektromagnet na statoru, a uključi desni do njega, zakrene se rotor za kut α . Brzim mijenjanjem uključivanja elektromagneta



Sl. 5.18. Izgled jednog petofaznog hibridnog koračnog motora

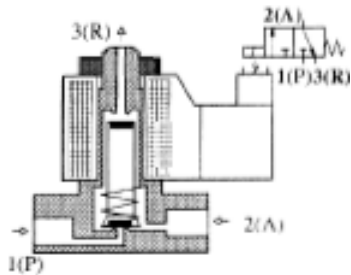
2. Koračni motori promjenjivog magnetskog otpora (reluktancije). Nazivaju se reluktancijskim ili varijabilnoreluktancijskim motorima. Bit je konstrukcije ili nesimetrični oblik statorskih polova ili nazubljeni rotor od magnetski mekog materijala s višefaznim statorom gdje je broj polova na rotoru manji nego na statoru. Koristi se samonamještanje rotora u položaj najmanjeg magnetskog otpora. Rotacija u koracima se postiže prespajanjem faza u pobudnom sklopu.

Uz ove dvije osnovne vrste, postoje još i hibridni koračni motori, te Nakanov koračni motor (1978.) bez nazubljenja i sa sinusoidalnom pobudom. Nakanov motor ima vrlo složenu upravljačku elektroniku i malu primjenu. Njegove su prednosti što može imati veliku snagu, a radi se o običnom indukcijskom motoru u koračnom režimu rada.

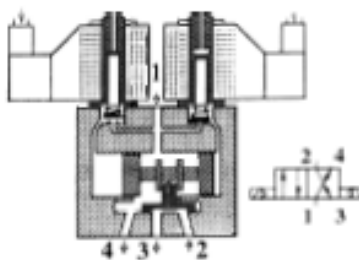


Elektromagnet se može upotrijebiti kao linearni servomotor. Puštanjem struje kroz zavojnicu stvara se magnetno polje koje uvlači ili istiskuje jezgru od permanentnog magneta, ovisno o polaritetu. Kretanje jezgre može se upotrijebiti za pokretanje postavnog člana. Jedan od čistih primjera upotrebe elektromagneta je

3/2 elektromagnetski ventil



4/2 elektromagnetski ventil



Elektromagnetski

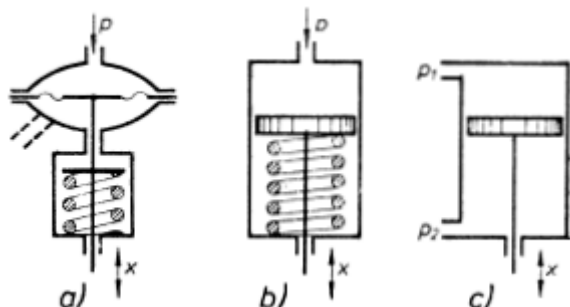
ventili omogućuju povezivanje električnog upravljanja s pneumatskim izvršnim elementima. Direktno aktiviranje elektromagnetom koristi se za aktiviranje 2/2 i 3/2 razvodnika veličine do 1/8".

Uzbuda u svitku stvorena protokom struje stvara magnetsko polje koje pomiče kotvu i otvara prolaz stlačenom zraku od ulaza 1 (P) na izlaz 2 (A), a ujedno zatvara odzračivanje na priključku 3 (R). Veći razvodnici, kao 4/2, 5/2 ili oni s 3 ili 4 razvodna položaja aktiviraju se preko posrednog elektromagnetskog ventila 3/2. Tlak zraka se propušta kroz elektromagnetski posredni ventil te djeluje na klip razvodnika i mijenja njegov položaj, odn. smjer strujanja glavnog protoka zraka.

Elektromagnetski ventili kod kojih se aktiviranje razvodnika ostvaruje električkom uzbudom u svitku, a povratak u nulti položaj oprugom, nazivaju se **monostabili**. Oni imaju samo jedno stabilno stanje - nulti položaj. Dok djeluje struja, razvodnik mijenja razvodni položaj, a nestankom njenog djelovanja vraća se u nulti položaj. Razvodnici koji se aktiviraju i vraćaju u polazni položaj uzbudom u svitcima, nazivaju se **bistabili**. Kod njih je svaki od dva aktivirana položaja (stanja) stabilan. Oni u tom položaju ostaju i kada prestane djelovanje električne struje.

3.3.4. Pneumatski postavni pogon

Pneumatski izvršni elementi mogu biti translacijski i rotacijski. Translacijski su standardni i specijalni cilindri, a rotacijski zakretni cilindri i pneumatski motori.

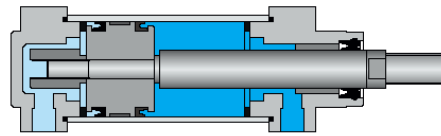
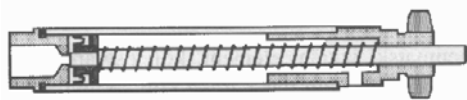


Najčešći tip pneumatskog postavnog pogona je **membranski jednoradni** cilindar (motor) - sl. a. Sila ulaznog tlaka p djeluje suprotno sili opruge, a rezultat je promjena položaja poluge x koja dalje djeluje na ventil. Klip cilindra opterećen je silom opruge, pa su sila koja pokreće klip $F_k = A \cdot \Delta p$ i sila opruge

$$F_o = k \cdot x \text{ u ravnoteži. Takav pogon ima}$$

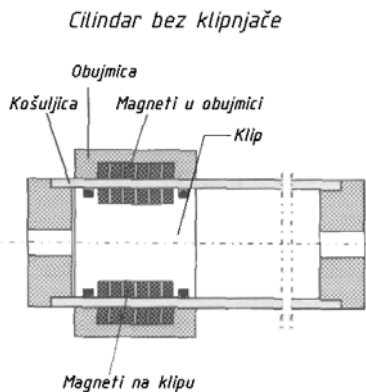
određeno kašnjenje zbog obujma komore i elastičnosti opruge. S dodatnim izvodom u komori ispod membrane (na skici označeno crtkano), membranski motor reagira na razliku tlakova Δp . Drugi tip pneumatskog postavnog pogona je **klipni** motor ili cilindar na sl. b. Uz ovaj jednoradni cilindar postoji i **dvoradni** cilindar prema sl. c, koji može obavljati koristan rad u oba smjera. Pneumatski postavni pogoni osobito su česti u kemijskoj industriji (sigurnost od eksplozija!), i to za sile do 30 kN i tlakove do 1MPa, što daje normalna kompresorska stanica.

Membranski motor upotrebljava se za male pomake i velike sile na izlazu, dok se kod klipnog motora postižu veliki pomaci s malim silama na ulazu. Neke stvarne izvedbe jednoradnog i



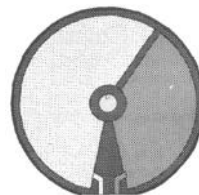
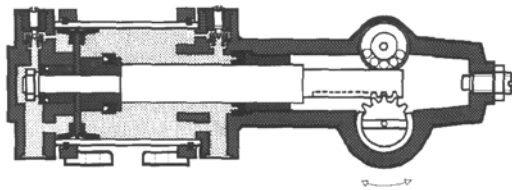
dvoradnog cilindra prikazane su na

slikama lijevo.



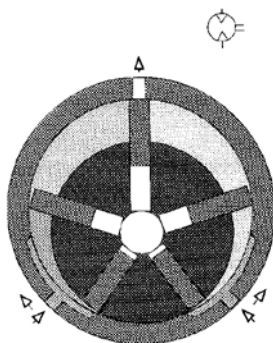
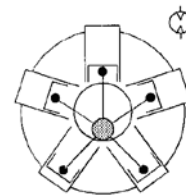
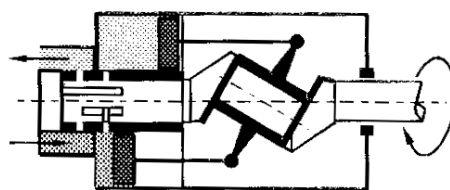
Jedan od nedostataka klipnih cilindara je ubrzanje klipa i udar na kraju hoda. Sve se više upotrebljavaju izvedbe s ublaživačima udara u poklopce (krajnje položaje), te s podesivim ublaživačima. Od specijalnih cilindara vrlo je koristan cilindar bez klipnjače, koji omogućuje veći radni hod. Klip je slobodan (leteći) i magnetičan, tako da se njegovo gibanje prenosi na gibanje magnetne obujmice na vanjskoj površini cilindra. Obujmica je povezana s radnim mehanizmom. Izrađuju se s promjerom do 50mm i hodom do 10m. U specijalne cilindre spadaju još cilindar s dvostrukom klipnjačom, tandem cilindar, višepoložajni i udarni cilindar.

Zakretni cilindri zakreću izlazno vratilo za dio kruga ili nekoliko krugova. Najčešće su izvedbe cilindar sa zubnom letvom i cilindar sa zakretnom pločom. Desno je simbol.



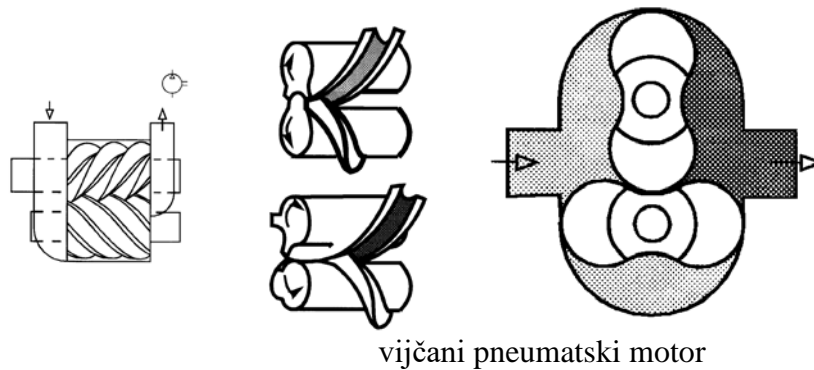
Pneumatski motori mogu biti klipni, lamelasti, s više rotora (zupčasti, vijčani i root) te zračne turbine (turbomotori).

Klipni motori mogu biti aksijalni i radijalni. Djelovanjem stlačenog zraka na klip, on se kreće naprijed – natrag. Taj pomak se prenosi na zakretnu ploču kod aksijalnog, odnosno na ekscentar vratila kod radijalnog motora. Broj cilindara (klipova) je neparan, obično 5, radi veće snage i ujednačenosti rada. Kod radnog tlaka od 0,7MPa postižu broj okretaja do 5000 min⁻¹ i snagu 1,5 do 19kW.



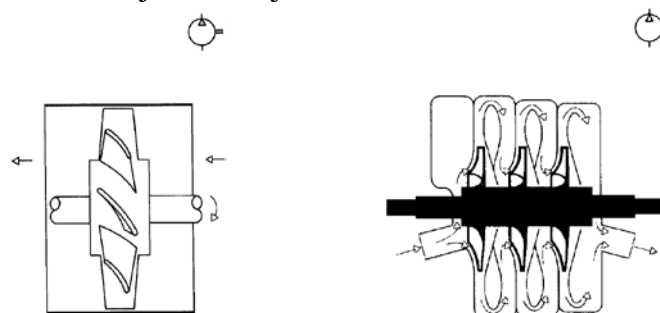
Lamelasti motor sastoji se od rotora s radijalnim utorima u koje su ugrađene lamele. Rotor je ekscentričan u odnosu na stator (kućište). Stlačeni zrak ulazi u volumen omeđen dvjema lamelama, kućištem i rotorom. Na lameli veće površine nastaje veća sila, pa se rotor zakreće. Broj okretaja im je do 5000min⁻¹, a snaga do 15MW. Najčešće se primjenjuju za ručne alate (brusilice i bušilice) jer imaju povoljan odnos snage i težine.

Motori s više rotora mogu biti zupčasti, vijčani i root. Po konstrukciji su jednaki istovrsnim kompresorima, samo je pretvorba energije suprotna. Na ulaz dovodimo stlačeni zrak, a na vratilu se dobiva vrtnja i mehanički rad. Broj okretaja im je visok, do 20000min⁻¹, a snaga do 22MW.



Root motor

Zračne turbine pretvaraju kinetičku energiju stlačenog zraka u mehaničku vrtnju. Postižu vrlo visoke brojeve okretaja, do 300000min^{-1} (npr. kod zubarskih bušilica), ali uz vrlo malu snagu. Osnovne su izvedbe aksijalni i radijalni turbo motori:



3.3.5. Hidraulični postavni pogon. Hidraulički izvršni elementi su:

1. Cilindri i hidromotori - neposredno obavljaju rad.
2. Ventili u vodovima (cijevima) između izvora napajanja i aktivnih jedinica. Oni upravljaju strujanjem fluida. Ventili mogu biti: razvodnici, tlačni ventili, strujni (protočni) i zaporni ventili.

Hidraulički cilindri moraju biti preciznije izrađeni, pa su zato skuplji od pneumatskih. Češće se primjenjuje klipni nego membranski cilindar. Budući da je ulje praktički nestlačivo, mogu se pomoću hidrauličnih postavnih pogona postići odzivi bez kašnjenja. Velika je prednost hidrauličnih klipnih motora što postižu veliku snagu po jedinici volumena. Svojim malim dimenzijama daleko premašuju ostale izvedbe, osobito električne motore. Hidraulični motori upotrebljavaju se u regulacijskoj tehnici za sile iznad 30 kN i tlakove iznad 1 MPa, bez ograničenja prema gore.

Hidraulički cilindri mogu biti jednoradni, dvoradni i specijalni, npr. teleskopski. Jednoradni cilindar obavlja korisni rad samo u jednom smjeru, a opruga vraća klip. Dvoradni cilindar u oba hoda obavlja koristan rad. Stupanj djelotvornosti cilindra je od 0,6 za male tlakove do 0,95 za velike tlakove. Najveća brzina pomicanja klipa je 1 m/s, a hod klipa je od nekoliko mm do nekoliko metara. Klip pomiče neki radni mehanizam.

Razvodnici su vrsta ventila koji prespajaju vodove između izvora napajanja i radnih jedinica. Vrstu razvodnika određuje broj priključnih mjesta i radnih položaja. Ostale vrste ventila reguliraju tlak i protjecanje fluida. Razvijeno je mnogo izvedbi ventila.

Hidraulički sklopovi rade na dva načina:

1. u otvorenom automatskom sustavu,
2. u zatvorenom automatskom sustavu.

U otvorenom sustavu razvodnik upravlja upuštanjem, zaustavljanjem i kočenjem klipa djelovanjem na protjecanje ulja. U zatvorenom sustavu servorazvodnik kontinuirano podešava hod klipa.

Izbor vrste pogona (pomoćne energije u regulacijskom krugu)

Koji je fizikalni medij najsvrsishodniji za prijenos informacija? Niz pogonskih uvjeta utječe na izbor neke vrste pomoćne energije. Ti su pogonski uvjeti npr. sigurnost od eksplozije, utjecaj temperature i vlažnosti, premošćivanje udaljenosti, mogućnost održavanja, nestanak energije, itd.

Izbor energetskog medija ovisi o djelatnosti određenog pogona. Tako npr. termoenergetsko postrojenje obuhvaća niz električnih uređaja i sklopova, a i održavanje je orijentirano na električnu. U procesnom i kemijskom postrojenju prevladava pneumatika, što je često uvjetovano sigurnošću od eksplozija, a pogonskom osoblju bliže su pneumatika i mehanika.

Devedesetih godina u robotici vrijedi slijedeća raspodjela:

1. za velike snage (nosivost iznad $100\text{ kg}=1\text{ kN}$) prikladna je hidraulika,
2. za srednje snage (nosivost od 1 do $100\text{ kg}=10\text{ N}$ do 1 kN) prikladna je elektrika,
3. za male snage (nosivost od $0,2$ do $15\text{ kg}=2\text{ N}$ do 150 N) prikladna je pneumatika.

Do devedesetih je regulacijska oprema bila pretežno pneumatska. Udio elektroničke opreme stalno se povećava, pa će se takav razvoj sigurno nastaviti. Očekuje se da će svaki od tih medija ostati na području gdje ima prednosti. Kombinirani uređaji (pneumohidraulički, elektrohidraulički) koriste se prednostima svakog od tih medija, čemu pogoduje razvoj novih i svestranih pretvarača.

Elektrika je svuda dostupna. Odziv električnih sklopova je brz, može se ostvariti prijenos signala na daljinu. Logičke i računске operacije u regulacijskom krugu lako je izvesti pomoću električnih sklopova, a izravno je moguće u rad uključiti procesna računala u svrhu vođenja procesa. Elektronički sklopovi omogućuju minijaturnu izvedbu, a modulna tehnika s integriranim krugovima omogućuje lako mijenjanje sklopova, odnosno održavanje. Električni sklopovi međutim predstavljaju potencijalnu opasnost u eksplozivnim atmosferama, a sigurnosno izvođenje jako poskupljuje uređaje. Općenito, električni sklopovi su kod postavnih pogona najskuplji.

Hidraulički i pneumatski sustavi imaju dosta sličnosti, jer rade s fluidima. **Pneumatika** je prikladna za male snage, a nije za uređaje gdje se traži velika točnost regulacije položaja i brzine. Zbog stlačivosti zraka praktično je nemoguće točno nadzirati položaj klipa. Stlačivost nepovoljno utječe na brzinu i točnost odziva. Uobičajeni tlak u pneumatici je do 1 MPa (10 puta veći od atmosferskog tlaka). Za veće snage cilindri bi morali imati preveliki promjer. U spojnim shemama primjenjuju se standardni simboli (CETOP) koji prikazuju funkciju komponente, ali ne i stvarnu izvedbu. Signal se može prenijeti na udaljenost do nekoliko stotina metara. Pneumatski uređaji već su dugo razvijeni i usavršeni, tako da su u pogonu sigurni, jeftini, a dostupan je i cjelovit izbor sklopova. Razrađen je i normiran sustav za prijenos pneumatskih signala, tako da se pojedini sklopovi različitih proizvođača bez poteškoća povezuju i upotpunjuju. Pneumatski su uređaji sigurni od eksplozija, pa se široko primjenjuju u kemijskoj i naftnoj industriji.

Prednosti pneumatskih uređaja u odnosu na hidrauličke:

1. jednostavnija konstrukcija zbog manjih tlakova i većih tolerancija (nema istjecanja fluida),
2. niža cijena,
3. nemaju povratni vod (komprimirani zrak se ispušta u atmosferu),
4. sigurni su u eksplozivnoj i zapaljivoj atmosferi,
5. nema opasnosti od istjecanja fluida.

Hidraulika dolazi u regulacijskim uređajima manje do izražaja, iako je izvedba I-regulatora dugo poznata i jednostavna. Glavna prednost hidrauličkih uređaja u odnosu na ostale je najveća specifična snaga (više od 1 kW/kg). To se postiže jer je hidrauličko ulje pod visokim tlakom (preko 10 MPa). Ulje je praktički nestlačivo, pa odzivi mogu biti vrlo brzi i točni. U postavnim pogonima kod kojih je potrebna velika snaga, hidraulični su uređaji

najkompaktniji. To, kao i neosjetljivost na trešnju i udarce, omogućuje njihovu primjenu u zrakoplovima i raketama. Hidraulički motori ne traže dodatno podmazivanje, jer se sami podmazuju.

Nedostaci hidraulike su zapaljivost konvencionalnih ulja i potreba za zatvorenim tokom ulja, tj. za skupom razvodnom mrežom. Zahtijevaju preciznu izradu s vrlo malim tolerancijama zbog mogućnosti istjecanja ulja pa su hidraulični uređaji relativno skupi.

Agregat je uređaj koji stvara tlak ulja ili zraka. Sastoji se od elektromotora i crpke, a u pneumatici od elektromotora i kompresora. Uočavamo da su električni uređaji neizbježni. Agregat stvara nepoželjnu buku.

Hidraulički servorazvodnik i cilindar su jedini hidraulički elementi u zatvorenom elektrohidrauličkom sustavu. Ostali sklopovi (senzor, komparator, regulator, pojačalo i davač referentne (vodeće) veličine) su električni, zbog niza već rastumačenih prednosti. Naravno, i agregat je nužan dio sustava kao pomoćni izvor energije u sustavu.