

1. OSNOVNI POJMOVI I TERMINOLOGIJA TEORIJE SISTEMA I AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA

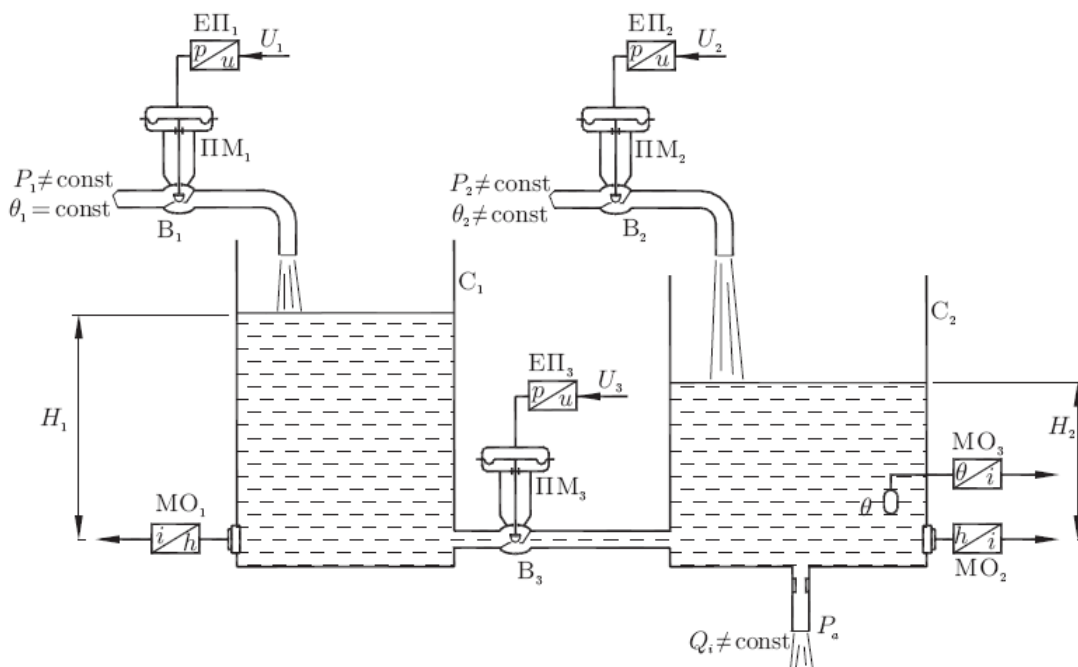
1.1 Sistem

Sistem u najopštijem slučaju predstavlja izdvojenu celinu koja je sastavljena od skupa objekata, njihovih utvrđenih svojstava i skupa relacija koje povezuju te objekte. Sistem je izdvojeni deo prostora kod koga postoji određena povezanost sa ostalim delom prostora.

Granice sistema su relativne, ali pri proučavanju nekog sistema one moraju da budu precizno definisane. Okolina deluje na sistem (na granice sistema), a sistem reaguje na dejstvo okoline. Sistem je fizički ako i samo ako je deo fizičkog prostora (avion, brod, parni kotao, rudarska mašina, ...). Sistem je apstraktan ako i samo ako je deo apstraktnog prostora (skup diferencijalnih jednačina koje opisuju kretanje aviona, rakete, ...).

Organizovani fizički sistem predstavlja skup podсистема (elemenata, uređaja, organa, delova) međusobno povezanih u funkcionalnu celinu s ciljem da se ostvari određeni zadatak (kretanje, rad, proces) a na osnovu razmene materije i/ili energije i/ili informacija između podсистема u okviru sistema i između sistema i okoline. Po svojoj prirodi sistem može da bude biološki (čovek, plantaža, ribnjak), ekonomski (banka, privredna organizacija, trgovinsko preduzeće), društveni (porodica, sportsko društvo, studenti VŠETiR), tehnički (rudarska, poljoprivredna, alatna mašina, avion, raketa, automobil, turbina) ili kombinovani (VŠETiR je biološko-društveno-ekonomsko-tehnički sistem).

Da bi jasnije mogli da budu pojašnjeni pojmovi, koji će nadalje biti uvođeni, razmatraće se jedan konkretan tehnički sistem. Na slici 1.1 je prikazana simboličko funkcionalna šema sistema koji se vrlo često sreće u procesnoj industriji. On se sastoji od dva spojena suda C_1 i C_2 , u kojima se nalaze tečnosti različitih hemijskih i/ili fizičkih osobina. Tečnost iz suda C_1 , konstantne vrednosti temperature θ_1 i promenljive vrednosti pritiska P_1 , utiče u sud C_1 , kroz ventil B_1 čije vretno poma pneumatski membranski motor ΠM_1 . Toplija tečnost, promenljivih vrednosti i temperature θ_2 i pritiska P_2 , utiče u sud C_2 , kroz ventil B_2 , čije vretno poma pneumatski servomotor označen sa ΠM_2 . Sudovi C_1 i C_2 su spojeni preko cevi na kojoj se nalazi ventil B_3 , čija protočna površina se podešava servomotorom ΠM_3 . Na servomotore ΠM_1 , ΠM_2 i ΠM_3 deluju elektropneumatski pretvarači $E\Pi_1$, $E\Pi_2$ i $E\Pi_3$ sledstveno, koji se pobuđuju naponskim signalima U_1 , U_2 i U_3 . Veličine od kojih se zahteva da im promene vrednosti budu prema nekom zadatom zakonu su nivoi tečnosti u sudovima: H_1 i H_2 i temperatura u sudu C_2 označena sa θ . Pomešane tečnosti u sudu C_2 iz njega odlaze ka potrošaču preko izlazne cevi, pri čemu je taj protok Q_i nepoznata funkcija vremena. Na slici su prikazani i merni organi za merenje vrednosti nivoa, odnosno temperature: MO_1 , MO_2 i MO_3 .



Slika 1.1. Tehnički sistem

Veličina koja bitno utiče na rad sistema a nastala je van njega je njegova **ulazna veličina** (oznaka X_u). Sistem može da ima više ulaznih veličina, npr. M , u oznaci $X_{u1}, X_{u2}, \dots, X_{uM}$, koje mogu da se usvoje za elemente M -imenzionalnog **vektora ulaza** (kraće **ulaz**) $\mathbf{X}_u, \mathbf{X}_u \in R^M$.

$$X_u = \begin{pmatrix} X_{u1} \\ X_{u2} \\ \vdots \\ X_{uM} \end{pmatrix} = (X_{u1} X_{u2} \dots X_{uM})^T$$

Za sistem sa slike 1.1 veličine koje zadovoljavaju prethodnu definiciju su:

U_1 - naponski signal na ulazu elektropneumatskog pretvarača EP_1 ,

U_2 - naponski signal na ulazu elektropneumatskog pretvarača EP_2 ,

U_3 - naponski signal na ulazu elektropneumatskog pretvarača EP_3 ,

P_1 - pritisak hladnije tečnosti,

P_2 - pritisak toplije tečnosti,

θ_2 - temperatura toplije tečnosti,

Q_i - protok na izlazu iz suda S_2 .

To znači da imamo 7 ulaznih veličina, koje mogu da se predstave u obliku vektora ulaza $\mathbf{X}_u, \mathbf{X}_u \in R^7$.

$$X_u = (X_{u1} X_{u2} X_{u3} X_{u4} X_{u5} X_{u6} X_{u7})^T = (U_1 U_2 U_3 P_1 P_2 \theta_2 Q_i)^T$$

Temperatura hladnije tečnosti θ_1 takođe bitno utiče na ceo proces, ali je ona konstantne vrednosti, $\theta_1 = const$. Ako je neka veličina konstantne vrednosti, ili je poznata funkcija vremena, koja može tačno analitički da se opiše, onda se ona u matematičkom modelu sistema predstavlja brojčanim vrednostima ili izrazima, tj. ne figuriše kao promenljiva θ_1 . Sve takve veličine ne predstavljaju ulazne veličine sistema, a njihovi "bitni" uticaji su implicitno sadržani u matematičkom modelu datog sistema.

Veličina čija vrednost i čije promene vrednosti predstavljaju rezultat rada sistema, a za čije vrednosti i promene smo zainteresovani je **izlazna veličina** sistema (oznaka X_i). Sistem može da ima više izlaznih veličina, npr. N , u oznaci $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iN}$, koje mogu da se usvoje za komponente N -dimenzionalnog **vektora izlaza** (kraće **izlaz**) $\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_i \in R^N$

$$X_i = \begin{pmatrix} X_{i1} \\ X_{i2} \\ \vdots \\ X_{iN} \end{pmatrix} = (X_{i1} X_{i2} \dots X_{iN})^T$$

Za sistem sa slike 1.1 veličine koje zadovoljavaju prethodnu definiciju su:

H_1 - nivo tečnosti u sudu S_1 ,

H_2 - nivo tečnosti u sudu S_2 ,

θ - temperatura tečnosti u sudu S_2 .

To znači da imamo 3 izlazne veličine, koje mogu da se predstave u obliku vektora izlaza $\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_i \in R^3$

$$X_i = (X_{i1} X_{i2} X_{i3})^T = (H_1 H_2 \theta)^T$$

Fizičkom sistemu se pridružuje njegov *model* koji se odlikuje samo onim osobinama tog fizičkog sistema koje su bitne za njegovo proučavanje i dovoljne da se ono izvede s traženom tačnošću.

Model fizičkog sistema je idealizovani, zamišljeni sistem, koji zadržava osobine stvarnog sistema bitne za njegovu analizu.

Matematički model sistema je formalni matematički opis modela fizičkog sistema koji uspostavlja jednoznačnu vezu između izlaznih i ulaznih veličina za proizvoljne promene ulaznih veličina i za proizvoljne početne uslove, a iskazan je pomoću matematičkih simbola, operacija i relacija. Ako se pretpostavi da matematički model dovoljno tačno opisuje fizički sistem, tj. model fizičkog sistema, i da predstavlja njegov verodostojan opis, onda on sadrži sve informacije o fizičkim osobinama sistema. Tada se proučavanja tog fizičkog sistema mogu izvršiti na njegovom matematičkom modelu, koji predstavlja apstraktan (a ne fizički) sistem.

1.2 Dijagram sistema

Uprkos velikoj raznovrsnosti osobina različitih sistema, postoje izvesna njihova zajednička, opšta obeležja. Da bi se ona uočila, sistem se često posmatra apstraktno, kao tzv. "crna kutija", kao jedna celina čija se struktura ne prikazuje, već se ona i njegova svojstva izražavaju kroz reakcije sistema na spoljne veličine koje na njega deluju. Pri ovakvom posmatranju sistema koristi se njegov dijagram.

Dijagram sistema je simbolički, grafički prikaz sistema C u obliku pravougaonika, na kojem su sve ulazne veličine prikazane jednostrukim strelicama usmerenim ka sistemu, a sve izlazne veličine su prikazane jednostrukim strelicama usmerenim od sistema ka okolini, slika 1.2 a), odnosno to je simbolički grafički prikaz sistema u obliku pravougaonika na kome je ulaz sistema predstavljen dvostrukom strelicom usmerenom ka sistemu, a izlaz sistema je predstavljen dvostrukom strelicom usmerenom od sistema ka okolini, slika 1.2 b).

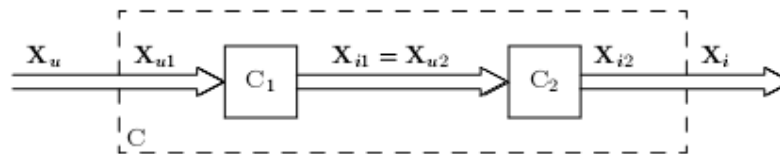


Slika 1.2. Dijagram sistema

Informacije koje se dobijaju sa dijagrama sistema su samo informacije o ulaznim i izlaznim veličinama.

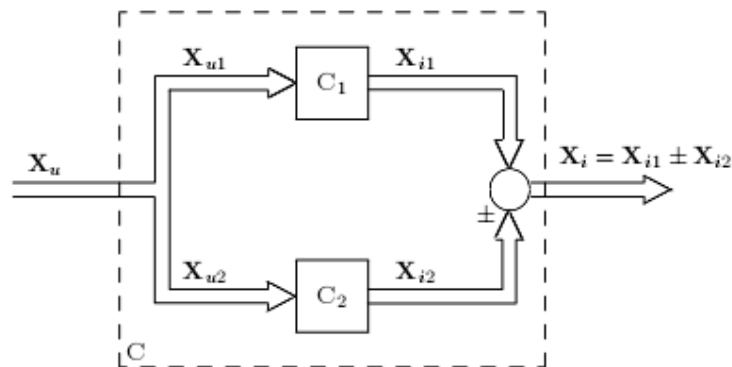
1.3 Osnovne sprege sistema

Sistemi C_1 i C_2 su **redno spregnuti** u sistem C, ako i samo ako je ulaz X_u celog sistema C ujedno i ulaz X_{u1} sistema C_1 , čiji je izlaz X_{i1} istovremeno ulaz X_{u2} sistema C_2 , a njegov izlaz X_{i2} ujedno izlaz X_i celog sistema C, pri čemu sistem C_2 ne deluje na sistem C_1 . Sistem C je redna sprega sistema C_1 i C_2 , a oni su podsistemi sistema C.



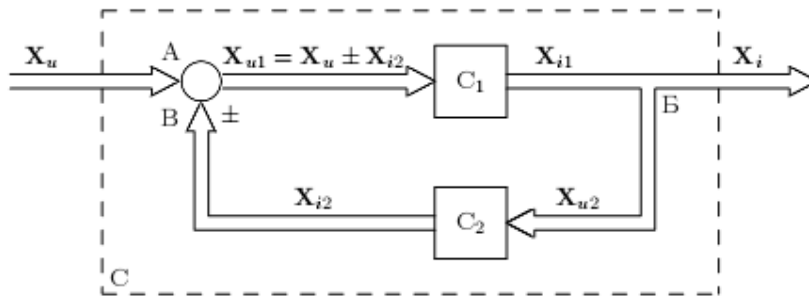
Slika 1.3. Redna sprega

Sistemi C_1 i C_2 su **paralelno spregnuti** u sistem C, ako i samo ako je ulaz X_u celog sistema C istovremeno i ulaz X_{u1} sistema C_1 i ulaz X_{u2} sistema C_2 , a izlaz X_i celog sistema je algebarski zbir izlaza X_{i1} sistema C_1 i izlaza X_{i2} sistema C_2 , pri čemu sistemi C_1 i C_2 ne deluju jedan na drugi. Sistem C je paralelna sprega sistema C_1 i C_2 , koji predstavljaju podsisteme sistema C.



Slika 1.4. Paralelna sprega

Sistemi C_1 i C_2 su **povratno spregnuti** u sistem C, ako i samo ako je ulaz X_{u1} sistema C_1 algebarski zbir ulaza X_u celog sistema C i izlaza X_{i2} sistema C_2 , a izlaz X_{i1} sistema C_1 je istovremeno izlaz X_i celog sistema C i ulaz X_{u2} sistema C_2 . Sistem C je sistem sa povratnom spregom, a sistemi C_1 i C_2 su njegovi podsistemi.



Slika 1.5. Povratna sprega

Deo sistema C od mesta dejstva ulaza X_u u sistem C, tačka A, do mesta pojavljivanja izlaza sistema C, tačka B, je **glavna (direktna) grana (sprega, veza)** sistema C. Deo sistema C od mesta pojavljivanja njegovog izlaza X_i , tačka B, do mesta dejstva izlaza X_{i2} podsistema C_2 na sabirač, tačka B, je **povratna sprega (grana)** sistema C.

Povratna sprega je **pozitivna** ako i samo ako se u sabiraču ne menja znak (+), a **negativna** ako i samo ako se u sabiraču menja znak (–) izlaza X_{i2} podsistema C_2 .

Deo sistema C od mesta dejstva ulaza X_u u sistem C, tačka A, preko mesta pojavljivanja izlaza X_i , tačka B, pa do mesta dejstva izlaza X_{i2} podsistema C_2 na sabirač, tačka B, je **otvoreno kolo** sistema C.

Stabilnost podsistema C_1 i C_2 ne garantuje stabilnost sistema C u kome su podsistemi C_1 i C_2 povratno spregnuti.

1.4 Strukturni dijagram sistema

Dijagram sistema, koji je raščlanjen, detaljan, tako da je simbolički prikazana struktura sistema, koja pokazuje sve podsisteme i njihova međusobna dejstva, naziva se strukturni dijagram sistema.

Struktura sistema obuhvata sve njegove podsisteme sa svim njihovim međusobnim spregama.

Strukturni dijagram sistema je njegov dijagram koji prikazuje njegovu strukturu.

1.5 Objekt

Objekt (O) je sistem od koga se zahteva da u propisanim (*nominalnim*) radnim uslovima ostvari propisano (*željeno, zadano*) dinamičko ponašanje, a u proizvoljnim radnim uslovima dinamičko ponašanje koje može da odstupa od njegovog željenog dinamičkog ponašanja najviše u dozvoljenim granicama.

Željeno dinamičko ponašanje objekta u nekom trenutku t , je definisano željenom vrednošću vektora izlaza $X_{iz}(t)$ u tom trenutku.

Tehnički objekti su projektovani za određene, nominalne uslove rada. Međutim, stvarni uslovi rada objekta često su različiti od nominalnih. Usled toga se i stvarno ponašanje objekta razlikuje od njegovog željenog dinamičkog ponašanja.

Objekt sam od sebe ne može da ostvari željeno dinamičko ponašanje X_{iz} . To je moguće jedino ako na njega deluje ulaz koji se naziva upravljanje.

Sistem koji je prikazan na slici 1.1 predstavlja objekt. Nadalje će da bude objašnjeno da te ulazne veličine objekta mogu da se podele na poremećajne veličine i na upravljačke veličine što je suštinski različito za neki objekt.

1.6 Poremećaj

Ulazna veličina objekta koja nastaje i menja se nezavisno od njegovog željenog dinamičkog ponašanja je njegova **poremećajna veličina**, u oznaci Z , a ako ih ima više, npr. $P, Z_1, Z_2, \dots, Z_P$, mogu da se usvoje za elemente P -dimenzionalnog **vektora poremećaja** (kraće **poremećaj**) $Z, Z \in R^P$

$$Z = (Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_P)^T$$

Poremećajne veličine objekta sa slike 1.1 su prema prethodnoj definiciji: P_1, P_2, θ_2 i Q_i . To znači da postoje 4 poremećajne veličine, koje mogu da se predstave u obliku vektora poremećaja $Z, Z \in R^4$.

$$Z = (Z_1 \ Z_2 \ Z_3 \ Z_4)^T = (P_1 \ P_2 \ \theta_2 \ Q_i)^T$$

Ove četiri ulazne veličine objekta se formiraju nezavisno od njegovog željenog dinamičkog ponašanja, tj. one su "neželjene" ulazne veličine objekta. Intenziteti, vreme nastanka, trajanje delovanja tih veličina, kao i njihove promene tokom vremena su unapred nepredvidljive pa stoga P_1, P_2, θ_2 i Q_i nazivamo poremećajnim veličinama.

1.7 Upravljanje

Ulazna veličina objekta koja se stvara na osnovu njegovog željenog dinamičkog ponašanja $\mathbf{X}_{iz}$, da bi svojim dejstvom na taj objekt obezbedila njegovo željeno dinamičko ponašanje u nominalnom radnom režimu, odnosno njegovo zadovoljavajuće dinamičko ponašanje u proizvoljnim radnim uslovima, je njegova **upravljачka veličina**, u oznaci U , a ako ih je više, npr. $R, U_1, U_2, \dots, U_R$, mogu da se predstave kao R -dimenzionalni **vektor upravljanja** (kraće **upravljanje**) $\mathbf{U}$, $\mathbf{U} \in R^R$.

$$\mathbf{U} = (U_1 U_2 \dots U_R)^T$$

Objekt na koji deluje upravljanje (čije se dinamičko ponašanje upravlja) je *upravlјani objekt*, a njegov izlaz je *upravlјani izlaz*.

Upravlјачke veličine objekta sa slike 1.1 su prema prethodnoj definiciji tri naponske veličine na ulazima elektropneumatskih pretvarača: U_1, U_2 i U_3 . To znači da postoje 3 upravlјачke veličine, koje mogu da se predstave u obliku vektora upravljanja $\mathbf{U}$, $\mathbf{U} \in R^3$

$$\mathbf{U} = (U_1 U_2 U_3)^T$$

Ove tri veličine U_1, U_2 i U_3 su takođe ulazne veličine (kao i poremećajne veličine) objekta, ali se one formiraju na osnovu željenih vrednosti izlaznih veličina H_{1z}, H_{2z} i θ_z i one svojim dejstvom na objekt primoravaju taj objekt da veličine H_1, H_2 i θ menja na željeni način.

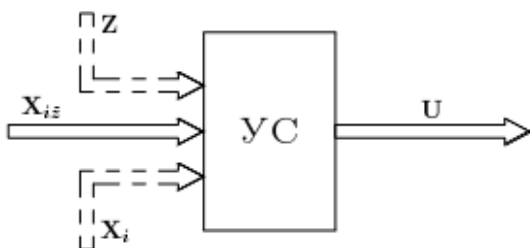
1.8 Radni i upravlјачki deo objekta

Deo objekta u kome se ostvaruje njegovo dinamičko ponašanje za koje je taj objekt napravljen je njegov **radni (procesni) deo**, a njegov deo koji prima dejstvo upravljanja i prenosi ga na radni deo je **upravlјачki (organ) deo** objekta.

Posmatrajmo ponovo objekt koji je prikazan na slici 1.1. Procesni deo objekta su dva spojena suda C_1 i C_2 . Upravlјачki organi objekta služe da prime upravljanje i da to dejstvo prenesu na radni deo objekta; samim tim to su tri elektropneumatska pretvarača EP_1, EP_2 i EP_3 . To može da bude i drugačije i zavisi od toga šta se usvaja za objekt, odnosno gde se postavljaju granice tog objekta. Već je naglašeno da su granice sistema relativne i da mogu da se usvoje na različite načine.

1.9 Upravlјачki sistem

Sistem čija je izlazna veličina upravljanje za dati objekt je **upravlјачki sistem** za dati objekt. Ulazne veličine upravlјачkog sistema nose informacije neophodne za formiranje upravljanja. Željeno dinamičko ponašanje objekta opisano vektorom $\mathbf{X}_{iz}$ je uvek jedan od ulaza upravlјачkog sistema. Budući da se proces upravljanja ostvaruje dejstvom upravljanja na objekt, onda se na osnovu definicije upravljanja zaključuje da je za stvaranje upravljanja neophodna informacija o željenom dinamičkom ponašanju tog objekta.



Slika 1.6. Upravlјачki sistem

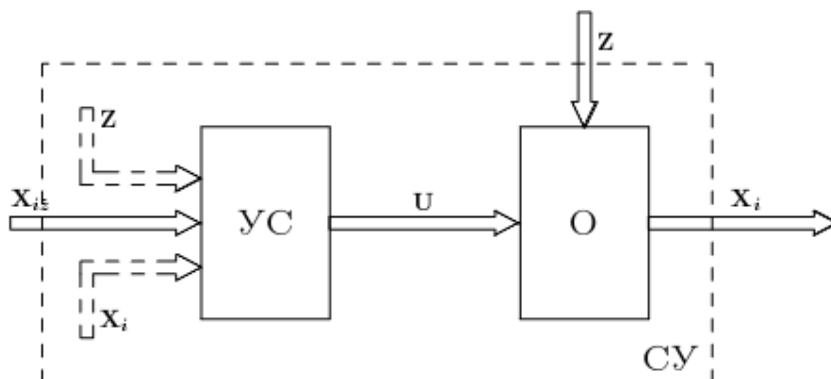
Upravljanje može da se formira i korišćenjem dodatnih informacija kao što su: stvarno dinamičko ponašanje objekta, tj. izlaz objekta $\mathbf{X}_i$, i/ili merenih poremećajnih veličina sadržanih u vektoru $\mathbf{Z}$. Na dijagramu objekta, ti vektori su prikazani isprekidanim dvostrukim strelicama usmerenim ka upravlјачkom sistemu (US). Izlaz iz upravlјачkog sistema je upravljanje $\mathbf{U}$.

Na slici 1.1 je prikazan upravlјani objekt. Na toj slici nema upravlјачkog sistema, ali su tu prikazane njegove izlazne veličine U_1, U_2 i U_3 i neki njegovi elementi: uređaji za merenje (merni organi) vrednosti nivoa,

odnosno temperature: MO_1, MO_2 i MO_3

1.10 Sistem upravljanja

Sistem koji se sastoji iz objekta i upravljačkog sistema za taj objekt, koje povezuje upravljanje je **sistem upravljanja**, slika 1.7.



Slika 1.7. Sistem upravljanja

2. SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA

2.1 Vrste upravljanja

Upravljanje sa stanovišta njegovog ostvarivanja može da bude **ručno**, **poluautomatsko** i **automatsko**.

Upravljanje je **ručno** ako je upravljački sistem samo čovek. Tada je sistem upravljanja **sistem ručnog upravljanja**.

Upravljanje je **poluautomatsko** ako je upravljački sistem sastavljen od čoveka i uređaja. Tada je sistem upravljanja **sistem poluautomatskog upravljanja**.

Upravljanje je **automatsko** ako je upravljački sistem samo uređaj ili skup samo uređaja. Tada je sistem upravljanja **sistem automatskog upravljanja**.

Nadalje će da bude razmatrano samo automatsko upravljanje i sistemi automatskog upravljanja (SAU).

2.2 Koncepti automatskog upravljanja

U zavisnosti od informacija koje su neophodne upravljačkom sistemu za stvaranje pravilnog upravljanja, sistemi automatskog upravljanja se dele na:

1. otvorene sisteme automatskog upravljanja (OSAU),
2. zatvorene sisteme automatskog upravljanja (ZSAU), koji se još nazivaju sistemi automatskog regulisanja (SAR),
3. kombinovane sisteme automatskog upravljanja (KSAU).

U okviru otvorenih sistema automatskog upravljanja mogu da se izdvoje dve podgrupe u zavisnosti da li se kompenzuju ili ne dejstva poremećajnih veličina. Ta dva koncepta su:

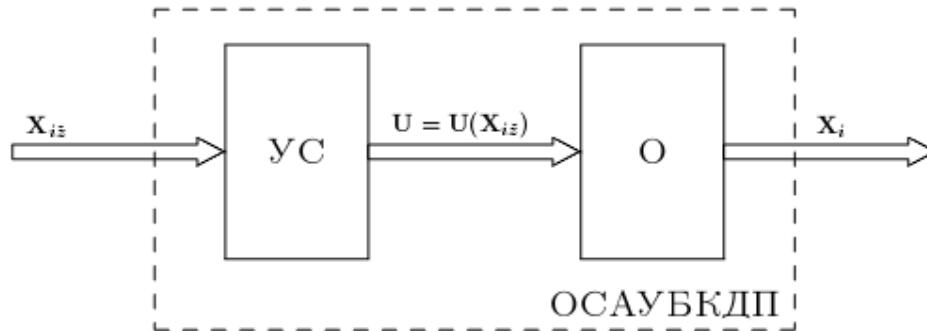
1. otvoreni sistemi automatskog upravljanja bez kompenzacije dejstva poremećaja (OSAUBKDP),
2. otvoreni sistemi automatskog upravljanja sa direktnom kompenzacijom dejstva poremećaja (OSAUSDKDP)

Kao što je već naglašeno, za sve sisteme automatskog upravljanja je zajedničko da je za formiranje upravljanja neophodna informacija o željenom ponašanju objekta. Međutim, ona nije uvek i dovoljna. Naredne definicije razjašnjavaju kojim dodatnim informacijama su određeni pojedini koncepti automatskog upravljanja.

Ako za formiranje pravilnog upravljanja objekta upravljački sistem koristi samo informaciju o željenom izlazu objekta $X_{iž}$, slika 2.1,

$$U = U(X_{iž})$$

takav sistem automatskog upravljanja se naziva **otvoreni sistem automatskog upravljanja bez kompenzacije dejstva poremećaja** (OSAUBKDP).



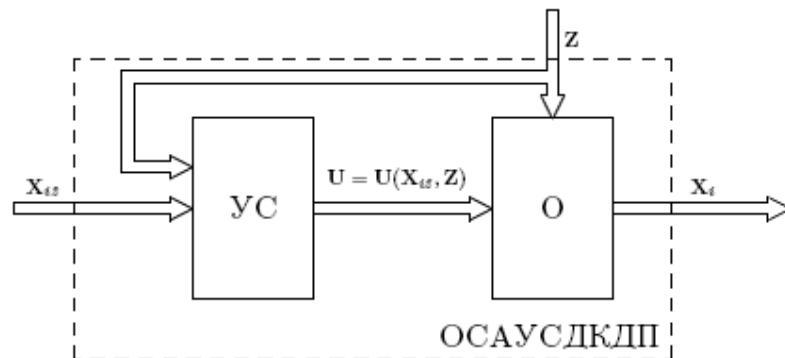
Slika 2.1. Opšti strukturni dijagram OSAUBKDP.

Ovaj koncept obezbeđuje zadovoljavajući rad kada na sistem ne deluju poremećaji. U slučaju da se oni pojave upravljanje mora da se stvara i na osnovu informacija o tim poremećajima, pri čemu može da se ostvari samo direktna ili neposredna kompenzacija njihovog dejstva na upravljani objekt.

Ako za formiranje pravilnog upravljanja objekta upravljački sistem koristi samo informacije o željenom izlazu objekta $X_{iž}$ i o merenom poremećaju Z koji deluje na njega, slika 2.2,

$$U = U(X_{iž}, Z)$$

takav sistem automatskog upravljanja se naziva **otvoreni sistem automatskog upravljanja sa direktnom kompenzacijom dejstva poremećaja** (OSAUSDKDP).



Slika 2.2. Opšti strukturni dijagram OSAUSDKDP.

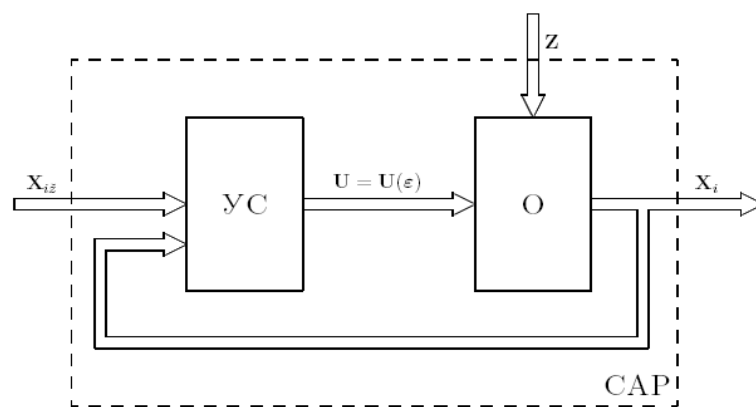
Ako za formiranje pravilnog upravljanja objekta upravljački sistem koristi samo informaciju o razlici između njegovog željenog ponašanja $X_{iž}$ i njegovog stvarnog ponašanja X_i ,

$$U = U(X_{iž} - X_i) = U(\varepsilon), \quad \varepsilon = X_{iž} - X_i$$

onda je sistem automatskog upravljanja tog objekta **zatvoreni sistem automatskog upravljanja** (ZSAU), tj. **sistem automatskog regulisanja** (SAR), slika 2.3.

Zatvoreni sistem automatskog upravljanja se odlikuje postojanjem povratne sprege koja je negativna, što je potrebno da bi upravljački sistem mogao da utvrdi razliku ε između željenog i stvarnog dinamičkog ponašanja objekta

$$\varepsilon = X_{iž} - X_i$$



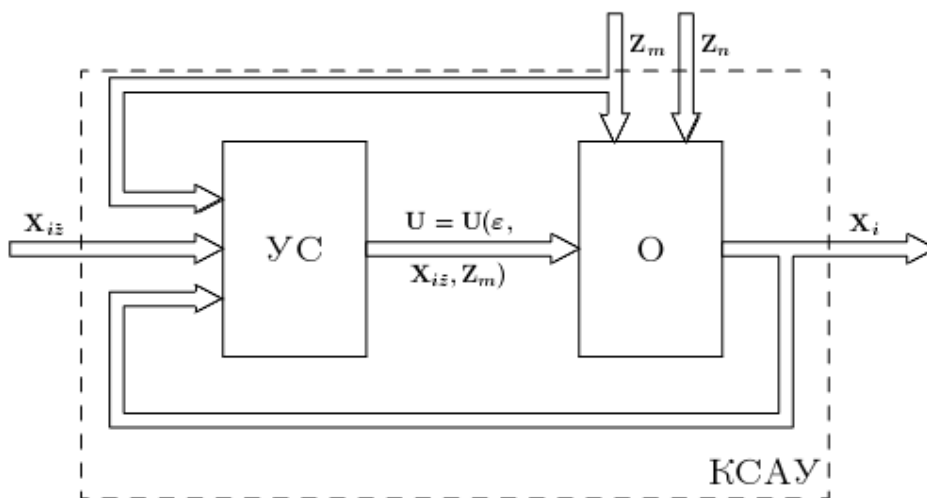
Slika 2.3. Opšti strukturni dijagram ZSAU (SAR).

U zatvorenom sistemu automatskog upravljanja se ostvaruje *indirektna ili posredna kompenzacija dejstva poremećaja*. Ona se postiže stvaranjem upravljanja na osnovu greške ε , koja predstavlja posledicu dejstva poremećaja Z , ili promene željene vrednosti $X_{i\bar{z}}$.

Ako za formiranje pravilnog upravljanja objekta upravljački sistem koristi informacije i o željenom ponašanju objekta $X_{i\bar{z}}$ i o njegovom stvarnom ponašanju X_i i o merenim poremećajima Z_m ,

$$U = U(X_{i\bar{z}} - X_i, X_{i\bar{z}}, Z_m) = U(\varepsilon, X_{i\bar{z}}, Z_m)$$

onda je sistem automatskog upravljanja tog objekta **kombinovani sistem automatskog upravljanja** (KSAU), slika 2.4

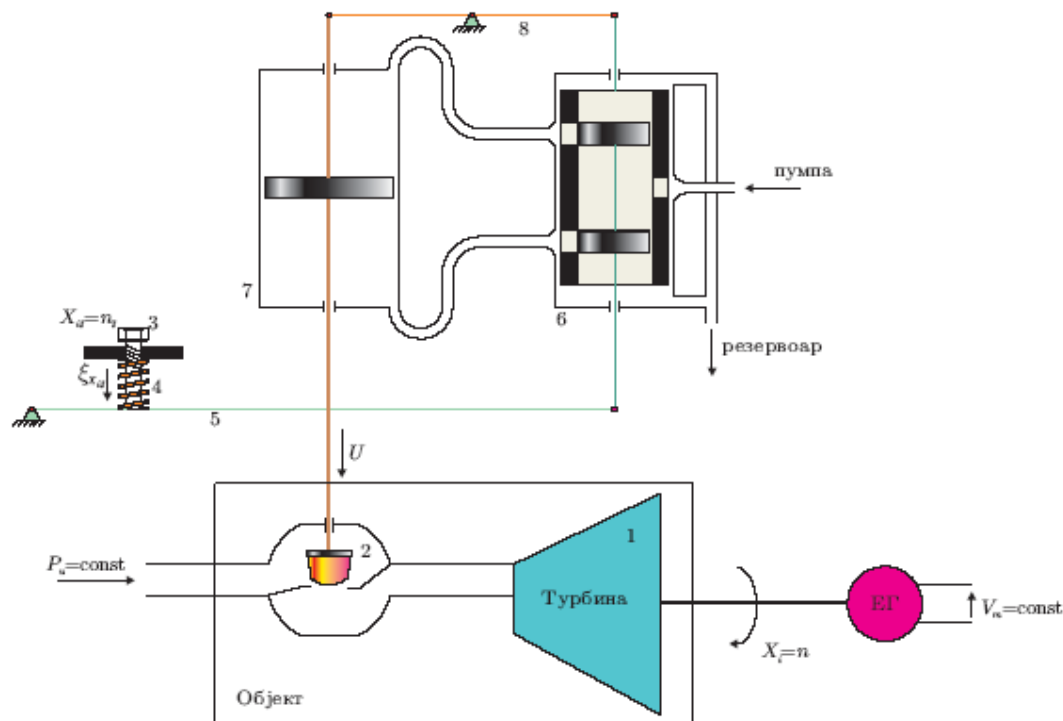


Slika 2.4. Opšti strukturni dijagram KSAU.

Kombinovani sistemi automatskog upravljanja ostvaruju istovremeno i direktnu (merenih poremećaja Z_m) i indirektnu (nemeranih poremećaja Z_n) kompenzaciju dejstva poremećaja. Vektor poremećaja u ovom slučaju je oblika:

$$Z = \begin{pmatrix} Z_m \\ Z_n \end{pmatrix}$$

Za ilustraciju različitih koncepata automatskog upravljanja koristiće se jedan hidraulički sistem, čija je funkcionalna šema prikazana na slici 2.5.



Slika 2.5. Funkcionalna šema hidrauličkog sistema

Sistem se sastoji od: parne turbine (1), ventila na ulazu turbine (2), zavrtanja (3), opruge (4), poluge (5), hidrauličkog klipnog razvodnika (6), hidrauličkog cilindra (7) i poluge (8).

Željena vrednost broja obrtaja turbine se zadaje položajem zavrtanja 3. Taj položaj direktno određuje deformacionu silu u opruzi 4, $\xi_{x_{iz}}$, koja svojim dejstvom na polugu 5 rotira tu polugu oko oslonca i prouzrokuje pomeranje klipnjače hidrauličnog klipnog razvodnika 6. Ta pomeranja prouzrokuju pomeranje klipova razvodnika što dovodi do razvođenja ulja pod pritiskom u gornju ili donju komoru hidrauličkog cilindra 7. Ulje pod pritiskom pomera klip cilindra i klipnjaču koja je za njega kruto vezana, što prouzrokuje pomeranje pečurke ventila 2 u odnosu na sedište ventila, čime se menja protočna površina ventila. Protok kroz ventil je direktno srazmeran toj površini pa se u turbinu ubacuje manja ili veća količina pare koja dovodi do smanjenja ili povećanja broja obrtaja, sledstveno. Hidraulički cilindar je lokalno povratno spregnut, preko poluge 8, sa uljnim razvodnikom da bi se obezbedile određene dinamičke osobine celog sistema. Ceo sklop 6, 7 i 8 se naziva hidraulički prenosni organ sa krutom povratnom spregom.

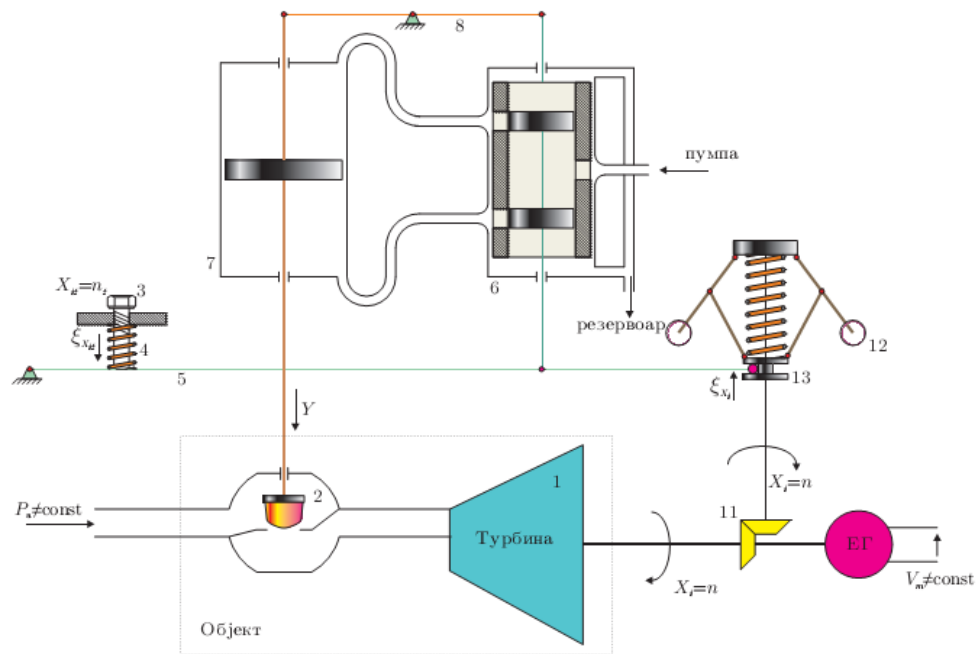
2.3 Sistemi automatskog regulisanja

Osnovna strukturna osobina ovih sistema je postojanje negativne povratne sprege, kojom se upravljački sistem, tj. regulator, obaveštava o trenutnoj vrednosti vektora izlaza. U razmatranom primeru, upravljanja parne turbine, tu povratnu spregu čine:

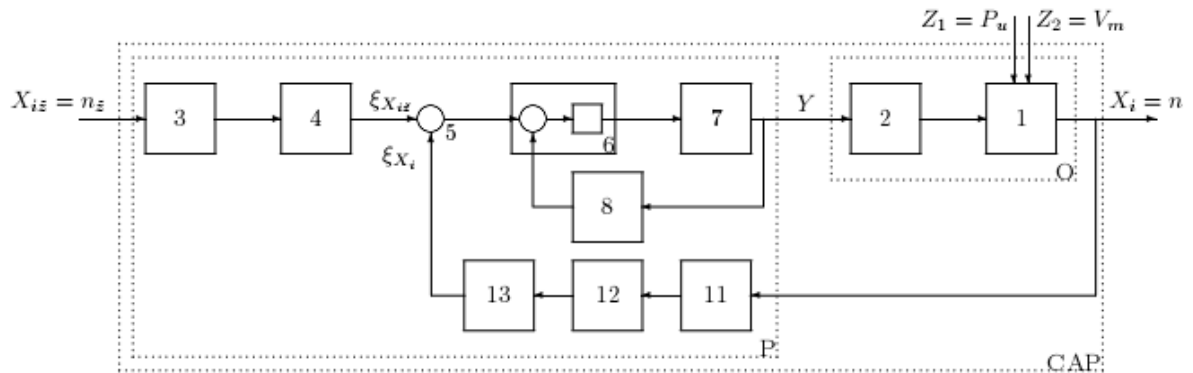
- 11 - konusni zupčanici,
- 12 - rotirajuće kugle i
- 13 - ogrlica.

Ovi elementi čine merni organ broja obrtaja. Konusnim zupčanicima se rotacija horizontalnog vratila prenosi i na vertikalno koje rotira kugle 12. Neka se usled delovanja proizvoljnog poremećaja broj obrtaja turbine povećao (smanjio). Povećanjem (smanjenjem) broja obrtaja centrifugalna sila udaljava (približava) te kugle osi rotacije i time povlači ogrlicu 13 gore (dole). Ogrlica silom ξ_{x_i} deluje na polugu 5 i pomera je gore (dole) što prouzrokuje, kao što je ranije objašnjeno, zatvaranje (otvaranje) ventila 2, a samim tim i smanjenje (povećanje) broja obrtaja turbine.

Ovaj sistem ne meri ni jednu poremećajnu veličinu, bez obzira koliko ih ima i da li su merljive. Kompenzacija dejstva svih tih premećaja je indirektna, na bazi greške ε . Funkcionalna šema, slika 2.6, najbolje ilustruje princip rada ovakvog koncepta upravljanja. Sada je razmatrana turbina postavljena u okruženje u kojima postoje dve poremećajne veličine: promena ulaznog pritiska je nepoznata funkcija vremena $Z_1 = P_u$, opterećenje mreže se menja po nepoznatom zakonu $Z_2 = V_m$. Strukturni dijagram SAR-a je prikazana na slici 2.7.



Slika 2.6. Funkcionalna šema SAR.



Slika 2.7. Strukturni dijagram SAR.

Proces upravljanja koji se ostvaruje u zatvorenom sistemu automatskog upravljanja, gde se upravljanje stvara na osnovu greške upravljanog izlaza se naziva **regulisanje**.

To ima za posledicu da se kod zatvorenih sistema automatskog upravljanja koriste sledeći pojmovi, termini:

- ZSAU - sistem automatskog regulisanja (**SAR**),
- upravljački sistem - **regulator**
- upravljanje **U** - **regulišući vektor**, **regulisanje Y**,
- upravljačka veličina - **regulišuća veličina**,
- upravljanji objekt - **regulisani objekt**,
- upravljeni izlaz - **regulisani izlaz**,
- upravljana veličina - **regulisana veličina**,
- upravljački deo objekta - **regulisani deo objekta**.

2.3.1 Osobine sistema automatskog regulisanja

- Sistem regulisanja se odlikuje zatvorenim kolom dejstva sa negativnom povratnom spregom, što predstavlja njegovu strukturnu osobinu.
- Potrebna i dovoljna informacija za pravilan rad regulatora je informacija o grešci regulisane veličine i njenim izvodima. U sistemu regulisanja informacija o premećaju se ne koristi za stvaranje upravljanja. Drugačije rečeno, regulator stupa u dejstvo na osnovu informacija o posledici (grešci), a ne uzroka (poremećaja). Zbog

toga sistem regulisanja ne može ni teorijski da ostvari idealan slučaj: on ne može da obezbedi stalnu podudarnost stvarnog i željenog ponašanja objekta ako na njega deluje poremećaj, ili ako se željeno ponašanje objekta menja tokom vremena.

- U sistemu regulisanja se ostvaruje jedino indirektna kompenzacija dejstva poremećaja.
- Regulator može da obezbedi zadovoljavajući rad objekta, bez obzira kakav poremećaj, do određenog intenziteta, deluje na taj objekt, što predstavlja bitnu prednost sistema regulisanja nad otvorenim sistemima automatskog upravljanja. Dovoljno je znati da je poremećaj najčešće slučajne prirode i u pogledu trenutka svog pojavljivanja i u pogledu trajanja njegovog dejstva, karaktera i intenziteta njegove promene. Šta više, ne može uvek da se predvidi koji sve poremećajne veličine mogu da deluju na objekt.
- Stabilnost objekta i stabilnost regulatora (svakog ponaosob) ne garantuje stabilnost sistema regulisanja. Ova činjenica čini analizu i sintezu (projektovanje) ovih sistema složenijom nego što su one za otvorene sisteme automatskog upravljanja. Ta činjenica takođe postavlja problem stabilnosti sistema regulisanja kao jedan od osnovnih problema koji treba da se pozitivno reše. Odatle proističe fundamentalan značaj proučavanja stabilnosti sistema regulisanja.
- Sistem regulisanja (podrazumeva se automatsko regulisanje) ne zahteva neposredno učešće čoveka u cilju ostvarenja zadovoljavajućeg rada objekta, bez obzira koliko poremećajnih veličina na njega deluje, ako su dozvoljenih intenziteta.

2.4 Funkcija i struktura upravljačkog sistema

Da bi upravljački sistem ostvario zadatak određen njegovom definicijom on mora da izvrši niz funkcija od kojih neke zavise, a neke ne, od koncepta upravljanja zastupljenog u sistemu automatskog upravljanja. Samim tim funkcije koje US izvršava mogu da se podele na:

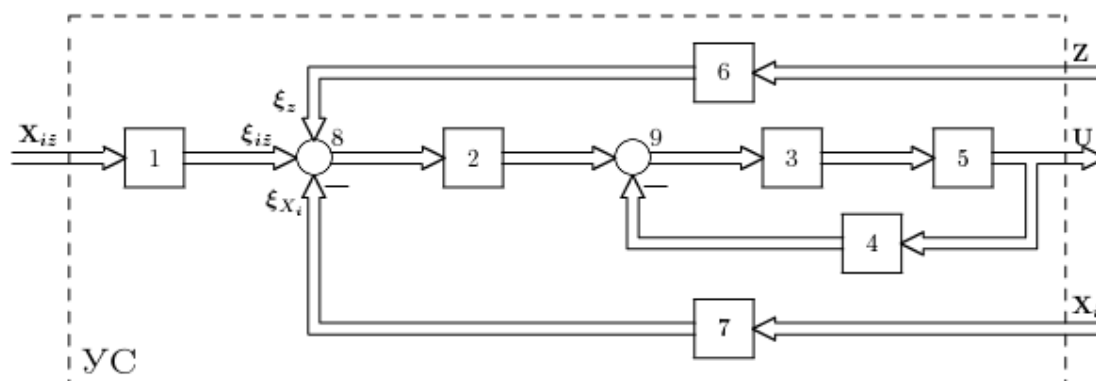
- *opšte funkcije upravljačkog sistema*, koje su sadržane u svakom koceptu upravljanja,
- *posebne funkcije upravljačkog sistema*, koje zavise od izabranog koncepta.

Deo upravljačkog sistema koji u potpunosti izvršava jednu njegovu funkciju se naziva **organ upravljačkog sistema**.

2.4.1 Opšte funkcije upravljačkog sistema

- Upravljački sistem treba da primi informaciju o željenom dinamičkom ponašanju objekta, X_{iz} , da zapamti tu informaciju i daje stalno signal ξ_{iz} o njoj. Organ upravljačkog sistema koji izvršava ovu funkciju je **zadavač**, pozicija 1 na struktunom dijagramu sa slike 2.8. Ako je $\xi_{iz} = \xi_{iz}(t)$ onda se zadavač naziva **programator**. U razmatranom primeru zadavač čine zavrtanj 3 i opruga 4, a signal ξ_{xz} o željenoj vrednosti $X_{iz} = n_z$ je srazmeran deformacionoj sili opruge.
- Upravljački sistem treba da ostvari zakon (algoritam) upravljanja. Ovu funkciju ostvaruje **korekcioni organ**, koji se u opštem slučaju sastoji od:
 - redni korekcioni organ, pozicija 2 sa slike 2.8,
 - korekcioni organ glavne grane lokalne povratne sprege, pozicija 3,
 - korekcioni organ povratne grane lokalne povratne sprege, pozicija 4.

U prikazanim primerima hidraulički prenosni organ sa krutom povratnom spregom (6, 7 i 8 sa slika 2.5 i 2.6) predstavlja korekcioni organ



Slika 2.8. Opšti strukturalni dijagram upravljačkog sistema

- Upravljački sistem treba da stvori upravljanje dovoljnog intenziteta u svakom trenutku. Ovu funkciju ostvaruje **izvršni organ**, pozicija 5 na slici 2.8. Izlaz iz izvršnog organa je ujedno i izlaz iz upravljačkog sistema, a to je upavljanje **U**. Izvršni organ upravljačkog sistema je uvek direktno spregnut sa upravljačkim organom objekta. U prethodnim primerima izvršni organ je hidraulički cilindar, a upravljački organ objekta je ventil 2, koji dejstva upravljanja prenosi na procesni deo objekta -parnu turbinu 1.

2.4.2 Posebne funkcije upravljačkog sistema

- U OSAUSDKDP i KSAU upravljački sistem treba da meri vrednosti poremećajnih veličina sadržane u vektoru **Z** i da koristi signal ξ_z o njima. Ovu njegovu funkciju ostvaruje **merni organ poremećaja**, pozicija 6 sa slike 2.8. U razmatranim primerima merni organ poremećaja čine blenda 9 i membranski motor 10.
- Kod SAR-a i KSAU-a upravljački sistem treba da izmeri stvarnu vrednost upravljanog izlaza **X**, i koristi signal ξ_x o njemu. Ovu funkciju realizuje **merni organ izlaza**, pozicija 7 na slici 2.8. Konusni zupčanici, rotirajuće kugle i ogrlica predstavljaju merni organ izlaza u razmatranim primerima.
- Upravljački sistem kod SAR-a, regulator, treba da utvrdi grešku upravljanog izlaza **ε**, upoređujući željeni i stvarni vektor izlaza. Ovu funkciju ostvaruje sabirač 8, koji se naziva **upoređivač**. Poluga 5 sa funkcionalne šeme prikazane na slici 2.6 predstavlja upoređivač datog regulatora.

Na osnovu prethodno izloženog, jasno je da je na slici 2.8 prikazan opšti strukturni dijagram upravljačkog sistema KSAU-a. Uklanjanjem pojedinih elemenata, tj. organa **US**, sa tog strukturnog dijagrama, mogu da se dobiju opšti strukturni dijagrami upravljačkih sistema svih ostalih koncepata automatskog upravljanja.