

2. REGULACIJA I NAČELA AUTOMATSKE REGULACIJE

- Prilikom promjene opterećenja objekta regulacije nastaje odstupanje regulirane veličine od nazivne vrijednosti
- U statičkom režimu dovod ili odvod energije ili tvari objektu regulacije su stalni
- *primjer*: razina tekućine u spremniku neće se mjenjati ako se istodobno dovodi i iz spremnika odvodi jednaka količina tekućine
- **Statičko ili ravnotežno** stanje objekta regulacije matematički se izražava:

$$Q_{\text{dov}} - Q_{\text{odv}} = 0$$

- gdje je:

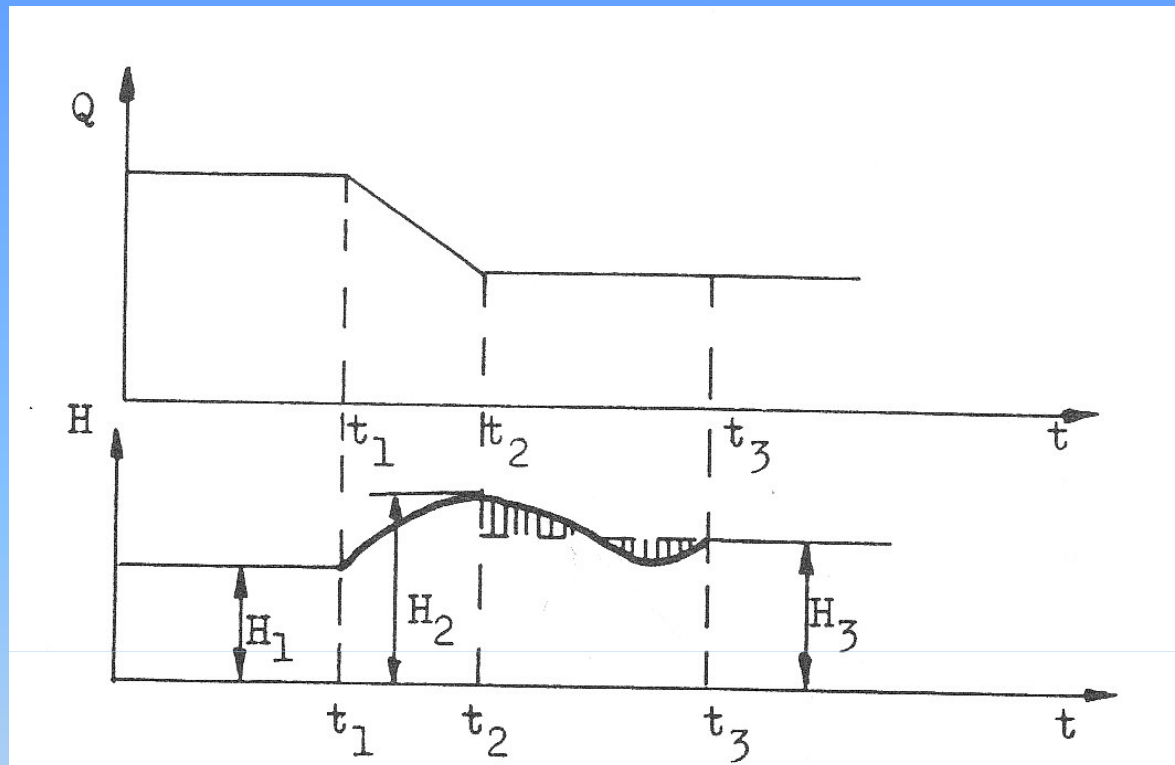
Q_{dov} – dovedena količina energije ili tvari objektu regulacije

Q_{odv} – odvedena količina energije ili tvari od objekta regulacije

- Objekt regulacije nalazi se u dinamičkom radnom režimu ako se naruši jednakost između energije ili tvari koje se reguliranom objektu dovode i od njega odvode
- *primjer*: razina tekućine koja se želi regulirati u spremniku mijenja se ako se mijenja količina tekućine koja se dovodi i odvodi iz spremnika
- Dinamički proces objekta regulacije može se predložiti matematičkim izrazom:

$$Q_{\text{dov}} - Q_{\text{odv}} \neq 0$$

- Zadatak regulatora je da dovede reguliranu veličinu u određenom vremenu ponovo na njezinu nazivnu vrijednost
- Otklanjanje malih odstupanja regulirane veličine od zadane vrijednosti obično je jako složeno
- Može se ustvrditi da su pri procesima regulacije neka odstupanja uvijek prisutna



Slika 9. : Dijagram regulacijskog procesa

- gdje je:

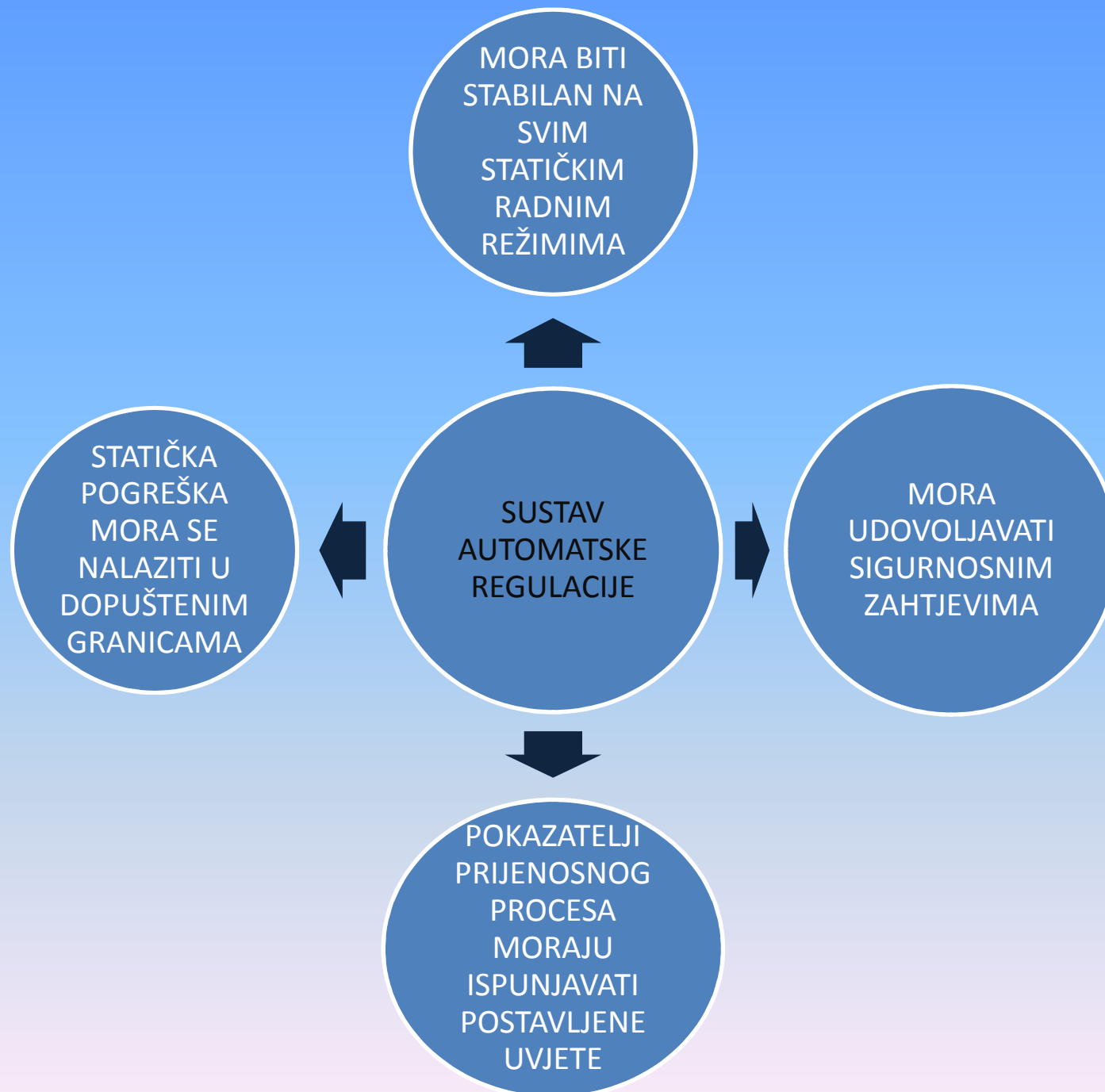
Q - opterećenje

t - vrijeme

H – razina regulirane veličine

- Na slici 9. grafički je prikazana ovisnost promjene opterećenja objekta regulacije i regulirane veličine
- Opterećenje Q počinje se mijenjati u trenutku $t = t_1$ uz istodobnu promjenu razine H
- Razina vode mijenja se i poslije prestanka promjena opterećenja sve dok se ne uspostavi novo ravnotežno stanje u trenutku $t = t_3$
- U vremenskom intervalu $t_1 - t_3$ regulirana veličina mijenja se zbog promjene poremećajnog djelovanja
- U trenutku t_2 vrijednost regulirane veličine ne odgovara njezinoj ravnotežnoj vrijednosti pri novom opterećenju objekta
- I nakon trenutka t_2 regulirana veličina nastaviti će se mijenjati dok se ne uspostavi njena ravnotežna vrijednost H_3 u nekom trenutku t_3
- Poremećajno djelovanje dovodi sustav u stanje u kojemu je regulirana veličina jednaka vrijednosti H_2 , te zatim sam sustav prelazi u ravnotežno stanje, u kojem regulirana veličina poprima novu vrijednost H_3

- Proces prijelaza sustava u ravnotežno stanje, obavljen u intervalu $t_2 - t_3$ zove se **PRIJELAZNI PROCES**
- U intervalu $t_1 - t_2$ neprekidno se mijenja vanjsko djelovanje i svakoju njegovoj vrijednosti odgovara ravnotežna vrijednost regulirane veličine
- Neprekidna promjena ravnotežnih vrijednosti stvara tzv. PRISILNO GIBANJE
- Ako sustav regulacije nije dobro projektiran u prijelaznom će se režimu regulirana veličina sve više udaljavati od zadane vrijednosti dok se uređaj regulacije ne zaustavi
- Takav sustav regulacije zove se NESTABILNI SUSTAV REGULACIJE
- Ako nakon određenog vremena u prijelaznom procesu regulirana veličina uspostavi određenu dopušteni vrijednost, tad je sustav regulacije STABILAN
- STATIČKA POGREŠKA je razlika između stvarne vrijednosti regulirane veličine na određenom statičkom radnom režimu i njezine zadane vrijednosti
(do trenutka t_1 statička pogreška je 0, poslije t_3 statička pogreška je $\Delta H = H_3 - H_1$)
- DINAMIČKA POGREŠKA je odstupanje regulirane veličine u prijelaznom procesu od njezine vrijednosti u novom statičkom radnom režimu ($H_3 - H_2$)



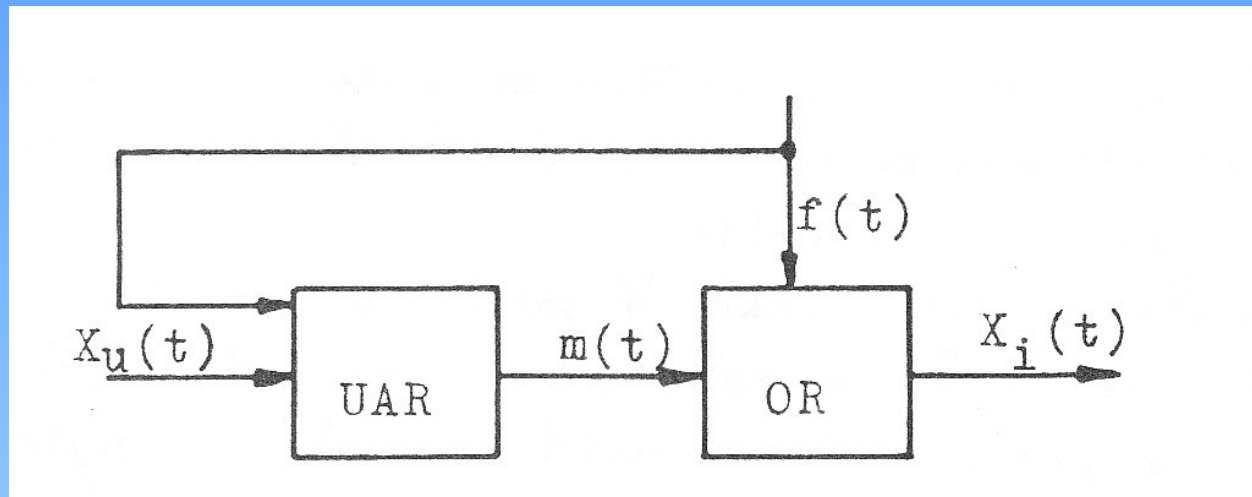
NAČELA AUTOMATSKE REGULACIJE ZASNIVAJU SE NA

```
graph TD; A[NAČELA AUTOMATSKE REGULACIJE ZASNIVAJU SE NA] --- B[POREMEĆAJNOM DJELOVANJU]; A --- C[ODSTUPANJU REGULIRANE VELIČINE OD ZADANE VELIČINE]; A --- D[KOMBINACIJI TA DVA DJELOVANJA];
```

POREMEĆAJNOM
DJELOVANJU

ODSTUPANJU REGULIRANE
VELIČINE OD ZADANE
VELIČINE

KOMBINACIJI TA DVA
DJELOVANJA

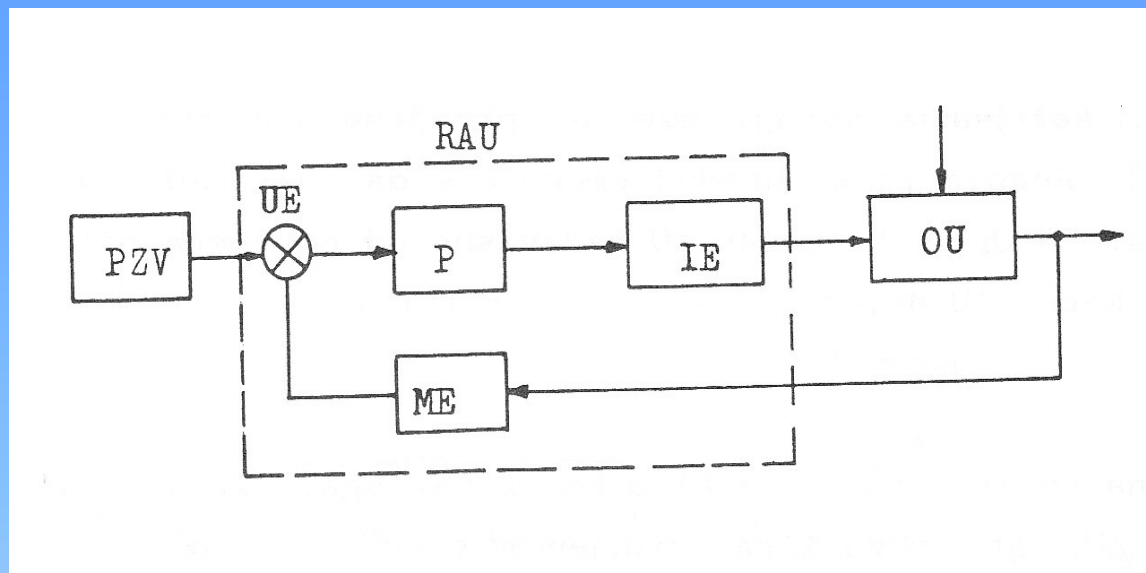


Slika 10.: Shema sustava regulacije prema poremećajnom djelovanju

- gdje je: X_i – izlazna veličina
- X_u – ulazna veličina
- m – regulirajuće djelovanje
- f – poremećajno djelovanje
- UAR – uređaj automatske regulacije
- OR – objekt regulacije

- Načelo regulacije prema poremećajnom djelovanju jest načelo njegove kompenzacije
- Pri djelovanju poremećaja na objekt regulacije regulirane veličine odstupaju od zadane vrijednosti
- Poremećajno djelovanje **$f(t)$** dovodi se u uređaj automatske regulacije gdje se mjeri i pretvara u signal, koji zajedno sa signalom ulazne veličine daje signal regulirajućeg djelovanja **$m(t)$**
- Signal regulirajućeg djelovanja **$m(t)$** mora biti takav da potpuno ili djelomično kompenzira utjecaj poremećaja na regulirani objekt
- U ovakvom sustavu ne kontrolira se vrijednost izlaznog signala (izlazne veličine) što znači da regulirajuće djelovanje **$m(t)$** ne ovisi o izlaznom signalu tj. nema povratnog djelovanja izlaznog signala
- Ovakav sustav regulacije se naziva **otvoreni sustav** jer ima prekinut (otvoren) krug prijenosa signala
- Sustav kompenzacije utjecaja poremećajnih djelovanja ovisi o mogućnosti mjerenja i o točnosti poznavanja samih karakteristika objekta regulacije

- Regulacija prema poremećaju može se uspješno primjenivati kada su poznate karakteristike objekta regulacije i kada postoje mogućnosti da se mjere poremećajna djelovanja
- Kada postoji prisustvo većeg broja vanjskih poremećaja (poremećajnog djelovanja) izlazni signal (regulirana veličina) može znatno odstupati od propisanih vrijednosti
- Kompenzacija svih vanjskih poremećaja praktično je nemoguća jer se jedan dio tih poremećaja ne može izmjeriti – kompenziraju se oni poremećaji koji imaju najveći utjecaj na izlazni signal
- Otvoreni sustavi regulacije našli su primjenu na uređajima koji ne zahtjevaju veliku točnost regulacije , a velika prednost im je jednostavnost
- Znatna upotreba za rješavanje jednostavnijih slučajeva automatizacije (automatsko uključivanje i isključivanje rasvjete, ventilacije i sl.)



Slika 11.: Funkcionalna shema sustava regulacije prema odstupanju

- gdje je: OU – objekt upravljanja
- UE – usporedbeni element
- P – pojačalo
- IE – izvršni element
- ME – mjerni element
- PZV – postavnik zadane vrijednosti

- Načelo regulacije prema odstupanju (pogrešci) naziva se i Pulzon-Wattovo načelo
- Ovo načelo temelji se na mjerenju stvarne vrijednosti izlaznog signala (regulirane veličine) i njezinoj usporedbi sa zadanom vrijednošću
- Razlika između zadane vrijednosti (ulaznog signala) i stvarne vrijednosti regulirane veličine zove se **odstupanje ili pogreška**
- Na temelju odstupanja regulacijski uređaj ostvaruje regulacijsko djelovanje
- Regulacijskim djelovanjem nastoji se smanjiti ili potpuno ukloniti odstupanje
- Na slici 11. prikazana je shema regulacije prema odstupanju
- Željena vrijednost izlaznog signala određena je zadanim djelovanjem (ulaznim signalom)
- Izlazni signal mjeri se mjernim elementom ME i dovodi se na ulaz usporedbenom elementu UE koji uspoređuje izmjerenu vrijednost izlaznog signala s vrijednošću ulaznog signala te određuje odstupanje među njima:

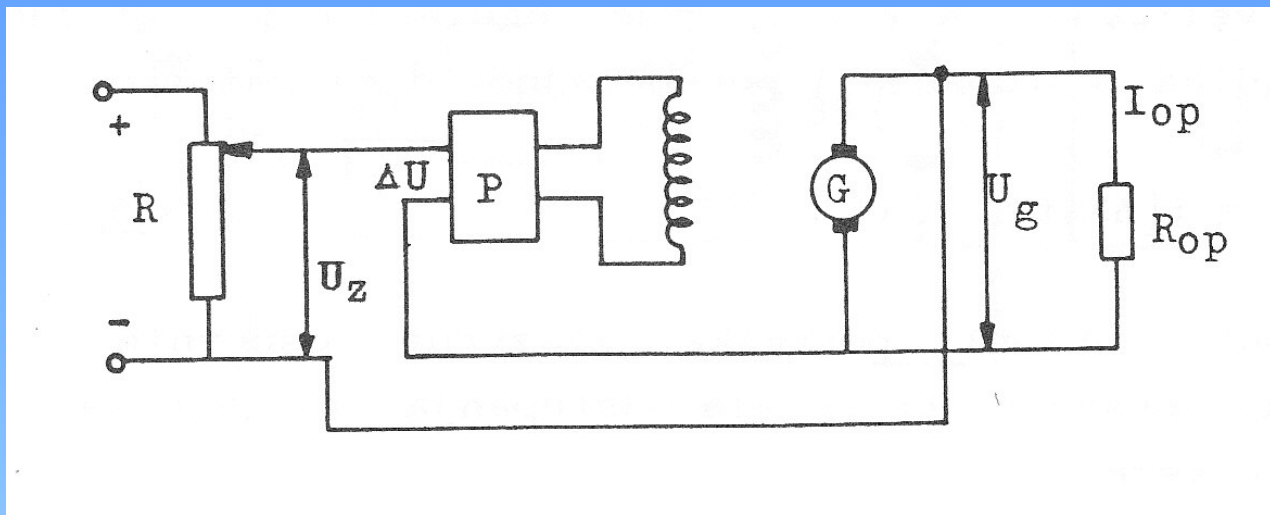
$$\Delta X(t) = X_u(t) - X_i(t)$$

- Nakon pojačanja signala u pojačalu i pretvorbe u pretvorniku signal odstupanja sada djeluje kao signal regulirajućeg djelovanja koje nastoji odstupanje svesti na nulu
- Za razliku od regulacije prema poremećaju, ovdje se regulirajuće djelovanje **m(t)** javlja kao funkcija odstupanja **ΔX**:

$$m(t) = f[\Delta X(t)]$$

- Kod ovog tipa regulacije ne mjere se poremećaji na objekt upravljanja
- Mjerni element, usporedbeni element, pojačalo i pretvornik formiraju regulacijski automatski uređaj RAU
- Sustav regulacije s povratnom vezom naziva se **zatvoreni sustav**
- Na ovom sustavu se regulirajuće djelovanje ostvaruje na temelju informacija o stvarnoj vrijednosti izlaznog signala te njegovom odstupanju od zadane vrijednosti a ne na temelju vrijednosti poremećajnog djelovanja

- Ovakav sustav je pouzdaniji te je u širokoj primjeni u tehnici
- Nedostatak je što je regulirajuće djelovanje usmjereno na uklanjanje pogreške, što znači da se pogreška prvo mora dogoditi da bi se uklonila
- U SUSTAVIMA AUTOMATSKE REGULACIJE SIGNAL SE PRENOSI:
 - izravnom (smjer ulaz - izlaz) i povratnom vezom (smjer izlaz – ulaz)
- POVRATNA VEZA MOŽE BITI:
 - glavna (prijenos signala s izlaza objekta na ulaz objekta)
 - pomoćna (prijenos signala s izlaza bilo kojeg člana na ulaz prethodnog člana sustava regulacije)
- POVRATNA VEZA TAKOĐER MOŽE BITI:
 - pozitivna (signal povratne veze zbraja se s ulaznim signalom)
 - negativna (signal povratne veze oduzima se od ulaznog signala)



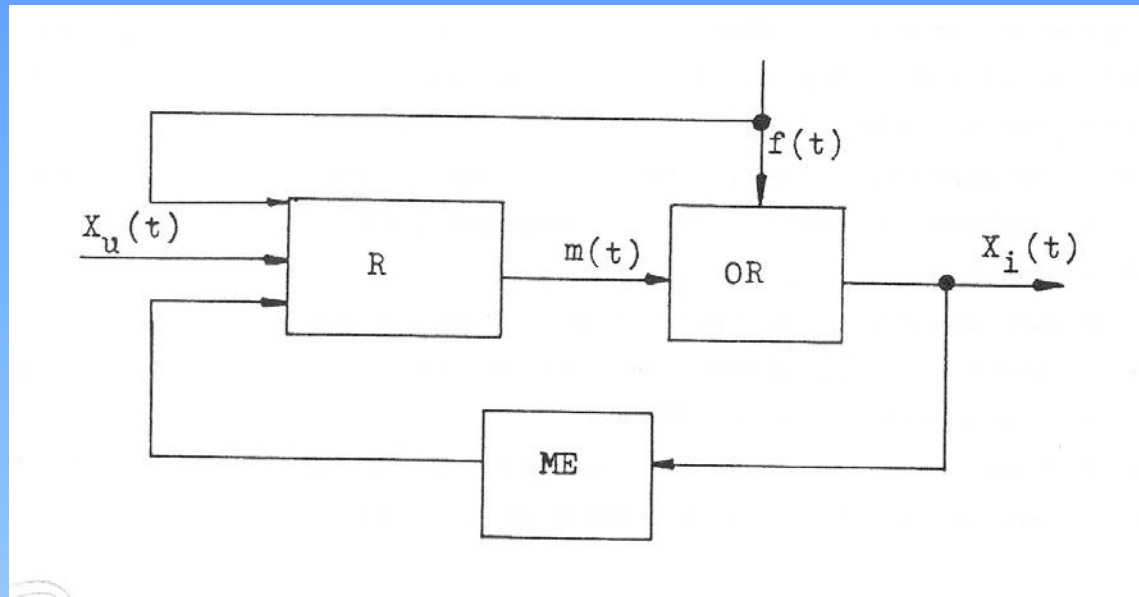
Slika 12.: Sustav regulacije napona generatora istosmjerne struje prema odstupanju

- gdje je: G – generator
- U_g – napon generatora
- P – pojačalo
- R_{op} – otpor opterećenja
- R – otpornik
- I_{op} – jakost struje opterećenja

- Regulator se sastoji od izvora zadatog napona U_z , pojačala P i povratne veze po kojoj se dovodi stvarna vrijednost generatorskog napona U_g generatora G
- Generatorski napon uspoređuje se sa zadanom vrijednošću napona na ulazu pojačala
- Ako nema regulatora generatorski napon se može mijenjati zbog više faktora: promjene struje opterećenja, kolebanja struje uzbude, promjene temperature okolina i sl.
- Regulacijski uređaj omogućuje da se održava napon generatora U_g s točnošću ΔU nezavisno od poremećajnih djelovanja
- Napon ΔU dovodi se na ulaz pojačala P :

$$\Delta U = U_z - U_g$$

- Porast napona generatora izaziva pad napona ΔU , što rezultira smanjenom strujom uzbude a zbog toga se smanjuje napon generatora
- Pri smanjenom naponu U_g povećava se napon ΔU , što dalje uzrokuje porast uzbude generatora napona

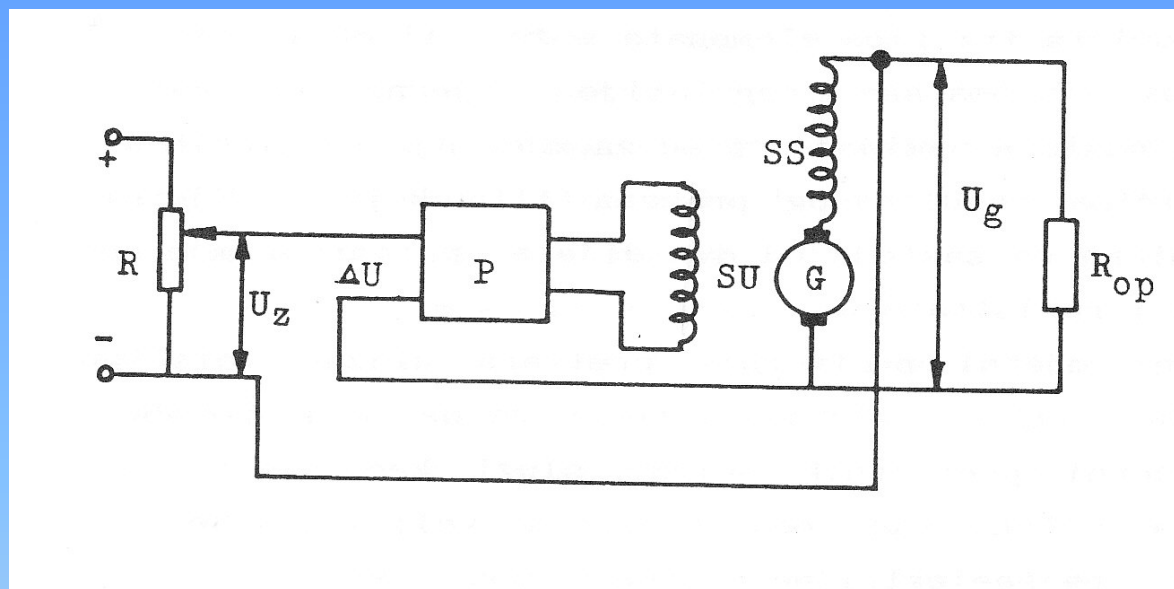


Slika 13.: Blok-shema sustava regulacije s kombiniranim djelovanjem

- gdje je: X_u - ulazna veličina
- X_i - izlazna veličina
- m - regulirajuće djelovanje
- f - poremećajno djelovanje
- ME – mjerni element
- R – regulator
- OR – objekt regulacije

- Načelo **kombinirane regulacije** koristi se u automatskim sustavima kod kojih se zahtjeva visoka točnost regulacije
- Rade na načelu kombinirane regulacije prema odstupanju i prema poremećaju
- Regulacijom prema poremećaju dobivaju se podaci o osnovnim poremećajima na objekt regulacije, a regulacijom prema odstupanju eliminira se nastala pogreška pomoću povratne veze
- Krug povratne veze eliminira utjecaj svih ostalih poremećajnih djelovanja za koje nemamo podatke
- Postavna veličina kod kombinirane regulacije pojavljuje se kao kombinacija odstupanja i poremećajnog djelovanja:

$$m(t) = f [\Delta X(t), f(t)]$$

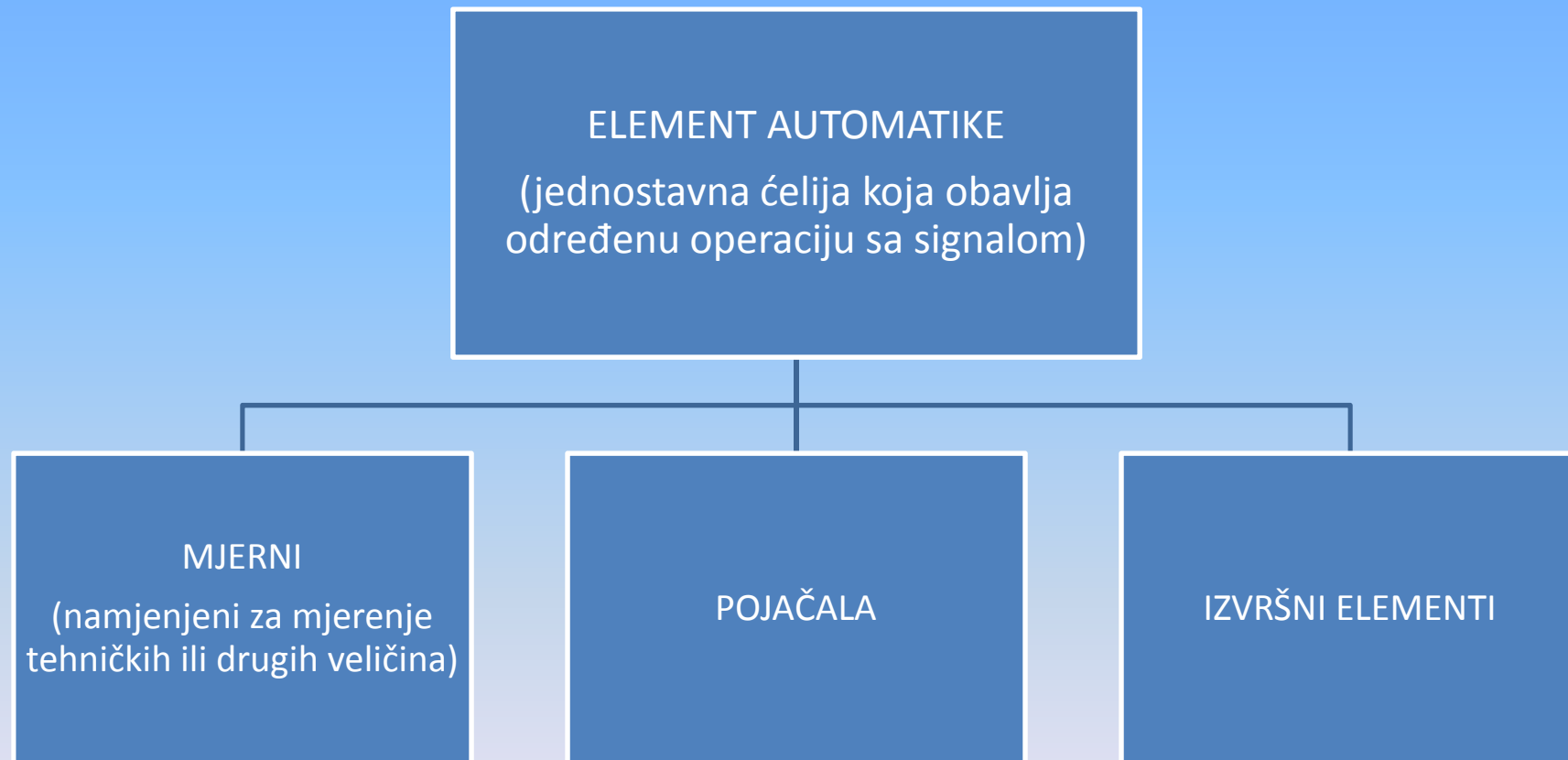


Slika 14.: Kombinirani sustav regulacije napona generatora istosmjerne struje

- gdje je: G – generator
- P – pojačalo
- SS – serijski svitak (zavojnica)
- SU – svitak uzbude
- U_g – napon generatora na stezaljkama
- R_{op} – otpor opterećenja

- Na slici 14. prikazana je shema kombinirane regulacije napona generatora
- Načelo regulacije prema poremećaju ostvaruje se preko serijskog svitka **SS**, a načelo regulacije prema odstupanju preko kruga povratne veze
- Promjena struje opterećenja (poremećajno djelovanje) dovodi do izmjene struje djelovanjem serijskog svitka
- Pravilnim proračunom serijskog svitka moguće je dobiti nezavisnost napona generatora od struje opterećenja
- Druge vrste poremećaja mogu dovesti do promjene napona generatora, radi čega reagira povratna veza (kako je prethodno opisano na slučaju sa slice 12.)
- Povratna veza nastoji održavati reguliranu veličinu u dopuštenim granicama

- SUSTAVI AUTOMATSKE REGULACIJE SASTOJE SE OD ELEMENATA AUTOMATIKE



POMOĆNI IZVORI ENERGIJE ZA AUTOMATSKE SUSTAVE

- Najčešći oblici pomoćnih (dodatnih) izvora energije automatskih sustava su električna energija, energija tlaka različitih fluida (tekućina) te stlačeni zrak
- Prednost hidrauličkih sustava je sigurnost djelovanja i dobre dinamičke karakteristike stapnih servomotora
- Nedostaci su u tome da u slučaju ako je radni medij ulje uvijek postoji mogućnost zapaljenja uljnih para
- Ako je radni medij voda postoji opasnost od korozije pojedinih dijelova automatskih sustava
- Sustavi s električnom energijom jako su pogodni za kombiniranje najsloženijih shema regulacije te su vrlo pogodni za sustave s daljinskim upravljanjem
- Logičke i računske operacije u sustavima regulacije s elektroničkim sklopovima vrlo je lako izvesti te je jako olakšana mogućnost uključanja računala za vođenje procesa (PLC)

- Elektromotor kao servomotor automatske regulacije posjeduje manju inertnost nego hidraulički servomotor
- Za zamah ili zaustavljanje elektromotora potrebno je manje vremena od hidrauličkog servomotora što unosi manje odstupanje u procesu regulacije nego kod hidrauličkog sustav regulacije
- Električni servomotori imaju i veću snagu djelovanja kad i ako je ona potrebna
- Veći nedostatak je u slučaju upotrebe električnih sklopova u prostorima s eksplozivnom atmosferom gdje postoji opasnost od eksplozije
- Također upotrebom kontaktnih elemenata smanjuje se sigurnost zbog iskrenja na kontaktima i mogućnosti nagaranja

- Sigurnost se znatno povećava koristi li se beskontaktna tehnika poluvodiča i magnetskih kontakata (danas prevladavajuće)
- Elektronički sustavi regulacije najbrže djeluju na dolazeći signal
- Pneumatski sustavi dugo se koriste, te im je zrak pod tlakom glavni izvor energije
- Dobre strane su laka dostupnost zraka te nisu potrebne povratne cijevi za zrak što pojednostavnjuje sustav regulacije
- Uređaji su sigurni od eksplozije
- Nedostatak im je stlačivost zraka što uzrokuje dodatne dinamičke pogreške u regulaciji
- Veliki nedostatak im je i vlažnost stlačenog zraka što može uzrokovati koroziju dijelova regulacijskog sustava
- U automatskim regulacijskim sustavima često se koristi i kombinacijom različitih medija odnosno energija