

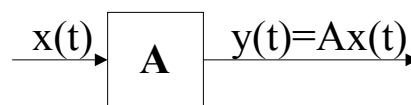
3. Pojačavači

3.1. Funkcija pojačavača u sistemu automatskog upravljanja i regulacije

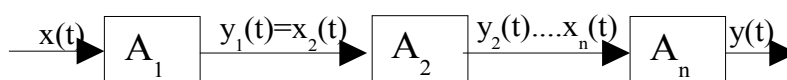
Izlazni signali koje daju merni pretvarači, kao i signal greške koji se formira u detektoru signala greške obično imaju malu snagu, nedovoljnu za ostvarivanje željenog efekta, pa se zato moraju pojačati. *Pojačavači* su uređaji u kojima se obavlja kvantitativno pretvaranje (pojačanje) ulaznog signala $x(t)$ zahvaljujući postojanju pomoćnog izvora energije (slika 3.1). Izlazni signal pojačavača je

$$y(t) = Ax(t),$$

gde je $x(t)$ ulazni signal, a A pojačanje pojačavača. Pojačanje A je neimenovan broj koji označava koliko puta je izlazni signal veći od ulaznog. Pojačavači mogu da budu jednostepeni i višestepeni. Princip rada višestepenih pojačavača je prikazan na slici 3.2.



Slika 3.1. Pojačavač



Slika 3.2. Višestepeni pojačavač

Izlazni signal iz prvog stepena $y_1(t) = A_1x(t)$ vodi se na ulaz drugog stepena $y_1(t) = x_2(t)$, u kome se pojačava:

$$y_2(t) = A_2x_2(t) = A_1A_2x(t)$$

A_1 i A_2 su pojačanja prvog i drugog stepena. Izlazni signal iz drugog stepena deluje na ulaz narednog stepena i tako sve do poslednjeg, izlaznog stepena, čiji je izlazni signal

$$y(t) = A_1A_2 \cdots A_nx(t) = Ax(t),$$

gde je A pojačanje višestepenog pojačavača

$$A = A_1A_2 \cdots A_n.$$

Prema energiji koja se dovodi iz spoljašnjeg izvora, pojačavači koji se koriste u sistemima upravljanja mogu biti električni, hidraulični i pneumatski. Hidraulični i pneumatski elementi automatizacije koriste energiju fluida, koji je kod hidrauličnih elemenata tečnost, najčešće ulje pod pritiskom, a kod pneumatskih elemenata komprimovani vazduh.

Osnovne karakteristike pojačavača su koeficijent pojačanja (ili kraće pojačanje pojačavača), energetska svojstva i vremenska konstanta.

Koeficijent pojačanja je odnos izlaznog i ulaznog signala.

U zavisnosti od prirode signala, definišu se:

- *pojačanje snage*, kao odnos izlazne i ulazne snage $k_p = \frac{P_{iz}}{P_{ul}}$,
- *pojačanje struje*, kao odnos izlazne i ulazne struje $k_i = \frac{I_{iz}}{I_{ul}}$,
- *pojačanje napona*, kao odnos izlaznog i ulaznog napona $k_u = \frac{U_{iz}}{U_{ul}}$.

Energetska svojstva pojačavača su snaga koja se dobija iz pomoćnog izvora, izlazna snaga pojačavača i koeficijent iskorišćenja.

Vremenska konstanta je dinamička karakteristika koja ukazuje na brzinu odziva pojačavača. Najjednostavnije rečeno, to je vreme koje je potrebno da se od momenta pojave signala na ulazu pojačavača, na izlazu pojavi signal odgovarajuće vrednosti (ništa se ne može desiti trenutno). Na primer, kod elektronskih pojačavača vremenska konstanta je reda 10^{-6} s do 10^{-10} s, dok je kod pneumatskih pojačavača reda 0.1s do 1s.

U okviru ovog poglavlja prvo ćemo se pozabaviti elektronskim (pojačavač jednosmerne struje, operacioni pojačavač, fazno osetljivi pojačavač), zatim električnim (elektromašinski i magnetni) i na kraju neelektričnim pojačavačima (mehanički, pneumatski i hidraulični).

3.2. Elektronski pojačavači

Elektronski pojačavači su četvorokrajna elektronska kola (slika 3.3) koja imaju osobinu da je električna snaga P_2 , koju pojačavač odaje prijemniku R_p , veća od električne snage P_1 , koju pojačavač prima od izvora ulaznog signala:

$$P_2 > P_1$$



Slika 3.3. Četvorokrajno elektronsko kolo

Kako se električna snaga može izraziti proizvodom napona i struje, matematička definicija pojačavača, izražena prethodnom relacijom, može se zameniti sledećom relacijom:

$$U_2 I_2 > U_1 I_1$$

Poslednju relaciju zadovoljavaju elektronska kola koja imaju jednu od sledećih osobina:

- $U_2 \gg U_1, I_2 \ll I_1$ - pojačavači napona,
- $I_2 \gg I_1, U_2 \ll U_1$ - pojačavači struje,
- $U_2 \gg U_1, I_2 \gg I_1$ - pojačavači snage.

Navedena podela pojačavača proizilazi iz same definicije pojačavača. Međutim, pojačavači se razlikuju i prema tome kakvi se električni signali pojačavaju. Prema obliku vremenske zavisnosti električnih signala pojačavači se razvrstavaju na pojačavače jednosmernih signala, pojačavače naizmjeničnih signala niskih frekvencija (NF pojačavači za signale frekvencija od 20Hz do 20kHz), pojačavače naizmjeničnih signala visokih frekvencija uskog opsega frekvencija (VF selektivni pojačavači) i pojačavače širokog opsega frekvencija (od 0Hz do više MHz) ili impulsne pojačavače.

Elektronski pojačavači jednosmernih električnih signala nalaze primenu u elektronskim mernim i regulacionim uređajima, u analognim računskim mašinama i drugde. Pojačavači naizmjeničnih signala niskih frekvencija imaju najširu primenu. Gotovo da i nema oblasti primenjene elektronike u kojoj nisu zastupljeni. Selektivni pojačavaci visokih frekvencija tipični su za žičane i bežične komunikacije, mada se mogu sresti i u nekim drugim oblastima. Pojačavači širokog opsega, ili impulsni pojačavači, primenjuju se u digitalnim sistemima, televiziji, radarskoj tehnici i drugim oblastima.

3.2.1. Primer: elektronski pojačavač jednosmerne struje

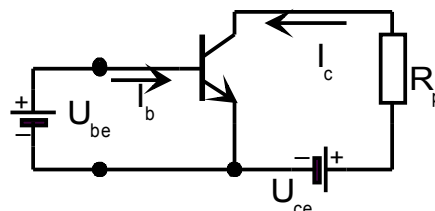
Osnovni pojačavački (aktivni) elementi elektronskih pojačavača su tranzistori. U elektronici se pokazuje da tranzistor ima osobinu pojačavaca struje. Moguće su tri osnovne veze tranzistora u kolo pojačavača: veza sa zajedničkim emitorom, veza sa zajedničkom bazom i veza sa zajedničkim kolektorom. Kao ilustraciju uzećemo pojačavač sa zajedničkim emitorom (slika 3.12).

Ako se struja baze posmatra kao ulazna struja, u kolu kolektora se javlja struja I_c koja je β puta veća od struje baze:

$$I_c = \beta I_b$$

gde je β koeficijent strujnog pojačanja tranzistora.

Pošto se elektronski pojačavači detaljnije obrađuju u okviru elektronike, ovde se nećemo upuštati u detaljan opis njihovog rada.

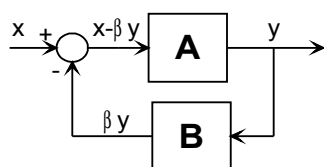


Slika 3.4. pojačavač sa zajedničkim emitorom

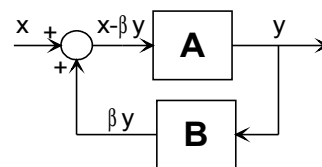
3.3. Pojačavači sa povratnom spregom

Pod povratnom spregom se kod pojačavača podrazumeva električna veza između izlaza i ulaza pojačavača, kojom se deo izlaznog signala vraća na ulaz tako da umanjuje ili povećava amplitudu signala na ulazu pojačavača. Povratna sprega kojom se povećava signal na ulazu naziva se pozitivna povratna sprega ili pozitivna reakcija, a ona kojom se umanjuje signal na ulazu negativna povratna sprega ili negativna reakcija.

Na slici 3.5 je prikazana blok šema za slučaj negativne povratne sprege, a na slici 3.6 blok šema za slučaj pozitivne povratne sprege.



Slika 3.5. Negativna povratna sprega



Slika 3.6. Pozitivna povratna sprega

Ukupno pojačanje A_r kola sa negativnom povratnom spregom će iznositi:

$$A_r = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Analogno tome, ukupno pojačanje A_r za slučaj kada imamo kolo sa pozitivnom povratnom spregom će iznositi:

$$A_r = \frac{A}{1 - \beta A}$$

gde je:

- A – pojačanje kola u direktnoj grani (vrednost pojačanja kad ne bi bilo povratne sprege),
- β – stepen reakcije ili stepen povratne sprege (pojačanje u kolu povratne sprege – koliko se pojača ili oslabi signal sa izlaza dok stigne na ulaz),
- x – ulazna veličina pojačavača,
- y – izlazna veličina pojačavača.

Ovo važi za sve tipove pojačavača – i električne i neelektrične. Neki pojačavači se koriste bez povratne sprege, a neki sa povratnom spregom.

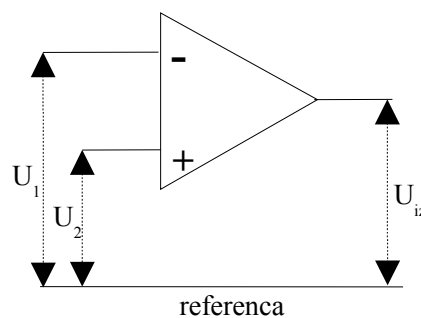
Pojačavači se, u opštem slučaju, sastoje od više različitih elemenata. Promenom spoljnih uslova, starenjem pojedinih elemenata ili čak sa većom promenom ulaznog signala pojačavača može da dođe do promene koeficijenta pojačanja pojačavača. Na promenu pojačanja mogu uticati i karakteristike i kvalitet pojedinih delova pojačavača. Povratna sprega se, između ostalog, koristi da bi se izbegle ili bar ublažile promene koeficijenta pojačanja u takvim situacijama. Najčešće se koristi negativna povratna sprega radi povećanja stabilnosti pojačanja pojačavača u odnosu na promene parametara pojačavačkih elemenata.

3.4. Operacioni pojačavači

Operacioni pojačavač je diferencijalni pojačavač sa dva ulaza i jednim izlazom. Na izlazi operacionog pojačavača se dobija signal čija je veličina određena razlikom ulaznih napona U_1 i U_2 , kao i pojačanjem A:

$$U_{iz} = A \cdot (U_2 - U_1)$$

Upotrebom negativne povratne sprege i dodatnih elemenata, kao što su otpornici, kondenzatori, kalemovi, uz pomoć operacionog pojačavača mogu da se izvode matematičke operacije sa električnim signalima (sabiranje, oduzimanje, množenje konstantom, ...).



Slika 3.7. Operacioni pojačavač

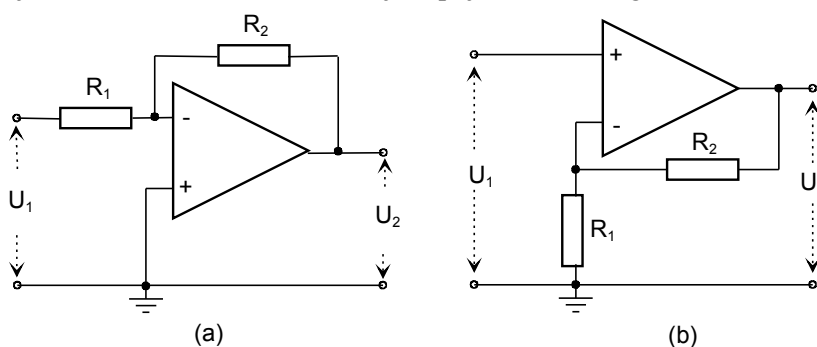
Radi uspešnog obavljanja ovih operacija operacioni pojačavači moraju posedovati sledeće osobine:

- veliko pojačanje bez reakcije (veće od 100000),
- veliku ulaznu otpornost (veću od 100 kQ),
- malu izlaznu otpornost (manju od 100 Q),
- veliku temperaturnu stabilnost jednosmernog režima rada tranzistora.

Usled tako strogih zahteva operacioni pojačavač je dosta složeno elektronsko kolo, sa velikim brojem tranzistora i drugih elemenata. Zato je dobro rešenje da se izrađuje u integrisanoj tehnologiji. Simbolička oznaka operacionog pojačavača prikazana je na slici 3.7. Ulaz označen znakom minus je invertujući. To znači da ako se na invertujući ulaz dovede napon pojačani napon je suprotnog znaka od ulaznog. Znakom plus označava se neinvertujući ulaz. Ako se na neinvertujući ulaz dovede napon pojačani napon je istog znaka kao napon doveden na ovaj ulaz. Takva osobina operacionih pojačavača omogućena je napajanjem iz dva izvora suprotnih polariteta.

3.4.1 Primer 1: Invertujući i neinvertujući pojačavač

Kod operacionih pojačavača redovno se primenjuje negativna povratna sprega ili negativna reakcija. Osnovni načini izvođenja negativne reakcije prikazani su na slici 3.8. Na slici 3.8a je prikazan invertujući, a na slici 3.8b neinvertujući pojačavač sa negativnom reakcijom.



Slika 3.8. Operacioni pojačavač sa negativnom povratnom spregom

Smatra se da je operacioni pojačavač idealan ako su mu ulazna impedansa i pojačanje beskonačno velike vrednosti, a izlazna impedansa jednaka nuli.

Prvo ćemo posmatrati invertujući pojačavač:

Na slici 3.8a se vidi da se ulazni napon dovodi na invertujući ulaz operacionog pojačavača. Ako kažemo da je operacioni pojačavač idealan, znači da smatramo da je ulazna impedansa skoro beskonačna, odakle sledi da struja ne ulazi u operacioni pojačavač već da se kreće kroz granu povratne sprege ka izlazu. To takođe znači da su oba ulaza operacionog pojačavača na istom potencijalu, odakle na osnovu šeme sledi da su oba ulazna kraja operacionog pojačavača na potencijalu mase. Zbog toga se može izračunati da je struja kroz otpornik R_1 jednaka

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}.$$

Pošto struja ne može da teče u operacioni pojačavač, ona ide kroz granu povratne sprege. Na osnovu toga što je invertujući ulaz operacionog pojačavača na potencijalu mase, a uspeli smo da odredimo kolika je jačina struje koja ide kroz granu povratne sprege u smeru od ulaza ka izlazu, možemo izlazni napon odrediti kao:

$$U_2 = -R_2 I_1 = -\frac{R_2}{R_1} U_1.$$

Prema tome, naponsko pojačanje invertujućeg pojačavača sa negativnom povratnom spregom iznosi:

$$A = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Pojačanje neinvertujućeg pojačavača (slika 3.8b) se izračunava na sličan način. Opet važi pretpostavka da je operacioni pojačavač idealan. Pošto su ulazni krajevi operacionog pojačavača na istom potencijalu, struja kroz otpornik R_1 iznosi $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$. Napon na izlazu je

$$U_2 = (R_1 + R_2)I_1 = \frac{R_2 + R_1}{R_1}U_1,$$

$$U_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)U_1.$$

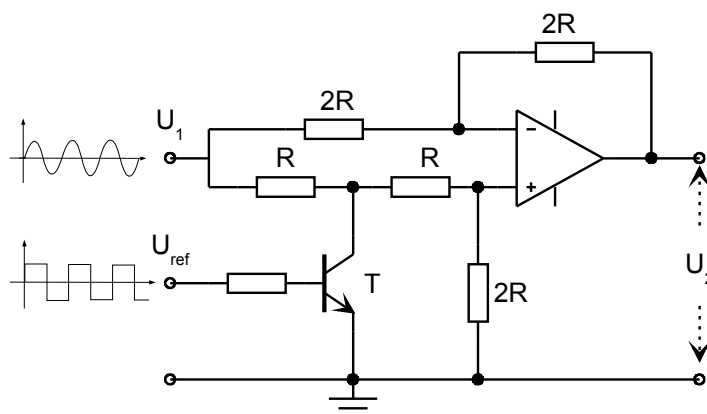
Na osnovu ovoga, naponsko pojačanje neinvertujućeg pojačavača sa negativnom povratnom spregom iznosi

$$A = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

Na osnovu dobijenih izraza za pojačanje i invertujućeg i neinvertujućeg pojačavača sa negativnom povratnom spregom vidimo da se može relativno jednostavno ostvariti željena vrednost pojačanja, kao i da to pojačanje ne zavisi od parametara pojačavača.

3.5. Fazno osetljivi pojačavači

Fazno osetljivi pojačavači su takvi pojačavači kod kojih izlazni napon zavisi od faznog stava ulaznog napona. Postoji dosta različitih izvedbi fazno osetljivih pojačavača. Ovde ćemo prikazati način rada fazno osetljivog pojačavača koji je realizovan pomoću operacionog pojačavača i tranzistora. U ovom slučaju se na ulaz dovodi naizmenični napon, a na izlazu se dobija jednosmerni napon čija srednja vrednost i polaritet zavise od faznog stava ulaznog napona.



Slika 3.9. Fazno osetljivi pojačavač

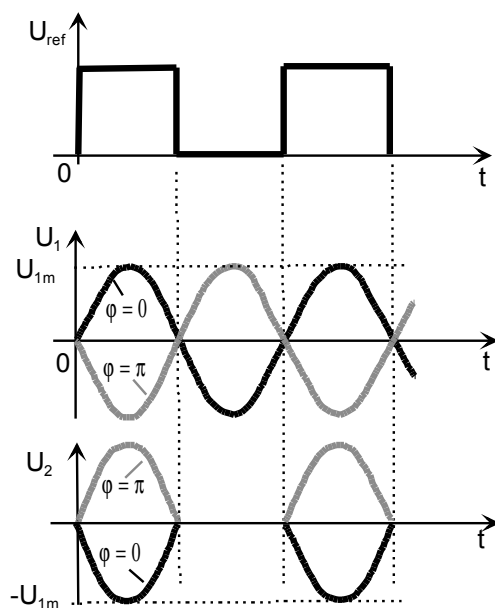
Na slici 3.9 prikazana je principna šema fazno osetljivog pojačavača sa operacionim pojačavačem i tranzistorom koji ima ulogu prekidača. Princip rada ovog pojačavača najlakše se objašnjava posmatranjem vremenskih dijagrama napona. Na slici 3.10 prikazani su vremenski dijagrami napona U_1 , U_{ref} i U_2 za slučaj kada se U_1 fazno poklapa sa U_{ref} .

Kada je napon U_{ref} veći od nule, tranzistor T provodi struju u režimu zasićenja, pa kratko spaja donji ulazni kraj operacionog pojačavača sa masom preko otpora R. Napon U_1 je prisutan na invertujućem ulazu, pa se na izlazu dobija invertovani napon U_1 . Kada je $U_{ref}=0$ tranzistor T ne provodi struju, pa je napon U_1 prisutan na oba ulaza operacionog pojačavača. Iz toga možemo da zaključimo da je tada izlazni napon jednak nuli. Sa dijagrama napona na slici 3.10, vidi se da je izlazni napon jednosmeran pulsirajući, čija je srednja vrednost:

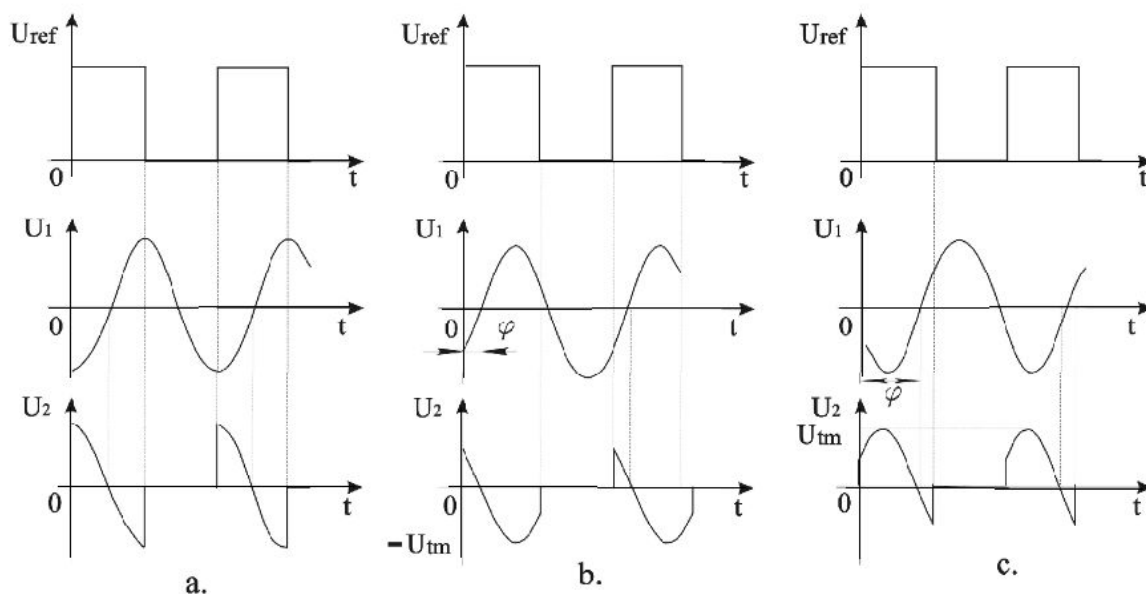
$$U_{2sr} = \frac{U_{1m}}{\pi},$$

dakle, srazmerna amplitudi ulaznog napona.

Kada ulazni napon promeni fazu za 180° električnih, njegov vremenski dijagram ima oblik koji je prikazan svetlijom linijom. Na izlazu pojačavača će postojati pozitivan pulsirajući napon, čija je srednja vrednost određena prethodnom relacijom.



Slika 3.10. Vremenski dijagrami napona fazno osetljivog pojačavača



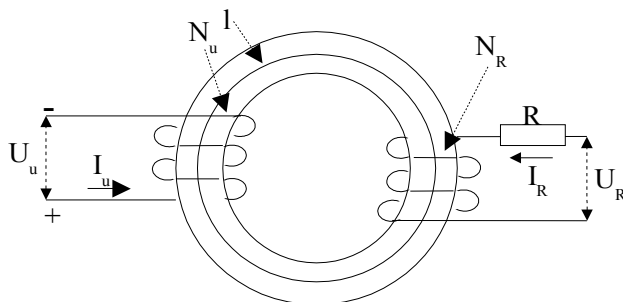
Slika 3.11. Vremenski dijagrami napona fazno osetljivog pojačavača

Kada je napon U_1 fazno pomeren prema U_{ref} za 90° električnih, kao što je prikazano na slici 3.11a, na izlazu se javlja naizmeničan napon nepravilnog oblika, čija je srednja vrednost jednaka nuli. Kada je napon U_1 fazno pomeren prema U_{ref} za fazni ugao $\varphi < 90^\circ$ električnih, izlazni napon ima oblik kao na slici 3.11b. Srednja vrednost ovog napona je negativna, i po apsolutnoj vrednosti manja od srednje vrednosti U_2 za slučaj kada je $\varphi = 0$. Kada je fazni pomeraj $\varphi > 90^\circ$ električnih, vremenski dijagram izlaznog napona ima oblik kao na slici 3.11c. Srednja vrednost ovog napona je pozitivna, ali manja od one za $\varphi = 180^\circ$ električnih. Uopšte, srednja vrednost napona U_2 u zavisnosti od amplitude i faznog stava napona U_2 određena je relacijom:

$$U_{2sr} = \frac{U_{1m}}{\pi} \cdot \cos \varphi$$

3.6. Magnetni pojačavači

Magnetni pojačavač je elektromagnetni uređaj koji ima svojstvo pojačavača električnih signala. Njegov rad se zasniva na svojstvu feromagnetnih materijala da menjaju magnetne osobine sa promenom jednosmerne struje koja se dovodi na namotaje koji su namotani oko tog materijala. Takvo delovanje jednosmerne struje na materijal naziva se predmagnetizirajuće dejstvo. Ono što se menja sa promenom te jednosmerne struje je magnetna permeabilnost (propustljivost) μ feromagnetnog materijala.



Slika 3.12. Magnetni pojačavač

Najjednostavniji magnetni pojačavač je prigušnica sa jezgrom od feromagnetnog materijala (slika 3.12), čija se induktivnost može menjati pod dejstvom upravljačke jednosmerne struje. Na zajedničkom torusnom jezgrom magnetne permeabilnost μ nalaze se ulazni – upravljački, i izlazni – radni namotaj. Na krajeve ulaznog namotaja priključen je jednosmerni upravljački signal U_u , a na krajevima izlaznog namotaja deluje naizmenični napon U_R , koji se dobija iz pomoćnog izvora energije.

Struja u izlaznom kolu je naizmenična, efektivne vrednosti:

$$I_R = \frac{U_R}{\sqrt{R_{iz}^2 + (\omega L)^2}}$$

gde su: $R_{iz} = R + r$ ukupna otpornost u izlaznom kolu, R – otpornost opterećenja, r – otpornost gubitaka izlaznog namotaja, ω – ugaona učestanost izlaznog napona i L – induktivnost izlaznog namotaja. Kada je $R_{iz} \ll \omega L$, približna jačina struje u izlaznom kolu zavisi od induktivnosti izlaznog namotaja:

$$I_R \approx \frac{U_R}{\omega L} = f(L).$$

Induktivnost izlaznog namotaja je:

$$L = \mu \frac{N_R^2 S}{l} = f(\mu)$$

Induktivnost izlaznog namotaja zavisi od magnetne permeabilnosti $\mu = \mu_0 \mu_r^*$, kao i od broja zavojaka N_R , poprečnog preseka S izlaznog namotaja i srednje dužine magnetnih linija l . Očigledno, jačina struje u izlaznom kolu zavisi od vrednosti magnetne permeabilnosti μ .

Feromagnetici su nelinearni magnetni materijali čija vrednost magnetne permeabilnosti μ zavisi od predmagnetizujućeg dejstva jednosmerne struje. Magnetna permeabilnost se računa kao odnos magnetne indukcije B i magnetnog polja H :

$$\mu = \frac{B}{H}.$$

Magnetno polje u jezgrom sadrži dve komponente: $H = H_u + H_s$, gde je

$$H_u = \frac{N_u I_u}{l}$$

jednosmerno polje koje potiče od struje I_u kroz upravljački namotaj, a

$$H_s = \frac{N_R I_R}{l}$$

* μ_0 je magnetna permeabilnost vakuuma, a μ_r je relativna magnetna permeabilnost feromagnetnog materijala.

naizmenično polje koje stvara naizmenična struja I_R kroz prigušnicu.

Kada je upravljački napon jednak nuli, $U_u=0$, na ulazu magnetnog pojačavača nema signala i jačina jednosmernog magnetnog polja je takođe jednaka nuli, $H_=0$. Tada je magnetna permeabilnost maksimalna, $\mu=max$, pa je i induktivnost izlaznog namotaja maksimalna, $L=max$. Izlazna struja I_R ima malu jačinu i naziva se *struja praznog hoda* I_{R0} . Veći deo izlaznog napona je na namotaju, a manji deo na opterećenju otpornosti R.

Kada se na ulaz dovede upravljački signal U_u , kroz ulazno kolo protiče jednosmerna struja I_u . Sa porastom jačine I_u jačina jednosmernog magnetnog polja $H_=$ raste. Jezgro se namagnetise i njegova magnetna permeabilnost μ opada. Reaktivna otpornost izlaznog namotaja ωL se smanjuje, pa izlazna struja I_R raste. Sada veći deo izlaznog napona ide na prijemnik R, a manji deo na namotaj.

Iz ovoga možemo da zaključimo da se pomoću jednosmerne struje I_u na ulazu, koja potiče od upravljačkog signala, upravlja jačinom struje u izlaznom kolu I_R .

Ako je broj zavoja ulaznog namotaja N_u mnogo veći od broja zavoja izlaznog namotaja N_R , $N_u \gg N_R$ (princip rada transformatora):

$$\frac{N_u}{N_R} = \frac{I_R}{I_u}$$

Pa se može pisati izraz za struju na prijemniku:

$$I_R = I_u \frac{N_u}{N_R} \gg I_u$$

Izlazna struja je mnogo veća od ulazne: dobija se pojačanje struje, odnosno veliki napon na prijemniku R.

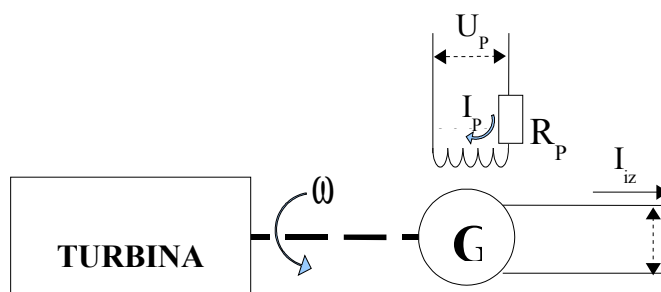
Jedna od važnih osobina magnetnih pojačavača je u tome što je električno kolo ulazne struje galvanski izolovano od kola izlazne struje. Kod elektronskih pojačavača ovaj zahtev se rešava dodavanjem dosta složenih elektronskih kola. Pored toga, magnetni pojačavači se odlikuju jednostavnošću konstrukcije, velikom stabilnošću rada i mogućnošću korišćenja u različitim uslovima (širok opseg temperaturnih promena, promena pritiska i vlažnosti, sigurnost od požara, jer nema izvora varničenja...). Nedostatak im je ograničena primena na pojačanje jednosmerne struje, kao i naizmeničnih, ali niskih učestanosti. Pored toga, magnetni materijali uzrokuju radio-smetnje, što je opasno u avionima ili brodovima.

3.7. Elektromašinski pojačavači

Elektromašinski pojačavači su uređaji koji pretvaraju mehaničku energiju u električnu, s tim da je električna energija koja se dovodi na ulaz mnogostruko manja od dobijene energije na izlazu.

Električna energija koja se dovodi na ulaz upravlja procesom transformacije mehaničke energije u električnu.

Postoji mnogo raznih izvora mehaničke energije. Kao ilustrativni primer izvora mehaničke energije uzećemo turbinu u hidroelektrani. Pojačavački element je u ovom primeru generator jednosmerne struje*.



Slika 3.13. Elektromašinski pojačavač

* Princip rada generatora jednosmerne struje opisan je u okviru gradiva prethodnog razreda: tahogenerator jednosmerne struje

Generator jednosmerne struje ima spoljašnju pobudu: na pobudni, statorski namotaj dovodi se ulazni napon U_p . Izlazni napon generatora zavisi od brzine obrtanja rotora ω , odnosno od broja obrtaja u minuti n :

$$U_{iz} = k_e \cdot \phi \cdot n,$$

gde je k_e konstrukciona konstanta generatora, a ϕ pobudni fluks.

Rotor generatora obrće se pomoću izvora mehaničke energije (u našem slučaju to je turbina) koji ima konstantan broj obrtaja u minuti ($n=const$). Pobudni fluks generatora ϕ zavisi od pobudne struje I_p :

$$\phi = k_\phi I_p,$$

gde je k_ϕ koeficijent proporcionalnosti. Ako ovo uzmemo u obzir, izlazni napon će biti:

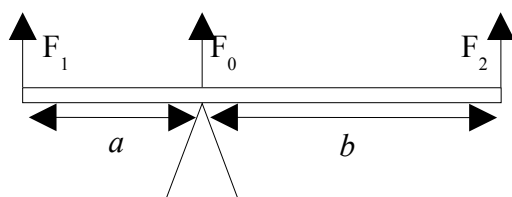
$$U_{iz} = k I_p.$$

Jačina pobudne struje može se menjati pomoću promenljivog otpornika u pobudnom kolu, R_p , odakle sledi da se izlazni napon može menjati u širokim granicama.

U primeru koji je naveden vrši se pretvaranje mehaničke energije koju daje turbina u električnu energiju na izlazu generatora, s tim da ulazni električni signal određuje veličinu energije na izlazu. U ovom slučaju je ulazna snaga $P_{ul} = U_p \cdot I_p$ mnogostruko manja od izlazne snage. Pojačanje snage se može izraziti sa:

$$k_p = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{U_{iz} \cdot I_{iz}}{U_p \cdot I_p}$$

3.8. Mehanički pojačavač



Slika 3.14. Poluga kao mehanički pojačavač

Najjednostavniji primer mehaničkog pojačavača je poluga, čiji je osnovni princip izvedbe i delovanja pokazan na slici 3.14.

Prema zakonu poluge moment sile F_1 i kraka a jednak je momentu sile F_2 i kraka b , odnosno

$$F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$$

Na osnovu toga, sila F_2 može da se dobije kao proizvod koeficijenta krakova a i b , i sile F_1 :

$$F_2 = \frac{a}{b} \cdot F_1 = K \cdot F_1.$$

Koeficijent krakova je zapravo pojačanje poluge K . Pojačanje poluge je veće ako je odnos krakova a i b veći, odnosno ako je oslonac poluge bliži sili F_2 . Ukupna sila koja opterećuje oslonac poluge iznosi:

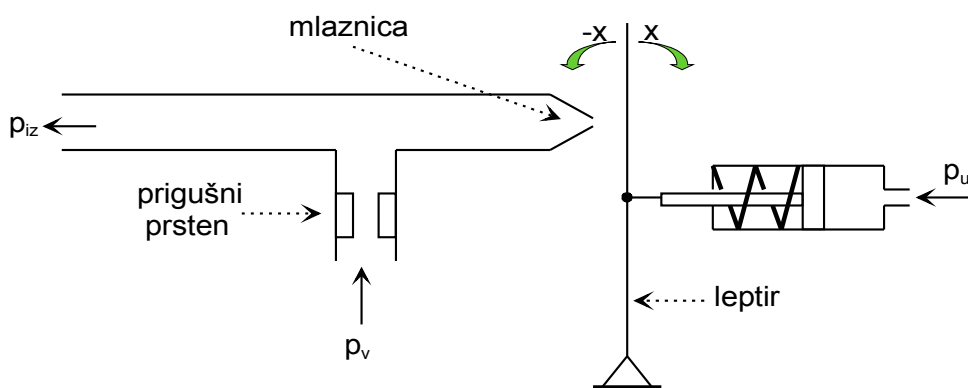
$$F_0 = F_1 + F_2.$$

Mehanički pojačavač sa polugom u načelu je analogan svim drugim izvedbama pojačavača. Ulazna veličina pojačavača može se uporediti sa silom F_1 , izlazna sa silom F_2 , a ukupno opterećenje i snaga koju troši pojačavač mogu se uporediti sa silom F_0 , odnosno snagom kojom deluje pojačavač.

3.9. Pneumatski pojačavači

Pneumatski pojačavači su pojačavači kod kojih se za prenos energije koristi vazduh pod pritiskom. Imaju jednostavnu konstrukciju. Mogu da rade pri niskim i pri visokim temperaturama. Kao i kod svih drugih pojačavača, mali ulazni signali, koji se dovode na ulaz, pretvaraju se u signale na izlazu koji imaju veću snagu. Velika izlazna snaga je potrebna za upravljanje nekim izvršnim elementom. Ako je potrebno dobiti još veću izlaznu snagu, može se koristiti kaskadna veza dva ili više pojačavača (izlaz prvog se dovodi na ulaz drugog i tako redom).

U cilju ilustracije rada pneumatskih pojačavača posmatračemo *pneumatski ventil* (sl.3.15).



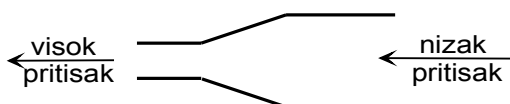
Slika 3.15. Pneumatski ventil

Princip rada pneumatskog ventila zasniva se na promeni zazora između leptira i mlaznice pod dejstvom upravljačkog pritiska p_u . Vazduh iz pomoćnog izvora ulazi u ventil pod visokim pritiskom p_v . Prilikom prolaska kroz prigušni prsten pritisak opada, tako da je izlazni pritisak p_{iz} niži od pritiska p_v , $p_{iz} < p_v$. Izlazni pritisak p_{iz} zavisi od veličine zazora između leptira i mlaznice. U slučaju smanjenja zazora, otpor prolasku vazduha kroz mlaznicu se povećava i izlazni pritisak raste. Obrnuto, sa povećanjem zazora izlazni pritisak opada. Upravljački pritisak je pritisak vazduha na izlazu mlaznice.

Ono što može da bude nedostatak pneumatskih pojačavača su strogi zahtevi za sušenjem i čišćenjem vazduha od nečistoća. Sem toga, prilikom prenosa signala javlja se i kašnjenje. Brzina promena signala je jednaka brzini zvuka u vazduhu, dok je brzina prenosa signala kod elektronskih pojačavača bliska brzini svetlosti.

3.10. Hidraulični pojačavači

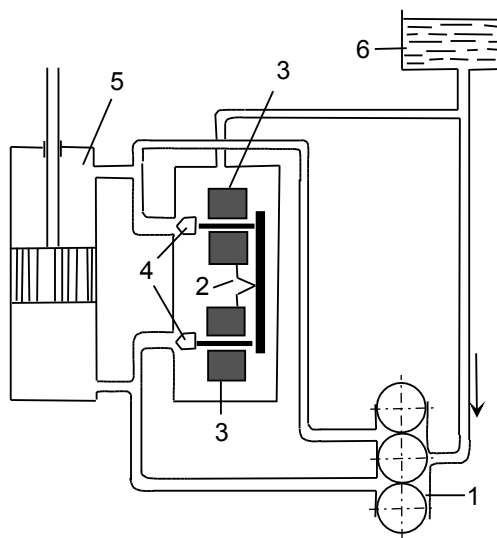
Hidraulični pojačavači su oni pojačavači kod kojih se za prenos energije koristi tečnost pod pritiskom. Najjednostavniji primer hidrauličnog pojačavača predstavlja suženje u cevi (sl.3.16). U ovom slučaju na ulaz se dovodi hidraulična tečnost pod određenim pritiskom, a na izlazu se dobija pojačan pritisak. Pojačanje pritiska zavisi od toga koliko je presek druge cevi manji od preseka prve cevi.



Slika 3.16. Suženje cevi kao hidraulični pojačavač

Hidraulični pojačavači su u praksi dobili široku primenu zbog nezatne snage koja se troši na upravljanje, visokog koeficijenta iskorišćenja izvora energije, kao i mogućnosti dobijanja velike snage na izlazu pojačavača.

Drugi primer hidrauličnog pojačavača dat je na slici 3.17.



Slika 3.17. Hidraulični pojačavač

Ovaj hidraulični pojačavač se sastoji iz pumpe sa rezervoarom za ulje, razvodnika, koji reguliše kretanje ulja, i izvršnog elementa (hidrocilindra ili hidromotora). Radna tečnost hidrauličnog pojačavača je mineralno ulje. Zahvaljujući tome što je ulje praktično nestišljivo, inercija i kašnjenje pojačavača su relativno mali.

Rad hidrauličnog pojačavača se odvija na sledeći način: pumpa koju pokreće pomoćni elektromotor, potiskuje ulje iz rezervoara, preko cevovoda, u hidrorazvodnik, a iz njega u hidropogon. Menjajući protok ulja pomoću hidrorazvodnika može se regulisati brzina hidropogona, pa, prema tome, i snaga na osovini. Hidrorazvodnik je u ovom slučaju upravljački elemenat. Kako je za pomeranje pokretnog dela razvodnika potrebna neznatna snaga, a na osovini hidro pogona se može razviti velika snaga, koeficijent pojačanja snage hidrauličnog pojačavača može da dostigne velike vrednosti (od 10^3 do 10^4). Ako se zna da hidromotor može da razvije velike obrtne momente, može se vezati za osovinu upravljanog objekta neposredno, bez mehaničkog reduktora.

Na slici 3.17. je prikazana principska šema hidrauličnog pojačavača sa pumpom koja daje tečnost čiji je proizvod pritiska i protoka konstantan i elektromagnetnim razvodnikom kao upravljačkim elementom. Namena sistema jeste upravljanje pomeranjem klipa hidrocilindra (5) u zavisnosti od promene signala koji se dovodi na namotaj (3) elektromagneta razvodnika. Sistem se sastoji iz sledećih osnovnih elemenata: zupčaste pumpe (1) sa dvojnim izlazom, diferencijalnog razvodnika (2), pokretanog elektromagnetima, hidrocilindra (5) kao izvršnog elementa i rezervoara za ulje (6). U odsustvu ulaznog signala kroz namotaje elektromagneta protiču jednake struje (čija vrednost može biti jednaka nuli). Pri tome su igle ventila u srednjem položaju, tako da su pritisci u kompresionim šupljinama pumpe jednaki. Zbog toga klip cilindra ostaje nepomičan. Kada postoji signal upravljanja, struje namotaja su različite. Usled toga se javlja momenat elektromagnetnih sila, koji iglu jednog ventila približava sedlu, a drugu udaljava od sedla. Ovi ventili rade kao prigušnice u hidrauličnom kolu pumpe. Ventil koji se zatvara smanjuje protok ulja iz pumpe u rezervoar, pa se u toj grani povećava pritisak. Ventil koji se otvara povećava protok ulja iz pumpe u rezervoar, pa se u toj grani hidrauličnog kola smanjuje pritisak. Usled toga se u jednoj komori cilindra povećava pritisak, a u drugoj smanjuje. Rezultat svega je pomeranje klipa cilindra u skladu sa ulaznim signalom.