

### 3.3. VRSTE I OSOBINE GENERATORA ISTOSMjerne STRUJE

#### 3.3.1. Pojam i način pobudivanja

Osobine generatora istosmjerne struje određene su načinom pobudivanja (uzbudivanja) magnetskih polova. Pod pojmom pobudivanja podrazumijevamo stvaranje magnetskog polja u generatoru koje je potrebno da bi se u namotaju rotora priklopu njegove vrtnje indukovao potrebna napona. To polje možemo proizvesti pomoću stalnih (permanenatnih) magneta ili pomoću elektromagneta.

Stalni magneti stvaraju slabu magnetska polja, pa su te masine vrlo malih snaga (od nekoliko vata do nekoliko stotina vata). Nazivaju se magnetske elektrone masine. Primenjuju se u induktorima za miješanje opeka.

Za dobivanje snažnih magnetskih polja koja su potrebna kod industrijskih masina veličkih snaga upotrebljavamo elektromagnete. Kroz namotaje elektromagneta propuštamo istosmjernu struju koja pobuđuje magnetske polove i zato je nazivamo pobuđivačem ili uzbuđivačem struje. Ovu struju u namotaje magnetskih polova možemo dovesti iz nekog strujnog (zasebnog) izvora istosmjerne struje ili je uzimamo iz sopstavnog generatora.

#### 3.3.2. Vrste generatora istosmjerne struje

Zavisno od načina pobudivanja, ti, s obzirom na polje koje struje pobuđuju, mogu se napaja pobuđivačima namotaj, generatora istosmjerne struje dijelimo na:

- generatora sa stalnom ili nazivnom pobuđivačima
- generatora sa sopstvenim ili samopobuđivačima.

Kod generatora sa nezavisnom pobuđivačima namotaj napaja se iz strujnog izvora istosmjerne struje koji mogu biti akumulatorska baterija, mali generator istosmjerne struje ili već postojeća mreža istosmjerne struje.

Kod generatora sa sopstvenim ili samopobuđivačima pobuđivač namotaj napaja se neposredno iz samog generatora. Snaga koja se troši na pobuđivač je vrlo mala i iznosi do 5% noćnaine snage masine.

Prema načinu spajanja pobuđivač namotaja sa namotajem rotora, generatora sa sopstvenom pobuđivačima dijelimo na:

- generatora sa paralelnom (paralelnom, odvojenom) pobuđivačima,
- generatora sa serijskom (rednom) pobuđivačima,
- generatora sa teženom (kompozitnom) pobuđivačima.

#### 3.3.3. Osobine generatora istosmjerne struje

Radnje osobine generatora istosmjerne struje mogu se vrlo lako predvidjeti kada se zna jakva zavisnost postoji između nekih njegovih veličina kao što su pobuđivač struja, indukovani napon, napon na k-terevima generatora itd.

Da bi se predviđanja obistinjila, traže osobine pojedinih vrsta generatora najbolje ćemo upoznati pomoću krivulja koje pokazuju kako se ponaša indukovani napon  $E = k\Phi n$  (3.6), odnosno napon na k-terevima generatora  $U_g = E - R_g I_g$  (3.8) pri prevarnoj jakne struje pobuđivača, odnosno opterećenja. Te krivulje nazivamo karakterističnim generatora, a najvažnije su:

— karakteristična praznog hoda, koja pokazuje kako se pri neopterećenom generatoru ( $I_g = 0$ ) pri stalnoj brzini okretanja njegova rotora ( $n = \text{const.}$ ) mijenja indukovani napon generatora  $E$  kad se mijenja struja pobuđivača  $I_p$ . Dakle:

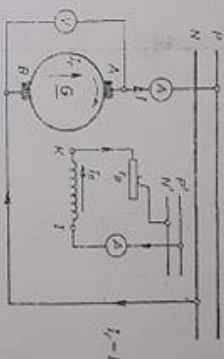
$$E_g = f(I_p) \quad \text{pri } I_g = 0 \quad (3.31)$$

— vanjska ili spoljna karakteristična, koja pokazuje zavisnost napona na k-terevima generatora  $U$  od struje opterećenja  $I$ . Pri tome u koji struje pobuđivača uključeni je otpor stalne vrijednosti ( $r_p = \text{const.}$ ), tako da struja pobuđivača ima stalnu vrijednost:

$$U = f(I) \quad \text{pri } r_p = \text{const.} \quad (3.32)$$

#### 3.3.4. Generator sa nezavisnom pobuđivačima

To je generator kod kojega nezavisno o rotoru pobuđivač struju dovodimo u pobuđivač namotaja iz posebnog izvora  $P, N'$ , kako je prikazano na sl. 3.33. U seriju sa pobuđivačima namotaja stoji su krivulje (srednje) oznake sa JK spojen je otpornik  $r_p$  pomoću kojega se može mijenjati vrijednost pobuđivač struje  $I_p$ . Generator proizvodi istosmjernu struju koja iz rotora preko četkica A i B teče u mrežu  $P, N$ .



Sl. 3.33. Shema generatora istosmjerne struje sa nezavisnom pobuđivačima

proizvedenom indukovanom naponu  $E_g$  unutar generatora ( $U_g = E_g$ ). Iz izvora  $E = k\Phi n$ , pri  $n = \text{const.}$ , vidimo da je proizvedeni napon  $E_g$  direktno srazmjern sa magnetskim tokom  $\Phi$ , tj.  $E_g = U_g = f(\Phi)$ . Pošto magnetski tok  $\Phi$  zavisi samo od vrijednosti pobuđivač struje  $I_p$ , karakteristična praznog hoda biće  $E_g = U_g = f(I_p)$ .

Krivulja se dobije na taj način što vrijednosti za indukovani napon  $E_g$  mjerimo na određenoj osi, a na osi opterećenja pobuđivač struje  $I_p$  koje dobijemo njezinom. Struju pobuđivača  $I_p$  mijenjamo podstavljanjem otpora otpornika  $r_p$ . Svakom vrijednosti  $I_p$  odgovara još jedna vrijednost  $E_g$ . Nizom mjerenja dobijemo niz tačaka koje povezanje linijom daju karakterističnu krivulju koja je prikazana na sl. 3.34.

Krivulja se sastoji od krive (a) dobijene pri povećanju struje pobuđivača  $I_p$  od nule do vrijednosti pri kojoj vrijednost indukovano napona iznosi  $\approx 1,25U_g$ . Povrat indukovane napona  $E_g$  ide do određene granice, jer dolazi do zasićenja željeza. Struju pobuđivača  $I_p$  možemo dodatno povećavati, ali će indukovani napon praktički ostati na već postignutoj vrijednosti. Kriva (b) nastaje smanjenjem struje pobuđivača  $I_p$  do nule. Proces teče u suprotnom smjeru, pri čemu se vrijednost indukovano napona  $E_g$  smanjuje. Pri tome se kriva (a) koja nazivamo nižom granom karakteristične, nalazi iznad krive (a) koja se naziva gornjom karakterističnom.

To što se krivulja pri smanjenju struje pobuđivača ne vraća istom putem obilježava se postojanjem zastojeva (remanentnog) magnetsizma u magnetskom kolu namotaja. Kao karakteristična praznog hoda upotrebljava se ulazna granica. Praktično, ona se postigne od nule (početna koordinatnog sistema), već od neke vrijednosti  $E_{rem}$  na slici prikazane isprekidanim linijom. Napon  $E_{rem}$  koji je u namotaju rotora indukovano zasitljanim magnetskim tokom je vrlo mali i iznosi  $2-5\% U_g$ .

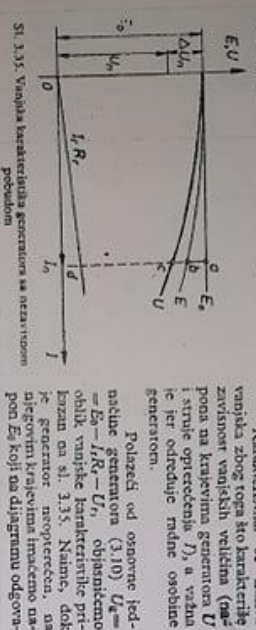
Sl. 3.34. Karakteristična praznog hoda generatora sa nezavisnom pobuđivačima

Dobivena krivulja, u stvari, predstavlja promjenu indukovnog napona  $E_g$  u praznom hodu generatora kao funkcija pobudne struje  $I_p$ , pa se stoga i zove karakteristika praznog hoda generatora. Linijska krivulja samo u drugom mjestu predstavlja i magnetski tok  $\Phi$  kao funkciju pobudne struje  $I_p$  ( $\Phi = f(I_p)$ ). Zbog toga je krivulja praznog hoda slična krivulji magnetiziranja.

Karakteristika praznog hoda pokazuje koliko je zasitost magnetskog kola masivne pri nominalnom naponu. Kod dobro izvedenih masivna rečka koja odgovara nominalnom naponu nalazi se na dijelu krivulje koja se povlači.

*Vježba karakteristika.* Da bismo smanili ovu lažerističku, potrebna je, dok je generator neopterećen, pobudnu struju povećati toliko dok se na krajevima generatora ne postigne vrijednost nominalnog indukovnog napona  $E_g$ . U tom pokušaju opor u kolu pobudnog namotaja  $r_p$  i brzini okretanja rotora  $n$  imaju odgovarajuće vrijednosti.

Karakteristika se naziva vanjska zbog toga što karakteristični zavisnost vanjskih veličina (napona na krajevima generatora  $U$  i struje opterećenja  $I_a$ ) a važna je i struje opterećenja  $I_a$  i struje opterećenja  $I_a$  je ter određuje radne osobine generatora.



Sl. 3.35. Vanjska karakteristika generatora sa nezavisnom pobudom

**1a dubljinu  $\Delta U$  ( $E_g = \Delta U$ ). Oprećemo li generator nominalnom strujom  $I_n$ , nastaje pad napona usljed magnetske reakcije rotora  $U_r = \Delta U$  i pad napona na unutarnjem otporu kolu namotaja rotora  $I_a R_r = \Delta U$ . Dakle, pri nominalnoj struji opterećenja  $I_n$  na krajevima generatora imamo umanjeni indukovani napon  $E_g$  za ukupne padove napona  $\Delta U_r$  ( $U_r = E_g - \Delta U_r$ ).**

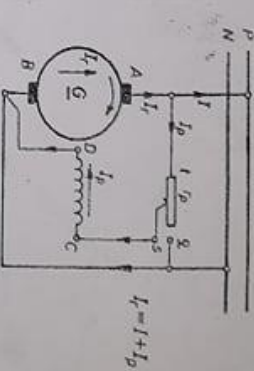
Pado su izdvojeni napon  $E$  i opor namotaja rotora  $R_r$  stalne veličine, i to će napon sa povećanjem opterećenja opadati linearno.

Iz svega iskazanog vidljivo je da napon generatora sa povećanjem opterećenja stalno opada. To opadanje iznosi nekoliko posto, ali od ukupne vrijednosti napona pa se uopće može izdati da generatori sa nezavisnom pobudom imaju približno stalna napon bez obzira na promjenu opterećenja. Ovakve radne osobine generatora upravno odgovaraju traženim koeficijentima. Ovakve radne osobine generatora uključujućih od. No, i to nezavisno opadanje napona na krajevima generatora može se jednovremeno nadoknaditi na taj način da se s povećanjem opterećenja istovremeno poveća vrijednost struje pobude  $I_p$  pomoću promjenljivog otpora  $r_p$  koji se nalazi u kolu struje pobude.

Svega toga se troši na pobudu obično ne prelazi granicu od 1-3% snage generatora. Nezavisna pobuda je uvijek najprikladnija i primjenjiva se kod generatora malog napona (od 12 V), dok kod napona više od 500 V, u generatorima velike snage i u slučajevima kada trebamo regulabilnu napona u širokom rasponu.

3.3.5. Generator sa paralelnom pobudom

Generator sa paralelnom pobudom je vrsta samopobudnog generatora kod koje je pobudna namotaj paralelna spojen sa namotajem rotora. Kako je to prikazano na sl. 3.36. Struja proizvedena u namotaju rotora  $I_r$ , dijeli se na struju  $I$  koja teče prema teretima u vanjsko kolo i na struju  $I_p$  koja teče pobudnom namotajem ( $I_r = I + I_p$ ). Kako se vidi, pobudna struja  $I_p$  je dio proizvedene struje koja predstavlja gubitak za vanjsko kolo, te se nastoji da ona bude što manja (iznosi od 2-3%  $I_r$ ). Da bi pobudna struja bila što manja, a da se kod toga još uvijek dobije odgovarajuća magnetska tok  $\Phi$  u generatoru, pobudni namotaj ne izradi sa velikim brojem navoja. Kako je pobudni namotaj spojen na puni napon, to je potrebno da on ima veliku aktivnu otpor, što se postiže malim presjekom provodnika.



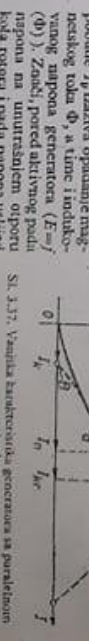
Sl. 3.36. Shema generatora sa paralelnom pobudom

vidstom pobudom, pa je zbog toga određeno ni smaniti. Ukoliko bismo je željeli smaniti, on bi u tom slučaju morao da radi kao generator sa nezavisnom pobudom.

*Vanjska karakteristika.* Kod generatora sa paralelnom pobudom vanjska karakteristika znana se na isti način kao kod generatora sa nezavisnom (strujom) pobudom. Upravo obratno, ustanovljavamo da kod generatora sa paralelnom pobudom struja pobude nema stalnu vrijednost. Uzrok tome je što ona zavisi od napona rotora čija vrijednost opada sa povećanjem opterećenja. Do sada smo vidjeli da kod generatora sa nezavisnom pobudom napon na krajevima opada usljed magnetske reakcije rotora i aktivnog pada napona.

Kod generatora sa paralelnom pobudom, struja pobude je manja nego odgovarajuća struja generatora sa nezavisnom pobudom, usljed čega se krivulja napona na sl. 3.37.

Postavlja se pitanje zašto struja pobude  $I_p$ , odnosno indukovani napon  $E$  opada kod generatora sa paralelnom pobudom. To objašnjavamo time što povećanjem opterećenja napon opada za već poznate padove napona, a time se smanjuje struja pobude. Ovo smanjenje struje pobude  $I_p$  izaziva opadanje magnetskog toka  $\Phi$ , a time i indukovani napon generatora ( $E = j(9))$ ). Zbog toga, pored aktivnog pada napona na unutarnjem otporu kolu rotora i pada napona usljed magnetske reakcije rotora, imamo još jedan pad napona usljed smanjenja pobudne struje  $\Delta E$ . Dakle, ukupni pad napona kod generatora sa paralelnom pobudom sastoji se iz tri dijela i iznosi



Sl. 3.37. Vanjska karakteristika generatora sa paralelnom pobudom

Pri nominalnom opterećenju ukupni pad napona iznosi (10-20%)  $U_n$ . Iz tog izlazi da će napon na krajevima generatora biti:

$$\Delta U = I_a R_r + U_r + \Delta E \quad (3.33)$$

$$U = E_g - \Delta U \quad (3.34)$$

Prilikom opterećenju vanjskog kola kod lopa nastupa struja  $I_{kr}$  kritične vrijednosti a koja obično iznosi oko  $2I_n$ . Krivulja se može najlto okrenuti. Nastaje mali struju u mrežu. To ce nastati onda kada vrijednost optera mreže padne na nulu i tada kažemo da je nastao kratki spoj masine. U tom slučaju napon na krajevima generatora jednak je nuli, što znači da je i pobudna struja jednaka nuli. Ostatak samo indukovani napon izvoren od zaostalog magnetskoga koji čina struju kratkog spoja  $I_k$  čija vrijednost je mala i iznosi od 0,4 do 0,8  $I_n$ .

Iz ovoga vidimo da kratki spoj generatora sa paralelnom pobudom neće uzrokovati veliku struju, nego će ona nakon neke kritične granice pasti na vrlo malu vrijednost. Međutim, kratki spoj može za namotaje masine biti vrlo opasan i u tom vrlo kratkom vremenu prije smanjenja jakne struje. Zato se ovaj generator upotrebljava samo u onom dijelu karakteristike u kojem je napon još gotovo snalje vrijednosti.

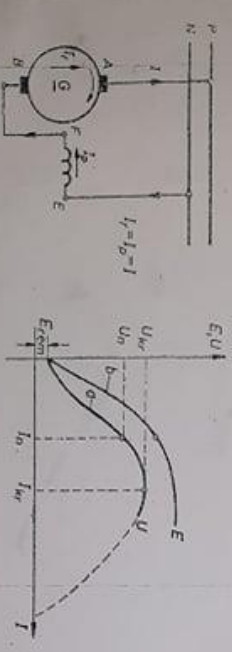
Napon će neko vrijeme padati nego kod generatora sa nezavisnom pobudom ali praktično i ovaj generator radi sa približno stalnom naponom. Prednost je u tome što mu ne treba poseban izvor struje za pobudu magnetskih polova.

3.3.6. Generator sa serijskom pobudom

Kod ovog generatora pobudni namotaj spojen je u seriju sa namotajem rotora, kako je prikazano na sl. 3.38. Zato je provodena struja u namotaju rotora  $I_r$  uvijek jednaka struji opterećenja  $I$ , odnosno struji pobude  $I_p$  ( $I_r = I = I_p$ ). S obzirom da će struja pobude imati veliku vrijednost, razumljivo je da se za stvaranje potrebnog magnetskog polja pobudni namotaj izvodi sa malim brojem navoja ali velikim presjekom provodnika.

Karakteristika praznog hoda

Serijski generator normalno nema karakteristiku praznog hoda. Pošto su namotaji rotora i magnetskih polova spojeni u seriju, neopterećenim generatorom neće teći struja iz rotora, a prema tome, neće biti struje ni u pobudnom namotaju. Da bi dobili uporedbu, odnosno konstruiraju ostalih karakteristika, može se pobudni namotaj spojiti na neki strani izvor i tako saznati karakteristika praznog hoda na sl. 3.39, prikazana krivuljom (b). Kako se vidi, ona je ista kao kod generatora sa nezavisnom pobudom.



Sl. 3.38. Shema generatora sa serijskom pobudom

Sl. 3.39. Vanjska karakteristika generatora sa serijskom pobudom

Vanjska karakteristika

Vanjska karakteristika generatora sa serijskom pobudom  $U = f(I)$ , pri stalnoj brzini obrtanja  $n = const$ , na sl. 3.39, predstavljena je krivuljom (a). Razlika između ordinata krivulje praznog hoda (b) i vanjske krivulje (a) pri nekom opterećenju  $I$  predstavlja ubaženu promjenu napona  $\Delta U$ . Ona se sastoji od aktivnog pada napona u namotaju rotora i namotaju magnetskih polova  $I(R_r + R_p)$  i pada napona nastalog usljed magnetske reakcije rotora  $U_r$ .

Datle:  $\Delta U = I(R_r + R_p) + U_r$  (3.35)

Napon na krajevima generatora biće:  $U = E_0 - \Delta U$  (3.36)

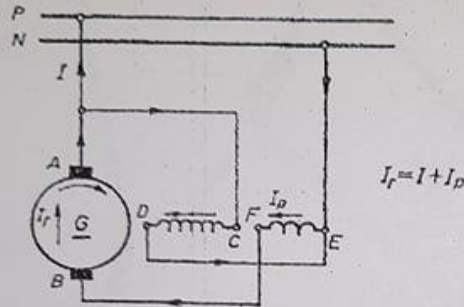
Pri praznom hodu generatora indukovani napon ima vrlo malu vrijednost ( $E_0 = E_{ind}$ ) nastala od zaostalog magnetizma. Opterećenje li generator, u početku sa porastom struje opterećenja gotovo esazmjenno se povećava i njegov napon, jer mu je magnetsko kolo nezasićeno. Međutim, daljnim povećanjem struje opterećenja napon ce se sporije povećavati (jer se povećava i zasićenje željeza), dok u jednom momentu pri nekoj kritičnoj struji  $I_{kr}$  ne doživje svoje najveće vrijednosti. Ako i dalje nastavljamo povećavati opterećenje, napon generatora uslijed povećanog kidaonog litijsom. To je, u stvari, kratki spoj generatora sa serijskom pobudom, masina je preopterećena i može doći do nistog uništenja. Iz dijagrama se vidi da se napon sa promjenom opterećenja mijenja u širokom granicama, i nije teško zaključiti da ovaj generator nećemo upotrebljavati samo gdje trebamo približno stalan napon. Zbog toga ovaj generator nećemo upotrebljavati samo gdje trebamo približno nultje se samo u nekim specialnim slučajevima.

4

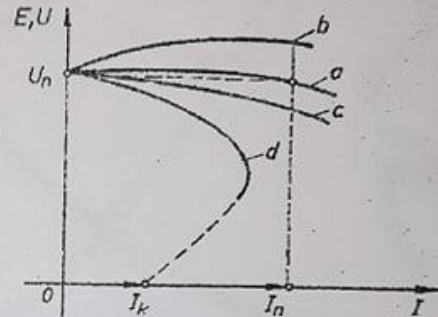
### 3.3.7. Generator sa složenom pobudom

Ovi generatori imaju na magnetskim polovima dva posebna pobudna namotaja. Jedan namotaj je *paralelni (glavni)*, a drugi *serijski (pomoćni)*, kako je prikazano na sl. 3.40.

Upravo zbog toga što se kod ovih generatora nalaze i paralelni i serijski namotaj, u njima dolaze do izražaja združene osobine obje vrste. Naime, dok u generatoru zbog paralelnog namotaja napon na njegovim krajevima opada s povećanjem opterećenja, serijski namotaj, zbog toga što kroz njega protiče cjelokupna struja opterećenja, povećava magnetski tok  $\Phi$  u generatoru i time automatski djelomično ili potpuno sprečava opadanje napona. Inače, da li će serijski namotaj kod porasta



Sl. 3.40. Shema generatora sa složenom (kompaund) pobudom



Sl. 3.41. Vanjska karakteristika generatora sa složenom (kompaund) pobudom

opterećenja samo djelomično ili totalno spriječiti opadanje napona, ili će ipak napon zbog djelovanja serijskog namotaja još porasti, ovisi o broju navoja serijskog namotaja. Pri tome mogu nastati određene mogućnosti izvedbe serijskog namotaja.

— *Serijski namotaj* ima toliki broj navoja da je njegova pobuda upravo tolika da pokriva padove napona i tako napon složenog generatora ostane približno stalan i kod najrazličitijih opterećenja od praznog hoda do nekog iznosa tereta. Vanjska karakteristika (kriva *a*) prikazana je na sl. 3.41. Kako se sa dijagrama vidi, napon se praktično mijenja u granicama od  $2 \div 3\% U_n$ . Takav režim rada generatora nazivamo *kompaundirani* i kod njega ne treba nikakva regulacija napona.

— Ukoliko se zahtijeva da napon na krajevima generatora ostane približno stalan pri svim opterećenjima do nominalnog, onda je potrebno povećati broj navoja serijskog pobudnog namotaja tako da njegov magnetski napon pokriva još i padove napona u provodnicima kojima se odvodi energija do udaljenih trošila. Takav oblik vanjske karakteristike prikazan je na sl. 3.41. krivom (*b*), a za generator kažemo da je *nadkompaundirani*.

— *Podkompaundirani* generator nastaje onda kada serijska pobuda samo djelomično kompenzira padove napona. Njegova vanjska karakteristika (sl. 3.41) ima oblik krive (*c*) koja pokazuje blago padanje napona s povećanjem opterećenja.

— Kod *protukompaundiranog* generatora, čija je serijska pobuda suprotna paralelnoj (na sl. 3.40. krajeve serijskog pobudnog namotaja treba zamijeniti u *EF*), napon naglo pada, kako je prikazano na sl. 3.41. kriva (*d*). To objašnjavamo time što magnetski napon serijskog pobudnog namotaja djeluje suprotno u odnosu na magnetski napon paralelnog namotaja. Primjenjuje se u specijalnim slučajevima, npr. kod generatora za zavarivanje, reflektorskih uređaja itd., gdje se zahtijeva vremensko ograničenje trajanja struje kratkog spoja  $I_k$ .