

TEHNIČKO REŠENJE

(kategorija M81)

REGULATOR POBUDE SA POBOLJŠANIM ALGORITMIMA LIMITERA POBUDE AGREGATA B2 U TE "NIKOLA TESLA B"

Autori: Zoran Ćirić, Đorđe Stojić, Dušan Joksimović, Slavko Veinović, Milan Milinković, Nemanja Milojević

Urađeno za: Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”

Korisnik: Termoelektrana „Nikola Tesla B”

Datum puštanja sistema u rad: 10.11.2016.

Rešenje primenjuje: Elektrotehnički institut “Nikola Tesla”

Verifikacija rezultata: Elektrotehnički institut “Nikola Tesla”

Način korišćenja: Uređaj služi za regulaciju pobude sinhronog generatora i automatsko ograničenje rada generatora u dozvoljenoj radnoj oblasti pogonskog dijagrama generatora uz maksimalno iskorišćenje pogonskog dijagrama generatora i maksimalno iskorišćenje mogućnosti vremenski ograničenog preopterećenja rotora i statora generatora.

1. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi

Tehničko rešenje pripada oblasti elektro-energetike i odnosi se na primarnu regulaciju sinhronih generatora. Tehničko rešenje predstavlja sastavni deo sistema pobude sinhronih generatora čije su osnovne funkcije napajanje pobudnog namotaja generatora, automatska regulacija statorskog napona generatora i automatsko ograničenje rada generatora u dozvoljenoj radnoj oblasti pogonskog dijagrama generatora, što je realizovano pomoću: limitera minimalne pobude, limitera maksimalne struje rotora, limitera maksimalne struje statora i V/Hz limitera.

2. Problem koji se tehničkim rešenjem rešava

Novi kvalitet, u poređenju sa prethodnim rešenjima, predstavlja činjenica da su primenom unapređenih algoritama limitera pobude omogućeni maksimalno iskorišćenje pogonskog dijagrama generatora i maksimalno iskorišćenje mogućnosti vremenski ograničenog preopterećenja rotora i statora generatora što povećava doprinos sistema pobude tranzijentnoj stabilnosti generatora i elektroenergetskog sistema. Takođe, primenom tehničkog rešenja su poboljšani odzivi sistema pobude na granicama pogonskog dijagrama generatora pri delovanju limitera.

3. Stanje rešenosti problema u svetu

Tehničko rešenje je u svetu na sličan način primenjeno kod većine regulatora pobude novije generacije vodećih svetskih proizvođača. Tehničko rešenje je urađeno u skladu sa važećim svetskim standardima koji se odnose na sistema za regulaciju pobude (IEEE 421, IEC 60034-16).

4. Objašnjenje suštine tehničkog rešenja

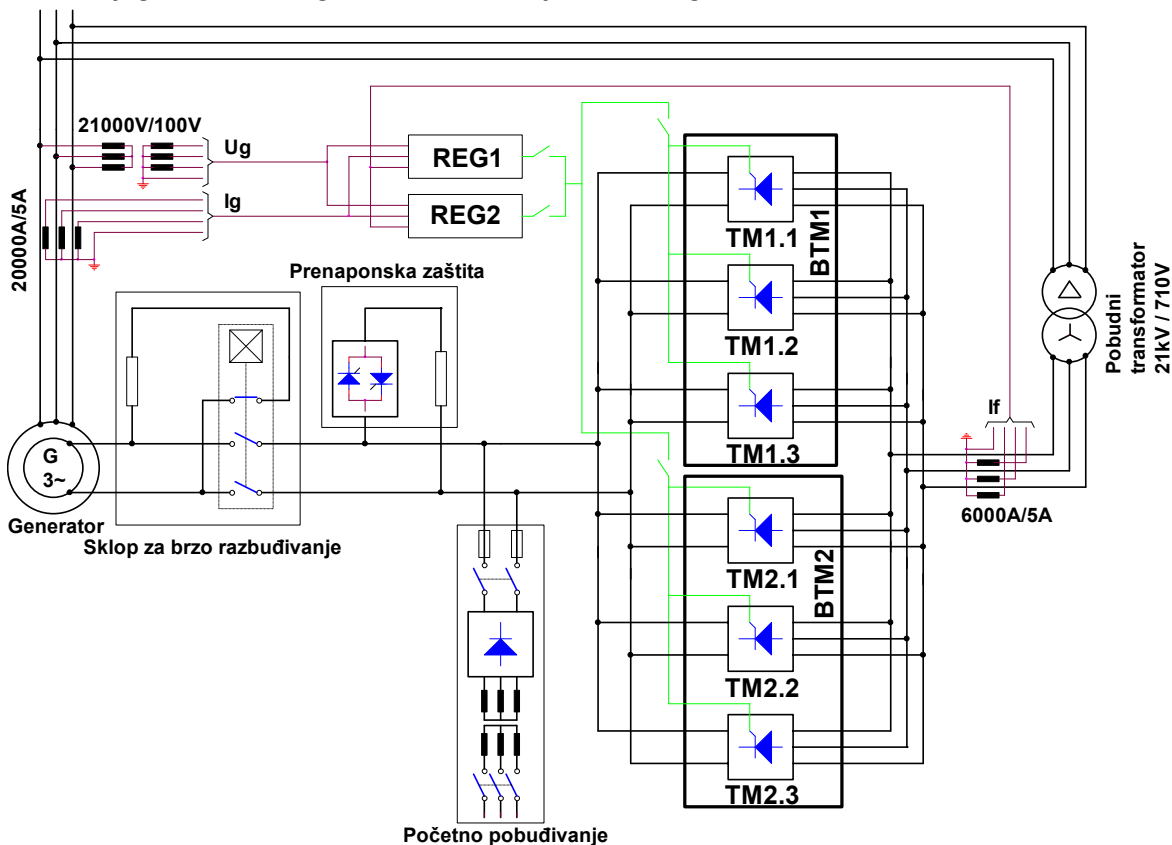
U poređenju sa prethodnim, novo tehničko rešenje regulatora pobude sa unapređenim algoritamima limitera ima sledeća poboljšanja:

- Limiter minimalne pobude je realizovan sa karakteristikom prorade u P-Q dijagramu koja se translira sa promenom naponom statora, kao se i granica pogonskog dijagrama generatora. Kod prethodnog rešenja karakteristika prorade ne zavisi od napona statora.
- Limiter maksimalne struje pobude je realizovan sa dva stepena prorade. Granica prorade prvog stepena je trajno dozvoljena vrednost struje pobude. Prvi stepen ima karakteristiku vremena prorade koja inverzno zavisi od kvadrata struje pobude i koja je u skladu sa karakteristikom dozvoljenog preopterećenja rotora. Granica prorade drugog stepena je plafonska vrednost struje pobude. Drugi stepen prorađuje trenutno. Kod prethodnog rešenja limiter maksimalne struje pobude ima jedan stepen bez vremenske zadržke čija je granica prorade trajno dozvoljena vrednost struje pobude, pri čemu je pri padu napona generatora ispod podešene granice omogućeno forsiranje pobude do plafonske vrednosti struje pobude u ograničenom trajanju.
- Limiter maksimalne struje statora je realizovan sa karakteristikom vremena prorade koja inverzno zavisi od kvadrata struje pobude i koja je u skladu sa karakteristikom dozvoljenog preopterećenja statora. Granica prorade je trajno dozvoljena vrednost struje statora. Kod prethodnog rešenja limiter maksimalne struje statora prorađuje iznad trajno dozvoljena vrednost struje statora bez vremenske zadržke.
- V/Hz limiter služi da zaštiti generator i blok transformator od prekomernog magnetnog fluksa pri niskoj frekvenciji ili prevelikom naponu. Kod prethodnog rešenja Kod prethodnog rešenja/Hz limiter nije postojao, već je postojalo ograničenje reference naponske regulacije.
- Svi limiteri imaju PI regulaciono dejstvo i deluju preko sumatora automatske ili ručne regulacije. Na taj način delovanje limitera je jače što se generator nalazi dalje od granice prorade limitera, jer je veći signal greške na ulazu u PI regulator. To omogućava brže vraćanje generatora u dozvoljenu oblast pogonskog dijagrama generatora pri većim poremećajima u sistemu. Kod starog rešenja limiter je delovao inkrementalno ili dekrementalno na referencu sa fiksnim koracima.

5. Detaljan opis tehničkog rešenja sa karakteristikama

5.1. Opis sistema pobude

Sistem pobude agregata B2 u TE "Nikola Tesla B" je statičkog samopobudnog tipa, odnosno energija za napajanje sistema pobude se dobija sa sabirnica generatora i dovodi se preko pobudnog transformatora na tiristorske mostove koji ispravljani napon šalju na rotor generatora. Regulacija napona pobude se vrši u okviru regulatora pomoću fazne regulacije impulsa za paljenje tiristora. Blok šema sistema pobude je prikazana na slici 1. Sistem pobude se može podeliti na dva bloka: blok energetike i blok upravljanja. Preko bloka energetike se napaja pobudni rotorski namotaj generatora. Takođe, u okviru ovog bloka je realizovano i brzo razbuđivanje u havarijskim režimima, početno pobuđivanje i prenaponska zaštita. U okviru bloka upravljanja su realizovane regulacione funkcije, zaštite, komandovanje, nadzor itd. Regulacija pobude sinhronog generatora je realizovana kao automatska regulacija napona na izvodima generatora sa limiterima. Sistem se sastoji iz dva bloka tiristorskih mostova i dva regulatora, pri čemu jedan regulator može da upravlja sa oba bloka tiristorskih mostova. Jedan blok tiristorskih mostova i jedan regulator omogućavaju sve predviđene režime rada, uključujući i forsiranje (struja pobude sa plafonskoj vrednosti u trajanju od 10s). U slučaju da su na raspolaganju samo dva tiristorska mosta jednog bloka pri ispadu drugog bloka, moguć je rad sistema pobude uz zabranu forsiranja (struja pobude se ograničava na trajno dozvoljenu vrednost). Blok tiristorskih mostova i regulator koji nisu u radu predstavljaju toplu rezervu. U slučaju kvara na bloku tiristorskih mostova koji je u radu automatski se prelazi na rezervni blok tiristorskih mostova bez ispada agregata. Prelazak je realizovan tako što regulator koji je u radu detektuje kvar i ukida impulse za paljenje tiristora bloku tiristorskih mostova koji je u kvaru i šalje impulse na gejtove tiristora rezervnog bloka tiristorskih mostova. Takođe, u slučaju kvara na regulatoru koji je u radu automatski se prelazi na rezervni regulator bez ispada agregata. Prelazak je realizovan tako što regulator koji je u rezervi detektuje kvar na aktivnom regulatoru, blokira njegove izlazne signale i aktivira svoje izlazne signale.



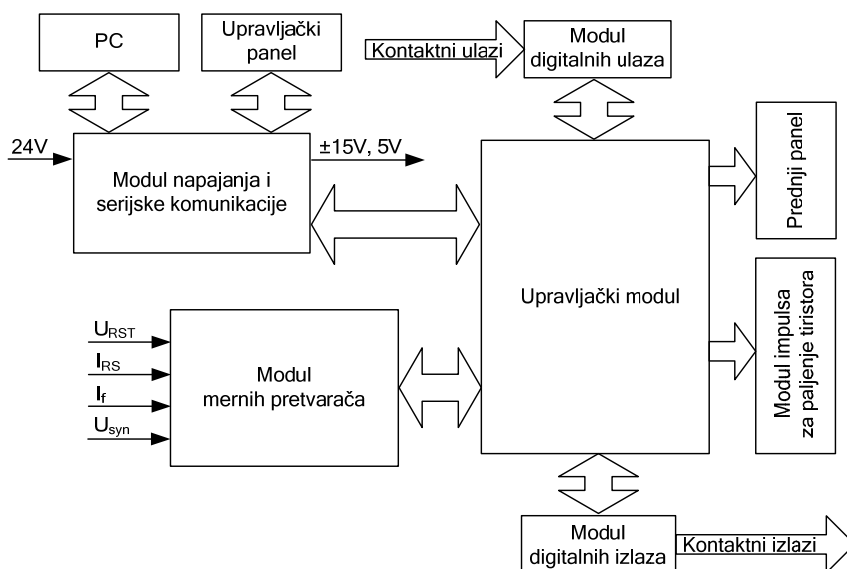
Slika 1: Blok šema sistema pobude

Sinhroni generator i sistem pobude bloka B2 u TE "Nikola Tesla B" imaju sledeće osnovne parametre:

- Nominalna prividna snaga: 800 MVA
- Nominalna aktivna snaga: 680 MW
- Nominalni faktor snage: 0.85
- Nominalni napon statora: 21 kV
- Nominalna struja statora: 21994 A
- Frekvencija: 50 Hz
- Broj obrtaja: 3000 obr/min
- Nominalni napon pobude: 685 V
- Nominalna struja pobude: 6518 A
- Trajno dozvoljena struja pobude: 6950 A
- Napon pobude pri maksimalno dozvoljenoj struji pobude: 730 V
- Napon pobude u praznom hodu pri nominalnom naponu statora: 151 V
- Struja pobude u praznom hodu pri nominalnom naponu statora: 1645 A
- Plafonska vrednost napona pobude: 958.5 V
- Plafonska vrednost struje pobude: 9400 A
- Maksimalno vreme trajanja plafonske struje pobude: 10 s
- Nominalni napon napajanja tiristorskih mostova: 3x710 V
- Plafonski napon pri nominalnom naponu napajanja: 958.5 V
- Ispitni napon energetske opreme: 3,5 kV
- Vreme odziva: <0.1 s
- Naponi pomoćnog napajanja iz jednosmernog razvoda elektrane: 220 V
- Napon pomoćnog napajanja iz invertora: 220 V
- Napon pomoćnog napajanja iz naizmeničnog razvoda elektrane: 3 x 400 (230) V

5.2. Struktura elektronike regulatora

Na slici 2 prikazana je blok šema elektronike regulatora:



Slika 2. Blok šema elektronike regulatora

Regulator pobude čine sledeći moduli:

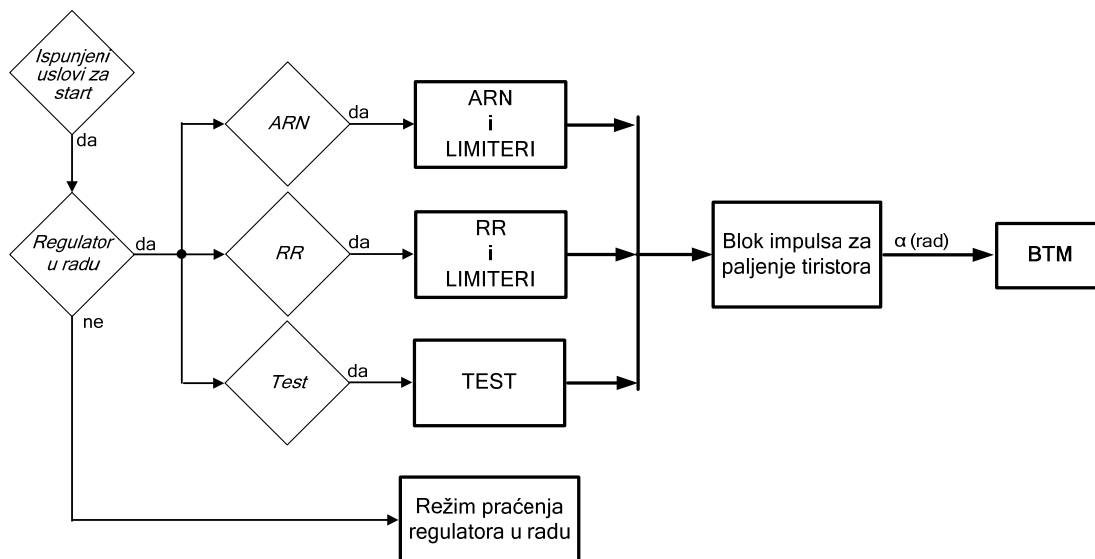
- **Modul napajanja i serijske komunikacije** formira napone kojima se napajaju ostali moduli regulatora i sadrži serijski RS232 i RS485 komunikacione kanale preko kojih upravljački modul može da komunicira sa PC računarnom i upravljačkim panelom modbus protokolom. Na

ulaz ovog modula se dovodi 24V koji se dobija iz blokova napajanja BN1 i BN2 i modula redundacije MR1, a na svom izlazu daje +15V, -15V i +5V. Na zadnjoj strani rekovala regulatora REG1 i REG2 se nalaze prekidači za uključivanje napajanja regulatora.

- **Modul mernih pretvarača** galvanski izoluje, filtrira i kondicionira merne signale neophodne za realizaciju regulacionih funkcija regulatora. Prilagođeni signali se šalju na upravljački modul. Izlazni naponski opseg mernih pretvarača je od 3V do 12V. Na raspolaganju je 10 mernih kanala.
- **Moduli digitalnih ulaza** prihvata kontaktne signale sa releja galvanski ih izoluje i prilagođava upravljačkom modulu.
- **Upravljački modul** je baziran na digitalnom signalnom procesoru. Na njemu su realizovane regulacione, upravljačke, zaštitne, signalizacione i merne funkcije neophodne za rad pobudnog sistema. Upravljanje se vrši obradom ulaznih analognih i digitalnih ulaznih signala i generisanjem izlaznih komandnih signala za paljenje tiristora ispravilačkih mostova i za pobudu izvršnih relea. Parametri zaštita se čuvaju u stalnoj (EEPROM) memoriji mikrokontrolera i njihova izmena je moguća putem servisnog RS232 interfejsa. Povezivanjem upravljačkog modula sa PC računarom preko serijskog porta korišćenjem odgovarajućeg softvera omogućen je pristup regulatoru.
- **Modul digitalnih izlaza** komunicira sa upravljačkim modulom i formira digitalne izlazne signale koji se dalje prosleđuju ka okruženju regulatora.
- **Modul impulsa za paljenje tiristora** formira na svom izlazu šest miliamperskih impulsa za paljenje tiristora na osnovu izlaza iz upravljačkog modula i signala sinhronizacije. Krajnji rezultat regulacionih funkcija je signal na osnovu koga se generišu impulsi za paljenje tiristora sa odgovarajućim uglom paljenja u odnosu na signal sinhronizacije.
- **Upravljački panel** sadrži 17" ekran osetljiv na dodir. Sa upravljačkog panela se mogu zadavati sve komande za upravljanje sistemom pobude i očitati stanja svih signala i merenja relevantnih za rad sistema pobude.
- **Prednji panel** se nalazi na prednjoj strani regulatora i sadrži tastere za izbor regulatora i reset opomena i zaštita sa samodržanjem i LED diode za osnovnu signalizaciju stanja regulatora.

5.3. Struktura regulacije

Strukturalna šema regulacije pobude je prikazana na slici 3:



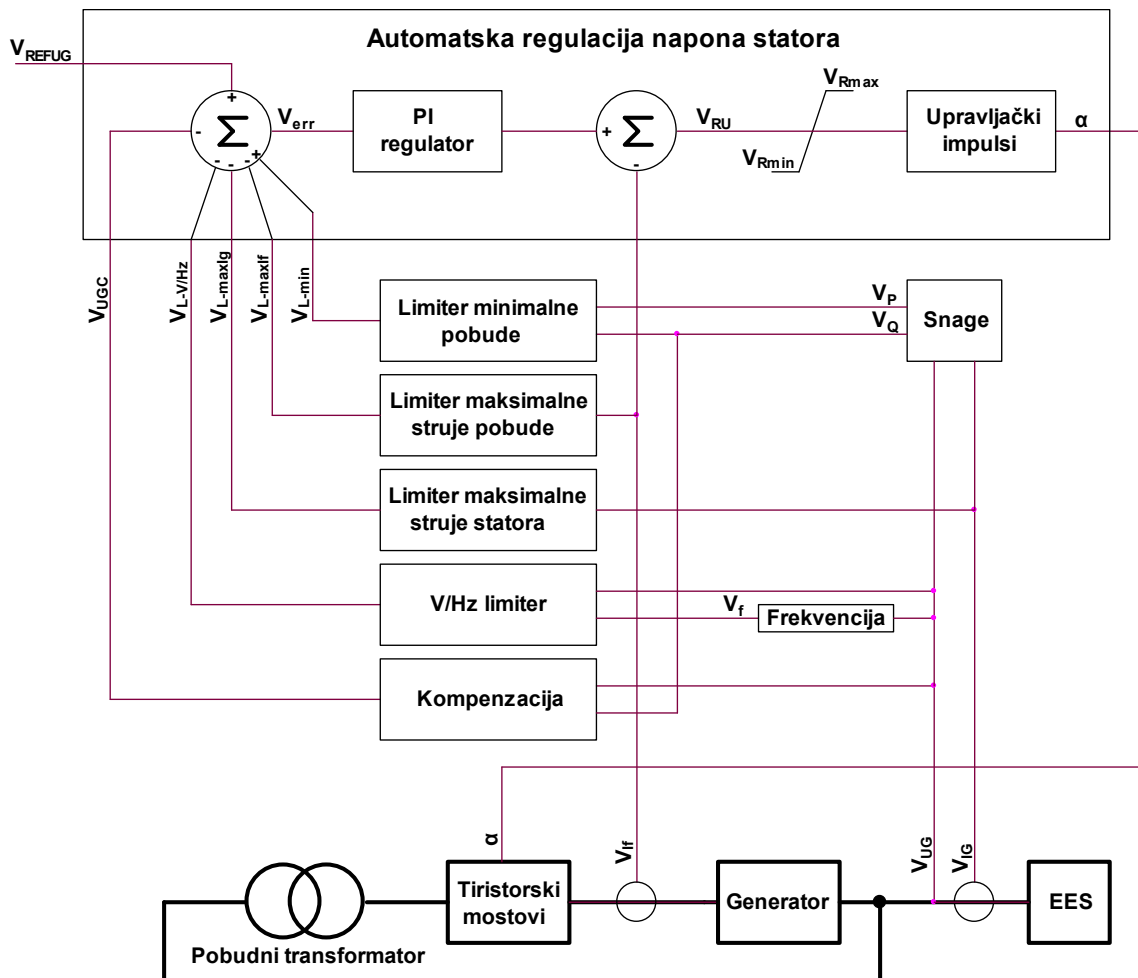
Slika 3. Strukturalna šema regulacije pobude

Nakon ispunjenja uslova za start regulator može biti u radu ili u režimu praćenja ukoliko je izabran drugi regulator. Regulator u radu može biti u automatskom režimu rada (automatska regulacija napona statora - ARN), u ručnom režimu rada (ručna regulacija struje pobude - RR) ili u test režimu

rada. Kada su izabrani ARN ili RR aktivni su i limiteri. Na ulaz bloka impulsa za paljenje tiristora se dovodi izlazni signal automatske regulacije, ručne regulacije ili test režima na osnovu koga se formiraju impulsi za paljenje tiristora sa uglom α koji se zatim šalju na tiristore bloka tiristorskih mostova koji je u radu.

5.4. Automatska regulacija napona statora

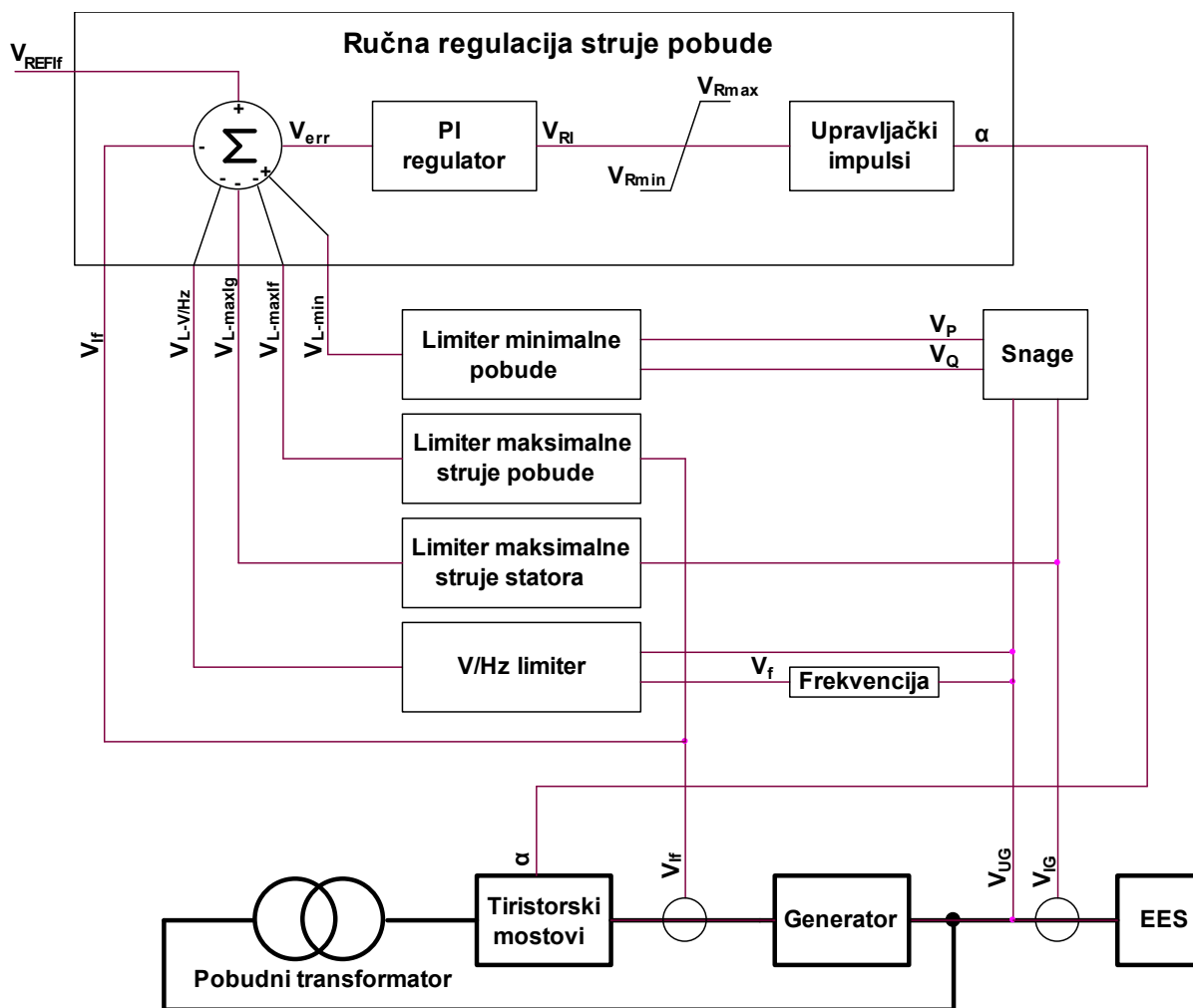
Automatska regulacija napona statora predstavlja osnovni režim rada regulatora pobude. Blok šema automatske regulacije data je na slici 4. Automatska regulacija održava napon statora prema podešenoj vrednosti naponske reference V_{REFUG} i zasnovana je na PI regulatoru (proporcionalno i integralno dejstvo). Komandama *Više* i *Niže* na nalog opretera menja se signal reference V_{REFUG} što za posledicu ima povećavanje ili smanjivanje statorskog napona i reaktivne snage generatora. Automatska regulacija ima negativnu povratnu spregu po statorskom naponu generatora uz kompenzaciju po reaktivnoj snazi (signal V_{UGC}). Kompenzacija statorskog napona (signal V_{UG}) po reaktivnoj snazi (signal V_Q) se uvodi u regulacionu petlju u cilju kompenzovanja pada napona na blok transformatoru. Deo pada napona koji se kompenzuje odgovara podešenoj vrednosti statizma (podesiv u opsegu $\pm 10\%$). Za pozitivnu vrednost statizma napon generatora raste sa porastom reaktivne snage i obrnuto. Ostale funkcije regulatora: limiter minimalne pobude (signal V_{L-min}), limiter maksimalne struje pobude (signal $V_{L-maxIf}$), limiter maksimalne struje statora (signal $V_{L-maxIg}$) i V/Hz limiter (signal $V_{L-V/Hz}$) deluju preko automatske regulacije. Signal greške V_{err} predstavlja izlaz iz sumatora i dovodi se na ulaz PI bloka čiji izlaz nakon stabilizacione povratne sprege formira signal V_{RU} na osnovu koga se određuje fazni pomeraj α impulsa za paljenje tiristora. V_{Rmin} i V_{Rmax} predstavljaju minimalnu i maksimalnu vrednost izlaznog signala regulatora.



Slika 4. Blok šema automatske regulacije napona

5.5. Ručna regulacija struje pobude

Ručna regulacija struje pobude predstavlja rezervni režim rada regulatora pobude. Iz automatske u ručnu regulaciju se prelazi na nalog opretera ili automatski pri nestanku merenja staorskog napona generatora. Blok šema ručne regulacije data je na slici 5. Ručna regulacija održava struju pobude prema podešenoj vrednosti strujne reference V_{REFIF} i zasnovana je na PI regulatoru (proporcionalno i integralno dejstvo) sa negativnom povratnom spregom po struji pobude (signal V_{If}). Komandama *Više* i *Niže* na nalog opretera menja se signal reference V_{REFIF} što za posledicu ima povećavanje ili smanjivanje struje pobude, a samim tim i statorskog napona i reaktivne snage generatora. Limiter minimalne pobude (signal V_{L-min}), limiter maksimalne struje pobude (signal $V_{L-maxIf}$), limiter maksimalne struje statora (signal $V_{L-maxIg}$) i V/Hz limiter (signal $V_{L-V/Hz}$) deluju preko sumatora ručne regulacije. Signal greške V_{err} predstavlja izlaz iz sumatora i dovodi se na ulaz PI bloka koji na svom izlazu formira signal V_{RI} na osnovu koga se određuje fazni pomeraj α impulsa za paljenje tiristora.



Slika 5. Blok šema ručne regulacije struje pobude

5.6. Test režim

Test režim se koristi prilikom ispitivanja i podešavanja sistema pobude, električnih zaštita i drugih sistema prema potrebi kao i prilikom ispitivanja karakteristika samog generatora. Da bi rad u test režimu bio moguć neophodno je obezbediti napajanje pobudnog transformatora iz 6 kV postrojenja elektrane. U test režim je moguće ući na razbuđenoj mašini kada je izabrano lokalno upravljanje. U test režimu se komandama *Više / Niže* direktno deluje na izlazni signal regulacije i na taj način je moguće direktno zadavati ugao paljenja tiristorskih mostova čime se statorski napon i pobudna

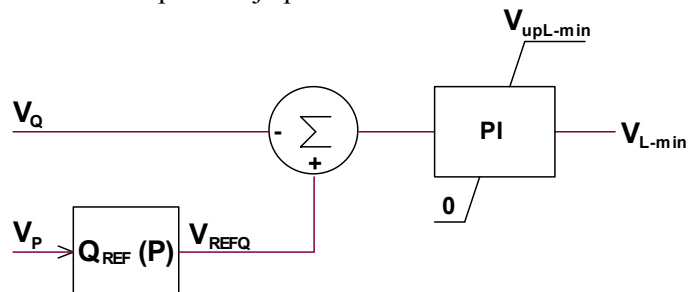
struja mogu postepeno podešavati do željene vrednosti, što nije moguće u automatskoj i ručnoj regulaciji. U test režimu rada sistema pobude nije moguć rad generatora na mreži.

5.7. Limiter minimalne pobude

Limiter minimalne pobude deluje na povećanje pobudne struje. Delovanje limitera minimalne pobude ima za cilj:

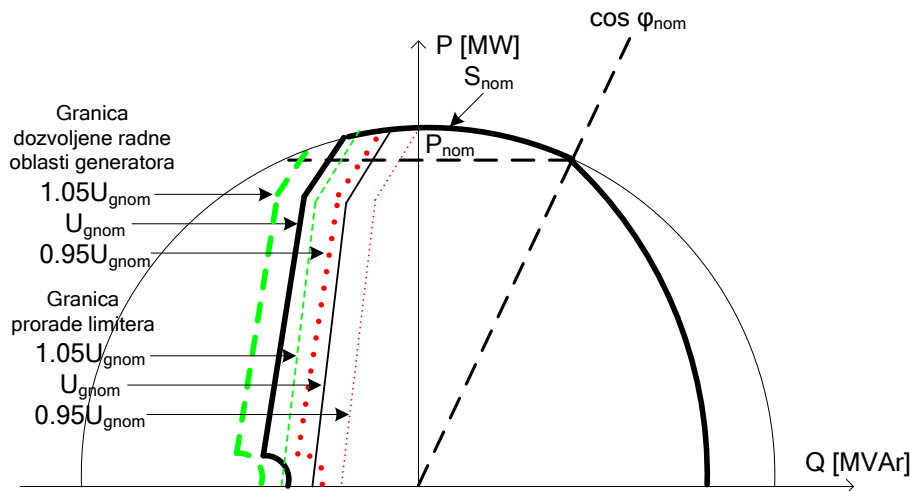
- sprečavanje radnih režima koji mogu ugroziti stabilnost sinhronne mašine ili mogu dovesti do gubitka sinhronizma usled nedovoljne pobude.
- sprečavanje radnih režima sa ekstremno niskom pobudom koji mogu dovesti do pregrevanja čeonih delova statora.
- sprečavanje odrade zaštite od gubitka pobude u podpobuđenim režimima rada.

Blok dijagram limitera minimalne pobude je prikazan na slici 6.



Slika 6. Blok dijagram limitera minimalne pobude

Ulazni signali limitera minimalne pobude su signali V_Q i V_P proporcionalni reaktivnoj i aktivnoj snazi generatora. Limiter je zasnovan na PI regulatoru. Izlazni signal limitera minimalne pobude V_{L-min} deluje preko sumatora automatske ili ručne regulacije i učestvuje u formiranju signala greške. Signal V_{REFQ} zavisi od vrednosti aktivne snage i formira se na osnovu granice prorade limitera $Q_{REF}(P)$ koja je dvosegmentna (slika 7). Granica prorade se definiše u P-Q dijagramu dozvoljene radne oblasti generatora sa tri tačke i menja se u zavisnosti od vrednosti napona statora.



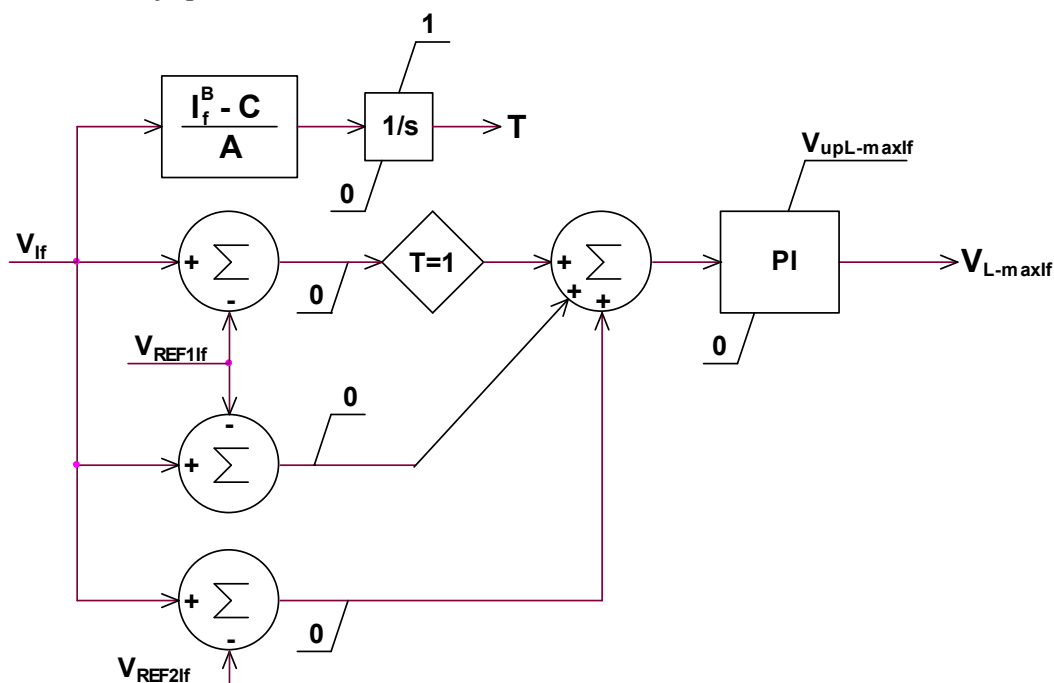
Slika 7. Granica prorade limitera minimalne pobude

U normalnim radnim uslovima za reaktivnu snagu veću od V_{REFQ} limiter je neaktivan (izlaz iz limitera ima nultu vrednost). Kada reaktivna snaga padne ispod vrednosti V_{REFQ} izlaz iz limitera V_{L-min} počinje da raste i deluje na povećanje reaktivne snage do granice prorade limitera. Reaktivna snaga ostaje na toj vrednosti sve dok uslovi u sistemu ne dovedu do njenog povećanja. Izlazni signal limitera je ograničen na vrednosti između nule i $V_{upL-min}$.

5.8. Limiter maksimalne struje pobude

Funkcija limitera maksimalne struje pobude je da održi struju rotora u granicama dozvoljenog opterećenja, kako bi se sprečilo pregrevanje rotora usled prevelike struje pobude i odrada prekostrujne zaštite rotora. Istovremeno limiter treba da omogući vremenski ograničeno forsiranje pobude u cilju poboljšanja stabilnosti sistema. Pri pojavi preopterećenja limiter najpre detektuje preopterećenje, dozvoljava trajanje preopterećenja tokom definisanog vremenskog perioda i ukoliko preopterećenje postoji i nakon tog perioda limiter deluje na smanjenje pobudne struje na granicu prorade limitera. Limiter ima dve vrednosti prorade i kombinovanu trenutnu i inverznu vremensku karakteristiku.

Blok šema limitera je prikazana na slici 8.



Slika 8. Blok dijagram limitera maksimalne struje pobude

Ulazni signal limitera maksimalne struje pobude je signal V_{If} proporcionalan struji pobude generatora. Limiter je zasnovan na PI regulatoru. Prva vrednost prorade V_{REF1If} predstavlja trajno dozvoljenu struju pobude, dok druga vrednost prorade V_{REF2If} predstavlja plafonsku struju pobude. Za pobudnu struju čija je vrednost između V_{REF1If} i V_{REF2If} odrada limitera ima inverznu vremensku karakteristiku koja se podešava parametrima A, B i C, dok za pobudnu struju čija je vrednost veća od V_{REF2If} limiter odrađuje trenutno. Izlazni signal limitera $V_{L-maxIf}$ deluje preko sumatora automatske ili ručne regulacije i učestvuje u formiranju signala greške. Izlazni signal je ograničen na vrednosti između nule i $V_{upL-maxIf}$.

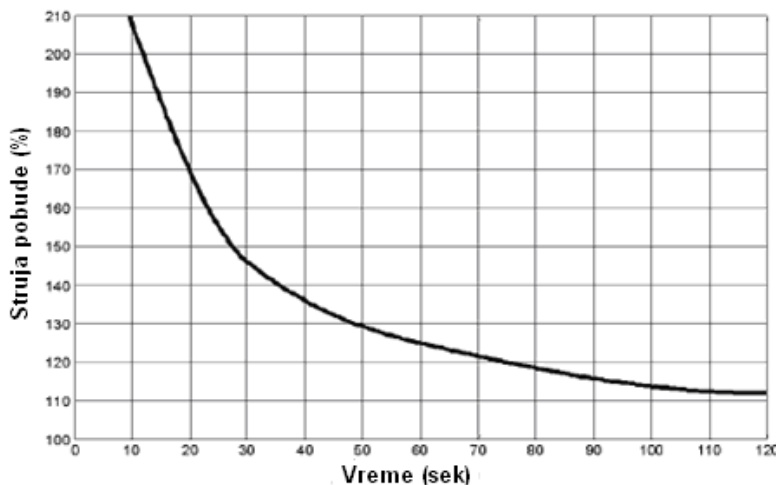
Za pobudnu struju manju od V_{REF1If} limiter je neaktivan (izlaz iz limitera $V_{L-maxIf}$ ima nultu vrednost). Kada pobudna struja pređe vrednost V_{REF1If} aktivira se integrator limitera po inverznoj vremenskoj karakteristici. Sve dok izlaz iz integratora T ne dostigne vrednost 1 blokirana je prorada prvog stepena limitera. Kada T dostigne vrednost 1 limiter proraduje. Tada izlaz iz limitera počinje da raste i deluje na smanjenje vrednosti pobudne struje na V_{REF1If} . Struja pobude ostaje na toj vrednosti sve dok uslovi u sistemu ne dovedu do njenog smanjenja. Kada se vrednost struje smanji ispod V_{REF1If} , integrator će početi da odbrojava unazad, čime se uzima u obzir vreme potrebno da se rotor ohladi. Ako u međuvremenu vrednost pobudne struje ponovo pređe V_{REF1If} , pre nego što se izlaz iz integratora smanji na nulu, integrator odbrojava unapred počevši od vrednosti koja je u tom trenutku na njegovom izlazu. Kada pobudna struja pređe vrednost V_{REF2If} limiter proraduje trenutno

i deluje na smanjenje vrednosti pobudne struje na V_{REF2If} , a zatim kada izlaz integratora dostigne vrednost 1 limiter smanjuje vrednost struje pobude na V_{REF1If} .

Dozvoljeno vreme trajanja preopterećenja rotora u zavisnosti od struje pobude je u standardu definisano funkcijom:

$$time = A/(I_f^B - C)$$

pri čemu su: I_f - struja pobude u r.j., A, B i C - koeficijenti. Najčešće se dozvoljeno preopterećenje rotora modeluje kvadratnom funkcijom (B=2). Primer ove karakteristike je prikazana na grafiku na slici 10.

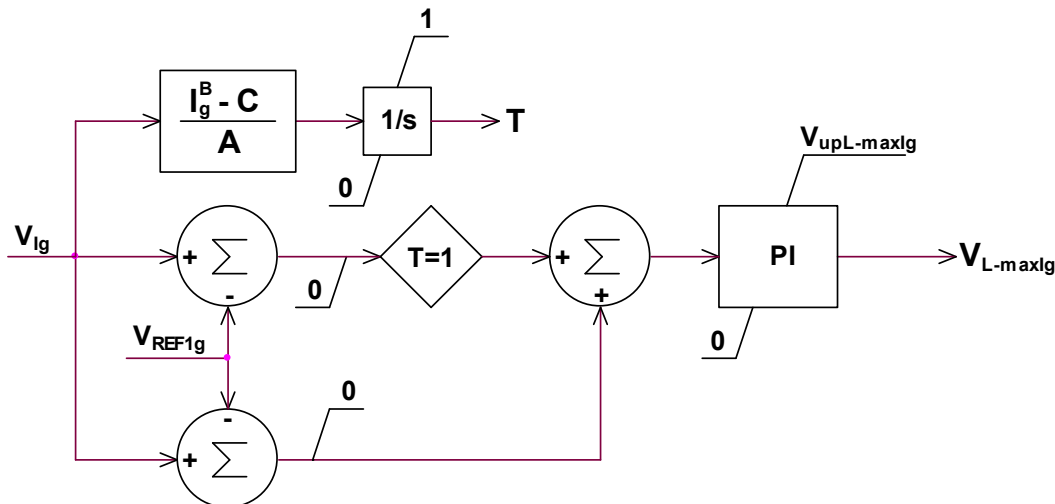


Slika 10. Karakteristika dozvoljenog preopterećenja rotora

5.9. Limiter maksimalne struje statora

Funkcija limitera maksimalne struje statora je da održi struju statora u granicama dozvoljenog opterećenja, kako bi se sprečila odrada prekostrujne zaštite generatora. Pri pojavi preopterećenja limiter najpre detektuje preopterećenje, dozvoljava trajanje preopterećenja tokom definisanog vremenskog perioda i ukoliko preopterećenje postoji i nakon tog perioda limiter deluje na smanjenje struje na granicu prorade limitera. Limiter ima inverznu vremensku karakteristiku prorade.

Blok šema limitera je prikazana na slici 11.



Slika 11. Blok dijagram limitera maksimalne struje statora

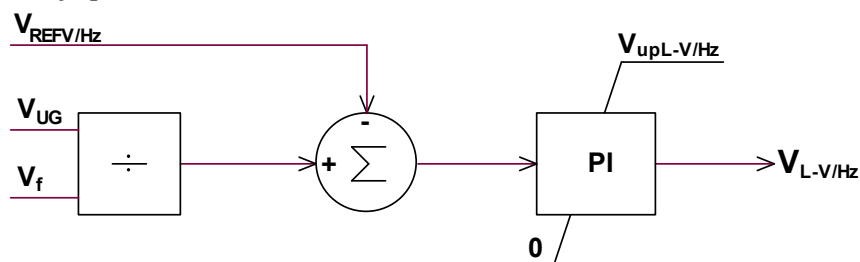
Ulazni signal limitera maksimalne struje statora je signal V_{lg} proporcionalan struji statora generatora. Limiter je zasnovan na PI regulatoru. Vrednost prorade V_{REFlg} predstavlja trajno dozvoljenu struju statora. Odrada limitera ima inverznu vremensku karakteristiku koja se podešava parametrima A, B i C. Izlazni signal limitera $V_{L-maxlg}$ deluje preko sumatora automatske ili ručne regulacije i učestvuje u formiranju signala greške. Izlazni signal je ograničen na vrednosti između nule i $V_{upL-maxlg}$.

Za struju statora manju od V_{REFlg} limiter je neaktivan (izlaz iz limitera $V_{L-maxlg}$ ima nultu vrednost). Kada struja pređe vrednost V_{REFlg} aktivira se integrator limitera po inverznoj vremenskoj karakteristici. Sve dok izlaz iz integratora T ne dostigne vrednost 1 blokirana je prorada limitera. Kada T dostigne vrednost 1 limiter proraduje. Tada izlaz iz limitera počinje da raste i deluje na smanjenje vrednosti struje statora na V_{REFlg} . Struja statora ostaje na toj vrednosti sve dok uslovi u sistemu ne dovedu do njenog smanjenja. Kada se vrednost struje smanji ispod V_{REFlg} , integrator će početi da odbrojava unazad, čime se uzima u obzir vreme potrebno da se stator ohladi. Ako u međuvremenu vrednost struje ponovo pređe V_{REFlg} , pre nego što se izlaz iz integratora smanji na nulu, integrator odbrojava unapred počevši od vrednosti koja je u tom trenutku na njegovom izlazu. Dozvoljeno vreme trajanja preopterećenja statora u zavisnosti od struje statora može se iskazati istom funkcijom kao i kod rotora (slika 10).

5.10. V/Hz limiter

V/Hz limiter služi da zaštiti generator i blok transformator od prekomernog magnetnog fluksa pri niskoj frekvenciji ili prevelikom naponu. Prekomeran fluks dovodi do pregrevanja i može izazvati oštećenje gvođenog jezgra blok transformatora i generatora. V/Hz limiter se uobičajeno koristi za zaštitu generatora ili blok transformatora kada je brzina generatora, a samim tim i frekvencija, snižena pri pobuđenoj mašini, na primer pri startu ili zaustavljanju agregata.

Blok šema limitera je prikazana na slici 12.



Slika 12. Blok dijagram V/Hz limitera

Odnos napona i frekvencije u relativnim jedinicama, naznačen kao odnos V/Hz, je merljiva veličina proporcionalna magnetnom fluksu, pa se kao ulazni signali koriste V_{UG} i V_f koji su proporcionalni statorskom naponu i frekvenciji statorskog napona. V/Hz limiter deluje na smanjenje odnosa napona statora kada odnos napona i frekvencije pređe podešenu vrednost odrade limitera preko sumatora automatske ili ručne regulacije.

U normalnim radnim uslovima kada je odnos napona i frekvencije manji od $V_{REFV/Hz}$ limiter je neaktivan (izlaz iz limitera ima nultu vrednost). Kada odnos napona i frekvencije pređe $V_{REFV/Hz}$ izlaz iz limitera $V_{L-V/Hz}$ počinje da raste i deluje na smanjenje napona statora do granice prorade limitera. Izlazni signal limitera je ograničen na vrednosti između nule i $V_{upL-V/Hz}$.

6. Realizacija tehničkog rešenja

Prikazano tehničko rešenje je realizovano kao deo primarne regulacione opreme agregata B2 u TE "Nikola Tesla B". Isto ili slično tehničko rešenje je uz eventualna prilagođenja tipu pobudnog sistema realizovano na agregatu B1 u TE "Nikola Tesla B", agregatu A2 u TE "Kostolac A", agregatu A2 u HE "Piroć" i agregatu u HE "Trebinje 2".

7. Mogućnosti primene tehničkog rešenja

Tehničko rešenje ima mogućnost primene u okviru regulacione opreme agregata u svim termoelektrana i hidroelektrana sa limiterima pobude starije generacije.