

## Koordinacija nekih funkcija sistema relejne zaštite i sistema regulacije pobude sa pogonskim dijagramom

Darko Vučićević<sup>1</sup>, Danilo Buha<sup>1</sup>, Savo Marinković<sup>1</sup>, Saša Gligorov<sup>1</sup>,  
Nevena Malešević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a,  
11000 Beograd, Srbija

[darko.vucicevic@ieent.org](mailto:darko.vucicevic@ieent.org)

**Kratak sadržaj:** Uobičajena je praksa da se relejna zaštita i funkcija sistema regulacije pobude nezavisno podešavaju, što često dovodi do nekoordiniranog delovanja nekih funkcija. U ovom radu su prikazani proračuni nekih značajnih funkcija zaštite. Prvi proračun se odnosi na funkciju zaštite od gubitka pobude, kao i na koordinaciju iste sa limiterom minimalne pobude. Analizirajući podešenja koordinacije ove zaštite sa limiterom minimalne pobude zapaženo je da su neadekvatno podešene tako da ne omogućuju da se kapacitivni deo pogonskog dijagrama optimalno iskoristi, za šta u prenosnom sistemu postoji velika potreba.

Drugi proračun se odnosi na koordinaciju limitera maksimalne struje statora u sistemu regulacije pobude sa zaštitama od preopterećenja statora, prekostrujnom zaštitom i dozvoljenim preopterećenjem statora generatora. Ovde je zapaženo da ova koordinacija često nije adekvatno podešena što dovodi do sledećih neregularnih delovanja:

- do pogrešnog rada automatskog regulatora napona u određenim pogonskim situacijama što može dovesti do kolapsa napona u prenosnom sistemu;
- da u nekim pogonskim situacijama ne dolazi do forsiranja pobude kada je to najpotrebnije.

**Ključne reči:** zaštita od gubitka pobude, limiter minimalne pobude, limiter maksimalne struje statora, zaštita od preopterećenja statora, prekostrujna zaštita, dozvoljeno preopterećenje statora.

## 1 Uvod

Proračun podešenja generatorskih zaštita treba da obezbedi:

- punu koordinaciju zaštita sa pogonskim dijagramom generatora koji sadrži ograničenja koja se odnose na zagrevanje namotaja rotora, zagrevanja namotaja statora, zagrevanje magnetnog kola i ograničenja usled statičke stabilnosti generatora;

- punu koordinaciju zaštita sa sistemom regulacije pobude, kod poremećaja i kvarova u mreži kada brz odziv sistema pobude održava generator u sinhronizmu sa elektroenergetskim sistemom, ali može da uvede generator u nedozvoljene režime koje definiše njegov pogonski dijagram. U sve sisteme regulacije pobude ugrađene su funkcije koje obezbeđuju da se iskoriste maksimalne mogućnosti generatora radi održavanja stabilnosti elektroenergetskog sistema, a da se pri tome ne izazove oštećenje generatora. Zato je potrebno sledeće funkcije sistema regulacije pobude koordinisati sa odgovarajućim funkcijama zaštite generatora:

- Funkciju limitera maksimalne struje pobude sa funkcijama zaštite od preopterećenja rotora i prekostrujnom zaštitnom funkcijom rotora uzimajući u obzir njegove termičke mogućnosti. Sve ove funkcije potrebno je usaglasiti sa zaštitom pobudnog transformatora.

- Funkciju limitera maksimalne struje statora sa zaštitnom funkcijom preopterećenja statora i prekostrujnom zaštitnom funkcijom statora uzimajući u obzir njegove termičke mogućnosti;

- Funkciju limitera minimalne struje pobude sa zaštitnom funkcijom od gubitka pobude uzimajući u obzir krivu statičke stabilnosti generatora;

- Funkciju limitera nadpobude (V/Hz) sa zaštitnom funkcijom „V/Hz“ uzimajući u obzir dozvoljene vrednosti date od proizvođača generatora;

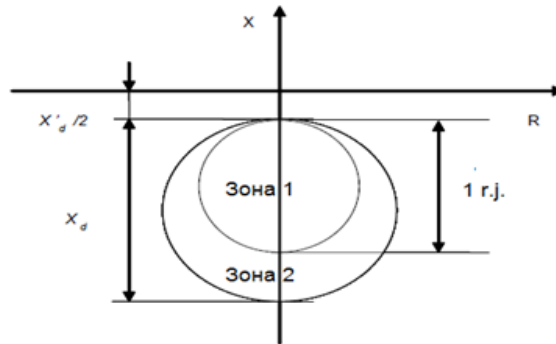
- Funkciju forsiranja pobude sa zaštitnom podimpedantnom funkcijom (21G) uzimajući u obzir ekstremne poremećaje u mreži.

## 2 Koordinacija zaštite od gubitka pobude i limitera minimalne pobude generatora

Najrasprostranjeniji metod detekcije gubitka pobude generatora se zasniva na preračunavanju impedanse iz faznih struja i napona direktnog redosleda sa priključnih krajeva generatora, s toga je i većina preporuka definisana u R-X ravni upravo u odnosu na ovaj način realizacije zaštitne funkcije.

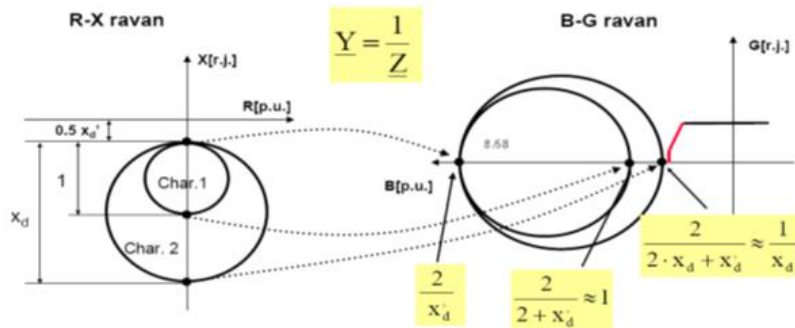
Jedna od preporuka za metod realizacije zaštite od gubitka pobude se zasniva na upotrebi dva neusmerena admitantna elementa sa negativnim pomerajem. Zona 2 zaštitne funkcije je definisana krugom sa negativnim pomerajem jednakim polovini tranzijentne reaktanse generatora i prečnikom koji je jednak vrednosti sinhronne reaktanse po direktnoj osi mašine. Zona 1 zaštitne funkcije je definisana krugom čiji je pomeraj jednak pomeraju Zone 2 ali čiji je prečnik jednak  $1 \text{ r.j.}$ , u odnosu na generatorsku bazu ( $U_b = U_n$ ,

Sb=Sn). Uobičajeno podešenje prve i druge zone impedantnih karakteristika zaštite od gubitka pobude je prikazano na narednoj slici.



Slika 1. Preporuka za podešenje zaštite od gubitka pobude u R-X ravni

Na generatorima B1 и B2 u TE Kostolac B su kao i na većini generatora u EPS-u ugrađeni zaštitni uređaji tipa Siemens SIPROTEC 4. Ovi zaštitni uređaji realizuju zaštitu od gubitka pobude preračunavanjem admitanse iz faznih struja i napona direktnog redosleda sa priključnih krajeva generatora i proveravaju sračunatu vrednost u odnosu na zadati kriterijum. Na slici 2 dato je preslikavanje preporuke zaštite od gubitka pobude po admitantnom principu.



Slika 2. Preslikavanje preporuke podešenja zaštite od gubitka pobude iz R-X u B-G ravan

Podešenje karakteristike 1 (Slika 3) sa marginom od 10% u odnosu na pogonski dijagram je:

$$\frac{1}{x_{d1}} = 0,9 \cdot \frac{2}{2 \cdot x_d + x'_d} = 0,36 \text{ r.j. } \alpha_1 = 79^\circ \quad (1)$$

gde je  $x_d = 2,347 \text{ r.j.}$  и  $x'_d = 0,306 \text{ r.j.}$

Nagib k-ke 1, koji se bira tako da prati deo pogonskog dijagrama koji se odnosi na zagrevanje krajnjih paketa limova statora, je  $\alpha_1 = 79^\circ$  (Slika 3).

Podešenje karakteristike 2 je odabrano tako da bude obuhvaćen deo pogonskog dijagrama koji je vezan za minimalnu pobudu:

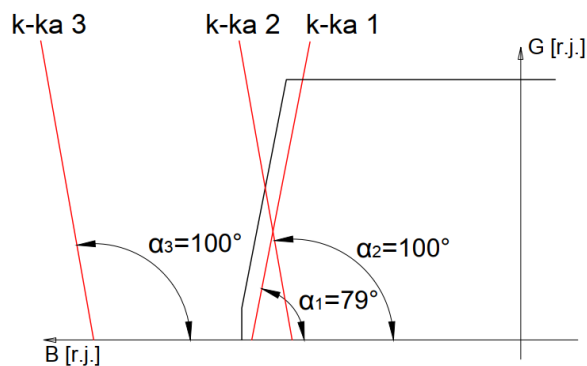
$$\frac{1}{x_{d2}} = 0,29 \text{ r.j. } \alpha_2 = 100^\circ \quad (2)$$

Podešenje karakteristike 3 je:

$$\frac{1}{x_{d3}} = \frac{2}{2+x'_d} = 0,86 \text{ r.j. } \alpha_3 = 100^\circ \quad (3)$$

Gore navedena podešenja su primarna podešenja, a u zaštitni uređaj se unose sekundarna podešenja koja se prema instrukciji proizvođača zaštitnog uređaja računaju preko sledeće formule:

$$\frac{1}{x_{d \text{ sek}}} = \frac{1}{x_d} \cdot \frac{I_{nG}}{U_{nG}} \cdot \frac{U_{nVT \text{ prim}}}{I_{nCT \text{ prim}}} \quad (4)$$



Slika 3. Zaštita od gubitka pobude realizovana po admitantnom principu

U narednoj tabeli data su sadašnja i predložena podešenja (sekundarne vrednosti).

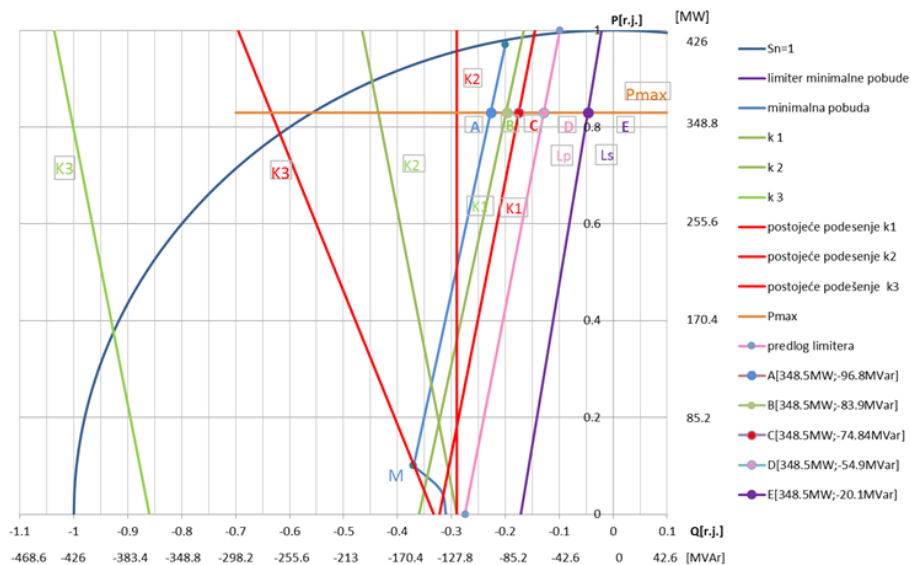
*Tabela 1. Sadašnje podešenje i predlog podešenja zaštite od gubitka pobude*

Adresa	Parametar	Sadašnje podešenje	Predlog podešenja
3002	Susceptance Intersect characteristic 1 (1/xd CHAR. 1)	0.30	0.335
3003	Inclination Angle of characteristic 1 (ANGLE 1)	80°	79°
3004	Characteristic 1 Time Delay (T CHAR. 1)	6.00 sec	6.00 sec
3005	Susceptance Intersect characteristic 2 (1/xd CHAR. 2)	0.27	0.270
3006	Inclination Angle of characteristic 2 (ANGLE 2)	90 °	100 °
3007	Characteristic 2 Time Delay (T CHAR. 2)	2.00 sec	10.00 sec
3008	Susceptance Intersect characteristic 3 (1/xd CHAR. 3)	0.31	0.801
3009	Inclination Angle of characteristic 3 (ANGLE 3)	110 °	100 °
3010	Characteristic 3 Time Delay (T CHAR. 3)	0.30 sec	0.30 sec

Sadašnji limiter ( $L_s$ ) je određen tačkama:

(P;Q)=(0 MW; -70,2 MVar) i (P;Q)=(348,5 MW; -19,44 MVar)

Na slici 4 dat je kapacitivni deo pogonskog dijagrama sa sadašnjim podešenjima i predlogom podešenja zaštite od gubitka pobude i limitera minimalne pobude u primarnim vrednostima. Podešenja limitera minimalne pobude treba da budu naponski zavisna jer je zaštita od gubitka pobude naponski zavisna. Kako u radu uslovi hlađenja nisu uvek kao projektovani, kod podešenja je uzeta margina od 10% do 15%.



Slika 4. Karakteristika zaštite od gubitka pobude sa limiterom minimalne pobude

Sa slike 4 možemo zaključiti sledeće:

- Postojeće podešenje limitera minimalne pobude (P;Q)=(348,5 MW;-19,44 MVar) je vrlo restriktivno, onemogućuje „dublje” korišćenje kapacitivnog dela pogonskog dijagrama;
- Predlog podešenja je (P;Q)=(348,5 MW;-54,9 MVar) što omogućuje dodatnih 35,5 MVar u kapacitivnom režimu pri nominalnoj aktivnoj snazi od P=348,5 MW;
- Predlog podešenja zaštite od gubitka pobude (karakteristika „k1” je (P;Q)= (348,5 MW;-83,9 MVar) u odnosu na postojeće podešenje (P;Q)= (348,5 MW;-74,84 MVar).Kao što se vidi limiter minimalne pobude može da se podesi da ide dublje u kapacitivni režim.
- Pogonski dijagram dozvoljava (P;Q)= (348,5 MW;-96,8 MVar).

Predlog podešenja karakteristike „k3”je dat na osnovu instrukcije proizvođača „Siemens” ( $\frac{1}{x_{d3}} = -0,8 \text{ r.j.}$ ) umesto sadašnjeg podešenja ( $\frac{1}{x_{d3}} = -0,31 \text{ r.j.}$ ).

### 3 Koordinacija limitera maksimalne struje statora u sistemu regulacije pobude sa zaštitama od preopterećenja statora, inverznom prekostrujnom zaštitom i dozvoljenim preopterećenjem statora

#### 3.1 Zaštita od preopterećenja statora

Osnovni cilj zaštite od preopterećenja jeste da spreči termičko oštećenje određenog sklopa mašine usled delovanja toplotne energije veće od dozvoljene, odnosno u krajnjoj instanci usled dostizanja temperature sklopa koja je veća od trajno dozvoljene temperature, pri čemu se štice sklop posmatra kao homogeno telo.

Zaštita od preopterećenja statorskog namotaja treba da bude koordinisana sa prekostrujnom zaštitom.

Svaki generator je konstruisan tako da trajno može da izdrži preopterećenja od 105% naznačene struje. Struje koje su veće od ove vrednosti generator može da izdrži neko određeno vreme što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Dozvoljeno trajanje preopterećenja statora

$I/I_n$ [r.j.]	1,16	1,30	1,54	2,26
$t$ [s]	120	60	30	10

Karakteristika zaštite od preopterećenja će se izabrati tako da sadrži tačke iz tabele 2 sa usvojenom marginom od 20%. Rezerva od 20% znači da je dozvoljena toplotna energija 80% prethodno dozvoljene vrednosti, odnosno kako je toplotna energija srazmerna kvadratu struje i vremenu trajanja te struje, ovo znači da se za svaku vrednost preopterećenja iz tabele 2 dozvoljava 80% vremena trajanja. Nove tačke koje će poslužiti za proračun su date u tabeli 3.

Tabela 3. Vrednost dozvoljenog trajanja preopterećenja statora sa marginom od 20%

$I/I_n$ [r.j.]	1,16	1,30	1,54	2,26
$t$ [s]	105,5	48	23,3	7,5

Funkcija zaštite od preopterećenja je realizovana dvojako u Siemens zaštitnim uređajima, odnosno korisnik može da odabere da li će vremenski inverzna karakteristika delovanja biti logaritamskog tipa određena

vremenskom konstantom i faktorom trajno dozvoljenog preopterećenja, ili će karakteristika delovanja biti definisana od strane korisnika, tačku po tačku.

U slučaju kada je odabrana logaritamska karakteristika delovanja koja se preračunava iz osnovnih termičkih parametara, vreme odlaganja delovanja zaštite od preopterećenja je definisano sledećim izrazom:

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{K \cdot I_n}\right)^2 - \left(\frac{I_{pr}}{K \cdot I_n}\right)^2}{\left(\frac{I}{K \cdot I_n}\right)^2 - 1} \quad (5)$$

gde je:

$\tau$  – termička vremenska konstanta;

$I$  – najveća od faznih efektivnih vrednosti struje;

$K$  – koeficijent trajno dozvoljenog preopterećenja izražen u relativnim jedinicama u odnosu na naznačenu vrednost struje;

$I_{pr}$  – struja prethodnog opterećenja;

$I_n$  – naznačena vrednost struje sklopa mašine koja se štiti.

Osnovni parametri koji se zadaju ovoj zaštitnoj funkciji jesu koeficijent trajno dozvoljenog preopterećenja i termička vremenska konstanta. Dodatni parametri koji se definišu jesu temperatura alarma ( $\theta$  ALARM) izražena u procentima temperature delovanja zaštite na isključenje ( $\theta$  TRIP), kao i vrednost struje alarma ( $I$  ALARM). Vrednost struje alarma služi da izda upozorenje da je određena vrednost struje prevaziđena, čak i ako vrednost preračunate temperature nije veća od temperature alarma. Vrednost temperature alarma ( $\theta$  ALARM) je takođe bitna, jer ona predstavlja i vrednost temperature ispod koje se zaštitna funkcija razbuđuje. Termički model zaštite od preopterećenja u obzir uzima i temperaturu rashladnog sredstva. Informacija o temperaturi rashladnog sredstva može biti dovedena u zaštitni uređaj bilo kao analogni ili digitalni signal, dok je podrazumevana vrednost temperature rashladnog sredstva 40°C. Kako bi se sprečilo reagovanje zaštite od preopterećenja u slučaju pojave struja kratkih spojeva velikih vrednosti, definiše se parametar maksimalne vrednosti struje ( $I$  MAX THERM.) do koje se računa vreme odlaganja delovanja zaštite od preopterećenja, odnosno maksimalna vrednost struje nakon koje se vreme odlaganja delovanja dalje ne umanjuje.

Zaštita od preopterećenja može se predstaviti funkcijom:

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{K \cdot I_n}\right)^2 - \left(\frac{I_{pr}}{K \cdot I_n}\right)^2}{\left(\frac{I}{K \cdot I_n}\right)^2 - 1} = \tau \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - K^2} = 300 \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1,1025} \quad (6)$$



Karakteristika iz prethodne relacije obuhvata tačke koje su definisane u tabeli 3. Oznake iz prethodne relacije:

$\tau = 300 \text{ s}$  – termička vremenska konstanta;

$$\tau = \frac{t}{\frac{\ln\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1,1025}} = \frac{7,5}{\ln\left(\frac{(2,26)^2 - 1}{(2,26)^2 - 1,1025}\right)} = 296,79 \text{ s} \cong 300 \text{ s} \quad (7)$$

$K = 1,05$  primarno – koeficijent trajno dozvoljenog preopterećenja;

$$K'' = K \cdot \frac{I_n}{I_{NCTprim}} = 1,05 \cdot \frac{10760}{12000} = 0,94 \text{ - sekundarno}$$

$I_{pr} = I_n$  – struja prethodnog opterećenja;

Temperatura alarma treba da bude podešena na vrednost temperature štićenog sklopa koja se ima prilikom proticanja naznačene vrednosti struje, izraženo u procentima temperature delovanja. Ako usvojimo da je temperatura sklopa srazmerna gubicima aktivne snage, odnosno kvadratu struje, možemo napisati da je:

$$\theta_{TRIP} = a(k \cdot I_n)^2 \quad (8)$$

$$\theta_{ALARM} = a(I_n)^2 \quad (9)$$

$$\frac{\theta_{ALARM}}{\theta_{TRIP}} = \frac{a(I_n)^2}{a(k \cdot I_n)^2} = \frac{1}{K^2} \quad (10)$$

U konkretnom slučaju je:

$$\frac{\theta_{ALARM}}{\theta_{TRIP}} = \frac{100\%}{K^2} = \frac{100\%}{1,05^2} \approx 90\% \quad (11)$$

Vrednost struje alarma se podešava kao:

$$I_{ALARM} = \frac{k \cdot I_n}{n_{ST}} = \frac{1,05 \cdot 10760}{\frac{12000}{5}} = 4,7 \text{ A} \quad (12)$$

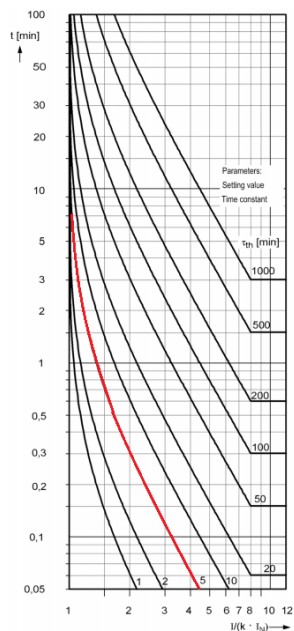
Treba imati u vidu da vrednost temperature alarma utiče na vrednost pri kojoj se zaštita od preopterećenja razbuđuje.

Takođe je potrebno odrediti i maksimalnu vrednost struje nakon koje dalje povećanje vrednosti struje ne dovodi do smanjenja vremena reagovanja. U konkretnom slučaju biće izabrana vrednost struje pri kojoj je vreme odlaganja delovanja 7,5 s. Vrednost ovog parametra se izražava u amperima svedeno na sekundarnu stranu strujnog transformatora, odnosno:

$$I_{MAXTHERM} = \frac{I(t=7,5s)}{n_{ST}} = \frac{2,26 \cdot 10760}{12000/5} = 10,13 \sim 10,2 \text{ A} \quad (13)$$

Tabela 4. Podešenja zaštite od preopterećenja statora generatora B1 i B2 u TE Kostolac

Siemens 7UM62 – Thermal Overload Protection			
Adresa parametra	Naziv parametra	Trenutno podešenje	Predloženo podešenje
1601	Thermal Overload Protection	ON	ON
1602	K – Factor	1,05	0,94
1603	Thermal Time Constant	5000 sec	300 sec
1604	Thermal Alarm Stage	90%	90%
1610A	Current Overload Alarm Setpoint	4,50 A	4,70 A
1615A	Maximum current for thermal Replica	16,50 A	10,20 A
1616A	Emergency Time	100 sec	300 sec



Slika 5. Krive zagrevanja u funkciji struje preopterećenja ako je prethodno opterećenje bilo nominalno

### 3.2 Prekostrujna zaštita sa inverznom karakteristikom ( $I>$ ; ANSI 51G)

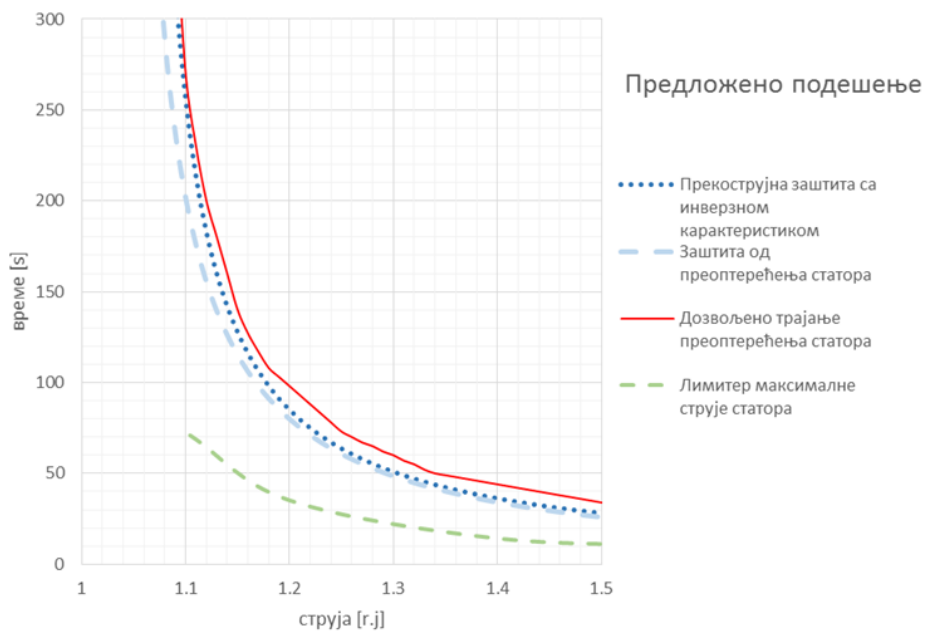
U tabeli 5 data su podešenja prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom. Potrebno je aktivirati funkciju koja će informaciju o struji dobiti preko strujnog transformatora u zvezdištu.

Tabela 5. Podešenja prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom B1 i B2

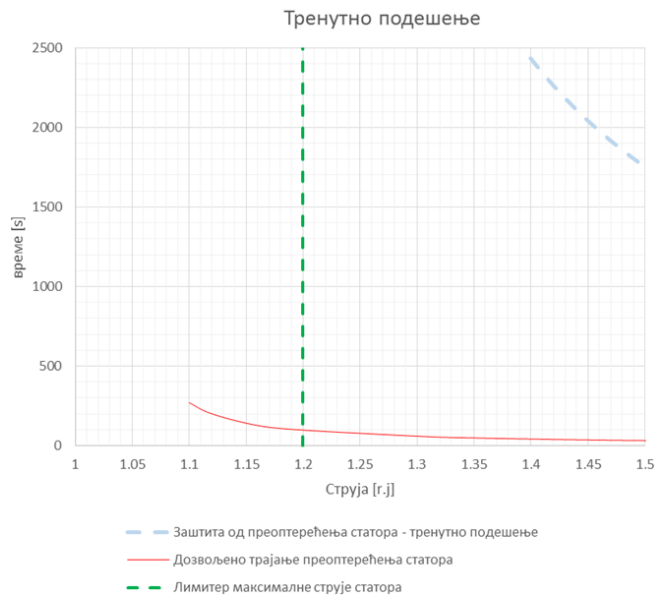
Siemens 7UM62 – Inverse Time Overcurrent Protection		
Adresa parametra	Naziv parametra	Predloženo podešenje (aktivirati funkciju)
1401	Inverse O/C Time Protection $I_p$	ON
1402	$I_p$ Pickup	4,70 A
1403	T $I_p$ Time Delay	0,9 sec
1405	IEC Curve	Very Inverse
1407	Voltage influence	without
1408	$U<$ Threshold for Release $I_p$	75,0 V

### 3.3 Karakteristika limitera maksimalne struje statora i njegova koordinacija sa zaštitom od preopterećenja statora i prekostrujnom zaštitom blok transformatora

Na slici 6 grafički je predstavljena koordinacija limitera maksimalne struje statora, zaštite od preopterećenja statora, prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom i krive dozvoljenog trajanja preopterećenja statora.



Slika 5. Koordinacija limitera maksimalne struje statora, zaštite od preopterećenja statora i krive dozvoljenog trajanja preopterećenja statora za slučaj TE Kostolac B, blokovi B1 i B2 - predložena rešenja



*Слика 6. Координација лимитера максималне струје статора, заштите од преоптерећења статора и криве дозвољеног трајања преоптерећења статора за случај ТЕ Костолас В, блокови В1 I В2 - тренутно подешенје*

Са слике 6 види се да лимитер струје статора који је подешен на  $1,2 \cdot I_{ng} = 1286,4 \text{ A}$  делује без вемеске задршке. Како се форсирање побуде активира када напон генератора падне на  $0,7 \cdot U_{ng}$ , при чему се блокира деловање лимитера струје статора, па тада имамо проблем за кварове који су праћени падом напона који је изнад  $0,7 \cdot U_{ng}$ . Код оваквих случајева аутоматски регулатор напона се блокира од лимитера струје статора ( $1,2 \cdot I_{ng}$ ), што онемогућава допринос датог генератора стабилности електроенергетског система. Зато је потребно да лимитер струје статора буде са вемески зависном карактеристиком. Институт Никола Тесла је овакве лимитере већ уградио на неким генераторима, на пример у ТЕНТ-у. Карактеристика оваквог лимитера је дата на слици 5. Као што се види, овај лимитер дозвољава несметан рад аутоматског регулатора напона за вредности напона веће од  $0,7 \cdot U_{ng}$ . На слици 5 види се координација овог лимитера са дозвољеним трајањем преоптерећења статора, заштитом од преоптерећења статора и прекострујном заштитом са инверзном карактеристиком.

## 4 Закључак

Анализом заштите од губитка побуде и лимитера минималне побуде утврђено је следеће:  
- да је лимитер минималне побуде врло рестриktivно подешен јер у овом случају

nije omogućen rad u kapacitivnom režimu shodno pogonskom dijagramu;

- da zaštite od gubitka pobude nisu adekvatno podešene i adekvatno koordinisane sa limiterom minimalne pobude i ako pogonski dijagram to omogućuje;
- da je zaštita od preopterećenja statora pogrešno podešena;
- da limiter maksimalne struje statora ne omogućuje pravilan rad automatskog regulatora napona za slučajeve ekstremnih situacija u prenosnoj mreži. Potrebno je ugraditi limiter maksimalne struje statora sa vremenski zavisnom karakteristikom;
- na slici 5 dat je predlog podešenja zaštite od preopterećenja statora i inverzne prekostrujne zaštite i njihova koordinacija sa predloženim limiterom maksimalne struje statora i kratkotrajnim tehničkim mogućnostima statora;
- potrebno je kod podešenja zaštita generatora voditi maksimalno računa o koordinaciji istih sa funkcijom automatskog regulatora napona i mogućnostima koje daje pogonski dijagram i kratkotrajne termičke mogućnosti generatora kako bi se maksimalno „pomoglo“ elektroenergetskom sistemu u ekstremnim pogonskim situacijama a da se pritom ne ugrozi bezbednost generatora;
- potrebno je izvršiti snimanje „eksploatacionih pogonskih dijagrama“ na strani generatora i na osnovu toga izvršiti eventualna prepodešavanja zaštita i funkcija automatskog regulatora napona.

## Literatura

- [1] Siemens, „Siprotec 4 Multifunctional Machine Protection 7UM62 v4.70 Manual“, Nemačka, 2018.
- [2] Milenko Đurić, „Relejna zaštita“, Beograd, 2014.
- [3] NERC, „Considerations for Power Plant and Transmission System Protection Coordination, Technical reference Document – Revision 2“, SAD, 2015.
- [4] CIGRE, „International Guide on the Protection of Synchronous Generators“, October 2011.
- [5] IEEE, „IEEE Std. C37.102TM-2007: Guide for AC Generator Protection“, Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE Power Engineering Society.

**Abstract.** It is common practice for relay protection and excitation systems to be adjusted independently. That practice leads to the uncoordinated operation of some protective functions. This article presents the tuning of some important protection functions. The first step is loss of excitation protection adjusting and its coordination with the minimum excitation limiting function. Analyzing the coordination settings of this protection with the minimum excitation limiter in practice, it is often noticed that these functions are inadequately adjusted, so the capacitive part of the generator capability curve is not optimally used. That is in contradiction with the high need for capacitive reactive power in the transmission system.

The second step refers to the coordination of the maximum stator current limiter in the excitation system with stator overload protection, overcurrent protection, and permitted generator stator overload. It is noted here that this coordination is often not adequately adjusted, leading to the following irregularities:

- malfunction of the automatic voltage regulator in certain operating situations, which can lead to voltage collapse in the transmission system;

- in some operating situations, there is no forcing of excitation current when it is most needed to preserve system stability.

**Keywords:** loss of excitation protection, minimum excitation limiter, maximum stator current limiter, stator overload protection, overcurrent protection, allowed stator overload.

## **Coordination between Relay Protection Functions and Excitation System with Generator Capability Curve**

Darko Vučićević, Danilo Buha, Savo Marinković, Saša Gligorov, Nevena Malešević

Rad primljen u uredništvo: 21.11.2021. godine.

Rad prihvaćen: 28.12.2021. godine.

