

Zaštita i automatika u vrtlogu novih značajki pogona distribucijske mreže

Marijan Lukač, dipl.ing.

HEP-ODS d.o.o. Elektra Zagreb

Dijelovi distributivnog sustava

1. – energetske transformatori (110/35/10(20)kV)
2. – SN sabirnice, Kompenzacija, MTU
3. – SN vodovi (35 kV, 20kV, 10 kV)
4. – energetske transformatori (10(20)/0,4kV)
5. – NN sabirnice, NN vodovi, trošila

Od relejne zaštite traži se da bude osjetljiva, brza, pouzdana, selektivna i da ima zalihost (rezervu).

Osjetljivost – mora djelovati i kod najmanjih očekivanih vrijednosti mjerne veličine.

Brzina – mora imati dovoljno kratko vrijeme djelovanja, da spriječi moguće štete.

Pouzdanost – mora proraditi kad nastane kvar .

Selektivnost – mora automatski isključiti iz pogona samo onaj dio sustava koji je u kvaru, dok preostali sustava ostaje u normalnom pogonu.

Rezerva – u slučaju da kvar iz bilo kojeg razloga nije isključen na najbližem mjestu, on se mora isključiti na slijedećoj višoj razini postrojenja.

Automatika u distribucijskoj mreži

1. – regulatori napona – održavanje iznosa napona u mreži
1. – uređaji za automatsko ponovno uklapanje (APU)
2. – preklopna automatika (slabo zastupljena u našoj mreži)
3. – regulatori kompenzacijskih prigušnica

Zaštite u distributivnim mrežama

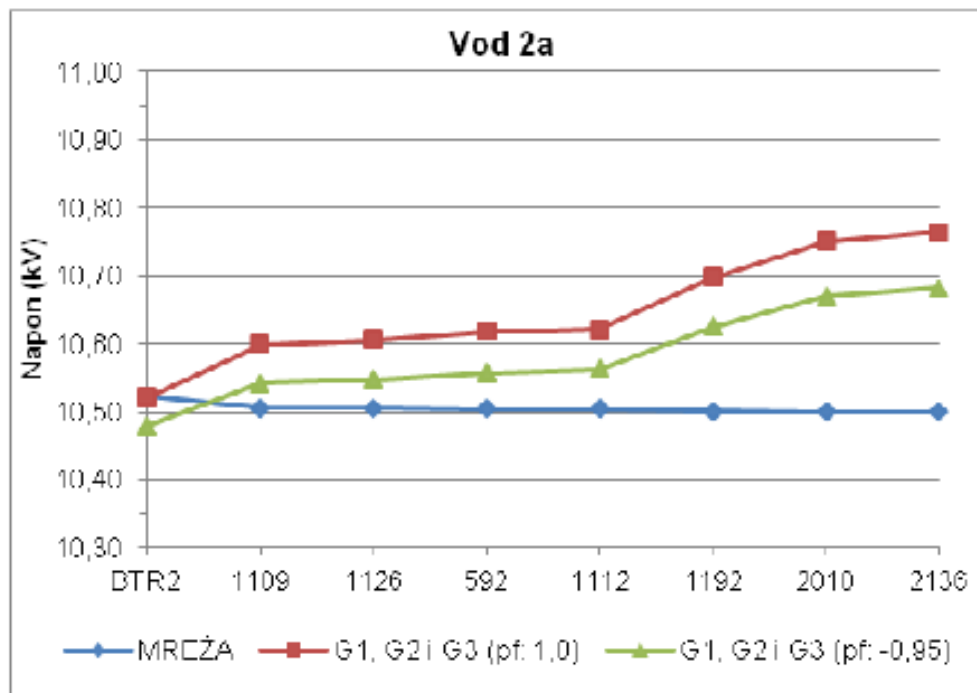
- Najčešće relejne zaštite u klasičnim distribucijskim postrojenjima su:
 1. – nadstrujna zaštita ($I>$, $I>>$, $I>>>$)
 2. – zemljospojna zaštita ($I_0>$, $I_0>>$, usmjerena $I_0>$)
 3. – diferencijalna zaštita ($\Delta I>$, $\Delta I>>$)
 4. – nadnaponska i podnaponska zaštita ($U>$, $U<$)
 5. – signalizacija zemljospoja ($U_0>$)
- U novijim zaštitnim sustavima koriste se blokadne sheme u postrojenju (zaštita SN sabirnica) i zaštita od otkaza prekidača

Tokovi snaga i struja kratkog spoja u pasivnim distributivnim mrežama

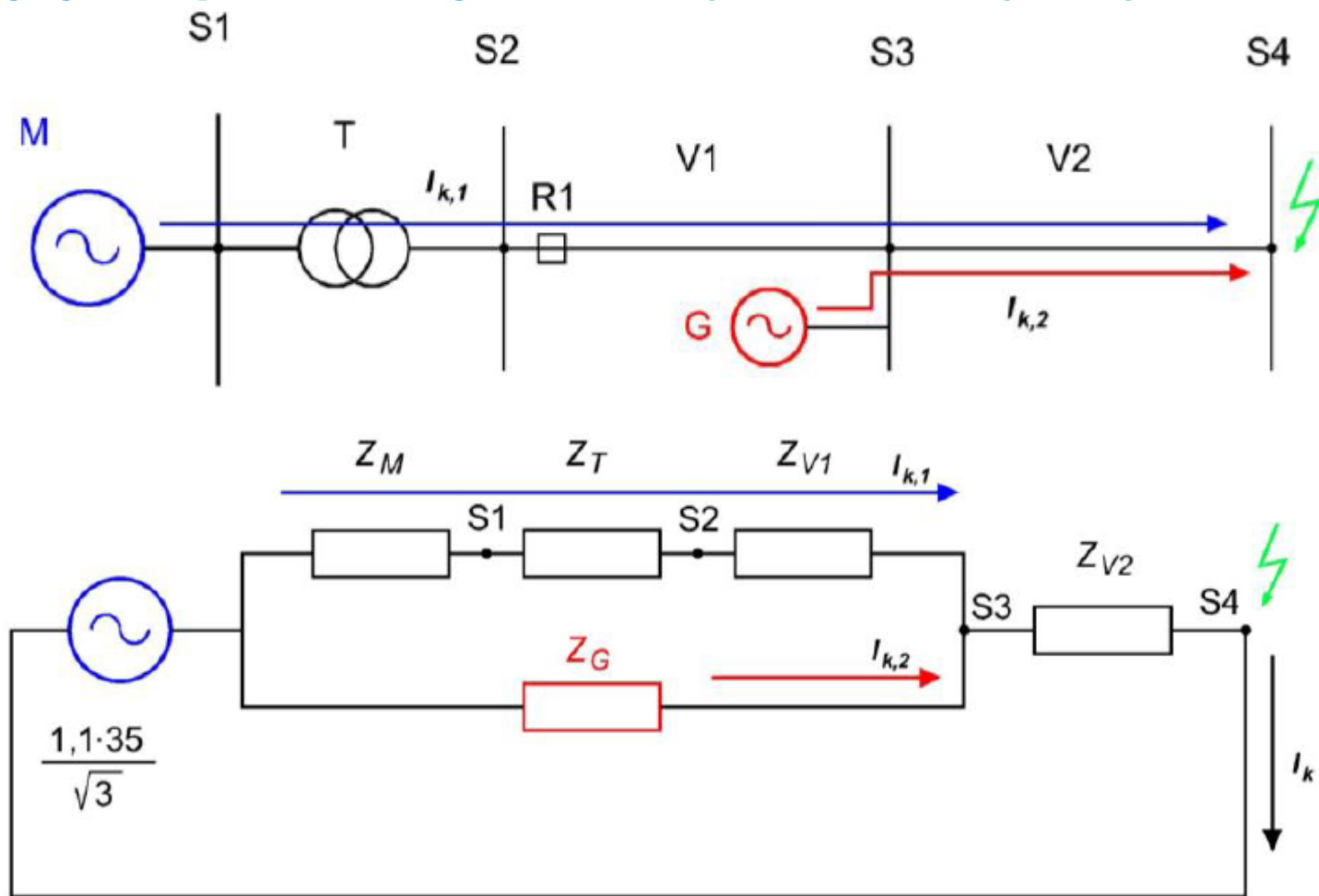
- 1.– radna snaga ima smjer od SN prema NN naponu
- 2.– struje kratkog spoja teku u jednom smjeru od pojne trafostanice prema mjestu kvara
- 3.– naponi padaju od pojne trafostanice prema potrošačima

Priključenje distribuiranih izvora mijenja tokove snaga, struja i napona, distribucijska mreža postaje aktivna i dolaze novi problemi

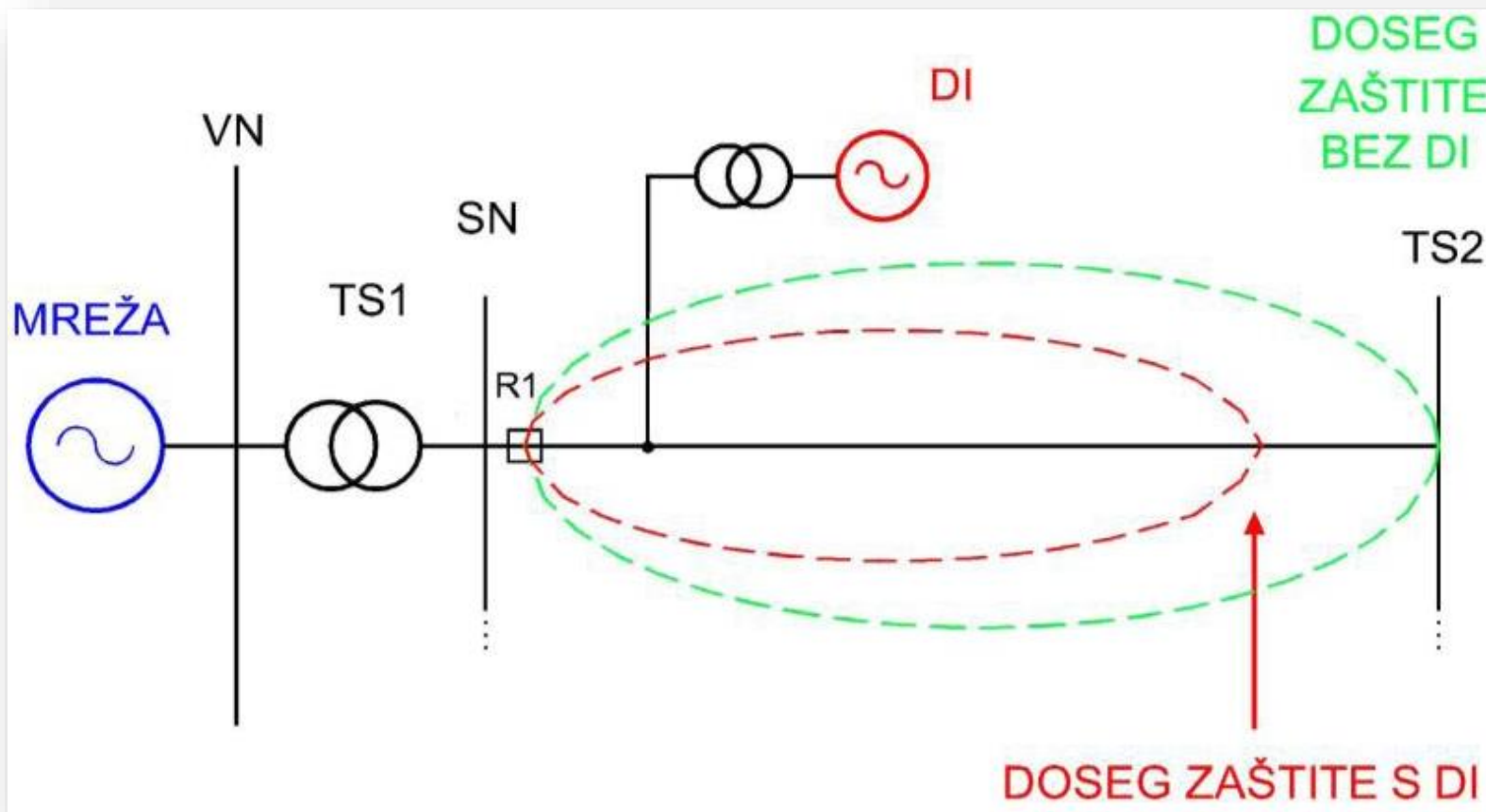
1. – radna snaga ide od NN prema SN trafostanici
2. – naponi padaju prema pojnoj trafostanici



DI smanjuje impendanciju mreže jer se priključuje paralelno



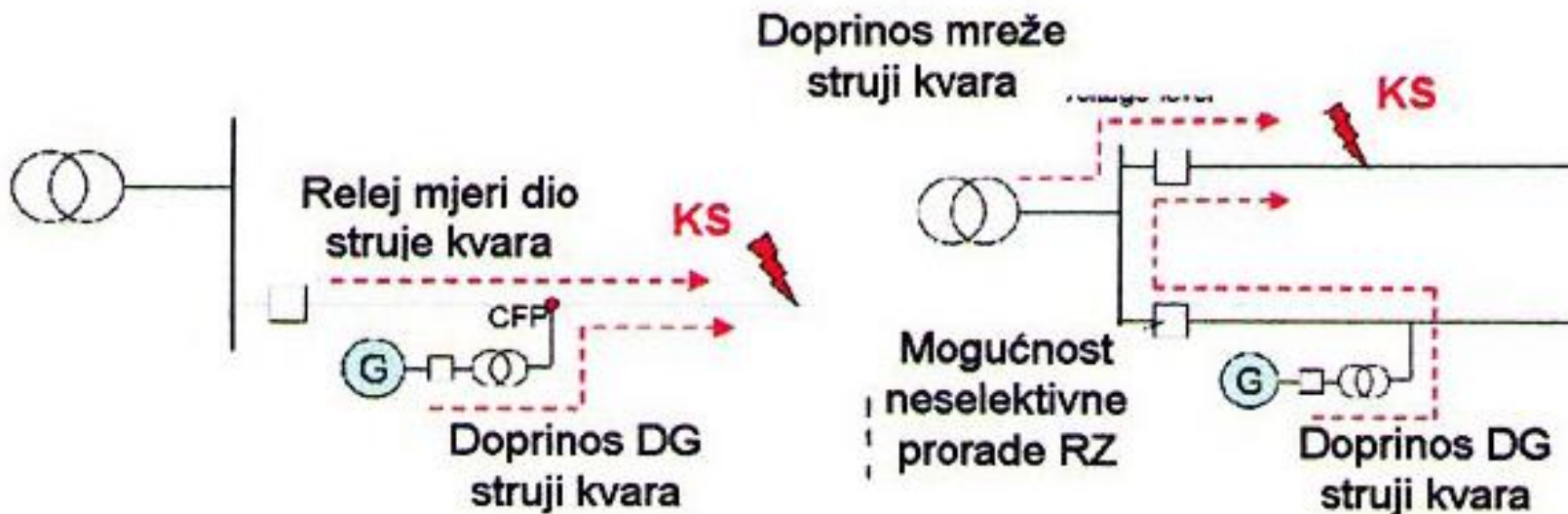
Strujne zaštite potrebno je kontrolirati sa i bez izvora jer se struja kvara u polju pojnog voda (pozicija R1) smanjuje za slučaj kvara iza mjesta priključenja elektrane (TS2) – **pojava potiskivanja struje kvara**



Distribuirani izvor povećava struju trofaznog kratkog spoja u mreži

- prilikom priključka veće elektrane potrebno je kontrolirati struje kratkog spoja u mreži, u slučaju prelaska dozvoljenih struja potrebno je smanjiti doprinos elektrane struji kvara.
- priključenje distribuiranog izvora snage manje od 1 MVA ne može značajnije utjecati na snagu kratkog spoja.
- kod distribuiranih izvora sa pretvaračem struja kratkog spoja nije znatno veća od nazivne ($\approx 1.1 \times I_n$).

Struje kratkog spoja tek u oba smjera i zbrajaju se na mjestu kvara



a) Primjer kvara na pojnom vodu elektrane

b) Primjer kvara na susjednom vodu – vanjska mreža

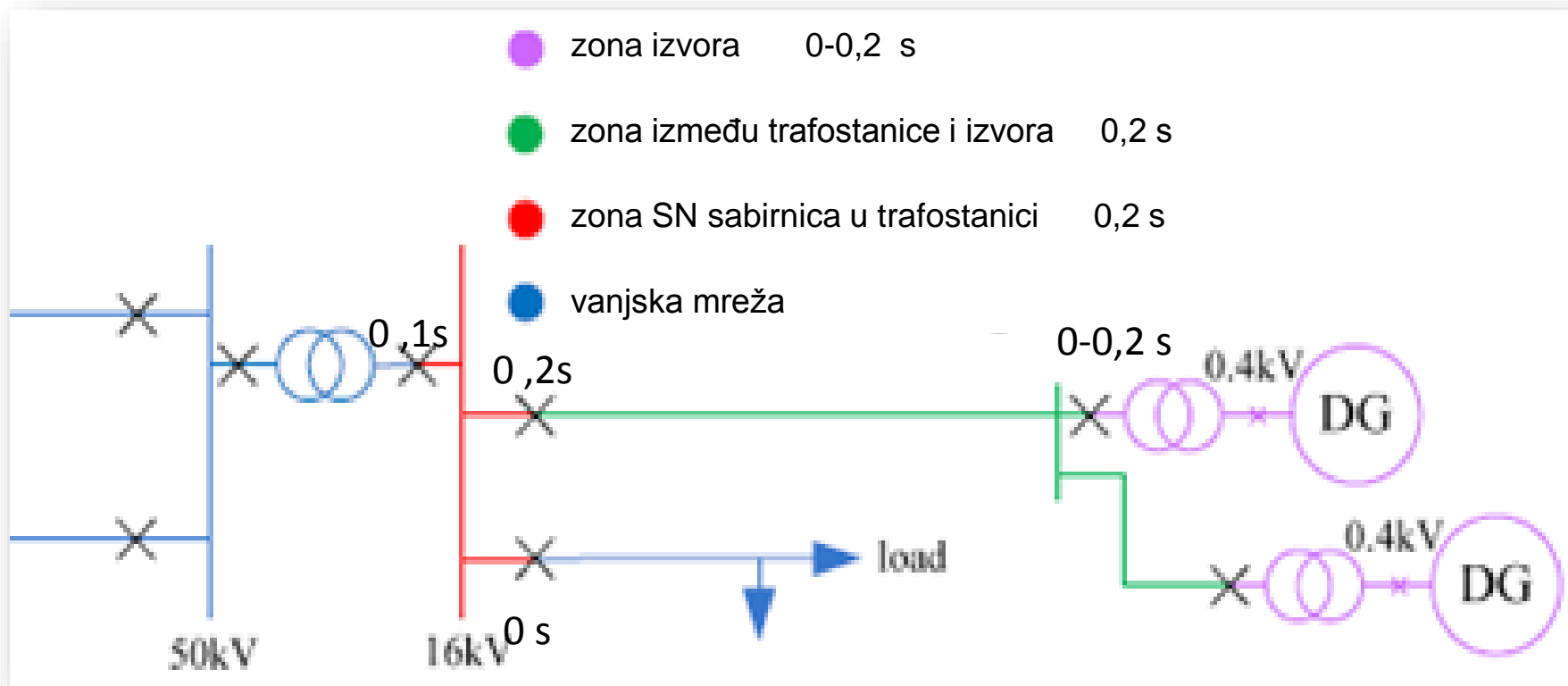
Zaštitna shema u distribucijskoj aktivnoj mreži sa priključenim distribuiranim izvorima

- u početku bez promjena u zaštitama na distribucijskoj mreži, samo se na polju za odvajanje u susretnom postrojenju dodaju naponska i frekventna zaštita kako bi osigurali mrežu od neprimjerenog paralelnog pogona
- brze naponske i frekventne zaštite u elektrani – neselektivni ispadi elektrane radi kvarova u vanjskoj mreži
- u slučaju kvara na elektrani mogući su ispadi pojnog voda

Poticanjem proizvodnje iz obnovljivih distribuiranih izvora te smanjivanjem cijene njihove izgradnje dolazi do značajnog povećanja njihovog udjela u proizvodnji - podržava se politikom EU

- od većih elektrana se očekuje da imaju stabilniji pogon
- problem su bliski kvarovi u zoni pojne trafostanice za koje elektrana ne može po iznosu struje i napona razlučiti da li su u štíćenoj zoni – potreba za vremensku odgodu isključenje elektrane (elektrana mora prijeći kroz kvar na vanjskoj mreži)
- brza nadstrujna zaštita u polju za odvajanje DI - u slučaju kvara na spojnom kabelu prema elektrani ili SN djelu brzo odvaja elektranu (pojni vod ostaje u pogonu)
- s postojećom zaštitnom shemom elektrana podiže vrijeme odgode \gg stupnja nadstrujne zaštite pojnog voda

Promjena zaštitne sheme – elektrana ostaje u pogonu za vrijeme kvara na vanjskoj mreži



Za kvarove unutar postrojenja elektrane vrijeme isklopa elektrane ~ 0 s

Za kvarove na pojnom vodu i sabirnicama vrijeme isklopa ~ 0,2 s

Za bliske vanjske kvarove ~ 0,2 s - elektrana ne ispada

DODATNI PROBLEMI

- produljeno vrijeme isključenja kvara pojnog voda u mreži s distribuiranim izvorom
- elektrana napaja kvar u zoni sabirnicama pa se povećava vrijeme isključenja kvara ($0,1 \rightarrow 0,2$ s) zbog doprinosa struje izvora, blokadne sheme za zaštitu sabirnica moraju biti kontrolirane sa smjerom struje
- ako je struja kvara koja teče od izvora premala pa se kvar sigurno ne može prepoznati iznosom struje kao glavnu zaštitu moramo koristiti podnaponsku zaštitu (izvor sa manjim asinkronim generatorom ili pretvaračem)
- problem automatskog ponovnog uklopa u slučaju prolaznih kvarova
- zabrana otočnog pogona – detektiranje otočnog pogona kada je proizvodnja izvora približno jednaka potrošnji otočne mreže

Naponska zaštita - temeljna zaštita elektrane štiti mrežu i elektranu od međusobnih negativnih utjecaja

$U >$ povišenje napona

$U >>$ nagla povišenja napona i prenaponi

$U <$ kvar ili poremećaj

$U <<$ kvar u blizini elektrane (mreža koja povezuje elektranu i pojnu trafo stanicu)

-vremenskim zatezanjem podnaponske zaštite spriječiti neselektivne ispade za kvarove u vanjskoj mreži

-problem poticaja naponom može biti kod jakih pojnih mreža kada su padovi napona za vrijeme kvara premaleni, tada elektrana mora ispasti strujnom zaštitom ili zaštitom od otočnog pogona nakon ispada pojnog voda

Tablica naponskih zaštita

Funkcije zaštite za odvajanje	Područje podešenja	Preporučene vrijednosti podešenja prorade uređaja zaštite	
		u_{pr}	t
Prenaponska zaštita ($U >$)	1,1 do 1,12 u_n	1,11 $U_{ns}^{2)}$	2 s
Prenaponska zaštita ($U >>$)	1,15 do 1,20 $u_n^{1)}$	1,15 $U_{ns}^{2)}$	≤ 100 ms
Podnaponska zaštita ($U <$)	0,80 do 0,90 u_n	0,85 $U_{ns}^{2)}$	1,5 do 2,4 s
Podnaponska zaštita ($U <<$)	0,20 do 0,8 $u_n^{1)}$	0,45 $U_{ns}^{2)}$	$\leq 0,3$ s

Točna podešenja se određuje analizom naponskih prilika u mreži za vrijeme kvara prema izvedenim simulacijama kvarova u elaboratu podešenja zaštite.

Automatski ponovni uklop

Kada je elektrana povezana s mrežom u kojoj se neposredno koristi APU, ili je on djelotvoran u nadređenoj mreži, prag uzbude i vrijeme isključenja zaštite za odvajanje mora se odrediti takvim, da tijekom preostalog dijela beznaponske stanke, kada se radi o kvarovima na vodu praćenih električnim lukom, može doći do oporavka dielektrične čvrstoće zraka na mjestu kvara.

U SN pasivnim mrežama brzi APU ima nakon 3-polnog isklopa beznaponsku stanku od 300 ms – nameće se pitanje o produljenju beznaponske stanke u slučaju priključenja elektrana.

Ako se elektrana ne isključi prije pojnog voda slijedi ulazak u otočni pogon s dijelom distribucijske mreže u kvaru za vrijeme beznaponske stanke.

Višepolni kvarovi

- elektrana se isključuje po strujnom kriteriju na glavnom prekidaču ili po podnaponskom kriteriju prije ili za vrijeme beznaponske stanke ovisno o trajanju kvara

Jednopolni kvarovi

- djelovanje zaštite ovisi o načinu priključenja, ali uglavnom nema mogućnosti isključenja elektrane za vrijeme jednopolnog kvara u SN mreži jer je blok trafo SN/NN najčešće u Dy spoju
- jednopolni kvarovi su najučestaliji kvarovi – elektrana se mora isključiti u beznaponskoj stanci kada nastaje otočni pogon sa mrežom

Pitanje produljenja beznaponske stanke brzog APU-a?

Radi uspješnosti APU-a elektrana se mora isključiti 100-150 ms prije završetka beznaponske stanke.

Vrijeme beznaponske stanke brzog APU-a kod priključenja elektrane najčešće se povećava na 0,4 s – elektrana se mora isključiti za 250-300 ms.

Daljnijim produljenjem beznaponske stanke povećava se kut napona glavne mreže i otočne mreže u pogonu s elektranom, a time se povećava mogućnost asinkronog uklopa.

Dodatno osiguranje od asinkronog uklopa - blokada APU-a naponskim kriterijem sve dok na vodu s priključenom elektranom postoji napon.

Otočni pogon

- neovisan rad dijela distribucijske mreže nakon odvajanja od glavnog mrežnog napajanja
- ako je nekontroliran, opasan je po pogonsko osoblje, elektranu i potrošače
- u početku opasnost od otočnog rada elektrane ograničena naponsko frekventnim zaštitama u slučaju nejednakosti između potrošnje i proizvodnje (vrijeme isključenja ovisi o balansu snaga)
- obzirom na potrebu za pouzdanijim radom distribuiranog izvora na mreži te brzim ispadom elektrane u slučaju otočnog rada zaštita od otočnog pogona ostvaruje se specijalnim algoritmima

Metode prepoznavanja otočnog pogona:

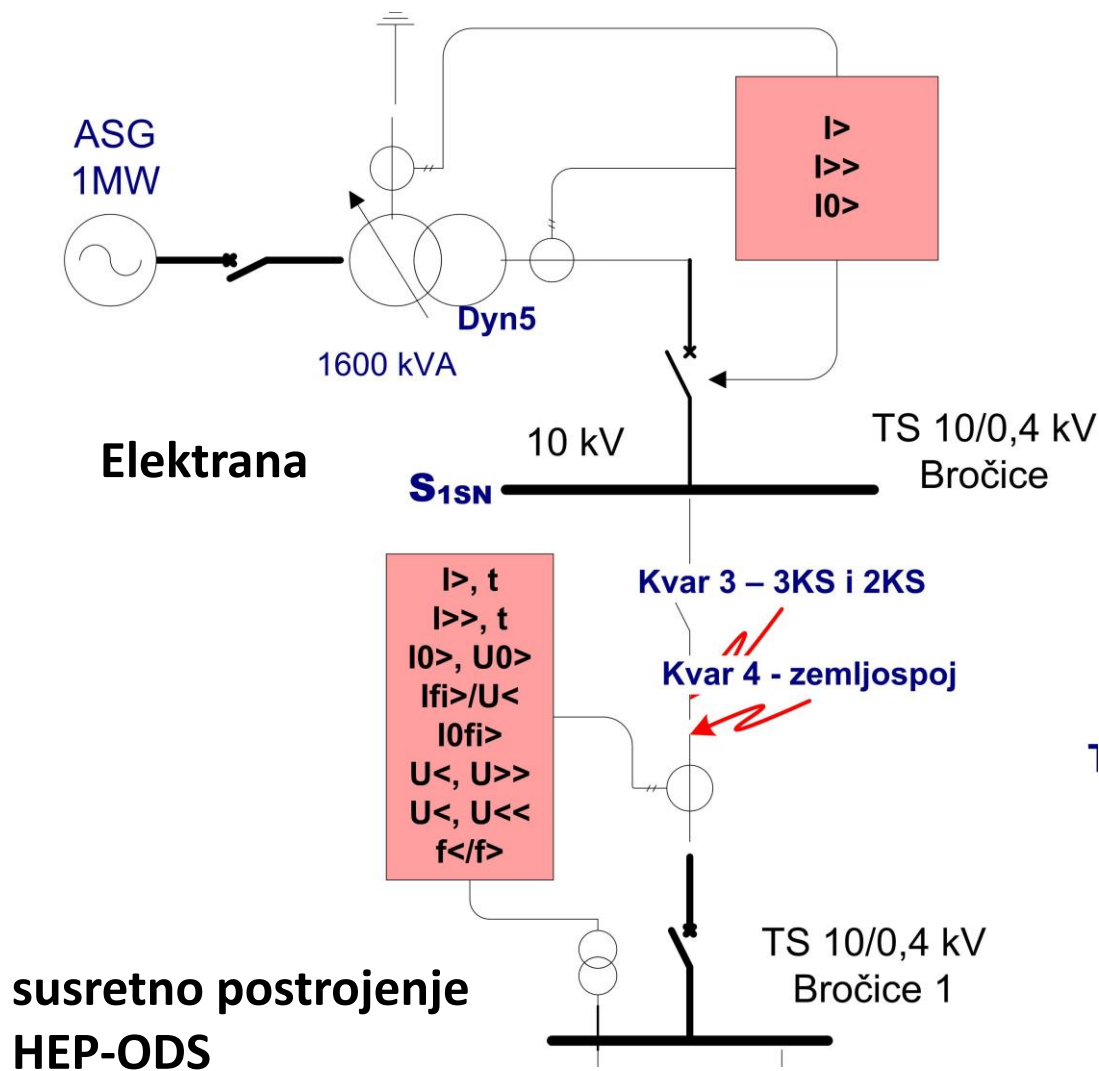
- pasivne metode iz izmjerenih veličina napona ($U_{<}$, $U_{>}$) i frekvencije ($f_{>}$, $f_{<}$), pomak vektora napona, brzina promjene frekvencije, mjerenje viših harmonika
- aktivne metode kao odziv iz mreže na generirane veličine (metode destabilizacije otočnog pogona mijenjanjem frekvencije ili napona)

Efikasnost metoda može se povećati stvaranjem zona u kojima se smanjuje vjerojatnost za otočni pogon, ograničavanjem izvora na jednu točku napajanja i isključivanjem elektrane brzim komunikacijskim putem.

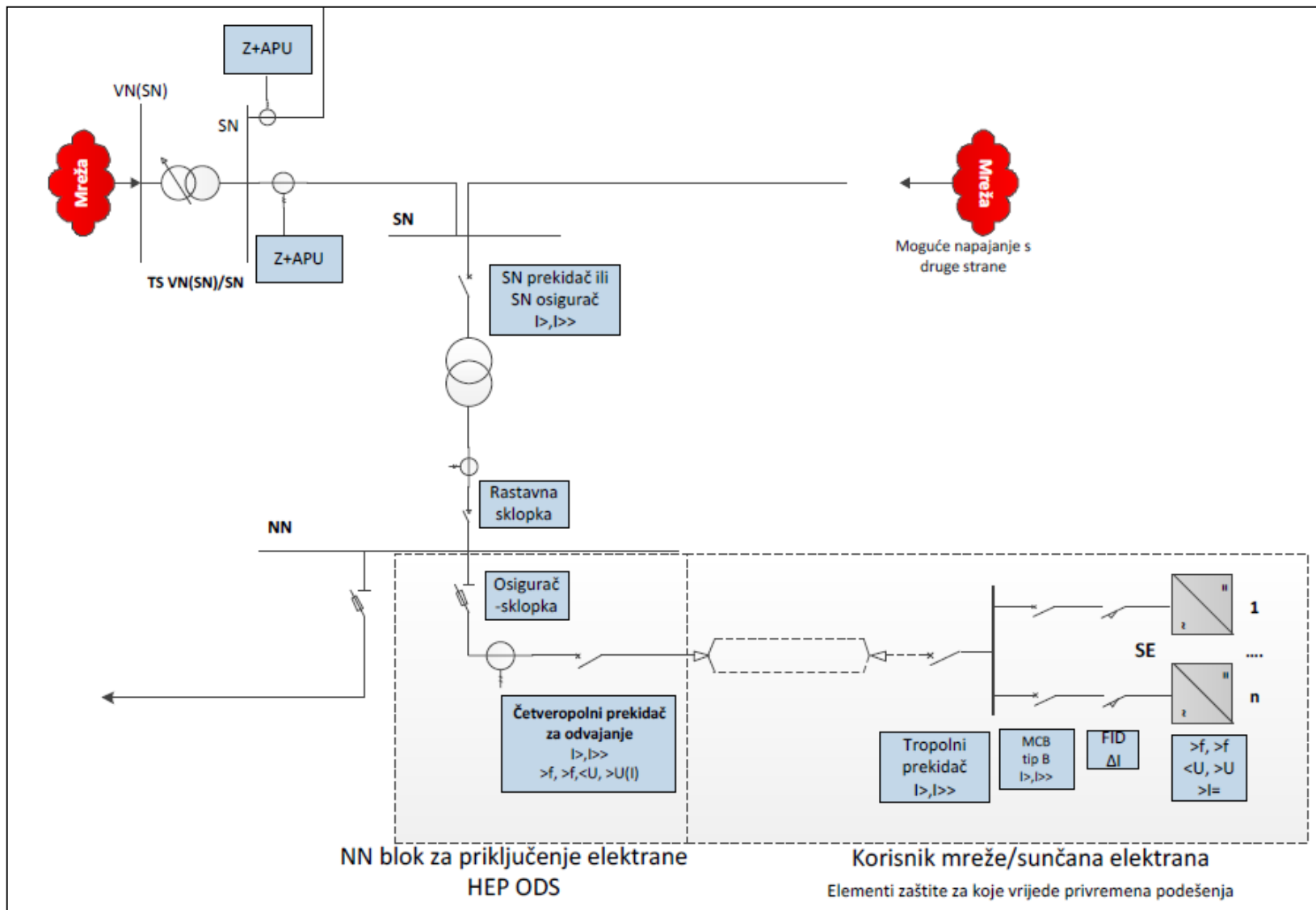
Susretno postrojenje elektrane

- kvarove na spojnom kabelu ili SN djelu elektrane isključuje brza zaštita I>> na polju za odvajanje susretnog postrojenja s vremenskom selektivnošću prema pojnom vodu i strujnoj selektivnosti prema NN djelu elektrane
- kvarove u elektrani isključuje zaštita elektrane (nadstrujna, podnaponska)
- U/f zaštita u susretnom postrojenju rezervna je zaštiti u elektrani, a ujedno služi kao dodatno osiguranje kvalitete napona na mjestu priključka

Shema priključka elektrane na SN:



Shema priključka sunčane elektrane na NN:



Kod priključka sunčane elektrane na NN teško je postići selektivnost nadstrujnih zaštita.

Veliki broj nadstrujnih zaštita od pojnog voda do pretvarača sa sličnim vremenima isključenja:

- pretvarač-sabirnica < 10 ms
- glavni prekidač elektrane 10 - 20 ms
- polje za odvajanje 10 - 20 ms
- SN/NN transformator 50 ms
- SN vod 50 - 200 ms

Potrebno je selektivnost postići strujnim podešenjima pomoću simulacija iz elaborata podešenja zaštita jer se potpuna selektivnost vremenskom odgodom ne može postići – ograničavajući čimbenik su mogućnosti zaštitne opreme na NN.

NN priključak SE

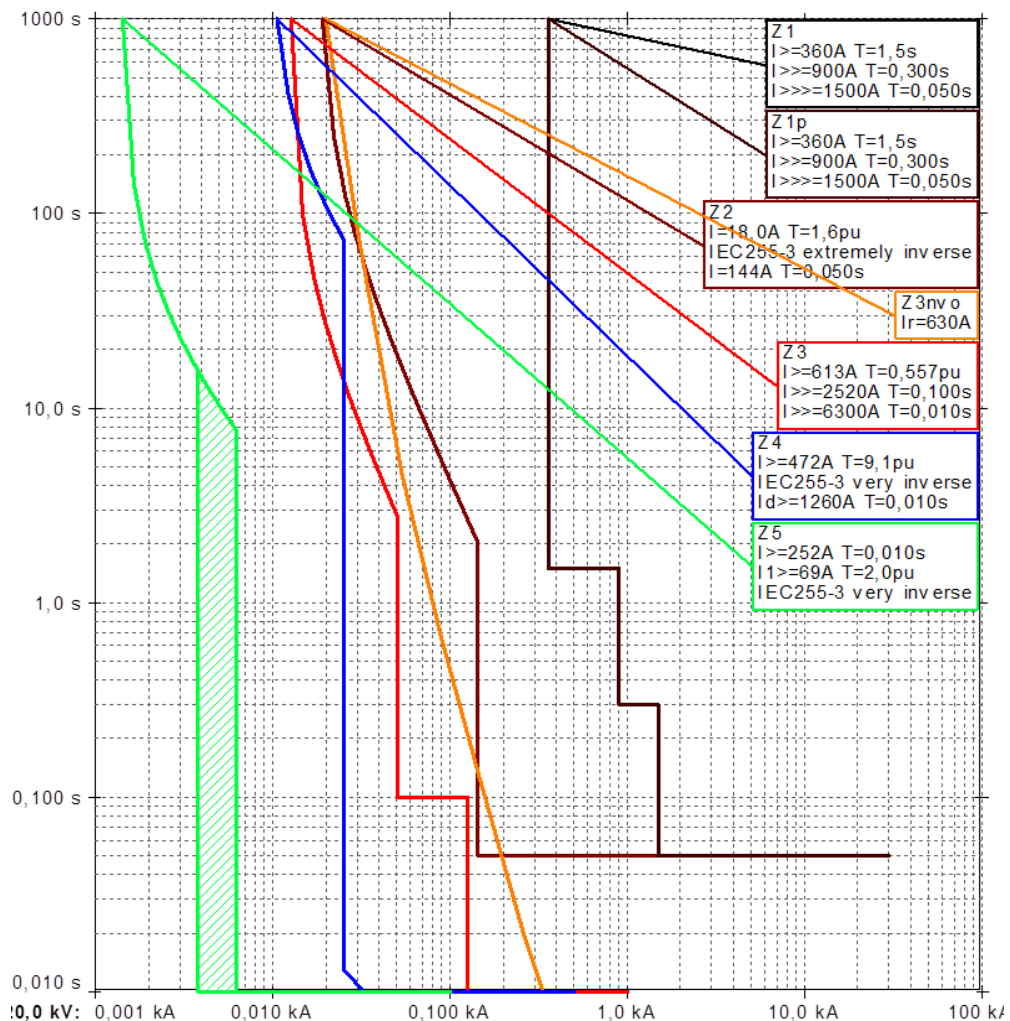


Fig.No.: graf1

I-t karakteristike na potezu pojini vod mreže – pretvarač

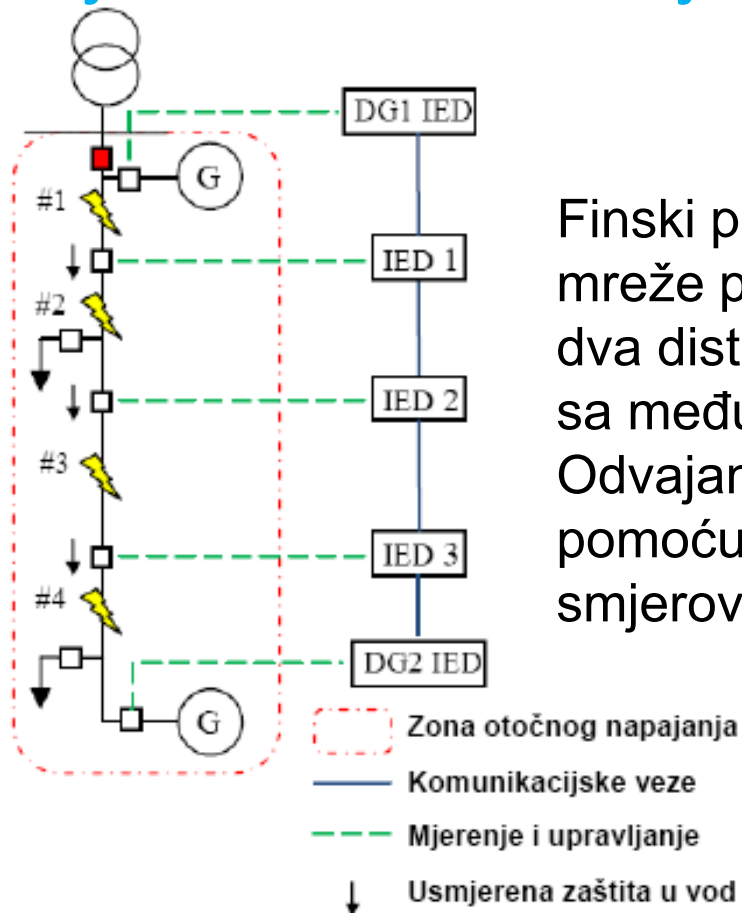
Elaborat podešenja zaštite - izrađuje se za sve elektrane kojima se na sučelju s mrežom ugrađuje prekidač za odvajanje (iznad 30 kW)

- Donosi proračune bitne za podešenje zaštite – uzima u obzir sve parametre mreže i priključene distribuirane izvore
- Razrađuje ponašanje zaštita u slučaju karakterističnih kvarova
- Može zahtijevati korekcije podešenja zaštita na mreži ODS-a
- ODS daje suglasnost na elaborat

Ispitivanje primjerenog paralelnog pogona elektrane s mrežom u pokusnom radu

- Podešenja zaštite definirana elaboratom se mogu provjeriti prilikom ispitivanja paralelnog pogona elektrane s mrežom
- Jedan od pokusa je i provjera zaštite od otočnog pogona kada su snage izvora i mreže približno izjednačene

Napredna rješenja zaštitnih shema - postizanje selektivnosti korištenjem brze komunikacijske veze

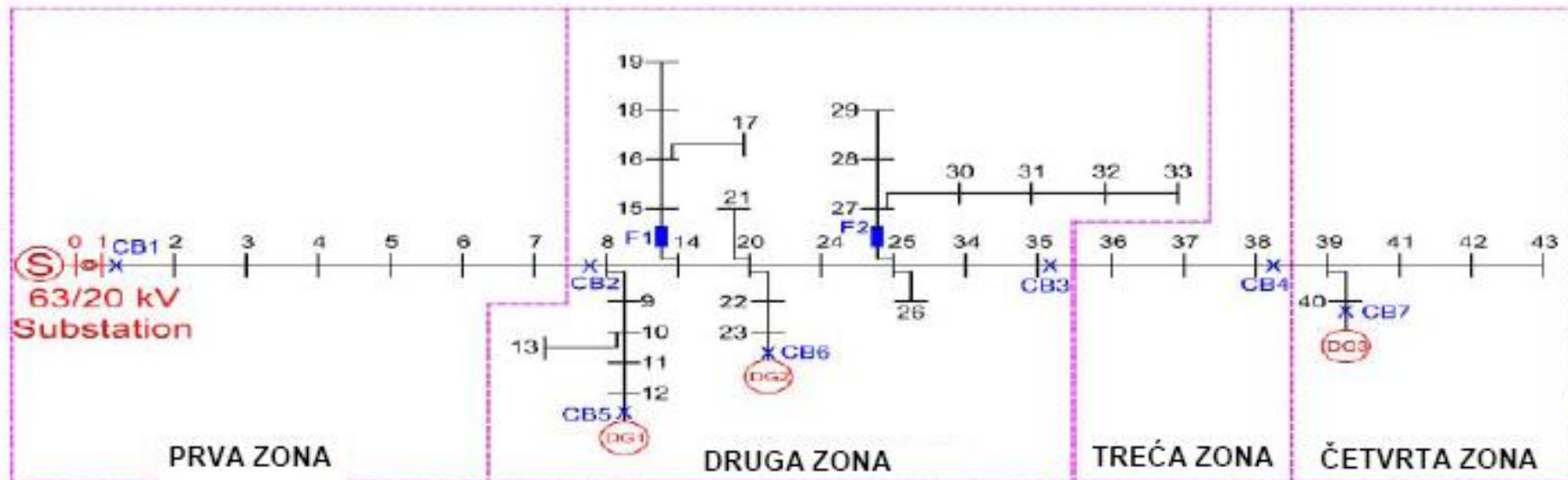


Finski primjer projektirane teoretske SN mikro mreže predviđene za rad u otočnom pogonu sa dva distribuirana izvora i sustavom relejne zaštite sa međusobnom komunikacijom.

Odvajanje zone u kvaru relejna zaštita vrši pomoću mjerenja propada napona i usporedbom smjerova struja na uređajima zaštite (IED).

Slika 4. Primjer virtualne SN mikro mreže

- Primjer realne SN mreže s tri distribuirana izvora podijeljene matematičkom metodom uz pomoć prekidača na 4 zone s mogućnošću otočnog rada.
- Odvajanje zone u kvaru izvršava centralna procesorska zaštita u pojnoj TS uz pomoć predviđenih opterećenja i podataka prikupljenih daljinskom komunikacijom (struje izvora, otcijepa i smjerovi struja na prekidačima koji dijele zone).
- Najvažniji dio sustava je točno određivanje tipa i lokacije kvara.



Slika 5. Određivanje optimalnih zona SN mikro mreže na realnoj mreži

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

- postojeće zaštitne sheme priključenih distribuiranih izvora dosegle su uz pomoć programskih simulacija načinjenih u elaboratu podešenja zaštite zadovoljavajuću razinu, ali imaju još nedostataka jer se koriste zaštite (strujne, naponske) kojima se ne može postići potpuna selektivnost u nekim graničnim slučajevima
- elaborat podešenja zaštite bitan je za definiranje točnih podešenja zaštite, a može se koristiti i kao alat prilikom kasnijih analiza pogonskih događaja u mreži sa priključenim distribuiranim izvorima
- postizanje buduće selektivne zaštitne sheme moguće tek upotrebom komunikacijske razmjene podataka među uređajima zaštite – ekonomski upitno u ovom trenutku
- prilikom određivanja podešenja u zaštitnoj shemi distribucijskih izvora treba se voditi idejom da buduće predvidljive promjene tehničkih parametara mreže što manje utječu na postojeću zaštitu

Hvala na pažnji !