

Zaštita mreže, proizvodnog postrojenja i proizvodne jedinice od kvarova i poremećaja  
Zaštita za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom  
mr.sc.Nikica Mikulandra, dipl.ing.

---

# **Zaštita mreže, proizvodnog postrojenja i proizvodne jedinice od kvarova i poremećaja**

## **Zaštita za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom**



Seminar  
**IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI  
IZAZOV ZA VOĐENJE POGONA, ZAŠTITU, MJERENJA I KOMUNIKACIJE**  
Zagreb, 1. listopada 2009.



Prema Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava Hrvatske postoje tri vrste podjela proizvodnih jedinica koje se priključuju na distribucijsku mrežu prema:

1) nazivnom naponu priključka:

- priključene na mrežu niskog napona,
- priključene na mrežu srednjeg napona,

2) nazivnoj snazi:

- elektrane snage veće od 5 MW,
- elektrane snage manje ili jednake 5 MW,
- mikroelektrane,

3) obliku primarnog izvora energije:

- hidroelektrane,
- vjetroelektrane,
- sunčane elektrane,
- elektrane na biomasu,
- elektrane na komunalni otpad,
- ostale elektrane i elektrane – toplane.

... podjele ...

- Podjela prema Tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije
- Podjela prema Tehničkim uvjetima za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav HEP-a
- Na NN mrežu u Hrvatskoj priključuje se elektrana ukupne snage do 500 kW.
- Na SN mrežu (10, 20, 35 kV) priključuju se elektrane ukupne snage iznad 500 kW.

## Koncepcija zaštite izvora električne energije

- “Klasični” generatori \*)
  - veliki
  - mali
- Pretvarači
- Inverteri (izmjenjivači)
- ...

\*) pod pojmom klasični generator se misli na generatore koji se koriste u konvencionalnim HE i TE

## MREŽNA PRAVILA

### 5.3.2.8. Zaštita od kvarova i smetnji

(1) Korisnik je dužan uskladiti svoju zaštitu od kvarova s odgovarajućom zaštitom u distribucijskoj mreži, tako da kvarovi na njegovu postrojenju ili instalacijama ne uzrokuju poremećaje u distribucijskoj mreži ili kod drugih korisnika mreže. To se posebno odnosi na:

- vrijeme isključenja kvara koje mora biti u granicama koje određuje operator distribucijskog sustava,
- osiguranje selektivnog djelovanja zaštitnih uređaja u korisnikovu postrojenju i instalacijama sa zaštitom distribucijske mreže.

(2) Operator distribucijskog sustava dužan je upoznati korisnika na utjecaj prorada zaštita u distribucijskoj mreži na postrojenja i instalacije korisnika, a osobito na utjecaj automatskoga ponovnog uklopa (APU).

## MREŽNA PRAVILA

### 5.3.5.2. Paralelni pogon s mrežom

(1) Elektrana mora biti opremljena za paralelni pogon s distribucijskom mrežom u uvjetima svih redovnih i izvanrednih pogonskih okolnosti bez nedopuštenoga povratnog djelovanja na distribucijsku mrežu i ostale korisnike mreže.

(2) Uvjete paralelnog pogona osiguravaju međusobno usklađene zaštite elektrane i distribucijske mreže. U slučaju odstupanja od propisanih uvjeta za paralelni pogon, zaštita mora odvojiti elektranu iz paralelnog pogona. Proradne vrijednosti zaštite moraju biti podešene tako da poslije odvajanja distribucijska mreža i elektrana ostanu u stabilnom pogonu (ako je elektrana predviđena za otočni pogon).

### 5.3.6.2. Dodatni tehnički uvjeti za priključenje elektrana snage veće od 5MW

(2) Elektrane u distribucijskoj mreži za koje operator prijenosnog sustava utvrdi da su značajne za pogon sustava, moraju udovoljavati posebnim uvjetima, a prema potrebi i dodatnim uvjetima specificiranim u točki 4.3.4.

## MREŽNA PRAVILA

### 4.3.4.4 Električna zaštita proizvodne jedinice i usklađivanje s mrežnim zaštitama

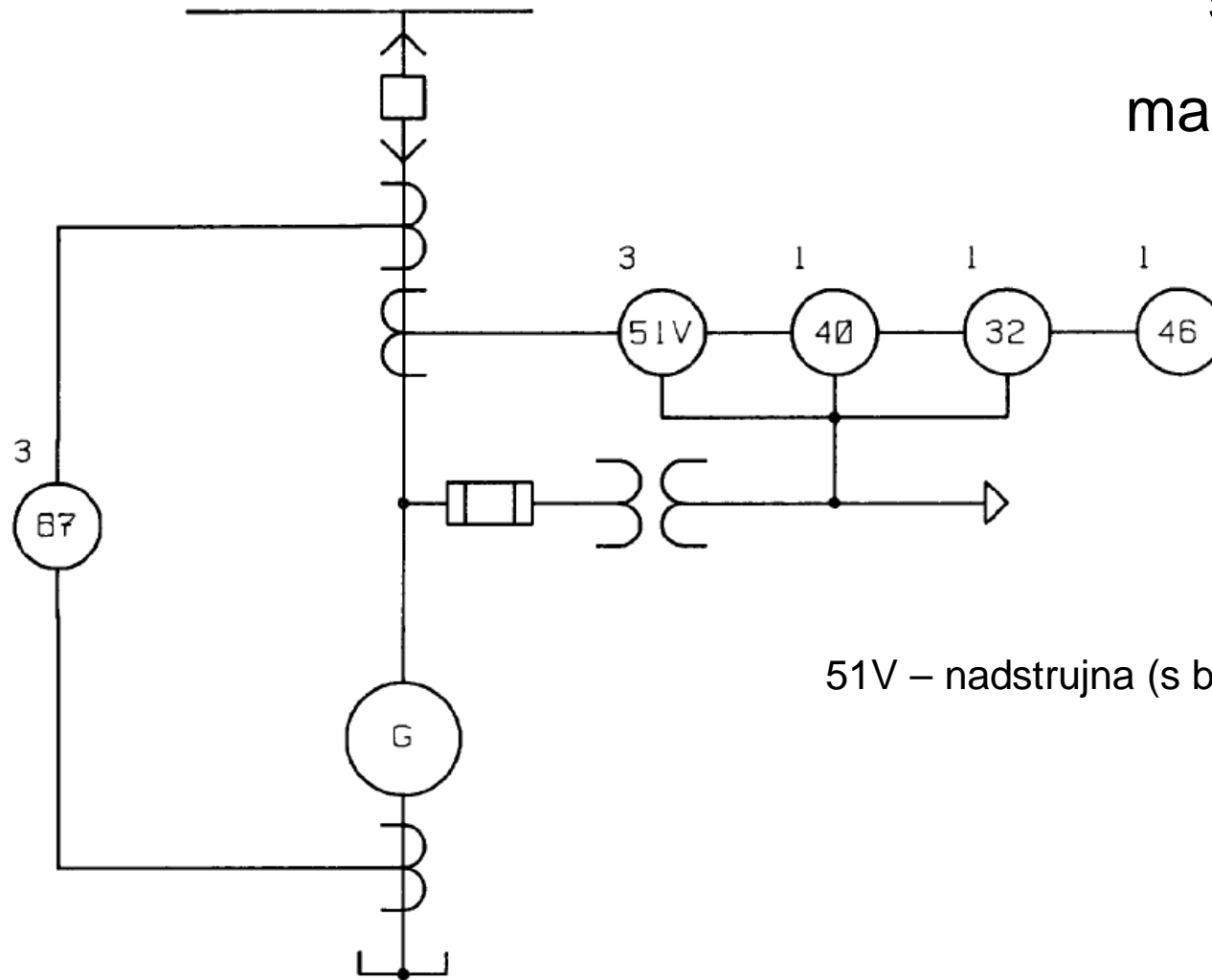
(1) Električna zaštita proizvodne jedinice treba dati nalog za odvajanje jedinice od prijenosne mreže za slučaj:

- neispravnosti i kvarova na proizvodnoj jedinici,
- otkaza ili neispravnog djelovanja mrežnih zaštitnih uređaja kod mrežnih kvarova, odnosno kvarova u elektroenergetskom sustavu i
- odstupanja napona i frekvencije sustava od utvrđenih granica i gubitka stabilnosti (vidjeti točku 4.3.4.9).

(2) Podešenja onih električnih zaštita proizvodne jedinice, čije je djelovanje izazvano greškama u mreži, moraju biti usklađena između operatora prijenosnog sustava i proizvođača električne energije vodeći pritom računa o selektivnosti i koordinaciji djelovanja sustava zaštita.

(3) Zaštite iz stavka 2. trebaju odvojiti proizvodnu jedinicu od mreže isključenjem prekidača bloka, nakon čega proizvodna jedinica treba prijeći u prazni hod i osiguranje napajanja vlastite potrošnje kako bi bila spremna za ponovnu sinkronizaciju.

## shema zaštite malih generatora



87 – diferencijalna

51V – nadstrujna (s blokadom po naponu)

32 – gubitak uzbuđe

40 – povrat snage

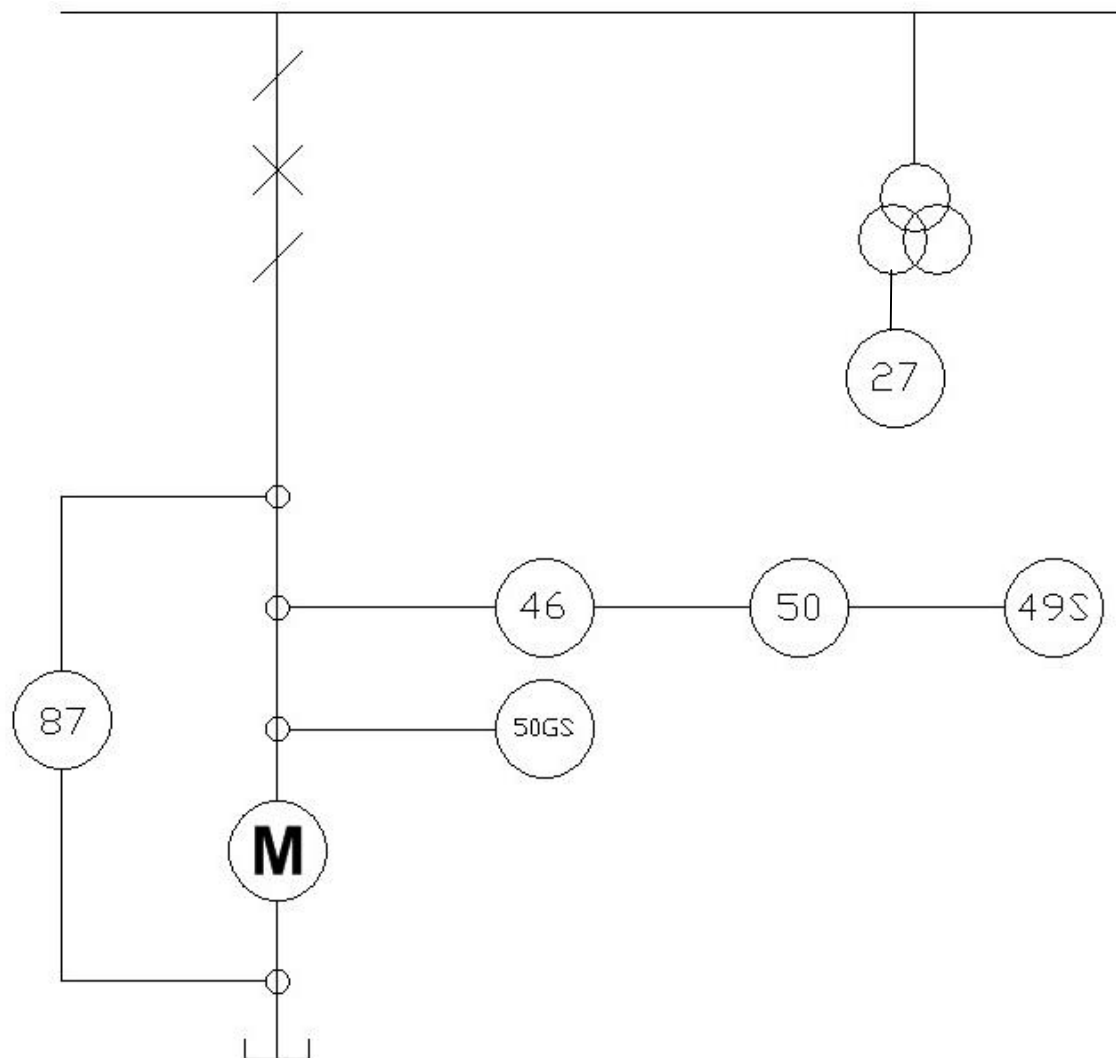
46 – nesimetrija

Seminar

**IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI  
IZAZOV ZA VOĐENJE POGONA, ZAŠTITU, MJERENJA I KOMUNIKACIJE**

Zagreb, 1. listopada 2009.

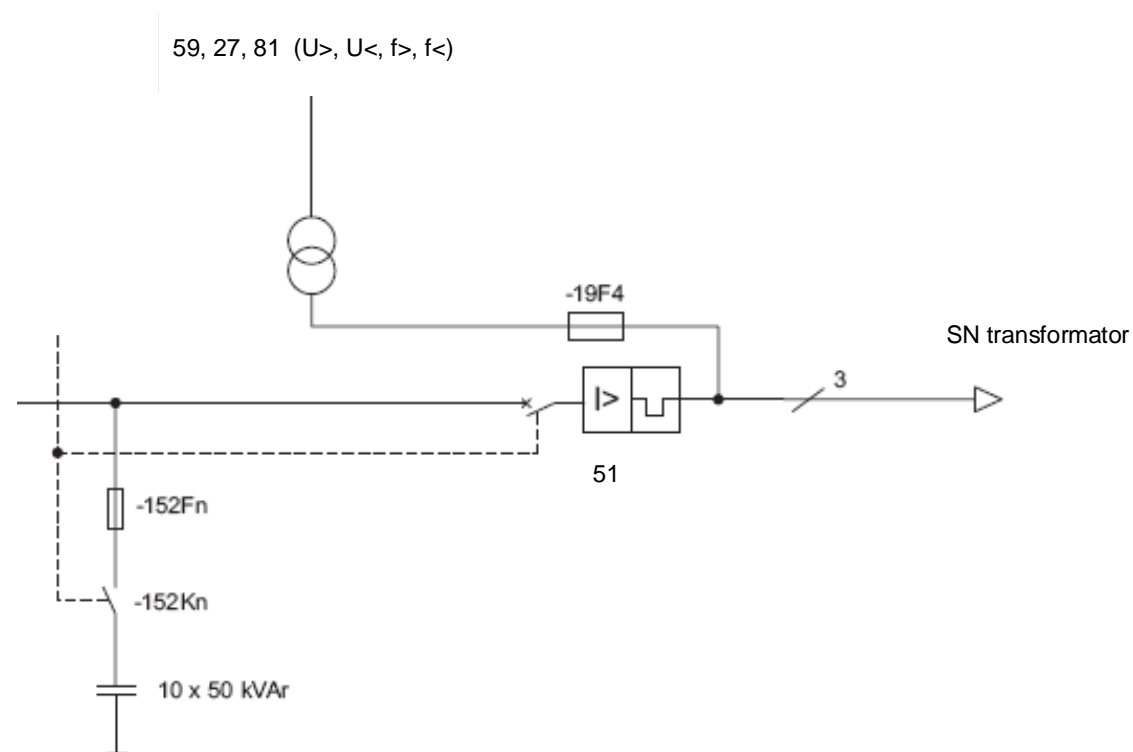




## shema zaštite motora većih snaga

- 87– diferencijalna
- 50 – nadstrujna
- 27– podnaponska
- 50GS – zemljospojna
- 49S – termička
- 46 – nesimetrija

## Primjer postojeće zaštite VE

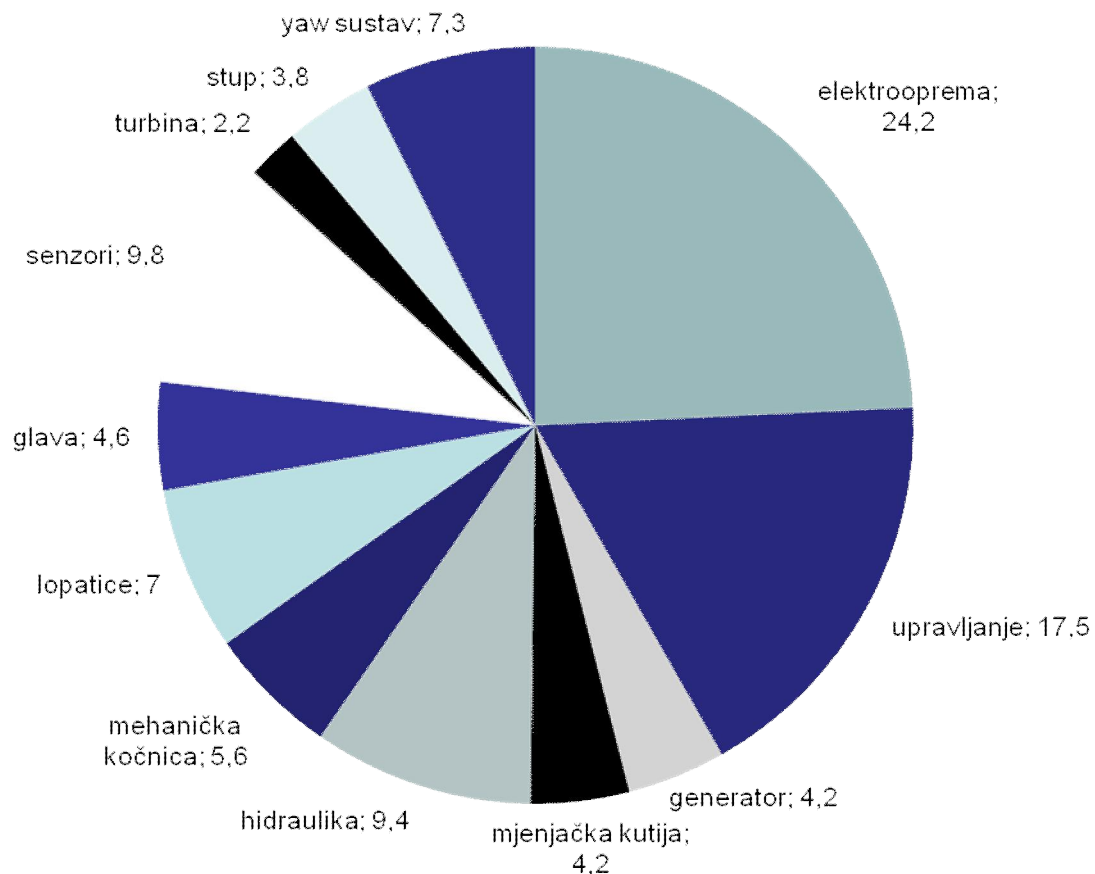


Seminar

**IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI  
IZAZOV ZA VOĐENJE POGONA, ZAŠTITU, MJERENJA I KOMUNIKACIJE**

Zagreb, 1. listopada 2009.

## popravci VE u % (od 1992 do 2007)

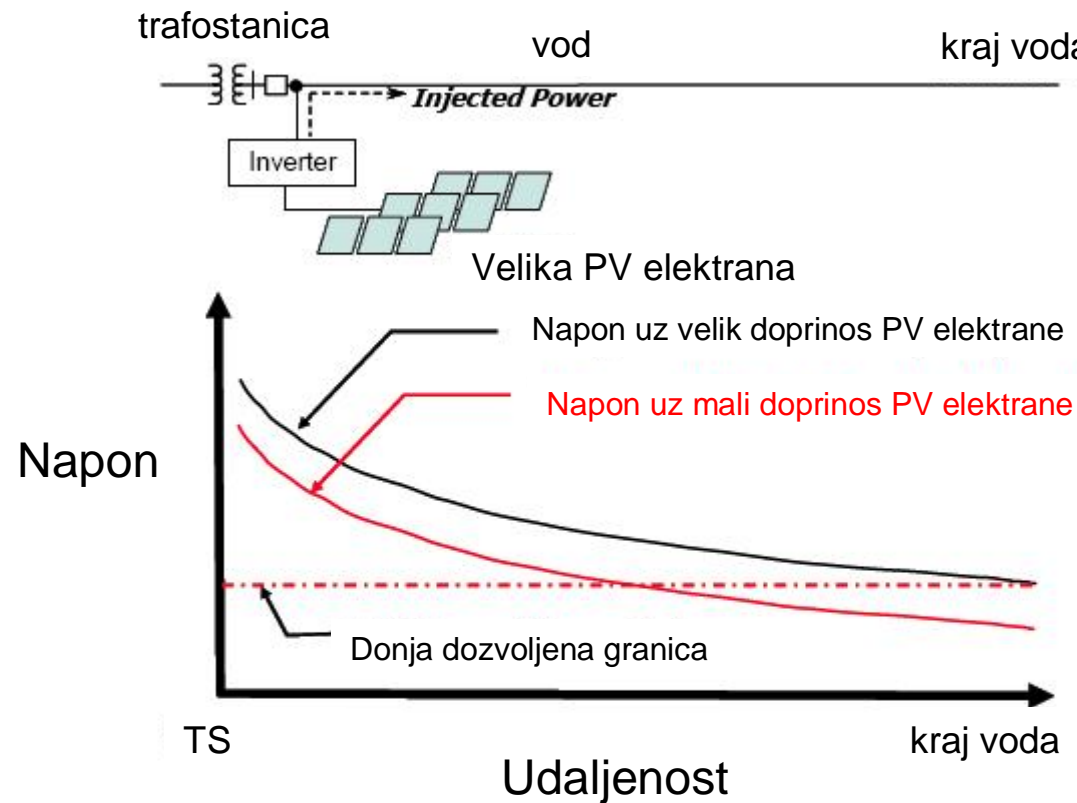


izvor: ISET

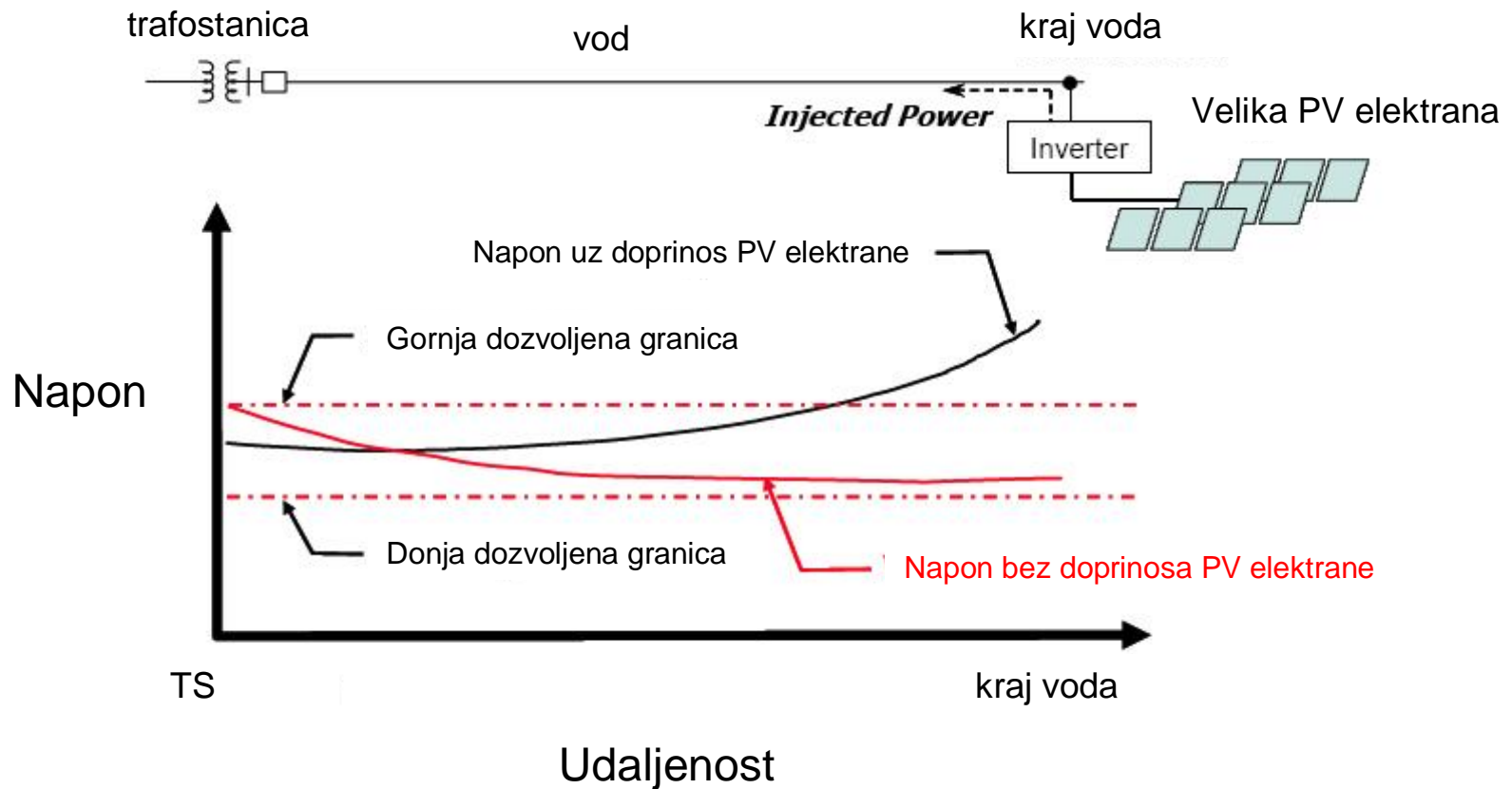
## Potencijalni problemi koji se manifestiraju i na sustave zaštite

- Utjecaj na naponske prilike
  - priključenje na početku voda
  - priključenje na kraju voda
  
- Utjecaj na struje kratkog spoja
  
- Utjecaj na korisnike pri otočnom radu
  
- Opasnost (povećana) po život ljudi
  
- Dileme oko djelovanja automatskog ponovnog uklopa
  
- ...

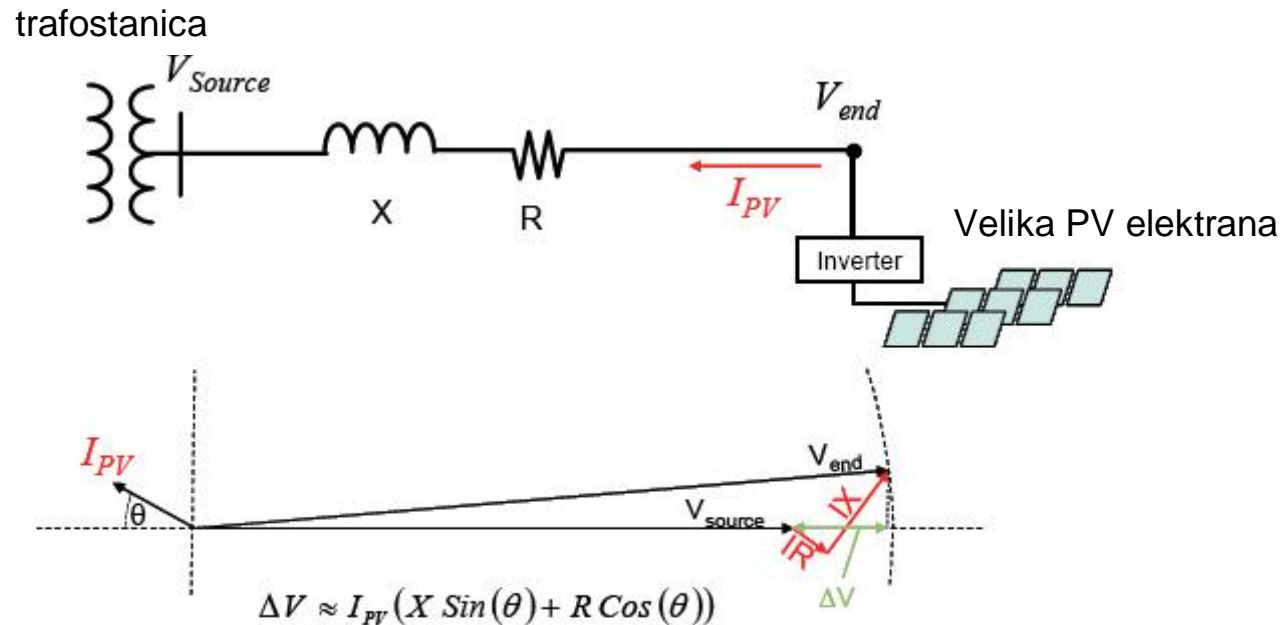
## Regulacijom dozvoljen pad napona na kraju voda pri radu većeg OIE na početku voda



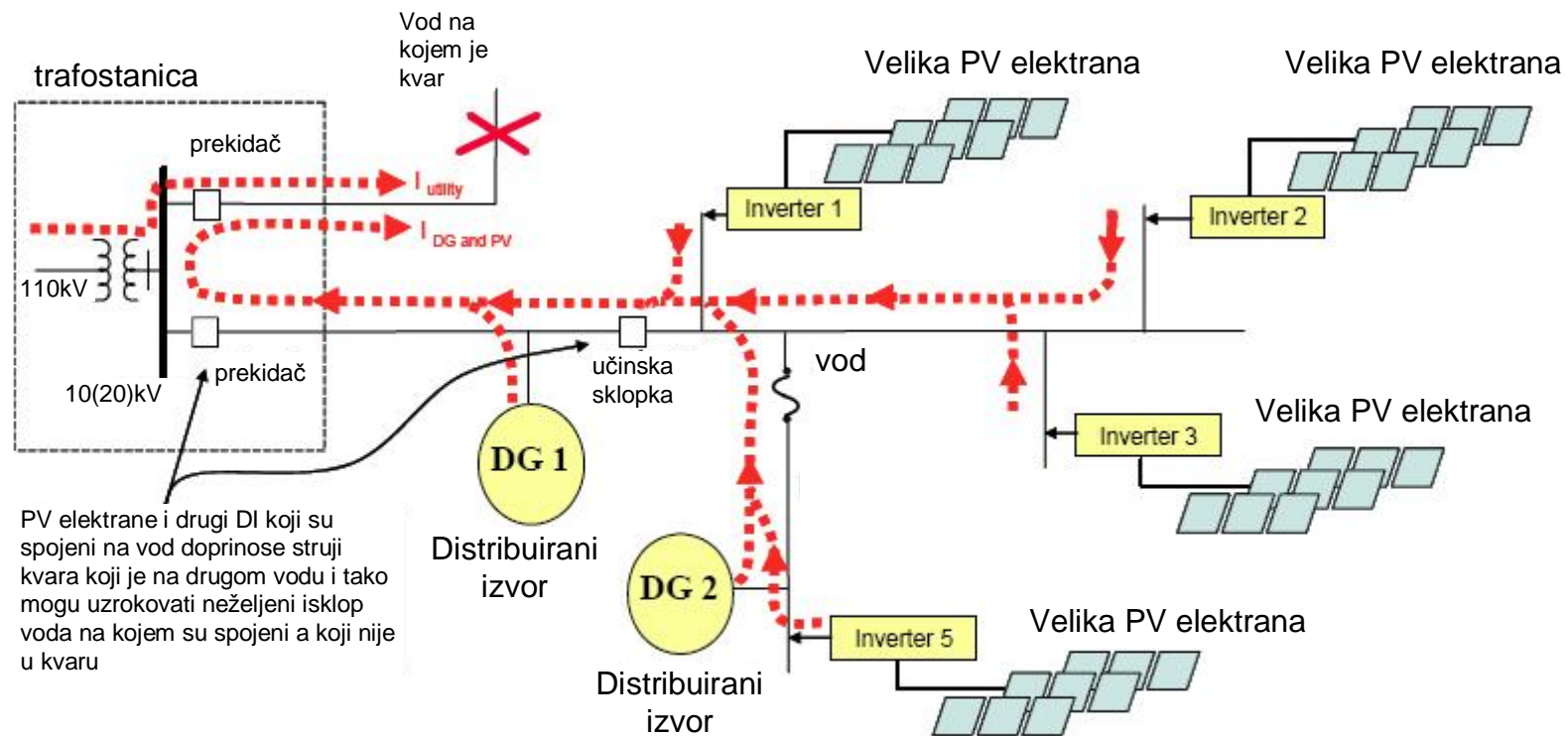
## Približan porast napona kao rezultat djelovanja OIE na kraju voda – moguća situacija



## Približan porast napona kao rezultat djelovanja OIE na kraju voda

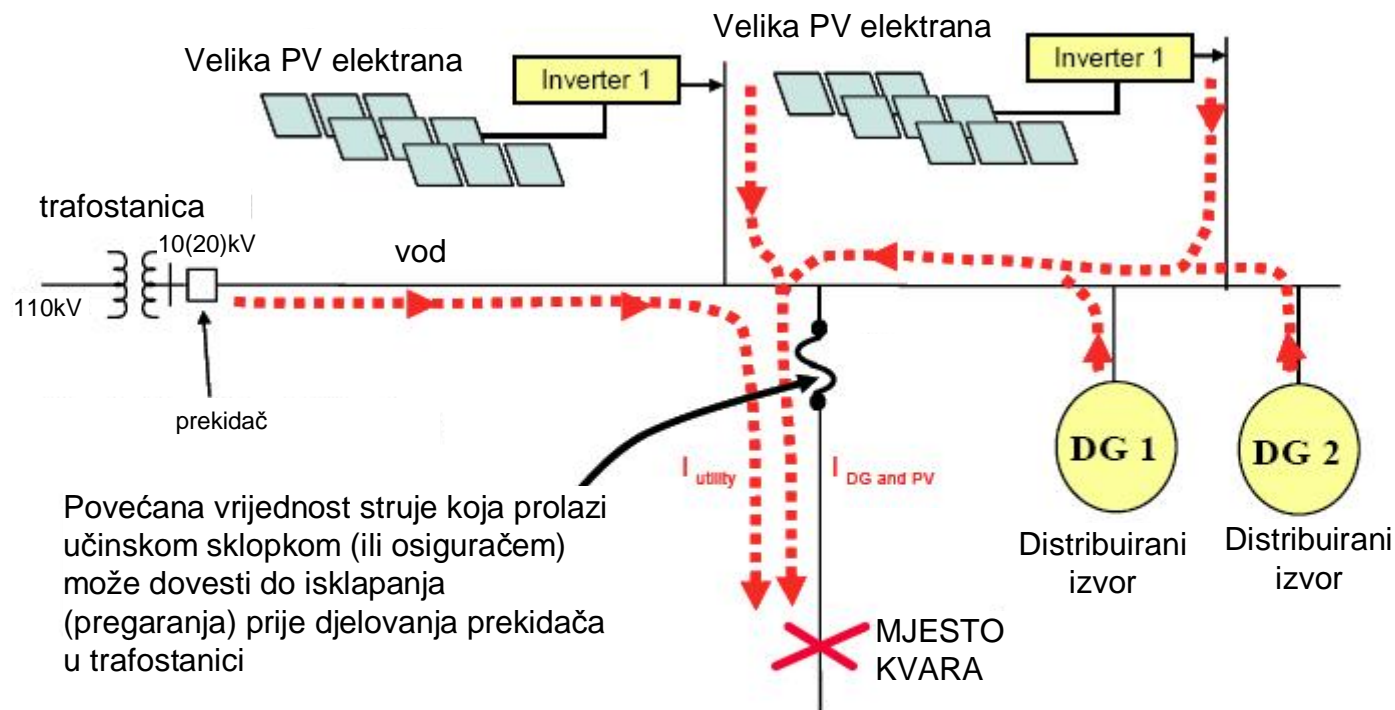


## Primjer utjecaja velike penetracije OIE/DI na mogući neželjeni isklon



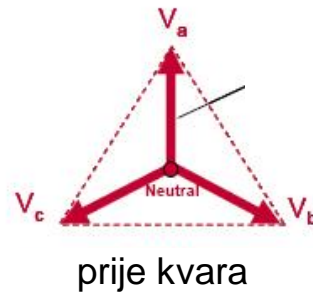
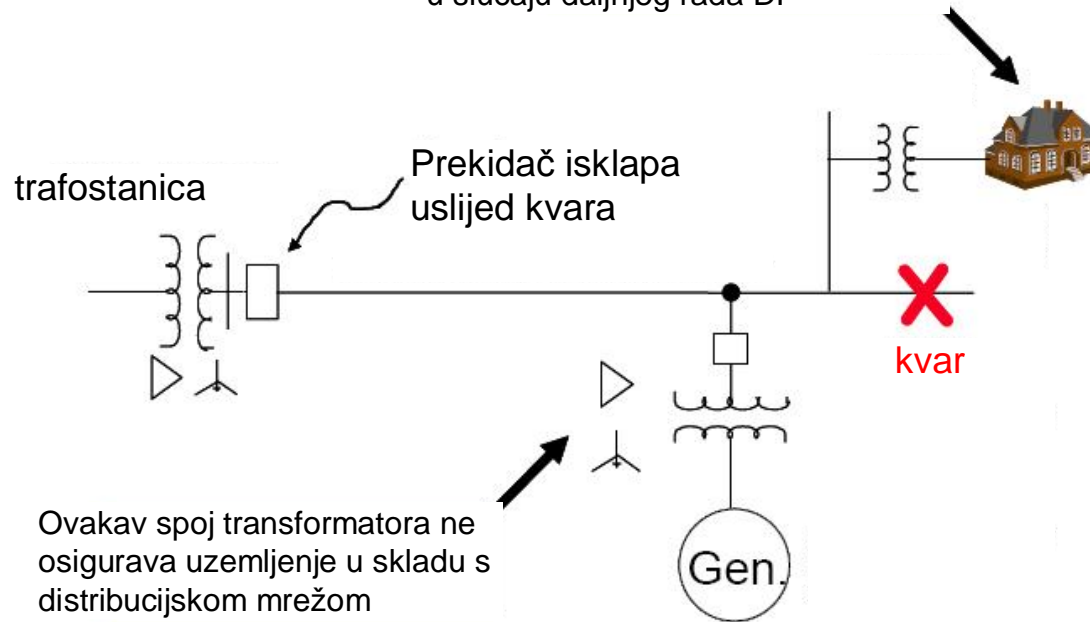


Primjer kako **doprinos struji kvara** drugih odvoda sa OIE može utjecati na pregaranje osigurača prije predviđenog djelovanja prekidača

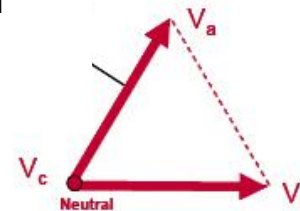


## Primjer kako spoj OIE preko transformatora u spoju Ynd može djelovati kao neuzemljeni izvor i **uzrokovati prenapon** (štetu kod korisnika) uslijed zemljospoja

Korisnik spojen na fazu koja nije pogođena kvarom može osjetiti prenapon nakon otvaranja prekidača u slučaju daljnjeg rada DI

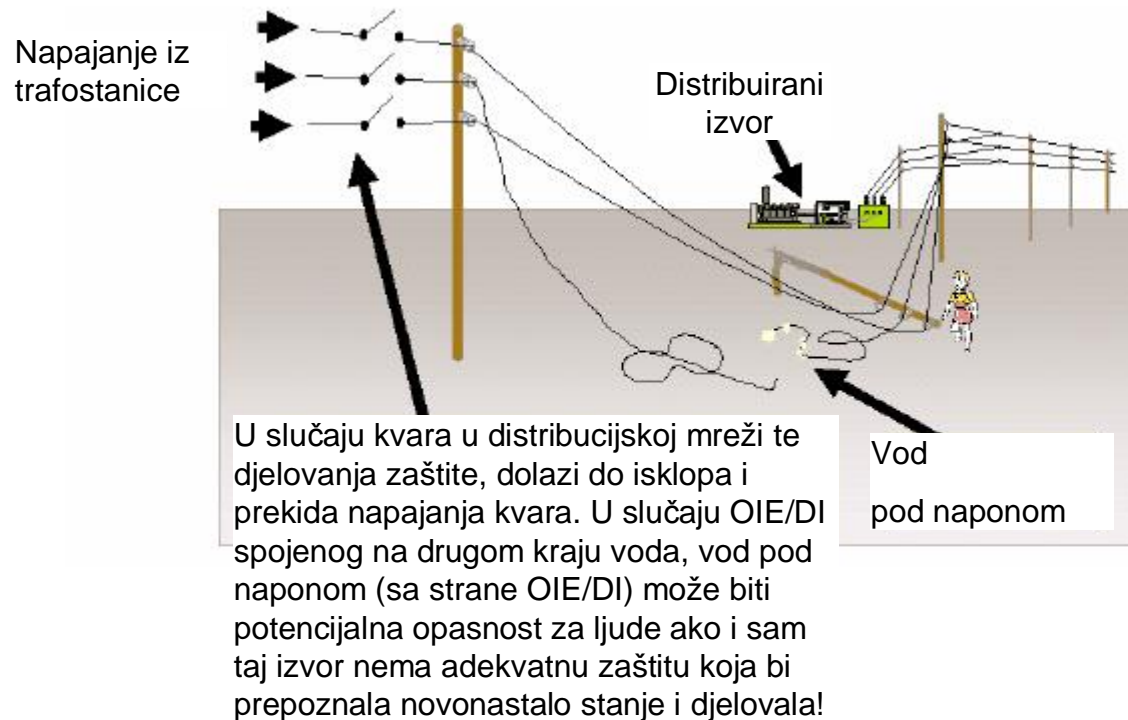


napon kod korisnika

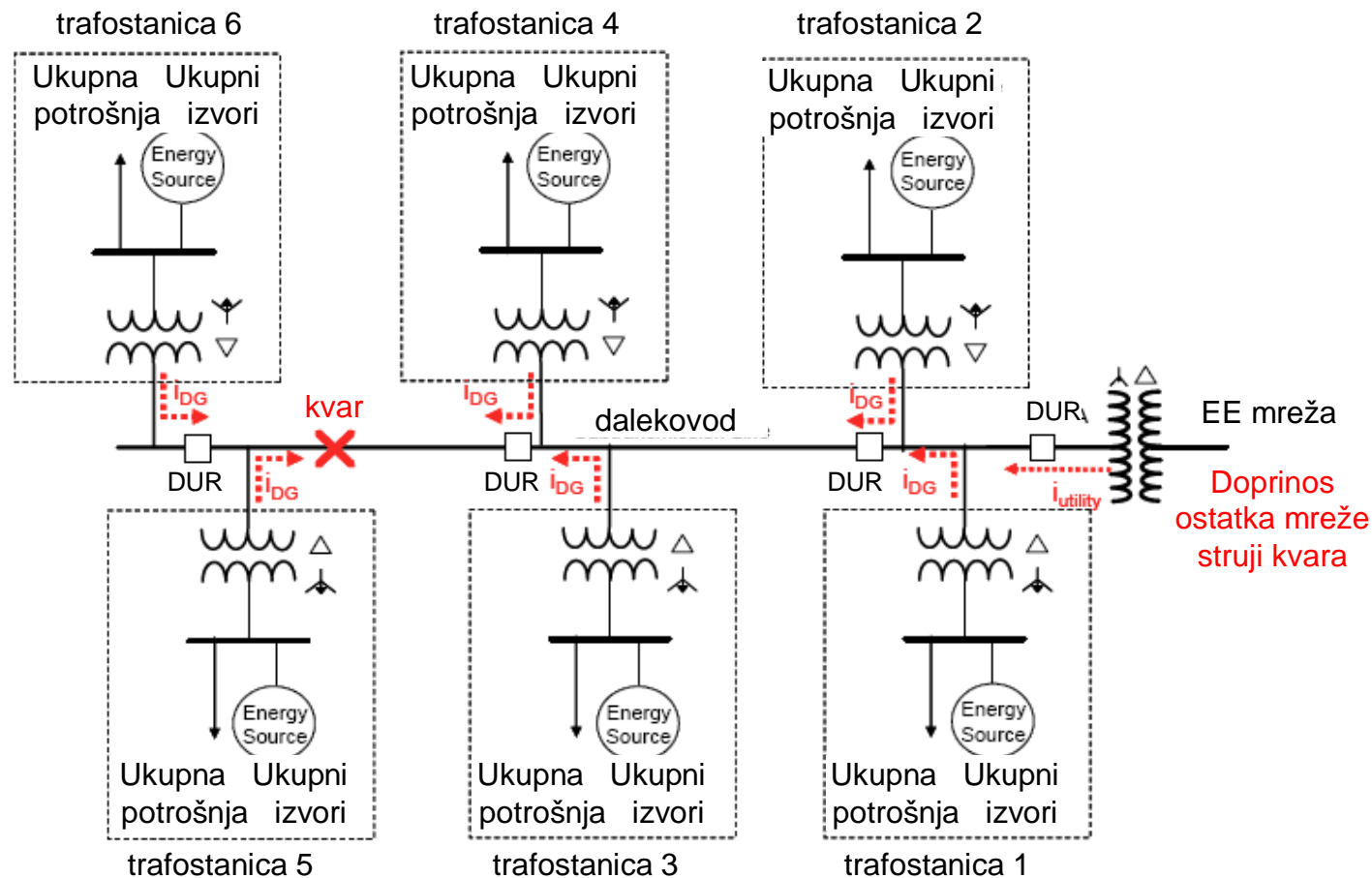


nakon isklopa prekidača dok je DI uključen

## Primjer povećane opasnosti pri uspostavi režima otočnog rada



Primjer mogućeg doprinosa struji kvara na većoj naponskoj razini pri grupiranju OIE i DI kroz veći broj distributivnih stanica. Pri tom raspored i veličina OIE i DI ima utjecaja i na shemu relejne zaštite, a povećava se rizik pojave otočnog pogona i prenapona uslijed zemnih spojeva.



## Automatski ponovni uklop i elektrane u distribucijskoj mreži

- U nadzemnim SN distribucijskim mrežama se često koristi 3polni automatski ponovni uklop (APU) koji je obično potaknut proradom nadstrujne i/ili zemljospojne zaštite (može biti i bilo koja druga aktivna zaštita) nadzemnog voda.
- Uobičajeno se koriste releji kod kojih podešeno vrijeme beznaponske pauze počinje teći od trenutka isklopa zaštite/isklopa prekidača. Sa ugradnjom elektrane na mrežu situacija se mijenja jer to podešenje ustvari ne odgovara beznaponskoj pauzi (ona realno počinje nakon isklopa elektrane).
- Ako se zadržava trenutno korišteni način rada APU-a, korisno bi bilo razmotriti malo povećanje podešnja beznaponske pauze brzog APU-a na releju s ciljem da i stvarna beznaponska pauza ostane trajanjem ista.
- Na vodovima koji imaju naponski mjerni transformator bilo bi korisno:
  - dodati podnaponski uvjet kao uvjet za komandu APU (jednostavnije rješenje), ili
  - promijeniti algoritam APU-a tako da podešeno vrijeme beznaponske pauze počne teći tek uz podnaponski uvjet.
- Na novim vodovima (s mogućnošću/predviđanjem priključenja većeg broja elektrana) trebala bi se razmotriti potreba ugradnje naponskih mjernih transformatora u vodnom polju.

## Automatski ponovni uklop i elektrane u distribucijskoj mreži

- Ako se koristi automatsko uključivanje elektrane, u slučaju korištenja sporog APUa potrebno je osigurati da vrijeme beznaponske pauze bude manje od podešenog vremena ponovnog automatskog uključivanja male elektrane.
- Pri tome je poželjno da zaštita na strani elektrane:
  - od kratkih spojeva bude što selektivnija (da u kratkom vremenu isklapa kod kvarova na pojnom vodu). U tom smislu je korisno koristiti i nadstrujno/podnaponsku ili naponski ovisnu nadstrujnu zaštitu u elektrani (npr. preporučeno u anglosaksonskim zemljama),
  - od zemljospojeva obavezno uključuje i naponsku zemljospojnu zaštitu (59N) kako bi se elektrana odvojila kod prelaska samo na vlastiti način uzemljenja.

## Sheme priključenja, prijedlozi korištenja pojedinih zaštitnih funkcija i okvirna podešenja (primjer: distribucijska mreža u Njemačkoj)

funkcija	okvirno podešenje	okvirna odgoda	spoj na
27 – U<	0,8 Un		NN
27 – U<	0,8 Un	1s	SN
27 – U<<	0,5 Un	0,3s	SN
59 – U>	1,06 Un		NN
59 – U>	1,08 Un	60s	SN
59 – U>>	1,15 Un	0,1s	SN
81 – f<	49 Hz		NN
81 – f>	51 Hz		NN
81 – f<	47,5 Hz	0,1s	SN
81 – f>	51,5 Hz		SN

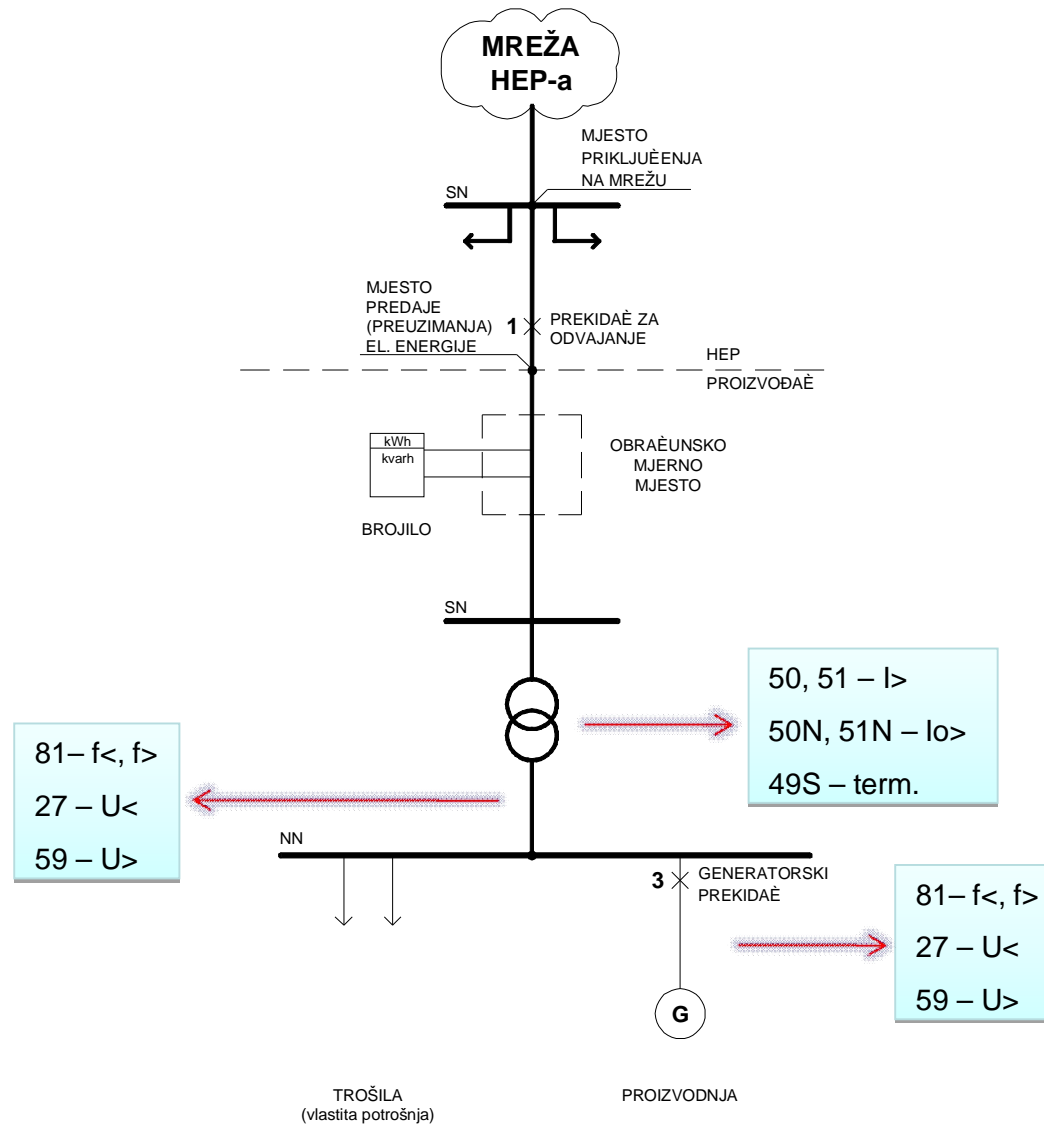
## Sheme priključenja, prijedlozi korištenja pojedinih zaštitnih funkcija i okvirna podešenja

### • Zahtjevi na osnovne funkcije odvajanja:

- održavanje frekvencije unutar dozvoljenih granica (1%)
- održavanje napona unutar dozvoljenih granica (10%)
  
- 27 ( $U <$ ) – u NN mrežama prema faznom naponu, u SN mrežama prema efektivnoj vrijednosti linijskog napona ili prema direktnoj komponenti napona
  
- 59 ( $U >$ ) – u NN mrežama prema faznom naponu, u SN mrežama prema pršnoj vrijednosti linijskog napona
  
- 81 ( $f <$ ,  $f >$ ) – u NN mrežama prema mjerenju frekvencije faznog napona ili jednog od linijskih napona, u SN mrežama prema mjerenju frekvencije linijskog napona ili direktne komponente napona



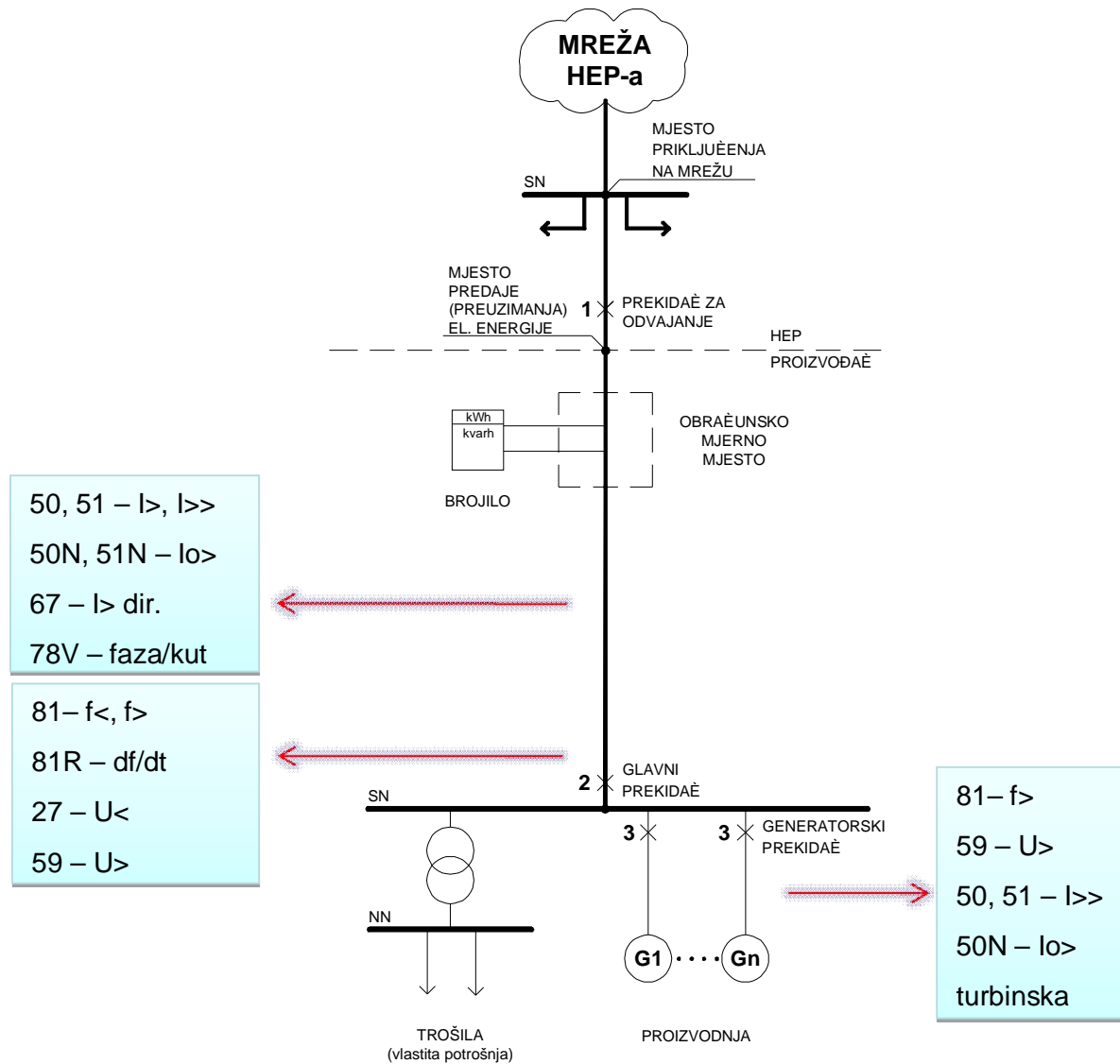
Zaštita mreže, proizvodnog postrojenja i proizvodne jedinice od kvarova i poremećaja  
 Zaštita za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom  
 mr.sc.Nikica Mikulandra, dipl.ing.



Seminar

**IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI**  
**IZAZOV ZA VOĐENJE POGONA, ZAŠTITU, MJERENJA I KOMUNIKACIJE**  
 Zagreb, 1. listopada 2009.

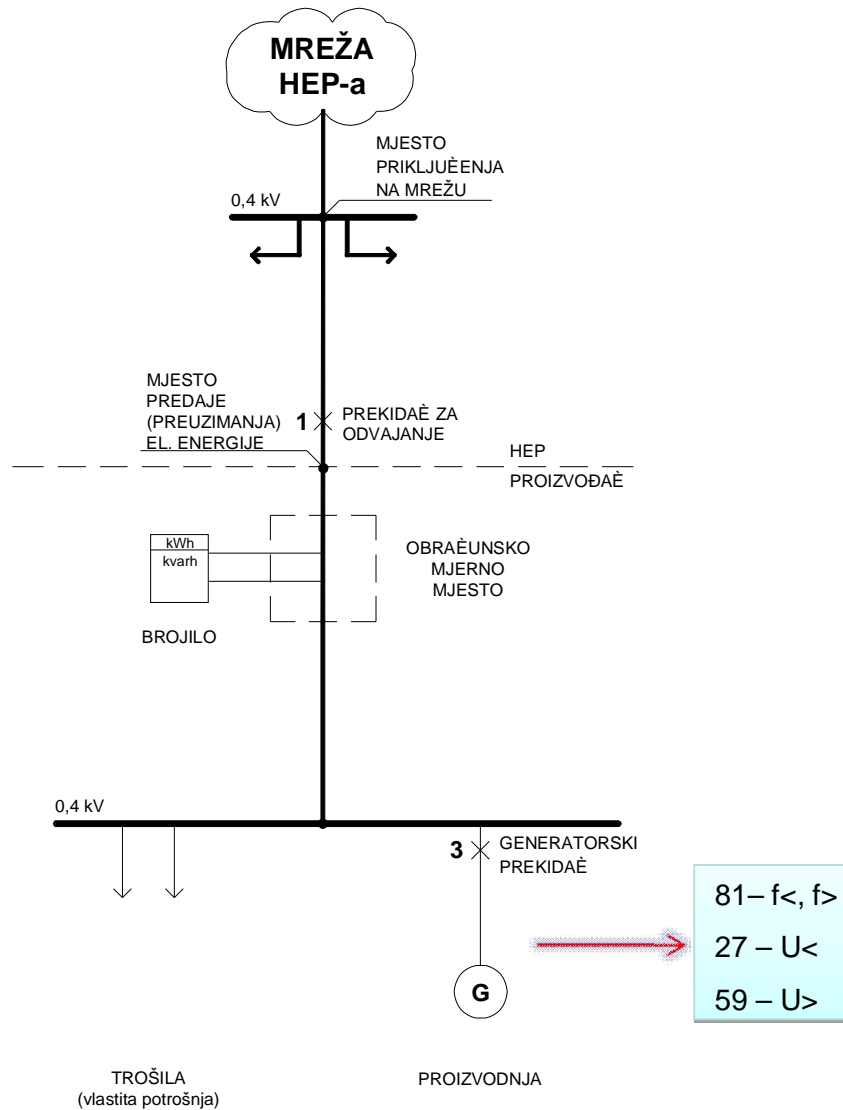
Zaštita mreže, proizvodnog postrojenja i proizvodne jedinice od kvarova i poremećaja  
 Zaštita za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom  
 mr.sc.Nikica Mikulandra, dipl.ing.



Seminar

**IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI**  
**IZAZOV ZA VOĐENJE POGONA, ZAŠTITU, MJERENJA I KOMUNIKACIJE**  
 Zagreb, 1. listopada 2009.

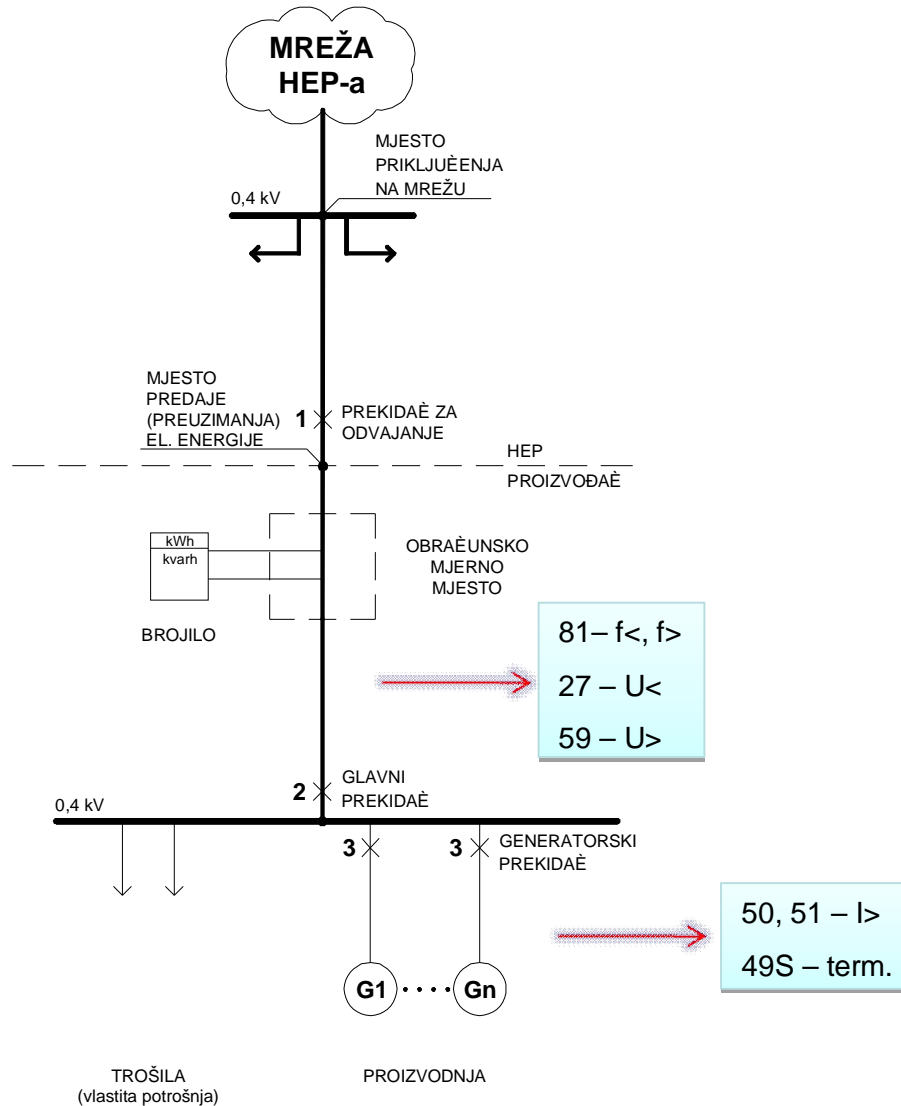
Zaštita mreže, proizvodnog postrojenja i proizvodne jedinice od kvarova i poremećaja  
 Zaštita za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom  
 mr.sc.Nikica Mikulandra, dipl.ing.



Seminar

IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI  
 IZAZOV ZA VOĐENJE POGONA, ZAŠTITU, MJERENJA I KOMUNIKACIJE  
 Zagreb, 1. listopada 2009.

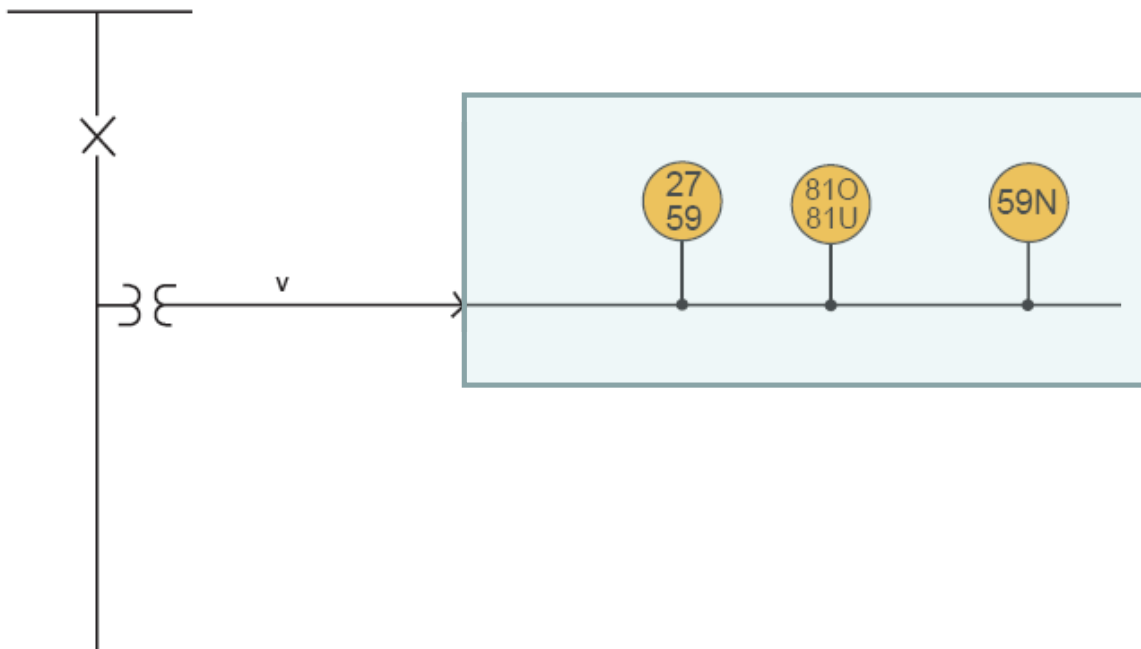
Zaštita mreže, proizvodnog postrojenja i proizvodne jedinice od kvarova i poremećaja  
 Zaštita za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom  
 mr.sc.Nikica Mikulandra, dipl.ing.



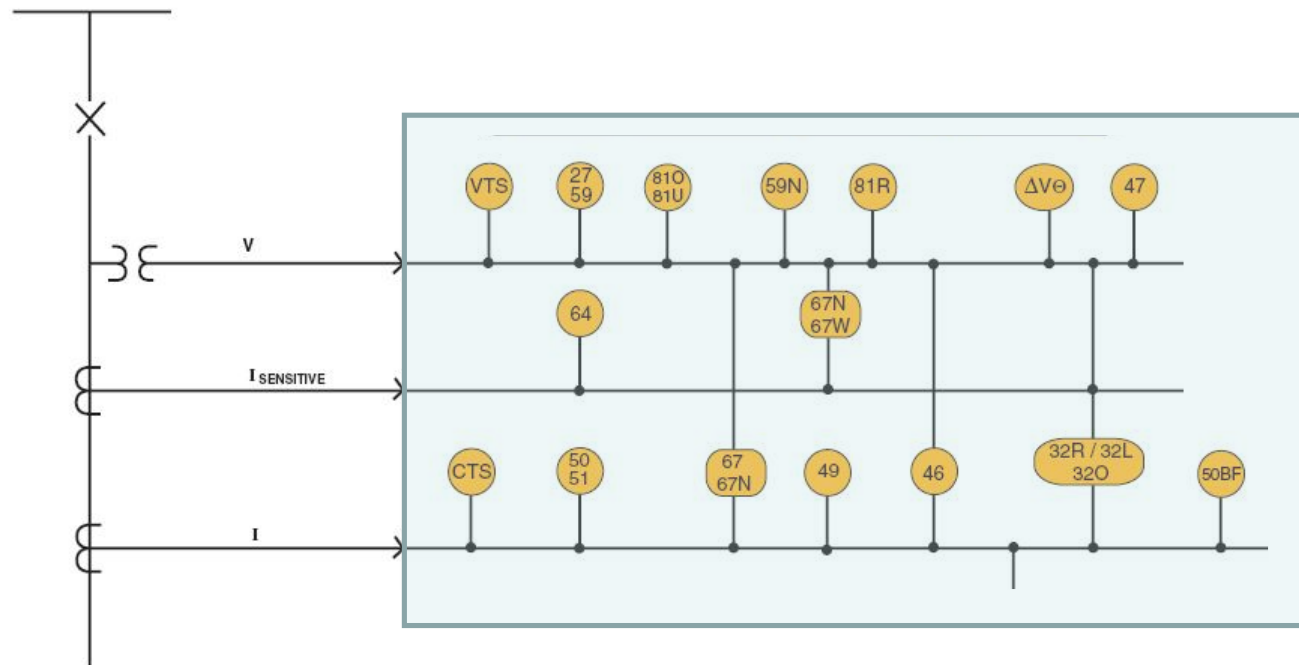
## Sustavi za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom

- Koriste se uglavnom kod elektrana (energana) koje su značajne za korisnika u smislu neprekinutosti i sigurnosti napajanja električnom energijom.
- Opseg funkcija i podešavanja zaštita ovise o značaju elektrane (energane) za koju se sustav odvajanja od mreže koristi.

## Sustavi za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom - jednostavnije rješenje



## Sustavi za odvajanje proizvodnog postrojenja iz paralelnog pogona s mrežom - složenije rješenje



## Moguće buduće sheme relejne zaštite

- Neki od najtežih zadataka za elektroenergetske sustave u 21. stoljeću neće biti samo vezani uz moderniziranje sklopnih uređaja / sustava i/ili sustava električnih zaštita (u hardverskom smislu), već u implementiranju odgovarajuće (tehnički i ekonomski opravdane) komunikacijske sheme između sekundarnih sustava (sustava relejne zaštite) koja će biti pouzdana i sigurna.
- Takova komunikacijska shema treba omogućiti koordinirano djelovanje sustava relejne zaštite u skladu s prilikama u mreži.
- Nadalje, biti će potrebno implementirati odgovarajuće algoritme djelovanja relejne zaštite kakvi do sada nisu bili korišteni, a koji će osigurati dinamičke promjene podešenja u skladu s konfiguracijom mreža (adaptivni sustavi relejne zaštite).





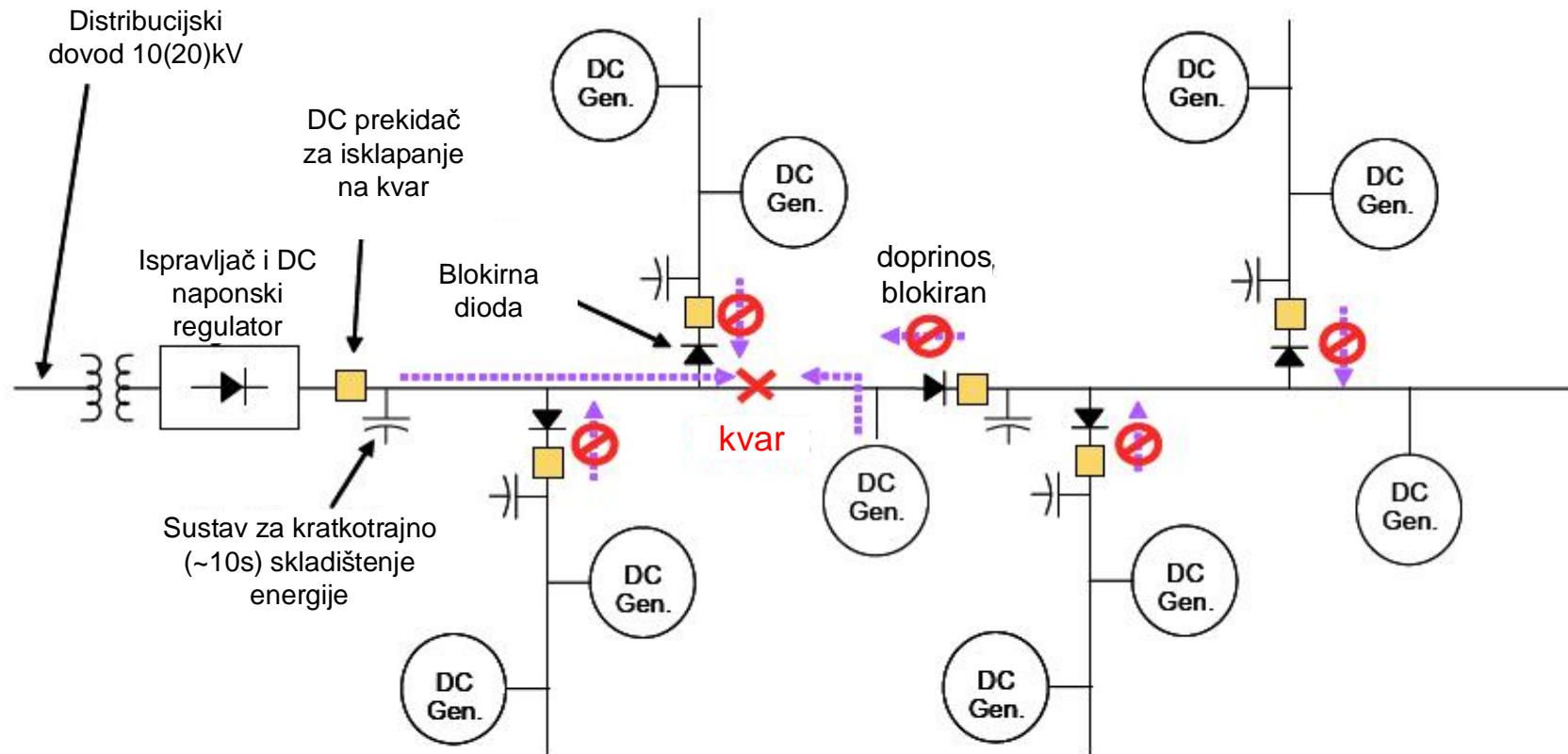
## Današnja zaštita i moguća zaštita sa OIE i/ili DI

Zaštitna funkcija	Metoda trenutno u upotrebi	Buduća metoda (pri velikoj penetraciji DI)
Zaštita od otočnog rada	Uobičajeno sa nadzorom napona i frekvencije unutar prihvatljivih granica odstupanja	Pilot signal ili direktan prijenos signala isklopa kao osnovna zaštita, nadzor napona i frekvencije unutar prihvatljivih granica odstupanja kao rezervna zaštita
Nadstujna zaštita	Uobičajeni nadstrujni releji (neusmjereni)	Usmjerena nadstrujna zaštita sa promjenjivim podešenjima te sa slanjem isklopnog signala prema DI
Način rada APU	Brzi i spori APU kako se sada najčešće koristi	APU koordiniran sa predvidljivim otočnim radom, APU sa dodatkom ovisnosti o naponu te sa dodatnim signalima za blokadu i omogućavanje APU-a

## DC distribucija električne energije i DC mikrosustavi

- Promjene elektroenergetskog sustava koje su do sada razmatrane uvijek su se odnosile na tradicionalni AC sustav (sustav izmjenične struje).
- Uz uvjet velike penetracije distribuiranih izvora ima smisla razmatrati i DC sustave kao završne dijelove distribucijskih sustava električne energije u budućnosti kao jednu od alternativa.
- DC sustavi mogu unaprijediti distribucijsku mrežu u smislu povećanja pouzdanosti i kvalitete električne energije u odnosu na AC sustave.
- Neke od mogućih prednosti DC sustava u uvjetima visoke penetracije DI i/ili OIE su:
  - Bolja regulacija napona
  - Lakša blokada toka energije u jednom smjeru
  - Lakša kontrola sustava i implementacija sustava zaštite
  - Lakše priključenje OIE

## Koncept zaštite uz DC distribuciju el.energije primjenom dioda i sustava za pohranu el. energije pri čemu DC izvori mogu biti PV ili bilo koji drugi DI



## Literatura

1. Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, Narodne novine, Zagreb, ožujak 2006.
2. Mark McGranaghan, Jeff Smith, Thomas Ortmeyer, David Crudele, Thomas Key, Phil Barker: "Renewable Systems Interconnection Study: Advanced Grid Planning and Operations", Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico, February 2008.
3. Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede, (HEP Bilten broj 66), 1998.
4. HEP OPS: Dodatni tehnički uvjeti za priključak i pogon VE na prijenosnoj mreži.
5. Roger Dugan, Thomas Key, David Crudele, Phil Barker, Thomas Ortmeyer : "Renewable Systems Interconnection Study: Utility Models, Analysis, and Simulation Tools", Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico, February 2008.
6. Jan Bloem: "Power Quality and Utilisation Guide, Distributed Generation Integration & Interconnection", KEMA Consulting, 2006.
7. J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin: "Protective Relaying: Principles and Applications", CRC Press, 2006.
8. Christophe Prévé: "Protection of Electrical Networks", ISTE Ltd, London, 2006.

## Korištene ANSI oznake za zaštitne funkcije

27. **Undervoltage Relay** is a relay that functions on a given value of undervoltage.
32. **Directional Power Relay** is a device that functions on a desired value of power flow in a given direction or upon reverse power resulting from arc-back in the anode or cathode circuits of a power rectifier.
46. **Reverse-phase or Phase-balance Current Relay** is a relay that functions when the polyphase currents are of reverse-phase sequence, or when polyphase currents are unbalanced or contain negative phase-sequence components above a given amount.
47. **Phase-Sequence Voltage Relay** is a relay that functions upon a predetermined value of polyphase voltage in the desired phase sequence.
49. **Machine or Transformer Thermal Relay** is a relay that functions when temperature of a machine armature or other load-carrying winding or element of a machine or temperature of a power rectifier or power transformer (including a power rectifier transformer) exceeds a predetermined value.
50. **Instantaneous Overcurrent** is a relay that functions instantaneously on an excessive value of current.
51. **A-C Time Overcurrent Relay** is a relay with either a definite or inverse time characteristic that functions when current in an ac-circuit exceeds a predetermined value.
59. **Overvoltage Relay** is a relay that functions on a given value of overvoltage.
64. **Ground Protective Relay** is a relay that functions on failure of insulation of a machine, transformer,
67. **A-C Directional Overcurrent Relay** is a relay that functions on a desired value of a-c overcurrent flowing in a predetermined direction.
78. **Phase-angle Measuring** is a relay that functions at a predetermined phase angle between two voltages or between two currents or between voltage and current.
81. **Frequency Relay** is a relay that functions on a predetermined value of frequency (either under or over or on normal system frequency) or rate of change of frequency.
87. **Differential Protective Relay** is a protective relay that functions on a percentage or phase angle or other quantitative difference of two currents or of some other electrical quantities.