

Hrvatska zaklada za znanost  
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb  
Zavod za visoki napon i energetiku

# FLEXIBASE

Popis uočenih nepravilnosti u modelima zaštite mikromreže

Mateo Beus, mag. ing.  
Ivan Grcić, mag. ing.  
prof. dr. sc. Juraj Havelka,  
izv. prof. dr. sc. Hrvoje Pandžić



Europska unija  
Zajedno do fondova EU



09-2021

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Simulacijski rezultati</b>	<b>2</b>
2.1	Algoritam izvođenja upravljačkog modela . . . . .	3
2.2	Simulacijski rezultat - scenarij mrežni rad . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Nepravilnosti</b>	<b>6</b>
3.1	Popis uočenih nepravilnosti u modelima zaštite . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Zaključna razmatranja</b>	<b>8</b>
	<b>Literatura</b>	<b>9</b>

# 1. Uvod

Pouzdanost pogona mikromreže može biti ozbiljno ugrožena prilikom promjene radne točke mikromreže. Promjena pogonskih uvjeta mikromreže podrazumijeva nagli ili planirani prelazak iz mrežnog u otočni rad i obrnuto te promjene tokova snaga unutar mikromreže u oba načina rada do kojih dolazi kao posljedica promjena radnih točaka pojedinih proizvodnih jedinica ili potrošača unutar mikromreže. Sigurnost i pouzdanost pogona mikromreže mora biti zagarantirana izvedbom sustava za upravljanje energijom (engl. *Energy Management System* - EMS) unutar mikromreže koji u obzir uzima postavke zaštite mikromreže. U tom smislu u dokumentu [1] predstavljen je upravljački sustav mikromreže koji se sastoji od upravljačkog sloja gornje i donje razine. Upravljački sloj donje razine naziva se još i model zaštite mikromreže. Formulacije predloženih upravljačkih slojeva detaljno su objašnjene u [1].

U ovom dokumentu glavni cilj je prikazati simulacijske rezultate koji validiraju učinkovitost predloženog upravljačkog rešenja. u tom smislu u Poglavlju 2 prikazani su koraci izvršavanja upravljačkog algoritma kao i simulacijski rezultati. Nadalje, preliminarni simulacijski rezultati su ukazali i na pojedine nedostatke/nepravilnosti modela donje razine koji se naknadnim simulacijama trebali korigirati. Popis uočenih nedostataka/nepravilnosti modela donje razine prikazan je u Poglavlju 3.

## 2. Simulacijski rezultati

Procedura dispečiranja mikromreže predložena u ovom projektu sastoji se od dva sloja čiji koraci izvršavanja su opisani u Algoritmu 1. Prvi upravljački sloj zasnovan je na algoritmu dinamičkog ekonomskog dispečiranja (engl. *Dynamic Economic Dispatch*-DED) koji uključuje i frekvencija ograničenja koja osiguravaju zadržavanje frekvencijske stabilnosti mikromreže prilikom iznenadnog prelaska iz mrežnog u otočni rad. Nadalje, cilj ovog sloja je dugoročna optimizacija rada mikromreže. Detaljna matematička formulacija ovog upravljačkog sloja prikazana je u [1]. Rezultati gornjeg upravljačkog sloja u vidu postavnih vrijednosti svih upravljivih proizvođača i potrošača unutar mikromreže služe kao ulazi za izvršavanje drugog upravljačkog sloja. Dodatne ulazne vrijednosti za izvršavanje drugog upravljačkog sloja su i trenutna mjerenja napona koja se prikupljaju sa svakog čvorišta prije izvršavanja algoritma drugog upravljačkog sloja. Algoritam drugog upravljačkog sloja zasniva se na proračunu tokova snaga koristeći Newton-Raphson (NR) algoritam izračuna tokova snaga. Izračunom tokova snaga mogu se uočiti dijelovi mikromreže koji nakon izvođenja procedure redispečiranja, tj. gornjeg upravljačkog sloja mogu biti preopterećeni ili im može biti narušen naponski profil. U tom slučaju algoritam u tom koraku izvršavanja podiže postavke nadstrujne i naponske zaštite da bi se kratkoročno osigurala dodatna fleksibilnost mikromreže. Ova pretpostavka vrijedi samo u slučaju da u prethodnom koraku izvršavanja algoritma postavke zaštite već nisu mijenjane. U tom slučaju algoritam ne dozvoljava ponovnu promjenu inicijalnih postavki zaštite. Ovdje treba istaknuti da primjena ovog algoritma ne narušava sigurnost mikromreže prilikom pojave kratkih spojeva budući da postavke zaštite koje se odnose na trenutno djelovanje prilikom pojave kratkog spoja niti u jednom slučaju nisu mijenjane.

U nastavku ovog poglavlja prikazani su koraci izvršavanja predloženog algoritma kao i rezultati simulacija u mrežnom radu mikromreže. Nadalje, topologija mikromreže koja je služila kao osnova za provođenje simulacija kao i svi parametri mikromreže detaljno su opisani u [1].

## 2.1 Algoritam izvođenja upravljačkog modela

Koraci izvođenja predložene upravljačke strukture su definirani kako je opisano u **Algorithm 1**.

### OFFLINE:

1. Definiraj parametre DED algoritma
2. Definiraj inicijalne postavke zaštite za mrežni i otočni pogon mikromreže

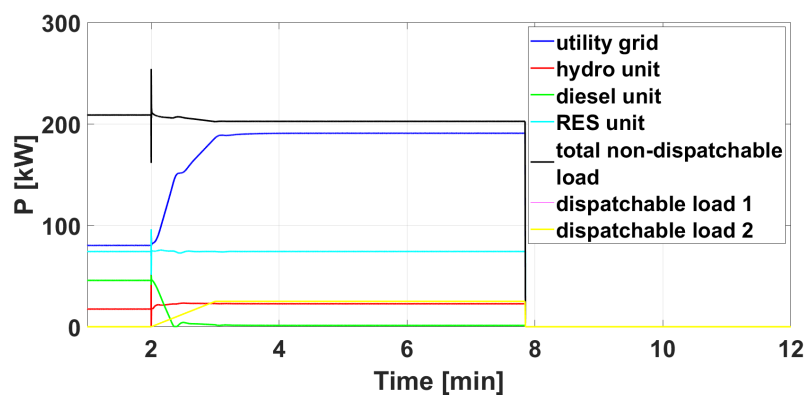
### ONLINE:

```
while Procedura dispečiranja je omogućena do
  if 15 minuta prošlo od zadnjeg poziva then
    1. Pročitaj inicijalna mjerenja snage da odrediš radnu točku mikromreže  $p_g^{\text{INIT}}$ ,  $P_{RES}$ ,  $C_l$ ,  $NL$ 
    2. Pročitaj inicijalna mjerenja frekvencije  $f$  i brzine promjene frekvencije  $rocof$ 
    3. POZOVI DED algoritam
    4. Pošalji rezultate DED algoritma (optimalne postavne vrijednosti za svaku upravljivu jedinicu u mikromreži) prema donjoj LF razini upravljanja
    5. Pročitaj i pošalji mjerenja sa svakog čvorišta kao ulaze u algoritam donje LF razine
    6. POZOVI LF algoritam
    7. if struja prelazi trenutne postavke zaštite i zastavica je u 0 then
      | 7.1. Povećaj inicijalne postavke nadstrujne zaštite za 20%
      | 7.2. Postavi zastavicu u 1
    end
    8. if napon prelazi trenutne postavke zaštite i zastavica je u 0 then
      | 8.1. Povećaj inicijalne postavke naponske zaštite za 20%
      | 8.2. Postavi zastavicu u 1
    end
    9. if 15 minuta prošlo od trenutka kad je zastavica postavljena u 1 then
      | 9.1. Postavi zastavicu u 0
      | 9.2. Vрати inicijalne postavke zaštita
    end
  end
end
```

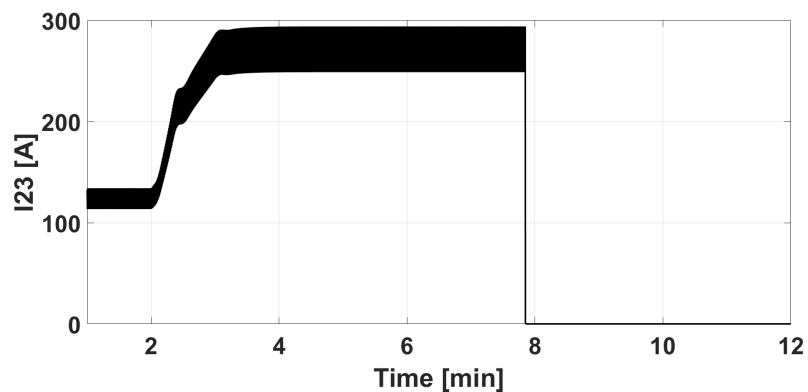
**Algorithm 1:** Koraci dispečiranja [2]

## 2.2 Simulacijski rezultat - scenarij mrežni rad

U cilju validiranja predložene procedure dispečiranja testirana su dva simulacijska slučaja. Oba simulacijska slučaja pretpostavljaju da mikromreža radi u otočnom radu. Nadalje, u oba slučaja procedura dispečiranja je onemogućena tijekom prve dvije minute. Tijekom prve dvije minute simulacije dok je procedura dispečiranja onemogućena DER1, tj. hidroelektrana proizvodi 18.5 kW, DER2 odnosno dizel agregat proizvodi 45.2 kW, dok su oba upravljiva tereta na 0 kW. Snaga potrošnje neupravljivih tereta iznosi 206 kW. Na Slikama 2.1 i 2.2 prikazan je prvi simulacijski slučaj.



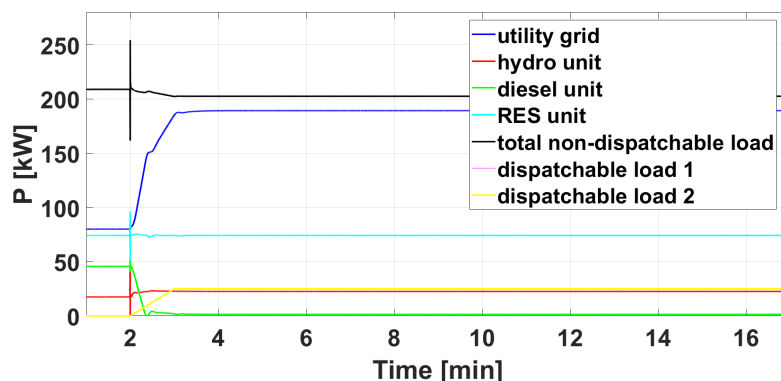
Slika 2.1: Simulacijski slučaj 1 [2]



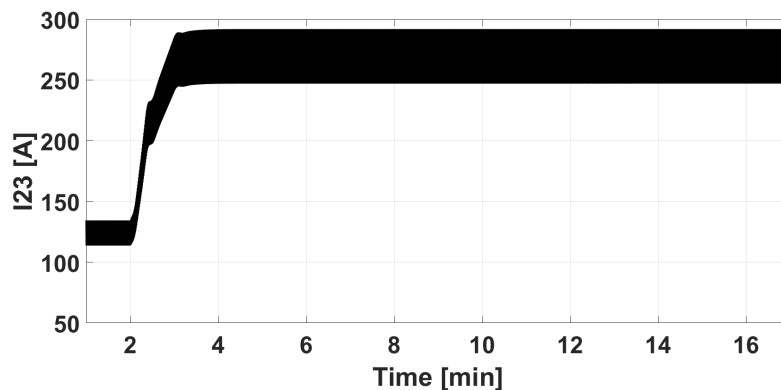
Slika 2.2: Simulacijski slučaj 1 - mjerenja struje kroz dionicu između čvorišta 2 i 3 [2]

U prvom simulacijskom slučaju donji upravljački sloj, tzv. LF sloj je isključen što je dovelo do ispada pogona mikromreže. Naime, Slika 2.1 prikazuje da nakon što se aktivirala procedura

DED dispečiranja u drugoj minuti kroz dionicu između čvorišta 2 i 3 došlo je do naglog povećanja struje s 100 A na skoro 300 A. Budući da su inicijalne postavke nadstrujne zaštite postavljene na 250 A to je dovelo do aktivacije nadstrujnih releja što je prikazano na Slici 2.2. Na Slikama 2.3 i 2.4 prikazan je drugi simulacijski slučaj.



Slika 2.3: Simulacijski slučaj 2 [2]



Slika 2.4: Simulacijski slučaj 2 - mjerenja struje kroz dionicu između čvorišta 2 i 3 [2]

U drugom simulacijskom slučaju oba upravljačka sloja su aktivna. Slika 2.3 prikazuje da nakon što se aktivirala procedura DED dispečiranja u drugoj minuti kroz dionicu između čvorišta 2 i 3 došlo je do naglog povećanja struje s 100 A na skoro 300 A. Izvođenjem proračuna tokova snaga u drugom upravljačkom sloju identificirano je ovo povećanje te su postavke nadstrujne zaštite tijekom 15-minutnog razdoblja za tu dionicu povećane na 300 A. Iz Slike 2.4 vidljivo je da u ovom slučaju nije došlo do prorade nadstrujne zaštite te je pogon mikromreže tijekom ovog razdoblja zadržan.

### 3. Nepravilnosti

Ovo poglavlje donosi pregled uočenih nepravilnosti u upravljačkom modelu donje razine nakon što su provedene inicijalne simulacije. U nastavku je kao zasebno potpoglavlje naveden popis nepravilnosti uočenih u donjoj razini.

#### 3.1 Popis uočenih nepravilnosti u modelima zaštite

Tablica 3.1: Nepravilnosti u upravljačkom modelu donje razine (modelu zaštite)

1.	Određivanje početnih uvjeta za iterativni postupak izračuna tokova snaga koristeći Newton-Raphson postupak
2.	Određivanje maksimalnog broja iteracija koje neće ograničiti potrebnu brzinu izvođenja postupka proračuna tokova snaga u mikromreži
3.	Određivanje maksimalnog dopuštenog vremena izvođenja izračuna
4.	Određivanje minimalne potrebne preciznosti izračuna koja zaustavlja iterativni postupak
5.	Određivanje parametra koji definira ubrzanje izvođenje iterativnog postupka izvođenja proračuna tokova snaga
6.	Određivanje vremena trajanja prepodešenja zaštita
7.	Prilagodba mjerenja snage i napona u mikromreži prema baznoj snazi na koju su preračunati svi parametri mikromreže, tj. pretvorba svih mjerenja na 0.1 MVA bazu

Tablica 3.1 sadrži nedostatke donje upravljačke razine. S obzirom da se za proračun tokova snaga koristi Newton-Raphsonov algoritam, pod brojevima 1.–5. su nedostaci koji mogu produžiti vrijeme izvedbe algoritma. Određivanje prikladnih početnih uvjeta je problematično jer za to ne postoji algoritam već je potrebno krenuti s razumnom i prikladnom pretpostavkom koja će dovesti do bržeg pronalaska rješenja. Broj iteracija može značajno utjecati na trajanje izvedbe ukoliko se rješenje ne pronađe u prikladnom vremenu izvršavanja. Stoga je broj iteracija potrebno ograničiti, ali ne na prenisku razinu kako bi se rješenje moglo pronaći. Kao što je potrebno ograničiti broj iteracija potrebno je ograničiti i vremensko trajanje izvođenja algoritma na prihvatljivu vrijednost. Preciznost je vrlo bitan parametar jer određuje koliko je dobra aproksimacija rješenja. Naravno, prevelika zadana preciznost može zahtijevati dulje vrijeme izvedbe što nije poželjno. Određivanje parametra koji ubrzava izvođenje iterativnog postupka se također treba provesti pažljivo jer odabir prevelikog iznosa može za posljedicu imati nemogućnost konvergencije k rješenju. U koraku 6. potrebno je pravilno definirati dozvoljeno vrijeme trajanja prepodešenja zaštita. U ovom slučaju vrijeme trajanja prepodešenja je 15 minuta što odgovara vremenskom okviru između dva poziva DED algoritma. Ovakvo definiranje vremena prepodešenja zaštita je problematično jer neki tipovi kabela ne mogu podnijeti



ovako duga preopterećenja. U tom smislu potrebno je provesti dodatne simulacije koje bi precizirale način na koji se određuju postavke ovog vremena. Posljednji problem je preračunavanje svih parametara mikromreže na baznu snagu radi formulacije optimizacijskog problema.

## 4. Zaključna razmatranja

Predstavljeni su simulacijski rezultati predložene procedure dispečiranja mikromreže koja u obzir uzima postavke zaštite. Simulacijski rezultati su pokazali da korištenjem predloženog dvorazinskog dispeča mikrorežom moguće je osigurati dodatnu fleksibilnost mikromreže tijekom početnog razdoblja nakon pojave strujnih ili naponskih preopterećenja. Nadalje, inicijalne simulacije su ukazale i na nepravilnosti/nedoumice u radu modela zaštita. U tom smislu u nastavku istraživanja provest će se dodatne simulacije kako bi se sve nepravilnosti/nedoumice u radu procedure dispečiranja otklonile. To se prije svega odnosi na dodatne simulacije koje će uključiti testiranje algoritma u slučaju promjene pogona mikromreže iz mrežnog u otočni rad kao i tijekom otočnog rada.

*Mišljenja, nalazi i zaključci ili preporuke navedene u ovom materijalu isključiva su odgovornost autora i ne odražavaju nužno stajališta Hrvatske zaklade za znanost, Ministarstva znanosti i obrazovanja i Europske komisije.*

# Literatura

- [1] Inicijalna verzija modela mikromreže donje i gornje razine te popis uočenih nepravilnosti.
- [2] Mateo Beus, Ivan Grcić, and Hrvoje Pandžić. Microgrid Dispatch with Protection Constraints. In *2021 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, pages 1–6, 2021.