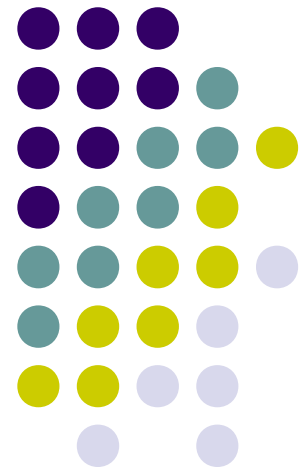
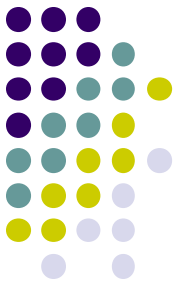


EKONOMIČNA RASPODELA SNAGA U MIKROMREŽAMA – DEO I: FORMULACIJA PROBLEMA

Jordan Radosavljević, Miroljub Jevtić
Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici
Srbija



Uvod



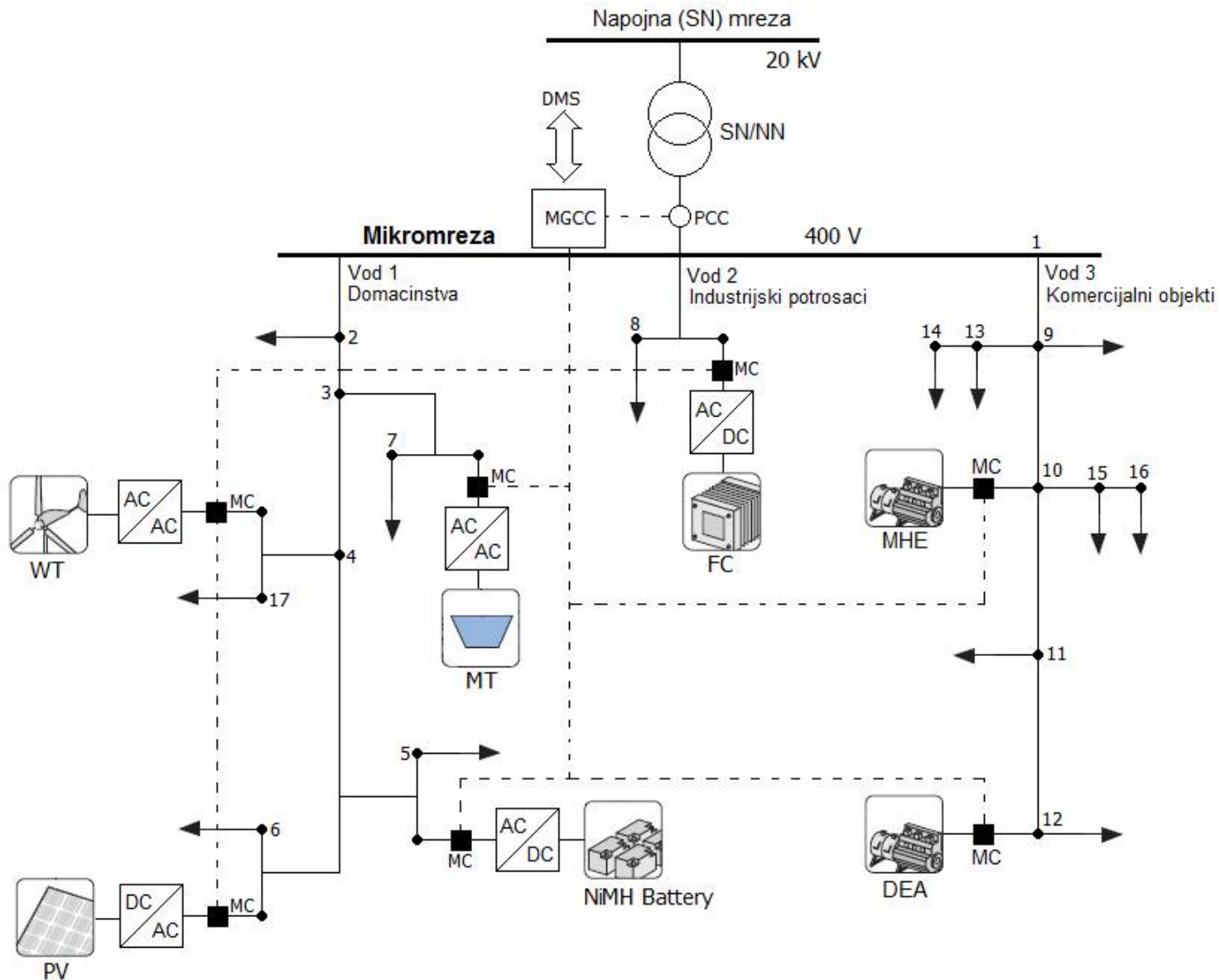
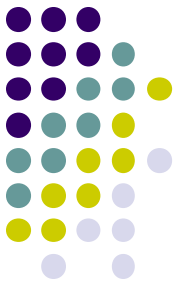
- Jedna od novih karakteristika savremenih distributivnih mreža je priključenje malih generatorskih jedinica – distribuiranih generatora (DG).
- Lokalna NN mreža u okviru koje se ostvaruje efikasna kordinacija i kontrola rada DG, potrošača i uređaja za skladištenje energije se naziva mikromreža.
- Mikromreža može raditi paralelno ili izolovano u odnosu na napojnu srednjenaponsku (SN) distributivnu mrežu.
- Pri paralelnom radu se teži ostvarenju ekonomične raspodele snaga u mikromreži u skladu sa usvojenom tržišnom politikom.

Sistem kontrole i upravljanja



- Sistem kontrole i upravljanja mikromreže čine centralni i lokalni kontrolni uređaji, koji su međusobno telekomunikacijski povezani. U opštem slučaju to je hijerarhijski sistem, koji ima tri nivoa
- Prvi nivo čine lokalni kontrolni uređaji (MC) postavljeni kod potrošača i distribuiranih izvora
- Drugi nivo kontrole i upravljanja se ostvaruje preko centralnog kontrolnog uređaja mikromreže MGCC
- Treći nivo sistema kontrole i upravljanja je distributivni menadžment sistem (DMS) napojne mreže.

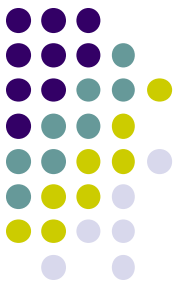
Struktura mikromreže



Formulacija problema



- Optimizaciona procedura za ekonomičnu raspodelu snaga zavisi od tržišne cene električne energije, ponude DG u smislu raspoloživih snaga i cene, predviđenih snaga potrošača i usvojene tržišne politike vlasnika mikromreže.
- Prema prvoj tržišnoj politici, cilj je da se potrošači u mikromreži snabdevaju električnom energijom po minimalnoj ceni uz maksimalno korišćenje energije iz DG.
- Druga tržišna politika podrazumeva da mikromreža učestvuje u otvorenom tržištu električne energije, težići da maksimizuje profit za vlasnika mikromreže.
- U ovom radu je problem ekonomične raspodele snaga u mikromreži definisan u skladu sa prvom tržišnom politikom.

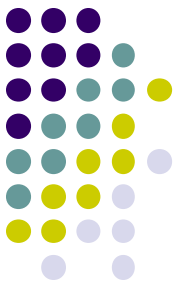


Kriterijumska funkcija

- Kriterijumska funkcija je minimizacija operativnih troškova mikromreže. Cilj je da se ostvari snabdevanje potrošača u mikromreži električnom energijom po najnižoj mogućoj ceni, uz maksimalno angažovanje DG sa obnovljivom energijom (WT i PV).
- Ukupni troškovi električne energije potrošača u mikromreži su zbir troškova za električnu energiju iz DG sa obnovljivom i neobnovljivom energijom i troškova za električnu energiju iz napojne mreže:

$$\text{Min } f(X) = \sum_{t=1}^{NT} \text{Cost}^t = \sum_{t=1}^{NT} \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} B_{Gi}(P_{Gi}^t) + MP^t \cdot P_{Grid}^t \right\} \quad (1)$$

Ograničenja



- Bilans aktivnih snaga:
$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{Gi}^t + P_{Grid}^t = \sum_{D=1}^{N_D} P_{L_D}^t \quad (2)$$

- Granične vrednosti snaga:

$$P_{Gi,\min}^t \leq P_{Gi}^t \leq P_{Gi,\max}^t \quad P_{Grid,\min}^t \leq P_{Grid}^t \leq P_{Grid,\max}^t \quad (3)$$

- Snaga razmene između mikromreže i napojne mreže:

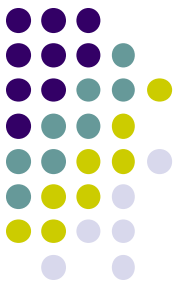
$$P_{Grid}^t = \sum_{D=1}^{N_D} P_{L_D}^t - \sum_{i=1}^{N_g} P_{Gi}^t \quad (4)$$

$$P_{Grid,\lim}^t = \begin{cases} P_{Grid,\max}^t & \text{ako je } P_{Grid}^t > P_{Grid,\max}^t \\ P_{Grid,\min}^t & \text{ako je } P_{Grid}^t < P_{Grid,\min}^t \\ P_{Grid}^t & \text{ako je } P_{Grid,\min}^t \leq P_{Grid}^t \leq P_{Grid,\max}^t \end{cases} \quad (5)$$

- Proširena kriterijumska funkcija:

$$\text{Min } f_p(X) = \sum_{t=1}^{NT} \text{Cost}^t + \lambda_p \left(P_{Grid}^t - P_{Grid,\lim}^t \right)^2 \quad (6)$$

Optimizacioni modeli DG



Mikroturbina i gorivna ćelija

Cena električne energije iz mikroturbine (MT) i gorivne ćelije (FC) se može izračunati na sledeći način :

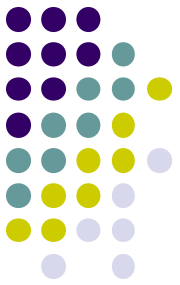
$$B_G = C_{fuel} \frac{P_G}{\eta_G} + C_{inv} \quad (7)$$

gde je P_G aktivna električna izlazna snaga DG tj., MT i FC u (kW); η_G je stepen iskorišćenja DG; C_{fuel} je cena goriva (prirodnog gasa) za napajanje DG (€/kWh); C_{inv} su investicioni troškovi DG svedeni na interval od interesa (čas) u (€/h). C_{inv} je funkcija godišnjeg iznosa otplate investicionih troškova (AC) u (€/kW-godini), godišnje proizvodnje (AP) u (kWh/kW) i nominalne snage DG u (kW):

$$C_{inv} = AC \frac{P_{Gnom}}{AP} \quad AC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \cdot IC \quad (8)$$

gde je i kamatna stopa, n period otplate investicija u godinama, i IC ukupni investicioni troškovi za DG u (€/kW).

Stepen iskorišćenja MT i FC su nelinearne funkcije izlazne snage.



Dizel električni agregat

Karakteristiku potrošnje goriva agregata u funkciji aktivne snage generisanja daju proizvođači:

$$Fuel_{DEA} = a_f P_{DEA}^2 + b_f P_{DEA} + c_f \quad (9)$$

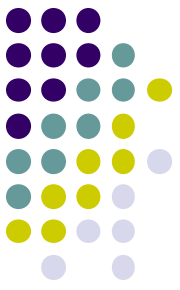
gde je: $Fuel_{DEA}$ potrošnja goriva u (L/h); P_{DEA} aktivna snaga u (kW); a_f , b_f i c_f su koeficijenti kvadratne karakteristike potrošnje goriva DEA.

Cena električne energije iz DEA u (€/h) se sada može aproksimirati na sledeći način:

$$B_G = C_{fuel} Fuel_{DEA} + C_{inv} \quad (10)$$

gde je C_{fuel} cena goriva (dizel, benzin,..) za napajanje DEA u (€/L);

C_{inv} investicioni troškovi DEA svedeni na interval od interesa (čas) u (€/h)



Vetrogenerator i fotonaponski izvor

Cena električne energije iz vetrogeneratora (WT) i fotonaponskog izvora (PV) se određuje uzimanjem u obzir godišnjeg iznosa otplate investicionih troškova (AC) u (€/kW) i godišnje proizvodnje energije po kW (AP) u (kWh/kW):

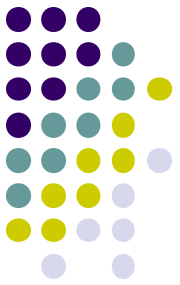
$$B_G = \frac{AC}{AP} P_G \quad AC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \cdot IC \quad (11)$$

gde je i kamatna stopa, n period otplate investicija u godinama, a IC ukupni investicioni troškovi instalacije DG, tj., WT i PV.

- Za određivanje snage WT neophodno je poznavati podatke o brzini vetra na datoj lokaciji i karakteristiku snage vetroturbine (zavisnost izlazne snage vetroturbine od brzine vetra).
- Izlazna snaga PV izvora određenih tehničkih karakteristika zavisi od solarne iradijacije i temperature okoline na datoj lokaciji.

Akumulatorske baterije AB

Cena električne energije iz akumulatorskih baterija se određuje prema jednačini (11)



Zaključak

- Data je matematička formulacija problema ekonomične raspodelu snaga u mikromrežama, i optimizacioni modeli različitih tipova DG.
- Ekonomična raspodela snaga je definisana kao optimizacioni problem čija je kriterijumska funkcija minimizacija operativnih troškova mikromreže, što podrazumeva da se potrošači u mikromreži napajaju električnom energijom po najnižoj mogućoj ceni, uz maksimalno angažovanje DG sa obnovljivom energijom.
- Ekonomična raspodela snage je nezaobilazan segment u sistemu efikasnog upravljanja mikromrežama.
- Predstavljeni matematički model može biti od koristi pri kreiranju upravljačkih funkcija u distributivnom menadžment sistemu u delu koji se odnosi na upravljanje mikromrežama.