

Damir Karavidović, dipl.el.inž.
damir.karavidovic@gmail.com

JALOVA SNAGA KAO ZAGLAVNI KAMEN ODRŽIVOSTI POGONA BUDEĆEG DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

SAŽETAK

U svijetu općih inženjerskih pristupa elektroenergetskom sustava kao i opskrbi električnom energijom njenih korisnika, jalova snaga i energije se, počevši od smisla i snage naziva, prihvaćaju kao nezaobilazna nepotrebnost. Tek uvažavanjem sastavnica mreže kao proizvođača i trošila jalove snage, te korisnika električne energije s trošilima utemeljenim na uporabi magnetskih i električnih polja, počinje se prihvaćati nezaobilazna potrebitost i utjecajnost jalove snage na pogonsko stanje prijenosnog i distribucijskog sustava, napose EES-a.

Kakvoća opskrbe električnom energijom jedan je od zahtjeva koji se postavlja pred operatore prijenosnog i distribucijskog sustava, a među mjerama za jamstvo kakvoće opskrbe je i priprava te uporaba jalove snage pri čemu u mrežama s velikim rastom instalirane snage obnovljivih izvora energije ona dobiva poseban smisao i značenje.

Referat ima za cilj svojevrsno vraćanje ugleda uporabnog značenja jalove snage, rasvjetljavanje njenog mjesta i značenja u distribucijskom sustavu s obnovljivim izvorima energije na svakom koraku i napose o važnosti osmišljenog upravljanja njome u odnosu na prepuštanje tokova silnicama slučaja.

Ključne riječi: jalova snaga, jalova energija, obnovljivi izvori, kakvoća napona, podrška naponu, Q-P karakteristika, upravljanje jalovom snagom.

REACTIVE POWER AS KEYSTONE SUSTAINABILITY OPERATION FUTURE DISTRIBUTION SYSTEM

SUMMARY

In the world of general engineering approach to the electricity system and electricity supply of its customers, reactive power and energy, beginning with the sense of power and calls, accept as unavoidable redundancy. Only taking into account elements network as producers and consumers of reactive power and energy consumers by using devices based on the use of magnetic and electric fields, begins to accept an inevitable necessity and influence of reactive power on the operating status of the transmission and distribution system, especially the EES.

The quality of electricity supply is one of the demands that are placed in front of the transmission and distribution system, including measures for ensuring quality of supply and the preparation and use of reactive power being in networks with a large increase in installed capacity of renewable energy it receives a special meaning and significance.

The paper aims to restore the reputation of a kind of exploitation meaning of reactive power, elucidation of its place and importance in the distribution system with renewable energy at every step, and in particular the importance of management thought it compared to leave the course of force lines of the case.

Keywords: reactive power, reactive energy, renewable source, power quality, voltage support, Q-P characteristics, reactive power management.

1. UVOD

1.1. Promjena paradigme o jalovoj snazi i poticaji za djelovanje u svezi nje

Kakvoća opskrbe električnom energijom jedan je od zahtjeva koji se postavlja pred operatore proizvodnih postrojenja, prijenosnog i distribucijskog sustava, pri čemu im, u području njihove mjerodavnosti, stoje na raspolaganju različite, ali ipak nejednakog učinka, mogućnosti pozitivnog utjecaja u normalnom i poremećenom stanju pogona. Temeljna sastavnica kakvoće opskrbe je kakvoća napona.

Među mjerama za jamstvo kakvoće opskrbe je i priprava te uporaba jalove snage. Mogućnost regulacije tokova jalove snage u VN mrežama opće su poznata i u uporabi s dugom tradicijom, ali kako taj postupak iziskuje trošenje prijenosnog kapacitete i gubitke snage diljem elektroenergetskog sustava (u daljnjem pisanju: EES), opravdano je iznaći postupak koji optimira mjesta priprave i raspodjele jalove snage u korist kakvoće opskrbe, sigurnog i pouzdanog pogona EES-a. uvažavajući i opravdanost primjene djelomično različitih gledišta za prijenos i distribuciju električne energije.

Počam od prijenosnog sustava, postavlja se pitanje kako će operator prijenosnog sustava u budućnosti osigurati potrebnu jalovu snagu za cijeli sustav. Na temelju promjene strukture proizvodnih postrojenja i potrošnje kao i sadašnjeg trenda ograničene raspoloživosti, odnosno, smanjenja sastavnica sustava za pripremu jalove snage u prijenosnoj mreži, dodatno se nameće potreba trgovanja za uravnoteženje potreba. Nije li regionalna bilanca uravnotežena, jalova snaga se mora prenijeti iz drugih povezanih regionalnih mreže ili čak iz drugih mreža, što uzrokuje odgovarajuće naponske razlike. To može, kod inače povišenog napona u sustavu, dovesti do pretjeranog naprezanja izolacije opreme pa i njenog oštećenja, a kod niskog napona u sustavu do naponskog kolapsa. Kako bismo spriječili previsoku razinu transporta jalove snage prijenosnom mrežom, a istodobno osigurali sigurnost podmirenja potreba za jalovom snagom na niženaponskim razinama sustava, mora se utanačiti sporazum između operatora prijenosnog i distribucijskog sustava kojim se uređuje uravnoteženje i ograničenje potreba za jalovom snagom distribucijskog sustava.

Jalova snaga je izrazito važan utjecajan činitelj pogonskog stanja prijenosnog i distribucijskog sustava, napose svakog EES-a. Takvu smo tvrdnju mogli izreći i prije pojave obnovljivih izvora energije kolebljive primarne snage (u daljnjem pisanju: OIE), a danas s velikim rastom instalirane snage OIE i nedostatnom ukupnom potrošnjom ili s potrošnjom različite istodobnosti u odnosu na proizvodnju, ona dobiva poseban smisao i značenje. U distribucijskom sustavu (u daljnjem pisanju: DEES) bez OIE, tokovi jalove snage bili su isključivo određeni položajem i potrebama trošila jalove snage kod kupaca te potrošnjom jalove snage sastavnica sustava.

Jalova snaga i upravljanje njome ima svoje važno mjesto u poduzimanju pothvata za normalnim radom EES-a i osiguranjem kakvoće opskrbe električnom energijom kupaca koje, zajedno s drugim pothvatima, nazivamo pomoćne usluge sustava (primarna i sekundarna regulacija napona i jalove snage). Upravljanje jalovom snagom u funkciji pomoćnih usluga sustava, gdje god se događalo, u prijenosnoj ili distribucijskoj mreži, uzrokuje troškove njihovim pružateljima koji su skriveni za primjenu energetske tarife.

Do tržišnog ustroja elektroprivrednih djelatnosti i prije pojave distribuiranih izvora u distribucijskoj mreži, odgovornost za tokove jalove snage u funkciji regulacije napona, bila je u okviru pomoćne usluge delegirana Operatoru prijenosnog sustava. On je potonju ostvarivao proizvodnjom jalove snage u mrežnim kompenzacijskim uređajima sastavnicama svoje mreže (kondenzatorske baterije, prigušnice, ...) i ugovorom i voznim redom jalove snage utanačenim s proizvođačima električne energije (sinkroni generatori).

Gledajući s razine EES-a, prije deregulacije elektroenergetskog sektora, nije postojala potreba za točnim određivanjem troškova proizvodnje jalove snage, prije svega generatorskih jedinica, što više oni su sustavno bili zanemarivani [1]. U današnjem tržišnom sustavu, uspostava tržišnih mehanizama plaćanja za jalovu snagu i energiju u funkciji potpore kakvoći opskrbe električnom energijom, odnosno, potpore pogonu mreže, postaje ključna sastavnica u osiguranju pomoćne usluge sustavu (Q regulacija).

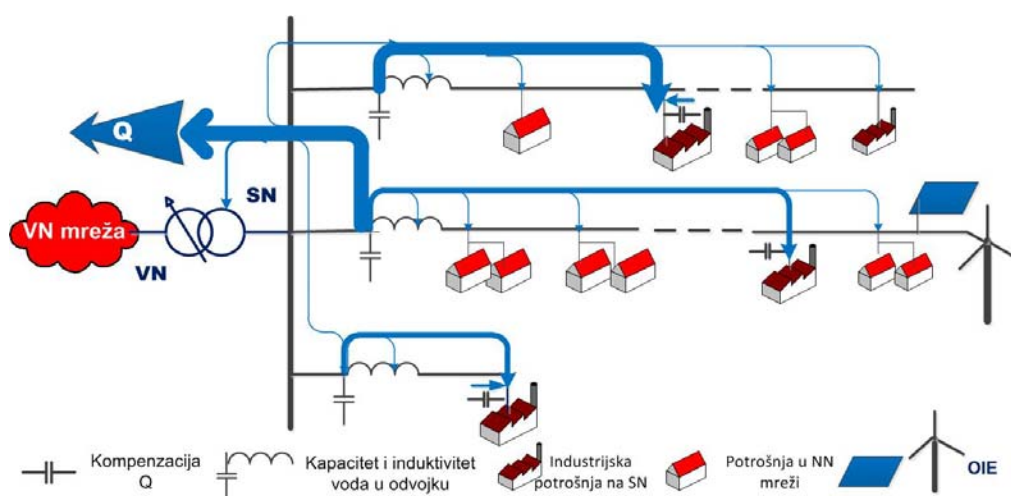
Upravljanje jalovom snagom s ciljanim utjecajem na napon ($U - Q$ regulacija) u prijenosnom sustavu, od velikog je značenja u procesu vođenja pogona EES-a, kako s tehničkog tako i gospodarskog stanovišta. Održavanje vrijednosti napona u čvorištima prijenosne mreže blizu optimalne razine omogućava potrebnu sigurnost EES-a s obzirom na moguće naponske poremećaje, istodobno povećavajući prijenos djelatne snage i smanjujući gubitke djelatne snage pri prijenosu.

1.2. Jalova snaga u distribucijskom sustavu – uvod u promjenu paradigme

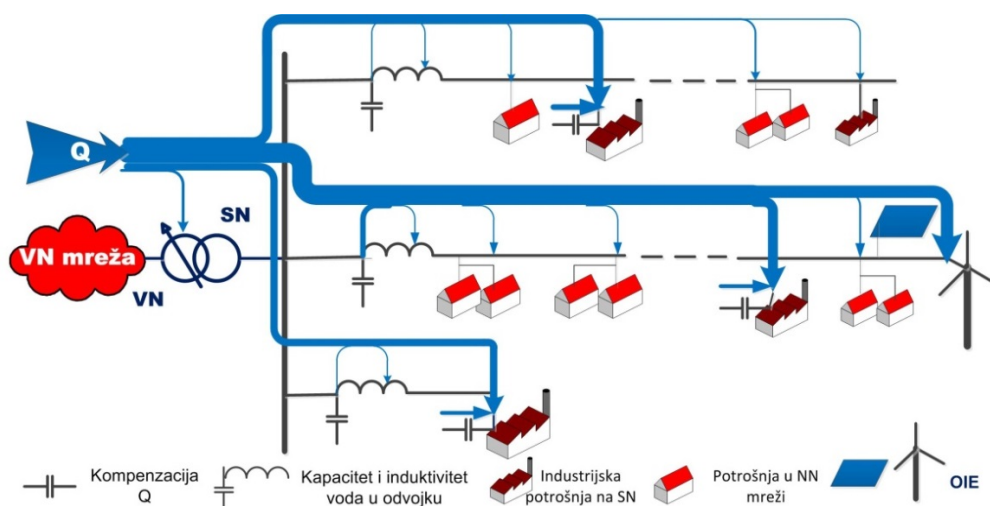
Niti jedno motrište o jalovoj snazi ne može bez „sukoba interesa“. Naime, pođe li se od prijenosnog prema distribucijskom sustavu, kako bi se u najvećoj mjeri iskoristila mreža za prijenos djelatne snage, mora se u najvećoj mjeri smanjiti prijenos tokova jalove snage, a potonji su prijeke potrebni održavanju razine napona u propisanim granicama, dakle, podrška su kakvoći opskrbe korisnika mreže.

U DEES-u se događa strelovit prirast snage OIE, a operator sustava se suočava s problemima održanja napona u dopuštenom naponskom pojasu. Jedan zaglavni kamen rješenja narečenog problema je u statičkoj podršci naponu proizvodnih postrojenja sa sposobnošću proizvodnje jalove snage. Pored proizvodnih postrojenja svoj doprinos u smislu podrške naponu jalovom snagom mogu dati i potrošačka postrojenja kupaca, smanjenjem potrošnje i/ili vlastitim izvorima za njeno podmirenje, postupkom kompenzacije.

U osnaženju uloge distribucijske mreže vezane za upravljanje jalovom snagom u EES polazi se prvo od srednjonaponske mreže koja se u razdobljima niske razine opterećenja često ponaša s kapacitivnim obilježjima (slika 1.), a u razdobljima visoke razine opterećenja i/ili jake proizvodnje moguće je preuzimanje induktivne jalove snage iz nadređene mreže (slika 2.) [2].



Slika 1. Primjer tokova jalove snage u SN mreži pri slabom opterećenju i bez napajanja iz OIE



Slika 2. Primjer tokova jalove snage u SN mreži pri jakom opterećenju i s napajanjem iz OIE

Prerastanjem distribucijske mreže u distribucijski sustav, s nedostatnom razinom naprednog vođenja pogona DEES-a, tokovi jalove snage su se uskomešali dajući vještini i potrebi upravljanja jalovom snagom ogroman značaj. Na pragu energetske evolucije potvrđuje se opravdanim uvesti skupinu pojmova na kojima bi se izgradila pravila upravljanja jalovom snagom i u DEES-u s jednakom ozbiljnošću

kao i u EES-u, napose kao s djelatnom snagom. I na kraju, kada se radi s ciljanim pothvatima za potporu sustavu, pothvati moraju imati smisao pomoćne usluge EES-u iz DEES-a. Nabava pomoćne usluge pothvatima regulacije jalove snage sposobnih proizvođača treba biti temeljena na tržišnim pravilima, a tržišnim sudionicima potrebno je uputiti ispravne cjenovne postavke kako bi se osigurala ulaganja u sposobnost proizvodnje jalove snage planiranih proizvodnih jedinica.

Nema dvojbe kako je potencijal iskoristive jalove energije u distribucijskoj mreži velik, a trenutno zapostavljen, te kako je prijetnja potreba uključiti ga u sustav pomoćnih usluga kao i za oblikovanje učinkovite karakteristike distribucijskog sustava utemeljene na jalovoj snazi. Procjene okolnosti u svezi s jalovom snagom u budućem distribucijskom sustavu ukazuju na slijedeće bitne značajke:

- podrška naponu proizvodnih postrojenja počivati će na jalovoj snazi,
- daljnju izgradnju mreže obilježiti će kabelski vodovi (gradske i prigradske mreže), a time i proizvodnja kapacitivne jalove snage od strane mreže,
- promijeniti će se karakteristika jalove snage na strani potrošnje,
- tokovi jalove snage kroz distribucijski sustav postat će promjenjiviji po iznosu i smjeru, povećati će se (s opravdanim razlikama između regionalnih mreža).

Rješenje u korist učinkovitog sustava jest **upravljanje tokovima jalove snage u distribucijskom sustavu**, među kojima je iskorištenje potencijala pripreme jalove snage u proizvodnim postrojenjima sa sposobnošću prilagodljivosti potrebama, vrlo iskoristivo za cijeli EES. Za strategiju razmjene jalove snage između distribucijskog i prijenosnog sustava potrebno je provesti osmišljene tehničke i pogonske pothvate na njihovom međusobnom sučelju. S ovom temom, opis i utvrđivanje sučelja između mreža OPS-a i ODS-a, bave se europska Mrežna pravila koja su upravo u završnom dijelu postupka razvoja izrade i usvajanja („Demand Connection Code“).

Narečena motrišta zahtijevaju promjenu paradigme u pristupu jalovoj snazi u cijelom EES-u, a kako bi se postigla snažna rezultanta djelovanja upravljanja jalovom snagom kroz sveobuhvatan pristup i uporabi svih potencijala.

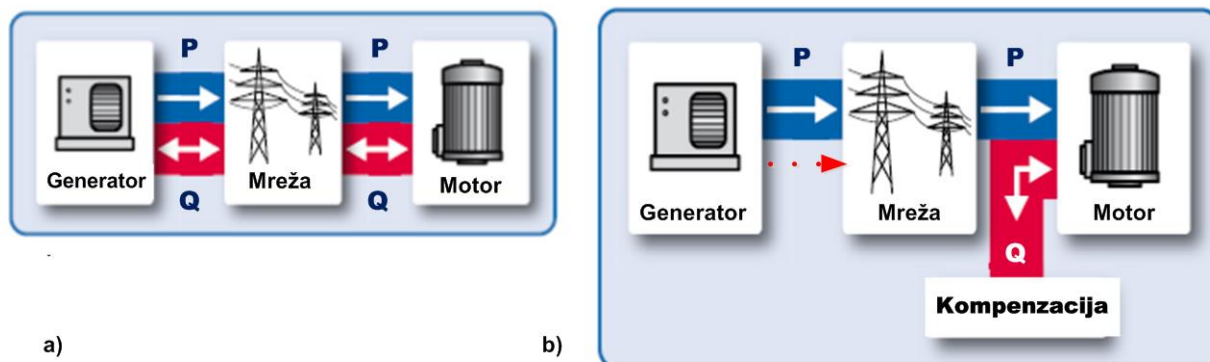
Podrška mreži kroz statičko i dinamičko upravljanje jalovom snagom, ima značenje kamena temeljca u izazovima energetske evolucije u vođenju pogona onog DEES-a, ali i EES-a, čije se temeljne značajke smatraju bliskom budućnošću pa je zato svakom operatoru sustava potrebna strategija upravljanja jalovom snagom i energijom u njemu.

1.3. Temeljna teoretska znanja o jalovoj snazi i Q – karakteristici mreže

1.3.1. Temeljni pojmovi bitni za razvitak sustava upravljanja jalovom snagom

Iskustvo kazuje kako se propisani, ili kroz stručnu praksu usvojeni stručni izrazi, često vrlo različito tumače što znači različito i koriste, posljedično tome djelovanje mjerodavnih subjekata može biti neusklađeno, a učinci umanjeni. To može biti razlog za nesporazume pa i štete u poslovanju. Kako se ovim radom želi ukazati na opravdane razloge temeljitog bavljenja upravljanja jalovom snagom i energijom u DEES-u, držim prijetnju potrebnim prepoznati za nas postojeće i nove izraze te utvrditi značenje izraza koji tvore ideologiju jalove snage [2].

Jalova snaga potrebna je za uspostavu magnetskih ili električnih polja u trošilima električne energije čime posreduje u transformaciji radne snage u neki drugi koristan oblik. Ona njiše između izvora (generatora) koji je proizvode i trošila (npr. motora), od izvora trošilu potom od trošila izvoru (slika 3a.) [3].



Slika 3. Tok jalove snage između izvora i trošila bez (a) i s kompenzacijom jalove snage trošila (b)

Tok jalove snage prema slici 3a. dodatno opterećuje sve sastavnice sustava od izvora do trošila, umanjuje kapacitet mreže koristan za prijenos djelatne snage i na kraju, kroz povećan pad napona utječe na kakvoću opskrbe. Kompenzacijom jalove snage trošila s kondenzatorskim uređajima u neposrednoj blizini trošila, iz mreže je potrebna samo jednokratno energija punjenja kondenzatora (slika 3b., crtkana strelica), nakon čega se uspostavlja njihanje jalove snage između kondenzatorskog uređaja i trošila, a ne od izvora u sustavu.

Kompenzacija potrošnje induktivne ili kapacitivne potrošnja jalove snage jest davni način naprednog upravljanja tokovima jalove snage.

Podsjećamo na tijek trenutnih vrijednosti osnovnog harmonijskog titraja struje $i(t)$ i napona $u(t)$, tvorca električne snage $p(t)$, te faznog pomaka između njih (φ), tvorca udjela djelatne P i jalove Q snage u prividnoj snazi S . Tok energije kroz jedinicu vremena određen je trenutnim vrijednostima snage $p(t)$:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cos \omega t \cdot I_m \cos (\omega t - \varphi) = U I \cos \varphi + U I \cos \varphi \cdot \cos 2\omega t + U I \sin \varphi \cdot \sin 2\omega t \quad (1)$$

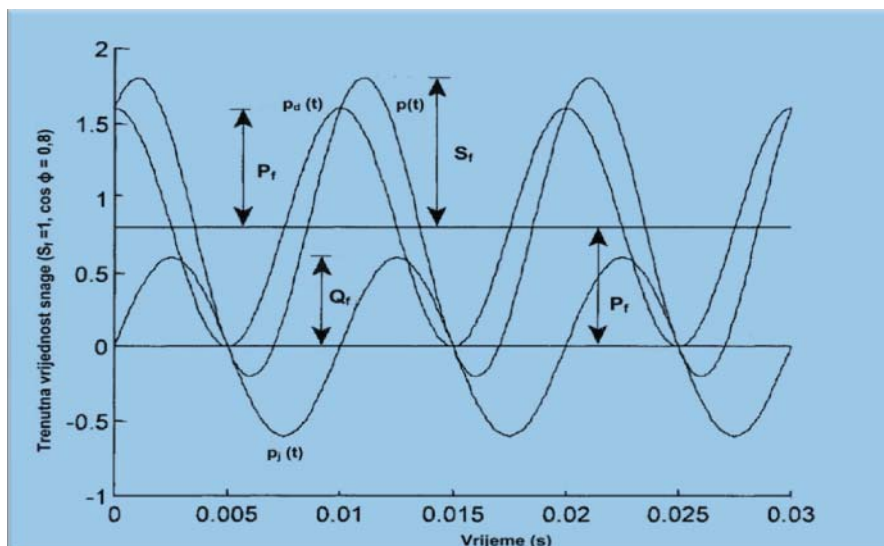
ili

$$p(t) = P_f + P_f \cdot \cos 2\omega t + Q_f \cdot \sin 2\omega t = p_d(t) + p_j(t) \quad \text{ili} \quad (2)$$

$$p(t) = P_f + S_f \cos (2\omega t - \varphi) \quad (3)$$

Slika 4. prikazuje tijek trenutne snage $p(t)$ i njenih faznih sastavnica (indeks):

- snaga izmjenične struje $S_f \cdot \cos (2\omega t - \varphi)$,
 - djelatna snaga izmjenične struje $P_f \cdot \cos 2\omega t$ i
 - jalova snaga izmjenične struje $Q_f \cdot \sin 2\omega t$
- (4)



Slika 4. Tijek promjena trenutnih vrijednosti snage $p(t)$ i njenih sastavnica pri zadanom faznom pomaku

Prividnu snagu S možemo tumačiti i kao tjemenu vrijednost snage izmjenične struje. Valja prepoznati i kako trenutna vrijednost sastavnica snage, bez obzira na prirodu, njišu s dvostrukom frekvencijom nego li struja i napon. Kod periodičkih uvjeta promjene napona i struje, djelatna snaga jednaka je srednjoj vrijednosti P trenutnih vrijednosti $p(t)$.

Prisutnost pak jalove snage čini snagu $p(t)$ od vremena do vremena negativnom. Snaga izmjenične struje s tjemenu vrijednosti S_f može se rastaviti u dvije, međusobno za 90° pomaknute sastavnice snage – djelatnu P_f i jalovu snagu Q_f (na slici 4. kao tjemene vrijednosti). Pri čisto omskom opterećenju nema jalove snage već postoji samo djelatna, a pri čisto induktivnom ili čisto kapacitivnom opterećenju postoji samo jalova snaga. Dakle, postojanje jalove snage uvjetovano je postojanjem induktiviteta i/ili kapaciteta u mreži i/ili kod trošila korisnika mreže.

U trofaznom simetričnom sustavu napona i struja, trofazna trenutna vrijednost snage izmjenične struje jednaka je:

$$p(t) = 3 \cdot \text{Re} (S_f) = 3 \cdot P_f = P \quad (5)$$

U ovom referatu će se pod pojmom jalova snaga podrazumijevati isključivo jalova snaga osnovnog harmonijskog titraja.

2. Potražnja jalove snage (Q–potražnja)

Q-potražnja u pravilu ne ovisi od smjera toka djelatne snage. Kod Q-analiza saldo se prije svega temelji na napajanju (proizvodnji) i potrošnji. Ovisnost smjera pak ovisi samo od promjene napona.

3. Upravljanje jalovom snagom (Q–upravljanje)

Uvjetovanjem napajanja mreže jalovom snagom od strane proizvodnih postrojenja, moguće je ostvariti utjecaj na kakvoću napona u mreži. Učincima upravljanja jalovom snagom moguće je izbjeći ili umanjiti povredu graničnih vrijednosti dopuštenog odstupanja napona. Provedbu ovog zahtjeva ODS uređuje tehničkim uvjetima za priključenje prema kojima se utvrđuju uvjeti proizvodnje jalove snage. Postupak kojim ODS koristi raspoloživi kapacitet jalove snage opisuje se pojmom upravljanje jalovom snagom ili Q–upravljanje. Q-upravljanje obuhvaća i analizu karakteristike jalove snage potrebne korisnicima mreže, mogućnost korisnog utjecaja u okviru planiranja mreže i vođenja pogona mreže.

4. Karakteristika jalove snage (Q–karakteristika)

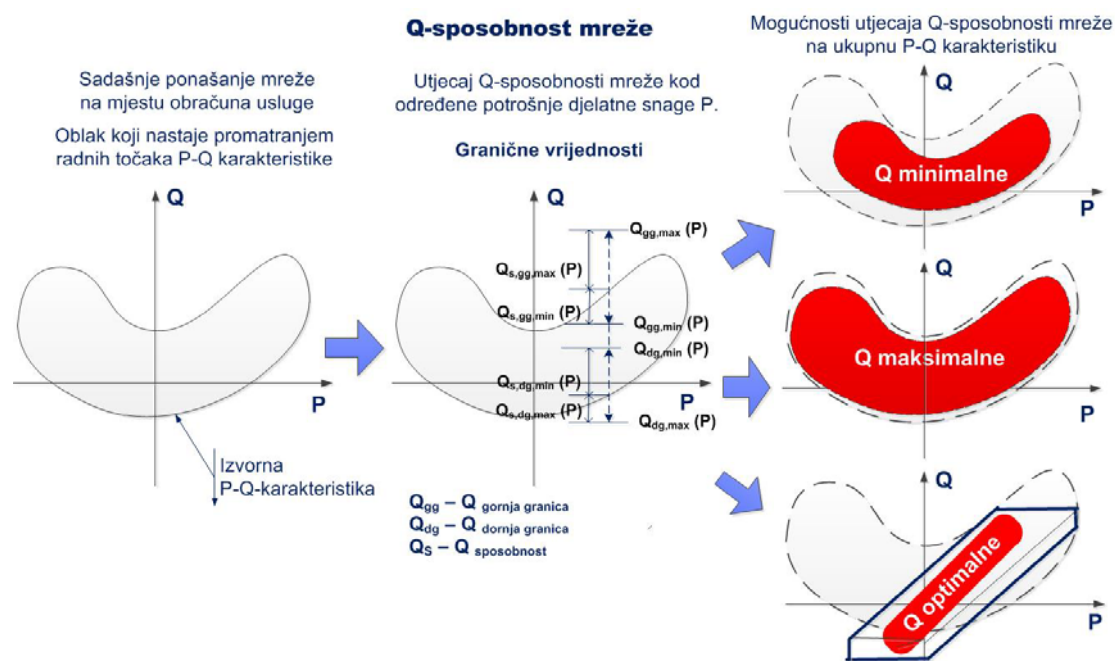
Q-karakteristika opisuje ponašanje (odziv) postrojenja, pogonskog sredstva ili mreže na spontane odnose pogonskih struja i napona, ili unaprijed, izvana, zadanih, a obzirom na Q-preuzimanje i Q-predaju. Q-karakteristika predstavlja važan pojam jer obuhvaća proizvodnju i potrošnju jalove snage u mreži, sustavu.

5. Spособnost jalove snage (Q–spособnost)

Q-spособnost opisuje razinu trajne spremnosti proizvodnje induktivne i kapacitivne jalove snage ovisno od stanja proizvodnje djelatne snage.

Pojam Q-spособnosti mreže, opisuje spособnost u kojoj mjeri se, kod određene karakteristike djelatne snage (obrub P-Q-karakteristike), dopušta trajno utjecati na granične točke Q-karakteristike. Grafičko tumačenje daje slika 6. Preko Q-spособnosti mreže može se prilagoditi površini koja definira P-Q-karakteristiku. Za određenu karakteristiku djelatne snage P, postižu se najviše četiri moguće granične vrijednosti (gornja i donja) Q i to: $Q_{gg,max}(P)$, $Q_{gg,min}(P)$, $Q_{dg,max}(P)$ i $Q_{dg,min}(P)$.

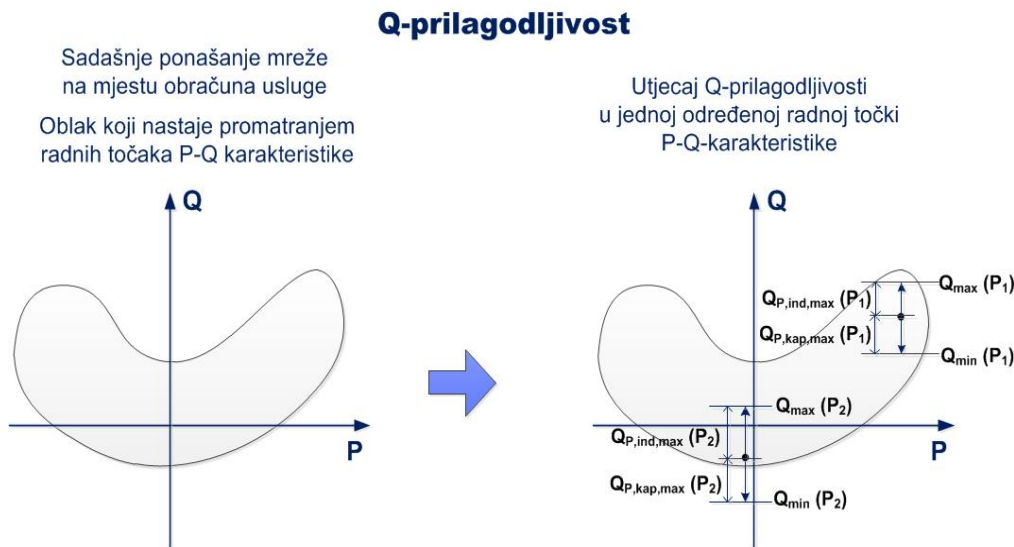
Razliku između „obruba“ (ovojnice), odnosno, graničnih vrijednosti izvorne P-Q-karakteristike (kod određene karakteristike djelatne snage) i navedenih postignutih graničnih vrijednosti, odrediti će Q-spособnost ovisna od karakteristike djelatne snage. Tako se za neku potrošnju djelatne snage dobiju četiri granične vrijednosti Q-spособnosti (Q_S) i to: $Q_{S,gg,max}(P)$, $Q_{S,gg,min}(P)$, $Q_{S,dg,max}(P)$ i $Q_{S,dg,min}(P)$. Razlog prilagodbe, primjerice uporaba jalove snage za podršku naponu ili Q-bilanca u vlastitoj ili nadređenoj mreži, nije bitan za definiciju Q-spособnosti.



Slika 6. Grafičko tumačenje pojma Q-spособnost mreže

6. Spособnost prilagodbe jalove snage (Q-prilagodljivost)

Q-prilagodljivost opisuje sposobnost prilagodbe na promjene u mreži ili na promjene postavki Q-karakteristike unutar definiranog vremena odziva (slika 7.).



Slika 7. Grafičko tumačenje pojma sposobnost prilagodbe jalove snage (Q-prilagodljivost)

Q-prilagodljivost mreže opisuje sposobnost promjene Q-karakteristike mreže prema trenutnoj radnoj točki. Pri tome, radna točka može zauzeti položaj bilo koje točke u P-Q-površini (može se zamisliti i prisutnost praznine) i ne mora neizbježno ležati na ovojnici P-Q-karakteristike. Q-prilagodljivost može za svaku radnu točku imati različitu razinu uspješnosti. Osim toga, razina nadoknadle Q-prilagodljivosti može prekoračiti dogovorene granice jalove snage.

Q-prilagodljivost mreže je osobina prije svega mjerodavna za ciljano kratkoročno preuzimanje jalove snage za uravnoteženje vlastite Q-bilance ili nadređene mreže (vidi: Q-strana bilanca), kao i podršku mreži kod prijetnje naponskim kolapsom (vidi: Q-kvazistacionarna podrška mreži).

7. Dinamička podrška jalove snage mreži (Q-dinamička podrška mreži)

Q-dinamička podrška mreži obuhvaća isključivo spremnost proizvodnje jalove snage.

8. Bilanca jalove snage (Q-bilanca)

Izraz Q-bilanca će se upotrijebiti kad se bude promatralo tokove jalove snage u nekoj mreži, sustavu, prema mjerilu ulaz – izlaz, kod ocjene ostvarenja ugovornih odnosa,

9. Vlastita bilanca jalove snage (Q-vlastita bilanca)

Vlastita bilanca-Q isključivo obuhvaća Q-pripravnost za statičko uravnoteženje vlastitog Q-kućanstva za vlastiti sustav.

10. Strana bilanca jalove snage (Q-strana bilanca)

Strana bilanca-Q isključivo obuhvaća Q-pripravnost za dinamičko uravnoteženje vlastitog Q-kućanstva za mjerodavnog operatora sustava, dakle ukupno gledajući prelazi vlastiti sustav.

11. Bilanca jalove snage neizbježnih potreba (Q-vlastite potrebe)

Izraz Q-kućanstva će se upotrijebiti kad se bude promatralo stanje stvari s tehničkog motrišta.

12. Kvazistacionarna podrška jalove snage mreži (Q-kvazistacionarna podrška mreži)

Q-kvazistacionarna podrška mreži obuhvaća isključivo Q-pripravu jalove snage za potporu mreži u njenim kvazistacionarnim stanjima, kao što je primjerice propad (kolaps) napona kod kvara ili velike neravnoteže proizvodnje i potrošnje.

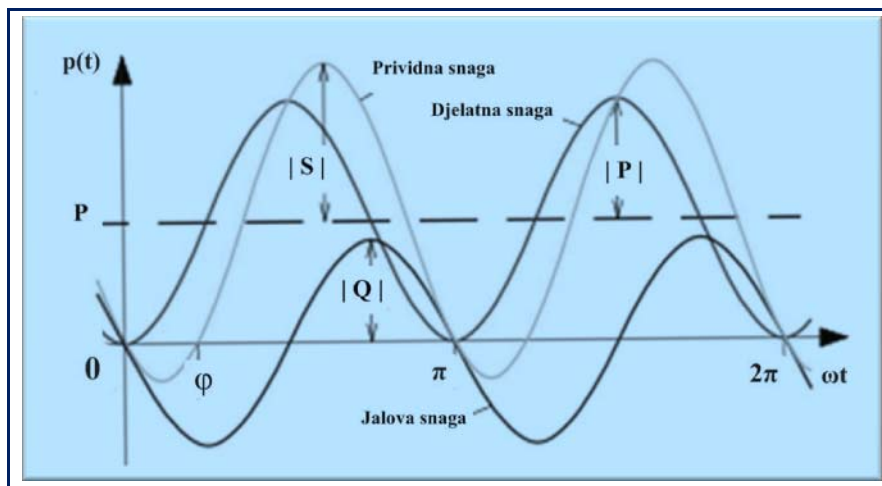
13. Jalova snaga za podršku napona mreže (Q-podrška naponu)

Q-podrška naponu mreže obuhvaća isključivo Q-pripravu jalove snage za podršku naponu u vlastitoj mreži.

14. Jalova snaga osnovnog harmonijskog titraja / jalova snaga pomaka (Q-osnovni harmonik/Q-pomaka)

Osnovni harmonijski titraj jalove snage Q za jednofazne sustave jest umnožak jednako tako osnovnih harmonika napona i struje i sinusa kuta među njima. Ona se može izraziti i kao dio prividne snage dobiven njenim umnožkom sa sinusom faznog pomaka ϕ između osnovnog harmonika faznog napona U i struje I .

Na slici 8. dajemo prikaz vremenske promjene osnovnih harmonijskih titraja prividne snage „ S “ te njenih sastavnica, djelatne P i jalove Q snage, uz pretpostavljeni kut pomaka ϕ .



Slika 8. Vremenske promjene trenutnih vrijednosti električnih snaga kod omsko-induktivnog opterećenja

15. Faktor pomaka

Faktor pomaka jest fazni kut između osnovnog harmonika napona faznog vodiča u odnosu na neutralnu točku i jedne struje.

16. Djelatna snaga P

Djelatna snaga je električna snaga mjerodavna za proizvodnju električne energije i raspoloživa je za pretvorbu električne u druge oblike snage (npr. mehaničku, termičku ili kemijsku).

Proizvođač proizvodne jedinice definira nazivnu snagu za nazivne uvjete rada. Ona je bitna za pogonsku opremu s mrežne strane (npr. kod izmjenjivača).

17. Proizvodno postrojenje

Proizvodno postrojenje je postrojenje u kojem jedna ili više proizvodnih jedinica, zajedno sa svim za pogon potrebnim tehničkim uređajima i sklopovima, na jednom mjestu priključenja na mrežu s određenim primarnim izvorom snage (npr. sve fotonaponske jedinice), proizvodi električnu energiju. Izrazi s kojima se opisuje proizvodnja proizvodnog postrojenja nose indeks „PP“.

18. Proizvodna jedinica

Izdvojivi dio proizvodnog postrojenja koji se sastoji od jednog generatora i opreme/uređaja koji omogućavaju njegov rad u proizvodnji električne energije.

Kod fotonaponskog proizvodnog postrojenja s dva ili više izmjenjivača priključenih na zajedničko mjerno mjesto, svaki od izmjenjivača s pridruženim sunčanim modulima predstavlja proizvodnu jedinicu.

Izrazi koji se odnose na proizvodne jedinice nose indeks „PJ“.

19. Prirodna snaga voda

To je vrijednost snage prenesene vodom pri kojoj se jalova snaga predana od kapaciteta voda kompenzira s jalovom snagom preuzetom od induktiviteta voda i kod koje se, radi toga, vod ponaša kao čisti radni otpor.

20. Točka priključenja na mrežu

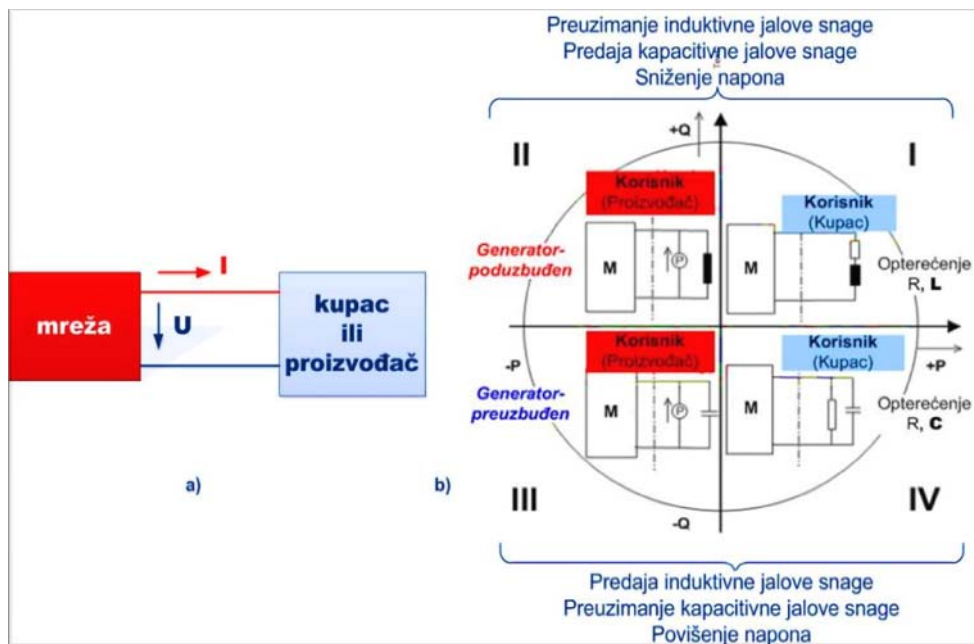
Točka mreže u kojoj je postrojenje korisnika mreže priključeno na mrežu operatora sustava.

21. Sustav pokaznih strelica potrošnje

Sustav omogućuje jednoznačno prepoznavanje jalove i djelatne snage s gledišta: porijekla (potrošnja ili proizvodnja), prirode (induktivna ili kapacitivna) i smjera (predaja ili preuzimanje) i utjecaja na napon (povišenje ili sniženje). U istim okolnostima i prema istim mjerilima, istodobno se promatra i djelatna snaga.

U istu svrhu, operator sustava može usvojiti uporabu sustava pokaznih strelica proizvodnje, ali, tad dosljedno samo taj sustav, dakle, ne miješati uporabu obaju.

Isti ćemo kako praktično iskustvo kazuje postojanje nedovoljne razine poznavanja Q-karakteristike sustava, a time i različitost razumijevanja utjecaja induktiviteta i kapaciteta kod prikaza prema jednom ili drugom sustavu pokaznih strelica. Pregled uporabljenih izraza i odnos veličina njima predstavljenih u sustavu pokaznih strelica potrošnje pokazuje slika 9.



Slika 9. Pravilo predstavljanja proizvodnje i potrošnje djelatne i jalove snage u koordinatnom sustavu

1.3.2. Povezanost i povratno djelovanje karakterističnih veličina

Promjene strukture mreže i značajki opterećenja, snažna izgradnja distribuiranih izvora različitih značajki pogona sve u dilj sustava, donose izazove za mjesto jalove snage u pogonu sustava kao i za pristup jalovoj snazi i energiji od strane operatora sustava. Operatori sustava moraju provesti i posvetiti pozornost rezultatima sustavnih analiza tokova snaga u svojoj mreži, jer s velikim udjelom izvora i njihovim promjenjivim napajanjem potrošnje danas nije kao jučer, unatoč nepromjenjivih načela za analize.

U ovom pak razmatranju prikazat ćemo nekoliko za praksu korisnih spoznaja na kojima počivaju, ili su rezultat, proračuni tokova snaga, a povezani su s jalovom snagom. Oni se odnose na prijenosnu i/ili na distribucijsku mrežu.

1.3.2.1 Veza između djelatne i jalove snage kod motrenja utjecaja na napon

Koristeći jednadžbe mreže [4] možemo utvrditi međusobnu fizikalnu i matematičku povezanost djelatne i jalove snage u sustavu (Newton-Raphson postupak). Postupak iskazuje tezu kako su djelatna snaga i kut napona s jedne strane te jalova snaga i iznos napona s druge strane, međusobno relativno slabo povezani. Polazište nam je vektorski prikaz veličina u mreži svedenog na dva čvora za koje vrijedi (slika 10.):

- čvor 1 je referentan, a napon u njemu U_1 je nepromjenjiv (čvrst),
- impedancija voda je čisto induktivna $Z = jX$ i
- tok snage $P + jQ$ jednak je na početku i kraju voda.

The diagram illustrates a power system with a generator (1) connected to a transmission line (Vod 1-2), which is connected to a load (T) at node (2). The generator supplies power $P + jQ$ to the line. The line has a voltage drop $U_1, \varphi_1 = 0^\circ$ at node 1 and $U_2, \varphi_2 = 0^\circ$ at node 2. The load T receives power $P + jQ$ from the line. The diagram also shows the voltage phasors U_1 and U_2 at the nodes, with U_2 lagging behind U_1 by an angle δ_2 . The power flow is indicated by arrows: $P + jQ$ from the generator to the line, and $P + jQ$ from the line to the load. The diagram also shows the voltage phasors U_1 and U_2 at the nodes, with U_2 lagging behind U_1 by an angle δ_2 . The power flow is indicated by arrows: $P + jQ$ from the generator to the line, and $P + jQ$ from the line to the load.

Cilj je utvrditi kompleksni izraz za napon u čvoru potrošnje (U_2) u ovisnosti od djelatne i jalove snage ($P + jQ$). Konačni izraz za kompleksni izraz U_2 glasi:

Za potrebe tumačenja slike 10. treba reći:

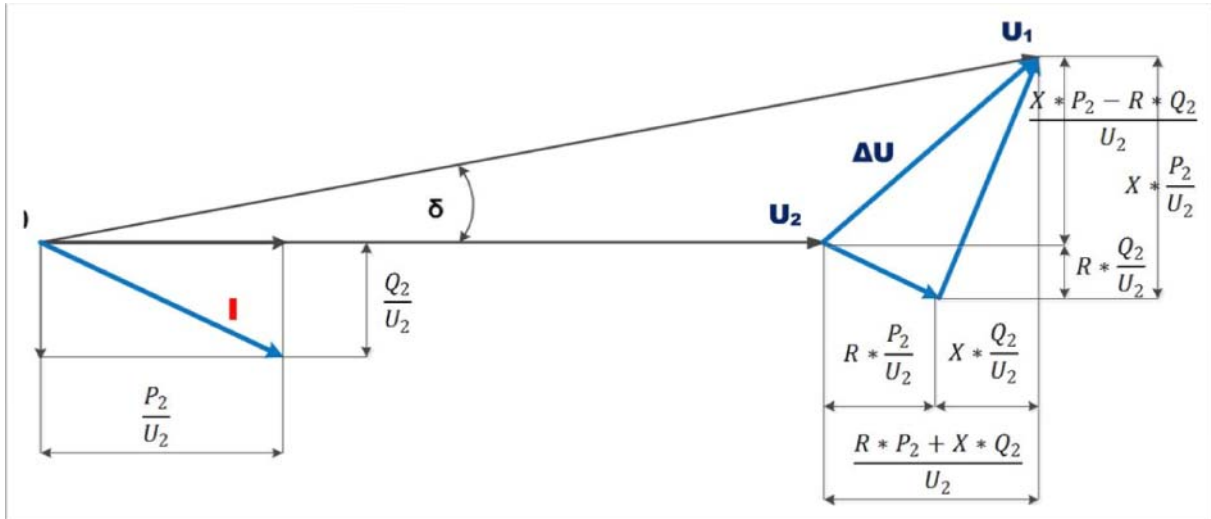
- tako dugo dok **djelatna snaga P mijenja vrijednost uz nepromjenjivu jalovu snagu Q** , vrh vektora napona U_2 kreće se po kružnici A (mjesna krivulja A) i
- kretanje po kružnici A jasno kazuje da promjene djelatne snage vode do bitne promjene kuta napona δ_2 , a ne do promjene iznosa napona U_2 .

- kada se pak **mijenja jalova snaga Q , kod nepromjenjive djelatne P** , vrh vektora napona U_2 se kreće po kružnici B (mjesna krivulja B),
- jasno se može zaključiti kako promjene jalove snage Q uzrokuju jake promjene iznosa napona U_2 , a male promjene njegovog kuta δ_2 .

1.3.2.2. Utjecaj jalove snage na promjene napona

Polazište za prikaz pada napona na vodu ili drugoj sastavnici mreže je umnožak struje s vrijednosti uzdužne impedancije sastavnice:

Bitne značajke pada napona na impedanciji su bjelodane, ali je još jasnija njihova matematička određenost ako zanemarimo određene prihvatljive razlike. Iskazivanje relativne promjene napona $\Delta U/U$ je bez dvojje najprikladniji oblik za prepoznavanje utjecajnih činitelja.



Slika 11. Prikaz pada napona i njegovih sastavnica te utjecajnih veličina

Relativni uzdužni ($\Delta U/U$) i relativni poprečni pad napona izražen kutem fazne razlike (δ) iznose:

$$\Delta U / U = (R \cdot P + X \cdot Q) / U^2; \quad \delta \sim \sin \delta = (X \cdot P - R \cdot Q) / U^2 \quad (9)$$

Iz izraza (9) možemo ustvrditi kako padu napona doprinosi tok djelatne i jalove snage, a kako su R i X u distribucijskim mrežama istog reda vrijednosti, doprinos dominantno ovisi o pojedinačnoj vrijednosti djelatne i jalove snage.

Tragom usredotočenosti ovog referata, možemo zaključiti kako upravljanje tokovima jalove snage doprinosi smanjenju padova napona i kuta pomaka napona što u konačnici znači doprinos kakvoći napona u mreži.

U prijenosnoj mreži djelatni otpor R vodova ima vrlo malu vrijednost pa je relativni uzdužni pad napona dominantno ovisan od toka jalove snage, što ne treba zanemariti niti s gledišta operatora distribucijskog sustava zbog učinka na napon na sučelju dvije mreže.

$$\Delta U / U = X \cdot Q / U^2; \quad \sin \delta = X \cdot P / U^2 \quad (10)$$

Kako bi spoznali koliko na promjenu napona utječe udjel jalove, a koliko udjel djelatne snage u iznosu prividne snage, uz zanemarivanje poprečne sastavnice napona, podijelimo izraz za promjenu napona ΔU_Q u jednadžbi (9) u slučaju $P=0$ (čista jalova snaga) s promjenom napona ΔU_P u slučaju $Q=0$ (čista radna snaga):

$$\frac{\Delta U_Q}{\Delta U_P} = \frac{R \cdot P_{DI} + X \cdot Q_{DI}}{R \cdot P_{DI} + X \cdot Q_{DI}} = \frac{R \cdot 0 + X \cdot Q_{DI}}{R \cdot P_{DI} + X \cdot 0} = \frac{\tan \psi \cdot R \cdot Q_{DI}}{R \cdot P_{DI}} = \frac{\tan \psi \cdot Q_{DI}}{P_{DI}} \quad (11)$$

gdje je:

- P_{DI} i Q_{DI} – djelatna i jalova snaga distribuiranog izvora,
- R i X – sastavnice mrežne impedancije u priključnoj točki promatranog distribuiranog izvora,
- ψ – kut mrežne impedancije

Kao što se može vidjeti iz izlaznog dijela jednadžbe (11), utjecaj predane jalove snage (Q_{DI}) u odnosu na predanu djelatnu snagu (P_{DI}) određen je kutom „ ψ “ mrežne impedancije. Kao tipičan odnos između radnog i induktivnog dijela mrežne impedancije u literaturi [6] se za VN i SN mreže navodi vrijednost R/X približno 0,1 do 0,2.

Na ovome mjestu u radu ne želimo kao doprinos razmatranja isticati točnost mrežnog izračuna već držimo da je od značaja iz jednadžbi izvesti zaključak kako, ovisno o uvjetima u mreži na mjestu priključenja, jalova snaga distribuiranog izvora može jače utjecati na napon nego li predana djelatna snaga.

Zaključak (unatoč pretpostavkama i zanemarivanju):

Tokovi jalovih snaga uzrokuju padove napona, promjene tokova jalovih snaga izazivaju kolebanje napona, a upravljanje tokovima jalovih snaga, u smislu smanjenja, koristan su postupak održanja kakvoće opskrbe i stvaranja uvjeta za priključenje veće snage obnovljivih izvora energije bez velikih ulaganja u mrežu. Narečene okolnosti imaju pretpostavke događanja u prijenosnoj mreži napona 110 kV, a u distribucijskoj u srednjonaponskoj mreži.

Kako jalova snaga iz distribuiranog izvora može imati i dominantan utjecaj na pad napona na mjestu priključenja ili u mreži, upravljanje njome na sučelju mreže i elektrane, odnosno, u predaji ili primitku od strane elektrane je pothvat na koji ODS mora imati pravo, a operator proizvodnog postrojenja obvezu.

1.3.2.3. Izvori snage u distribucijskoj mreži i njihov doprinos jalovoj snazi

Proizvodna postrojenja (u daljnjem pisanju: elektrane) s kojima se „puni“ distribucijska mreža, utemeljena na obnovljivoj primarnoj snazi, svojim pogonskim značajkama, napose P-Q-karakteristikom, doprinose da mreža poprima značajke distribucijskog elektroenergetskog sustava. Ovisno od mjestu njihovog objedinjavanja s mrežom i značajkama njihovih pogonskih veličina, pojedinačni utjecaj može se primjećivati od izrazito lokalnog u distribucijskom sustavu (mala SE na izvodu u NN mreži) do regionalnog u prijenosnoj mreži (VE na mreži 110 kV). Dakako, njihov zajednički utjecaj u uvjetima velikog udjela snage u podmiranju bruto potrošnje može imati posljedice i na stabilnost pogona EES-a.

DEES je s distribuiranim izvorima, a s gledišta jalove snage, dobio sastavnice sustava čija će P-Q-karakteristika u bitnom utjecati na P-Q-karakteristiku, Q-sposobnost i Q-prilagodljivost samog sustava. Koliko će taj utjecaj biti koristan s bitnih motrišta kakvoće opskrbe kupaca (kakvoća napona), mogućnosti korištenja mreže proizvođača (održivi otočni pogon), te samog ODS-a (gubitci snage), ovisi od sposobnosti ODS-a, među inim, upravljanja jalovom snagom kako u proizvodnji tako i u potrošnji jalove snage.

Predajom djelatne snage i kapacitivne jalove snage, naponu u točki priključenja elektrane na mrežu, kao i u ostalom dijelu mreže, povećati će se vrijednost, a preuzimanjem induktivne jalove snage od strane elektrane učinak na napon biti će suprotan, smanjiti će se vrijednost napona.

Sposobnost pojedine elektrane, u prethodno narečenom smislu, ovisi najviše od fizikalnih svojstava i tehničke opremljenosti uporabljenog generatora pa tako treba razlikovati Q-sposobnost kod:

- sinkroni / asinkroni generator (bioplinke elektrane),
- sinkroni / asinkroni generator s izmjenjivačem (vjetroelektrane),
- dvostrano napajani asinkroni generator (vjetroelektrane) i
- izmjenjivač – samovođeni / mrežom vođeni (sunčane elektrane).

2. TVORCI Q-KARAKTERISTIKE BUDUĆEG DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

Q-karakteristiku distribucijskog sustava u najvećoj mjeri oblikuju, tvore, vrijednosno određuju značajke: proizvodnih postrojenja, kompenzacijskih postrojenja ODS-a i kupaca, R – X vrijednosti mreže, opterećenosti sastavnica mreže, naponske razine mreže i postrojenja za pohranu energije. Istodobno, navedene jedinice ili upravljanje njima, su regulacijske promjenjive veličina za promjenu Q-karakteristike sustava (postavne veličine za željenu karakteristiku).

Snažno povećanje udjela OIE u podmiranju bruto potrošnje znači izgradnju i pogon velikog broja elektrana na svim naponskim razinama distribucijske mreže, a rješavanju problema njihovog tehničkog i energetskog objedinjavanja značajno se doprinosi Q-sposobnošću. Kako je narečena značajka elektrane obvezujuća odrednicama novih Mrežnih pravila (donosi ih ODS), a u većini država EU taj postupak završio je 2012. godine, u RH će njihovim usvajanjem (predvidivo kraj 2016. godine) u mreži biti zatečeni neiskoristivi potencijali podupiratelja Q-sposobnosti. Ovisno o tehnologiji generatora i načinu pripajanja mreži, ovisiti će tehničke mogućnosti obvezne naknadne dogradnje u propisanom roku.

Nove sastavnice mreže pak uvijek štošta mijenjaju, nešto manje, a nešto više. Prva od njih je *spremnik za pohranu obnovljive energije utemeljen na izmjenjivaču* koji će raspolagati potencijalom za povećanje Q-sposobnosti sustava, a time i Q-karakteristike sustava.

Slika 12. nastoji sveobuhvatno prikazati sastavnice čije zajedničko djelovanje po vrijednosti i vremenu određuje Q-karakteristiku sustava [2].



Slika 12. Pregled raspoloživih utjecajnih mogućnosti za upravljanje Q-karakteristikom DEES-a

2.1. Q-sposobnost i Q-prilagodljivost proizvodnih postrojenja

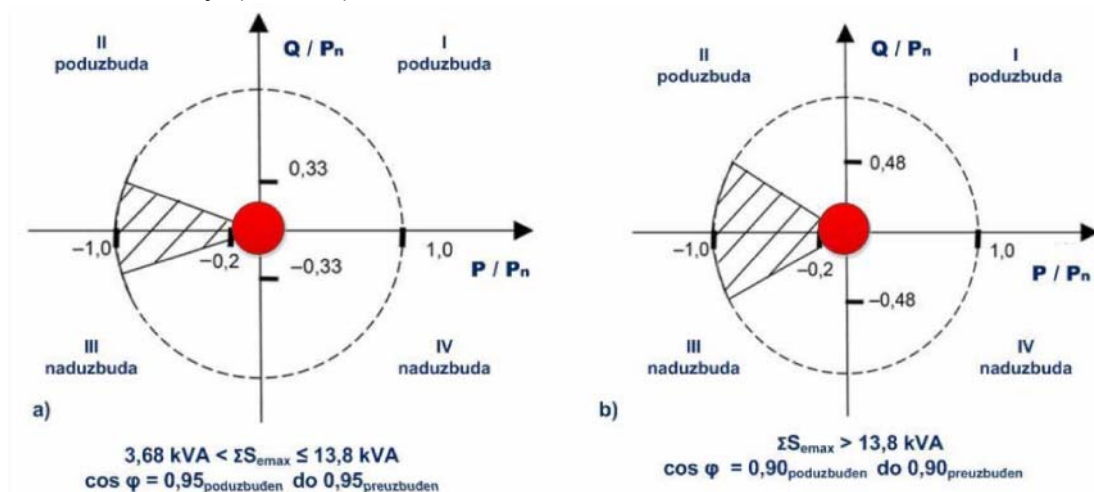
2.1.1. Q-sposobnost proizvodnih postrojenja

Operator distribucijskog i operator prijenosnog sustava svojim Mrežnim pravilima moraju propisati Q-karakteristiku elektrane vezanu za istodobnu predaju djelatne snage i predaju/prijam jalove snage u svakoj radnoj točki, a kao mjerilo koristiti faktor pomaka ili neku drugu funkciju vezanu za jalovu snagu. Mnogi se operatori opredjeljuju definirati najmanju jalovu snagu induktivne i kapacitivne prirode, koja pak odgovara vrijednosti faktora snage ($\cos \varphi$) na mjestu priključenja na mrežu ovisno od naponske razine, a na niskonaponskoj razini još se uvodi i mjerilo vrijednosti prividne snage. U tabeli I. navodimo primjer njemačkih propisa [7] i [8].

Tabela I. Primjer propisanih najmanjih vrijednosti faktora pomaka kod elektrana u DEES-u (Njemačka)

Naponska razina DEES-a	Propisane vrijednosti	Oznaka propisa
Visoki napon (110 kV)	Operator mreže utvrđuje karakteristiku i područje vrijednosti $\cos \varphi$, te ugovara s operatorom proizvodnog postrojenja	VDE-AR-N 4120
Srednji napona (35, 20 i 10 kV)	$\cos \varphi = 0,95_{\text{poduzbuđen}} \text{ do } 0,95_{\text{preuzbuđen}}$	VDE-AR-N 4110
Niski napon (0,4 kV)	$\Sigma S_{\text{emax}} \leq 3,68 \text{ kVA}$; ODS ne zadaje se karakteristiku. $\cos \varphi = 0,95_{\text{poduzbuđen}} \text{ do } 0,95_{\text{preuzbuđen}}$	VDE-AR-N 4105
	$3,68 \text{ kVA} < \Sigma S_{\text{emax}} \leq 13,8 \text{ kVA}$; ODS zadaje karakteristiku unutar granica: <ul style="list-style-type: none"> $\cos \varphi = 0,95_{\text{poduzbuđen}} \text{ do } 0,95_{\text{preuzbuđen}}$ $\cos \varphi$ (P) ili čvrsta vrijednost $\cos \varphi$ 	
	$\Sigma S_{\text{emax}} > 13,8 \text{ kVA}$; ODS zadaje karakteristiku unutar granica: $\cos \varphi = 0,90_{\text{poduzbuđen}} \text{ do } 0,90_{\text{preuzbuđen}}$	

To prema usvojenom označavanju proizvodnje vektorima (vidi sliku 9.), podrazumijeva pogon elektrane u drugom (II) kvadrantu, generator u poduzbuđenom stanju ili u trećem (III) kvadrantu, generator u naduzbuđenom stanju (slika 13.).

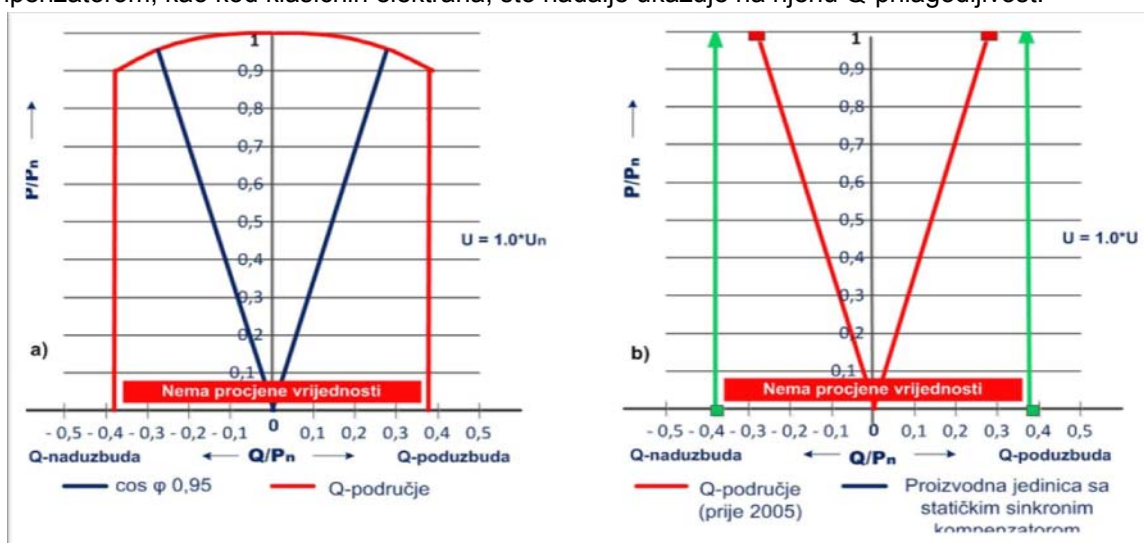


Slika 13. Područja proizvodnje Q elektrane priključene na NN mrežu ovisno od nazivne prividne snage

Raznolikost značajki distribucijske mreže po područjima, njenog opterećenja i sposobnosti elektrana u njoj, zahtijevaju određenu prilagodljivost uvjeta iz Mrežnih pravila posebnim uvjetima u točkama mreže. Pokazuje se opravdanim ODS-u, dati pravo na određivanje dopuštenog odstupanja od Mrežnim pravilima propisane P-Q-karakteristike ili zadavanja vremenskog plana proizvodnje, potonje prije svega u SN mreži.

Odstupanje od obvezne vrijednosti predaje ili primanja jalove snage u točki priključenja, pojam Q-obvezna vrijednost, utanačuju se ugovorom. To je posebno razumljivo kad elektranu u jednoj priključnoj točki predstavlja više proizvodnih jedinica različitih Q-sposobnosti, pri čemu više njih nadilazi mogućnosti Q-priprave jedne od njih.

Najveća moguća Q-priprava jalove snage ovisna je od napona mreže i tijeka napajanja djelatnom snagom. Na slici 14. prikazujemo primjere Q-sposobnosti pojedinačnih proizvodnih jedinica, sunčane elektrane (14.a) i vjetroelektrane (14.b) kod nazivnog napona mreže ($1,0 \cdot U_n$). Kod viših ili nižih vrijednosti napona mreže može doći do ograničenja Q-priprave u području snage za koju je jedinica dimenzionirana. Elektrane koje imaju više proizvodnih jedinica (VE i SE) do ograničenja Q-područja elektrane dolazi primjerice tijekom razdoblja održavanja jedinice pa možemo ustvrditi kako raspoloživost Q-sposobnosti elektrane u točki priključenja na mrežu ovisi od stanja proizvodnih jedinica [2]. Valja primijetiti kako kod vjetroelektrane graničnu Q-sposobnost određuje opremljenost elektrane statičkim sinkronim kompenzatorom, kao kod klasičnih elektrana, što nadalje ukazuje na njenu Q-prilagodljivost.



Slika 14. Primjeri Q-sposobnosti proizvodnih jedinica sunčane i vjetroelektrane

2.1.2. Q-prilagodljivost proizvodnih postrojenja

Regulacijska točka PP

PP

Stvarna vrijednost jalove snage

Regulator proizvodne jedinice

Obvezna vrijednost izvršne veličine

t_s

Jalova snaga - izvršna veličina

Proizvodne jedinice

Dodatne sastavnice

STATCOM

$t_1 (\geq 1s)$

$t_2 (> 1s)$

$t_3 (\leq 1s)$

$t_4 (\geq 1s)$

t

U našem primjeru glavni oslonac za prilagodljivost su značajke proizvodnih jedinica i njihove regulacije, koju dopunjavaju mjerna osjetila, informatička i komunikacijska tehnika te dodatne sastavnice proizvodnog postrojenja. Prikazana regulacija jalove snage u funkciji Q-prilagodljivosti proizvodnog postrojenja počiva na:

- Pri predaji djelatne snage elektrane na SN mrežu, ODS može za podešavanje odziva elektrane glede jalove snage odrediti nepromjenjivu obveznu vrijednost ($\cos \varphi$ ili Q) ili putem daljinskog upravljanja zadati funkciju i podesivu obveznu vrijednost ($\cos c = f(P)$ ili $Q=f(U)$). Dakle, podesivost odziva u stvarnom vremenu ostvaruje se funkcijom

- 16

Uspostava ovog korisnog sustava nije ostvariva bez uporabe informatičko-komunikacijske tehnike između centra za vođenje ODS-a i proizvodnog postrojenja što također mora biti predmet tehničkih uvjeta za priključenje iz mjerodavnosti ODS-a.

U proizvodnim postrojenjima kod kojih se u funkciji ostvarenja Q-prilagodljivosti koriste sastavnice statičke i dinamičke kompenzacije jalove snage, mora se uzeti u obzir njihove značajke utjecajne na značajke proizvodnog postrojenja (primjerice vrijeme punjenja i pražnjenja kondenzatora).

2.2. Uređaji i postrojenja za kompenzaciju jalove snage

2.2.1. Opće značajke kompenzacije u distribucijskim mrežama

Kompenzacija jalove snage spada u povijesne, vrlo djelotvorne postupke upravljanja tokovima jalove snage, a u smislu ovog referata, rekli bismo, utjecajna je sastavnica rezultirajuće Q-karakteristike promatrane mreže, napose DEES-a (slika 12.). S gledišta mjerodavnosti subjekta za pogon kompenzacijske jedinice ili postrojenja, prepoznamo ODS i korisnika mreže, a djelovanje obojice mora biti odraz strategije Q-upravljanja.

Provedba sustavne, osmišljene kompenzacije postupak je kojeg ODS ne smije zanemariti, već kroz propise iz njegove mjerodavnosti utjecati na Q-karakteristiku sustava. Fizikalno odavno razumljiv, danas se kompenzacijski postupak može ostvariti u više tehničko-tehnoloških inačica kao što su:

- **statički kapacitivni postupak** – skup kondenzatora za kompenzaciju induktivne jalove snage bez mogućnosti prilagodbe trenutnoj potrebi kapacitivne snage,
- **statički induktivni postupak** – skup prigušnica za kompenzaciju kapacitivne jalove snage (primjerice iz velike kabela mreže),
- **dinamički kapacitivni postupak** – kondenzatorska postrojenja s filterima za kompenzaciju induktivne jalove snage u stupnjevima (upravljanje sklopnicima, prekidačima, tiristorskim prekidačima, ...),
- **dinamički kompenzacijski postupak** – kompenzacijska postrojenja s energetsom elektronikom (kao SVC, STATCOM, ...) za brzu stupnjevano reguliranu kompenzaciju kapacitivne i induktivne snage.

Uporaba pojedinih postupaka kompenzacije ima svoje značajke koje valja prepoznati jer najbolje odgovaraju određenoj Q-karakteristici mreže. Među temeljna mjerila uporabe smatramo: naponska razina mreže, uporabne prednosti obzirom na stanje tokova i prevladavajuću prirodu jalove snage, opredjeljenja strategije Q-upravljanja i komercijalna opravdanost nekog rješenja.

Tako se u NN mrežama kompenzira induktivna jalova snaga s uređajima ili postrojenjima kapacitivne jalove snage. Vrijeme njihovog odziva na Q-promjene je reda 30 sekundi ili više. Ako su potrebna kraća vremena odziva između kompenzacijskih stupnjeva, primjerice unutar sekunde, mora se koristiti tiristorski prekidač. Q-regulacija kompenzacijske skupine kondenzatora ugrađena na sabirnice TS SN/NN ima zadaće vezane prije svega na rasterećenje dotičnog transformatora od jalove snage, a najčešće nije povezana s Q-upravljanjem u nadređenoj mreži. Veliki broj raspršenih elektrana u mreži ove naponske razine jest utjecajna činjenica i na strategiju izgradnje kompenzacijskih jedinica.

U SN mreži prisutna su postrojenja ODS-a sa značajnom kapacitivnom jalovom snagom i filtarskim prigušnicama, a prepoznaju se i industrijska kompenzacijska postrojenja. Vremena pražnjenja kondenzatora prije ponovno potrebnog uključanja (kolebanje jalove snage) određena su propisima (IEC 60871) na red vrijednost do 10 minuta.

Dinamičku kompenzaciju treba koristiti kod industrijskih korisnika na mjestima s brzim Q-promjenama (ljevaonice, elektrolučne peći, ...) uz obvezno snižavanje razine viših harmonijskih sastavnica napona kao i naponskih flikera. Industrijska postrojenja s jakim Q-promjenama imaju utjecaj i na kakvoću napona u cijeloj mreži pa je to prije potrebno polazište u promišljanju o rješenjima.

2.2.2. Kompenzacija u postrojenjima korisnika mreže kao sastavnica Q-karakteristike mreže

Temelj pristupa kompenzaciji jalove snage korisnika mreže leži na ideji da se kompenzacija jalove snage trošila korisnika mreže provede pored mjesta nastanka potrebe za njom jer se time postiže:

- rasterećenje kapaciteta sastavnica mreže jalovom u korist djelatne snage, a time se odgađa ili postaje potpuno nepotrebna izgradnja mreže zbog nedostatnog kapaciteta,

- gubici u prijenosnoj i distribucijskoj mreži se smanjuju zbog manje prividne snage,
- karakteristika starenja sastavnica mreže se poboljšava zbog smanjenja prividne struje,
- kompenzacijom jalove snage podržava se održivost kakvoće napona,
- opterećenje mreže višim harmonijskim titrajima struje se smanjuje kod osmišljenog sadržaja prigušnica u kondenzatorskom postrojenju.

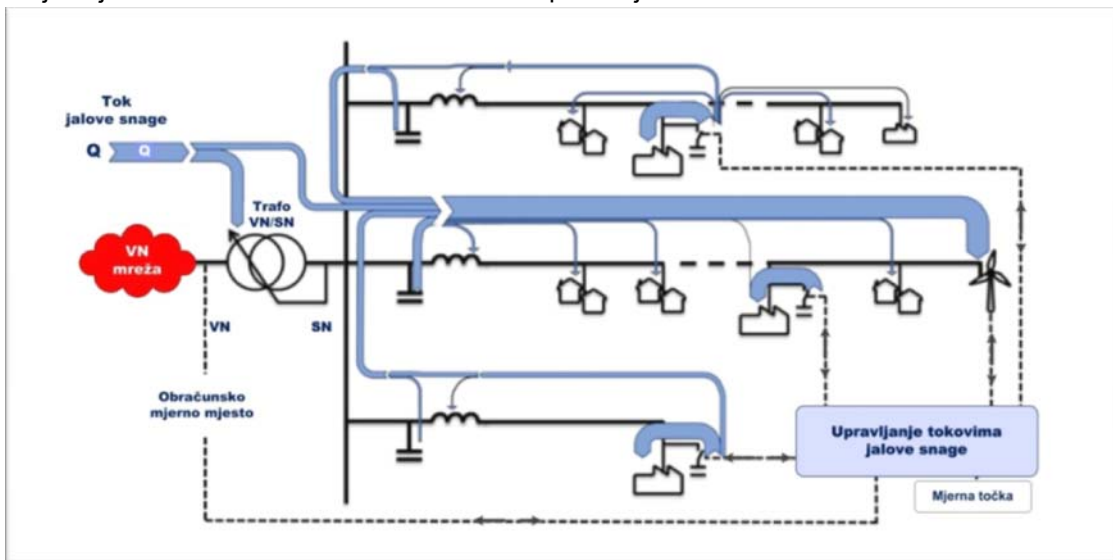
Korisnici mreže moraju unaprijed prepoznati svoje obveze glede preuzimanja i predaje te kompenzacije jalove snage u svojim postrojenjima i instalacijama. Za iskaz jasnih vlastitih opredjeljenja ODS treba koristiti odredbe Mrežnih pravila i Pravila za priključenje i povećanje priključne snage, a za obvezujuće postupanje korisnika mreže ugovor o korištenju mreže. ODS treba imati i pravo sklapanja posebnih ugovora kod kojih se iz tehnički i ekonomski opravdanih razloga dopušta odstupanje od propisanih graničnih vrijednosti faktora snage $\cos \varphi_{\text{ind} - \text{kap}}$.

Posebno složeno uređenje Q-upravljanja jalovom snagom u točki mreže nastupa kod slijedećih značajki korisnika mreže:

- kupac s industrijskom potrošnjom električne energije u kojoj je velik udjel induktivne jalove snage što zahtjeva kompenzacijsko postrojenje i
- proizvođač električne energije sa sinkronim ili asinkronim generatorom kao proizvodnom jedinicom,

Za ovako složene okolnosti mora se ustrojiti napredno tehničko rješenje upravljanja tokovima jalove snage, kako u postrojenjima korisnika mreže tako i na sučelju s mrežom, a što podrazumijeva objedinjavanje Q-sposobnosti kompenzacijskog i proizvodnog postrojenja u jedan zajednički regulacijski koncept kojim se podržava strategija Q-upravljanja i podržava željena Q-karakteristika mreže. Dakako, tehničko rješenje mora biti potvrđeno i osnaženo odredbama ugovora o korištenju mreže što ga ODS utanačuje s korisnikom mreže. Osim toga valja uvažiti i činjenicu kako je dobro gospodarenje jalovom snagom u distribucijskom sustavu korisno i za cijeli sustav pa određeni, prepoznatljiv i mjerljiv doprinos sustavu čini sistemsku uslugu iz distribucijskog sustava.

ODS-u mora biti važno ostvariti zadaću upravljanja tokovima jalove snage u SN mreži na bazi Q-prilagodbe vlastitih i industrijskih kompenzacijskih postrojenja te elektrana s Q-sposobnostima. Takvu jednu objedinjenost tvoraca Q-karakteristike mreže prikazuje slika 16.



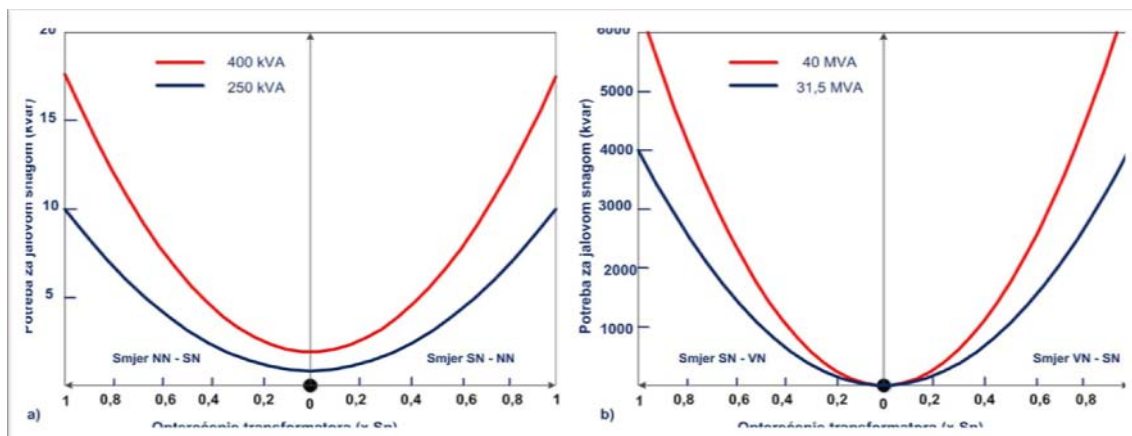
Slika 16. Upravljanje dvosmjernim tokovima jalove snage u SN mreži objedinjavanjem aktivnih tvoraca

Stanje tokova jalove snage u distribucijskom sustavu nije s nepromjenjivim značajkama, već je u svakom trenutku određeno trenutnom potražnjom kupaca, proizvodnjom proizvodnih postrojenja i stanjem temeljnih električnih parametara mreže (napon, opterećenje).

2.3. Utjecajne značajke mreže i pogona mreže

Pored navedenih aktivnih mjera utjecanja na tokove jalove snage u mreži i na Q-karakteristiku mreže, ODS-u su na raspolaganju pasivne i neizravne mjere utjecanja ili korištenje proširenja Q-sposobnosti. Tu mislimo na prilagodbu topologije mreže, izbor naponskih razina mreže i povećanje Q-sposobnosti kroz izravnu regulaciju napona.

Promjena topologije ima utjecaj na impendantnu karakteristiku i opterećenje pojedinih sastavnica mreže, a oboje pak na Q-karakteristiku mreže. U promatranju utjecaja dominiraju osobine transformatora i vodova, napose njihove Q-potrebe (slike 17. i 18.).

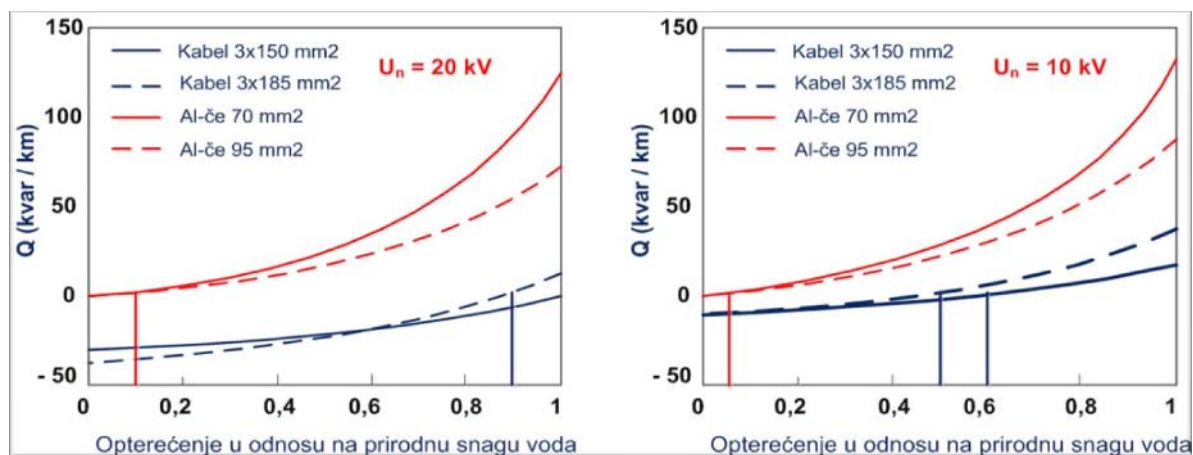


Slika 17. Primjer Q-potrebe energetskog transformatora SN/NN (a) i VN/SN (b)

Jalova snaga potrebna transformatoru uvijek je induktivna, a sastoji se od približno nepromjenjive sastavnice Q-potreba za izgradnju glavnog polja i sastavnice ovisne od opterećenja, a za pokrivanje rasipnog polja. Potonja uvjetuje kvadratnu ovisnost između jalove snage i struje opterećenja. Slika 17. prikazuje funkciju Q-potrebe tipičnog distribucijskog transformatora SN/NN (17.a) i VN/SN (17.b) u ovisnosti od opterećenja i smjera struje kroz transformator. Valja uočiti kako smjer struje opterećenja nema utjecaja na potrebnu jalovu snagu, kako je krivulja $Q=f(I_{\text{opt}})$ simetrična s vrijednostima za oba smjera opterećenja.

Na slici 18. izabran je primjer prikaza Q-potrebe kabelskog i nadzemnog voda, različitog presjeka, u SN mreži napona $U_n = 10$ kV i $U_n = 20$ kV, a ovisno od opterećenja iskazanog u relativnom odnosu na prirodnu snagu voda. Osim razvidnosti u različitosti vrijednosti Q-potrebe u ovisnosti od opterećenja, s našeg motrišta je značajno utvrditi za SN mrežu činjenicu o prirodi Q-potrebe ovih vodova, mislimo na sljedeće:

- nadzemni vodovi se ponašaju kao induktiviteti, posebno kada su nazivno opterećeni (+ Q),
- kabelski vodovi se praktično u cijelom području opterećenja ponašaju izrazito kapacitivno (- Q),
- kabelski vodovi napona 10 kV imaju razvidno nižu Q-potrebnu od kabela napona 20 kV što u ovoj mreži umanjuje mogućnost utjecaja na Q-potrebe kroz promjenu napona mreže.



Slika 18. Q-potreba SN distribucijskih vodova 10 i 20 kV i njena ovisnost.

Na rezultirajuću Q-karakteristiku mreže može se utjecati kroz funkcije vođenja pogona, djelovanjem na razinu napona sabirnica napojnog postrojenja VN/SN dotične mreže, dakako ne prelazeći dopuštene granične vrijednosti napona. Primjerice, postigavši napon gornje granične vrijednosti postići će se visoka snaga punjenja kapaciteta vodova, a time i izražena kapacitivna Q-karakteristika vodova. Na temelju naponski ovisnog opterećenja mijenja se i struja vodova pa time i induktivna Q-potreba vodova. Ovi se utjecaji ne mogu naprijed paušalno procijeniti ali se na njih svakako može računati s poznatim

smislom. S visokom razinom pogonskog napona dobije se jače izražena kapacitivna, odnosno manje izražena induktivna Q-karakteristika mreže i obrnuto.

Kada se radi o jako razgranatoj kabelskoj SN mreži, u razdobljima slabog opterećenja mreže, moguće je kroz regulaciju napona na transformatorima VN/SN, utemeljenoj na zadanoj obveznoj vrijednost i strujnoj kompaundaciji uz nadzor smjera toka snage, preko naponski ovisne snage punjenja kapaciteta mreže utjecati na Q-razmjenu.

Preporuka je, prije korištenja različitih utjecajnih postupaka provesti računalne analize kako bi se dobila razvidnija slika očekivanja kako s gledišta tehničkog rješenja tako i s troškovnog gledišta.

Možemo zaključiti, kako se izborom utjecajnih značajki sastavnica mreže, njihovim opterećenjem i izabranom vrijednošću pogonskog napona unutar dopuštenih granica, može utjecati na Q-karakteristiku mreže do njenih poželjnih graničnih vrijednosti određenih ovojnicom.

2.4. Povećanje Q-sposobnosti izravnom regulacijom napona

Pored primjene izravnih mjera za utjecaj na napon, kao što je primjerice regulacija u funkciji obvezne vrijednosti napona na transformatoru VN/SN ili SN/NN, te primjena uzdužne regulacije napona, moguće je dodatno doprinijeti prilagodljivosti napona vrijednostima u naponskom pojasu koji je određen normom EN 50160. Potonje onda rezultira pored povećanja kapaciteta za priključenje proizvodnih postrojenja ili postrojenja kupaca, ovisno od konkretnog stanja mreže i stanja mogućnosti priključenja, također i utjecajem na Q-bilancu distribucijske mreže. Pri tome su odlučujuća dva utjecaja:

– **Promjena Q-karakteristike vodova kroz visoko opterećenje.**

Kad su izvodi jako opterećeni, u središtu očekivanja je smanjenje kapacitivnih i pomak prema induktivnim obilježjima Q-karakteristike. Osim toga, najveća kapacitivna Q-potreba (pri praznom hodu) biti će ograničena zbog smanjene izgradnje nove mreže. Pri tome su uzeti u obzir napon u mreži, gubitci u mreži i starenje sastavnica mreže.

– **Promjena Q-potrebe rasterećenjem Q-karakteristike proizvodnih postrojenja**

Dobivanjem slobodnog prostora unutar propisanog područja vrijednosti napona, proizvodna postrojenja mogu se osloboditi zadaće podrške naponu i iskoristiti svoje Q-sposobnosti za potrebe pri optimiranju pogona mreže.

Promjena Q-karakteristike regulacijskog transformatora, kao i transformatora za uzdužnu regulaciju napona kroz promjenu impedancije transformatora promjenom broja zavoja, može se zanemariti s gledišta veličine utjecaja na Q-potrebe vodova u mreži, proizvođača i kupaca.

Danas se kao uobičajeno rješenje izravne regulacije napona koristi regulacija u funkciji obvezne vrijednosti napona na transformatoru VN/SN koja kao napredno rješenje koristi informacije o naponskim okolnostima u dubini mreže i kroz dinamičku regulaciju učinkovito održavaju napon na obveznoj vrijednosti.

Korak naprijed u podršci naponu u NN mreži je uporaba uskopojasne regulacije napona u pogonu na transformatorima SN/NN (kratica: rMT - regulacijski mrežni transformator). Osim koristi od rMT-a glede izravne regulacije napona u točki NN mreže, korist njihove uporabe se ogleda i u rasterećenju proizvodnih postrojenja u NN mreži od dijela zadaća u podršci naponu, a čime se dobiva njihova raspoloživost za povećanje Q-sposobnosti mreže.

Potencijal učinka ovisi od gustoće ugradnje rMT-a u NN mrežu. Kod visoke gustoće do izražaja dolaze i pozitivni učinci na naponske okolnosti SN mreže, odnosno rasterećenja ovih okolnosti od krute međuzavisnosti napona dvije mreže, a što se pak očituje kroz veći slobodni prostor za promjene unutar graničnih vrijednosti naponskog pojasa i u SN mreži. Tada se pozitivni učinci mogu prepoznati u optimiranju pogonskih značajki cijele mreže vezanu za TS VN/SN.

Kod krajnje loših naponskih okolnosti u jednom SN ili NN izvodu, može se pribjeći primjeni rješenja s uzdužnom regulacijom napona (npr. SN/SN transformator), dakako, samo za taj vod.

3. PRISTUP SUSTAVNOM UPRAVLJANJU JALOVOM SNAGOM U DEES-U

Nulti korak u organizaciji sustavnog upravljanja jalovom snagom jest provedba dubinske analize sadašnjeg stanja i utvrđivanje Q-karakteristike distribucijske mreže, odnosno njenih funkcionalnih cjelina, mreža priključenih na TS VN/SN kao mrežni izvor. Dubinska analiza podrazumijeva:

– utvrđivanje i analizu P-Q-karakteristike i

- utvrđivanje i analizu scenarija s jakim i slabim opterećenjem uvijek u kombinaciji s niskom i visokom razinom napajanja iz proizvodnih postrojenja.

Sistemske analize treba provesti za sve vrste pogona koje su utvrđene Mrežnim pravilima kao što su normalni pogon, poremećeni pogon i pogon u postupku ponovne uspostave mreže, ali se ipak moramo ponajviše usredotočiti na normalni pogon. Ako pak kroz ugovorne odnose s korisnicima mreže ODS preuzima obveze i za poremećeno, ili čak kvarno stanje pogona, tada se analize provode i za takva stanja.

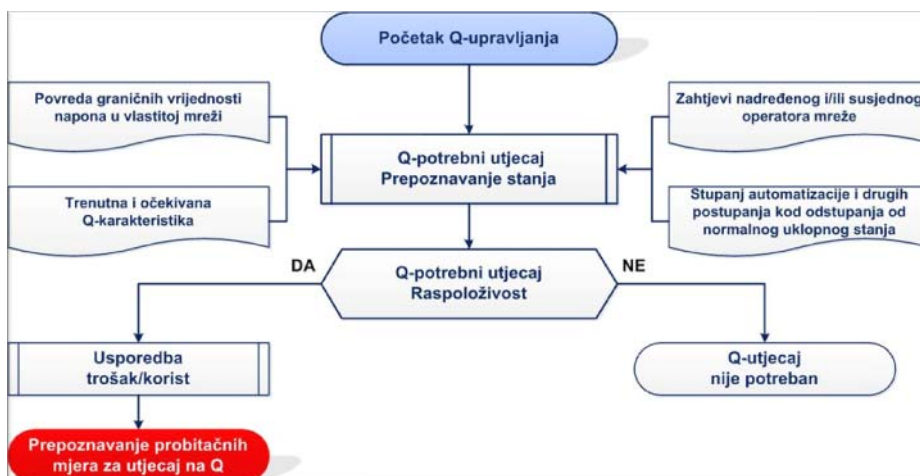
Za provedbu analiza i procjenu stanja sustava potrebni su odgovarajući podatci o mreži, proizvodnim postrojenjima i opterećenju. Kako je mreža „živa tvorevina“ narečeni podatci se moraju vazda obnavljati i čuvati, a radi vjerodostojnosti nekih slijedećih analiza i usporedbe rezultata. Dijagram tijeka postupka analize Q-karakteristike mreže prikazuje slika 19.



Slika 19. Tok postupka za analizu Q-karakteristike mreže

Nakon što ODS pomoću prikazanog postupka provede sustavnu analizu trenutne Q-karakteristike svoje mreže, koja će rezultirati P-Q-dijagramom u četiri kvadranta, te spozna mogućnosti utjecanja na Q-karakteristiku kroz utjecajne sastavnice sustava (mreža, potrošnja, proizvodnja), on dolazi u priliku postaviti sustav za upravljanje jalovom snagom u svojoj mreži, prema sučeljima susjednih mreža i napose prema nadređenoj prijenosnoj mreži. Za pristup Q-upravljanju u vlastitoj mreži važno je sagledati propise glede graničnih vrijednosti dopuštenih naponskih odstupanja i raspodjelu pada napona do krajnjih korisnika, značajke sastavnica mreže, lokalnu regulacijsku automatizaciju, sustav vođenja i daljinskog nadzora, značajke promjena uklopnog stanja, ...

Preoblikovanje upravljanja tokovima jalove snage u distribucijskoj mreži sa sadašnjeg u napredno (slika 20.), svakako počiva i na koordinaciji dijela zajedničkih postupaka s operatorom prijenosnog sustava.



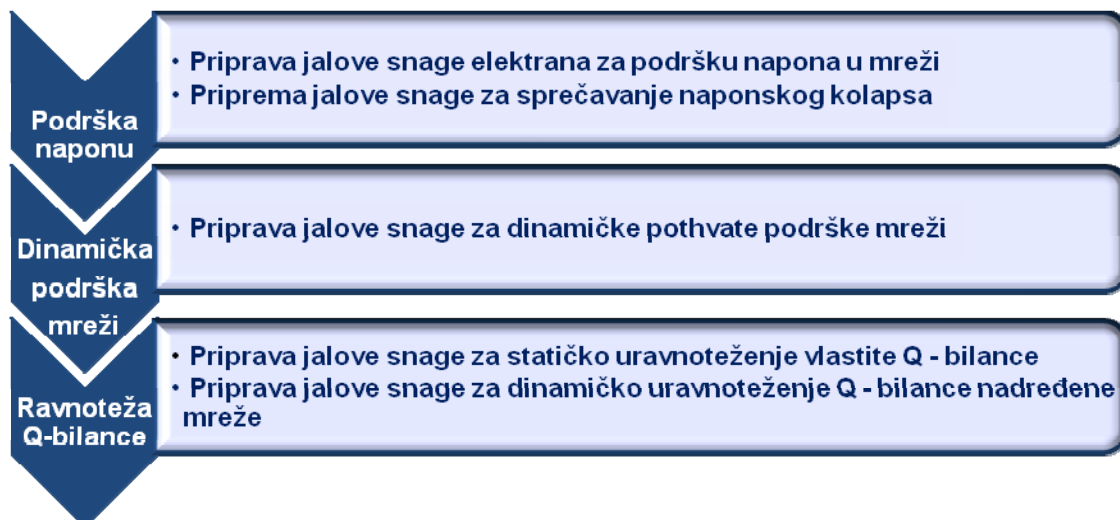
Slika 19. Primjer osnovnih koraka u preoblikovanju postupka Q-upravljanja

S primjenom raspoloživih probitačnih utjecajnih mjera u distribucijskoj mreži moguće je primjenom postupka Q-upravljanja postići u mreži Q-bilancu koja će biti optimalna s gledišta podrške naponu, ali je potrebno uvijek ocjenjivati i druge, suprotne utjecaje neke mjere. Tako u okviru usporedbe troškova i koristi, potrebno je odvagati različite utjecajne veličine s njihovog učinka na gubitke snage te raspoloživu Q-sposobnost. Q-upravljanje s više utjecajnih veličina, koje potječu od različitih tvoraca, a kroz kombinaciju djelovanja, mora funkcionirati s potpunim usklađenjem učinaka (primjerice: regulacija i upravljanje Q, regulacija kod proizvodnih postrojenja različitih mogućnosti, ...).

Kod oblikovanja Q-upravljanja posebno se mora procijeniti hoće li i koliko, sve prethodno navedene utjecajne mjere pa i one uređene bilateralnim ugovorima s proizvođačima, djelovati na Q-sposobnost vlastite, ali povratno i na Q-sposobnost nadređene mreže. Cilj koordiniranog rada podrazumijeva postizanje korisnih učinaka u obje mreže.

4. UPORABA UTJECAJA JALOVE SNAGE U BUDUĆEM DISTRIBUCIJSKOM SUSTAVU

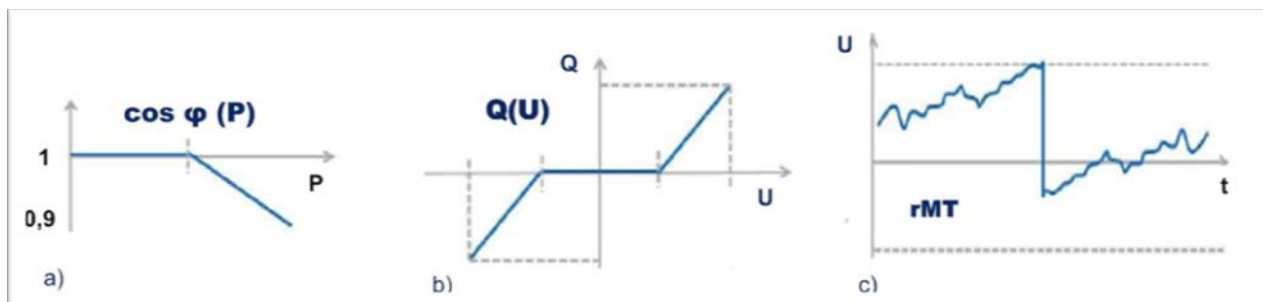
Uporaba utjecaja jalove snage nadilazi okvire distribucijskog sustava, ona je bitan čimbenik funkcioniranja EES-a (primjeri na slici 20.), a ta činjenica onda podržava i tezu kako za održivost pogona distribucijskog sustava u budućnosti jalova snaga ima posebno značenje. Zato je, kako za operatora prijenosnog tako i operatora distribucijskog sustava, neizbježno uspostaviti koordinirani sustav upravljanja jalovom snagom.



Slika 20. Neki važni pothvati priprave i uporabe jalove snage u okviru upravljanja njome

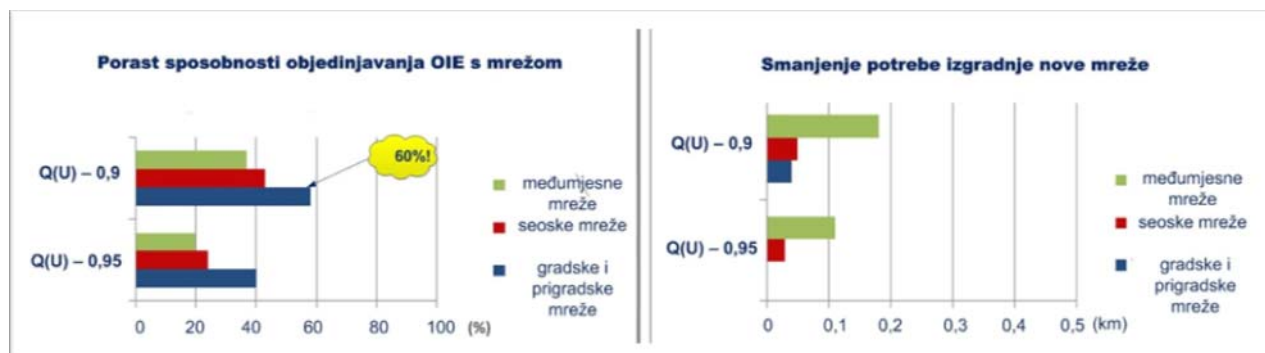
O svakom od navedenih pothvata mogao bi se pisati poseban referat pa se u ovom osvrćemo samo na pothvat statičke podrške elektrane napona distribucijske mreže kao i na podršku u kvazistacionarnom stanju sustava.

Danas se glede statičke podrške naponu za budućnost pogona mreže istražuju i međusobno uspoređuju postupci s naglašenom uporabom sposobnosti elektrana glede jalove snage, regulacija napona na transformatorima SN/NN (rMT) i klasični pristup izgradnjom nove mreže (slika 21.).



Slika 21. Podrška naponu utemeljena na upravljanju s Q elektrana i pomoću regulacije napona SN/NN (c)

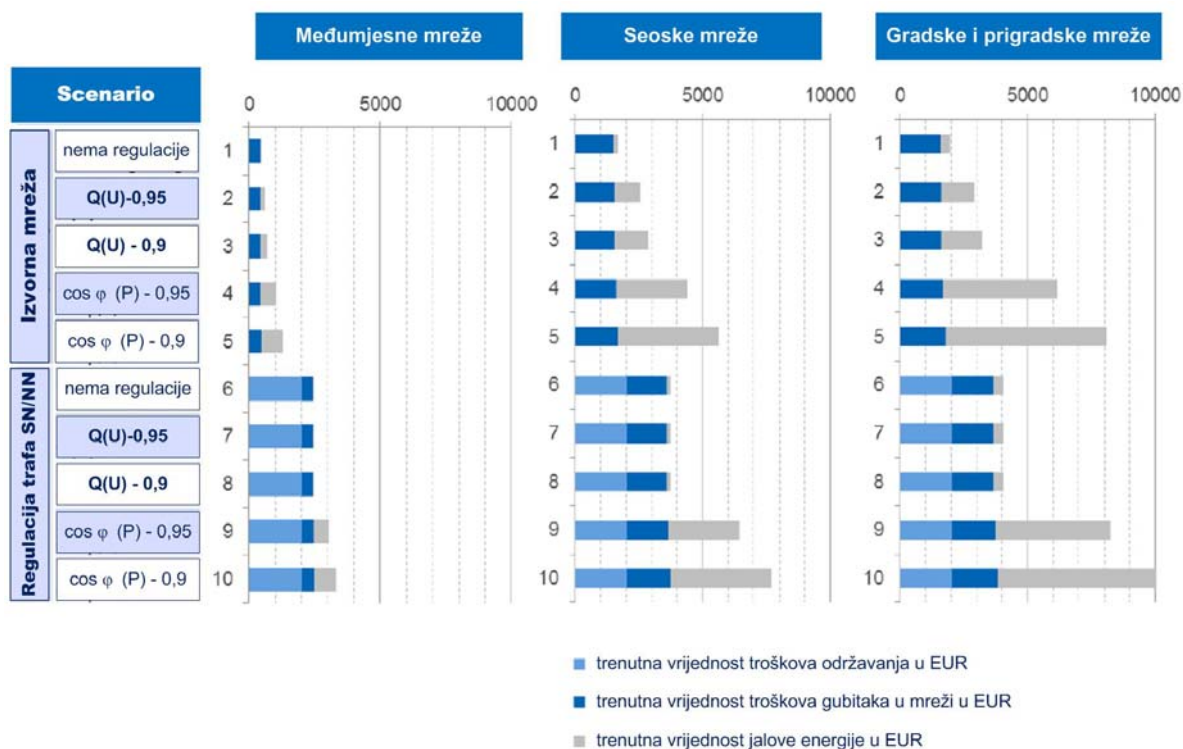
Upravljanje preuzimanjem ili predajom jalove snage elektrana ima koristan utjecaj na podršku napona u bližem okruženju mjesta priključenja ili i u mreži dalje od njega pa je to pothvat od izrazite važnosti za distribucijske mreže kojim se ostvaruje ne samo kakvoća opskrbe. Naime, istraživanja su pokazala [9] kako se primjenom postupaka podrške naponu uporabom jalove snage, postupak upravljanja $\cos \varphi$ (P) i regulacije Q(U), uz manje troškove, povećava sposobnost distribucijske mreže za tehničko i energetsko objedinjavanja OIE, nego li kod primjene rješenja s regulacijom napona na transformatoru SN/NN (rMT) i klasičnog postupka izgradnje nove mreže (za tipične mreže - slika 22.).



Slika 22. Pozitivni učinci Q podrške naponu mreže u odnosu na primjenu rMT i izgradnju nove mreže

Valja primijetiti kako rješenje s upravljanjem jalovom snagom gradskim i prigradskim mrežama dominira u povećanju sposobnosti objedinjavanja OIE u gradskim i prigradskim mrežama (gotovo 60%), a potrebu izgradnje nove mreže pobjeđuje u međumjesnim i seoskim mrežama. Značajna međusobna razlika između „jalovih koncepcija“ je u potrebi količine jalove energije za ostvarenje iste podrške naponu. Tako je primjenom regulacije Q(U) potrebno oko 80 % manje jalove energije nego li uz primjenu upravljanja $\cos \varphi$ (P).

Usporedbu primjene svih scenarija upravljanja i regulacije jalovom snagom iz prethodnog opisa u početnom (izvornom) stanju mreže i u mreži gdje postoji regulacija napona na mrežnom transformatoru (rMT), s troškovnog gledišta prikazuje slika 23.

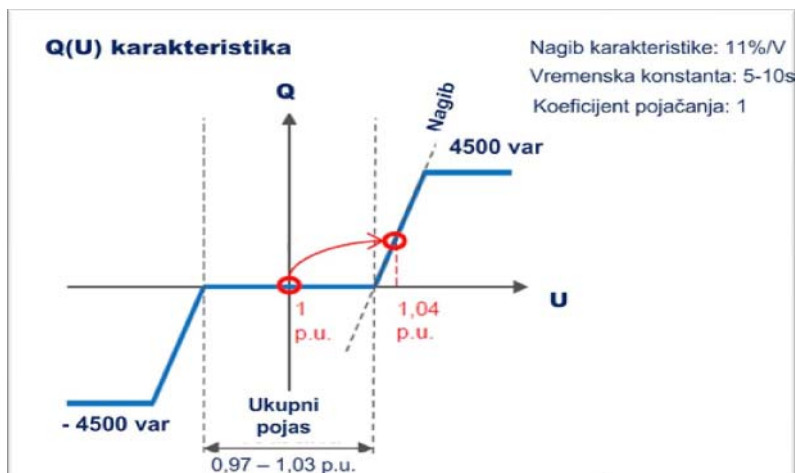


Slika 23. Usporedba podrške naponu različitih postupaka s troškovnog motrišta

Kako je uvođenje transformatora s mogućnošću regulacije napona u pogonu, bez ikakve dvojbe s tehničkog gledišta rješenje koje pruža mogućnost statičkog održavanja napona, ono tu slavu gubi pred

značajkama upravljanja i regulacije jalove snage elektrane prema načelu $Q(U)$ i to kako s tehničkog tako i s troškovnog motrišta.

Kod primjene upravljanja i regulacije jalove snage elektrane prema načelu $Q(U)$ postavlja se zahtjev za takvim parametriranjem zadane funkcije kod kojeg će se izbjeći titranje napona i/ili snage te spriječiti njihovo međudjelovanje. Primjer parametriranja u primjeru s poznatom Q -karakteristikom mreže u okruženju elektrane daje slika 24.



Slika 24. $Q(U)$ karakteristika za statičku podršku elektrane napona mreže

Ispravnim izborom značajki u smislu prilagodbe $Q(U)$ karakteristike regulacije elektrane bitnim značajkama pogona mreže od utjecaja na napon, Q -karakteristike mreže i napose regulatora $Q(U)$ kod distribuiranih izvora u mreži, održat će se stabilan napon i tok snage bez kolebanja i neželjenog međudjelovanja prema regulaciji na transformatorima VN/SN.

U pothvatu sprečavanja naponskog kolapsa u EES-u uloga priprave i upravljanja tokovima jalove snage je presudna i to poduzimanjem koordiniranih mjera oba operatora sustava utvrđenih Planom obrane sustava [10]. Podrška ovom pothvatu iz distribucijskog sustava u budućnosti neće biti svedena samo na današnje podfrekvencijsko rasterećenje, već i na naponski ovisno rasterećenje, upravljanje preuzimanjem ili predajom jalove snage od strane elektrana, uključenje ili isključenje postrojenja za kompenzaciju jalove snage, blokiranje automatske regulacije napona na transformatorima VN/SN, ...

5. ZAKLJUČAK

Kroz danas provedena istraživanja, sa studijskim i praktičnim obilježjima, potvrđene su značajne koristi od upravljanja uporabom jalove energije u distribucijskim mrežama naprednih operatora distribucijskog sustava, a to su:

- poboljšanje kakvoće opskrbe kroz statičku i dinamičku podršku kakvoći napona,
- povećanje sposobnosti objedinjavanja distribuiranih izvora s postojećim stanjem distribucijske mreže,
- smanjenje gubitaka snage u distribucijskoj mreži i postupku opskrbe iz prijenosne mreže i posljedično navedenom
- smanjenje emisije CO_2 .

Već s ovim koristima trebali bismo biti inženjerski i gospodarski izazvani za postignuće njihovih gornjih granica. Opravdano bi se trebali zapitati je li tako stanje spoznaja postoji i kod nas u HEP ODS-u i koliko je i kako upravljanje jalovom snagom uključeno u propise i pravila kojima se određuje scenarij za pogon budućeg distribucijskog sustava.

Nema niti dvojbe kako će jalova snaga sa svojim koristima postati i sredstvo pružanja pomoćne usluge sustavu pri čemu će se primijenjenom metodologijom vrednovanja jalove snage rješavati problem osiguranja pomoćne usluge $U - Q$ regulacije tržišnim pristupom.

Jalova snaga će prestati biti neka električna veličina iz mrežne zabiti jer će objединити значајке regulacijske, tržišne, strateške veličine svih naponskih razina EES-a.

Držim kako je prijeko potrebno postojeće spoznaje i znanja produbiti i povećati, ali ne samo zato kako bismo više znali, već i kako bismo bili sposobni započeti sustavno ustrojiti organizaciju i tehniku upravljanja jalovom snagom, počevši od nedvojbeno potrebnih izraza Q-tehnologije do složenih Q-regulacijskih shema kojima se ostvaruje, primjerice, propisana kakvoća napona bez neopravdano visokih ulaganja u distribucijsku mrežu. Zbog toga je žurno potrebno poduzeti slijedeće korake:

- istražiti stvarno i odrediti željeno stanje Q-karakteristike i Q-sposobnosti distribucijske mreže po njenim funkcionalnim cjelinama,
- utvrditi tehničke uvjete priključenja i korištenja mreže od strane korisnika mreže s gledišta jalove snage i upravljanja njome [11],
- usvojiti pravila ODS-a o pružanju pomoćnih usluga s pravim mjestom jalove snage,
- razviti postupke kojim se vrednuje uvođenje postupaka Q-upravljanja kod planiranja razvitka mreže i to s gledišta koristi i troška,
- načiniti preporuke za primjenu najpovoljnijih rješenja statičke i dinamičke podrške naponu u pojedinačnim okolnostima stanja mreže,
- razviti više prilagodljivih odredbi propisa kojima se Q-upravljanje učvršćuje u regulatorni okvir bitan za djelovanje energetskih subjekata, napose ODS-a u odnosima s kupcima i proizvođačima,
- s mjerodavnim i odgovornima subjektima utvrditi i propisati model tržišta jalove snage,
- utvrditi polazišta za prilagodbu regulatornog i normativnog okvira za minimiziranje troškova uporabe i uspostave korektnog sustava nadmetanja za nabavu jalove snage te za priznate troškove ODS-a.

Nedvojbeno je kako će jalova snaga i upravljanje njome u budućnosti distribucijskog sustava imati značenje zaglavnog kamena distribucijskog sustava kao elektroenergetske građevine.

6. LITERATURA

- [1] T. Plavšić, Igor Kuzle; „Regulacija napona i jalove snage kao pomoćna usluga sustava“ prethodno priopćenje, Energija 5, Zagreb 2005.
- [2] VDE/FNN; „Hinweis – Blindleistungsmanagement in Verteilungsnetzen“, Naputak, FNN, Berlin, 11/2014.
- [3] ZVEI; „Energieeinsparung durch Blindleistungskompensation“, Zentralverband Elektrotechnik und Elektronik Industrie, Frankfurt am Mein, 2010.
- [4] E. Handschin; „Elektrische Energie Übertragungssysteme“, 2. Auflage, Hüthig 1987.
- [5] Marija Ožegović i Karlo Ožegović; „Električne energetske mreže“, Udžbenik, FESB Split, 1997.
- [6] J. Schlabbach; „Elektroenergieversorgung – Betriebsmittel, Netze, Kennzahlen und Auswirkungen der elektrischen Energieverteilung“, 3. Auflage, VDE Verlag, Berlin 2009.
- [7] BDEW; „Technische Richtlinie für Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“, VDE Verlag, Berlin, 6/2008.
- [8] BDEW; „Technische Richtlinie für Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz“, Anwendungsregel (VDE-AR-N 4105), Berlin 8/2011.
- [9] FNN/VDE; „Weiterentwicklung der Anforderungen an Erzeugungsanlagen - Statische Spannungshaltung, studija FNN/VDE, 2015.
- [10] FNN/VDE; „Maßnahmen zur Vermeidung spannungskritischer Netzzustände“, uputa, VDE, 2013.
- [11] BDEW; Blindleistungsbereitstellung durch Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“, izmjena i dopuna propisa, 2012, Berlin.