



ТИПИЧНЕ ДИСТРИБУТИВНЕ МРЕЖЕ

TYPICAL DISTRIBUTION NETWORKS

Милица ДИЛПАРИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Србија
Душан ВУКОТИЋ, „Електродистрибуција Србије“ д.о.о. Београд, Србија
Петар ПАВЛОВИЋ, Јелена ДАБИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Србија
Дарко ШОШИЋ, Горан ДОБРИЋ, Универзитет у Београду Електротехнички факултет, Србија

КРАТАК САДРЖАЈ

У процесу развоја и планирања електродистрибутивних мрежа најважнију полазну основу представља примена усвојених концепцијских решења у циљу обликовања електродистрибутивне мреже. Широка примена дистрибуиране производње, са великим уделом обновљивих извора електричне енергије, као и очекиван пораст нових категорија корисника електродистрибутивне мреже између осталих: „купаца-произвођача“, пунионица за електрична возила, итд., као и отварање тржишта електричне енергије за остале нове категорије корисника, довешће до извесне промене карактера електродистрибутивних мрежа, које од доминантно пасивних мрежа постају - активне мреже. Моделовање активних мрежа представља изазов са којим се свако савремено електродистрибутивно предузеће суочава. У оквиру измењених услова неопходно је сагледати и верификовати пре свега већ примењиване концепције електродистрибутивних мрежа СН напонских нивоа (35 kV, 20 kV и 10 kV), са посебним освртом на усвојене концепције аутоматизацију СН мреже, али и истражити могућности за примену нових концепцијских решења која би била примерена за све присутније активне електродистрибутивне мреже. У том циљу спроводен је велики број анализа применом савремених мрежних прорачуна (прорачуна токова снага, прорачуна кратких спојева, анализа поузданости, хармонијских анализа и др.) да би се поменути аспекти нових концепција електродистрибутивне мреже, што веродостојније и свеобухватније сагледали. У раду је представљен основни скуп типичних електродистрибутивних мрежа, пре свега на СН напонском нивоу (20 kV и 10 kV), са типичним параметрима мреже, који би служили као карактеристични модели над којима би биле спровођене анализе оптималног развоја електродистрибутивне мреже.

Кључне речи: дистрибуирана производња, активне мреже, мрежни прорачуни, карактеристична електродистрибутивна мрежа

SUMMARY

In the process of development and planning of electricity distribution networks, one of the starting points is the application of adopted conceptual solutions in processes of designing the electricity distribution network. Widespread use of distributed generation, especially renewable energy sources, as well as the expected increase in new types of electricity distribution network users "prosumers", charging stations for electric vehicles, as well as opening the electricity market for new participants, will lead to a complete change of distribution networks that as predominantly passive become active networks. Modeling of active networks is a challenge that every modern electricity distribution company faces and considers and verifies already applied concepts of electricity distribution networks on all voltage levels within the changed conditions, but also explores the possibility of applying new conceptual solutions that would be more suitable for increasingly active distribution networks. In this sense, a significant number of analyzes are conducted using modern network calculations and software models (power flow calculations, short circuit calculations, reliability analysis, harmonic analyzes, etc.) in order to evaluate mentioned aspects of new concepts on credible and comprehensive way, with special emphasis on automation of MV voltage level. The paper presents the basic set of typical electricity distribution networks, primarily at the MV voltage level, with characteristic network parameters, which would serve as test models for performing the analyzes of optimal development of electricity distribution networks.

Key words: distributed generation, active network, distribution network models, typical distribution network

1. УВОД

Велике промене које су настале после процеса дерегулације електроенергетског сектора довеле су дистрибутивни електроенергетски систем пред нови скуп изазова. Масовно прикључење производних јединица, очекиван пораст нових категорија крајњих корисника електродистрибутивне мреже, а пре свега „купаца-произвођача“, пунионица за електрична возила, као и осталих корисника који су последица отварања тржишта електричне енергије за нове учеснике, изазови су са којима се сусреће електродистрибутивни систем у периоду енергетске транзиције. У том прелазу електродистрибутивне мреже од доминантно пасивних мрежа постају - активне мреже. Из тог разлога је потребно истражити могућности за примену нових концепцијских решења која би била примерена за све присутније активне електродистрибутивне мреже, али и верификовати већ примењиване концепције развоја електродистрибутивних мрежа.

У оквиру рада извршене су анализе различитих типова у оквиру раније усвојених концепција развоја електродистрибутивних мрежа. Анализирани су типови које се могу јавити у градским подручјима где је доминантно кабловска мрежа, као и у руралним подручјима где је претежно надземна мрежа. Анализом су обухваћене најчешће коришћени елементи у оквиру СН електродистрибутивних мрежа, при чему су узети реални параметри елемената, као и карактеристични дијаграми са оптималним нивоима оптерећења. Представљена су најчешћа решења аутоматизације електродистрибутивне мреже. Анализе у оквиру овог рада обухватају напонске нивое 10 kV и 20 kV. Формирани су дакле типични симулациони модели мрежа који могу служити као полазна основа за анализе коришћењем разних мрежних прорачуна у циљу верификације постојећих и формирања нових концепција мреже, које би резултирале веродостојним моделима активних електродистрибутивних мрежа.

2. ТИП МРЕЖЕ А – ИЗВОД СА АНТЕНСКИМ НАПАЈАЊЕМ

СН изводи који представљају антенско напајање се могу доминантно пронаћи у руралним и приградским конзумима. Код предметног типа, електродистрибутивне СН мреже су углавном радијалног карактера и у случају испада неког елемента на изводу, не постоји могућност напајања дела мреже погођеног кваром из другог правца (са извода из друге напојне ТС x/10 kV).

2.1 Опис мреже

Тип мреже који обезбеђује антенско напајање преко једна изводне СН ћелије се састоји од: магистралних водова и огранака (латерала). Почетна деоница из напојне трансформаторске станице је по правилу изведена кабловски до првог стуба, на коме се уграђује вертикални линијски растављач у циљу бржег секционисања у случају појаве квара на првој деоници. Препорука око уградње линијског растављача на првом стубу или зиду напојне трансформаторске станице, још није заживела у потпуности у пракси, али свакако ће предлог нове концепције такво решење потврдити. Магистрални надземни водови су углавном једнаког или већег пресека у односу на пресек проводника надземних огранака. Анализом мрежа из различитих дистрибутивних подручја оператора дистрибутивног система утврђено је да се у зависности од укупне дужине напојне мреже могу пронаћи следећи типови магистралних надземних водова: AlCe 95 mm², AlCe 70 mm², AlCe 50 mm², као и СКС 70 mm². У примени су и други пресеци СКС водова, али је наведени попречни пресек најзаступљенији. На појединим деоницама надземне мреже и даље се могу наћи надземни водови типа AlCe 35 mm² и AlCe 16 mm², као и каблови истих пресека. У зависности од типа крајњег оптерећења у типовима водова који припадају огранцима, могу се такође пронаћи сви типови са пресецима наведени за магистралне надземне водове. На антенском СН изводу, одређене трансформаторске станице СН/НН могу бити прикључене на магистралне деонице по принципу „улаз-излаз“ кабловским прикључцима, као и преко кратких огранака у случају када се прикључују стубне трансформаторске станице СН/НН. Укупна дужина надземне мреже једног антенског СН извода у различитим дистрибутивним подручјима варира од неколико километара до неколико десетина километара. Појављују се и изузеци са укупном дужином електродистрибутивне СН мреже и до 70 km за мреже 20 kV напонског нивоа и око 50 km за 10 kV мреже [1].

У зависности од нивоа и распореда оптерећења пасивне радијално напојене електродистрибутивне СН (антенске) мреже могу се поделити на:

1. Мреже које имају уравнотежен ниво оптерећења на комплетном антенском СН изводу;
2. Мреже са доминантним оптерећењем на почетку СН антенског извода;
3. Мреже са доминантним оптерећењем на средини антенског СН извода, и
4. Мреже са доминантним оптерећењем на крају антенског СН извода.

У зависности од дужине електродистрибутивне мреже и пресека појединих деоница СН антенског извода, у случају доминантног терета на крају и средини извода јављају се већи падови напона до крајњих потрошача на СН антенском изводу. Такође, код дугачких СН антенских извода могу се јавити проблеми са напонским приликама и великим губицима активне снаге и енергије на изводу. Појава већег нивоа концентрисаног оптерећења у руралним подручјима, а пре свега на доминантним радијалним мрежама је, у претходном периоду, последица прикључења великог броја хладњача које се прикључују на мрежу преко мерења на СН напонском нивоу. Индивидуална домаћинства представљају остатак оптерећења у посматраним антенским СН мрежама.

Одређене радијално напојене мреже у руралним подручјима постају активне, пре свега због прикључења дистрибуиране производње, која обухвата разне дистрибуиране ресурсе. Дистрибуирани извори енергије које се углавном прикључују на електродистрибутивне мреже на руралним подручјима су: хидро-електране мале снаге, соларне електране и електране на биомасу. Са аспекта концепта управљања електродистрибутивном мрежом, прикључење дистрибуиране производње би требало да зависи од места прикључења на електродистрибутивни систем, и то:

1. У случају прикључења на магистрални вод прикључак треба извести искључиво по принципу „улаз-излаз“;
2. У случају прикључења на крају антенског СН извода или огранка, прикључак се може извести и као директан [2].

У зависности у ком делу СН антенског извода се прикључују дистрибуирана производња утицај на напонске прилике и губитке активне снаге и енергије може бити различит. Оптимално са аспекта функционисања електродистрибутивне мреже је да дистрибуирана производња покрије део оптерећења извода, јер се тиме смањују губици на датом СН антенском изводу и постижу се боље напонске прилике на комплетном СН изводу. Међутим, постоје и случајеви када услед прикључења велике снаге дистрибуиране производње, значајног кумулативног ефекта прикључења великог броја дистрибуираних извора на посматраном СН антенском изводу или врло мале потрошње СН антенског извода, када производња из дистрибуираних извора енергије премашује укупно оптерећење и губитке активне енергије извода, јавља измењен ток енергије према почетку извода и даље према остатку мреже који се напаја преко напојног трансформатора на који је прикључен СН антенски извод. Често се има и појава да се енергија ињектира према мрежи вишег напонског нивоа, преко напојног трансформатора.

Ниво аутоматизације у случају СН извода са антенским напајањем је по правилу нижи у односу на преостале концепције електродистрибутивних мрежа. Могуће је примењивати индикаторе проласка струје кvara, даљински управљиве линијске склопка-растављаче (секционери) и даљински управљиве интелигентне линијске прекидаче (реклозери). У случајевима када постоје значајни индустријски потрошачи или дистрибуирана производња, тада се уграђује опрема за аутоматизацију којом би се могло извршити секционисање дела електродистрибутивне мреже у коме су наведени прикључени. Усвојена концепција уградње опреме за аутоматизацију СН мреже дефинише следећа сценарија:

- уградњу реклозера на почетку СН извода (када напојна трансформаторска станица није у СДУ);
- уградња реклозера на половини СН извода;
- уградња реклозера на погодном месту одмах иза приоритетних корисника;
- уградња секционера на почетку огранка са приоритетним корисником;
- уградња секционера на почетку огранка довољне дужине и нивоа оптерећења. [3][4]

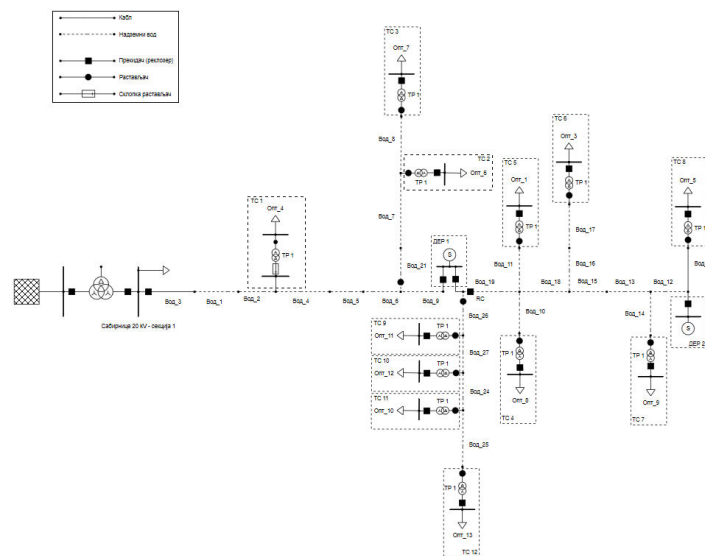
Одређивање оптималног нивоа аутоматизације је сложен и комплексан оптимизациони проблем који захтева детаљне анализе за сваки посебан случај.[5][6] Правац деловања у погледу повећања поузданости напајања СН извода са антенским напајањем је да се изврши повезивање два антенска извода међуповезним водом да би се омогућила боља поузданост напајања у случају кварова у мрежи, као и потенцијално боља прерасподела оптерећења да би се смањили губици активне снаге и енергије у мрежи, уз побољшање напонских прилика. [7][8][9]

2.2 Тип мреже А1 – 20 kV извод са антенским напајањем

Као карактеристичан пример овог типа мреже узет је један 20 kV извод са антенским напајањем са реалним карактеристикама и оптерећењима. Мрежа се састоји од напојне трансформаторске станице 110/20 kV са једним трансформатором инсталисане снаге од 31,5 MVA и једним 20 kV изводом са антенским напајањем. Спољна 110 kV мрежа је моделована мрежним еквивалентом. Мрежа 20 kV напонског нивоа је доминантно надземна са почетном деоницом која је кабловска. Почетна деоница магистралног вода је кабловска типа ХНЕ А1 150 mm², а преостале деонице магистралног вода су

надземни АЦсе и СКС водови, док су огранци типа АЦсе различитих пресека, као и СКС и кабловски прикључци крајњих трансформаторских станица СН/НН. Укупан број ТС СН/НН је 12 трансформаторских станица. На НН сабирницама су моделована оптерећења ТС СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење предметне трансформаторске станице. Синоптички приказ карактеристичне мреже је дат на Слици 1. На свим приложеним сликама испрекиданом линијама су представљени надземни водови, док су пуном линијом престављени каблове водови.

Приказани тип мреже представља карактеристичну СН електродистрибутивну мрежу на руралном подручју. У циљу смањења општости могу се извршити варијације дужине магистралног вода и огранака, као и нивоа оптерећења. У погледу разматране дужине магистралног вода СН извода, искуствено реални случајеви за разматрање су случајеви са укупном дужином 20 kV мреже од приближно 27 km, као и приближно 54 km, респективно. За претходно наведене случајеве са становишта оптерећења, може се узети реално оптерећење мреже, као и минимална и максимална оптерећење у односу на претпостављено.



Слика 1 – Синоптички приказ електродистрибутивне мреже - типа А

2.3 Тип мреже А2 – 10 kV извод са антенским напајањем

Карактеристичан модел мреже се састоји од трансформаторске станице 110/10 kV са једним трансформатором, инсталисане снаге 31,5 MVA и једним 10 kV изводом са антенским напајањем. Спољна 110 kV мрежа је моделована мрежним еквивалентом. Мрежа 10 kV напонског нивоа је доминантно надземна са почетном деоницом која је кабловска. Почетна деоница магистралног вода је кабловска типа ХНЕ А1 150 mm², а преостале деонице магистралног вода су надземни АЦсе и СКС водови, док су огранци типа АЦсе различитих пресека, као и СКС и кабловски прикључци крајњих трансформаторских станица СН/НН. Укупан број ТС СН/НН је 12 трансформаторских станица. На НН сабирницама су моделована оптерећења ТС СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење приказаних трансформаторских станица. Синоптички прикази који представљају 10 kV антенски вод са уграђеном опремом за аутоматизацијом СН мреже, идентична је са Сликаом 1. Што се тиче варијације дужине магистралног вода и огранака, као и нивоа оптерећења могу се разматрати случајеви са укупном дужином 10 kV мреже једнаком приближно 20 km, са распоном дужине мреже до укупно 40 km.[10].

3. ТИП МРЕЖЕ Б – МРЕЖА СА МЕЃУПОВЕЗНИМ ИЗВОДИМА

Повезивањем СН извода са антенским напајањем који су радијално напојени, треба да буде у блиској будућности тамо где је могуће, приоритет у даљем развоју електродистрибутивне мреже, при чему се добија већ усвојени концепт дистрибутивне мреже са међуповезним СН изводима. На овај начин се долази до концепта мреже који има већу (оптималну) сигурност напајања, као и могућност оптимизације искоришћења капацитета дистрибутивне мреже и побољшања напонских прилика. Проблеми са напонским приликама су чести код пасивних руралних дистрибутивних мрежа великих дужина мреже и могу се решити формирањем међуповезних извода, када за то постоји могућност.

3.1 Опис мреже

У овом делу је описана електродистрибутивна мрежа која типично припада руралним или преградским деловима конзумних подручја. Предметна мрежа, је сходно томе доминатно надземна. Почетна деоница из напојних трансформаторских станица може бити изведена кабловским или надземним водом. Надземни, магистрални водови су углавном једнаког или већег пресека у односу на пресек надземних проводника огранака којима се напајају трансформаторске станице СН/НН. Анализом мрежа из различитих дистрибутивних подручја утврђено је да се у зависности од укупне дужине напојне мреже могу пронаћи следећи типови надземних, магистралних водова: АЦсе 95 mm², АЦсе 70 mm² и АЦсе 50 mm², као и СКС 70 mm² (у употреби су и други пресеци СКС каблова, али се овај попречни пресек је најзаступљенији), а све ређе надземни водови типа АЦсе 35 mm², као и каблови сличних пресека. У зависности од типа крајњег оптерећења у типовима водова који припадају огранцима, могу се пронаћи сви типови са пресецима наведени за магистралне водове. Поред надземних водова, одређене трансформаторске станице СН/НН могу бити прикључене по принципу „улаз-излаз“ кабловским прикључцима [1].

У зависности од нивоа и распореда оптерећења пасивне дистрибутивне мреже могу се поделити на:

1. Мреже које имају уравнотежен ниво оптерећења на комплетном изводу;
2. Мреже са доминантним теретом на почетку оба СН извода;
3. Мреже са доминантним теретом на средини оба СН извода, и
4. Мреже са доминантним теретом на крају оба СН извода (према „сталној граници“).

Оптимизација са аспекта смањења губитака активне снаге и енергије, као и побољшања напонских прилика у случају овог типа мреже поред расподеле и нивоа оптерећења, зависи и од параметара и дужине напојне мреже на оба СН извода. Такође, веза између извода даје могућност прерасподеле оптерећења или инјектирања у случају присуства дистрибуираних ресурса на делу мреже између међуповезних СН извода. Наиме, у случају испада комплетне напојне трансформаторске станице или напојног трансформатора у њој, када се међуповезни вод напаја из повезане (суседне) напојне трансформаторске станице може се омогућити потпуно резервирање напајања. У случају квара на одређеном елементу или деоници мреже, а у случају предложеног концепта са међуповезним СН изводима, могуће је у зависности од локације квара, као и нивоа оптерећења, преузети комплетан или делимичан конзум који је остао без напајања.[7][8]

Ниво аутоматизације СН мреже у случају међуповезних СН извода је сигурно већи у односу на концепт са антенским СН изводима, али и нешто мањи у односу на преостале концепције СН мреже. У оквиру предметног концепта мреже могу се користити индикатори проласка струје квара, даљински управљиви линијски склопка-растављачи (секционери), даљински управљиви растављачи, интелигентни линијски прекидачи (реклезери). У случајевима када постоје значајни индустријски крајњи корисници или дистрибуирани извори, тада се уграђују одређена опрема за аутоматизацију којом би се могло извршити секционисање (одвајање) дела мреже у коме су наведени корисници прикључени. Опште прихваћене концепције које су дате за концепт са антенским СН напајањем, а тичу се уградње опреме за аутоматизацију СН мреже, важе и у случају предметног концепта [5][6]. Такође, одређивање оптималног нивоа аутоматизације је сложен и комплексан оптимизациони проблем који захтева детаљне анализе за сваки посебан случај.[3][4]

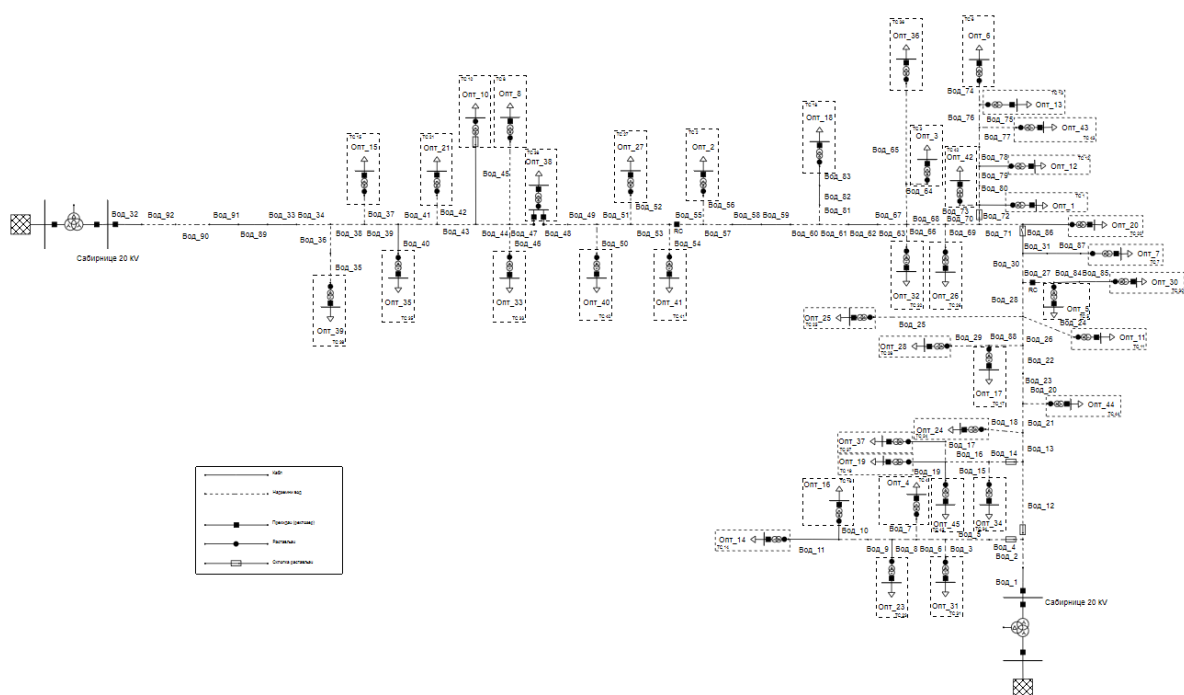
3.2 Тип мреже Б1 – 20 kV међуповезни изводи

Као карактеристичан, узет је пример два 20 kV међуповезна извода од којих сваки радијално напаја потрошњу са реалним карактеристикама и оптерећењима мреже. Сваки од извода је напојен из друге (суседне) напојне трансформаторске станице. Мрежа се састоји од напојне трансформаторске станице са најмање једним трансформатором снаге од 31,5 MVA и по једним припадајућим 20 kV изводом, који радијално напајају мрежу (мрежа није упетљана). Напојна 110 kV мрежа је моделоване мрежним еквивалентима. У случају оба СН извода мрежа 20 kV напонског нивоа је доминантно надземна са почетном деоницом која је кабловска. Почетне деонице магистралних водова су кабловског типа и то ХНЕ А1 150 mm², а преостале деонице магистралног вода су надземни АЦсе и СКС водови, док су огранци типа АЦсе различитих пресека, као и СКС и кабловски прикључци крајњих ТС 20/0,4 kV. Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 24 трансформаторске станице у случају првог СН извода, односно 18 трансформаторских станица у случају другог СН извода. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење дате трансформаторске станице. Шематски приказ тест мреже је дат на Слици 2.

Што се варијације дужине водова и нивоа оптерећења тиче, сви закључци изведени за тип са антенским напајањем важе и за овај концепт мреже.

3.3 Тип мреже Б2 – 10 kV међуповезни изводи

Карактеристичан пример су два 10 kV међуповезна извода од којих сваки радијално напаја потрошњу са реалним карактеристикама и оптерећењима мреже. Сваки од извода је напојен из друге напојне (суседне) трансформаторске станице. Анализирана мрежа се састоји од две суседне трансформаторске станице са по једним трансформатором снаге од 31,5 MVA и са по једним припадајућим 10 kV изводом из сваке напојне трансформаторске станице који радијално напајају мрежу. Напојна 110 kV мрежа је моделована мрежним еквивалентима. У случају оба СН извода мрежа 10 kV напонског нивоа је доминантно надземна са почетном деоницом које су кабловске. Почетне деонице магистралних водова су кабловског типа и то ХНЕ А1 150 mm², а преостале деонице магистралног вода су надземни А1Се и СКС водови, док су огранци типа А1Се различитих пресека, као и СКС и кабловски прикључци крајњих трансформаторских станица СН/НН. Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 24, у случају првог извода, док је у случају другог извода укупан број трансформаторских станица једнак 18. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење предметне трансформаторске станице. Синоптички приказ мреже са међуповезним СН изводима у руралним и приградским деловима конзума, аналоган је приказу на Слици 2.[10]



Слика 2 – Синоптички приказ електродистрибутивне мреже - типа Б

4. ТИП МРЕЖЕ Ц – МРЕЖА СА ПЕТЉАМА

У случају урбаних конзумних подручја због урбанистичких захтева услед недостатка простора, као и велике густине оптерећења, СН мрежа је доминантно кабловска. Из разлога велике густине оптерећења трансформаторске станице СН/НН су већег капацитета у односу на претходно два описана концепта, који су доминантни у руралним и приградским конзумима. Називна снага трансформатора у трансформаторским станицама СН/НН у случају урбаних мрежа су углавном 630 и 1000 MVA, респективно, мада се могу наћи и трансформатори снаге веће инсталисане снаге. Већа густина оптерећења због термичких оптерећења каблова захтева формирање средњенапонске мреже која је генерално знатно краћа у односу на концепте надземних руралних и приградских мрежа. Трансформаторске станице СН/НН су по правилу прикључене на мрежу по принципу „улаз-излаз“.

4.1 Опис мреже

У случају концепта са петљама при примени доследне концепције, у реалним електродистрибутивним мрежама не јављају се радијално напојени огранци, осим у изузецима који су изузетно ретки. Деонице су углавном кабловске, осим у изолованим случајевима када због урбанистичких услова или других ограничења није могуће положити кабл.

Анализом мрежа из различитих дистрибутивних подручја утврђено је постојање А1 и С1 каблова различитих типова изолације (ХНЕ, ХНР, ЕНР, РР, ХНР84, РНР, IPO13, итд.). Пресеци А1 каблова су 50, 70, 95, 120, 150 и 240 mm², док су пресеци С1 каблова 95, 120 и 150 mm². Треба напоменути да се у претходном периоду углавном уграђују А1, а ређе С1 каблови. Такође се појављују и СКС, али углавном се они могу пронаћи на границама градских и приградских подручја. Укупна дужина кабловске мреже у концепту мреже са СН петљама у различитим дистрибутивним подручјима и за различите напонске нивое (10 и 20 kV) варира од неколико километара до неколико десетина километара.

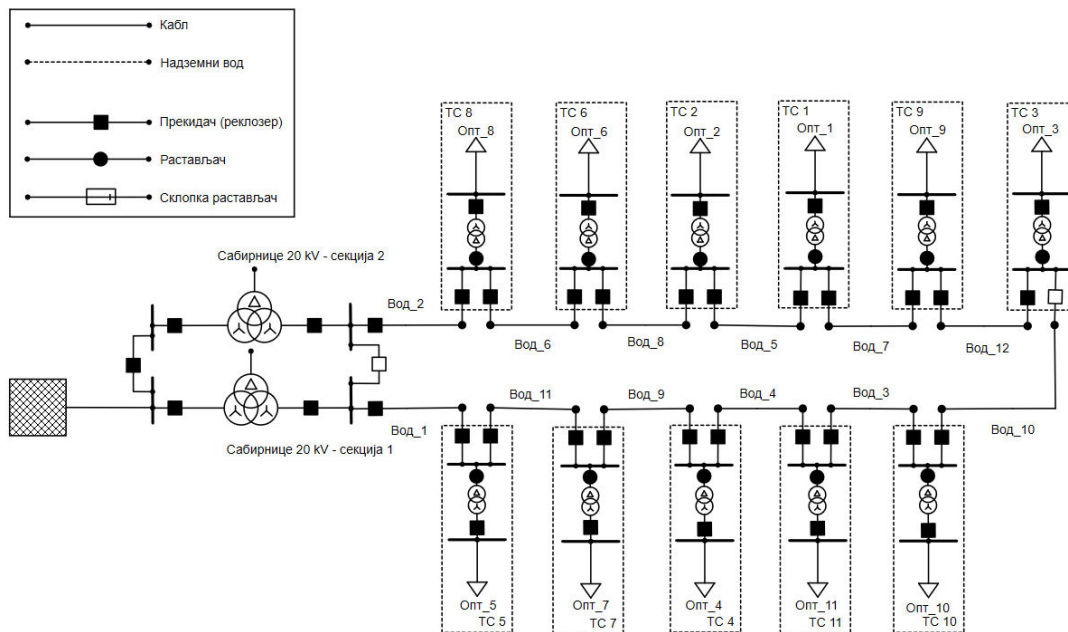
У случају урбаних средина, развој дистрибутивне мреже је условљен развојем оптерећења. Тако се из концепта петљастих мрежа у случају пораста оптерећења до нивоа да се не задовољавају сви критеријуми на напојним изводима прелази у концепте мреже са међуповезним изводима и мреже са праменом. Иако се очекује ређа појава значајних дистрибуираних ресурса у урбаним срединама, са најновијим променама уредби о прикључењу малих извора, ипак се може очекивати прикључење већег броја соларних панела на крововима пословних зграда и индустријских капацитета. Такође, један од изазова који је тек у зачетку, тиче се промене начина функционисања дистрибутивне мреже у градским подручјима услед појава „брзих“ пунионица за пуњење електричних возила. Дистрибуирани извори и пуњачи електричних возила се морају директивно прикључивати искључиво по принципу „улаз-излаз“.[11]

Проблеми који се могу јавити у кабловским мрежама су због релативно кратких дужина углавном везани за преоптерећење елемената мреже, као и немогућност задовољења критеријума једноструког испада елемената мреже. Ретки су примери појаве напонских прилика испод дозвољених граница у случајевима максималних оптерећења мреже. Са друге стране може доћи до појаве повишења напона у случају ниских оптерећења у претежно кабловској мрежи. Са аспекта функционисања електродистрибутивне СН мреже са петљама, могуће је променом уклопног стања у мрежи извршити прераспodelу оптерећења између извода и на тај начин смањити губитке у мрежи. У урбаним подручјима се због развијене телекомуникационе инфраструктуре прибегава концепту даљинског надзора и управљања из надређеног центра управљања, са применом решења локалне аутоматике у појединим деловима мреже.[7][8][9]

Ниво аутоматизације одступа од једног до другог дистрибутивног подручја. У сврху аутоматизације СН електродистрибутивне мреже предметног типа, користи се следећа опрема: даљинске станице са уграђеним функцијама локалне аутоматике у трансформаторским станицама СН/НН где су уграђени RМУ блокови, преко којих се врши надзор и управљање над СН водним ћелијама и индикаторима проласка струје квара, при чему се на СН изводима уграђује МПЗУ уређаји.

4.2 Тип мреже Ц1 – 20 kV кабловска мрежа са петљом

Карактеристичан тип мреже се састоји од напојне трансформаторске станице са два трансформатора, сваки инсталисане снаге од 40 MVA и два припадајућа 20 kV извода напојених са различитих СН секција. Напојна 110 kV мрежа је моделована спољним еквивалентом. Мрежа 20 kV напонског нивоа је комплетно кабловска. Све трансформаторске станице су искључиво прикључене на 20 kV мрежу по принципу „улаз-излаз“. У презентованом моделу се јавља тип кабла: ХНЕ А1 150 и 240 mm², при чему се други пресек искључиво користи за прве деонице на СН изводу. Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 11. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторским станицама која еквивалентирају комплетно оптерећење дате трансформаторске станице. Синоптички приказ разматране мреже је дат на Слици 3.



Слика 3 – Синоптички приказ електродистрибутивне мреже - типа Ц

4.3 Тип мреже Ц2 – 10 kV кабловска мрежа са петљом

Типична мрежа се састоји од напојне трансформаторске станице са два трансформатора снаге, сваки инсталисане снаге од 40 MVA и два припадајућа 10 kV извода напојених са различитих СН секција. Напојна 110 kV мрежа је моделована спољним еквивалентом. Мрежа 10 kV напонског нивоа је комплетно кабловска. Све трансформаторске станице су по принципу „улаз-излаз“ прикључене на 10 kV мрежу. У презентованом моделу се јављају два типа кабла: IPO 13-A 3x150 mm², IPO 13 3x95 mm², док је кабл на првој деоници пресека IPO 13-A 3x240 mm². Укупан број трансформаторских станица СН/НН је на целој петљи је једнак 11. На НН сабирницама су моделована оптерећења странсформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење предметне трансформаторске станице. Синоптички приказ 10 kV мреже са петљом, аналоган је приказу датом на Слици 3. [10]

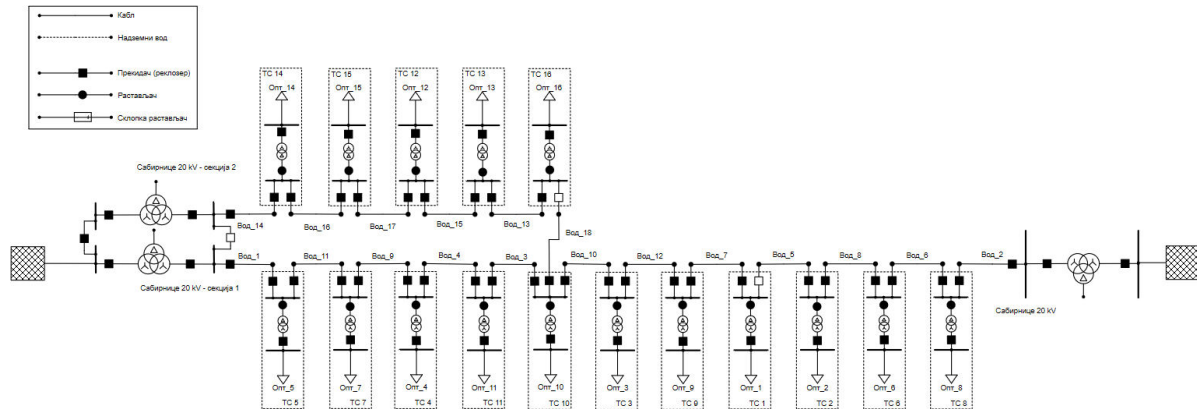
5. ТИП МРЕЖЕ Д – МРЕЖА СА МЕЋУПОВЕЗНИМ ИЗВОДИМА („ТРОКРАК“)

У случају појаве додатног оптерећења у мрежи која се састоји од два извода који креирају петљу или међуповезни вод, чијим прикључењем би била нарушена техничка ограничења и/или би дошло до немогућности обезбеђења резервног напајања у случају најкритичнијег испада (најчешће квар на првој деоници), потребно је извршити одређено појачање у мрежи. Једно од решења претходно наведеног проблема је додавање трећег извода који преузима део терета оба постојећа извода. Такође, на овај начин се има сигурност напајања у случају једноструког испада. Овај концепт представља прелазно решење, које у случају појаве додатног повећања оптерећења у мрежи тежи ка распетљавању и креирању две независне мреже са по два извода у петљи. Често се предметни тип мреже назива „трокрак“.

5.1 Опис мреже

Три међуповезна СН извода по правилу припадају различитим, а у посебним случајевима и истим напојним трансформаторским станицама. У случају испада комплетне напојне трансформаторске станице, која напаја један од СН извода може се обезбедити резервно напајање из суседних напојних трансформаторских станица, за део или комплетан конзум међуповезних СН извода. Овако описана дистрибутивна мрежа типично припада урбаној, а ређе приградској средини. Као таква, она је претежно кабловска. Описи карактеристика мреже које су дати за мреже са петљама, важе и за овај концепт који представља надоградњу наведеног концепта у случају када мрежа не може да задовољи захтеве појаве повећаног оптерећења у мрежи. У случају урбаних средина захтева се испуњење критеријима једноструког испада елемента. У овом концепту, као и у концепту мреже са петљама не јављају се радијално напојени огранци, осим у изузетцима који су ретки. Деонице су углавном кабловске осим у изолованим случајевима када због урбанистичких услова или других ограничења није могуће положити

кабл. Типови и пресеци каблова који су поменути у делу рада везаном за концепт мреже са петљама такође се јављају и у овом концепту. Такође, слични су закључци о дистрибуираним изворима енергије и аутоматизацији мреже. Са аспекта функционисања овог концепта дистрибутивне мреже, могуће је променом уклопног стања у мрежи извршити прераспodelу оптерећења између извода и на тај начин смањити губитке у мрежи.[3][7][8].



Слика 4 – Синоптички приказ електродистрибутивне мреже - типа Д

5.2 Тип мреже Д1 – 20 kV кабловска мрежа са међуповезним водовима у урбаној средини

Карактеристична мрежа се састоји од напојних трансформаторских станица са два трансформатора инсталисане снаге 40 MVA који напаја два припадајућа 20 kV извода и друге напојне трансформаторске станице са једним трансформатором исте инсталисане снаге, који напаја један 20 kV извод. Напојне 110 kV мреже су моделоване спољним еквивалентима. Мрежа 20 kV напонског нивоа је комплетно кабловска. Све трансформаторске станице СН/НН су по принципу „улаз-излаз“ прикључене на 20 kV мрежу. У примерном моделу се јавља тип кабла: ХНЕ А1 150 mm². Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 16. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење дате трансформаторске станице. Синоптички приказ разматране мреже је дат на Слици 4.

5.3 Тип мреже Д2 – 10 kV кабловска мрежа са међуповезним водовима у урбаној средини

Типична мрежа се састоји од напојне трансформаторске станице са два трансформатора снаге од 40 MVA, који напаја два припадајућа 10 kV извода и на пример једне ТС 35/10 kV са једним трансформатором инсталисане снаге 12,5 MVA, који напаја један припадајући 10 kV извод. ТС 35/10 kV је напојена са два кабла типа ХНЕ А1 240 mm² из ТС 110/35 kV са једним трансформаторима инсталисане снаге 31,5 MVA. Напојне 110 kV мреже су моделоване спољним еквивалентима. Мрежа 10 kV напонског нивоа је комплетно кабловска. Све трансформаторске станице су по принципу „улаз-излаз“ прикључене на 10 kV мрежу. У презентованом моделу се јављају три типа кабла: IPO 13-A 3x150 mm², NPO 13-A 3x150 mm² и IPO 13 3x95 mm². Прве деонице су типа NPO 13-A 3x240 mm². Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 16. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење предметне трансформаторске станице. Синоптички приказ 10 kV мреже са „трокраком“, аналоган је приказу датом на Слици 4.[10]

6. ТИП МРЕЖЕ Е – МРЕЖА СА ПРАМЕНОМ

Концепт мреже који се све чешће среће, будући да се најчешће обезбеђују напојни СН изводи из једне напојне или две суседне напојне трансформаторске станице. Предметан мрежа има исте могућности управљања у односу на преостале приказане концепције. Генерално, овај концепт настаје у случајевима када не постоји могућност растерећења дела или обезбеђивања сигурног напајања у случају испада неког од елемената мреже формирањем нових извода, већ се креирају концепти са четири, а ређе и са више од четири извода.

6.1 Опис мреже

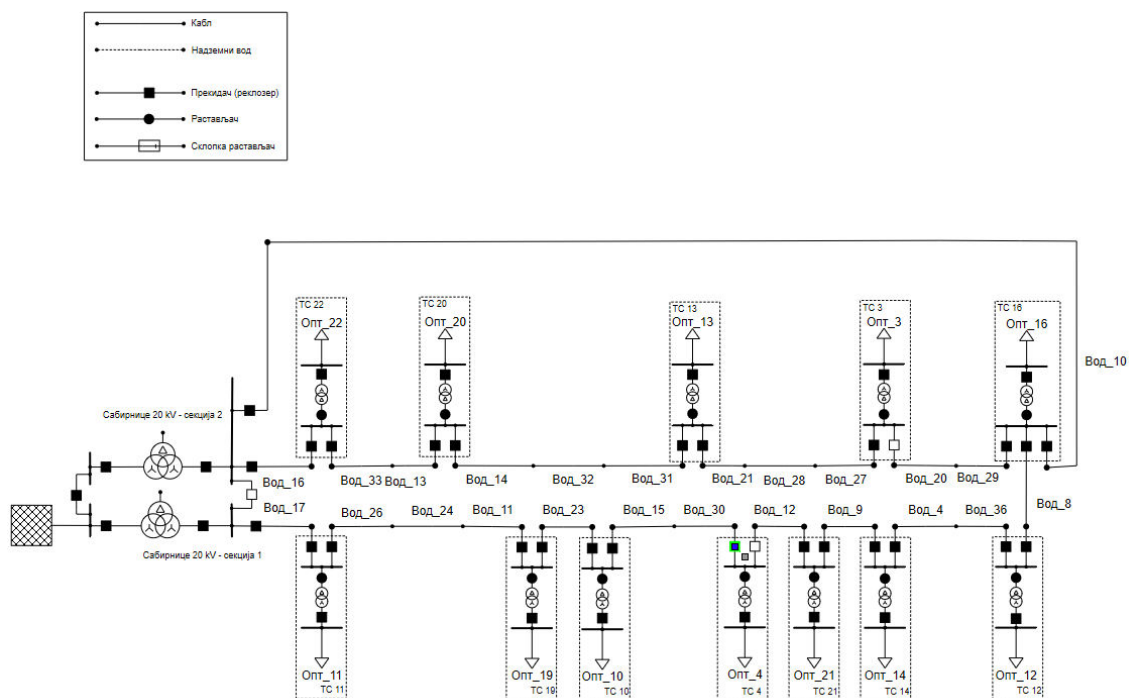
Анализом мрежа из различитих дистрибутивних подручја утврђено је постојање Аl и Сu каблова различитих типова изолације и пресека, као и другим кабловским концепцијама мреже. Треба напоменути да се у претходном периоду углавном уграђују Аl, а ређе Сu каблови. Проблеми који се могу јавити у кабловским мрежама, због релативно кратких дужина, углавном су везани за преоптерећење елемената мреже, као и немогућност задовољења критеријума једноструког испада елемента мреже. Ретки су примери појаве напонских прилика испод дозвољених у случајевима максималних оптерећења мреже. Са друге стране може доћи до појаве повишења напона у случају ниских оптерећења у претежно кабловској мрежи. Скуп опреме за аутоматизацију је идентичан опреми која се уграђује у претходним приказаним кабловским СН мрежама.

6.2 Тип мреже Е1 – 20 kv кабловска мрежа са праменом

Типична мрежа се састоји од две напојне трансформаторске станице са два трансформатора сваки инсталисане снаге 40 MVA који напаја три припадајућа 20 kV извода. Напојна 110 kV мрежа је моделована спољним еквивалентима. Мрежа 20 kV напонског нивоа је комплетно кабловска. Све трансформаторске станице су по принципу „улаз-излаз“ прикључене на 20 kV мрежу. У презентованом моделу се најчешће појављује тип кабла: XHE Аl 150 mm². Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 12. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење дате трансформаторске станице. Синоптички приказ разматране мреже је дат на Слици 5.

6.3 Тип мреже Е2 – 10 kv кабловска мрежа са праменом

Типична мрежа се састоји од две напојне трансформаторске станице са два трансформатора сваки инсталисане снаге 40 MVA који напаја три припадајућа 10 kV извода. Спољна 110 kV мрежа је моделована спољним еквивалентима. Мрежа 10 kV напонског нивоа је комплетно кабловска. Све трансформаторске станице СН/НН су по принципу „улаз-излаз“ прикључене на 10 kV мрежу. У презентованом моделу се јављају следећи типови кабла: XHE 49-A 3x1x150 mm², IPO 13-A 3x150 mm², NPO 13-A 3x150 mm², NPO 13-A 3x95 mm² и IPO 13 3x95 mm². Прве деонице су тип NPO 13-A 3x240 mm². Укупан број трансформаторских станица СН/НН је једнак 12. На НН сабирницама су моделована оптерећења трансформаторских станица СН/НН која еквивалентирају комплетно оптерећење дате трансформаторске станице. Синоптички приказ 10 kV мреже са праменом, аналоган је приказу датом на Слици 5.[10].



Слика 5 – Синоптички приказ електродистрибутивне мреже - типа Е

7. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљена анализа различитих концепција које се могу идентификовати у електродистрибутивним мрежама којима управља оператор дистрибутивног система. Идентификовани типови мрежа представљају добре полазне основе за моделовање сложенијих електродистрибутивним мрежа за потребе анализа, где ће оне бити састављене од различитог удела презентованих типова мрежа. У тако креираним сложеним моделима електродистрибутивне мреже (тест-мреже) биће могуће вршити разне симулације енергетских прорачуна, а пре свега симулације прикључења дистрибуиране производње, али и осталих корисника електродистрибутивне мреже. Посебну вредност презентованих типова мреже представља чињеницу да су она изведена из постојећих типова мреже, где су практично коришћени реални параметри мреже, пре свега у њеној дужини, али у самих реалних конфигурација мреже. Поред симулација у погледу прикључења дистрибуиране производње, сложене мреже би се користиле за све остале мрежне функције, а пре свега у циљу анализе и алокације техничких губитака електродистрибутивне мреже. Циљ којем се тежи је да се на овај начин добије један реалан модел мреже електродистрибутивног система у Републици Србији, који би се користио за практично све енергетске анализе без ограничења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] “Benchmark Systems for Network Integration of Renewable and Distributed Energy Resources”, CIGRE, april 2014.
- [2] “Planning and Optimization Methods for Active Distribution Systems”, CIGRE, august 2014
- [3] План дугорочног развоја електродистрибутивне мреже ЕПС ЈП „Електродистрибуција - Београд“ на ширем градском подручју до 2025.године, Београд, 2007.године;
- [4] Студија „Интелигентне мреже у ЈП ЕПС“, Београд, 2014.године.
- [5] Рајаковић Н, Тасић М, „Дистрибутивне и индустријске мреже“, Академска мисао, Београд 2008.
- [6] Муждека, „Пројекат перспективног развоја електроенергетске мреже ЕДБ–III свеска“, Београд 1986
- [7] Студија „Поузданост електродистрибутивних система“, Београд, 1999.године
- [8] Студија „Систем за праћење квалитета и поузданости испоруке електричне енергије“, Београд, 2013.године.
- [9] Студија „Анализа могућности управљања потрошњом електричне енергије“, Београд, 2006.године
- [10] Студија „Избор концепције управљања 10 kV електродистрибутивном мрежом ЈП „Електродистрибуција - Београд“, Београд, 2005.године
- [11] Студија „Употреба електричних возила у дистрибутивним предузећима“, Београд, 2020.године