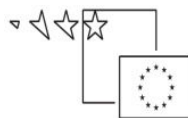




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

VODENJE ELEKTROENERGETSKIH SISTEMOV

JANEZ HROVATIN

Višješolski strokovni program: Elektroenergetika
Učbenik: Vodenje elektroenergetskih sistemov
Gradivo za 2. letnik

Avtor:

Dr. Janez Hrovatin
Višja strokovna šola
ICES Ljubljana



CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

621.31(075.8)

HROVATIN, Janez, 1932-
Vodenje elektroenergetskih sistemov: višješolski strokovni
program Elektroenergetik: [gradivo za 2. letnik] / Janez Hrovatin.
- Ljubljana: ICES, Višja strokovna šola, 2009

ISBN 978-961-91950-3-1

242895104

Izdajatelj: Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM
Založnik: Zavod IRC, Ljubljana.
Ljubljana, 2009

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum 'Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008-11'.

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007-2013, razvojne prioritete 'Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja' in prednostne usmeritve 'Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja'.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO VSEBINE

PREDGOVOR	3
1 ELEKTROENERGETSKI SISTEMI IN INTERKONEKCIJA	4
1.1 OSNOVNE LASTNOSTI.....	5
1.1.1 Izbrane lastnosti obratovalne prakse elektroenergetskega sistema ...	5
1.1.2 Elektroenergetski sistemi ob prehodu na trg z električno energijo..	7
1.2 SAMOSTOJNA PODJETJA V ELEKTROENERGETSKEM SISTEMU	9
1.3 PREDNOSTI DELOVANJA V INTERKONEKCIJI.....	10
1.3.1 Kvaliteta obratovanja in dobave električne energije	11
1.3.2 Vrednotenje združevanja elektroenergetskih sistemov	12
1.3.3 Sistemska evropska regulativa.....	14
1.3.4 Sinhronska interkonekcija in lastnosti sinhronskega generatorja .	14
1.3.5 Obratovalni diagram generatorja.....	21
1.3.6 Sinhronske povezovalne sile	29
1.4 PRIMARNI IN SEKUNDARNI DELI ELEKTROENERGETSKIH POSTROJEV	31
1.5 POVZETEK POGLAVJA »ELEKTROENERGETSKA INTERKONEKCIJA«	34
1.5.1 Preverite svoje znanje.....	34
1.5.2 Problemi.....	35
2 VODENJE ELEKTROENERGETSKEGA SISTEMA.....	36
2.1 POKRIVANJE DINAMIKE ODJEMA	37
2.1.1 Značilnosti hidroprodukcije	38
2.1.2 Vloga hidroelektrarn v elektroenergetskem sistemu	39
2.1.3 Izračun denivelacije bazena (akumulacije).....	40
2.1.4 Značilnosti termoproizvodnje	42
2.1.5 Premogovne elektrarne.....	44
2.1.6 Plinske elektrarne.....	46
2.1.7 Elektrarna – toplarna	48
2.1.8 Vloga jedrske elektrarne v elektroenergetskem sistemu.....	50
2.1.9 Vloga termoelektrarn v elektroenergetskem sistemu	51
2.1.10 Hitrost reagiranja turbin in občutljivost agregatov na frekvenco	52
2.1.11 Značilnosti alternativnih virov.....	53
2.1.12 Kvalificirane elektrarne.....	53
2.1.14 Trgovanje z električno energijo	54
2.2 SISTEMSKE REGULACIJE	55
2.2.1 Primarna regulacija	55
2.2.2 Samoregulacija odjema.....	60
2.2.3 Sekundarna regulacija	60
2.2.4 Terciarna regulacija.....	62
2.2.5 Interaktivni proces pri izpadu proizvodne zmogljivosti.....	62
2.2.6 Razbremenjevanje elektroenergetskega sistema.....	64
2.2.7 Optimalna razdelitev moči na posamezne termoagregate.....	65
2.2.8 Faze vodenja elektroenergetskega sistema	68
2.3. VLOGA REPUBLIŠKEGA IN DISTRIBUCIJSKEGA CENTRA VODENJA	70
2.3.1 Operativno vodenje obratovanja elektroenergetskega sistema	70
2.3.2 Sistemske storitve	72

2.3.3 Čas trajanja nenapovedanih prekinitev dobave električne energije.
73

2.4 POVZETEK POGLAVJA »VODENJE ELEKTROENERGETSKEGA SISTEMA«.....	76
3 VODENJE DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA.....	77
3.1 NAČRTOVANJE AVTOMATIZACIJE OMREŽJA	78
3.1.1 Jamborski ločilniki	81
3.1.2 Osnovne funkcije avtomatizacije obratovanja	82
3.1.3 Bremenska stikala	82
3.1.4 Lokatorji okvar.....	82
3.1.5 Avtomatizacija obratovanja z odklopniki na ločilnih mestih.....	84
3.1.6 Časovna analiza odprave napake.....	85
3.1.7 Ločilno mesto	86
3.2 FUNKCIJE DISTRIBUCIJSKEGA CENTRA VODENJA	88
3.2.1 Sistemske storitve	89
3.2.2 Kriterij n-1	89
3.2.3 Centri vodenja (DCV).....	89
3.2.4 Nadzor kakovosti električne energije	91
3.2.5 Spremljanje atmosferskih razelektritev	93
3.2.6 Nadzor zaščitnih naprav elektroenergetskih objektov	93
3.2.7 Avtomatska regulacija napetosti.....	94
3.3 OBRATOVALNA IN VZDRŽEVALNA NAVODILA	94
3.4 IZVAJANJE STIKALNIH MANIPULACIJ	102
3.4.1 Vzdrževanje elektroenergetskih objektov – postrojev.....	104
3.5 POVZETEK POGLAVJA »VODENJE DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA«.....	106
4 LITERATURA.....	108

KAZALO SLIK

Slika 1: Grob prikaz elementov optimizacijskega modela po kriteriju najnižjih stroškov iz obdobja integriranega elektrogospodarstva Slovenije.....	8
Slika 2: Evropska interkonekcija UCTE.....	10
Slika 3: Sinhronski generator v prostem teku.....	15
Slika 4: Proizvodnja jalove moči.....	15
Slika 5: Postopno dovajanje mehanske moči na gred generatorja (1, 2, 3 ...).....	16
Slika 6: Skica prečne in vzdolžne smeri reaktanc.....	17
Slika 7: Potek vzdolžne in prečne reaktance v odvisnosti od kota med poli.....	17
Slika 8: Nazivna obremenitev generatorja pri nazivni napetosti na sponkah.....	18
Slika 9: Notranja napetostna slika generatorja pri nazivni napetosti na sponkah in $\cos\varphi = 1$ na sekundarnih sponkah ter 50 % obremenitvi (relativna sinhronska reaktanca $X_s=1$).....	18
Slika 10: Obratovalni primer turbogeneratorja s ($p=1$) pri obremenitvi S_n in $\cos\varphi = 0,6$ na sekundarni strani.....	19
Slika 11: Premici konstantnih delovnih in jalovih moči.....	20
Slika 12: Prehod iz kazalčnega diagrama v obratovalni diagram.....	21
Slika 13: Obratovalni diagram sinhronskega turbo generatorja.....	22
Slika 14: Generacija pri različnih faznih faktorjih in konstantnem bremenskem toku.....	24
Slika 15: Kazalčni diagram stroja z izraženimi poli pri nazivni obremenitvi.....	25
Slika 16: Notranji padci napetosti z vzdolžno in prečno komponento bremenskega toka.....	26
Slika 17: Obratovalni diagram stroja z izraženimi poli.....	27
Slika 18: Konstrukcija teoretične meje statične stabilnosti.....	28
Slika 19: Proizvedena delovna moč za generator z izraženimi poli.....	29
Slika 20: Proizvodna moč turboagregata (modra sinusna funkcija) in sinhronizacijska moč, ki deluje na rotor turboagregata (rdeča kosinusna funkcija).....	30
Slika 21: Naprave sekundarnega sistema v izpopolnjevanju (RTP 400/110 kV).....	33
Slika 22: Uravnoteženo.....	1
Slika 23: Načelen dnevni obratovalni diagram elektroenergetskega sistema.....	38
Slika 24: Hidroelektrarne v verigi – kaskadi.....	40
Slika 25: Tri elektrarne v kaskadi z dotokom d_i med elektrarnama $i-1$ in i	40
Slika 26: Akumulacijska elektrarna.....	42
Slika 27: Grafičen prikaz vrst termoelektrarn.....	43
Slika 28: Plinska elektrarna.....	47
Slika 29: Elektrarna toplarna Ljubljana (TE–TOL).....	48
Slika 30: Poenostavljene sheme sklopov za ločeno proizvodnjo in.....	50
Slika 31: Shema delovanja jedrske elektrarne v Krškem (NEK).....	51
Slika 32: Statika agregata v primarni regulaciji.....	56
Slika 33: Konstrukcija statike ($s = 4\%$).....	57
Slika 34: Statika agregata 5 % (agregat je nazivno obremenjen).....	57
Slika 35: Paralelno obratovanje dveh enakih agregatov z različno.....	59
Slika 36: Prehodni pojav pri velikem izpadu proizvodnje moči.....	60
Slika 37: Poenostavljena načelna shema delovanja sekundarne regulacije.....	61
Slika 38: Interkonekcija treh elektroenergetskih sistemov A, B in C z medsebojnimi izmenjavami.....	63
Slika 39: Zunanja krivulja stroškov termoagregata.....	65
Slika 40: Specifični in marginalni obratovalni stroški agregata.....	66
Slika 41: Optimalno obratovanje v EES pri urni obremenitvi.....	66
Slika 42: Aproksimacija marginalnih stroškov s premico.....	67
Slika 43: Grafična konstrukcija optimalnega obratovanja dveh termoagregatov pri zahtevani skupni moči.....	68
Slika 44: Shema vodenja elektroenergetskega sistema Slovenije.....	70

Slika 45: Energetska vozlišča elektroenergetskega sistema Slovenije	75
Slika 46: Srednjenapetostno daljnovodno polje v RTP 110/20 kV	78
Slika 47: Načelna skica dolgega srednjenapetostnega voda z večjim številom ločilnih mest; vod začenja z odvodnim poljem prikazanim na prejšnji sliki (Slika 46)	79
Slika 48: Načelna slika srednjenapetostne zanke, ki je v normalnem obratovanju prekinjena (odprta) v točki LM (ločilno mesto)	80
Slika 49: Blok–diagram časovnega poteka lokacije okvare,.....	82
Slika 50: Primer uporabe indikatorjev na SN odcepu.....	83
Slika 51: Načelna avtomatizacija distribucijskega omrežja z uporabo odklopnikov (shema prikazuje le odklopnike, drugi elementi omrežja so opuščeni).....	84
Slika 52: Izklopi naprav iz različnih vzrokov	85
Slika 53: Ločilno mesto z daljinsko vodenim bremenskim stikalom na betonskem drogu.....	86
Slika 54: Krmilna omarica daljinsko vodenega stikala na drogu.....	87
Slika 55: Glavni izvori podatkov za vodenje omrežja	91
Slika 56: Primer avtomatskega napetostnega regulatorja	94
Slika 57: Enočrtna stikalna shema RTP 110/20 kV z oznakami zaporednih stikalnih manipulacij za preklon izvodov iz ene zbiralke na drugo brez prekinitve napajanja	97
Slika 58: Vzorec komandne plošče daljnovodnega polja 110 kV	98
Slika 59: Vodna celica 20 kV z vsemi podrobnostmi, ki jih mora poznati obratovalec	101
Slika 60: Plošča za krmiljenje stikalnih manipulacij iz komandnega prostora postroja.....	103
Slika 61: Krmiljenje preko računalnika polja odvoda 20 kV v RTP 110/20 kV	104

*Iz prakse za prakso ob
upoštevanju sodobne
tehnologije in moderne
tehniške znanosti.*

Avtor

PREDGOVOR

Pričujoče delo »Vodenje elektroenergetskih sistemov« je osnovano na 20-letnem delu v evropski interkonekciji UCTE in izkustvih vodenja delovanja slovenskega elektroenergetskega sistema. Nivo predstavitev posameznih komponent delovanja in vodenja elektroenergetskega sistema je prilagojena študentom višje tehničnih šol skladno s trenutnimi oblikovanji šolskih gradiv in programov ter skladno z izkustvi pri 12-letnem predavanju predmeta »Vodenje elektroenergetskih sistemov« na višji tehnični šoli ICES v Ljubljani. V delu so opuščene podrobnosti in tudi težje matematične formulacije značilne za tovrstno literaturo.

Oblika je prilagojena trenutnim zahtevam za učbenike višjih tehničnih šol. V tekstu najdete oznake »T« s katerimi so označene temeljne navedbe, ki zaživijo v nadaljevanju teksta in predvsem s pomočjo podanih ilustrativnih primerov. Z enako oznako so označena tudi vprašanja in naloge za samostojno preverjanje znanja.

Način podajanja je specifičen za dosego visoke stopnje razumevanja in ne memoriranja ali učenja na pamet. Zato so važnejši izračuni predstavljeni grafično, tako ilustrativno kakor tudi z grafičnimi rešitvami, ki služijo bodisi za potrditev izračunanih rešitev ali pa za hitro oceno rešitev, ki so potrebne operativnim kadrom. Grafične rešitve dajejo preglednost in razumljivo analizo problemov in hkrati lahko služijo za oblikovanje rešitev z zadovoljivo natančnostjo za operativne kadre višješolskega nivoja.

Posebnost podanega gradiva sledi avtorjevemu načelu »iz prakse za prakso ob upoštevanju sodobne tehnologije in moderne tehniške znanosti«.

Dr. Janez Hrovatin

Ljubljana, februar 2009.

1 ELEKTROENERGETSKI SISTEMI IN INTERKONEKCIJA

Zamislimo si samostojno obratovanja elektroenergetskega sistema Slovenije nepovezano z evropsko interkonekcijo in izpad nuklearne elektrarne.

Številna širša območja Slovenija bi bila brez električne energije, mnoga bi imela motnje ob slabši kvaliteti električne energije.

V povezavi z interkonekcijo izpada ne občuti noben odjemalec, niti z znižanjem kvalitete dobave električne energije ne.

UVOD

Elektroenergetski sistemi dajejo možnost racionalnega delovanja elektrogospodarskih podjetij in omogočajo visoko kakovost dobave električne energije. Njihovo izpopolnjevanje je smotno tudi v tržnem gospodarstvu. Elektroenergetski sistemi pa so danes še dodatno modificirani. V slovenskem primeru daje to modifikacijo Agencija za energijo, ki izdaja splošne akte in druge dokumente s katerimi opredeljuje, nadzira in daje soglasja k bistvenim elementom dela sistemskih operaterjev. V ta sklop spadajo omrežnina, ki je namenjena za plačilo sistemskih operaterjev in omenjenih sistemskih storitev, pogoji za dobavo električne energije, sistemska obratovalna navodila, pravila za dodeljevanje zmogljivosti povezovalnih vodov in vrsto drugih Agenciji dodeljenih pristojnosti. Agencija za energijo je z Energetskim zakonom neposredno vključena v delovanje elektroenergetskega sistema in postavlja s svojim delovanjem sistemskega operaterja iz vrha tehnološke strukture v servisni položaj.

Trg z električno energijo je evropska usmeritev, ki v času pisanja te knjige ne daje oprijemljivih in predvsem načrtovanih rezultatov. Zato se bo evropski elektroenergetski trg še intenzivno izpopolnjeval in dopolnjeval. Delovanje elektroenergetskih sistemov je preizkušeno in omogoča racionalno in kakovostno preskrbo z električno energijo in hkrati tudi zanesljivo dopolnjevanje in nadaljnji razvoj trga z električno energijo.

Menjave kadrovske strukture v elektrogospodarskih podjetjih so še vedno številne in domala stalnica našega vsakdana. Smotno je, da so novi kadri dobro seznanjeni z rezultati in značilnostmi preteklega obdobja.

T Brez upoštevanja značilnosti elektrogospodarstva se rado sprejmejo škodljive odločitve o razvoju elektrogospodarstva. Takim odločitvam pod vplivom modne ali kratkoročne družbene klime se moramo ogniti upoštevajoč dolgoročne nacionalne interese (Hrovatin, et al., 2007).

Samostojna proizvodna podjetja izkoriščajo možne racionalnosti v skupnem delovanju v interkonekciji. Pri tem se podrejajo pravilom interkonekcije in pravilom delovanja elektroenergetskega sistema. Sistemska obratovalna navodila so uzakonjena in posnemajo tehnična določila evropske interkonekcije UCTE.

Sinhronski generatorji oblikujejo v paralelnem obratovanju institucijo vzajemne pomoči, kar daje posameznim sistemom visoko stopnjo odpornosti in kvalitete obratovanja.

1.1 OSNOVNE LASTNOSTI

TLastnosti obratovanja elektroenergetskega postroja se močno razlikuje, če postroj deluje sam ali pa je povezan v elektroenergetski sistem ali celo preko elektroenergetskega sistema v interkonekcijo. Za naše razmere je pomembno, da poznamo bistvene lastnosti delovanja elektroenergetskega postroja v interkonekciji, ker domala vsi postroji v njej obratujejo.

Delovanje v interkonekciji prinaša sinergijske učinke. Mednje spada institucija vzajemne pomoči, ki daje elektroenergetskim sistemom Evrope možnost racionalne preskrbe z električno energijo z visoko kvaliteto.

Vzajemno delovanje generatorjev v sinhronski interkonekciji je posebnost evropske interkonekcije. Vzajemnost delovanja generatorjev v interkonekciji je bistvena razlika v primerjavi z generatorjem ali elektrarno, ki sama preskrbuje svoj odjem z električno energijo.

Elementi elektroenergetskih sistemov morajo biti za delovanje v sistemskih regulacijah projektirani, v obratovanju pa morajo izpolnjevati sistemske pogoje kar predvsem velja za proizvodne kapacitete.

Karakteristike delovanja elektroenergetskih postrojev in sistemov moramo obravnavati v svetlobi trgovanja z električno energijo in pri tem izkoriščati prednosti obratovanja v elektroenergetskem sistemu. Koristi, ki narekujejo nujnost obstoja in delovanja elektroenergetskega sistema narekujejo ustrezno projektiranje in gradnje elektroenergetskih objektov, ki bodo v delovali v povezanem obratovanju.

Elektroenergetska omrežja imajo monopolen položaj medtem ko so elektrarne v konkurenčnih odnosih. Elektroenergetski sistem in elektroenergetska omrežja so zakonsko regulirana in to tako na razvojnem kot v obratovalnem področju.

Za objekte 110 kV in več so obratovalna navodila zakonsko obvezna, saj spadajo ti objekti med zahtevne (Uredba o vrstah objektov, 2008). Obratovalna navodila elektroenergetskega objekta vsebujejo posebnosti njegovih elementov in posebnosti postroja kot celote, pa tudi njegovih povezav v elektroenergetski sistem. Obratovalna navodila predstavljajo osnoven dokument za varno delo, zato vsebujejo občutljiva strokovno preverjena določila tako s področja projektiranja kot obratovanja.

Prenosna omrežja so zazankana omrežja. Njihov izračun najdete v elementih EES. Konfiguracija stikališč prenosnega omrežja je prilagojena sistemskemu obratovanju.

1.1.1 Izbrane lastnosti obratovalne prakse elektroenergetskega sistema

V petdesetih letih preteklega stoletja se je postopoma oblikoval slovenski elektroenergetski sistem s svojimi funkcijami razvoja in vodenja. V letu 1974 se je kot podsistem jugoslovanskega elektroenergetskega sistema vključil v interkonekcijo UCPTE (podpoglavje 1.2).

Elektroenergetski sistem Slovenije je deloval v spreminjajočih se organizacijskih oblikah. V nekaterih organizacijskih oblikah in vplivih družbeno-političnega okolja je prihajalo do kritičnih stanj, ki so se kazala v pomanjkanjih električne energije. V obdobjih, ki so sledila tem stanjem, se je elektrogospodarstvo lahko učinkovito odzvalo le v organizacijski obliki integriranega elektroenergetskega sistema in tako uspelo normalizirati delovanje elektrogospodarstva z usklajenim dograjevanjem postrojev in izboljšanjem preskrbe z električno energijo na racionalen način.

Izkoriščajoč dane tehnološke možnosti, naravne danosti in izsledke tehničnih in elektrotehničnih znanosti, je elektrogospodarstvo v posameznih časovnih obdobjih udeleženo moderne in racionalne rešitve za preskrbo gospodarstva in gospodinjstev z električno energijo. Do zgodnjih 90. let so tako slovenska kot evropska elektrogospodarstva delovala na podlagi tehničnih elektroenergetskih sistemov, organiziranih v podjetjih, ki so obsegala najmanj visokonapetostno prenosno omrežje in proizvodnjo na geografsko zaokroženih območjih. Država jim je dala pravico in dolžnost preskrbovanja vseh odjemalcev na njihovem območju.

Elektrogospodarsko podjetje, ki je bilo pravno in organizacijsko elektroenergetski sistem je imelo na tehničnem področju dva osnovna sektorja, in to: razvoj in obratovanje.

Razvoj elektroenergetskega omrežja in proizvodnih zmogljivosti je temeljil na načrtovanju potreb po energiji in moči za srednjeročna in dolgoročna obdobja, za katera so nato oblikovali načrte razširitev zmogljivosti prenosnega omrežja in proizvodnih zmogljivosti in to z optimizacijskimi metodami po kriteriju najnižjih stroškov.

Obratovanje elektroenergetskih sistemov z odločilno vlogo centrov vodenja je temeljilo na kratkoročnih načrtih, ki so bili oblikovani v dnevni, tedenski, letni in orientacijsko na večletni obratovalni programih. Tako kot pri razvoju so bile tudi pri obratovalnem načrtovanju uporabljene optimizacijske metode s kriterijem najnižjih stroškov.

Za racionalen razvoj elektrogospodarskih zmogljivosti so bile potrebne čim bolj realne elektroenergetske prognoze, kar sledi iz navedb Hrovatin (et al., 2007).

V kriznem obdobju razpada Jugoslavije se je odjem močno zmanjšal skladno z upadom proizvodnje in gospodarstva. Po oživitvi gospodarstva na novih temeljih samostojne Slovenije je poraba električne energije ponovno narasla sorazmerno gospodarskemu razvoju. Nov državni aparat je v začetku 90. let kljub predvidenemu gospodarskemu razvoju načrtoval ničelno rast porabe električne energije, kar se je izkazalo kot zmotno in povzročilo zastoj gradenj elektrogospodarskih zmogljivosti. Pretečeno obdobje je pokazalo trdno soodvisnost dviga gospodarske rasti in standarda prebivalstva z dvigom porabe električne energije. Nепreverjeni teoretični izsledki in dobre želje ne zadostujejo za realno načrtovanje. Odpira se problem zaostajanja gradenj domačih proizvodnih zmogljivosti.

Evropa nezadržno drsi ne le v energetske temveč tudi v elektroenergetsko odvisnost. UCPTE je že v drugi polovici prejšnjega stoletja proučeval možnosti za povezave z Rusijo. Deklaracija ..., 2007 določa v poglavju Energija: »[...] posebno pozornost pa bo ponovno potrebno nameniti učinkovitosti dialoga med EU in Rusijo« (<http://www.uradni-list.si/1/content?id=79518>, 18. 10. 2008).

Kljub izjemnim prizadevanjem in načrtovanim uspehom pri racionalizaciji porabe električne energije načrtujejo v EU do leta 2050 podvojitve potreb po električni energiji! V *EURELECTRIC* (Potočnik, 2007, 36) navaja: »By 2050, Europe will use more than twice as much electricity as it does today«. Tako velika rast porabe električne energije bo zahtevala izjemne strateške usmeritve in velika vlaganja. Potrebne bodo ojačitve elektroenergetskih omrežij, gradnja novih jedrskih elektrarn IV generacije, predvidena je vključitev distribuirane proizvodnje številnih manjših proizvodnih enot, skladiščenje ogljika, ki nastaja ob izgorevanju v premogovnih termoelektarnah in drugi ukrepi med katerimi je uvoz električne energije in energentov med najbolj kompleksnimi. Opcija manjše porabe električne energije, ki naj bi zadostovala za načrtovan gospodarski razvoj, bi bila mogoča ob drastičnih spremembah in novitetah na področju proizvodnje in porabe električne energije, ki pa danes še niso znane.

Opomba avtorja: Strateške usmeritve ne morejo upoštevati morebitnih nepredvidljivih gospodarskih in drugih katastrof ali vojn.

T *Kritično osvetlite analizo preteklega obdobja delovanja elektroenergetskega sistema in problematizirajte njeno upoštevanje pri strateških odločitvah nadaljnega razvoja. Pri tem upoštevajte tudi znanja iz Elementov elektroenergetskih sistemov.*

1.1.2 Elektroenergetski sistemi ob prehodu na trg z električno energijo

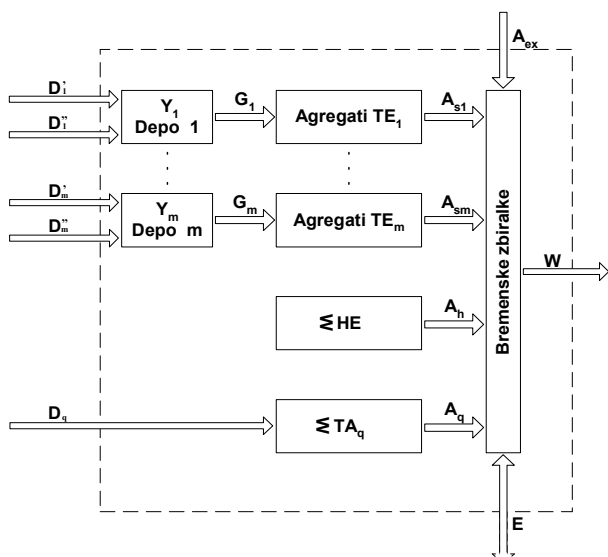
Neupoštevanje rezultatov preteklega obdobja smo bili priča domala v vseh elektrogospodarstvih Evrope in to predvsem na področju delovanja elektroenergetskih sistemov. Tudi slovensko elektrogospodarstvo kot del evropskega je bilo vključeno v ta proces.

V začetku 90. let se je evropskemu elektrogospodarstvu navrgel nov princip delovanja v sistemsko nepovezanih avtonomnih podjetjih (»un–boundling« elektrogospodarskih organizacij). Odnosi v elektrogospodarstvu naj bi bili učinkoviti ob prednostnem upoštevanju tržnih načel. Sledila je tako imenovana »deregulacija« ob sočasni zamenjavi izkušenih vodilnih tehničnih kadrov z novimi tržno orientiranimi kadri različnih strok. Novi vodilni timi so pomenili drastično prekinitev s tradicionalnimi oblikami delovanja elektrogospodarstev.

TDelovanje elektroenergetskih sistemov je bilo v preteklosti odločilno povezano s sistemskimi, kapitalsko močnimi elektrogospodarskimi podjetji, ki so jih v 90. letih želeli čim prej dezintegrirati. Z njihovo dezintegracijo so izginjali tudi elektroenergetski sistemi. Temeljite reorganizacije, redukcije tehniških kadrov in izginotje pomena elektroenergetskih sistemov bi lahko povzročili večje zmanjšanje zanesljivosti dobave električne energije in neracionalnosti elektrogospodarskih procesov, če ne bi bili v zahodno–evropsko interkonekcijo povezani sistemi tehnično dobro opremljeni z avtomatskimi sistemskimi regulacijami, poleg tega pa razpolagali z zadostnimi rezervami proizvodnih in tudi prenosnih zmogljivosti iz preteklega obdobja.

V Sloveniji so bile v nasprotju z ostalo Evropo reorganizacije stalne v celotnem obdobju po drugi svetovni vojni. Vzroki so bili predvsem politične narave, temelječi na razvoju samoupravnega sistema, želji po avtonomnosti samoupravnih organizacij in tekmovanju med pokrajinami za sedeže kapitalsko močnih podjetij. Zadnje je privedlo do delitve prenosnega omrežja na tri dele in pripojitve posameznih delov k Dravskim, Savskim in Soškim elektrarnam. Za uravnavanje sistemskega ravnotežja je delovala dispečerska služba s pogodbeno kritimi stroški. Služba, ki je uravnavala delovanje elektroenergetskega sistema, je imela torej servisni položaj, podobno kot danes!

Klasično zahodnoevropsko obliko elektrogospodarske organizacije pa je imelo Združeno podjetje elektrogospodarstva Slovenije, ustanovljeno v letu 1975. Vključevalo je poleg proizvodnje, prenosa in distribucije tudi rudnike, ki so dobavljali gorivo termoelektrarnam. Iz tega obdobja izhaja optimizacija obratovanja elektroenergetskega sistema, ki vključuje v funkcije hidrotermalnega sistema tudi funkcije gospodarjenja z gorivi. Kriterij optimizacije so bili najnižji stroški.



D: Dobava goriv
 Y: Količine goriv na posameznih deponijah
 G: Poraba goriv v posameznih termoelektrarnah
 A: Proizvodnja električne energije na pragu posameznih elektrarn
 A_{ex} : Uvoz in izvoz električne energije
 E: Naturalni prejem in dobava električne energije
 W: Električna energija na pragu odjemalcev slovenskega elektroenergetskega sistema

Slika 1: Grob prikaz elementov optimizacijskega modela po kriteriju najnižjih stroškov iz obdobja integriranega elektrogospodarstva Slovenije
 Vir: Hrovatin, et al., 2007, 435

Z uveljavitvijo organizacije »un-bundling« v prvi polovici 90. let je pomen elektroenergetskih sistemov povsem zbledel. Njihov pomen se je vračal počasi in nekako v ozadju. Danes imamo že urejene razmere, ki dajejo minimalne pogoje za zanesljivo delovanje elektroenergetskih sistemov. Treba pa je bilo »deregulaciji« dodati veliko močnejšo »regulacijo«, ki jo najdemo v uradnih listih. Slovenski energetske zakon (*Energetski zakon*, 2007) odreja sistemske operaterje, njihovo delovanje pa podrobneje določa več podzakonskih aktov. Slovenski energetske zakon je dostopen na naslovih: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=79243> in <http://www.uradni-list.si/1/content?id=87575> (10. 11. 2008). Med podzakonskimi akti sta za delovanje elektroenergetskega sistema najpomembnejša »Sistemska obratovalna navodila za prenosno omrežje« (Sistemska obratovalna navodila, 2007) in »Pravilnik o sistemske obratovanju distribucijskega omrežja«. Dostopna sta na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596> (10. 11. 2008) in <http://www.uradni-list.si/1/content?id=40802> (10. 11. 2008).

Z zakonom so predpisane »sistemske storitve«, ki naj omogočajo nemoteno, zanesljivo in kakovostno delovanje energetskega sistema. Razvoj proizvodnih zmogljivosti je opredeljen v okviru celotne elektroenergetike v Nacionalnem energetske programu. Razvoj in obratovanje kot klasični področji elektroenergetskih sistemov sta torej ponovno zagotovljeni tokrat z zakonskimi predpisi. Avtonomne elektrogospodarske organizacije so zavezane delovati v elektroenergetskem sistemu ter upoštevati pravila in priporočila UCTE. Zakon dodeljuje sistemske operaterju prenos električne energije, vzdrževanje in razvoj prenosnega omrežja in obratovanje elektroenergetskega sistema ob zagotavljanju bilančne enačbe, ki se v poenostavljeni obliki glasi:

$$A(t) + E(t) = W(t)$$

Pri tem je $A(t)$ časovna funkcija energetske vsote vseh proizvodnih zmogljivosti matičnega sistema, $E(t)$ časovna funkcija energetske vsote izvoza in uvoza ter $W(t)$ vsota odjema na sprejemnih energetske vozliščih distribucije, odjemalcev na prenosnem omrežju in izgub prenosnega omrežja. Za kakovostno obratovanje mora biti bilančna enakost zagotovljena tako v realnem času kot v vsakem načrtovalnem obdobju ob hkratnem zagotavljanju zadostnih sistemskih rezerv skladno s sistemskimi obratovalnimi navodili.

T Med sistemske rezerve spada tudi minutna rezerva kar sledi iz navedb Hrovatin (1992), ki elektroenergetskemu sistemu Slovenije omogoča samostojnost. V mednarodnem sodelovanju jo bo treba ohranjati, saj je bila pripravljena in osvojena

še pod vplivom prevladujoče tehnično–elektroenergetske miselnosti v evropski interkonekciji (Hrovatin, et al., 2007). Zagotavljanje zadostnih sistemskih rezerv bo potrebno reševati vzporedno z načrtovanjem bodočih relativno velikih proizvodnih enot v slovenskem EES.

Primerjaj in kritično osvetli obratovanje z najnižjimi stroški in trgovanje z električno energijo.

»Upravljaavec prenosnega omrežja« in »izvajalec prenosa« sta danes združena, kar omogoča racionalno organizacijo delovanja tehnično oblikovanega EES, ki se je izkazal v dolgoletni obratovalni praksi interkonekcije UCPTE. Združitev je predpisana (Sistemska obratovalna navodila za prenosno omrežje električne energije, 2007). Sistemska obratovalna navodila so na razpolago na naslovu <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596> (10.11.2008).

V organizaciji sistemskega operaterja sicer ni proizvodnje, vendar zakonska regulativa odreja tudi z njo potrebne sistemske povezave. Elektroenergetskemu sistemu je nadgrajen evropski trg z električno energijo, ki daje možnost konkurence le na področju proizvodnje električne energije. Žal pa z uvedbo elektroenergetskega trga ni uresničena predpostavka o nižjih cenah električne energije.

Nadaljnja lastnost elektrogospodarskih postrojev je **dolgoročnost načrtovanja in trajnostni razvoj**. Odločitve osnovane na učinkih kratkoročnih obdobjih lahko povzročijo težko popravljive škode nacionalnemu gospodarstvu.

T*V čem je po vašem mnenju nujnost dolgoročnega načrtovanja razvoja elektrogospodarskih zmogljivosti?
V čem je bistvo nacionalnega interesa delovanja in razvoja elektroenergetskega sistema?*

1.2 SAMOSTOJNA PODJETJA V ELEKTROENERGETSKEM SISTEMU

Elektrogospodarska podjetja so danes popolnoma samostojna podjetja z avtonomno odgovornostjo za svoje delovanje. Imajo svojo razvojno, obratovalno in tržno–ekonomsko komponento. Značilnost samostojnih podjetij v tržnem gospodarstvu je, da se uveljavljajo in pridobivajo dohodek v konkurenčnih medsebojnih odnosih. V elektrogospodarstvu velja zadnje le za proizvodna podjetja, medtem ko imajo omrežna podjetja monopolen položaj in spadajo v regulirano panogo gospodarstva. Ne glede na razliko med elektrogospodarskimi podjetji, ki nastajajo med proizvodnimi organizacijami na eni ter prenosnimi in distribucijskimi podjetji na drugi strani, delujejo vsa brez izjeme, v elektroenergetskem sistemu. Povezani v elektroenergetski sistem lažje in racionalnejše dosegajo kvaliteto obratovanja in kvaliteto preskrbe z električno energijo.

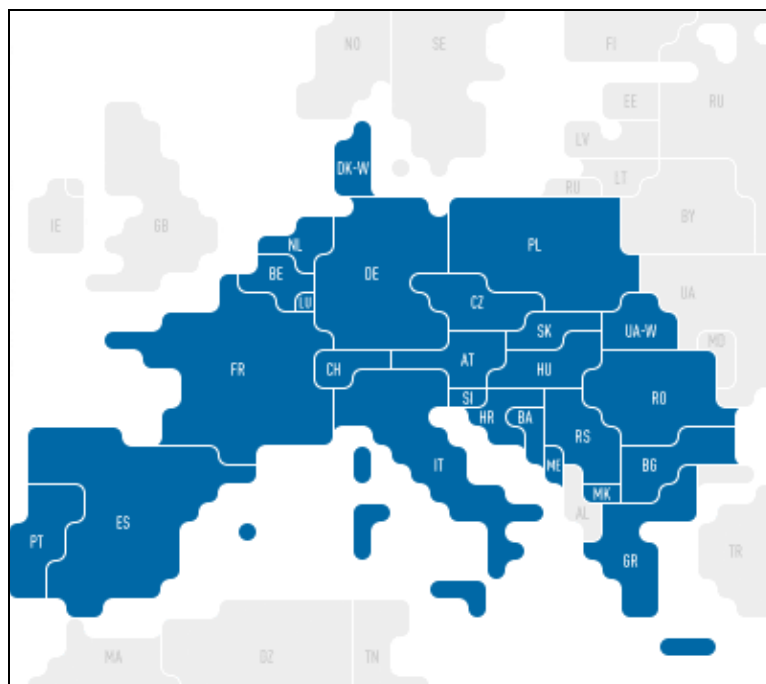
Elektroenergetski sistem je skup elektroenergetskih objektov, ki v harmoničnem-usklajenem delovanju izkazujejo sinergijske učinke in to v racionalnem delovanju s sistemskimi povezavami in v doseganju visoke stopnje zanesljivosti delovanja ter kvalitete dobave električne energije.

Elektroenergetski sistem združuje elektroenergetske kapacitete treh **panog elektrogospodarstva**, ki so proizvodnja, prenos in distribucija. Tudi v distribuciji električne energije govorimo o distribucijskem sistemu, nadalje govorimo o sistemu vodenja, o sekundarnih sistemih postroje v itd. V tem sestavku pa bomo dali poudarek na elektroenergetski sistem proizvodnje, prenosa in distribucije, pri čemer ugotavljamo, da je večina sistemskih funkcij na relaciji proizvodnja – prenosno omrežje. V sistemu so povezave elektroenergetskih objektov med seboj in v sistem omogočene s sekundarnimi sistemi

elektroenergetskih objektov in centrov vodenja. Prav tako so distribucijska omrežja in njihovi elementi povezani v elektroenergetski sistem preko sekundarnih delov distribucijskih postrojev.

1.3 PREDNOSTI DELOVANJA V INTERKONEKCIJI

Elektroenergetski sistemi se združujejo v večje sisteme – interkonekcije. Delovanje interkonekciji se odlikuje z izredno obratovalno zanesljivostjo, odpornostjo proti motnjam in vzajemno pomočjo, ki je neprecenljiva kadar zaide posamezen elektroenergetski sistem v težave. Slovenski elektroenergetski sistem že dolgo vrsto let deluje v evropski interkonekciji. Interkonekcija UCPTÉ (Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité) je bila ustanovljena v letu 1951. Obdobje pred letom 1991 je obdobje stalnega razvoja elektroenergetskih sistemov Evrope. Dosegli so zavidljivo stopnjo kakovosti delovanja, ki je evropskim odjemalcem dajala visoko kvaliteto dobave električne energije. Konec 90. let se je z odpiranjem trga z električno energijo interkonekcija preimenovala v UCTE. V njej ni bilo več proizvodnih podjetij (»P« je iz kratice odpadel). Interkonekcija ima svoja pravila (standardi UCTE) in priporočila, ki zagotavljajo delovanje posameznih elektroenergetskih sistemov in hkrati interkonekcije kot celote. Slovenski elektroenergetski sistem je član interkonekcije UCTE, ki je zveza elektroenergetskih sistemov kontinentalnega dela Evrope.



Slika 2: Evropska interkonekcija UCTE

Vir: <http://www.ucte.org/aboutus/> (20. 1. 2008)

T Današnji UCTE je združenje prenosnih omrežij 23 dežel in deluje na osnovi svoje tehniške regulative, ki zagotavlja harmonično delovanje elektroenergetskih sistemov kontinentalne Evrope. »Slovenski elektroenergetski sistem« kot del UCTE je uzakonjen, čeprav organizacijsko ne obstoja. Njegovo podrobno delovanje določajo podzakonski akti Energetskega zakona, med katerimi je najpomembnejši »Navodilo o sistemskem obratovanju prenosnega omrežja«. Pravila interkonekcije so upoštevana v vseh elektroenergetskih sistemih članic in tudi v obratovalnih navodilih posameznih elektroenergetskih postrojev.

Združevanje elektroenergetskih sistemov v interkonekcije pomeni za vsako članico poleg večje odpornosti proti motnjam tudi najracionalnejšo obliko delovanja. Za kvalitetno preskrbo svojih odjemalcev bi posamezen elektroenergetski sistem potreboval neprimerno več rezervnih kapacitet, kot je to potrebno v združenem obratovanju. Povezave v interkonekcijo omogočajo tako dobro izrabo energetskih virov kakor tudi racionalno pokrivanje obtežilnega diagrama posameznega sistema, ki je neodvisen od trenutnih razpoložljivosti elektrogospodarskih kapacitet. Sistemsko obratovanje je uspešno pri rešitvi problema osnovne značilnosti preskrbe z električno energijo: ***energija mora biti proizvedena v istem trenutku, ko odjemalec naključno priključi porabnika na napetost.***

1.3.1 Kvaliteta obratovanja in dobave električne energije

T Kvaliteto obratovanja elektroenergetskega sistema ocenjujemo iz več zornih kotov. Osnovno je zagotavljanje ravnotežja med proizvodnjo in uvozom na eni strani ter porabo in izvozom na drugi strani. Gre za dinamično pokrivanje odjema na območju matičnega elektroenergetskega sistema ob upoštevanju uvoznih in izvoznih pogodb ter zagotavljanju energetskih pretokov za čim bolj sproščeno trgovanje z električno energijo.

Kvaliteta obratovanja je v prenosnem omrežju osnovana na obratovanju v zankah, nasprotno pa v distribucijskem omrežju na radialnem obratovanju z možnostmi prenapajanja v primeru okvar.

Prenosna omrežja so omrežja interkonekcije in s pomočjo vzajemnega delovanja sinhronskih agregatov ter sistemskih regulacij zagotavljajo stalnost frekvence v določenih mejah. Tako je kvaliteta stalne frekvence stvar interkonekcije in ne posameznih dobaviteljev električne energije.

Kvaliteta obratovanja prenosnega omrežja pomeni tudi stalnost napajanja energetskih vozlišč, kjer pričanja distribucija električne energije.

V distribucijskem omrežju se kvaliteta obratovanja meri s številom izpadov na posameznih napetostnih nivojih omrežij, časom brez napetosti posameznih delov omrežij (in s tem odjemalcev priključenih na ta omrežja) in s hitrostjo odprave napak ter realizacije prenapajanj.

Celoten elektroenergetski sistem deluje kvalitetno zato, da bi bila dobava električne energije odjemalcem čim kvalitetnejša. Kvaliteta na pragu odjemalcev naj bi bila v predpisanih mejah skladno z dobavnimi pogoji in veljavnimi standardi. Med komponente kvalitete dobave električne energije štejejo tudi ***višje harmonske komponente*** tokov in napetosti ter dodatno še ***flikerji***. Tako višje harmonske komponente kot flikerji prihajajo predvsem iz porabniške strani. Uporabnik na pragu napajanja odjema tok, ki ga njegove naprave za delovanje potrebujejo. Če ta tok ni sinusen potem so tudi padci napetosti v distribucijskem omrežju nesinusni, kar povzroča višje harmonske komponente tudi pri odjemalcih na širšem preskrbovalnem območju. Večji tokovni sunki npr. pri delovanju obločnih peči, zlasti velikih odjemalcev, ki so priključeni na prenosno omrežje, se zaznajo na širših območjih, saj se širijo preko prenosnega omrežja. Omrežju neprilagojene velikosti sunkovitih obremenitev povzročajo večjo moč flikerja od 1, kar je nedopustno glede na evropska določila o kvaliteti dobave električne energije. Zato je potrebno soglasjem o priključevanju novih moči na distribucijsko in prenosno omrežje posvetiti zadostno pozornost.

Delovanje elektroenergetskih sistemov v interkonekciji zagotavlja visoko kvaliteto na sprejemnih točkah kjer pričenjajo distribucijska omrežja. Od tu dalje se kvaliteta interkonekcije nadaljuje le s kvaliteto frekvence, medtem ko so ostale komponente kvalitete, odvisne od obratovanja radialnih distribucijskih omrežij.

1.3.2 Vrednotenje združevanja elektroenergetskih sistemov

Za kvaliteto delovanja elektroenergetskega sistema na današnjem nivoju dajejo interkonekcijske povezave naslednje vrednote:

- T**
- manjše proizvodne kapacitete – manjše systemske rezerve;
 - visoko kvaliteto frekvence;
 - visoko kontinuiranost napetosti v energetskih vozliščih;
 - možnost realizacije uvoza in izvoza za pokrivanje obremenilnega diagrama sistema;
 - možnost optimalnega obratovanja in alternativnih virov;
 - trgovanje z električno energijo.

Manjše proizvodne kapacitete – manjše systemske rezerve

Samostojen elektroenergetski sistem brez vključevanja v interkonekcijo, bi moral imeti na razpolago velike rezerve proizvodnih zmogljivosti. Za nadomestitev izpadle proizvodne enote bi bila potrebna rezervna moč na nivoju rotirajoče rezerve. Poleg tega bi morale biti rezerve skladne z dinamično obremenilnega diagrama elektroenergetskega sistema. Dodatne rezerve bi bile potrebne tudi za kritje nihanja vodnatosti rek zlasti pri elektroenergetskih sistemih, ki ne razpolagajo z večjimi sistemskimi akumulacijami.

Visoka kvalitete frekvence

Stalnost frekvence je odvisna od ravnotežja med vsoto proizvodnih moči celotne interkonekcije in celotnim odjemom na območju interkonekcije, seveda pa tudi od moči vseh agregatov v primarni regulaciji. V primeru samostojnega elektroenergetskega sistema brez povezav bi bila kvaliteta frekvence nižja, poleg tega pa bi bilo nihanje proizvodnih moči v regulaciji večje.

Visoka kontinuiranost napetosti v energetskih vozliščih

Prispevek interkonekcije k visoki kontinuiranosti napetosti v energetskih vozliščih sovpada z visoko energetsko razpoložljivostjo. Izhaja iz ravnotežja med proizvodnjo in porabo in je v posameznih elektroenergetskih sistemih zagotovljena z vzajemnim delovanjem vseh agregatov v interkonekciji.

Izvoz in uvoz za kritje potreb odjema v matičnem sistemu

Povezave s sosednjimi in oddaljenejšimi sistemi omogočajo uvoz in izvoz električne energije in s tem racionalnejše pokrivanje obremenilnega diagrama matičnega sistema.

Optimalno obratovanje in alternativni viri

Možnost optimalnega obratovanja proizvodnih kapacitet in gradnje ter obratovanja alternativnih virov energije, ki so značilni po tem, da ne morejo proizvajati energije skladno z obremenilnim diagramom elektroenergetskega sistema, je omogočena s povezavo elektroenergetskega sistema v večjo interkonekcijo.

Trgovanje z električno energijo

Trgovanje z električno energijo daje elektroenergetskemu sistemu možnost izkoriščanja prenosnih in distribucijskih kapacitet ter odjemalcem na matičnem območju cenejšo električno energijo skladno z delovanjem trga.

Proizvodna, distribucijska in prenosna podjetja zagotavljajo delovanje elektroenergetskega sistema. Za delovanje so nujne pravice in obveznosti sicer samostojnih elektroenergetskih podjetij. Vzajemne obveznosti so določene s pravilnikoma o sistemskem obratovanju prenosnega omrežja in sistemskem obratovanju distribucijskega omrežja. Tu navajamo le tiste, ki so pomembne na medsebojnih sistemskih relacijah. Za pravilno delovanje elektroenergetskega sistema imajo tudi uporabniki s tehnično regulativo predpisane obveznosti. Uporabnik, priključen na prenosno omrežje mora imeti za svoje naprave izdelan načrt obratovanja za primer nastopa motenj. Načrt mora biti usklajen z načrtom operaterja elektroenergetskega sistema. Ukrepi povezani s temi načrti imajo prednost pred individualnimi interesi uporabnika.

Proizvodna podjetja kljub popolni ekonomski samostojnosti obvezno stopajo v odnose s prenosnim podjetjem, ki dejansko vodi elektroenergetski sistem. Proizvodna enota zagotavlja sistemskemu operaterju podatke kot so: vklopna stanja odklopnikov, ločilnikov in ozemljitvenih ločilnikov, regulacijske stopnje transformatorjev, meritve napetosti delovne in jalove moči in vse relevantne podatke s področja sodelovanja v sekundarni regulaciji. Sistemski operater pa pošilja v proizvodno enoto referenčne in želene vrednosti ter komande za sekundarno regulacijo kakor tudi referenčne in trenutne vrednosti relevantne za regulacijo napetosti in jalove moči. Tako omogoča proizvodna enota svoje sodelovanje v sekundarni in terciarni regulaciji, za kar mora razpolagati z ustreznimi kapacitetami in opremo. Proizvodna enota mora spreminjati proizvodnjo jalove moči od spodnje do gornje meje v nekaj minutah. Zaščita vodov mora dovolj hitro prekiniti kratke stike blizu elektrarne, ki bi lahko pripeljali do nestabilnosti ali odklopa proizvodne enote.

Plan zaustavitev zaradi vzdrževalnih del mora biti usklajen s sistemskim operaterjem. Vsaka proizvodna enota, ki obratuje na 110, 220 ali 400 kV omrežju mora sistemskemu operaterju nuditi regulacijo napetosti. Nastavitve regulatorjev morajo biti skladne s tehničnimi možnostmi in zahtevami sistema operaterja, saj ima proizvajalec pravico in dolžnost sodelovati v sistemskih regulacijah.

Proizvajalec je na zahtevo operaterja dolžan spremeniti obremenitev na določenih prevzemno-predajnih mestih za primer neizpolnjevanja sigurnostnega kriterija v elektroenergetskem sistemu.

Proizvajalci električne energije in lastniki zasilnih agregatov, katerih električna napeljava je priključena na distribucijsko omrežje, morajo imeti za svoje agregate zaščito pred povratnim napajanjem. Zagotavljati morajo tudi fazni faktor dogovorjen s sistemskim operaterjem distribucijskega podjetja.

Operater distribucijskega omrežja in operater prenosnega omrežja si medsebojno zagotavljata podatke iz vseh stičnih točk obeh omrežij. Gre za podatke kot so: vrednosti tokov, napetosti, moči in energije, položajne signalizacije stikalnih naprav in podatke o kakovosti električne energije.

Tako operater distribucijskega omrežja kot operater prenosnega omrežja zagotavljata sigurnostni kriterij $n-1$ na svojem območju.

Tocenite pomembnost posameznih obveznosti proizvodnih, distribucijskih in prenosnega podjetja za delovanje elektroenergetskega sistema.
Vsako od naštetih obveznosti vključite v ustrezno funkcijo vodenja ali delovanja elektroenergetskega sistema.

1.3.3 Sistemska evropska regulativa

Ozko sodelovanje elektroenergetskih sistemov v interkonekciji naj bi privedlo do največjih možnih koristi udeležencem v vzajemnem delovanju.

V ta namen je UCTE oblikoval številna tehnična pravila in priporočila za obratovanje elektroenergetskih sistemov, ki jih najdemo v UCTE priročniku («UCTE Operation Handbook»). Priročnik je dostopen na naslovu

<http://www.ucte.org/activities/systemoperation/operationhandbook/> (20. 1. 2009). Na osnovi priporočil in pravil so vsi evropski elektroenergetski sistemi izdali svoja pravila, med katerimi so tudi slovenska sistemska obratovalna navodila za prenosno omrežje. Priročnik je dostopen na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596> (20. 1. 2009).

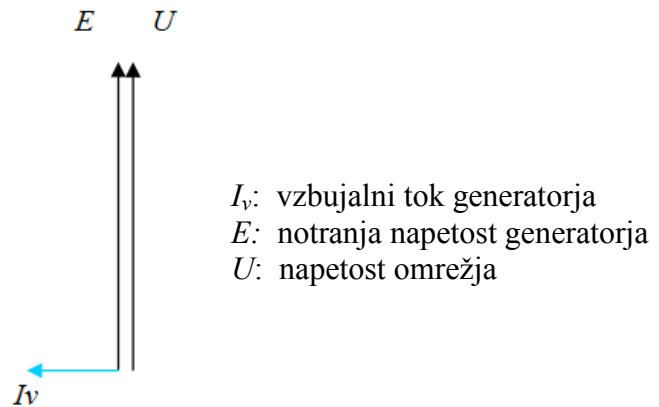
Tehnična regulativa UCTE se je dejansko izpopolnjevala več kot 50 let. Danes vsebuje tako tehnične novosti kot politične vplive. Priročnik UCTE je kondenzirana zbirka veljavnih tehničnih pravil in priporočil, ki služi vsem evropskim elektroenergetskim sistemom pri delovanju sinhronske interkonekcije. Sem spada doktrina evropskega obratovanja in vodenja, nadzor nad delovanjem elektroenergetskih postrojev, sistemske regulacije, doktrina vzdrževanja sistemskih rezerv, sigurnostni kriterij in obratovalni ukrepi v posebnih situacijah.

1.3.4 Sinhronska interkonekcija in lastnosti sinhronskega generatorja

Osnovne lastnosti interkonekcije so povezane z lastnostmi sinhronskega generatorja. Vsa omrežja interkonekcije delujejo v sinhronizmu; vsi sinhronski generatorji v interkonekciji obratujejo sinhrono, to je z istimi vrtljaji pravimo, da interkonekcija deluje v enakem ritmu.

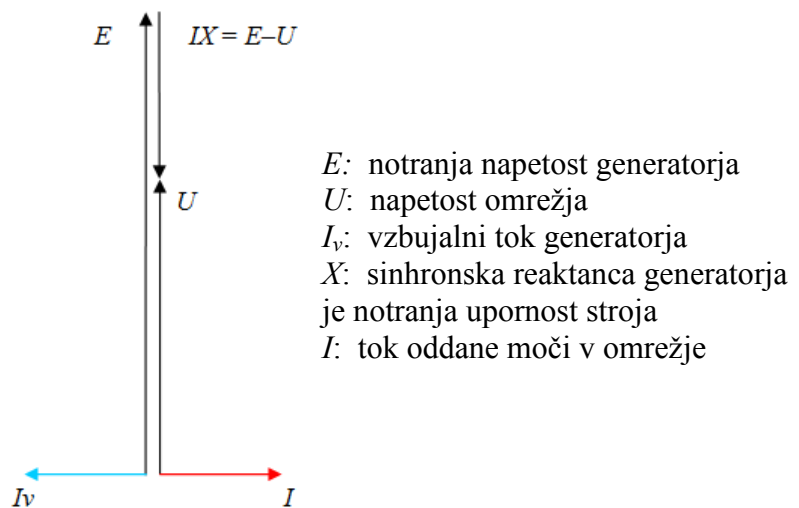
T Osnovni element elektroenergetskega sistema je danes sinhronski agregat, ki ga sestavljata turbina in generator. Agregatu, ki sam preskrbuje svoje območje z električno energijo, lahko s spreminjanjem vzbujanja spreminjamo napetost. Lahko mu tudi spreminjamo obrate s čemer spreminjamo frekvenco oddane energije. Ko generator sinhroniziramo z elektroenergetskim sistemom zlasti še, ker je elektroenergetski sistem vključen v interkonekcijo velikih moči se agregatu popolnoma spremenita obe omenjeni osnovni značilnosti. Če želimo pospešiti vrtenje rotorja in v ta namen odpremo ventile dovoda pare ali vode na turbino, generator vrtljajev ne bo spremenil. Sinhronske sile ga obdrže v ritmu interkonekcije, to je pri vrtljajih, ki dajejo frekvenco 50 Hz. Naša prizadevanja za povečanje števila vrtljajev povzročijo le kolesni kot, to je kot med notranjo napetostjo (E) in napetostjo omrežja (U). Kot je znanilec proizvodnje delovne moči in energije. Dovedena mehanska moč se je pretvorila v električno. Generator in s tem tudi agregat ostaja v vsem območju normalnega obratovanja podrejen ritmu interkonekcije.

Na sliki (Slika 3) je prikazan prosti tek agregata, ki je priključen na močno (togo) evropsko interkonekcijsko omrežje. Če zvišamo generatorju vzbujanje se zviša njegova notranja napetost (E), ne pa tudi napetost na sponkah generatorja (U), ker je vezana na interkonekcijsko omrežje. Razlika med notranjo in zunanjo napetostjo požene v generatorju tak tok, da na notranji upornosti (sinhronski reaktanci X) povzroči padec napetosti (IX), ki zniža notranjo napetost generatorja na napetost omrežja. Napetost na sponkah generatorja postane enaka omrežni napetosti (Slika 3).



Slika 3: Sinhronski generator v prostem teku
Vir: Lasten

Napetost na sponkah generatorja mora biti pred sinhronizacijo na omrežje enaka po velikosti in po fazi omrežni napetosti. Obe zvezdi trifaznih napetosti se morata vrteti v isto smer. Napetostna slika tik pred sinhronizacijo in po sinhronizaciji je prikazana na sliki (Slika 3). Dejansko se po sinhronizaciji nič ne spremeni, napetostna slika ostane enaka dokler ne povečamo vzbujanja ali ne dovedemo moči na gred agregata. Če povečamo vzbujanje za 55 % dobimo stanje prikazano na sliki (Slika 4).

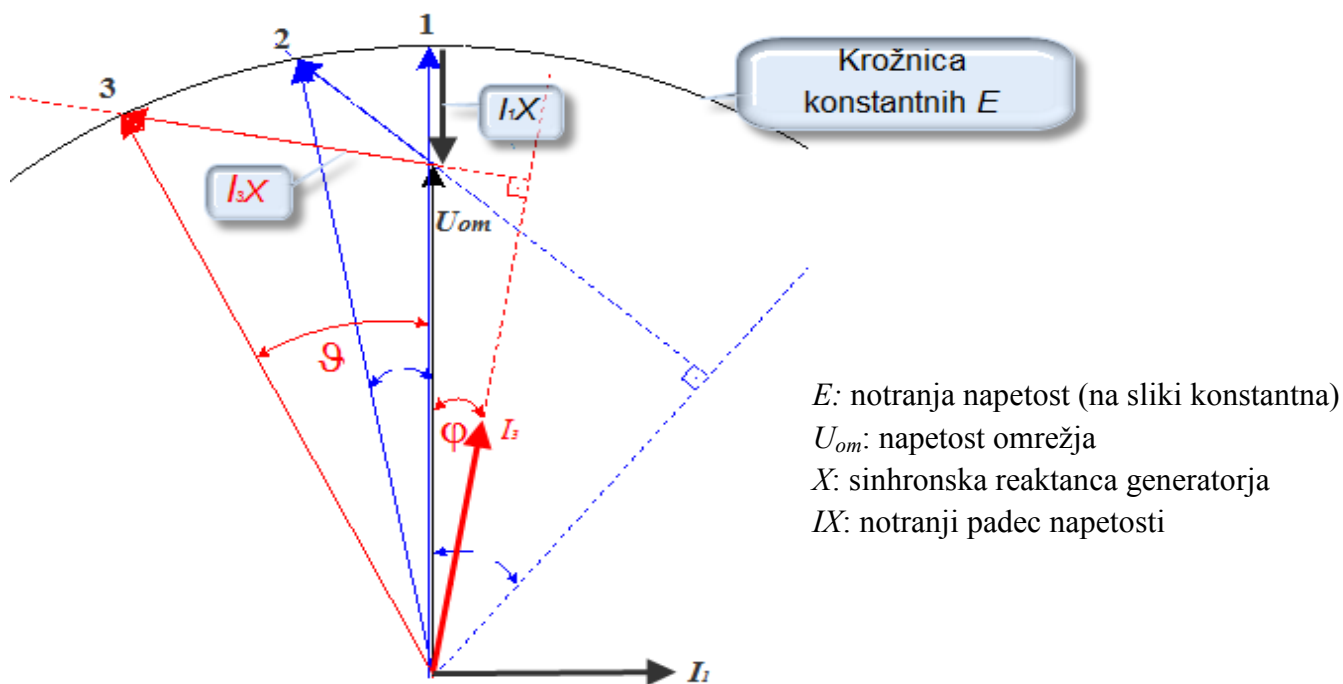


Slika 4: Proizvodnja jalove moči
Vir: Lasten

Nastali tok I (Slika 4) pomeni generacijo moči pri zaprtem dovodu mehanske (primarne) energije v turbino. Proizvedena moč je induktivna jalova moč.

Dodajanje mehanske moči na gred agregata

V stanju prostega teka povečamo vzbujanje za 23 % in dobimo položaj 1 (Slika 5). Generator oddaja v omrežje tok, ki zaostaja za napetostjo omrežja 90° . Tok povzroči padec napetosti tako, da se notranja napetost E izenači z omrežno U_{om} . Generator proizvaja induktivno jalovo moč. V stanju 2 smo dodali na gredi agregata delovno moč; v stanju 3 pa še večjo tj. dodatno moč. Pri dodani mehanski moči nastane ustrezen kolesni kot φ med notranjo napetostjo E in omrežno napetostjo U_{om} kot znanilec proizvodnje delovne moči.



Slika 5: Postopno dovajanje mehanske moči na gred generatorja (1, 2, 3 ...)

Vir: Lasten

Generator proizvaja poleg jalove tudi delovno moč:

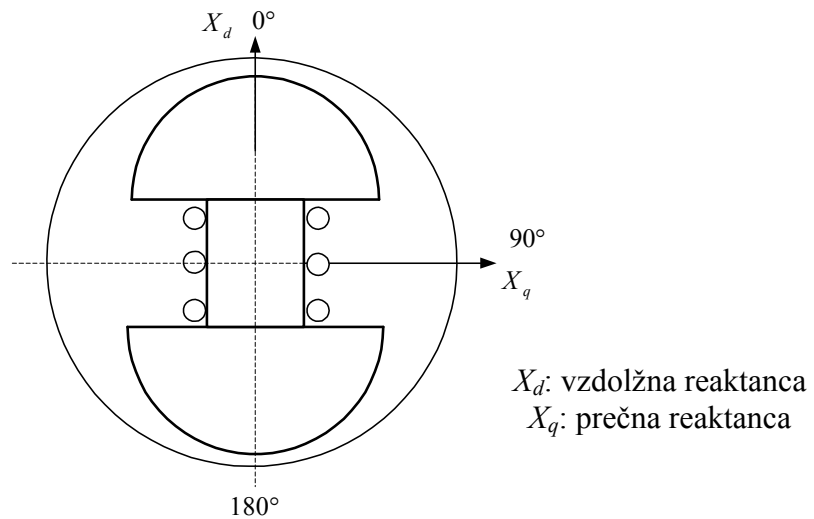
$$P = \frac{EU}{X} \sin \vartheta$$

S postopnim večanjem dodajanja mehanske moči na gredi generatorja skladno s sliko (Slika 5, stanja 1, 2, 3) se pri istem vzbujanju večja:

- tok statorja;
- kot φ ;
- proizvedena delovna moč;
- sočasno se manjša fazni kot φ in proizvedena jalova moč.

Notranja upornost sinhronskega generatorja

Kot vsi stroji ima tudi sinhronski generator svojo ohmsko in induktivno upornost. Zaradi visokega razmerja med induktivno in ohmsko upornostjo bomo v naših ocenah obratovalnih stanj ohmsko upornost zanemarili in upoštevali le induktivno. Imenovali jo bomo »sinhronska reaktanca generatorja« (X_s), ki je sestavljena iz prečne in vzdolžne komponente.



Slika 6: Skica prečne in vzdolžne smeri reaktanc
Vir: lasten

Reaktanca sinhronskega generatorja ima torej dve vrednosti in to v prečni in vzdolžni smeri kot je prikazano na sliki (Slika 6). Iz skice je razvidno, da je pot preko zraka in pot preko železa za obe reaktanci različna. Od tod tudi njuna neenakost.

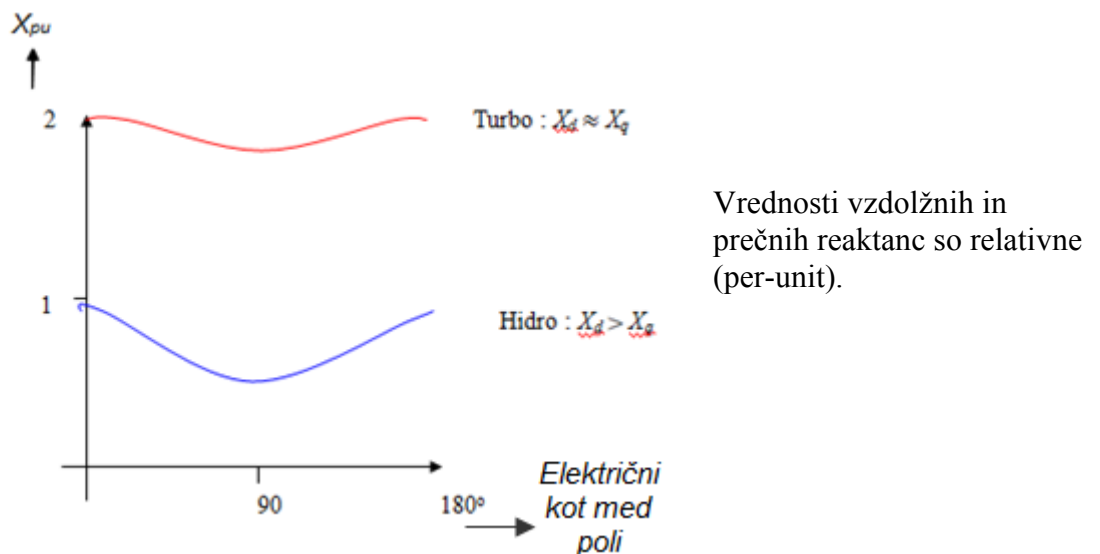
Dvopolen stroj ima zaradi hitrosti vrtenja cilindrično obliko. Dvopolen generator imenujemo po obliki rotorja tudi »turbo« generator. Magnetne poti se v vzdolžni in prečni smeri malo razlikujejo (cilindrična – turbo oblika rotorja). Tudi med vzdolžno in prečno reaktanco je posledično malo razlike kot je prikazano na sliki (Slika 7). Zato v naših obravnavah razlike ne bomo upoštevali: za turbogeneratorje bomo predpostavili le eno sinhronsko reaktanco.

Hidrogeneratorji ali stroji z izraženimi poli pa imajo večje razlike med obema reaktancama tako, da moramo upoštevati različnost obeh. Hidrogeneratorje bomo predstavili z vzdolžno in prečno reaktanco.

Na sliki (Slika 7) je na abscisi električni kot med poli od 0 do 180°. To je kot, ki je le pri dvopolnem stroju enak geometrijskemu kotu. Med vzdolžno in prečno smerjo je v tem primeru 90°, kot kaže slika (Slika 6).

Za 4-polni stroj ($p=2$) je 90 električnih stopinj 45 geometrijskih stopinj.

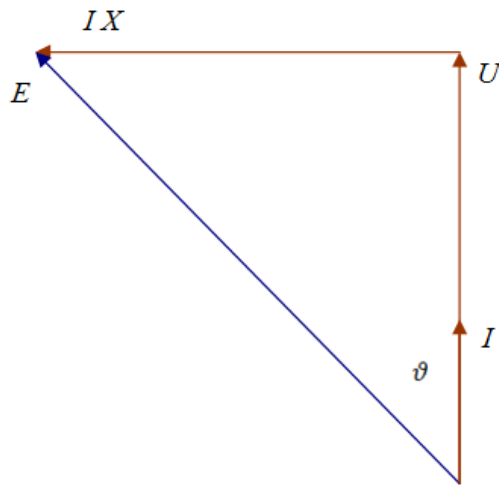
Za 6-polni stroj ($p=3$) je 90 električnih stopinj 30 geometrijskih stopinj itd.



Slika 7: Potek vzdolžne in prečne reaktance v odvisnosti od kota med poli

Vir: Lasten

Grafičen prikaz obratovalnega primera sinhronskega turbo generatorja ($p=1$) z relativno sinhronsko reaktanco $X=1$ pri nazivni obremenitvi in $\cos\varphi = 1$ je podan na sliki (Slika 8).



Slika 8: Nazivna obremenitev generatorja pri nazivni napetosti na sponkah in $\cos\varphi = 1$ na sekundarnih sponkah

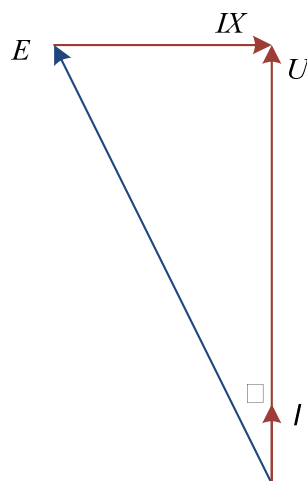
Vir: Lasten

Na sliki (Slika 8) je prikazan turbogenerator z naslednjimi podatki:

$$P = \sqrt{2} \sin 45^\circ = 1$$

$$S_n = 1$$

$$X_s = 1$$

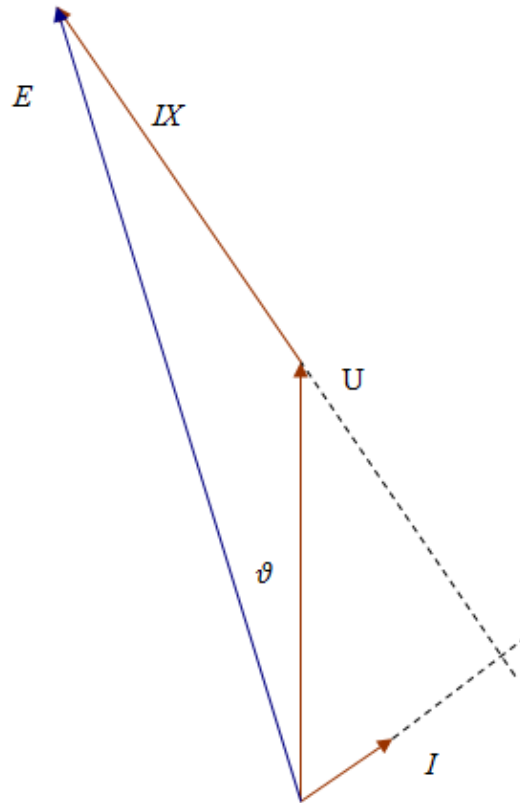


Slika 9: Notranja napetostna slika generatorja pri nazivni napetosti na sponkah in $\cos\varphi = 1$ na sekundarnih sponkah ter 50 % obremenitvi (relativna sinhronska reaktanca $X_s=1$)

Vir: Lasten

Izračun relativne delovne moči obratovalnega primera s slike (Slika 9):

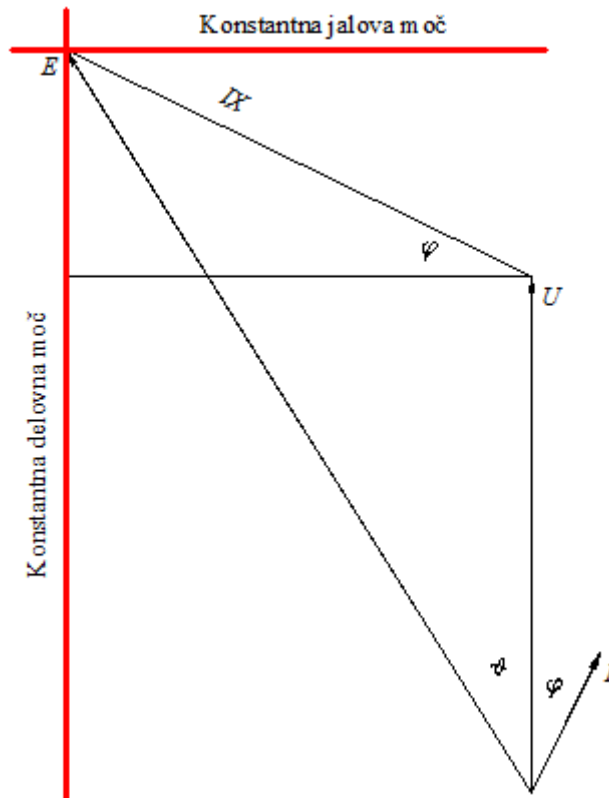
$$P = (EU / X) \sin \vartheta = 0,5$$



Slika 10: Obratovalni primer turbogeneratorja s ($p=1$) pri obremenitvi S_n in $\cos \varphi = 0,6$ na sekundarni strani
Vir: Lasten

Izračunana relativna delovna moč obratovalnega primera s slike (Slika 10) oddana na sponkah generatorja:

$$P = (EU / X) \sin \vartheta = 0,6$$



Slika 11: Premici konstantnih delovnih in jalovih moči
Vir: Lasten

Na sliki (Slika 11) je prikazan obratovalni primer turbogeneratorja:

$$\begin{aligned}
 X &= 1 \\
 S_n &= 6,3 \text{ MVA} \\
 \cos \varphi &= 0,9 \quad (\varphi = 25,84^\circ) \\
 U_n &= 6,3 \text{ kV (napetost na sekundarni strani)}
 \end{aligned}$$

Ko kazalca $\Delta U = IX$ in E na sliki (Slika 11) drsita po vertikalni premici (premica konstantne delovne moči) se spreminja le jalova moč, delovna pa ostaja konstantna: $P = S_n \cos \varphi$ ($P = 5,67 \text{ MW}$).

Ko kazalca ΔU in E drsita po horizontalni premici (premica konstantne jalove moči) se spreminja le delovna moč, jalova pa ostaja konstantna: $Q = S_n \sin \varphi$ ($Q = 2,75 \text{ Mvar}$).

Mehanska energija – električna energija

T Po sinhronizaciji na omrežje je generator vpet v sinhronsko interkonekcijo in je njen sestavni del.

Postopoma odpiramo paro (ali vodni dotok) na turbino. Kolesni kot se z vsakim dodatkom mehanske moči na gred generatorja poveča, skladno s sliko (Slika 5). S sinusom kolesnega kota se povečuje električna delovna moč oddana v omrežje. Povečevanje moči torej sledi dovajanju mehanske moči na gred generatorja, vendar se proti kolesnemu kotu 90° generator vedno manj odziva s spremembo moči na spremembo kolesnega kota. Pri 90° se odziv popolnoma ustavi. Smo na temenu sinusne krivulje. Če bi še dodali mehansko moč na gred generatorja bi bil odziv generatorja negativen. Namesto povečanja oddane moči v omrežje bi generator

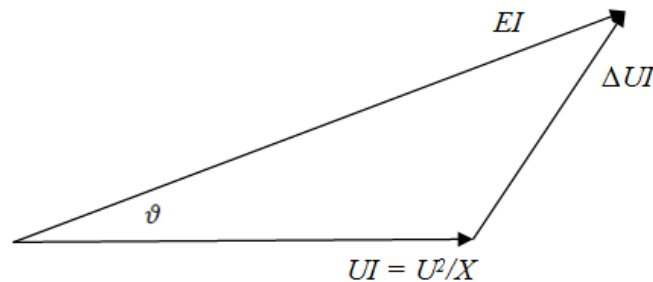
zmanjšal njeno moč. Ravnotežje mehanskega momenta in momenta generirane moči bi bilo porušeno. Generator bi padel iz sinhronizma.

Moč generatorja pri kolesnem kotu 90° imenujemo **omahna moč**, kajti generator pri tej moči omahne; ne sledi več povečevanju dovedene mehanske moči na gredi.

1.3.5 Obratovalni diagram generatorja

S kazalčnimi diagrami smo upodabljali različna obratovalna stanja. Nismo pa upoštevali omejitev agregata kot so dopustno segrevanja statorja ali rotorja in meje stabilnosti obratovanja. Kazalčni diagram, ki je diagram napetosti za prikazovanje omejitev ni primeren. Obratovalni diagram nam podaja dovoljeno obratovalno območje, ki upošteva omejitve turbine in generatorja.

Obratovalni diagram je diagram moči. Za prehod iz napetostnih slik kazalčnih diagramov, pomnožimo vrednosti napetosti z bremenskim tokom. Zmnožki podajajo moči za obratovalni diagram sinhronskega generatorja.

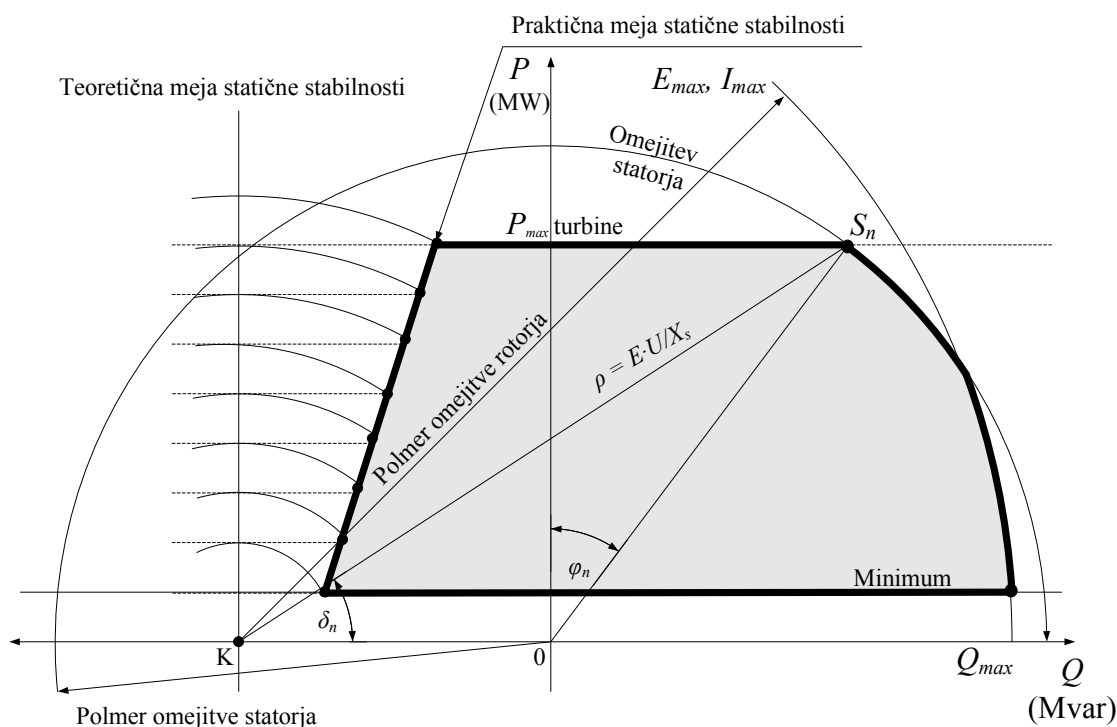


Slika 12: Prehod iz kazalčnega diagrama v obratovalni diagram

Vir: Lasten

Na pozitivni ordinati obratovalnega diagrama (Slika 13) so delovne moči; na desni strani (pozitivna smer) abscise so induktivne jalove moči, na levi strani (negativna smer) abscise pa kapacitivne moči.

Za prehod iz kazalčnega diagrama napetosti v obratovalni diagram moči moramo kazalce napetosti U , ΔU , E zavrteti za 90° v smeri urnega kazalca in vrednosti pomnožiti z bremenskim tokom.



Slika 13: Obratovalni diagram sinhronega turbo generatorja

Vir: Lasten

Konstrukcija obratovalnega diagrama

T Izhodišče koordinatnega začetka (0) je točka prostega teka. To je točka na konici puščice $\frac{U^2}{X}$ na sliki (Slika 12). V tej točki je notranja napetost generatorja enaka napetosti omrežja, torej je generator v prostem teku vzbujen za nazivno napetost na sponkah. Predpostavili bomo, da je omrežna napetost nazivna napetost. Daljica pomeni KO pomeni oddaljenost točke K od koordinatnega izhodišča; v obratovalnem diagramu je to moč:

$$UI = U \frac{U}{X} = \frac{U^2}{X}$$

Za primer generatorja nazivne moči $S_n = 75$ MVA in z notranjo upornostjo – sinhronsko reaktanco $X = 1,6$ je razdalja $KO \equiv 0,625$. Pri izbrani enoti za risanje obratovalnega diagrama (10 cm predstavlja nazivno moč) je relativna razdalja $KO = 6,25$ cm.

Mere diagrama so napatki za risanje, v slikah pa niso upoštevane.

Krivulje, ki opredeljujejo obratovalni diagram so: omejitev rotorja, omejitev statorja, omejitev moči turbine in dve stabilnostni omejitvi (teoretična in praktična) in obratovalni minimum, ki v sliki (Slika 13) ni vrisan. Omejitve podajajo dovoljeno obratovalno območje generatorja.

Omejitev rotorja

Obremenitev rotorja je omejena s temperaturo, ki še ni nevarna za izolacijo rotorjevega navitja, oziroma še ne pomeni pospešenega staranja izolacije. Maksimalni rotorjev tok daje maksimalno dopustno notranjo napetost E_{max} . Omejitev je krog, ki ima polmer:

$$\rho = \frac{EU}{X_s}$$

U , E , X_s so relativne vrednosti. Relativne vrednosti pomnožene z enoto za risanje obratovalnega diagrama dajo dolžinske enote ustreznih veličin, ki jih potrebujemo pri konstrukciji obratovalnega diagrama.

Primer: Konstrukcija obratovalnega diagrama z naslednjimi osnovnimi podatki:

$$U = 1; E = 2,5; X_S = 1,6; \cos\varphi_n = 0,8$$

Pri izbrani enoti za risanje obratovalnega diagrama 10 cm je omejitev toka rotorja krog s polmerom ρ .

$$\rho = \frac{EU}{X_S}$$

$$\rho \approx 15,6 \text{ cm}$$

Izračunali smo omejitev rotorja, ki je krožnica s središčem kroga v točki K.

Omejitev statorja

Omejitev statorja je podana z maksimalnim tokom statorja, katerega delovne izgube segrejejo rotor do dopustne meje, nad katero se prične pospešeno staranje. Izgube, ki grejejo rotor so I^2R ne glede v kateri smeri je tok, torej ne glede na fazni kot obremenitve. Tudi jalov tok povzroči na ohmski upornosti delovne izgube. Ker je vseeno za kakšen tok gre, ohmska upornost R pa je konstanta, je omejitev statorja krog s središčem v koordinatnem začetku.

Za nazivno moč (relativna vrednost nazivne moči: $S_n = 1$) je polmer kroga, enota za risanje obratovalnega diagrama pa naj bo 10 cm.

Na sliki (Slika 13) gre krog skozi točko 75 MW na ordinatni osi.

Omejitev turbine

Moč turbine je običajno podana z nazivno močjo generatorja in nazivnim $\cos\varphi$.

Za primer $S_n = 75 \text{ MVA}$ in nazivni $\cos\varphi = 0,8$ je omejitev moči turbine 60 MW (v obratovalnem diagramu na slik (Slika 13) je to horizontalna daljica na nivoju 60 MW).

Stabilnostna omejitev

Na levi strani obratovalnega diagrama je delovanje generatorja omejeno zaradi stabilnega delovanja generatorja.

Moč sinhronskega generatorja je omejena s kolesnim kotom 90° , ki predstavlja teoretično mejo statične stabilnosti. Na sliki (Slika 13) je prikazana z vertikalno iz točke K. Kot 90° pa je kot med absciso in teoretično mejo statične stabilnosti. Praktične meje statične stabilnosti pomenijo varen odklik od točke kolesnega kota 90° . Generatorji imajo različne praktične meje, mi jo bomo konstruirali tako, kot je prikazano na sliki (Slika 13).

Območje generatorja je torej omejeno s prikazanimi omejitvami statorja, rotorja, močjo turbine in praktično mejo statične stabilnosti. Manjka še meja minimalne obremenitve, ki je različna za posamezne vrste agregatov. Pri termoagregatih je meja visoka, pri premogovni tehnologiji celo do 40 % nazivne moči.

Notranji del krepko izvlečene črte na sliki (Slika 13) je delovno območje sinhronskega turboagregata. Omejitev minimum dovoljenega obratovanja, na sliki ni vrisan. Minimum v obratovalnem diagramu je vzporeden z abscisno osjo.

Dodatno je prikazana obratovalna točka pri nazivnih vrednostih z označenima kotoma φ_n in ϑ_n .

Prikazana je tudi točka obratovanja $P = 50 \text{ MW}$ in $Q = 50 \text{ Mvar}$. Pri tej generaciji moči je kolesni kot:

$$\vartheta = \arctg \frac{50}{47 + 50} = 27,3^\circ$$

47 Mvar v imenovalcu je daljica KO izražena z močjo.

T Moči sinhronskega generatorja v enačbah

Delovna in jalova moč za turbo generatorje:

$$P = UI \cos \varphi = \frac{UE}{X} \sin \vartheta$$

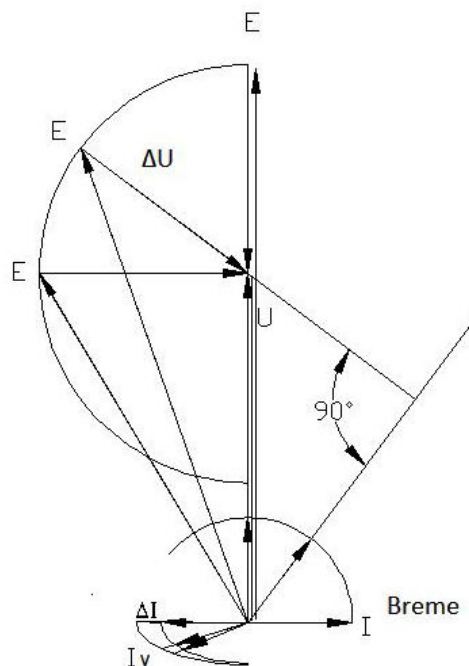
$$Q = UI \sin \varphi = \frac{UE}{X} \cos \vartheta - \frac{U^2}{X}$$

$X = X_S$: sinhronska reaktanca generatorja

Delovna in jalova moč pri strojih z izraženimi poli (hidrogeneratorji):

$$P = \frac{UE}{X_d} \sin \vartheta + \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\vartheta$$

$$Q = \frac{UE}{X_d} \cos \vartheta + \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2\vartheta - \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right)$$

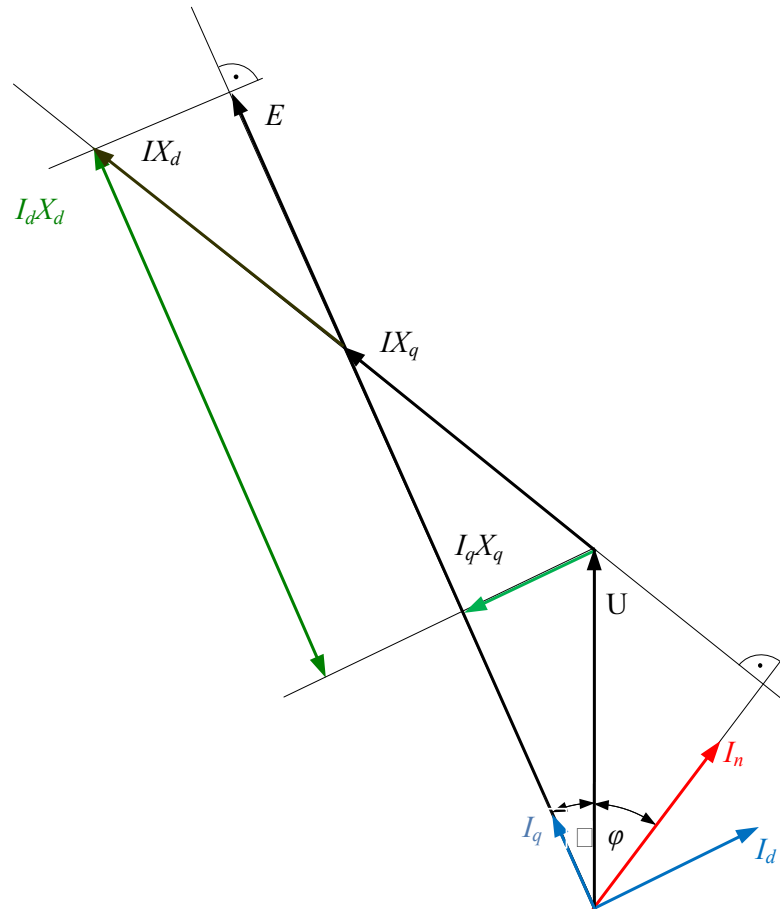


Slika 14: Generacija pri različnih faznih faktorjih in konstantnem bremenskem toku
Vir: Lasten

Pri konstantni navidezni moči in spreminjajočih se faznih faktorjih se konica toka I pomika po krožnici od kota 90° (čista jalova moč) do kota 0 (čista delovna moč). Istočasno se pomika kazalec ΔU po krožnici od verticalnega do horizontalnega položaja.

Vzbujalni tok ostaja vedno pravokoten na notranjo napetost E . Je premosorazmeren notranji napetosti z dodatkom ΔI , ki se večja z večanjem faznega kota bremenskega toka.

Generator z izraženimi poli



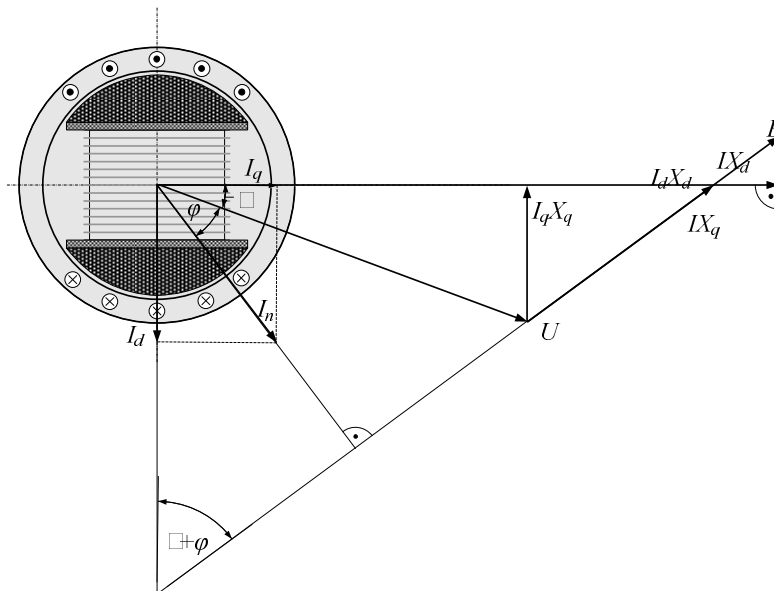
Slika 15: Kazalčni diagram stroja z izraženimi poli pri nazivni obremenitvi

Vir: Lasten

 X_q : prečna reaktanca ($X_q = 0,9_{\text{pu}}$) X_d : vzdolžna reaktanca ($X_d = 1,8_{\text{pu}}$)

Generator z izraženimi poli ima v kazalčnem diagramu upoštevano različnost prečne in vzdolžne reaktance. Kolesni kot je manjši kot pri turbogeneratorjih za isto moč.

Daljici padcev napetosti $X_d I$ in $X_q I$ pričenjajo na konici kazalca napetosti na sponkah generatorja U .



Slika 16: Notranji padci napetosti z vzdolžno in prečno komponento bremenskega toka
Vir: Lasten

Razmerja na sliki 16 ustrezajo generatorju z vzdolžno reaktanco $0,8_{pu}$ in prečno reaktanco $0,58_{pu}$. Na sliki je zaradi nazornosti le en polov par. Stroji z izraženimi poli pa so praviloma večpolni.

Obratovalni diagram generatorja z izraženimi poli

Izraženost polov se v obratovalnem diagramu podaja kot dodatek osnovan na razliki med vzdolžno in prečno reaktanco. Dodatek je krog (krog izraženosti polov) ki se dotika točke K, znane že iz obratovalnega diagrama turbogeneratorja

$$OK \equiv \frac{U^2}{X_d}$$

Premer dodanega kroga (kroga izraženosti polov):

$$U^2 \left(\left(\frac{1}{X_q} \right) - \left(\frac{1}{X_d} \right) \right)$$

Omejitev rotorja je vzbujačni tok, katerega omejitev konstruiramo s pomočjo daljice, ki predstavlja moč EU/X_d . Izberimo primer generatorja z $X_d = 122\%$ in $X_q = 67\%$. Ob izbrani enoti za risanje obratovalnega diagrama 10 cm je daljica, ki predstavlja omejitev rotorja:

$$\rho = \frac{EU}{X_d} \equiv \left(\frac{1,85}{1,22} \right) 10 = 15,2 \text{ cm}$$

(Opomba : Obratovalni diagrami v tem učbeniku so podani v pravilnih razmerjih ne pa tudi v izračunanih absolutnih vrednostih).

Točko omejitve rotorja narišemo tako, da daljico ρ naneseemo na premico kolesnega kota ϑ od dodane krožnice izraženosti polov, kot je prikazano na sliki (Slika 17) za kote ϑ : 0, 10, 15, 20°. Premice kotov ϑ izhajajo iz skrajne leve točke obratovalnega diagrama na abscisi (desne strani premera kroga izraženosti polov; to je točka K_1 na sliki (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**)).

Omejitev moči turbine določimo na enak način kot pri turbo generatorju z vzporednico z absciso osjo.

Teoretična meja statične stabilnosti

Pri turbogeneratorju je bila teoretična meja statične stabilnosti pri kolesnem kotu 90^0 , to je v točkah teoretično maksimalne moči:

$$P_{om} = EU/X \quad (\text{omahna moč})$$

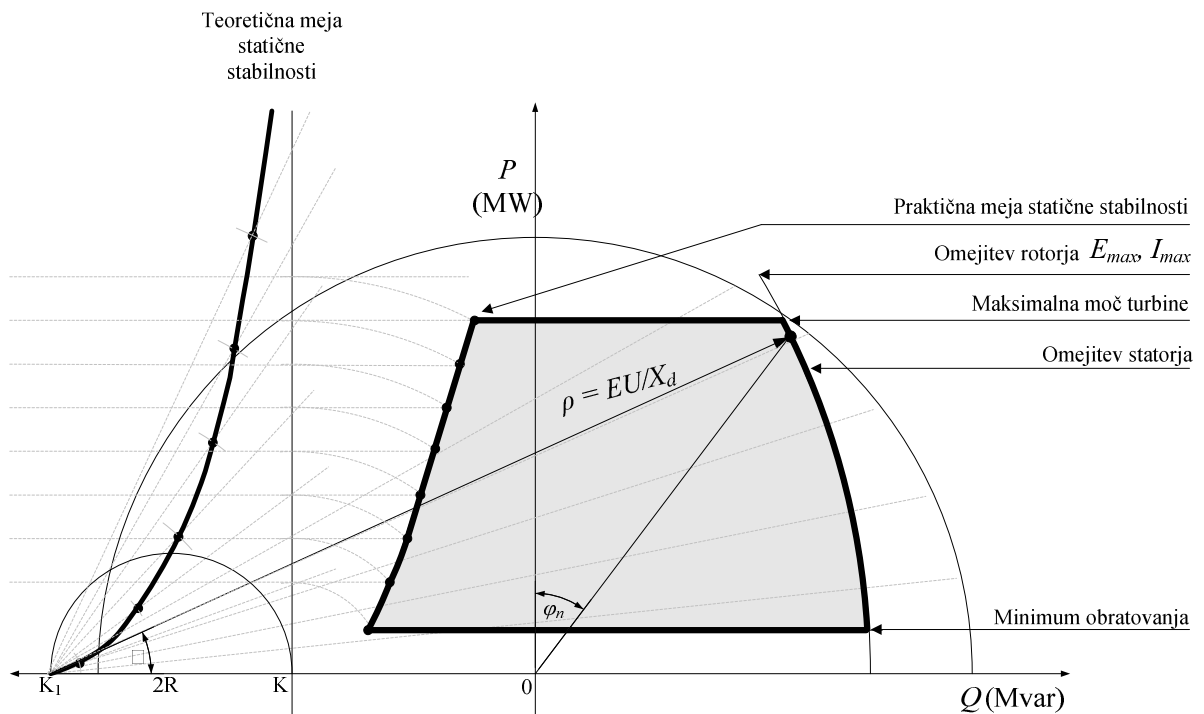
$P_{om} = f(E, U)$; pri konstantni napetosti U pa $P_{om} = f(E)$;
kjer je $dP/d\vartheta = 0$

Za generator z izraženimi poli določim mejo statične stabilnosti po enakem postopku kot pri turbogeneratorju z izračunom ekstrema funkcije delovne moči:

$$\frac{dP}{d\vartheta} = \frac{EU}{X_d} \cos \vartheta + \frac{U^2}{1} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2\vartheta = 0$$

Na osnovi gornje enačbe dobimo z uporabo trigonometričnih izrazov $\cos 2\vartheta = \cos^2 \vartheta - \sin^2 \vartheta$ in $\sin 2\vartheta = 2 \sin \vartheta \cos \vartheta$ izračunamo omahno moč – teoretično mejo statične stabilnosti:

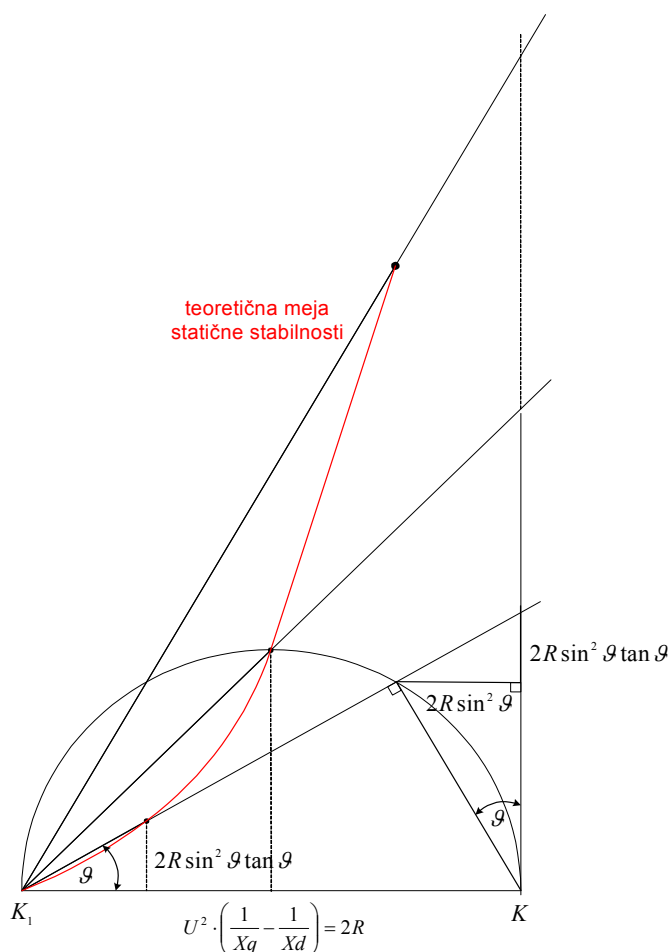
$$P_{om} = P_{MAX} = U^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin^2 \vartheta \operatorname{tg} \vartheta = 2R \sin^2 \vartheta \operatorname{tg} \vartheta$$



Slika 17: Obratovalni diagram stroja z izraženimi poli
Vir: Lasten

Razdalja med izhodiščem koordinatnega sistema in točko K: $\frac{U^2}{X_d}$

Grafično konstrukcijo teoretične meje statične stabilnosti s pomočjo podobnosti trikotnikov



Slika 18: Konstrukcija teoretične meje statične stabilnosti
(konstrukcija je prikazana s temi točkami)
Vir: lasten

prikazuje slika 18. Vertikalno razdaljo $2R \sin^2 \theta \tan \theta$ od abscise do premice nagiba θ določimo s pomočjo podobnosti trikotnikov. Posamezno točko meje statične stabilnosti določimo grafično za posamezne kolesne kote θ .

Namesto vertikalne razdalje $2R \sin^2 \theta \tan \theta$ od abscise do krivulje–meje statične stabilnosti (vertikalna kateta trikotnika) lahko vzamemo tudi hipotenuzo istega trikotnika, ki jo nanese na premico z nagibom θ , kar poenostavi in skrajša konstrukcijo teoretične meje statične stabilnosti na nekaj minut.

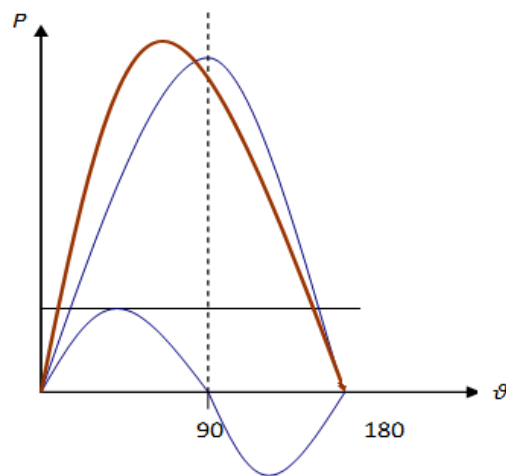
Na obratovalnem diagramu na sliki 17 je označena tudi omejitev minimuma moči v normalnem obratovanju.

Praktična meja statične stabilnosti

Določimo na enak način kot pri turbogeneratorju. Od teoretične meje statične stabilnosti je odmaknjena v desno (v nekaterih primerih je praktična meja statične stabilnosti podana kar s premico).

Poleg statične preverjamo še dinamično stabilnost, ki upošteva možne dinamične prehode in stanja, ki ne smejo ogroziti stabilnosti in sinhronega obratovanja.

Pri generatorju z izraženimi poli je v enačbi za delovno moč dodatek $2R = U^2(X_q^{-1} - X_d^{-1})$, ki pomeni maksimum druge sinusoide na sliki 19, ki nastopi pri kolesnem kotu 45° .



Slika 19: Proizvedena delovna moč za generator z izraženimi poli
Vir: Lasten

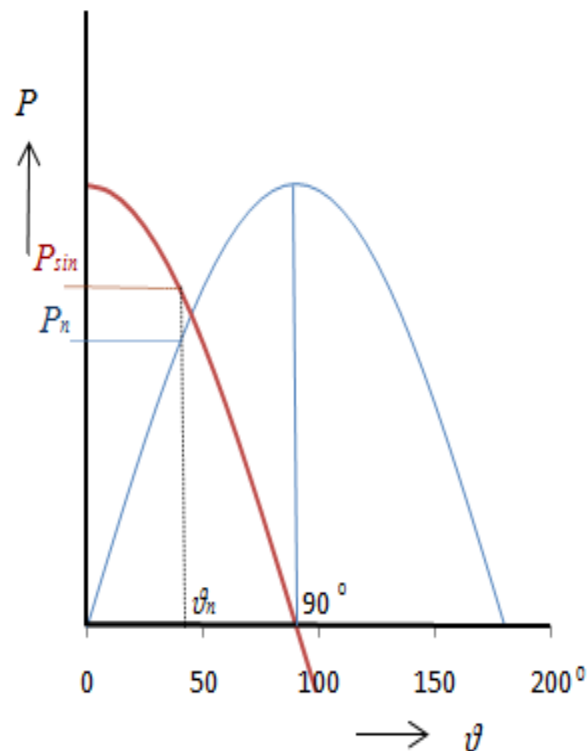
1.3.6 Sinhronske povezovalne sile

TKo sinhronski generator vstopi v paralelno obratovanje z veliko interkonekcijo, sta tako napetost na sponkah kot tudi vrtljaji določeni z vrednostmi interkonekcije. Če dovedemo na gred agregata več mehanske energije, generator ne poveča števila vrtljajev, temveč le proizvaja delovno energijo pri istih vrtljajih, z isto frekvenco. Moč, ki drži rotor generatorja v sinhronizmu interkonekcije je dana z razmerjem spremembe moči proti spremembi kota:

$$\frac{dP}{d\vartheta}$$

Pri turbo agregatu je proizvedena delovna moč sinusna funkcija kota ϑ . Tako je sinhronizacijska moč s katero je vpet rotor v ritem interkonekcije:

$$\frac{dP}{d\vartheta} = \left(\frac{EU}{X_s} \right) \cos \vartheta$$



Slika 20: Proizvodna moč turboagregata (modra sinusna funkcija) in sinhronizacijska moč, ki deluje na rotor turboagregata (rdeča kosinusna funkcija)

Vir: lasten

P_n : nazivna moč agregata

P_{sin} : moč vpetosti agregata v ritem sinhronske interkonekcije

V začetku obremenjevanja generatorja, takoj po sinhronizaciji, so sinhronizacijske sile oz. vpetost rotorja v ritem interkonekcije najmočnejše; rdeča krivulja je na maksimumu. Z večanjem proizvedene delovne moči in večanjem kolesnega toka sinhronizacijske sile in vpetost generatorja v ritem interkonekcije pojema, vendar je pri nazivni moči še vedno zelo močna. Kolesni koti pri nazivnih močeh so lahko različni.

Primer:

$$S_n = 100 \text{ MVA}$$

$$P_n = 80 \text{ MW pri nazivni napetosti}$$

$$n_s = 3000 \text{ vrt/min.}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$\varphi = 25,84^\circ$$

$$X = 1,8$$

$$E = 2,53$$

Delovna moč pri nazivni obremenitvi je $P = \left(\frac{UE}{X} \right) \sin \vartheta$

$$P = 80 \text{ MW}$$

Relativna omahna moč:

$$\frac{UE}{X} = \frac{2,53}{1,8} = 1,41$$

Omahna moč: $P_{om}=141$ MW

Kolesni kot pri nazivni obremenitvi: $\vartheta = \arcsin \frac{PX}{UE}$

$$\vartheta = 34,7^\circ$$

Relativna sinhronizacijska moč:

$$\left(\frac{EU}{X_s} \right) \cos \vartheta = 1,15$$

Pri nazivni moči agregata je v našem primeru sinhronizacijska moč s katero je generator vpet v ritem interkonekcije večja od nazivne moči.

Navor – moment pri nazivni obremenitvi:

$$M = \frac{P}{\omega}$$

$M = 80/2 \pi (3000/60)$; število vrtljajev turbo agregata $n_s = 3000$ vrt/min

$M = 0,25$ MNm

Pri premeru rotorja 2 m je pogonska sila na obodu rotorja 25000 daN.

Naloga

- Določite grafično največjo možno proizvodnjo jalove moči, če ste pogodbeno vezani na proizvodnjo delovne moči 6 MW.
Podatki agregata: $S_n = 10$ MVA, $\cos \varphi_n = 0,8$, $X_d = 122\%$ in $X_q = 67\%$; moč turbine je omejena na 8 MW.

1.4 PRIMARNI IN SEKUNDARNI DELI ELEKTROENERGETSKIH POSTROJEV

T Primarne elektroenergetske postroje smo že podrobno spoznali pri elementih elektroenergetskih sistemov. Gre za stikala, transformatorje, vode in seveda tudi njihove združbe – sklope kot so elektroenergetski postroji (npr. transformatorske postaje).

Vsi večji elektroenergetski postroji imajo svoje sekundarne sisteme, ki omogočajo delovanje primarne energetske opreme, preprečujejo njeno nepravilno delovanje in delujejo kot vmesnik za vodenje posamezne naprave, postroja in objekta, tako na samem objektu kot tudi daljinsko iz oddaljenih centrov vodenja.

Za vodenje omrežja sekundarni sistemi zajemajo podatke meritev trenutnih vrednosti, stanja stikal, prekoračitve omejitev, integrirane številne vrednosti, podatke o motnjah,

kronološke zapise dogodkov, nadzor nadalje omogočajo krmiljenje, določanje mesta okvare in sinhronskega časa.

Za vodenje elektrarn obsegajo sekundarni sistemi optimizacije obratovanja agregatov, avtomatizacija zagona in zaustavitve agregata, nadzor rezervnih moči, vodenje proizvodnje jalovih moči in avtomatski preklon napajanja lastne rabe.

Sekundarni sistemi omogočajo tudi nadzor sigurnosti in kvalitete obratovanja elektroenergetskega sistema z izvajanjem naslednjih funkcij:

- primarna, sekundarna in terciarna regulacija,
- regulacija jalovih moči in napetosti,
- podfrekvenčna zaščita za razbremenjevanje sistema.

Za vsak elektroenergetski postroj so relevantne zaščitne naprave za zaščito vodov, transformatorjev in generatorjev (glavna, preventivna in rezervna), zaščite zbiralk in zaščite pri zatajitvi delovanja odklopnika, avtomatski ponovni vklop, lokatorji mesta okvare, zapahovalne naprave, regulatorji ...).

Elektrogospodarske telekomunikacije uporabljajo optične vodnike kot osnovni komunikacijski medij v elektroenergetskih objektih in med njimi; omogočajo celovito uporabo hitro razvijajoče se numerične tehnologije.

Važnejši elementi sekundarnih sistemov:

- vmesniška oprema v objektih (ločilni releji, meritveni pretvornik),
- končne teleinformacijske postaje (RTU – Remote Terminal Units) v objektih
- omrežja za prenos podatkov (DCN – Data Communication Network),
- računalniški sistemi za vodenje v realnem času (RTS – Real Time Systems),
- računalniški sistemi za planiranje (OPS – Operation Planning Systems) in
- telekomunikacijske naprave (TCS – Telecommunication Systems).

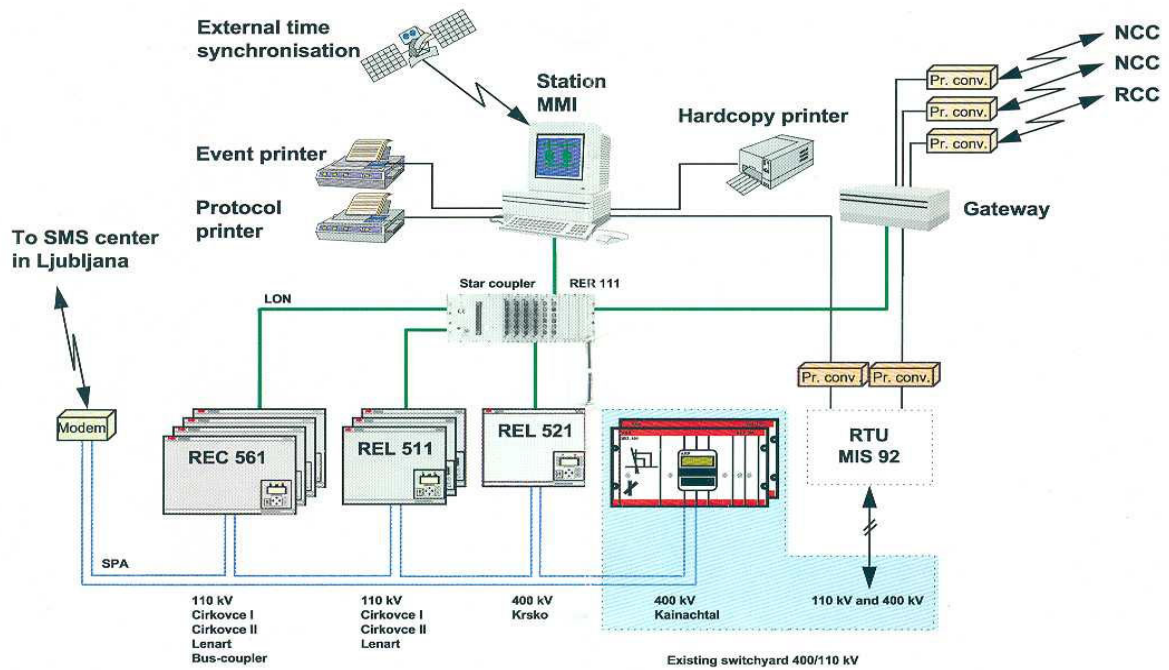
Na nivoju postaje se je uveljavil postajni računalnik, ki s SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) funkcionalnostjo omogoča vodenje celotnega objekta in komunikacijo z nadrejenim centrom vodenja.

Sekundarni sistemi se stalno izpopolnjujejo in dograjujejo. Zamenjava sekundarnih naprav (zaščita, meritve, krmiljenje, regulacija, signalizacija in telekomunikacije) in posameznih elementov v okviru razdelilno transformatorske postaje in razdelilne postaje ne glede na nazivno napetost in moč kakor tudi posameznih elementov v okviru proizvodnih objektov, spadajo med vzdrževalna dela v javno korist in ne potrebujejo gradbenega dovoljenja.

Naprave sekundarnega sistema v dopolnjevanju in posodabljanju so prikazane na sliki (Slika 21) za prenosno razdelilno transformatorsko postajo 400/110 kV.

Naloga

- *Opišite sekundarni sistem postroja iz vaše prakse (navedite njegove funkcije in ga grafično predočite skladno s sliko (Slika 21).*



Slika 21: Naprave sekundarnega sistema v izpolnjevanju (RTP 400/110 kV)

Vir: Hrovatin, Majcen, et al., 2007, 443

REC 561 – računalnik polja

REL 511 – numerični zaščitni terminal za daljnovod

REL 521 – numerični zaščitni terminal za daljnovod (za napetosti > 110 kV)

RER 111 – komunikacijska kretnica za vodenje (SCS)

LON – protokol za vodenje

SPA – protokol za nadzor (lokalno/daljinsko) zaščite (SMS)

SMS – sistem za nadzor zaščite lokalno/daljinsko (Substation Monitoring System)

MMI – vmesnik človek–stroj (Man Machine Interface)

RCC – področni center vodenja (Regional Control Center)

NCC – državni center vodenja (National Control Center)

Pr. conv. – pretvorba protokola (protokol konverter)

RTU – končna postaja (Remote Terminal Unit)

MIS 92 – sistem lokalnega/daljinskega vodenja na nivoju postaje

1.5 POVZETEK POGLAVJA »ELEKTROENERGETSKA INTERKONEKCIJA«

TV elektroenergetskem sistemu delujejo avtonomna podjetja. O »popolni« samostojnosti lahko govorimo pri proizvodnih podjetjih, ki imajo samostojen razvoj in delovanje, ter nastopanje na tržišču v konkurenčnih odnosih. Podjetja prenosnih in distribucijskih omrežij spadajo med regulirana podjetja, so monopolna podjetja.

Vsa podjetja bodisi omrežna, distribucijska in prenosna podjetja, kakor tudi proizvodna podjetja imajo interes skupnega delovanja v elektroenergetskem sistemu. Gre za sinergijske učinke, ki izboljšujejo poslovne rezultate, pa tudi kvaliteto obratovanja in dobave električne energije.

Za delovanje v elektroenergetskem sistemu imajo elektrogospodarska podjetja svoje pravice pa tudi obveznosti, ki so zakonsko predpisane.

»Sistemska obratovalna navodila za prenosno omrežje električne energije.« (citirano 10.11.2008). Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596>.

»Pravilnik o sistemskem obratovanju distribucijskega omrežja za električno energijo.« (citirano 10.11.2008). Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=40802>.

»Splošni pogoji za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskega omrežja električne energije« (citirano 10.11.2008). Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=84434>.

Slovenski elektroenergetski sistem je član evropske interkonekcije in ima kot celota svoje pravice in obveznosti, ki so zajete v pravilih in priporočilih evropske interkonekcije UCTE.

Sinhronska interkonekcija deluje na osnovi tehničnih lastnosti sinhronskih proizvodnih agregatov. Obratovanje sinhronskih agregatov se spremeni, če preskrbujejo odjem na svojem izoliranem obratovalnem območju, ali pa če delujejo v veliki interkonekciji. Pri preskrbi z električno energijo izoliranega odjema je generator samostojen v regulaciji napetosti kot tudi v številu vrtljajev oz. frekvenci. V sinhronski interkonekciji vladajo njene zakonitosti. Interkonekcija diktira ritem delovanja vsem agregatom. Poizkus pospešitve vrtenja agregata daje za rezultat povečano proizvodnjo delovne moči, ki jo oddaja v interkonekcijsko omrežje, hitrost vrtilnega polja in z njo število vrtljajev pa ostane nespremenjeno.

1.5.1 Preverite svoje znanje

TDelovanje elektroenergetske interkonekcije lahko grobo povzamemo z odgovori na naslednja vprašanja in probleme:

- Kaj so sekundarni sistemi v posameznih elektroenergetskih postrojih?
- Narišite obratovalni diagram sinhronskega generatorja s podatki S_n , $\cos\varphi$, X_d , X_q in U_n in določite praktično mejo statične stabilnosti. Preverite možnost nižanja napetosti pri razbremenjenem visokonapetostnem omrežju ob nazivni napetosti na sponkah in določeni proizvodnji delovne moči n. pr. 80 % nazivne delovne moči.
- Za turbogenerator narišite premico konstantnih delovnih moči:
 - pri nazivni moči;
 - pri obremenitvi 60 % in
 - premico konstantnih jalovih moči za poljubno izbrano obremenitev.

- Narišite napetostno sliko za obratovanje sinhronskega agregata v interkonekciji z naslednjimi podatki:
 - $U_n, S_n, \cos\varphi = 1, X_S = 1$
 - $U_n, 0,8S_n, \cos\varphi = 0,8, X_S = 1,5$
 - $U_n, S_n, \cos\varphi = 0,9, X_d = 1,8, X_q = 1$
- Kolika je omahna moč sinhronskega agregata ($U_n, X_S = 1,8$). Pri katerem $\cos\varphi$ nastopi omahna moč?
- Narišite nazivno obremenitev kompenzatorja s podatki $U_n, S_n, X_S = 1,8$
- Kako reguliramo induktivno komponento generirane moči pri generatorju vključenem v interkonekcijo?

1.5.2 Problemi

TRazumevanje, rabo, možnost analize, sinteze, kreacije in ovrednotenja rešitev bomo preizkusili na naslednjih primerih:

- *Analiza in sinteza elektroenergetskega sistema ob upoštevanju njegovih elementov skladno s pravili in priporočili evropske interkonekcije in slovensko tehnično regulativo.*
- *Grafična konstrukcija prikaza obratovalnega stanja generatorja, ki obratuje v sinhronski interkonekciji.*
- *Izračun moči s katero je obratujoči generator vpet v sinhronsko interkonekcijo.*
- *V enočrtni shemi elektroenergetskega postroja določiti primarne in sekundarne dele postroja in opredeliti njihove funkcije.*

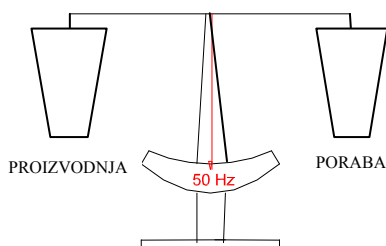
2 VODENJE ELEKTROENERGETSKEGA SISTEMA

UVOD

Pri prevzemnih preizkusih v tovarni je generator 11,5 MVA pokazal pravilno odzivnost napetosti na sponkah glede na spreminjanje vzbujačnega toka. Pri določeni napetosti na sponkah smo spremenili navor in s tem dosegli spremembo vrtljajev generatorja in inducirane napetosti na sponkah.

Po namestitvi generatorja v elektrarno ter njegovo sinhronizacijo na prenosno omrežje, ponovno poizkusimo s spreminjanjem napetosti. Generator je bil vezan preko blok transformatorja na prenosno omrežje 400 kV, to je na prenosno omrežje vključeno v evropsko interkonekcijo. Poizkus povečanja napetosti na sponkah generatorja ni uspel; ne glede na velikost vzbujačnega toka je napetost generatorja ostajala na istem nivoju. Tudi povečanje ali zmanjšanje števila vrtljajev ni bilo več možno. Vrtljaji so ostali konstantni ne glede na navor na gredi generatorja, ki smo ga dosegali s spreminjanjem dotoka vode na turbino, to je s spreminjanjem moči na gredi agregata.

TGenerator se odziva povsem drugače, če obratuje sam na svojem omrežju (otočno obratovanje), ali pa če obratuje v elektroenergetskem sistemu, ki je vključen v interkonekcijo. Vodenje elektroenergetskih sistemov ima vrsto funkcij, med katerimi je osnovna ravnotežje med proizvodnjo in porabo (odjemom) energije iz elektroenergetskega sistema.



Poglavje posvečamo vodenju elektroenergetskega sistema, zato bodo posamezni tipi elektrarn le skromno obravnavani in sicer le s funkcijami, ki vplivajo na delovanje in vodenje elektroenergetskih sistemov.

Slika 22: Uravnoteženo obratovanje pri 50 Hz
Vir: Lasten

Osnoven princip vodenja elektroenergetskega sistema

Vse komponente vodenja elektroenergetskega sistema so usmerjene na stalnost ravnotežja med odjemom in izvozom na eni strani ter uvozom in proizvodnjo na drugi strani. Kvaliteta ravnotežja in tudi kvaliteta obratovanja elektroenergetskega sistema je izkazana v frekvenci. Vsako odstopanje od ravnotežja se izkazuje v odmiku od nazivne frekvence sistema. V prisposobi je obratovanje sistema prikazano na sliki (Slika 22).

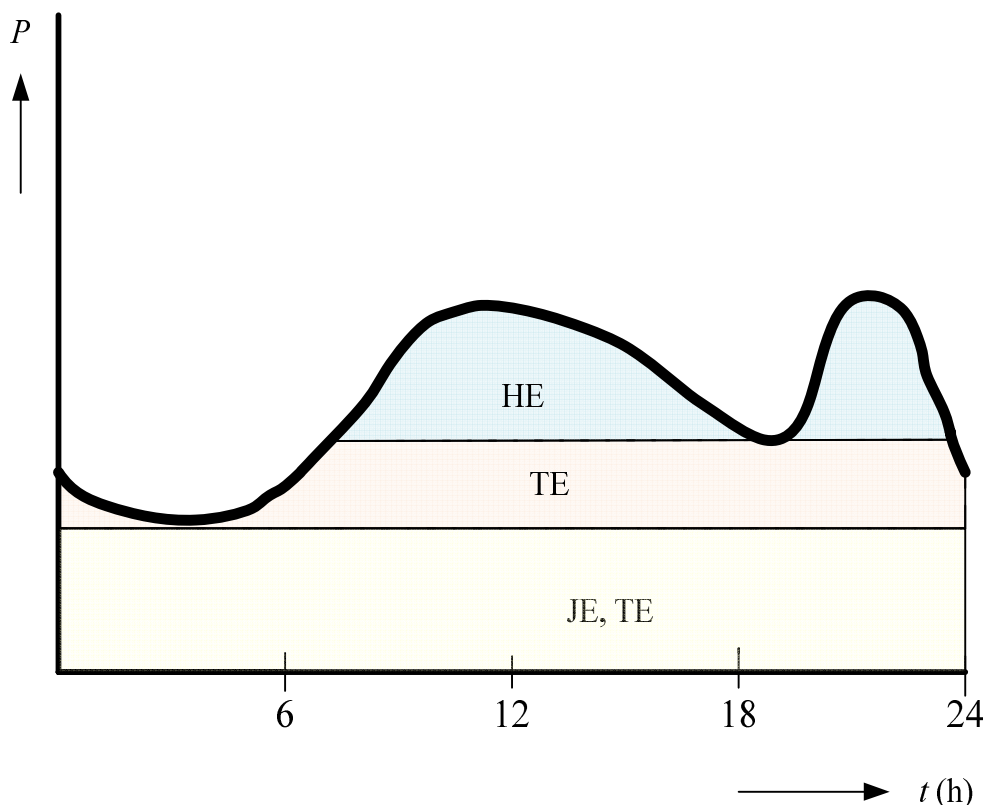
Prevelik odjem povzroči znižanje frekvence, prevelika proizvodnja pa zvišanje. Sistemske regulacije reagirajo na odstopanje in sprožijo ukrepanja za vrnitev sistema v ravnotežje. Pri tem nastajajo odstopanja elektroenergetskega sistema proti drugim sistemom s katerimi obratujejo paralelno. Interkonekcija UCTE ima posebna pravila in organizacijo naravnih kompenzacij med paralelno obratujočimi sistemi.

2.1 POKRIVANJE DINAMIKE ODJEMA

Elektroenergetski sistemi imajo različno razgibanost svojih dnevni obremenilnih diagramov. Obremenilni diagram na sliki 23 prikazuje dnevno porabo energije odjemalcev območja na katerem sistem deluje. Naloga elektroenergetskega sistema je pokriti vso porabo in pri tem upoštevati časovno dinamiko. Dodatno h kritju diagrama pridejo še obveznosti iz uvoza in izvoza električne energije.

Kritje obremenilnega diagrama zahteva dinamično zagotavljanje proizvodnih moči. Sistem, ki razpolaga z akumulacijskimi elektrarnami zadostnih moči, zlahka zagotavlja variacije obremenilnega diagrama. Zagotavlja jih lahko tudi na ekonomičen način, saj so hidroelektrarne kot nalašč za dinamično prilagajanje svoje proizvodnje potrebam. Slovenski elektroenergetski sistem nima akumulacij, ima le pretočne elektrarne z manjšimi urnimi in dnevnimi akumulacijami, ki se izkoriščajo v največji možni meri za kritje variabilne energije pa tudi v določenih obdobjih za sistemske regulacije.

Termoelektrarne naj bi delovale v pasovnem in trapeznem delu diagrama, jedrska elektrarna pa samo v pasovnem, kot je prikazano na sliki (Slika 22). Zaradi pomanjkanja variabilne energije, pa v slovenskem elektroenergetskem sistemu večji del sprememb obremenitev krijejo termoelektrarne.



Slika 23: Načelen dnevni obratovalni diagram elektroenergetskega sistema
Vir: Lasten

Obremenilni diagram in pokrivanje breme z različnimi proizvodnimi zmogljivostmi na sliki (Slika 23) je le načelen. V zgornjem (vršnem) delu diagrama so hidroelektrarne z večjimi in manjšimi akumulacijami. V srednjem delu so termoelektrarne, ki se težje prilagajajo spremembam od hidroelektrarn, obratujejo v »trapeznem« delu obratovalnega diagrama. V spodnjem (konstantnem) delu so termo in jedrske elektrarne, ki ob konstantni obremenitvi dosegajo visoke izkoristke. Navedena razvrstitev upošteva možnosti spreminjanja obremenitev posameznih elektrarn brez izkoriščanja nakupov na trgu z električno energijo. Kvalificirani proizvajalci se uvrščajo v pokrivanje obratovalnega diagrama skladno z njihovimi karakteristikami in možnostmi. Oblika diagrama in pokrivanje sta odvisna od dinamike obremenitev posameznega elektroenergetskega sistema in razpoložljivih (izbranih) proizvodnih kapacitet.

2.1.1 Značilnosti hidroprodukcije

T Hidroelektrarne spadajo med obnovljive vire energije in so izredno zaželeni v vsakem elektroenergetskem sistemu zlasti še z rezervoarji vode – akumulacijami. Zasnova hidroelektrarne je v tesni povezavi z okoljskimi problemi in doseganjem večstranskih učinkov in ne le energetskega. Sledi projektiranje, kjer sta osnovna podatka instaliran padec in pretok skozi turbino. Oboje da instalirano delovno moč:

$$P = \eta \rho g Q h \text{ (W)}$$

η : izkoristek celotnega postroja elektrarne

ρ : je specifična teža vode

g : gravitacijski pospešek

Q : količina vode na sekundo

h : razpoložljiv (instaliran) padec – razlika med spodnjo in zgornjo gladino vode

Kot primer navajamo, da je pri instaliran padcu 17,4 m in instaliranem pretoku $550 \text{ m}^3/\text{s}$, pri izkoristku celotnega postroja elektrarne 0,84 %, instalirana moč elektrarne 78,9 MW.

Izkoristek celotnega postroja elektrarne je sestavljen iz izkoristka dovodnega vodnega sistema, izkoristka turbine, izkoristek generatorja in izkoristka transformatorja.

Naloga

Pretok vode iz zgornjega primera je povprečno $400 \text{ m}^3/\text{s}$, spodnja voda je nižja za 0,25 m, denivelacija bazena je znižala gornji nivo vode za 0,6. Kolika je proizvedena električna energija v petih dneh?

2.1.2 Vloga hidroelektrarn v elektroenergetskem sistemu

Glede na različne tehnične izvedbe, topografijo, izkoristljiv padec, energetska vloga, instalirano moč in vodnogospodarsko izrabo delimo elektrarne na naslednje glavne skupine:

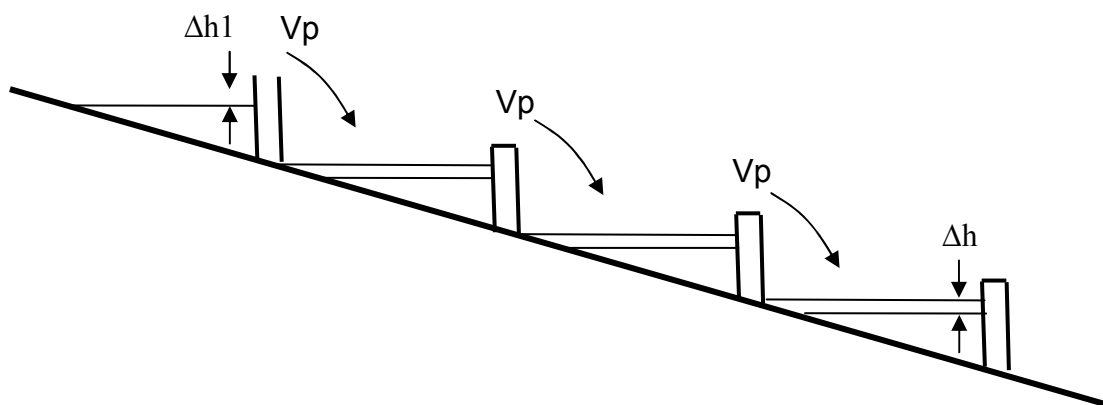
- rečne elektrarne, največkrat pretočne elektrarne (sem spadajo tudi elektrarne z manjšimi akumulacijami);
- akumulacijske elektrarne;
- črpalne elektrarne;
- ostale elektrarne.

Rečne elektrarne – pretočne elektrarne izkoriščajo vodno energijo naravnega dotoka reke in so primerne za kritje osnovnega dela obremenilnega diagrama elektroenergetskega sistema. V sistemu kakršen je slovenski EES so pomembne tudi manjše akumulacije, saj večjih nima. Tudi manjše akumulacije izkoriščamo za delno kritje vršnih obremenitev, pa tudi za systemske regulacije. Pretočne rečne elektrarne z malimi akumulacijami nimajo možnosti vse leto, da vstopajo v systemske regulacije niti ne v pokrivanje dnevnih vršnih obremenitev. Njihova systemska vloga je časovno omejena.

Posebno vlogo imajo rečne elektrarne na eni reki, ko obratujejo v posebnem režimu »pretočne akumulacije«. Naziv »pretočna« je pomensko nasproten nazivu »akumulacijska«. Povezava obeh nazivov označuje sistem elektrarn za čim boljše izkoriščanje možnosti fleksibilnosti, ki jih nudijo akumulacijski bazeni. Drug naziv za pretočne akumulacije v verigi elektrarn je tudi »elektrarne v kaskadi«. Ta tip elektrarn je posebnega pomena za Slovenijo, saj je prvi sistem kaskadnih elektrarn že dograjen na Dravi, drugi na Savi pa se izgrajuje. Tudi elektrarne na Soči obratujejo upoštevajoč turbiniranje prejšnje elektrarne in upoštevajoč omejitve iztoka iz zadnje elektrarne.

Praviloma naj bi imela prva elektrarna v kaskadi večjo akumulacijo, ki bi jo izkoriščale tudi ostale elektrarne. Dejansko pa so akumulacije tam kjer so dane okoljske možnosti. Naloga obratovanja in optimizacije v centru vodenja pa je, da je fleksibilnost elektrarn izkoriščena v čim večji meri. Zadnja akumulacija ne služi v energetske namene temveč za zadostitev vodnogospodarskih pogodb z naslednjimi koristniki reke. Običajno je ta koristnik druga pokrajina ali druga država.

Veriga elektrarn pridobiva tekoče informacije o predhodnem koriščenju reke in pretokih, ki vstopajo v sistem kaskadnih elektrarn običajno na osnovi meddržavnih pogodb.

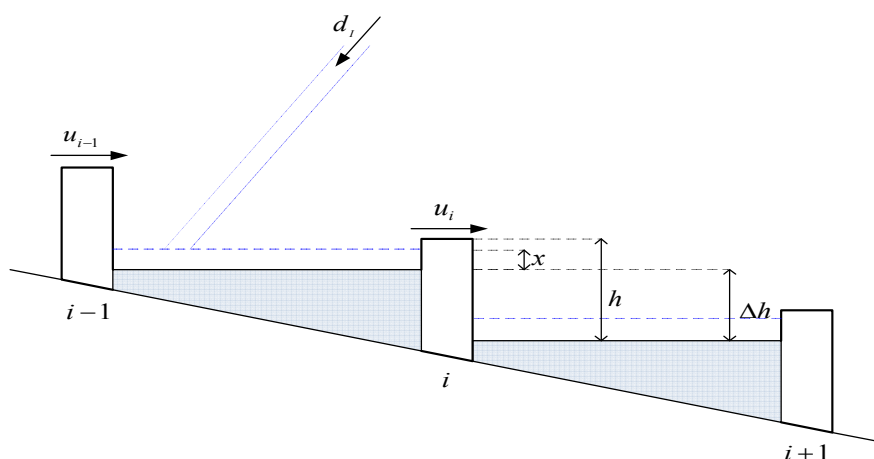


Slika 24: Hidroelektrarne v verigi – kaskadi
Vir: Lasten

Vsaka elektrarna ima omejitve pri koriščenju vodnega bazena, ki jih podaja maksimalna in minimalna vodna gladina bazena in hitrost praznjenja. Denivelacija se mora gibati le v dovoljenem območju. Na zgornji skici (Slika 24) sta omejitvi simbolično podane za prvo in zadnjo elektrarno z Δh_1 in Δh . V_p na sliki je pretok vode preko elektrarne.

2.1.3 Izračun denivelacije bazena (akumulacije)

TDenivelacijo bazena bomo ugotovili za poljuben čas obratovanja t pri določenem dotoku vode v bazen (akumulacijo); dotok vode v bazen je enak turbinirani vodi predhodne elektrarne u_{i-1} in dotoku – pritoku med dvema elektrarnama d kot kaže slika (Slika 25). Na sliki so prikazane tri elektrarne in to $i-1$, i in $i+1$.



Slika 25: Tri elektrarne v kaskadi z dotokom d_i med elektrarnama $i-1$ in i
Vir: lasten

Preko turbin elektran tečejo turbinirani vodni pretoki u_{i-1} , u_i , u_{i+1} (pretoki elektran $i-1$, i , $i+1$).d

Neto padec i -te elektrarne:

$$h_{neto} = h - (h_{izg} + \Delta h_{sp} + x)$$

h : bruto padec

h_{izg} : izgube v cevovodih

Δh_{sp} : porast spodnje gladine vode

x : denivelacija bazena

Denivelacija bazena:

$$x = -b \int_0^T (u_{i-1} + d_i - u_i) dt$$

T: čas v katerem računamo denivelacijo

b : b^{-1} je površina bazena (akumulacijskega jezera)

Denivelacija bazena v diskretni obliki:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{\Delta t}$$

$$x_1 - x_0 = -\Delta t b (u_{i-1} + d_i - u_i)$$

x_0 : nivo gladine bazena v začetku opazovanega časovnega intervala Δt

x_1 : nivo gladine bazena na koncu opazovanega časovnega intervala Δt

Δt : opazovani časovni interval ali čas v katerem računamo denivelacijo pod danimi pogoji

Pri načrtovanju in obratovanju v realnem času je treba upoštevati omejitve denivelacije bazenov, ki so dane z maksimalnimi in minimalnimi kotami bazenov. Časovne obdobje Δt obratovalnega načrtovanja je dan, mesec, leto. V dnevnem obratovalnem načrtu so osnovni časovni intervali ure.

Optimiranje obratovanja verige elektran ima dva cilja:

- čim višja proizvodnja pri danem vodnem pretoku;
- čim večja fleksibilnost proizvodnje (variabilna energija ima višjo ceno).

Obratovanje v realnem času upošteva tudi slučajne variacije in sistemske regulacije.

Naloga

Elektrarna 10 MVA obratuje v kaskadi. Podatki trenutnega obratovanja:

$x_0 = 0,3$ m; Površina bazena: 2 km,

$u_i = 200$ m³/s

$u_{i-1} = 100$ m³/s

$d_i = 5$ m³/s

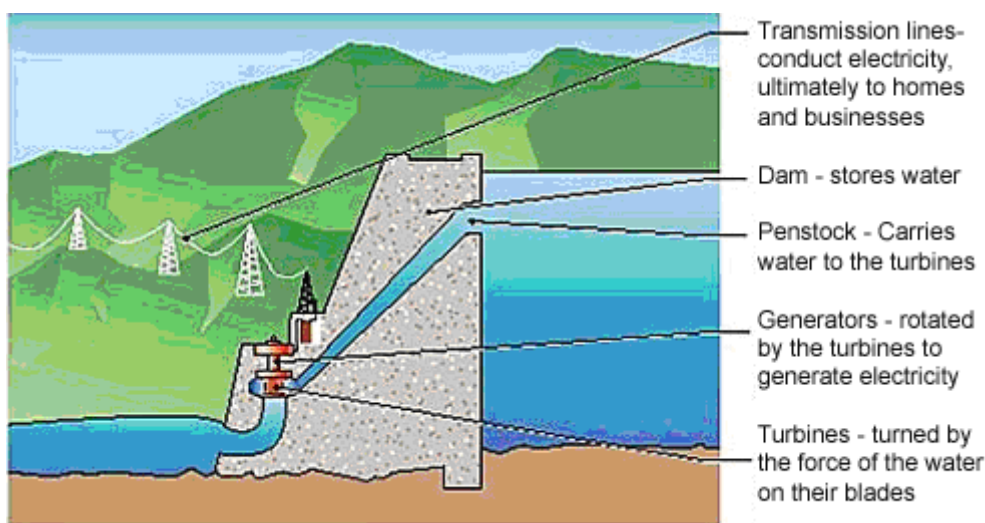
Kakšna je denivelacija pri polurnem obratovanju?

Informativno navajamo različne načine gradenj rečnih elektran:

- Blokovna gradnja (en blok je strojnica, drugi blok so pretočna polja);
- Gradnja v dvojčku (strojnici sta v bokih v sredini pa pretočna polja);
- Stebrska gradnja (izmenoma so pretočna polja in turbinski stebri);

- Prelivna gradnja (strojnica je potopljena nad njo je preliv za presežno vodo);
- Gradnja v zalivu (strojnica je v razširjenem delu reke, v rečnem koritu pa so pretočna polja);
- Derivacijska elektrarna (strojnica se nahaja izven rečnega korita, na koncu umetnega dovodnega kanala ali rova).

Akumulacijske elektrarne imajo praviloma naraven dotok. So izredno dragocene proizvajalke električne energije. Na tržišču lahko njihov proizvod doseže celo trikratno vrednost. Večkrat govorimo, da so elektroenergetski sistemi, ki imajo akumulacijske hidroelektrarne, bogati sistemi. Poleg tega da je cena vršne in regulacijske energije mnogo višja od pasovne in trapezne, je možno izkoristiti še dejstvo, da akumulacije omogočajo nakup električne energije takrat, ko je le ta poceni in prodajo električne energije, ko je le draga.



Slika 26: Akumulacijska elektrarna

Vir: http://re.emsd.gov.hk/english/other/hydroelectric/hyd_tech.html (1.3.2009)

Velike akumulacije lahko krijejo tudi sezonska nihanja tako v osnovnem kot v spremenljivem delu obremenilnega diagrama elektroenergetskega sistema.

2.1.4 Značilnosti termoproizvodnje

Termoelektrarne so eden od temeljev proizvodnih zmogljivosti elektroenergetskega sistema. Vrsta elektrarn je izredno pestra in je prikazana na grafu (Slika 27).

TProizvodnja sledi Carnotovem krožnem procesu, pri katerem je v procesu proizvodnje električne energije izgubljene preko 50 % primarne energije. Druga boljšega procesa za čisto proizvodnjo električne energije še ne poznamo.

Večji izkoristek dosegajo elektrarne s **kombinirano proizvodnjo** to je proizvodnjo električne energije in proizvodnjo pare – toplote. Te elektrarne – toplarne so lahko pretežno elektrarne, ki proizvajajo el. energijo kot glavni proizvod, toploto pa kot stranski, ali pa proizvajajo toploto kot glavni proizvod in el. energijo kot stranski.

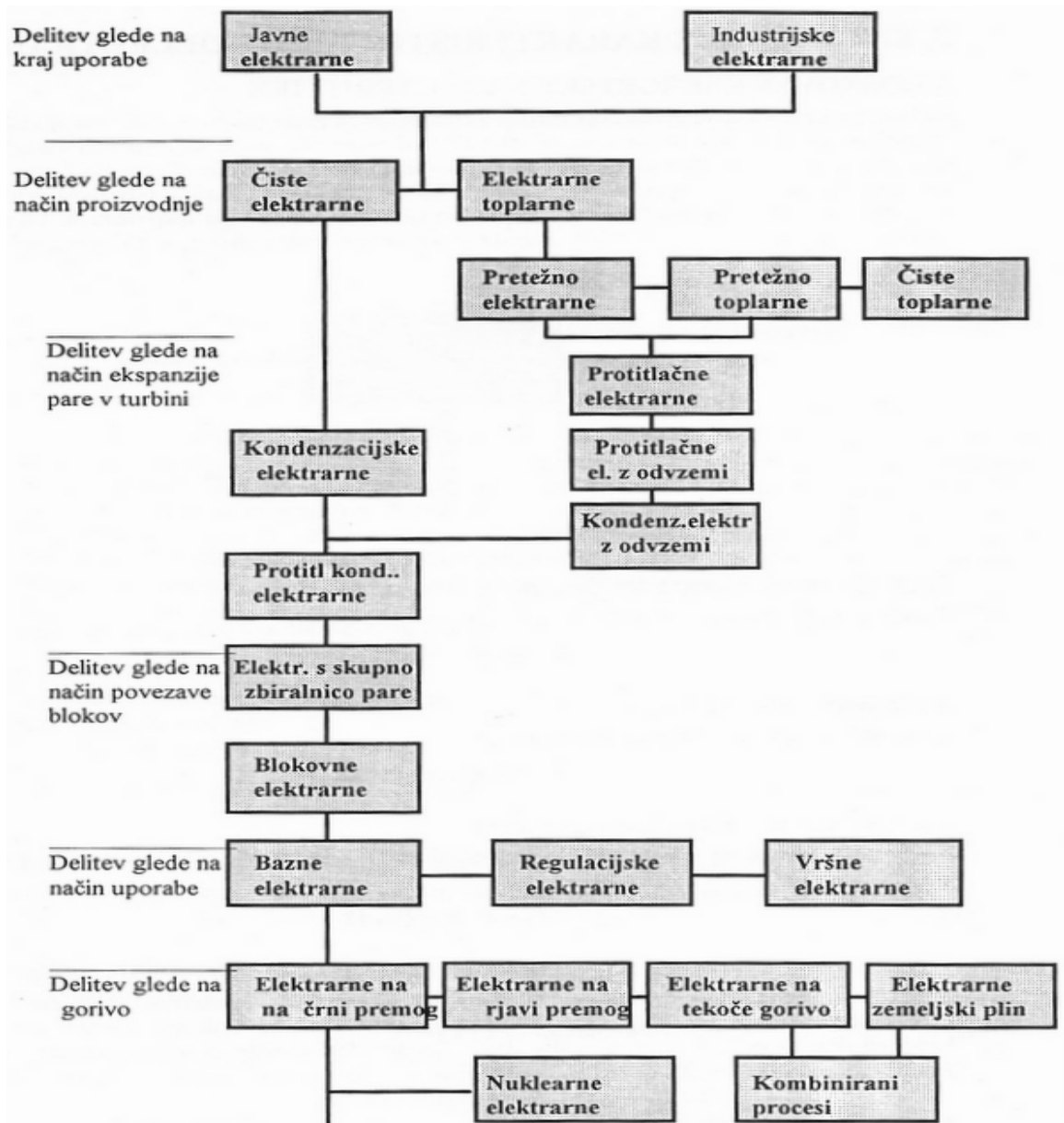
Carnotov krožni proces zahteva odvajanje velikih količin toplote, ki je izgubljena.

Toploto odvajamo predvsem na dva osnovna načina:

Pretočno hlajenje zagotavljajo reke, ki sprejemajo kondenzacijsko toploto. Reka se pri tem segreva. Segrevanje je potrebno iz ekoloških razlogov nadzorovati. V izrednih sušnih obdobjih je lahko prenizek vodostaj oz. prenizek pretok rek vzrok za omejitev proizvodnje

elektrarne. Omejitvam se lahko izognemo z rezervnimi hladilnimi stolpi, kjer se voda ohladi in vrača v proces. Tako pri rečnem hlajenju, kot s hladilnimi stolpi odvajamo toploto, ki je neizkoristljiva v carnotovem krožnem procesu. Naprave za hlajenje so v stalnem izpopolnjevanju.

Pogonska goriva (primarna energija) termoelektrarn so: trda, tekoča in plinasta goriva. Posebna vrsta termoelektrarn so jedrske elektrarne, ki pridobivajo toplotno energijo iz jedrskih reakcij.



Slika 27: Grafičen prikaz vrst termoelektrarn
Vir: Dejanovič, Sevšek, 1998

2.1.5 Premogovne elektrarne

Vrste premoga in nastanek (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Premog>, 12. 2. 2009).

Elektrarne na rjavi premog in lignit imajo običajno ventilatorske mline za premog in prašno kurjavo s tangencialno usmerjenimi gorilniki. Ti so nameščeni v krogu okrog kotla; vsakemu od njih pripada gorilnik. Pri vpihavanju premogovega prahu pride do vrtinčenja, ki omogoča dobro izgorevanje premoga. Elektrarne na črni premog imajo običajno valjčne ali kroglične mline, ter čelno – frontalno nameščene gorilnike. Vsaka vrsta elektrarn ima posebno strukturo naprav, ki se z modernizacijo izpopolnjujejo tako, da dosežajo elektrarne vedno večje izkoristke.

Delovanje elektrarne je vezano na več krožnih procesov:

Od goriva do žindre in pepela

V tem krogu je lahko več ali manj naprav, kar je odvisno od vrste goriva. Pri tekočih in plinastih gorivih je naprav manj, pri nizkokaloričnih gorivih npr. lignitu pa več. V TE Šoštanj prihaja premog iz premogovnika na gumijastih trakovih v drobilnico, nato v končne bunkerje in deponijo ali v elektrarno preko vmesnih bunkerjev. Iz bunkerja potuje premog preko delilca v mlin se osuši in zmelje v prah, nato pa vpiha v kotel kjer zgori. Pri gorenju odda premog toplotno energijo, ostane pa pepel, del katerega pade na rešetko kotla kot žindra. Večji del pepela nadaljuje pot skozi kotel in se izloči šele v elektrofiltru, nato pa združi z žindro, zmeša z vodo ter odlaga na deponijo.

Od zraka do dimnih plinov

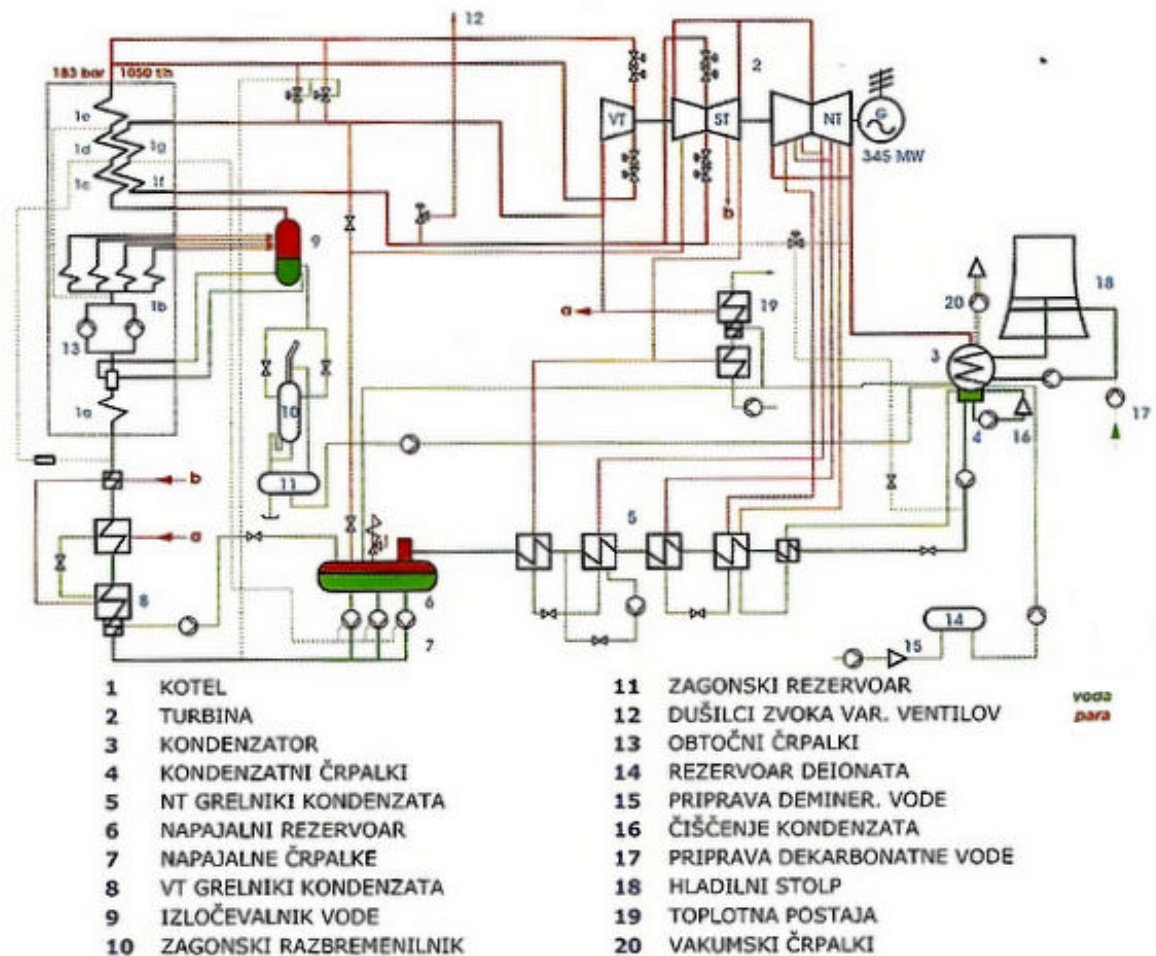
Ventilatorji svežega zraka sesajo okoliški zrak in ga preko grelnikov zraka, zračnih kanalov, loput za regulacijo in meritev potiskajo v kotel v proces gorenja. Pri kurjenju z lignitom je potrebno za 300 MW proizvodne moči okrog 300 m³ zraka na sekundo oz. milijon m³ na uro. Pri gorenju se kisik veže z ogljikom iz goriva. Produkt je oddana energija in dimni plini, ki delno oddajo svojo toploto v grelniku zraka nato pa nadaljujejo pot preko elektrofiltrov, ventilatorjev dimnih plinov in naprave za čiščenje dimnih plinov preden preko dimnika preidejo v okoliško atmosfero.

Krog, voda, para

Pri tem gre za krožni proces na katerem je veliko število naprav, kot so: kotel, grelniki vode, uparjalnik, pregrevalniki pare, vmesni regulatorji temperature, cevovodi sveže pare, vmesni pregrevalniki pare, turbina, kondenzator, kondenzne črpalke, regenerativni grelniki vode z napajalnim rezervoarjem, napajalne črpalke, zagonske in varnostne naprave, ter še mnoge pomožne naprave.

Naloge

- Opredelite vrste termo elektrarn v Sloveniji, ki jih poznate.
- Vstavite njihovo proizvodnjo v obratovalni diagramu (Slika 23).
- Ocenite zagonski čas izbrane premogovne elektrarne s katerim morate računati pri vodenju elektroenergetskega sistema?



Slika 2.1.6: Krog para – voda; poenostavljena shema agregata šoštanjске elektrarne
Vir: Hrovatin, Sevšek, et al., 2007

Delovanje termoelektrarne je dinamično predstavljeno na spletni strani <http://www.google.si/search?hl=sl&q=termoelektrarne&btnG=Iskanje+Google&meta=&aq=f&oq>.

Krog hladilne vode

Včasih se uporablja tudi pretočno hlajenje v kombinaciji s hladilnimi stolpi. Z novim postopkom pa se oddana energija v hladilnih stolpih ponovno uporablja v procesu.

Lastna raba elektrarne

Del proizvedene električne energije se v vsaki elektrarni porabi za delovanje naprav same elektrarne – lastno rabo. Navedene številne naprave, ki so nujne za delovanje termoelektrarne so namreč gnane z električno energijo. Ta mora biti zagotovljena ne le v tekočem obratovanju temveč tudi tekom zagona elektrarne, ko elektrarna še ne proizvaja električne energije. Brez električne energije je elektrarna mrtva, zato je lastni rabi elektrarne posvečena velika pozornost, čim večja in pomembnejša je elektrarna, tem številnejše so alternativne in rezervne možnosti napajanja lastne rabe.

2.1.6 Plinske elektrarne

Plinski agregat poganja plinska turbina, to je pogonski stroj sestavljen iz kompresorja, gorilnika in turbine. Kompresor potiska zrak iz okolice v gorilnik. V stisnjen zrak vbrizgamo gorivo. Zgoreli plini tečejo skozi turbino, ki ima na isti osi še kompresor in generator. Gorivo je lahko tekoči naftni derivat ali zemeljski plin.

Izkoristki plinskih turbin so relativno nizki saj imajo dimni plini ob izstopu iz turbine visoko temperaturo oz. visoko toplotno energijo. Obstoja več možnosti izkoriščanja te energije in s tem višanja izkoristka in to v kombiniranih plinsko–parnih procesih. Agregati pa pri tem zgubijo velik del svoje elastičnosti in prilagodljivosti. Kot primer naj služi kombiniran proces z vodenjem dimnih plinov plinske turbine v kotel bloka z vodno–parnim procesom. Na ta način se zmanjša poraba goriva, skupni izkoristek kombiniranega postroja pa se dvigne nad 50 %.

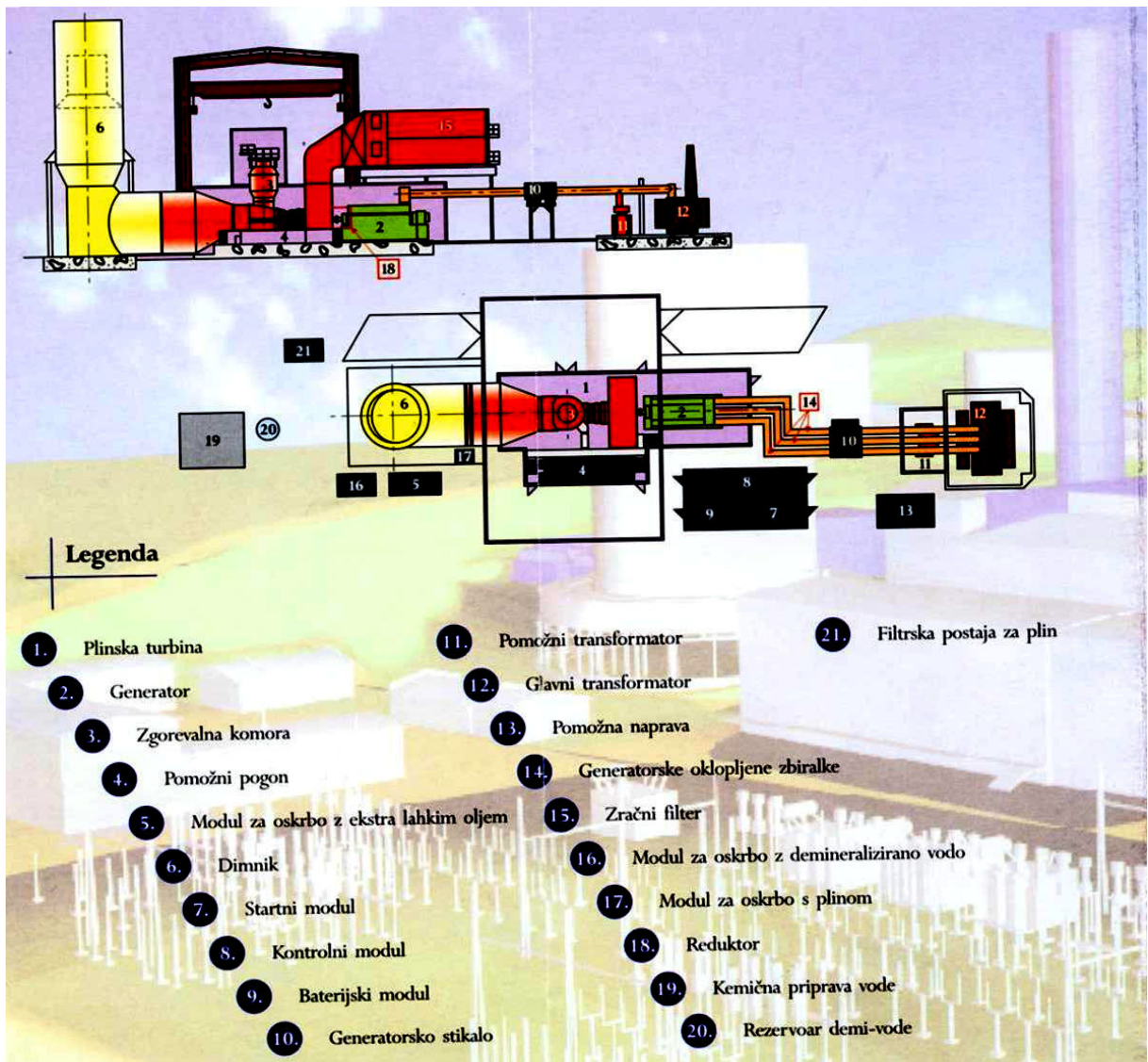
Sistem vodenja plinskih elektrarn

V sistem vodenja so vključeni procesi vodenja obratovanja, nadzora in zaščite v termoelektrarni. Zajema predvsem tehnološki proces plinskih blokov, proces parnih kotlov in parnih turbin, proces stikališč, proces kemične priprave vode, proces obratovalnega monitoringa, proces meritev na rezervoarjih tekočih goriv in proces črpališča vode. Procesni so načeloma avtomatizirani in vodeni z ustreznim procesnim računalniškim sistemom, ki je sestavni del samega procesa.

Operaterji nadzirajo vse omenjene procese iz centralnega mesta, to je iz komandne sobe elektrarne. To jim uspe preko nadzornih računalnikov, oziroma vgrajenih SCADA–sistemov. Ob morebitnem izpadu katerega koli nadzornega računalnika je še vedno možno voditi proces preko procesnega računalnika na osnovnem nivoju.

Vzpostavljena je tudi informacijska povezava s centrom vodenja elektroenergetskega sistema, ki omogoča prenos pomembnih informacij o stanju proizvodnih procesov iz termoelektrarne v center vodenja elektroenergetskega sistema, kakor tudi prenos različnih komand in zahtev za proizvodne procese iz centra v elektrarno (zagon turbine, zaustavitev turbine, zahteve za sekundarno regulacijo itd.).

Proizvodnja plinskih elektrarn je specifična. Zaradi visoke cene plina je cena kWh visoka tako, da elektrarne ne morejo dosežati visokih obratovalnih ur. Zaradi izredne fleksibilnosti in hitrega vstopa v obratovanje, prevzema elektrarna vlogo intervencijske elektrarne v EES. Tovrstna energija pa je vedno dražja.



Slika 28: Plinska elektrarna
Vir: Hrovatin, Marjetič, et al., 2007

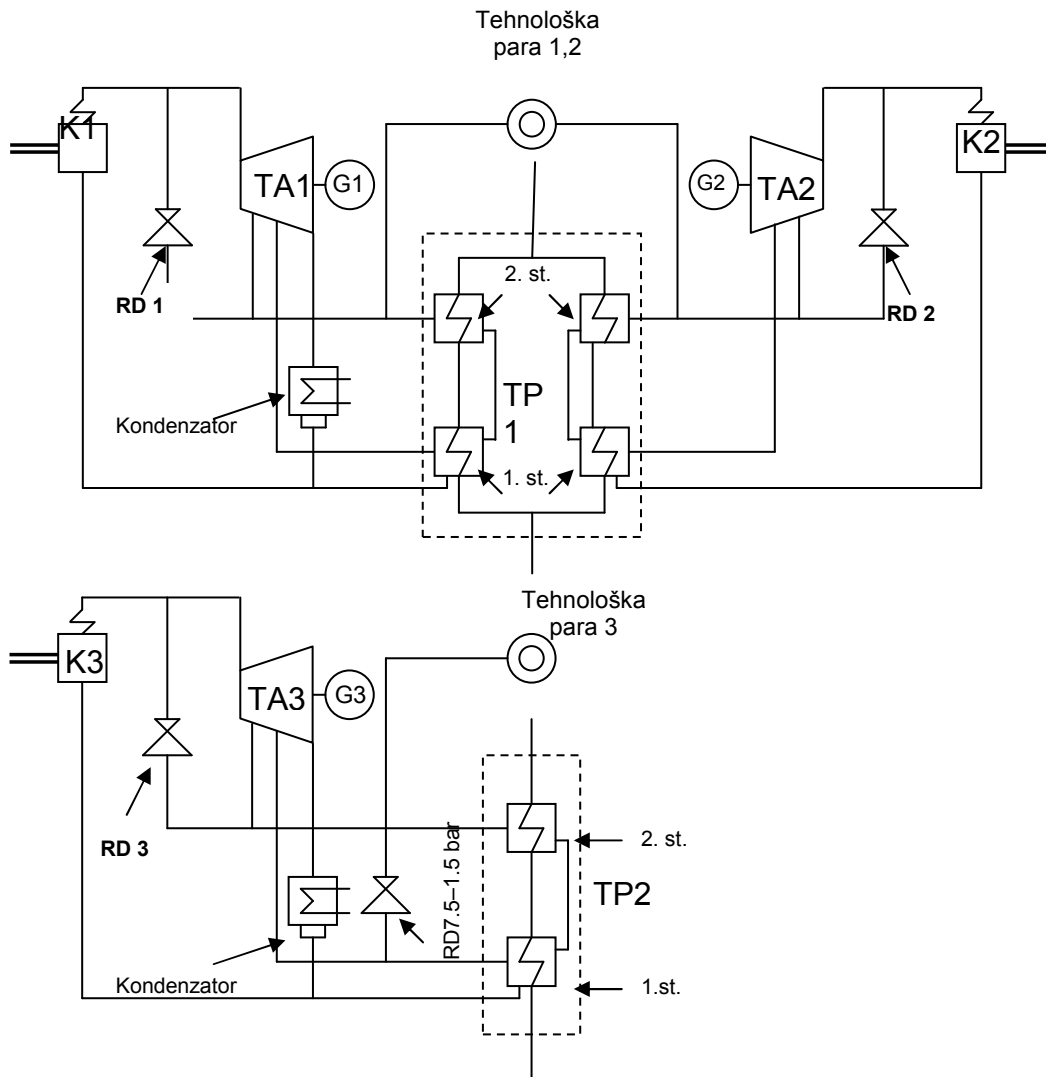
Naloge

- Kako lahko uporabimo plinsko elektrarno v obratovanju elektroenergetskega sistema?
- Katera je njena osnovna funkcija v elektroenergetskem sistemu Slovenije?
- Utemeljite njeno osnovno funkcijo?

2.1.7 Elektrarna – toplarna

Elektrarne–toplarne proizvajajo električno in toplotno energijo. Pri teh elektrarnah paro le delno izkoristimo v turbini za proizvodnjo električne energije, v nadaljnjem procesu pa jo izkoristimo v grelnikih vode. S tem očitno proizvedemo manj električne energije, vendar z gretjem vode izkoristimo tudi uparjalno toploto vode in s tem višamo izkoristek celotnega postroja, to je proizvodnje električne energije in toplote skupno. Pri elektrarnah–toplarnah, ki so pretežno elektrarne je toplota stranski proizvod. Elektrarna se prilagaja z obremenitvami elektroenergetskemu sistemu. Uporabljajo kondenzacijske turbine, kondenzacijske turbine z odvzemi, ter protitlačne turbine z odvzemi. Med tem ko elektrarne–toplarne s pretežno proizvodnjo toplote, oz. kjer je toplota glavni proizvod, se proizvodnja električne energije prilagaja proizvodnji toplote; uporabljajo se protitlačne turbine, protitlačne turbine z odvzemi, pa tudi kondenzacijske turbine z odvzemi. Prevladujejo protitlačne turbine, ki nimajo več kondenzatorja, pa tudi ne nizkotlačnega dela turbine.

Poenostavljena shema postrojev TE–TOL



Slika 29: Elektrarna toplarna Ljubljana (TE–TOL)

Vir: Hrovatin, Sevšek, et al., 2007, 204

Paro vodimo iz turbine neposredno k porabnikom toplote.

Dinamična shema procesa je razpoložljiva na spletni strani

http://www.te-tol.si/index.php?sv_path=2455,2850 (12. 2. 2009).

Slika (Slika 29) prikazuje poenostavljeno shemo TE–TOL, ki ima tri glavne enote za sproizvodnjo električne in toplotne energije. Kotla blokov 1 (K1) in 3 (K3) imata pregrajeni kondenzacijsko odjemni turbini (TA1, TA3) z dvema reguliranima odjemoma pare.

Odjemna para je speljana v osnovne in vršne grelnike toplotnih postaj 1 (TP1) in 2 (TP2), v katerih se segreva omrežna voda. Bloka proizvajata tudi tehnološko paro za lastne in zunanje potrebe.

Kotel bloka 2 (K2) ima pregrajeno protitlačno turbino (TA2) z dvema reguliranima odjemoma pare. Drugi odjem je istočasno tudi izstop pare iz turbine. Odjemna para je speljana v osnovne in vršne grelnike toplotne postaje 1 (TP1), v katerih se segreva omrežna voda. Blok 2 proizvaja tudi tehnološko paro za lastne in zunanje potrebe. Vsak od blokov ima možnost proizvajati paro za toplotno postajo in tehnološko paro tudi brez delovanja turbine, le z uporabo reduciranih postaj. Blok 3 pa je samostojna enota.

TE–TOL je s svojimi tremi bloki, ki proizvajajo toploto in elektriko s kotli na premog in parnimi turbinami, primer večje sproizvodnje.

TE–TOL je s svojimi tremi bloki, ki proizvajajo toploto in elektriko s kotli na premog in parnimi turbinami, primer večje sproizvodnje. V duhu evropske kogeneracijske direktive (2004/8/EC) je znašal v letu 2005 prihranek primarne energije za omenjene tri sklope 18,3 %, kar uvršča TE–TOL med visoko učinkovito sproizvodnjo. V tej direktivi je visoko učinkovita sproizvodnja definirana s prihranki energije, ustvarjenimi s sproizvodnjo toplote in elektrike, v primerjavi z ločeno sproizvodnjo toplote in elektrike.

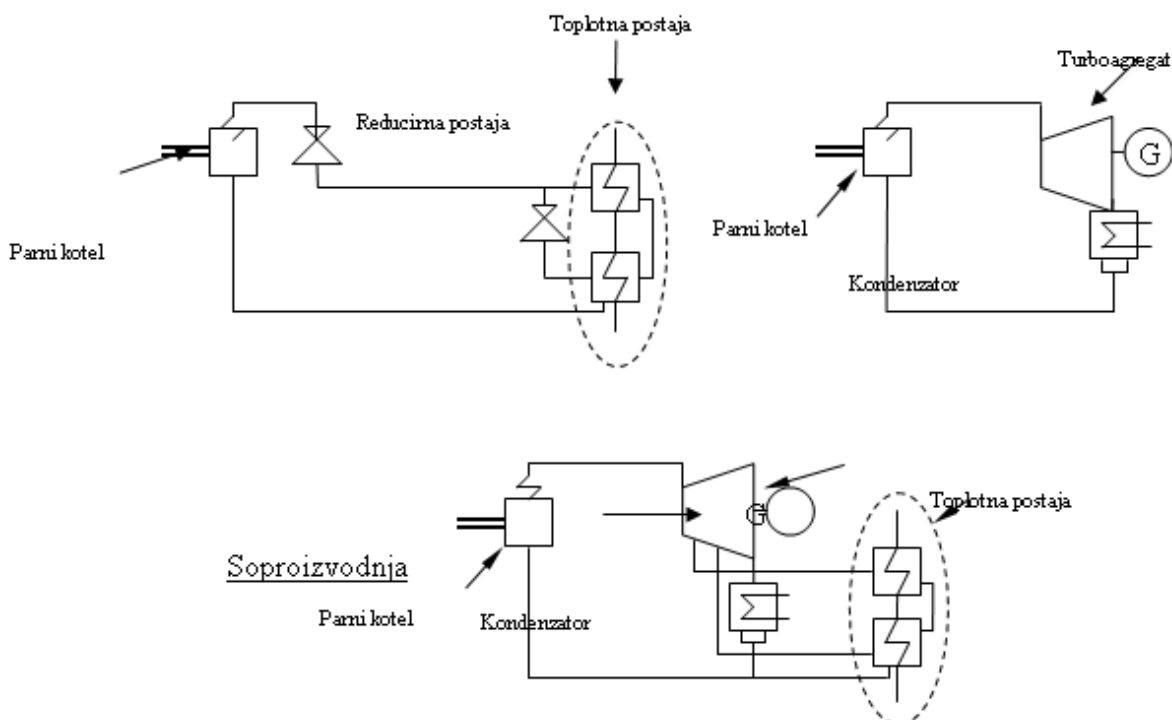
Visoko učinkovita sproizvodnja je tista, ki omogoča več kot 10 % prihranka primarne energije, kot je definirano v direktivi. Za maksimiranje energijskih prihrankov je potrebno posvetiti največjo pozornost obratovalnim pogojem sproizvodnih enot.

Naloga

- Zapišite način analize umestnosti (upravičenosti) sproizvodnje.
- Kaj vse moramo upoštevati pri načrtovanju proizvodnje električne energije v toplarni – elektrarni ?

Ločena proizvodnja toplote

Ločena proizvodnja elektrike



Slika 30: Poenostavljene sheme sklopov za ločeno proizvodnjo in soproizvodnjo toplote in elektrike

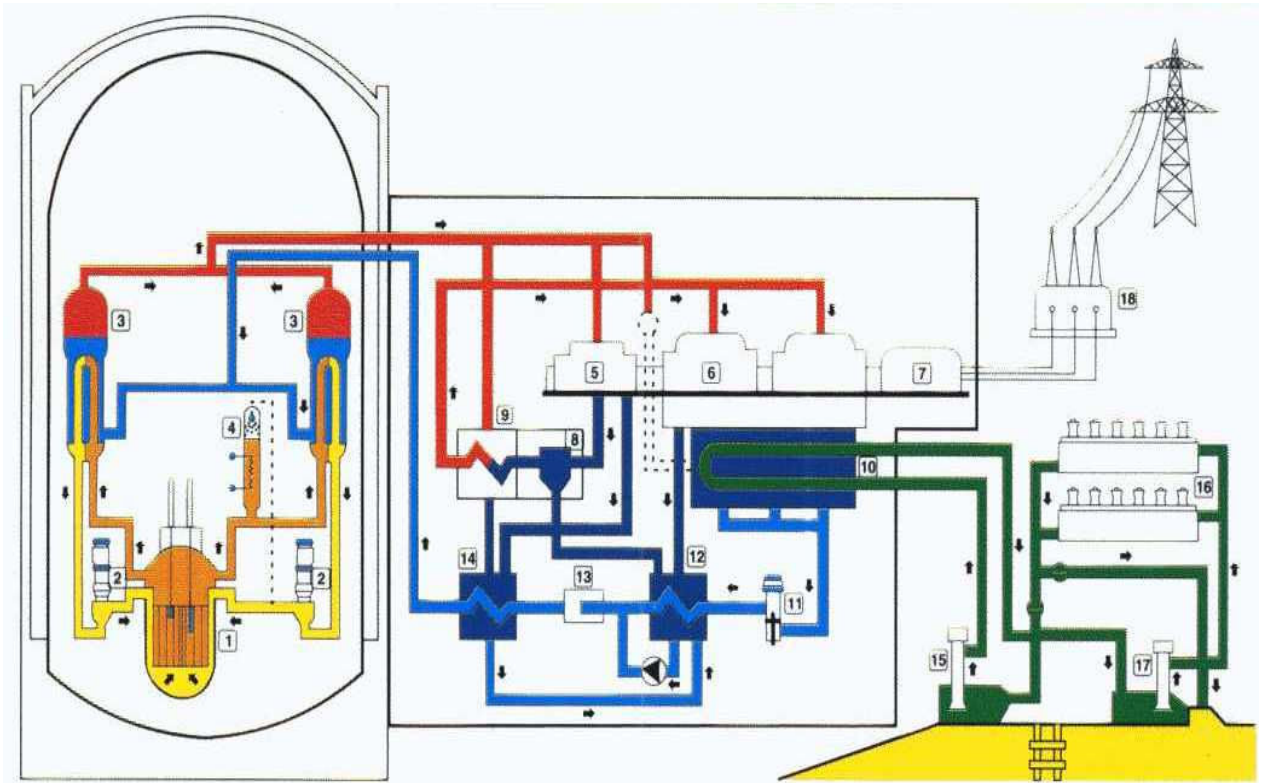
Vir: Hrovatin, Sevšek, et. al., 2007, 205

V primerih TE–TOL je izkoristek kondenzacijske termoelektrarne 37,24 %, za soproizvodnjo električne in toplotne energije pa 86 %.

2.1.8 Vloga jedrske elektrarne v elektroenergetskem sistemu

Jedrske elektrarne so na proizvodnem delu termoelektrarne, medtem ko je primarni del posvečen pridobivanju toplote iz jedrskega goriva, ki oddaja energijo vodi, ki se uparja in nato žene proizvodni agregat.

Jedrska elektrarna v Sloveniji NEK pokriva glede na svoje obratovalne karakteristike potrebe po pasovni energiji skozi vse leto. Letno proizvede prek pet milijard kilovatnih ur (5 TWh) električne energije. Poleg tega je kot zanesljiv vir delovne in jalove moči pomembna podpora točka elektroenergetskega sistema v okviru evropske povezave UCTE. Je bistven dejavnik pri stabilizaciji kritičnih obratovalnih stanj in napetostnih razmer, še posebej ob velikih prehodnih pojavih znotraj UCTE. Z nizko lastno ceno je NEK konkurenčen proizvajalec pasovne električne energije v Sloveniji in na odprtem trgu.



Slika 31: Shema delovanja jedrske elektrarne v Krškem (NEK)

Vir: Hrovatin, Dirnbeg, et al., 2007, 212

Dinamična shema delovanja elektrarne je dostopna naslovu

http://www.nek.si/sl/o_jedrski_tehnologiji/delovanje_nek/shema_delovanja_nek/
(12. 2. 2009).

2.1.9 Vloga termoelektrarn v elektroenergetskem sistemu

Termoelektrarne imajo različne vloge tako glede na vrsto termoelektrarne kot tudi na značilnosti elektroenergetskega sistema v katerem delujejo. Normalo je, da hidroelektrarne prevzemajo nihajoče obremenitve to je, da krijejo konične obremenitve v obremenilnem diagramu EES. Nadalje, da sodelujejo v sistemskih regulacijah, ki predstavljajo reakcije na razmeroma hitre spremembe v obremenitvi EES in s tem proizvodnih enot v sistemskih regulacijah. Tako obratovanje pomeni, da lahko obratujejo termoelektrarne enakomerno to je v pasu ali v trapeznem načinu obratovanja. Umiritev proizvodnje termo kapacitet pomeni najracionalnejšo rešitev, saj termoelektrarne težje prenašajo nihanja obremenitev; naprave termoelektrarne so izpostavljene visokim temperaturam hkrati z visokimi pritiski. Spremembe obremenjevanja zahtevajo spremembe v tehnološkem krogu para – voda, ki utrujajo material. V nasprotju z termoelektrarnami, hidroelektrarne nimajo tovrstnih problemov. Naprave tečejo brez visokih temperatur in so primerne za hitre spremembe obremenitev. Tako je npr. črpalna naprava pripravljena za 100 % proizvodnjo v nekaj minutah in celo manj, medtem ko je najhitrejši zagon termoelektrarne, to je zagon plinske elektrarne normalno dosegljiv šele v 15 minutah.

V prvem odstavku opisana optimalna razdelitev moči je možna le v elektroenergetskem sistemu, ki razpolaga z akumulacijami, ki jih izkorišča za kratkotrajne konične obremenitve,

in hitre spremembe po nalogu sistemskih regulacij. Slovenija nima akumulacijskih elektrarn in spada po karakteristikah med revne elektroenergetske sisteme. Revni pa živijo dražje.

Načeloma delimo termoelektrarne v obratovalnem pogledu na:

Bazne elektrarne, ki običajno uporabljajo najcenejšo vrsto goriva kot npr. slab premog z veliko balasta. Take elektrarne stojijo blizu premogovnikov zaradi cenenege transporta goriva. Dosegajo višje izkoristke s kompleksnejšimi napravami, za kar so potrebni večji investicijski stroški, vendar je s tem dosežena nižja variabilna cena (spremenljivi stroški) obratovanja.

Regulacijske elektrarne obratujejo s polno močjo običajno le podnevi. V nočnem času pa se spuščajo na minimum ali pa so celo ustavljene. Obratovanje z rednimi cikličnimi zaustavitvami je znano tudi pod imenom ciklično obratovanje.

Vršne elektrarne obratujejo običajno le malo časa, izkoristek je manj pomemben, običajno pa je gorivo kvalitetnejše, saj morajo biti sposobne mnogoštevilnih in hitrih zagonov. Vršna energija je zato veliko dražja kot osnovna ali trapezna v obremenilnem dnevnem diagramu EES.

V našem slovenskem primeru je zaradi izostanka hidro akumulacij potrebno, da so termoelektrarne nosilke sistemskih regulacij.

Naloga

- Opišite obratovanje izbrane termoelektrarne (npr. Šoštanj) glede na njene lastnosti, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju in vodenju sistema v realnem času.

2.1.10 Hitrost reagiranja turbin in občutljivost agregatov na frekvenco

Hitrost reagiranja turbin na spremembo frekvence in razliko med želeno in dejansko močjo je omejena s konstrukcijo turbine ter nastavitvijo regulatorja. Za delovanje v sistemskih regulacijah mora imeti elektrarna določeno hitrost reagiranja, ki jo imenujemo odziv elektrarne pri spremembi frekvence ali pri zahtevi po spremembi obremenitve. Hitrost reagiranja agregatov na večje spremembe obremenitve je lahko kritična pri malih sistemih pri izpadu večje proizvodne zmogljivosti. Pri obratovanju v veliki interkonekciji pa za nadomestitev izpadle moči v prvih trenutkih poskrbe vsi agregati v interkonekciji. Začetna neodzivnost agregatov je kompenzirana s kinetično energijo rotirajočih mas obratujočih agregatov. Visoka kvaliteta dobave električne energije v evropski interkonekciji zahteva, da se na regulatorjih kjer obstajajo mrtve cone le-te kompenzirajo v okviru istega regulacijskega območja. Območje neobčutljivosti v vsakem regulacijskem območju mora biti ozko, v vsakem primeru pa znotraj ± 20 mHz. S strani UCTE zahtevana primarna regulacijska rezerva, ki mora biti na razpolago v vsakem regulacijskem območju, mora biti izkoristljiva najkasneje v 30 sekundah.

Proizvodna enota mora biti sposobna aktiviranja rezerve moči primarne regulacije v 30 sekundah ob kvazistacionarnem odstopanju frekvence -200 mHz (Sistemska obratovalna navodila, 2007), s tem je zagotovljeno, da se bo celotna regulacijska rezerva sekundarne regulacije aktivirala v navedenem frekvenčnem območju. Prav tako se pri odstopanju frekvence $+200$ mHz proizvedena moč zmanjša za predpisano rezervo primarne regulacije.

T Za termoelektrarne podajajo pravila UCTE tudi zahteve za nadaljevanje obratovanja v primeru izpada bremen. V teh primerih elektrarna napaja le lastno rabo; čas za tako obratovanje je s sistemskimi obratovalnimi navodili določen. Izpolnjevanje teh zahtev daje elektroenergetskemu sistemu možnost, da v primeru razpada v čim krajšem času

ponovno vzpostavi normalno obratovanje. Proizvodna enota mora biti načrtovana in grajena tako, da omogoča obratovanje v frekvenčnem območju med 47,5 Hz in 51,5 Hz (Sistemska obratovalna navodila. 2007). V primeru večjega odstopanja frekvence mora ostati proizvodna enota priključena na omrežje v naslednjih časovnih periodah:

- za frekvenco med 47,5–48,0 Hz mora proizvodna enota obratovati vsaj 10 minut,
- za frekvenco med 48,0–48,5 Hz mora proizvodna enota obratovati vsaj 20 minut,
- za frekvenco med 48,5–49,0 Hz mora proizvodna enota obratovati vsaj 1 uro,
- za frekvenco med 49,0–50,5 Hz mora proizvodna enota trajno obratovati,
- za frekvenco med 50,5–51,5 Hz mora proizvodna enota obratovati vsaj 1 uro (<http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596>, 19. 2. 2009).

2.1.11 Značilnosti alternativnih virov

Klimatske spremembe in (ne)razpoložljivost primarne energije so privedle do usmeritev nacionalnih energetske politik Evrope v gradnjo alternativnih virov. Alternativni viri so alternativa klasičnim virom za proizvodnjo električne energije (glejte tudi »Elementi EES«). Izraz »Alternativni viri« se postopoma umika izrazu »Obnovljivi viri«, ki je vsebinsko mnogo bolj določen. Paralelno k obnovljivim virom se postavlja tudi izraz »Kvalificirani proizvajalci«, ki izhajajo iz finančnih spodbud za gradnjo obnovljivih virov in virov z visokimi izkoristki. Evropska unija je v letu 2007 sprejela usmeritev o gradnji obnovljivih virov energije tako, da bodo nacionalni elektroenergetski sistemi vgradili med svoje proizvodne enote 20 % obnovljivih virov električne energije do leta 2020.

Glavni obnovljivi viri proizvodnje električne energije:

- vetrne elektrarne,
- vodne elektrarne,
- sončne elektrarne,
- elektrarne na biomaso in
- geotermalne elektrarne.

2.1.12 Kvalificirane elektrarne

Proizvodne enote, ki uporabljajo obnovljive primarne energije za proizvodnjo električne energije, štejejo med kvalificirane proizvajalce, katerih proizvodnja je skladno z državno regulativo cenovno beneficirana. K normalni tržni proizvodni ceni država dodaja premijo, ki spodbuja gradnjo tovrstnih elektrarn, ki so praviloma dražje od konvencionalnih. Poleg elektrarn na obnovljivo primarno energijo spadajo med kvalificirane še:

- Elektrarne s soproizvodnjo z visokim izkoristkom;
- Elektrarne, ki uporabljajo kot primarno energijo komunalne odpadke, ali odpadke proizvedenih goriv.

Pri razporejanju proizvodnih zmogljivosti imajo kvalificirani proizvajalci prednost ne glede na proizvodno ceno.

Opomba: Pogoji za uvrstitev proizvajalcev med kvalificirane proizvajalce podaja Uredba o pogojih, 2007 razpoložljivo na naslovu <http://www.uradni-list.si/1/index?edition=200771>.

Navaja tudi, da ti pogoji iz uredbe ne veljajo za velike proizvajalce.

2.1.14 Trgovanje z električno energijo

TProizvedena električna energija se realizira na trgu električne energije. Od elektrarn do odjemalcev se prenaša po prenosnem in distribucijskih omrežjih.

Z odprtjem trga z električno energijo je električna energija postala tržno blago. V Sloveniji je trg povsem odprt. Vsi odjemalci prosto izbirajo svojega dobavitelja električne energije. Poleg tega lahko izbirajo tudi vrsto izvora električne energije (npr. iz obnovljivih virov energije ali iz neobnovljivih). Gre torej za možnost, da okoljsko ozaveščeni odjemalci kupujejo električno energijo proizvedeno na okolju prijazen način.

Udeleženci trga z električno energijo so proizvajalci, trgovci in dobavitelji, ki dobavljajo električno energijo odjemalcem.

Dejavnosti od proizvodnje do porabe:

- proizvodnja in trgovanje sta tržni dejavnosti,
- prenos in distribucija sta netržni in regulirani dejavnosti in
- dobava električne energije odjemalcem je tržna dejavnost.

Trg z električno energijo se deli (glejte tudi Agencija za energijo Republike Slovenije http://www.agen-rs.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=29&id_informacija=883, 19.2. 2009):

- trg na debelo,
- trg na drobno.

Udeleženci trga na debelo so elektrarne in trgovci. Končni odjemalci na trgu na debelo praviloma ne sodelujejo. Trg na debelo zajema tudi vse oblike čezmejnega trgovanja z električno energijo. Trgovanje poteka bodisi na organiziranem trgu (v Sloveniji je podjetje Borzen za sprotne dobave – ad hoc nabave in prodaje), ali bilateralno. V Sloveniji je večina poslov sklenjena bilateralno torej neposredno med prodajalcem in kupcem.

Cena električne energije je v grobem sestavljena iz:

- cene električne energije,
- cene za uporabo omrežij,
- trošarin in davkov.

Cena za uporabo omrežij zajema omrežnino, ki jo določa Javna agencija republike Slovenije za energijo in dodatke k omrežnini, ki jih določa vlada. Ceno za uporabo omrežij plača kupec za »dostop« do omrežja. Z omrežnino so kriti stroški prenosa električne energije po prenosnem in distribucijskem omrežju, kakor tudi delovanje elektroenergetskega sistema, za katerega kritje so oblikovani stroški sistemskih storitev.

Veliki proizvajalci (sistemski proizvajalci) električne energije v Sloveniji so: Dravske elektrarne (DEM), Savske elektrarne (SEL), Soške elektrarne (SENG), Nuklearna elektrarna (NEK), Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ), Termoelektrarna Trbovlje (TET), Termoelektrarna – toplarna (TE TOL) in Termoelektrarna Brestanica (TEB).

Navedene elektrarne predstavljajo sistemsko proizvodnjo v slovenskem elektroenergetskem sistemu. Poleg njih obratuje na distribucijsko omrežje priključena razpršena proizvodnja. To so male hidroelektrarne in proizvodnja v industrijskih objektih predvsem s soproizvodnjo toplote. Postopoma se v sistem vključujejo tudi drugi obnovljivi viri električne energije kot so fotovoltaike, elektrarne na biomaso in mikroelektrarne.

Pri vodenju elektroenergetskega sistema moramo poznati značilnosti posameznih vrst elektrarn za pravilno načrtovanje in vodenje v realnem času.

Vpliv trgovanja na energetske pretoke

Razpršeni proizvodni viri, imenovani tudi distribuirani viri, so večkrat utemeljeni z dejstvom, da proizvajajo električno energijo bližje porabi in se zato za njihovo proizvodnjo ne potrebuje distribucijskega in prenosnega omrežja. V večini primerov temu ni tako. Narava distribuiranih virov je, da se velika večina njihove proizvodnje ne more usklajevati s časom porabe električne energije. Male hidroelektrarne so pretežno pretočne elektrarne in proizvajajo električno energijo skladno z velikostjo vodotokov. Sončne elektrarne proizvajajo električno energijo, ko je sonce, vetrne elektrarne takrat ko je veter ..., ne meneč se za časovno dinamiko porabe električne energije. Časovno dinamiko morajo zagotavljati predvsem sistemske elektrarne.

Skladno z evropsko naravnostjo po zviševanju obnovljivih virov energije (alternativnih virov energije) se pojavlja zahteva po prenosih na velike razdalje. V Nemčiji je instalirano največ vetrnih elektrarn. V času njihove maksimalne proizvodnje njihova moč ni porabljena za lokalno porabo, temveč se preko UCTE prenosnega omrežja prenaša v druge elektroenergetske sisteme. Občasni pretoki so znatni tudi preko slovenskega elektroenergetskega sistema.

Trgovanje z električno energijo v evropski interkonekciji ne pozna meja, zato se pretoki po prenosnem omrežju s širjenjem trgovanja, povečujejo.

2.2 SISTEMSKE REGULACIJE

Sistemske regulacije so doktrina evropske interkonekcije UCTE. Osnovane so na delovanju interkonekcije, brez centra vodenja na nivoju interkonekcije. Centri vodenja elektroenergetskih sistemov so le pri članicah, pri elektroenergetskih sistemih združenih v interkonekcijo. Centra v Laufenburgu in Brauweilerju sta le statistično koordinacijska centra, ki služita za usklajevanje podatkov med centri vodenja elektroenergetskih sistemov, medtem ko elektroenergetski sistemi sami posegajo v delovanje – vodenje elektroenergetskih naprav. Sistemske regulacije so torej osnovane tako, da dobro vodenje sistemov članic pomeni hkrati tudi visoko kvaliteto delovanja interkonekcije.

Osnova za kvalitetno delovanje posameznih sistemov in interkonekcije so sistemske regulacije, ki se dele na:

- primarno regulacijo,
- sekundarno regulacijo in
- terciarno regulacijo.

2.2.1 Primarna regulacija

Primarna regulacija je regulacija agregatov, ki sami stopajo v medsebojne povezave preko elektroenergetskih omrežij, brez posegov centrov vodenja posameznih sistemov.

Agregat v primarni regulaciji reagira na spremembo frekvence, ki je znanilka porušenega ravnotežja med porabo in generacijo. Govorimo o statikah agregatov na osnovi katerih posamezni agregati spreminjajo svojo obremenitev kot ukrepe za stalnost ravnovesja med porabo in proizvodnjo.

Vsako regulacijsko območje v interkonekciji mora skladno z regulativo UCTE prispevati k odpravljanju ravnotežja v moči sorazmerno z odstopanjem frekvence. Zato morajo imeti v agregatih določeno rezervno moč primarne regulacije.

Rezervna moč primarne regulacije elektroenergetskega sistema

Evropska interkonekcija UCTE predpisuje minimalno območje primarne regulacije:

$$P_{prim} = (E_i / E_{EUCTE}) 3000 \text{ MW}$$

(<http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596>, priloga 1, 19. 2. 2009).

P_{prim} : potrebna regulacijska moč v agregatih primarne regulacije

E_i : proizvodnja na pragu i -tega elektroenergetskega sistema (vključno z izvozom)

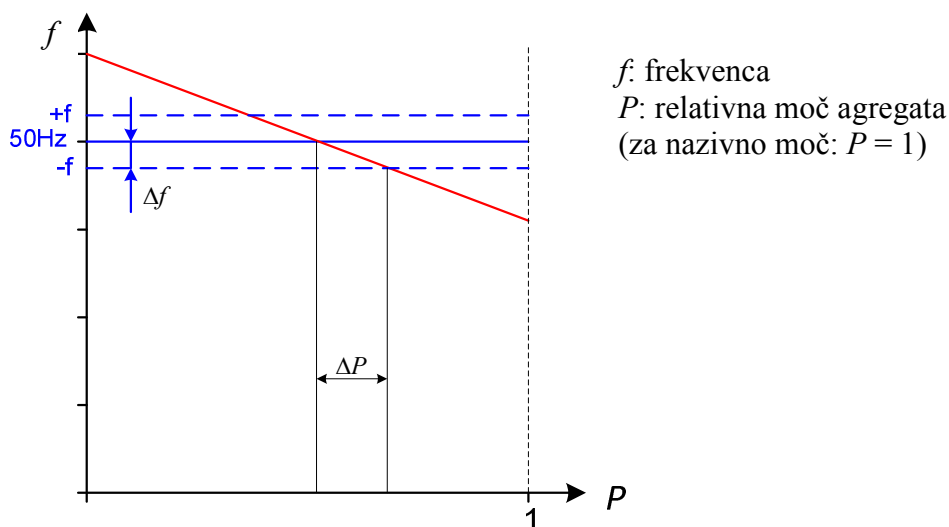
E_{EUCTE} : skupna proizvodnja interkonekcije na pragu (proizvodnja vseh elektroenergetskih sistemov interkonekcije)

Gornja enačba sloni na zagotovitvi, da je vsakemu elektroenergetskemu sistemu na razpolago trenutna pomoč v primeru težav do 3000 MW. Pri tem je potrebno poudariti, da je ta moč vzajemnosti lahko omejena le s propustnostjo elektroenergetskega omrežja.

Naloga

- Določite primarne rezerve moči za slovenski elektroenergetski sistem, ki jih je potrebno zagotoviti v vseh stolpcih urnega obratovalnega diagrama.

T Statika agregata



Slika 32: Statika agregata v primarni regulaciji.

Vir: Lasten

Statika: $s = (\Delta f / f_n) / (\Delta P / P_n)$

Δf : sprememba frekvence

f_n : nazivna frekvenca (50 Hz)

ΔP : sprememba moči (reakcija agregata na spremembo frekvence Δf)

P_n : nazivna moč agregata

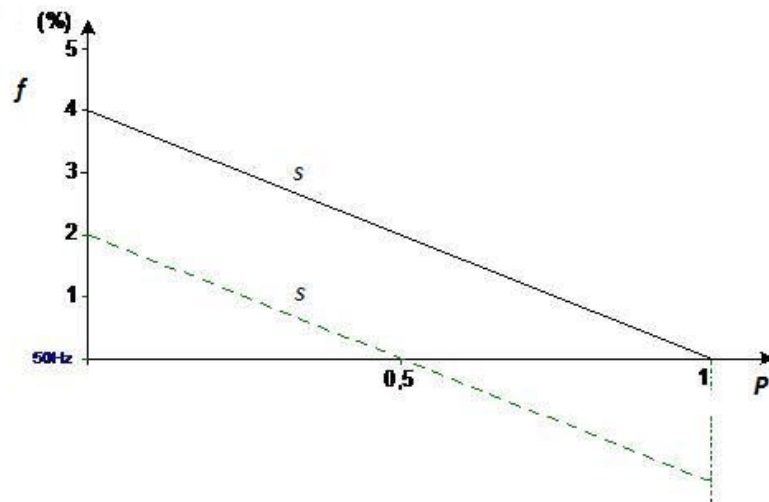
s : statika agregata

Statike agregatov so sicer krivulje, vendar jih v obratovanju elektroenergetskih sistemov aproksimiramo s premicami.

Statike podajamo običajno relativno kot je prikazano v zgornji enačbi ali pa v procentih.

Grafično prikažemo statiko najlažje pri nazivni obremenitvi agregata. Na ordinato nanesemo procete s katerimi je statika podana, na absciso pa nazivno moč agregata. Zveznica obeh točk je statika agregata, kot kaže zvezna premica na sliki (Slika 33). Ordinata na katero nanašamo frekvenco ima izhodišče pri nazivni frekvenci 50 Hz. Slika torej prikazuje agregat pri nazivni obremenitvi. Statika seka v opisanem primeru absciso pri nazivni moči.

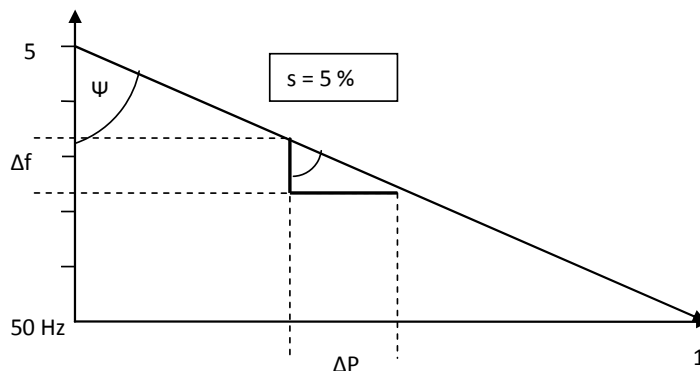
Za obratovanje agregata pri nižji obremenitvi statiko ustrezno paralelno premaknemo navzdol kot kaže slika 33. Gre le za premaknitev statike, ki določa v presečišču z abscisno osjo (50 Hz) velikost proizvedene moči.



Slika 33: Konstrukcija statike ($s = 4 \%$)

Vir: Lasten

Statika je sprememba relativne frekvence ulomljena z reakcijo agregata na to spremembo. Slika 34 prikazuje konstrukcijo statike 5 %; statika je razmerje katet trikotnika $\frac{\Delta f}{\Delta P}$. Ker gre za linearizacijo statike, je razmerje katet velikega trikotnika tudi enako statiki.



Slika 34: Statika agregata 5 % (agregat je nazivno obremenjen)

Vir: Lasten

T Regulacijska konstanta

Obratno razmerje katet trikotnika (slik 34) $\frac{\Delta P}{\Delta f}$ daje regulacijsko energijo (moč) agregata na enoto frekvence:

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta f}$$

K : regulacijska energija agregata ali regulacijska konstanta pove reakcijo agregata na spremembo frekvence 1 Hz. Podajamo jo v MW/Hz.

Iz slike 34 je razvidno, da je regulacijska energija K tangens kota Ψ .

$$K = \tan \Psi$$

Za izračun $\tan \Psi$ vzamemo katete pravokotnega trikotnika v relativnih vrednostih glede na osnovne f_n in P_n ; lahko pa vzamemo tudi neposredne vrednosti v MW in Hz.

Iz slike 34 je tudi razvidno, da je statika v neposredni povezavi z regulacijsko konstanto. Določimo jo tudi geometrijsko $\frac{\Delta P}{\Delta f}$. Za veliki trikotnik je vertikalna kateta:

$$\Delta f = s f_n$$

In horizontalna kateta:

$$\Delta P = P_n$$

In končno regulacijska konstanta agregata:

$$K = \frac{P_n}{s f_n}$$

Regulacijska konstanta elektroenergetskega sistema z n agregati v primarni regulaciji

$$K_{EES} = \sum_1^n K_i$$

K_{EES} : regulacijska konstanta elektroenergetskega sistema

K_i : regulacijska konstanta i -tega agregata

Primer paralelnega obratovanja dveh agregatov

V ilustracijo si oglejmo primer paralelnega obratovanja dveh agregatov enakih nazivnih moči z različno nastavljenima statistikama: $s_2 = 8\%$; $s_1 = 4\%$.

Nazivne moči agregatov: $P_{n1} = 200$ MW; $P_{n2} = 200$ MW;

Agregata obratujeta pri nazivnih delovnih močeh, to je skupno 400 MW.

(breme: $P_B = P_{n1} + P_{n2} = 400$ MW)

- Za kolikšen Δf bi morali »spustiti« oboje statiki, da bi oba agregata skupaj proizvajala 200 MW?
- Koliko bi bila obremenitev prvega in koliko drugega agregata?

Naslednji enačbi oblikujemo s pomočjo grafične predstave statik obeh agregatov.

$$\tan \Psi_1 = \frac{P_{1n}}{s_1 f_n} = \frac{P_1}{s_1 f_n - \Delta f}$$

$$\tan \Psi_2 = \frac{P_{2n}}{s_2 f_n} = \frac{P_2}{s_2 f_n - \Delta f}$$

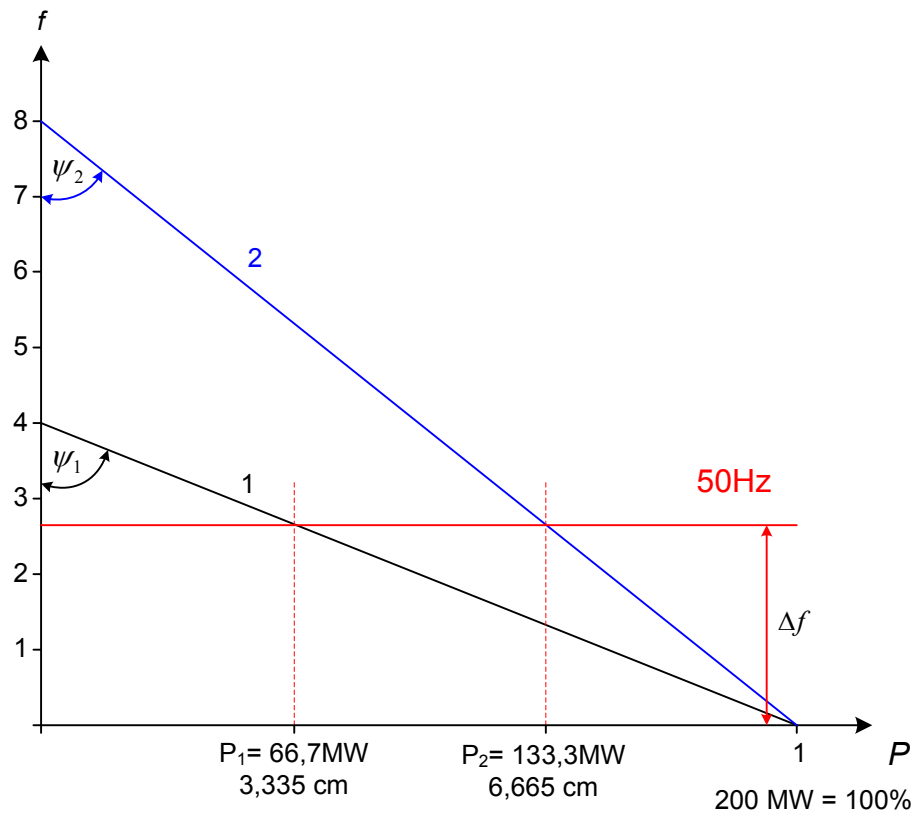
P_1 : proizvodna moč agregata 1

P_2 : proizvodna moč agregata 2

Δf : pomik karakteristik (spust karakteristik)

Imamo dve enačbi s tremi neznankami. Potrebujemo še tretjo enačbo, ki jo oblikujemo iz podane skupne proizvodnje obeh agregatov.

Tretja enačba: $P_1 + P_2 = 200$ MW



Slika 35: Paralelno obratovanje dveh enakih agregatov z različno nastavljenima statikama 1 in 2.

Vir: Lasten

V enačbi za $\tan \psi_1$ in $\tan \psi_2$ vstavimo nazivno frekvenco in obe relativni statiki; na ta način dobimo:

$$\Delta f = P_1 / 100 - 2$$

$$\Delta f = P_2 / 50 - 4$$

Obe spremembi Δf iz ene in druge enačbe sta seveda enaki, ker agregata delujeta paralelno. Zato ju izenačimo in dobimo:

$$2P_2 = P_1 + 200$$

Končno, z vstavitvijo tretje enačbe $P_1 + P_2 = 200$ MW sledi proizvodna moč drugega agregata:

$$\underline{P_2 = 133,3 \text{ MW}}$$

Iz tretje enačbe nato neposredno sledi:

$$\underline{P_1 = 66,7 \text{ MW.}}$$

Premik statik je $\Delta f = 1,33$ Hz ali 2,66 % kot je razvidno iz slike 35.

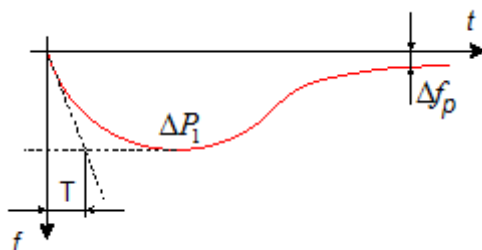
Slovenski elektroenergetski sistem ima v primarni regulaciji 2 % rezervnih moči, ki mora biti na razpolago vse dokler je ne nadomesti sekundarna regulacija (praviloma vsaj 15 min po odmiku frekvence).

Čim višja je statika, manjša je odzivnost agregata oz. manjša je njegova reakcija na spremembo frekvence. Zato so statike termoelektrarn na premog in jedrske elektrarne višje od plinskih in hidroelektrarn.

Statike agregatov v slovenskem EES (http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P003-0000.PDF, 19. 2. 2009):

Jedrska elektrarna	5–8 %
Termoelektrarna	5–8 %
Plinske elektrarne	4–6 %
Hidroelektrarne	4–5 %

Dinamika delovanja primarne regulacije na padec frekvence je prikazana na sliki (Slika 36).



Slika 36: Prehodni pojav pri velikem izpadu proizvodnje moči

Vir: Lasten

Za delovanjem primarne regulacije vedno ostaja »preostala napaka«, ki jo odpravlja sekundarna regulacija. Razlika Δf_p (preostala napaka) je nujna za delovanje primarne regulacije in določa reakcijo agregata preko nastavljenе statike.

2.2.2 Samoregulacija odjema

Pri znižanju ali zvišanju frekvence se zviša ali zniža samodejno tudi moč odjema. Statika odjema je visoka od 100 do 200 %. Odjem s tako visoko statiko relativno malo prispeva k uravnovešenju odjema in proizvodnje.

Primer:

Pri statiki odjema 200 % in proizvodnji moči sistema 2000 MW je regulacijska konstanta odjema 20 MW /Hz, kar znaša na območju 200 mHz le 4 MW odziva, ki prispeva k primarni regulaciji elektrarn.

Rezerve moči za primarno regulacijo

V proizvodnih enotah mora biti v vsakem času (tudi pri koničnih obremenitvah) rezervna moč za primarno regulacijo v minimalni višini 2 % moči celotnega sistema vključujoč uvozno moč električne energije (Sistemska ... prenosnega omrežja, 2007). Kvaliteta moči v rezervi je izkazana s tem, da je v celoti na razpolago v območju –200 mHz in seveda tudi v pozitivni smeri to je +200 mHz.

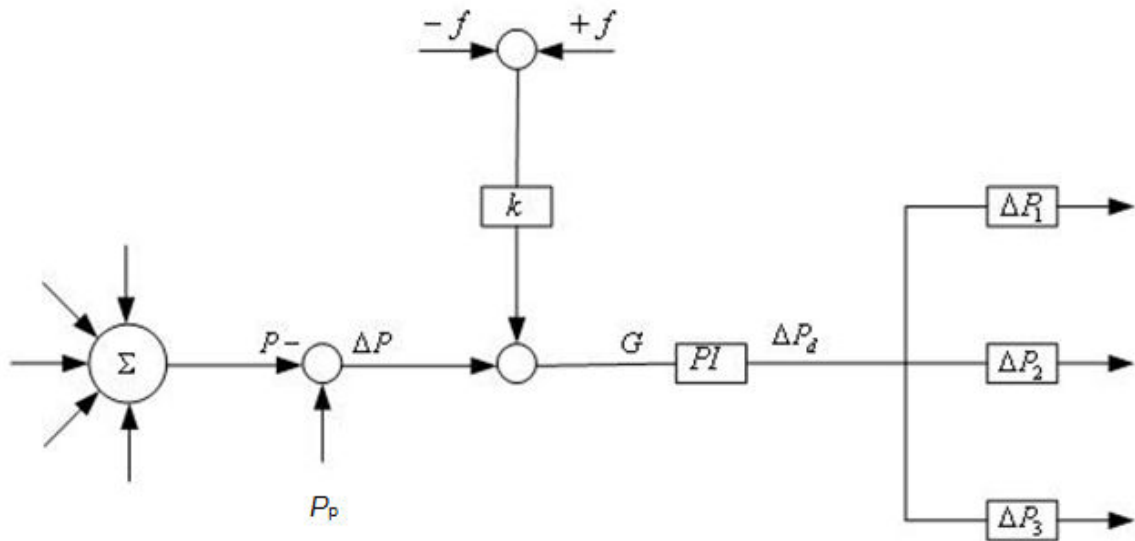
2.2.3 Sekundarna regulacija

Sekundarna regulacija je regulacija centra vodenja elektroenergetskega sistema, medtem ko je primarna regulacija sistemska regulacija samih agregatov.

Regulacija se odziva na preostalo napako, ki jo puščajo za seboj primarne regulacije in jo odpravlja. Dodatno sekundarna regulacija odpravlja odstopanja, ki nastajajo v obratovanju med realiziranimi in planiranimi čezmejnimi pretoki (energetski pretoki preko meja elektroenergetskega sistema).

Poenostavljena načelna shema delovanja sekundarne regulacije je predstavljena na sliki 37.

$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$: zahtevki za spremembo moči v elektrarnah sekundarne regulacije.



Slika 37: Poenostavljena načelna shema delovanja sekundarne regulacije

Vir: Lasten

V sumator (Σ) načelne sheme se stekajo vse meritve pretokov preko meja matičnega elektroenergetskega sistema in se seštevajo. Seštevek se primerja s planiranim seštevkom P_p prekomejnih pretokov. Nastali razliki ΔP se dodaja še napaka frekvence pomnožena s faktorjem k . Obe odstopanji ΔP in $k\Delta f$ skupno dajeta zahtevek G za regulacijo moči (zahtevek: $G = 0$), ki gre preko proporcionalno-integralnega regulatorja na posamezne systemske elektrarne v sekundarni regulaciji (Slika 37).

Manjša odstopanja od načrtovanih izmenjav so stalnica, na katere sekundarna regulacija le leno reagira, kar ji omogoča karakteristika integralnega regulatorja, ki umirja delovanje sekundarne regulacije. Večja odstopanja pa nastanejo ob izpadih porabe ali izpadih proizvodnje, kjer deluje sočasno tudi vzajemna pomoč vseh sistemov v interkonekciji v okviru primarne regulacije. Sumarni regulator zazna razliko med načrtovanimi in realiziranimi čezmejnimi pretoki, ki jo v impulzih skupno z odstopanjem frekvence distribuira elektrarnam v območju sekundarne regulacije ($\Delta P_d = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3$ na sliki 37).

Sekundarni regulator deluje v skladu z regulacijskim binomom:

$$G = \Delta P + k\Delta f$$

Izbira faktorja k v binomski enačbi sekundarne regulacije

Imamo več možnosti za nastavitve vrednosti faktorja k ; načeloma od 0 do ∞ .

Systemske regulacije glede na izbiro k :

- $k = 0$: čista regulacija moči izmenjav (na razliko frekvence se regulator ne odziva);
- $k = \infty$: čista regulacija frekvence (regulator deluje na vsako najmanjšo spremembo frekvence tako močno, da je razlika med načrtovanimi in realiziranimi čezmejnimi pretoki zanemarljiva). V interkonekciji se ta način ne uporablja zaradi pojavljanja nestabilnosti. V otočnem obratovanju pa je nastavitev $k = \infty$ možna in enostavna;
- $0 < k < \infty$: mešana regulacija.

Posebno pomembna je nastavitev $k \approx K$. Pri tej nastavitvi gre za naraven odziv elektroenergetskega sistema na spremembo frekvence glede na svojo regulacijsko konstanto, to je glede na svojo sposobnost prilagajanja frekvenčnim odstopanjem. Ta nastavitev zahteva

od vsakega sistema v katerem je nastal izpad proizvodne enote, da v območju sekundarne regulacije sam odpravi nastalo sistemsko neravnovesje.

Vsakemu sistemu, ki mu je izpadel odjem ali proizvodna enota, mu interkonekcija nudi trenutno pomoč tako, da odjem na območju prizadetega elektroenergetskega sistema izpada sploh ne občuti. Sekundarna regulacija sistema pa s pomočjo elektrarn v sekundarni regulaciji sama vzpostavi ponovno ravnovesje.

Iz mešane regulacije je izbran $k \approx K$, ki je doktrina UCTE.

Rezervne moči sekundarne regulacije

Skladno s pravili UCTE je minimalna rezerva za delovanje sekundarne regulacije moč, ki ustreza naslednjima pogojema:

1. Moč največjega agregata;

$$2. \Delta P_{sec} = \sqrt{aP_{max} + b^2} - b ;$$

(http://www.ucte.org/library/ohb/consultation/081120_UCTE_OH_Policy1_publicConsultation.pdf, P1–15, 19. 2. 2009)

Koeficienta a in b sta določena eksperimentalno: a = 10 MW, b = 150 MW.

P_{max} : načrtovana konična moč elektroenergetskega sistema, ki je hkrati tudi regulacijsko območje.

ΔP_{sec} = minimalna rezervna moč sekundarne regulacije (sekundarna rezerva regulacijske moči)

Sekundarna rezerva regulacijske moči se koristi le za izravnavo trenutnega odstopanja sistema. Razne oblike sistemskih kompenzacij in nenačrtovane izmenjave električne energije se krijejo s spremembo voznih redov s tem, da rezerve sekundarne regulacije ostanejo neokrnjene.

Sekundarna regulacija deluje takoj po delovanju primarnih regulacij. Njeno delovanje mora biti končano v 15 min. V primeru potrebe je v slovenskem elektroenergetskem sistemu v tem času izvršen zagon rezervnih plinskih agregatov.

2.2.4 Terciarna regulacija

Rezerve z naslova terciarne regulacije so namenjene za izravnavo odstopanj v vsakdanjem obratovanju in za izredne obratovalne dogodke. Rezerva za izravnavo odstopanj v vsakdanjem obratovanju se praviloma uporablja za nadomestitev manjkajoče rezerve v rezervah sekundarne regulacije. Tudi terciarna rezerva moči mora biti v polnem obsegu aktivirana v 15 min.

Minutna rezerva je rezerva, ki mora biti aktivirana v 15 min. Sem spadajo tudi plinske elektrarne s hitrim zagonom. Izpolnjevanje prvega pogoja za obseg sistemskih rezerv je izredno težavno za male sisteme z velikimi proizvodnimi enotami. Uvedba minutne rezerve je šele dala slovenskemu elektroenergetskemu sistemu možnost za avtonomno delovanje v okviru evropske interkonekcije UCTE (Hrovatin, et al., 2007, poglavje 8). V minutno rezervo spadajo tudi pogodbene moči odjemalcev, ki se lahko v primeru potrebe reducirajo v času do 15 min.

2.2.5 Interaktivni proces pri izpadu proizvodne zmogljivosti

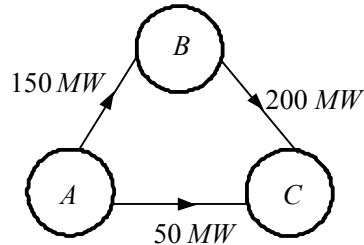
Vzemimo obratovanje treh elektroenergetskih sistemov v interkonekciji skladno s pravili evropske interkonekcije. Interaktivni proces pri izpadu proizvodne zmogljivosti si bomo ogledali na tem ilustrativnem primeru.

Načelne definicije obratovanja v interkonekciji podaja že Plaper (1975) in so se tekom let nadgrajevale in so razpoložljive na naslovih:

<http://www.ucte.org/activities/systemoperation/operationhandbook/> in <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596>.

Primer

Osnoven koncept obratovanja treh sistemov je vzet iz Plaper (1975, str.314).



Slika 38: Interkonekcija treh elektroenergetskih sistemov A, B in C z medsebojnimi izmenjavami

Saldo izmenjav med sistemi:

$$P_{Ap} = 150 + 50 = 200 \text{ MW (izvoz sistema A)}$$

$$P_{Bp} = -150 + 200 = 50 \text{ MW (izvoz sistema B)}$$

$$P_{Cp} = -200 - 50 = -250 \text{ MW (uvoz sistema C)}$$

$$\sum_{i=A}^C P_{ip} = 0 \text{ MW}$$

Regulacijske konstante posameznih sistemov:

$$K_A = 500 \text{ MW/Hz}$$

$$K_B = 1000 \text{ MW/Hz}$$

$$K_C = 1500 \text{ MW/Hz}$$

Regulacijska konstanta interkonekcije

Regulacijska konstanta interkonekcije je seštevek vseh regulacijskih konstant sistemov

$$K_{INT} = K_A + K_B + K_C = 3000 \text{ MW/Hz}$$

V sistemu A izpade agregat s proizvodnjo 300 MW, kar povzroči padec frekvence v interkonekciji.

$$\Delta f = \Delta P / K_{INT}$$

$$\Delta P: \text{moč izpadlega agregata } (\Delta P = 300 \text{ MW})$$

$$\Delta f = 0,1 \text{ Hz}$$

Na padec frekvence 0,1 Hz reagirajo vsi agregati v primarni regulaciji (v vseh sistemih):

$$\Delta P_A = -K_A \Delta f = -500 (-0,1) = 50 \text{ MW}$$

$$\Delta P_C = -K_C \Delta f = -1500 (-0,1) = 150 \text{ MW}$$

$$\Delta P_B = -K_B \Delta f = -1000 (-0,1) = 100 \text{ MW}$$

Skupna povečava moči agregatov v primarni regulaciji v vseh paralelno obratujočih sistemih:

$$\Delta P = \Delta P_A + \Delta P_B + \Delta P_C = 300 \text{ MW}$$

Vzajemno delujoči agregati so nadomestili izpadlo moč, vendar se je znižala frekvenca za $\Delta f_p = -0,1 \text{ Hz}$. Nastala je tudi nova slika moči izmenjav.

Sekundarna regulacija zazna padec frekvence $-0,1 \text{ Hz}$ kakor tudi spremembe moči izmenjav.

Spremembe moči izmenjav:

$$P_{Ap} = 200 - 300 + 50 = -50 \text{ MW (uvoz sistema A)}$$

$$P_{Bp} = 50 + 100 = 150 \text{ MW (izvoz sistema B)}$$

$$P_{Cp} = -250 + 150 = -100 \text{ MW (uvoz sistema C)}$$

$$\sum_{i=A}^C P_{ip} = 0 \text{ MW}$$

Komande sekundarnih regulacij posameznih sistemov:

$\Delta P_A + K_A \Delta f = -300 \text{ MW} \quad \Rightarrow 0$ (komanda sekundarne regulacije je likvidacija primanjkljaja 300 MW, ki ga nadomestijo elektrarne v sekundarni regulaciji sistema A).
Reakciji sekundarnih regulacij ostalih dveh sistemov v interkonekciji:

$$\Delta P_B + K_B \Delta f = 0$$

$$\Delta P_C + K_C \Delta f = 0$$

Oba neprizadeta sistema sta s primarno regulacijo nudila pomoč prizadetemu sistemu skupno 250 MW. Sekundarni regulaciji sistemov B in C sta zaznali tako padec frekvence $-\Delta f_p$, kakor tudi spremembe pretokov, vendar ne reagirata in nudita še nadalje pomoč sistemu A dokler jo potrebuje (dokler sekundarna regulacija sistema A ne nadomesti izpadlega agregata).

Sistem B od začetne pomoči 100 MW in C od začetne pomoči 150 MW znižujeta postopoma pomoč sistemu A skladno z nižanjem Δf_p . Na koncu procesa delovanja sekundarne regulacije je frekvenca v interkonekciji nazivna, sistem A pa v celoti nadomesti v svojem sistemu izpadlo moč 300 MW in to v času delovanja svojih sistemskih regulacij.

2.2.6 Razbremenjevanje elektroenergetskega sistema

V kriznih elektroenergetskih situacijah, ki vodijo v razpad elektroenergetskega sistema ali razpad interkonekcije, daje doktrina UCTE prednost razbremenjevanju posameznih elektroenergetskih sistemov z namenom, da se paralelno delovanje sistemov ohranja. Dolgoletne obratovalne izkušnje povedo, da je mnogo večja škoda povzročena z razpadom interkonekcije ali z razpadom posameznih sistemov, kakor pa z razbremenjevanjem in nadaljevanjem paralelnega obratovanja z zmanjšanimi obremenitvami.

Krizna situacija pri kateri ni več sistemskih rezerv povzroči pri izpadu večjih enot zniževanje frekvence in na poti proti razpadu še dodatno izgublja proizvodne kapacitete. Pri frekvenci pod 48,5 Hz se prično pojavljati izklopi turbo agregatov, zato je potrebno predhodno ukrepati z razbremenjevanjem sistema.

Razbremenjevanje poteka v stopnjah s tem, da je prva stopnja sprožena že pri 49,2 Hz. Stopnje so ocenjene po približni enačbi:

$$\Delta p \approx 2 (K/P_{MAX}) \Delta f$$

Δp : relativni obseg redukcije odjema v eni stopnji

Primer:

Izračun potrebne razbremenitve za padec frekvence od 50 na 49,2 Hz pri $P_{MAX} = 2000 \text{ MW}$ in regulacijski konstanti sistema 125 MW/Hz.

Rezultat po zgornji enačbi: $\Delta p \approx 0,1_{pu}$

Prva stopnja razbremenitev pomeni približno 10 % maksimalne moči elektroenergetskega sistema.

Sistemska obratovalna navodila slovenskega elektroenergetskega sistema določajo razbremenitve v štirih stopnjah, ki so prikazane v tabeli 1.

Tabela 1: Avtomatsko razbremenjevanje elektroenergetskega sistema

Stopnje	Frekvenca(Hz)	Razbremenitve	Skupna razbremenitev
1	49,0	10 %	10 %
2	48,8	Dodatno 15 %	25 %
3	48,4	Dodatno 15 %	40 %
4	48,0	Dodatno 15 %	55 %

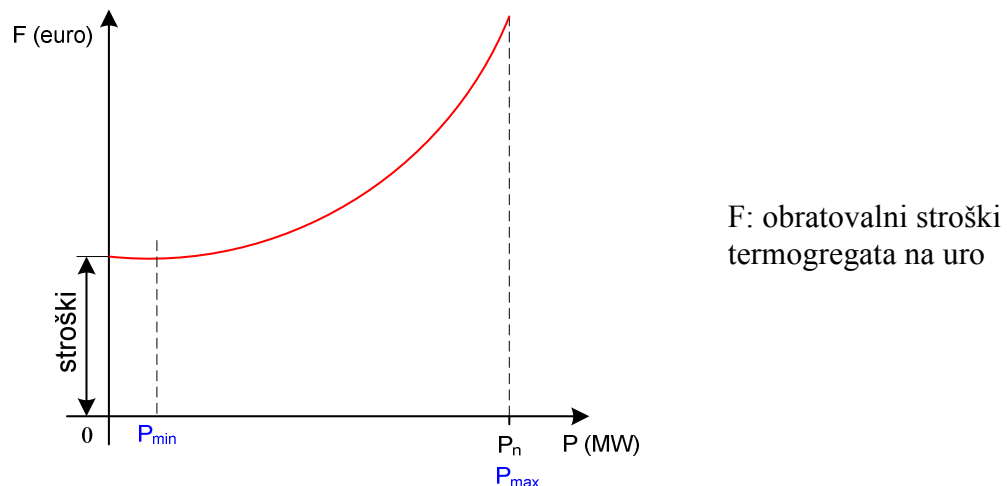
Vir: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596> (10.11.2008)

Operater elektroenergetskega sistema lahko tudi daljinsko krmili razbremenjevanje. V ta namen operaterji distribucijskih omrežij in neposredni odjemalci omogočajo daljinsko krmiljenje vseh odklopnikov, ki sodelujejo v podfrekvenčni shemi razbremenjevanja. V avtomatsko razbremenjevanje je vključen tudi kriterij hitrosti padanja frekvence. Čim večja je hitrost padanja (Hz/s) tem višja je stopnja razbremenitve.

2.2.7 Optimalna razdelitev moči na posamezne termoagregate

Na sliki 39 so prikazani **obratovalni stroški** agregata od sinhronizacije do maksimalne moči. Dejansko so stroški tudi za zagon agregata, ki so različni tako po velikosti kot po času trajanja zagona za različne vrste agregatov. Po sinhronizaciji povečujemo moč. Stroški so za prve MW-te nizki, nato pa postopoma naraščajo.

Na sliki 40 **specifični stroški** po začetnem povečevanju proizvedene moči strmo padajo, nato pa se proti nazivni moči zopet povečujejo.



Slika 39: Zunanja krivulja stroškov termoagregata

Vir: Lasten

Marginalni obratovalni stroški

Za optimizacijo proizvodnje več agregatov so pomembni marginalni stroški, ki so podani z enačbo

$$\lambda = \frac{dF}{dP}$$

F: obratovalni stroški na uro

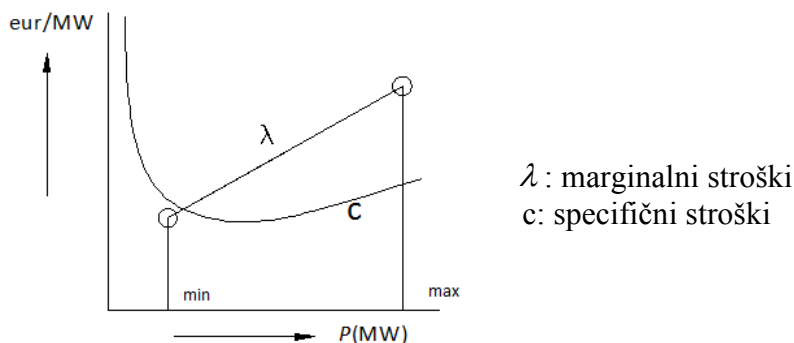
P: Proizvodna delovna moč

λ : marginalni stroški (€/MW)

Realna funkcija je sicer krivulja, v naših analizah pa jo bomo aproksimirali s premico (λ) kot je to prikazano na sliki (Slika 40).

Agregati delujejo na optimumu (pri optimalnih stroških) takrat, ko so marginalni stroški vseh obratujočih agregatov enaki.

$$\lambda = \frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} = \dots = \frac{dF_n}{dP_n}$$

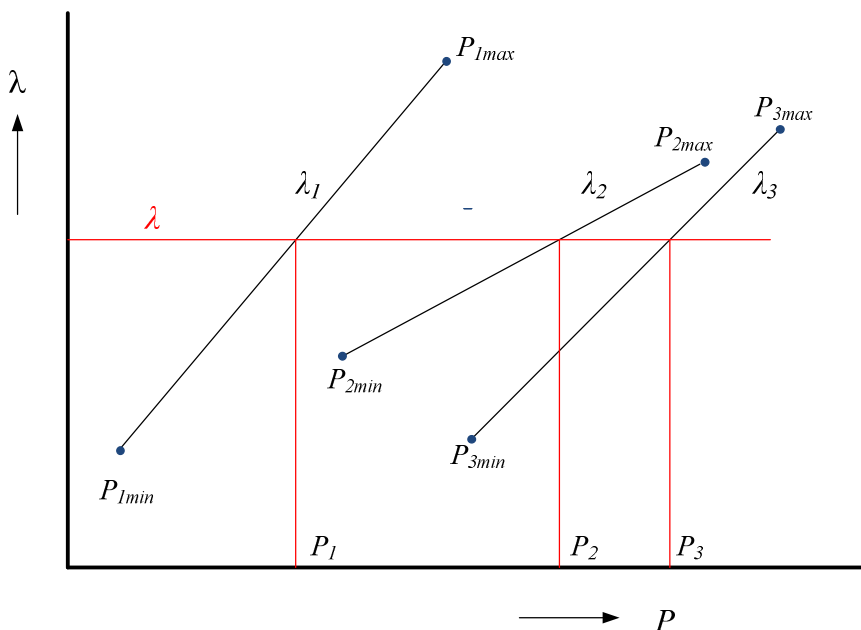


Slika 40: Specifični in marginalni obratovalni stroški agregata
Vir: Lasten

Na sliki (Slika 41) imamo tri agregate v obratovanju različnih moči. Načrtovana ali pogodbeno vrednost za obravnavan i-ti urni interval je vsota proizvodnje treh agregatov:

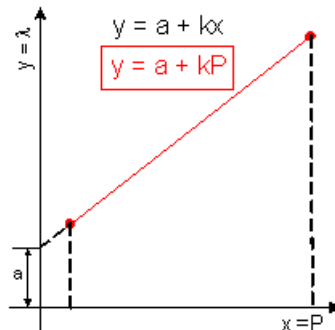
$$\sum P_i = P_1 + P_2 + P_3$$

Pri določitvi optimuma niso merodajni specifični, temveč marginalni stroški.



Slika 41: Optimalno obratovanje v EES pri urni obremenitvi
Vir: Lasten

Marginalne stroške posameznih agregatov smo aproksimirali s premicami (oz. v izračunih z enačbami premic).



Slika 42: Aproksimacija marginalnih stroškov s premico
Vir. Lasten

Primer obratovanja dveh agregatov G_1 in G_2 v optimalnem režimu za določeno uro iz obratovalnega diagrama.

Agregat G_1 : $P_{1min} = 140$ MW; $P_{1max} = 350$ MW

Premica marginalnih stroškov je podana z: $a_1 = 0,25$ c/kWh; $k_1 = 0,0139 \cdot 10^{-3}$ c/kWh².

Agregat G_2 : $P_{2min} = 210$ MW; $P_{2max} = 525$ MW

Premica marginalnih stroškov je podana z: $a_2 = 1,17$ c/kWh; $k_2 = 0,0058 \cdot 10^{-3}$ c/kWh².

Pogodbena vrednost za obravnavano uro obratovalnega diagrama je 502 MW.

S pomočjo splošne enačbe aproksimiranih marginalnih stroškov

$$\lambda = a + kP$$

izračunamo maksimalne marginalne stroške $\lambda_{1max} = 5,1$ c/kWh, $\lambda_{2max} = 4,2$ c/kWh

Relevantne enačbe:

$$\lambda_1 = a_1 + k_1 P_1$$

$$\lambda_2 = a_2 + k_2 P_2$$

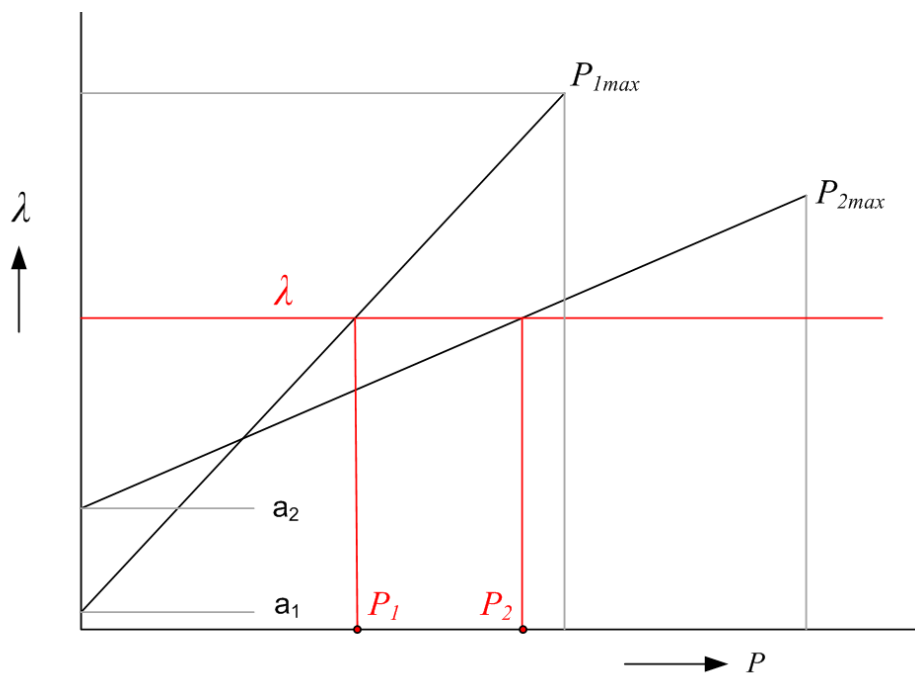
$$P_1 + P_2 = 502 \text{ MW}$$

Pogoja optimuma: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$

S pomočjo gornjih enačb dobimo optimalno razdelitev moči na oba agregata:

$$\underline{P_1 = 194,5 \text{ MW} \text{ in } P_2 = 307,5 \text{ MW}}$$

Reševanje zgornjega primera lahko prikažemo grafično. Na sliki 43 sta prikazani premici marginalnih stroškov agregatov G_1 in G_2 . Premici končata pri maksimalnih obremenitvah obeh agregatov. Minimalni obremenitvi nista prikazani, pač pa začetki premic marginalnih stroškov na ordinati, ki ustrezata konstantama a_1 in a_2 (iz enačb premic v zgornjem izračunu).



Slika 43: Grafična konstrukcija optimalnega obratovanja dveh termoagregatov pri zahtevani skupni moči.
 $\lambda(\text{c/kWh}), P(\text{MW})$
 Vir: Lasten

Naloga

- Dva termoagregata iz zgoraj navedenega primera. Izračunajte optimalno razdelitev moči če znašajo skupni marginalni stroški 2 c/kWh. Prikažite tudi grafično rešitev.

2.2.8 Faze vodenja elektroenergetskega sistema

1. Obratovalno načrtovanje
2. Vodenje v realnem času
3. Analize pretečenega obdobja

V vseh fazah vodenja je potrebno upoštevati lastnosti posameznih proizvodnih zmogljivosti saj so njihove lastnosti in možnosti prilagajanja odjemu (obremenilnemu diagramu elektroenergetskega sistema) različne.

V delovanju elektroenergetskega sistema se tekoče dogajajo motnje, na katere morajo elektroenergetski sistemi reagirati, v smislu zagotavljanja ravnovesja in doseganja kvalitete obratovanja ter posledično kvalitete dobave električne energije.

Vodenje omrežja obsega tudi upoštevanje okoljevarstvenih kriterijev.

Osrednji akter elektroenergetskega sistema je prenosno omrežje ali, če ga imenujemo z zakonskim izrazom, sistemski operater prenosnega omrežja. Ta skrbi tako za delovanje in razvoj prenosnega omrežja, kakor tudi za delovanje elektroenergetskega sistema.

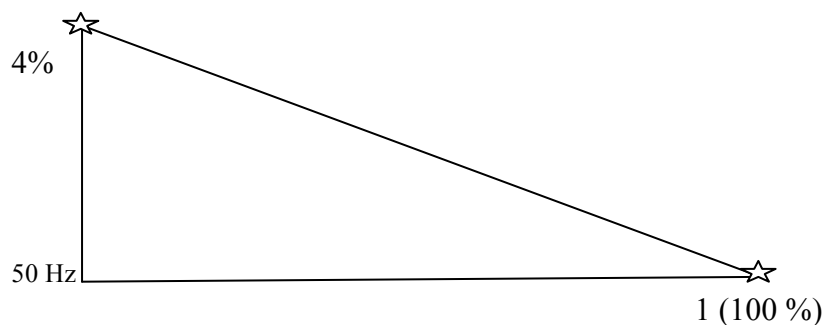
Prenosno omrežje je regulirana servisna dejavnost. Nudi ostalim udeležencem vključno z dobavitelji uslugo prenosa električne energije in hkrati tudi pridobitev pravice uporabe čezmejnih prenosnih zmogljivosti.

Sistemske operator razpolaga v skladu z energetske zakonodajo s pogodbeno določenimi sistemskimi storitvami, ki mu zagotavljajo pravilno delovanje elektroenergetskega sistema v skladu z pravili in priporočili evropske interkonekcije UCTE in sistemskih obratovalnih navodil.

K vodenju elektroenergetskega sistema spadajo tudi regulacije napetosti, ki so osnovane na regulaciji pretokov in izvorov jalovih moči.

Zaščitni sistemi v elektroenergetskem sistemu, ki so hkrati tudi zaščitni sistemi prenosnega omrežja, morajo biti harmonično usklajeni in koordinirani tako z odjemalci kot s proizvajalci električne energije.

Naloga



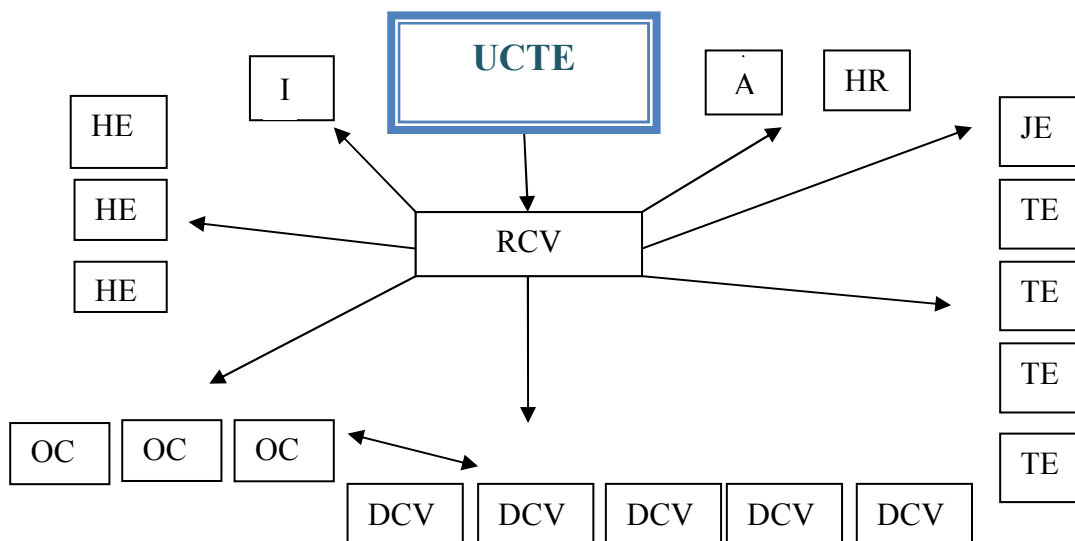
Podana je statika agregata 4%.

Dva termoagregata obratujeta paralelno $P_1 = 200$ MW in $P_2 = 400$ MW. Oba imata enaki statiki 4 %.

Narišite statiki agregatov. Določite spust statik Δf tako, da bosta agregata proizvajala skupno 400 MW.

Priporočeno merilo: 1% statike \equiv 1 cm, moč agregata 100 % \equiv 10 cm.

2.3. VLOGA REPUBLIŠKEGA IN DISTRIBUCIJSKEGA CENTRA VODENJA



Slika 44: Shema vodenja elektroenergetskega sistema Slovenije
Vir: Lasten

UCTE: Koordinacijski center evropske interkonekcije v Laufenburgu

RCV: Republiški center vodenja – center vodenja elektroenergetskega sistema Slovenije

I, A, HR: Centri vodenja sosednjih elektroenergetskih sistemov

OCV: Območni center vodenja prenosnega omrežja (v Sloveniji imamo tri OCV)

DCV: Distribucijski center vodenja

OC: Center vodenja verige hidroelektrarn)in vodenje posameznih elektrarn.

HE: Hidroelektrarne

TE: Termoelektrarna

JE: Jedrska elektrarna

Vodenje hidroelektrarn obsega vodenje elektrarn v kaskadi (OC) in vodenje posameznih elektrarn.

Tudi vodenje termoelektrarn je lahko organizirano kot vodenje agregatov v skupini, ki ima relacijo z republiškim centrom (RCV). Relacije med RCV in elektrarnami so večplastne, od obratovalnega načrtovanja in pogodbenih odnosov do vodenja v realnem času.

RCV deluje v skladu z energetske zakonodajo za zanesljivo oskrbo z električno energijo in zagotavlja sigurnost obratovanja elektroenergetskega sistema. V ta namen zakupi sistemske storitve, ki mu omogočajo kvalitetno delovanje prenosnega omrežja in kvalitetno dobavo električne energije na odjemna mesta.

2.3.1 Operativno vodenje obratovanja elektroenergetskega sistema

Operativno vodenje obratovanja elektroenergetskega sistema je poverjeno sistemskemu operaterju, ki preko republiškega centra vodenja (RCV) vodi in krmili elemente 400, 220 in 110 kV omrežja neposredno ali preko OCV (območni centri vodenja prenosnega omrežja). Pri 110 kV transformatorskih postajah krmili odklopnike transformatorjev na primarni strani.

Sistemske operater vodi in krmili odklopnike, ločilnike polj vodov, zvezna polja zbiralk, obhodna polja, vzdolžne zbiralnične ločilnike, zbiralnične ločilnike transformatorjev, merilna polja 400, 220 in 110 kV, ki so namenjena zaščiti prenosnega omrežja in meritvam dobavljene energije in moči. V odnosu z elektrarnami načrtuje in vodi angažiranje proizvodnih enot ter realizacijo sistemskih storitev.

Normalno obratovalno stanje

V tem obratovalnem stanju je $n - 1$ sigurnost povsod zagotovljena. Pri izvajanju del sistemski operater zagotavlja ali koordinira izvedbo stikalnih manipulacij vključno z ozemljevanjem. Kriterij $n - 1$ načelno pomeni, da pri izpadu enega elementa prenosnega omrežja obratuje le-to in celotni elektroenergetski sistem nemoteno in da odjemalci izpada elementa ne občutijo. Določila v zvezi s kriterijem $n - 1$ so dostopna na naslovu: http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P006-0000.PDF (20.2.2009).

Pri optimizaciji napetostnih profilov in proizvodnje jalovih moči v katero so vključena tudi sosednja omrežja, izvede operater usklajevanje na stičnih mestih. Določila o nivojih napetosti in regulaciji napetosti in jalovih moči so dostopna na naslovu: http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P005-0000.PDF (20.2.2009) in http://www.ucte.org/_library/ohb/consultation/081120_UCTE_OH_Policy3_publicConsultation.pdf (20.2.2009).

Večja nevarnost prekoračitev napetostnih omejitev obstoja pri velikih in majhnih obremenitvah. Zato so na razpolago ukrepi spreminjanja obratovalnega stanja kompenzacijskih naprav in morebitnih FACTS naprav, uporabo regulacijskih transformatorjev, zagotavljanje jalovih moči v proizvodnih enotah, preklapljanje vodov, izklop ustreznih pogodbeno dogovorjenih bremen kot npr. črpalno obratovanje v črpalnih elektrarnah.

Moteno obratovalno stanje

V moteno obratovalno stanje se šteje stanje pripravljenosti, krizno stanje, stanje razpadanja in stanje vzpostavljanja obratovanja elektroenergetskega sistema.

Za motena obratovalna stanja so pripravljene posebni postopki – načrti za ukrepanje. Sem spada tudi organizacija otočnega obratovanja z enotami, ki se lahko zaženejo brez zunanjega napajanja.

S pomočjo prenosa podatkov o omrežnih spremenljivkah, kot so merilne vrednosti, signali delovanja zaščit, signali okvar na napravah in položajna javljanja, je v RCV zagotovljeno zaznavanje izrednih obratovalnih razmer, na osnovi katerih sledi ukrepanje.

V primeru večjih motenj se lahko pojavijo tudi sočasne motnje na komunikacijskih poteh. Za te primere določajo obratovalna navodila neposredno komuniciranje operaterja v RCV z dežurnim osebjem proizvodnih enot, osebjem neposrednih odjemalcev in distribucijskih podjetij.

Ukrepanja v stanju pripravljenosti in v kriznem stanju

Med ukrepe za preprečitev širjenja motenj in ponovno vzpostavitev normalnega obratovalnega stanja štejemo:

- razbremenitev v skladu z Uredbo o omejevanju obtežb <http://www.uradni-list.si/1/content?id=15650&part=&highlight=uredba+o+omejevanju+obte%C5%BEB> (26. 2. 2009);
- odpoved dodeljenih dostopov do čezmejnih prenosnih zmogljivosti;
- znižanje zelenih vrednosti regulatorjev napetosti, blokiranje regulatorjev napetosti na transformatorjih prenosnega in distribucijskega omrežja, izklop U/Q optimizacije;
- izklop uporabnika, ki ogroža stabilno delovanje EES;
- dvig proizvodnje delovnih moči na enotah v sistemskih regulacijah;

- dvig proizvodnje jalovih moči;
- zagon proizvodne enote, ki je v obratovalni pripravljenosti;
- prekinitev del na elementih EES.

V primeru kriznega stanja obvesti obratovalno vodstvo sistema – sistemski operater sosednje sisteme.

Posebni ukrepi so predvideni za preprečevanje napetostnega zloma. Izdelana je tudi shema ukrepov za vzpostavljanje omrežja po razpadu.

V primeru ločitve elektroenergetskega sistema od ostalih sistemov interkonekcije, je prioriteta čimprejšnja ponovna vzpostavitev paralelnega obratovanja. Pri tem pa je povezava s sosednjimi sistemi možna pod pogojem, da le-ti obratujejo stabilno.

2.3.2 Sistemske storitve

Med važnejše sistemske storitve spada primarna, sekundarna in terciarna regulacija, regulacija napetosti, pokrivanje odstopanj izmenjav regulacijskega območja in pokrivanje tehničnih izgub prenosnega omrežja, ter razbremenjevanje elektroenergetskega sistema.

Sistemske storitve si RCV zagotavlja z nakupom na domačem ali tujem trgu, ali pa z angažiranjem elementov, ki so v organizacijski sestavi RCV. K sistemskim storitvam prištevamo tudi sodelovanje uporabnikov omrežja. Stroške za sistemske storitve nosijo uporabniki elektroenergetskih omrežij.

Za sistemske rezerve si RCV pogodbeno zagotovi ustrezne kapacitete tako v obsegu kot po tehničnih karakteristikah. Tehnične karakteristike in kvaliteto regulacij RCV periodično kontrolira. V primeru izpada večje enote – preko 600 MW so podatki na razpolago tudi drugim centrom vodenja v interkonekciji, da lahko izdelajo analize reagiranja svojih in drugih sistemskih regulacij.

Poleg koriščenja sistemske regulacijske rezerve v matičnem elektroenergetskem sistemu sistemski operater nakupuje ali prodaja električno energijo na izravnalnem trgu. Če pa kljub temu ne more izravnati odstopanj, lahko zahteva tudi znižanje odjema na mestih kjer odstopanja nastajajo.

Za primer kriznih situacij si RCV pogodbeno zagotavlja agregate, ki stopajo v obratovanje brez zunanjega napajanja. Torej v primeru potrebe lahko izvedejo zagon in vstopijo v obratovanje brez zunanjega napajanja, kar je važno v kriznih razmerah izpada vodov ali razpada sistema.

Zanesljivost in odpornost delovanja elektroenergetskega sistema je osnovana na uporabi kriterija $n - 1$, ki ga je potrebno upoštevati tako v načrtovanju kot tudi v izgradnji in obratovanju sistema. Kriterij $n - 1$ preprečuje večje motnje in preprečuje širjenje motenj zaradi izpada kateregakoli elementa EES. Nadalje preprečuje napetostno nestabilnost, ki lahko vodi v napetostni zlom, zagotavlja stabilnost proizvodnih enot, ki so vključene na prenosno omrežje in zmanjšuje prekinitve napajanja na oddajnih mestih.

Kriterij $n - 1$ naj bi bil izpolnjen v vsem času obratovanja. V primeru, ko ta kriterij ni izpolnjen pa ima sistemski operater na razpolago naslednje ukrepe:

- sprememba topologije prenosnega omrežja;
- aktiviranje rezerv;
- odpoved dodeljenih dostopov do prenosnega omrežja
- prekinitev vzdrževalnih del na prenosnih napravah;
- kratkotrajno omejevanje napajanja odjemalcev (če se s tem ukrepom prepreči širjenje motnje); prioriteto se omejuje odjemalce s pogodbenim dovoljenjem o omejitvi napajanja.

Gornji ukrepi veljajo za vsa prenosna zankasta omrežja.

Za doseg kriterija $n - 1$ je potrebno poseči tudi po spremembi načrtov proizvodnje, če s konfiguracijo omrežja kriterija ni možno doseči.

2.3.3 Čas trajanja nenapovedanih prekinitev dobave električne energije.

Prekinitvam dobave se ne moremo izogniti, vendar morajo biti omejene zaradi zagotavljanja visoke kvalitete obratovanja in dobave električne energije. Dopustno število in trajanje nenapovedanih prekinitev dobave ali odjema na enem prevzemno – predajnem mestu je omejeno tako po številu kot po trajanju.

Kratkotrajne prekinitve:

- trajanje prekinitev krajših od 3 min v letu : 5 min;
- število prekinitev krajših od 3 min v letu : 2.

Dolgotrajne prekinitve:

- trajanje prekinitev daljših od 3 min v letu : 4 ure;
- število prekinitev daljših od 3 min : 1.

Dostopno na naslovu: http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P020-0000.PDF (20. 2. 2009).

Dvostopenjsko vodenje prenosnega omrežja

Slika (Slika 44) kaže dvostopenjsko vodenje prenosnega omrežja in s tem tudi dela elektroenergetskega sistema. Na prvem nivoju je Republiški center vodenja (RCV), na drugem pa so Območni centri vodenja (OVC). Obratovalna pravila zagotavljajo usklajeno delovanje obeh nivojev. Krmiljenja elementov elektroenergetskih naprav se izvajajo iz OCV vendar so vsi važnejši manevri vedno izvedeni z vednostjo ali soglasjem RCV.

Stikalne manipulacije

S stikalnimi manipulacijami spreminjamo topologijo prenosnih omrežij in izvajamo ukrepe za zanesljivo delovanje elektroenergetskega sistema. Na elektroenergetskih napravah (EEN) so ukrepi s katerimi se spreminja vklopna stanja bodisi ročni, bodisi daljinski (daljinsko krmiljenje), vedno pa jih izvaja z obratovalnimi navodili in obratovalnimi dokumenti določen obratovalec.

Stikalne manipulacije:

- izklop in vidna ločitev z vseh strani;
- ozemljitev in kratkostičenje.

Navedene stikalne manipulacije so samo del ukrepov, ki jih je potrebno opraviti za zavarovanje delovnega mesta v primeru del v breznapetostnem stanju!

Manipulacije delimo na energetske vklope ali izklope, programirana dela in izredne manipulacije ob okvarah.

Energetski izklop/vklop daljnovoda, ki je lahko enostranski ali obojestranski, se uporablja iz obratovalnih razlogov kot npr. sestavljanje omrežja po razpadu, preusmeritev energije in regulacija napetosti.

Izklop za delo na daljnovodu se začne z načrtom izklopa na osnovi elektroenergetske bilance (izjema so izredni izklopi zaradi preprečevanja nastanka ali širitev motenj in škode). Sledi najava izklopa in njegova odobritev; nato pa odgovorne osebe izvedejo izklop skladno s procesom določenim v obratovalnih navodilih in obratovalnih dokumentih.

Odgovorne osebe

Odgovorne osebe vodijo, nadzirajo ali opravljajo dela na elektroenergetskih napravah in to na osnovi stalnih ali občasnih izrednih pooblastil.

Odgovorne osebe za daljnovid so določene z obratovalnimi navodili glede na lastništvo dela elektroenergetskega omrežja. Gre za osebe iz prenosa, distribucije, hidroelektrarn ali iz drugih elektroenergetskih objektov.

Podjetja imenujejo naslednje odgovorne osebe :

- za planiranje izklopa (le za načrtovana dela),
- za najavo izklopa (le za načrtovana dela),
- za preprečitev ponovnega vklopa,
- za izdajo delovnega naloga,
- za izdajo dovoljenja za delo in prejem obvestila o prenehanju dela in
- vodje del – vodje delovnih skupin.

Podjetja imenujejo tudi koordinatorje del in tudi koordinatorje stikalnih manipulacij.

Koordinator del – odgovorni vodja vseh programskih del ima najširša pooblastila. Koordinira in nadzoruje pravilen potek del ter manipulacij na elektroenergetski napravi kadar potekajo dela istočasno ali na več deloviščih. Če poteka delo samo na enem delovišču prevzame ena odgovorna oseba tudi funkcije koordinatorja del pri izvedbi izklopa in vklopa elektroenergetske naprave.

Koordinator stikalnih manipulacij je odgovorna oseba v postopku izvedbe za izklop in vidno ločitev EEN in njeno ozemljitev in kratkostičenje.

Dostopno na naslovu: http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P012-0000.PDF (20. 2. 2009).

Izpadi daljnovodov

Pri motnji ali okvari na daljnovodu, daljnovodna zaščita praviloma izklopi daljnovod. Če je aktiviran APV le ta deluje le v primerih enofaznih zemeljskih stikov in to enopolno v fazi v kateri je nastal stik. Če je po breznapetostni pauzi stik z zemljo odpravljen je daljnovod po ponovnem vklopu APV v normalnem obratovalnem stanju.

Če napaka ni bila odpravljena, sledi definitiven tripolni izklop.

Po definitivnem izklopu lahko ob neugodnih vremenskih razmerah daljnovod ponovno poizkusno vklopimo, vendar le ob soglasju RCV. Drugi poizkusni vklop je dovoljen le izjemoma, v nujnih razmerah kot so motnje dobave ali preobremenitve drugih daljnovodov; tokrat le na zahtevo RCV.

Za daljnovod v okvari so aktivirane različne službe.

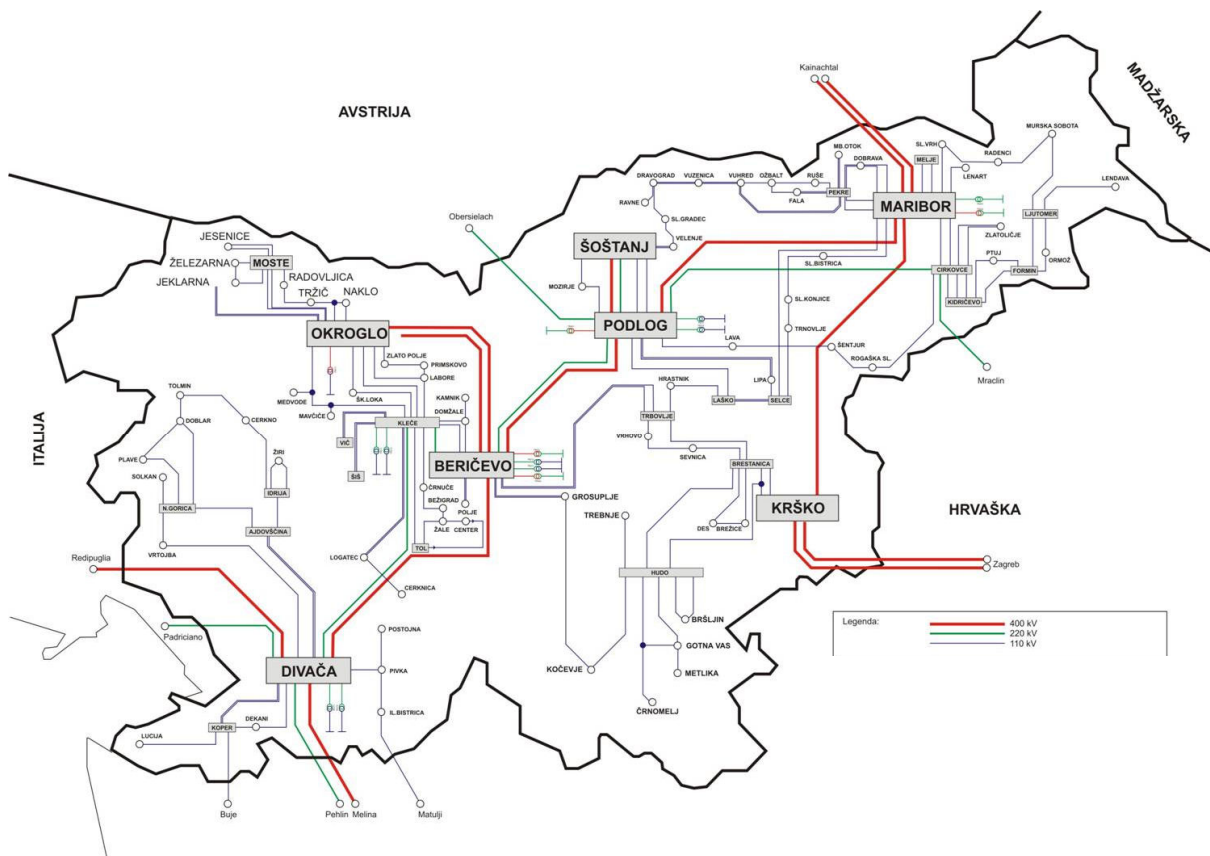
Proces odprave okvare v prenosnih omrežjih, ki se prične z vsestransko vidno ločitvijo, izvede praviloma OCV.

Lokacijo okvare lahko izvede služba za sekundarno opremo sistema.

Pregled dela daljnovoda in daljnovodnih polj opravi odgovorna oseba za daljnovod.

Postopek priprave in izvedbe izklopa meddržavnega daljnovoda je podan v skupno sprejetih obratovalnih navodilih za ta daljnovod.

Delovni program je obvezen obratovalni dokument za vse vrste del na EEN, ki se izvajajo v istem izklopnem terminu, pri katerih sodeluje več delovnih skupin. Delovni program izdela podjetje, ki imenuje koordinatorja del. Vsako podjetje, ki sodeluje pri delih izda delovni nalog, dovoljenje za delo in obvestilo o prenehanju dela na osnovi delovnega programa.



Slika 45: Energetska vozlišča elektroenergetskega sistema Slovenije
Vir: ELES Ljubljana

Opomba: Podobna slika z enako vsebino je dostopna na naslovu:

http://www.eles.si/portal/page/portal/Eles_partnerji/pA_PEE/pa_pee_predstavitev/pa_pee_dalj/pa_pee_potekdalj (26. 2. 2009) in
http://www.upo.eles.si/modload.php?&c_mod=static&c_menu=1076591949 (26. 2. 2009).

2.4 POVZETEK POGLAVJA »VODENJE ELEKTROENERGETSKEGA SISTEMA«

TVodenje elektroenergetskega sistema je koordinacija elementov EES za obvladovanje ravnotežja med proizvodnjo in uvozom na eni strani, ter porabo in izvozom na drugi. Dodatno obsega še vodenje omrežij skladno z doktrino UCTE n – 1. Vodenje je sestavni del racionalnega zagotavljanja kvalitete dobave električne energije na pragu odjemalcev – uporabnikov matičnega elektroenergetskega sistema.

Pokrivanje odjema z električno energijo omogočajo samostojne elektrarne v matičnem elektroenergetskem sistemu v kombinaciji z uvoženo energijo, ter izvozom. Pri pokrivanju obremenilnega diagrama upoštevamo možnosti posameznih vrst elektrarn.

Razmislite kakšne so možnosti slovenskih elektrarn za pokrivanje obratovalnega diagrama Slovenije?

Obratovalni diagram je strukturiran po časovnih enotah in je sestavljen (strukturiran) iz prispevkov posameznih proizvodnih enot kot so: termo, hidroelektrarne, jedrska elektrarna, kvalificirani proizvajalci, uvoz, izvoz ... ob sočasnem uravnoteženju z odjemom.

Osnovne lastnosti sinhronske interkonekcije počivajo na lastnostih sinhronskega generatorja. Vsi elektroenergetski sistemi združeni v sinhronsko interkonekcijo imajo prednosti, ki izkazujejo racionalno delovanje vsake članice, visoko odpornost proti motnjam in visoko kvaliteto obratovanja in posledično visoko kvaliteto dobave električne energije. Značilnost evropske interkonekcije so sistemske regulacije, ki so poverjene v realizacijo vsem elektroenergetskim sistemom.

Hidroelektrarne z malo akumulacijo imajo le delne možnosti fleksibilne proizvodnje. Zato delujejo v svojstvenih povezavah. V slovenskem elektroenergetskem sistemu imajo kaskadne elektrarne poseben pomen. Delovanje teh elektrarn s svojim centrom vodenja v okviru republiškega sistema vodenja – vodenja elektroenergetskega sistema dosega optimalne rezultate tako v kratkoročnem kot v dolgoročnem obratovalnem obdobju.

Tudi termoelektrarne lahko obratujejo v optimalnem režimu glede na zahtevan – zelen obremenilni diagram.

Izpad proizvodne enote v sistemu povzroči za vsak sistem svojstvene reakcije ostalih proizvodnih enot in tudi uporabnikov, skladno s pravili evropske interkonekcije.

Naloge

- Skicirajte obremenilni diagram elektroenergetskega sistema in vstavite »pokrivanje« diagrama s proizvodnimi enotami (HE, TE, JE, alternativni viri).
- Narišite kazalčni diagram generatorja z nazivno močjo 10 MVA in nazivno napetostjo na sponkah 6,3 kV pri 50 % nazivni obremenitvi in pri nazivnem $\cos\varphi = 0,85$. Relativna sinhronska reaktanca turbo generatorja je 1,6. Statika agregata je 4 %. Dodatno ugotovite za koliko se spremeni oddana moč generatorja pri padcu frekvence za 0,1 Hz.
- Izdelajte načrt izklopa odseka daljnovođa sredjenapetostnega omrežja, ki ga boste opredelili v delovnem nalogu za planski izklop (npr. na osnovi slike 47).

3 VODENJE DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA

- Obratovanje v radialnem omrežju pogojuje izpad omrežja ob vsakem dogodku (napaki) kljub temu, da so zagotovljene zadostne rezerve. Kako zagotoviti kvalitetno dobavo električne energije odjemalcem?
- Veliko število odjemalcev zahteva posebno organizacijo in ustrezne ukrepe na številnih mestih omrežja.
- Tipizacija, razvoj omrežij, obratovanje in vzdrževanje so v stalnem dinamičnem razvoju.

UVOD

Poglavje o vodenju distribucijskega omrežja predstavlja delovanje distribucijskega omrežja in njegovo strukturo, elemente in funkcije potrebne za kvalitetno dobavo električne energije odjemalcem na distribucijskem omrežju. Distribucijsko omrežje je monopolno omrežje. Njegove glavne karakteristike so nujne sestavine dela inženirja v distribucijskem omrežju. Gre za številne komponente kot so predvsem: stopnjevanje napetosti v omrežju, način obratovanja omrežij, napake v omrežjih in njihova odprava.

Distribucija električne energije in distribucijsko omrežje je regulirana panoga in dejavnost, zato je za delovanje distribucije tako v razvoju, kot gradnji in obratovanju potrebno upoštevati veljavno zakonsko regulativo.

Distribucijski objekti morajo biti projektirani in grajeni tako, da preko svojih sekundarnih sistemov omogočajo vodenje in delovanje, kakor tudi nudenje podatkov za vzdrževanje, načrtovanje, razvoj in nadzor naprav. Pri tem je pomembna opredelitev nalog operaterja distribucijskega omrežja, struktura orodij, ki jih ima pri tem operater na razpolago in metode, ki se uporabljajo pri avtomatizaciji obratovanja distribucijskega omrežja.

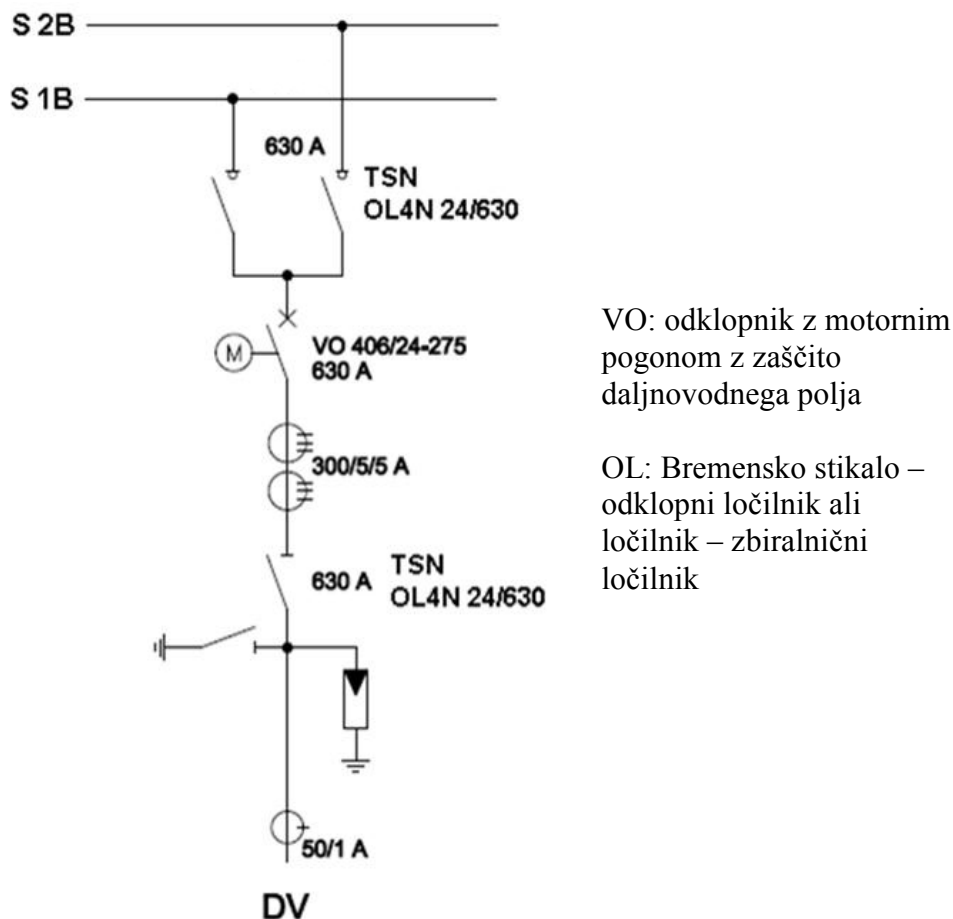
Kvaliteta dobave električne energije mora biti stalno kontrolirana. Pomemben je stalen nadzor in ukrepanje na osnovi rezultatov nadzora. Analitske rezultate uporabljamo tako v razvoju in rekonstrukcijah, kakor tudi v izpopolnjevanju obratovalnih metod.

Posamezni aparati in naprave imajo svoje svojstvene značilnosti. Njihova povezava oblikuje transformatorske in razdelilne postaje in omrežja na različnih napetostnih nivojih.

Doktrina slovenske distribucije je obratovanje v odprtih zankah. Njihova topologija se na srednjenapetostnem nivoju lahko spreminja in omogoča prenapajanja v primerih okvar in vzdrževalnih del. »Vodenje« obratovanja omogoča doseganje minimalnih časov prekinitev dobave električne energije, pri čemer so distribucijski centri vodenja (DCV) osrednji element na vrhu hierarhične strukture obratovanja distribucijskih omrežij.

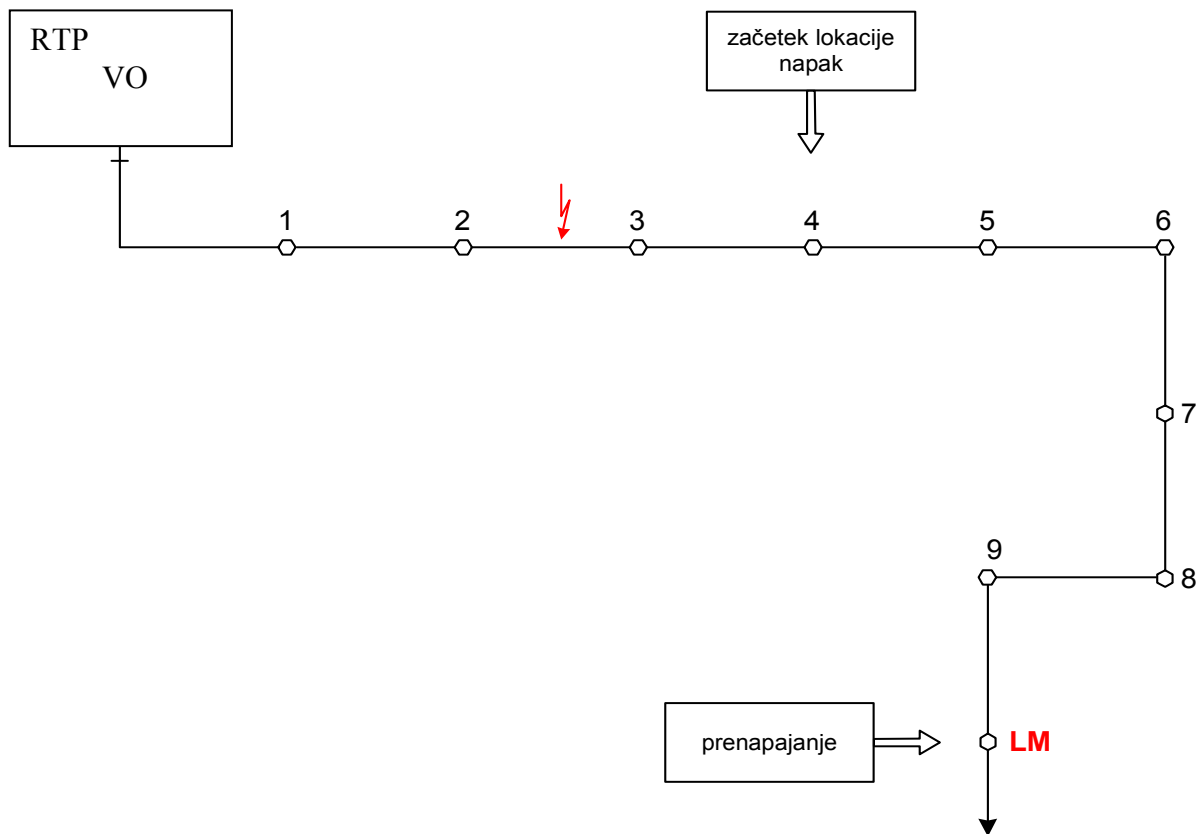
3.1 NAČRTOVANJE AVTOMATIZACIJE OMREŽJA

Avtomatizacija distribucijskega omrežja obsega naprave vodenja in krmiljenja srednjenapetostnega omrežja. Začetek avtomatizacije je na srednjenapetostnih zbiralkah razdelilne transformatorske postaje 110 kV. Načrtujemo jo s postopnimi vlaganji in postopnim dviganjem kvalitete obratovanja in kvalitete dobave električne energije.



Slika 46: Srednjenapetostno daljnovodno polje v RTP 110/20 kV z dvojnimi SN zbiralkami
Vir. Lasten

Zanke srednjenapetostnih omrežij so v normalnem obratovanju »odprte« na izbranem ločilnem mestu (LM). Lokacija LM je v normalnem obratovanju praviloma na mestu z najmanjšimi energetske pretoki v zaprti zanki. Ločilnih mest je lahko več (Slika 47). Na vsakem ločilnem mestu lahko vod prekinemo. Stikalne manipulacije so lahko programirane kot pri novogradnjah, rekonstrukcijah, vzdrževanju, ali pa jih uporabimo v ukrepih v primerih napak v omrežju (lokacija odsekov omrežja z napakami in prenapajanja).



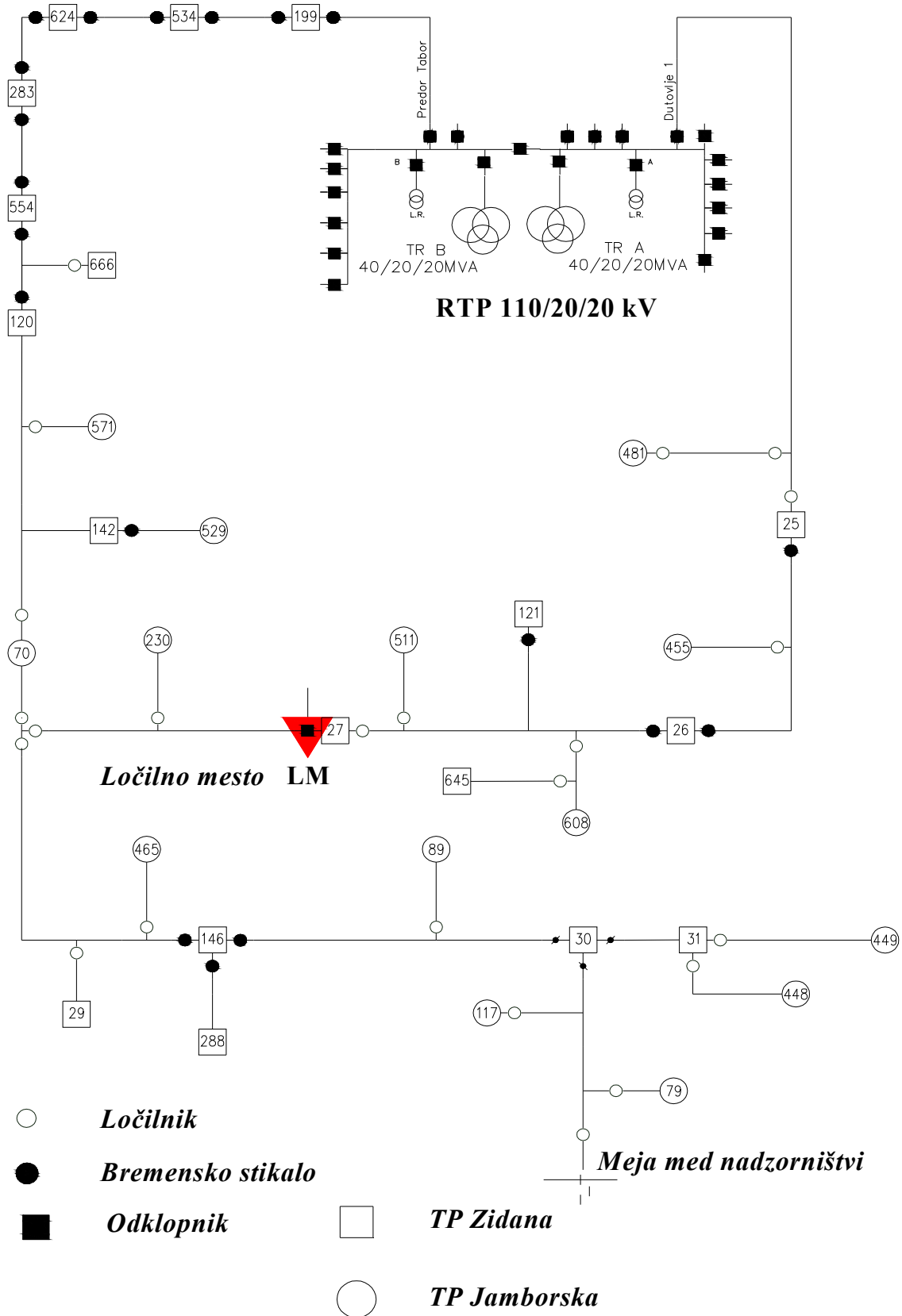
Slika 47: Načelna skica dolgega srednjenapetostnega voda z večjim številom ločilnih mest; vod začenja z odvodnim poljem prikazanim na prejšnji sliki (Slika 46)

Vir: lasten

V posameznih točkah omrežja, na ločilnih mestih (na sliki 47 od 1 do 9) so za različne nivoje avtomatizacije uporabljene različne vrste stikal:

- jamborski ločilniki, ločilniki,
- bremenska stikala,
- odklopniki.

Na osnovi ekonomskega tehtanja je uporaba stikal v zanki običajno mešana.



Slika 48: Načelna slika sredjenapetostne zanke, ki je v normalnem obratovanju prekinjena (odprta) v točki LM (ločilno mesto)

Vir. Lasten

Če je bila okvara prehodnega značaja se po ponovnem vklopu nadaljuje normalno obratovanje. Trajno okvaro stikalo dokončno izklopi in vod ostane brez napetosti, dobava električne energije je prekinjena. Brez napetosti so vsi odjemalci na izklopljenem vodu. Kako dolgo bodo brez napetosti je odvisno od hitrosti reagiranja obratovalnega osebja in od stopnje avtomatizacije srednjenapetostnega distribucijskega omrežja.

V nadzemnih omrežjih je odklopnik na odvodu opremljen s HAPV (hitri avtomatski ponovni vklop) z breznepetostno pavzo običajno 0,3 s in PAPV (počasni avtomatski ponovni vklop) z breznepetostno pavzo 30 s. Breznepetostno pavzo lahko nastavimo. Izklop daljnovoda v RTP je praviloma signaliziran v DCV, ki reagira na okvaro (sproži in vodi proces prenapajanja in odprave napake).

V avtomatiziranem obratovanju omrežja bo omrežni odsek z okvaro avtomatsko izklopljen in izoliran od ostalega dela omrežja. Z ustreznimi stikalnimi manipulacijami ponovno vzpostavimo napajanje odjemalcev, ki so priključeni na zdrave dele omrežja.

3.1.1 Jamborski ločilniki

V neavtomatiziranem obratovanju so stikala na ločilnih mestih enostavne ločilke, v nadzemnih omrežjih večinoma »jamborski ločilniki«. Za lažjo in hitrejšo ugotovitev odseka omrežja z napako služijo le svetleči lokatorji (indikatorji), ki kažejo monterju (dežurnemu na terenu) pot kratkostičnega toka, to je, do mesta napake.

Če ni meritev in daljinskega prenosa med DCV in ločilnim mestom z jamborskim ločilnikom, potem ostaja le možnost GSM povezave z dežurnim na terenu. Dežurni na terenu prejme GSM sporočilo o delovanju stikalnih naprav in lahko ukrepa.

Če ločilno mesto ni povezano z DCV, še ne moremo govoriti o avtomatizaciji omrežja. Teoretična izjema bi bila lahko le srednjenapetostno omrežje z odklopniki na vseh ločilnih mestih, ki so opremljena z ustrezno avtomatiko. Izolacija okvarjenega dela omrežja in prenapajanje je v tem primeru lahko samodejno (avtomatsko) realizirano. Za signalizacijo okvare in njeno lokacijo zaradi organizacije odprave napake, pa je že potrebna zveza s centrom vodenja.

V neavtomatiziranem obratovanju dežurni monter z izklapljanjem in vklapljanjem ločilnih mest v breznepetostnem stanju ter koordiniranem vklapljanjem odklopnika na začetku voda v RTP korakoma najde odsek omrežja z okvaro in ga izloči. Večkratnemu vklapljanju KS (kratkega stika) se pri tem ne moremo izogniti. Pri daljših vodih je potrebno več poskusnih vklopov v RTP in stikalnih manipulacij na različnih ločilnih mestih.

Po izpadu daljnovoda ne vemo, na katerem odseku je napaka. Kje naj pričnemo z izklopi ločilnih mest, da pridemo čim hitreje do okvarjenega dela? Prakse so različne in večkrat povezane s konfiguracijo terena. Ena od racionalnih možnosti je prvi izklop stikala na sredini odcepa kot je prikazano na sliki (Slika 47). Po tem izklopu že vemo ali je napaka v prvi ali drugi polovici daljnovoda. Nato nadaljujemo z izklopi stikal proti odseku z okvaro.

Slaba stran neavtomatiziranega obratovanja je večkratno vklapljanje daljnovoda s kratim stikom in porabljen čas za iskanje odseka z okvaro, ki je enak času brez napetosti pri odjemalcih. V primeru prikazanem na sliki 47 smo najprej izklopili stikalo v točki 4. Po poskusnem vklopu daljnovoda v RTP je nastal ponoven izpad. To pomeni, da je okvara v smeri napajanja (v smeri RTP). Odpravimo na naslednjo dostopno točko v smeri napajanja (in proti odseku z okvaro), to je točka 3 in postopek manevrov ponovimo. Če ponovno izklopi odklopnik v RTP pomeni, da je okvara še bližje RTP in postopek ponavljamo dokler nam zaščita v RTP voda ne izklopi. V našem primeru po izklopu stikala v točki 2 pri ponovnem vklopu daljnovoda v RTP ni izklopa: v preostalem daljnovodu proti RTP ni okvarjenega dela. Stikalo v točki 2 pustimo izklopljeno, izklopljeno mora biti tudi stikalo v točki 3. S tem smo izolirali odsek daljnovoda z okvaro.

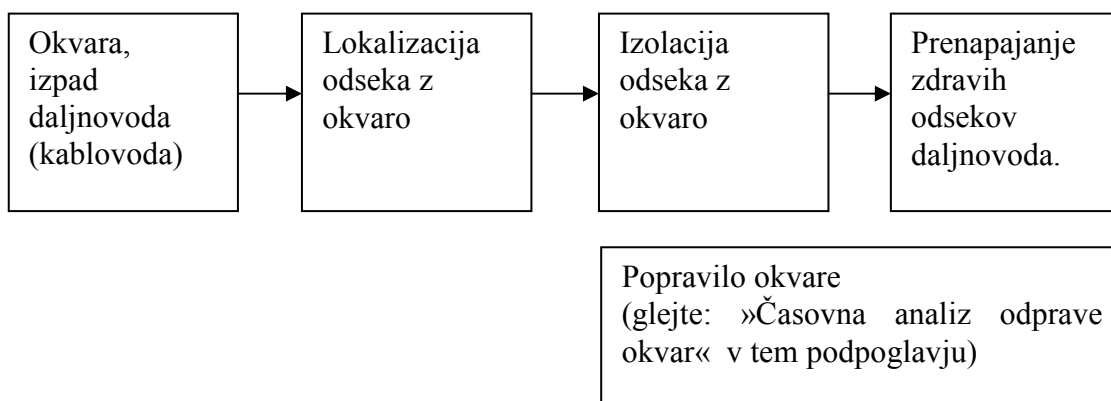
Po izolaciji okvare sledi priklop stikala na ločilnem mestu LM. Vse odjemalci na zdravih odsekih imajo ponovno napetost in normalno dobavo električne energije. Steče postopek za diagnozo in popravilo okvare.

V primeru, če se meritve tokov in napetosti ter indikacija okvarnih tokov prenaša v DCV, lahko le-ta ugotovi okvarjen odsek in napoti monterja neposredno na ustrezna ločilna mesta za izolacijo okvarjenega odseka in izvršitev prenapajanja.

Če razpolagamo z daljinsko krmiljenimi stikali, lahko izolacijo odseka z okvaro in prenapajanje izvedemo iz centra vodenja (DCV).

3.1.2 Osnovne funkcije avtomatizacije obratovanja

Osnovne funkcije avtomatizacije obratovanja prikažemo z blok–diagramom.



Slika 49: Blok–diagram časovnega poteka lokacije okvare, izolacije okvarjenega odseka in prenapajanja

Vir: Lasten

3.1.3 Bremenska stikala

Bremenska stikala obogate možnosti skrajšanja postopka izolacije okvarjenega dela in časov brez napetosti na pragu odjemalcev.

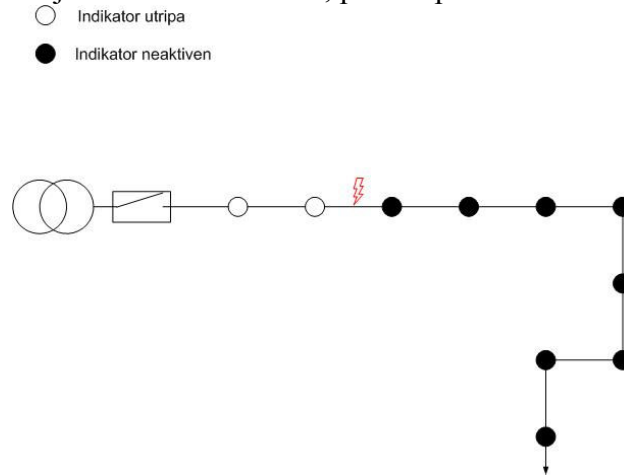
Bremenska stikala lahko sama izklopijo enofazni zemeljski stik. Od RTP do izklopa ostanejo odjemalci normalno napajani. Bremenska stikala lahko tudi vklaplajo kratke stike, ne smejo pa jih izklapljati.

3.1.4 Lokatorji okvar

Indikator okvarnih tokov – lokatorji okvar se uporablja predvsem v nadzemnih omrežjih kjer so okvare pogostejše in jih je v neavtomatiziranem obratovanju potrebno vizualno določiti. Pripomorejo h krajšanju časov iskanja napake.

Indikator namestimo v predpisani razdalji pod vodniki sredjenapetostnega voda. Indikator zazna prehod kratkostičnega toka in to s pomočjo električnega polja in sprememb magnetnega

polja. Prav tako zazna sofazne komponente toka s katerimi ugotovi enofazne napake (zemeljske stike). V primeru defekta na vodu je vod izklopljen v RTP. Indikator preko katerega je prešel tok napake zasveti (aktivira se signalna dioda in ksenonska bliskavica), ki je vidna podnevi na razdalji 200 do 300 metrov, ponoči pa celo 2 do 3 km.



Slika 50: Primer uporabe indikatorjev na SN odcepu
Vir: Lasten

Okvarni tok zaznajo vsi indikatorji do okvare, ki je na sliki (Slika 50) označena z rdečo strelico.

Bliskavice na indikatorjih kažejo dežurnemu obratovalcu pot do odseku voda z okvaro. Okvara je na odseku med zadnjim aktiviranim indikatorjem in prvim neaktiviranim indikatorjem.

Povratak napetosti samodejno povzroči prekinitvev bliskavice (signalna rdeča led dioda pa utripa še po vrnitvi napetosti za kontrolo prehodnih okvar). Občutljivost naprave, čas delovanja bliskavice, čas delovanja led diode in indikacijo o delovanju odklopnika, programiramo s pomočjo mikrostikal na lokatorju (indikatorju).

Indikator toka okvare z vgrajenim GSM modemom

Indikator ima poleg že opisanih osnovnih funkcij vgrajen še GSM modem in s tem možnost signaliziranja mesta napake v distribucijski center vodenja in/ali za odpravo napak dežurnim operaterjem.

Indikatorji pošiljajo sporočila preko podatkovne zveze v koncentrador, ki posreduje sporočila o napakah na GSM telefone v obliki SMS sporočil. Prejemniki SMS sporočil so razvrščeni v skupine glede na obratovalna območja, ki jih nadzirajo. Skupine prejemnikov SMS sporočil so lahko poljubno oblikovane. Sporočila so lahko mnogoteri kot npr.: status indikatorja, tip alarma – prehodni ali trajni, stanje baterije, moč signala, idr.

V delno avtomatiziranem omrežju so na vseh ločilnih mestih indikatorji okvar, ki merijo napetost in smer toka. Podatki se prenašajo v DCV. Operater vidi na katerem odseku je napaka in pošlje dežurnega, da izolira odsek daljnovoda z napako. V primeru prikazanem na sliki (Slika 50) izklopi stikali na drugem in tretjem ločilnem mestu od srednjepotnostnih zbiralk RTP 110/SN in s tem izolira okvarjeni del omrežja. V drugi fazi dežurni monter izvrši prenapajanje.

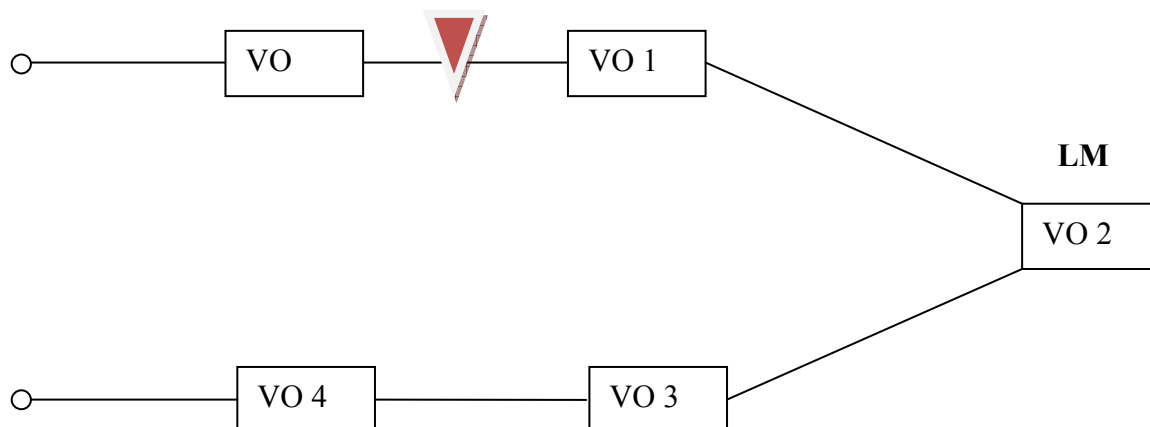
Prenapajanje na visokem nivoju avtomatizacije se lahko izvede avtomatsko; v večini primerov pa sistem v DCV le predlaga operaterju izvedbo izolacije okvarjenega dela daljnovoda in prenapajanje.

Izvajanje avtomatizacije je poverjeno posebnemu sistemu SCL (Scada Command Language).

3.1.5 Avtomatizacija obratovanja z odklopniki na ločilnih mestih

V normalnem obratovanju je zanka odprta na ločilnem mestu LM. Obratovanje je radialno. Odklopnik VO 2 je v normalnem obratovanju odprt. (Slika 51)

Če na daljnovodu nastane napaka izklopi daljnovod odklopnik VO. Predpostavimo APV, ki je neuspešno deloval, zato nastane definitivni izklop daljnovoda. Odklopnik VO 1 zazna odsotnost napajalne napetosti ter po nastavljeni zakasnitvi preklopi zaščitne naprave za prihod napajalne napetosti iz druge strani, to je na alternativno napajanje iz sosednje postaje – prenapajanje. Odklopnik VO 2 na ločilnem mestu je odprt. Zazna napetost le na eni strani in zato po nastavljeni zakasnitvi vklopi. Odsek od VO 2 do VO 1 je ponovno pod napetostjo.



Slika 51: Načelna avtomatizacija distribucijskega omrežja z uporabo odklopnikov (shema prikazuje le odklopnike, drugi elementi omrežja so opuščeni).

Vir: Lasten

VO: Odklopnik; odklopniki so običajno na odcepnih mestih ali na srednjenapetostni strani transformatorskih postaj SN/NN.

LM: Ločilno mesto na katerem je zanka ločena v normalnem obratovanju

▼: Mesto nastanka napake

Odklopnik VO 1 je zaradi predhodnega preklopa zaščit že usklajen z odklopniki VO 2, VO 3 in VO 4. Po vklopu odklopnika VO 2 bo zaznal okvaro na sektorju med odklopnikoma VO in VO 1 in definitivno izklopil vod. Okvarjeni odsek daljnovoda med odklopnikoma VO in VO 1 je sedaj izoliran, realizirano je tudi prenapajanje.

Podatki o novem stanju so preneseni v DCV, ki ukrepa preko obratovalnega osebja za odpravo defekta.

Po odpravi defekta vzpostavimo normalno obratovalno stanje z daljinskim krmiljenjem.

Avtomatizacija distribucijskega omrežja z uporabo odklopnikov je najvišja stopnja avtomatizacije obratovanja srednjenapetostnega omrežja. Del omrežja z okvaro je samodejno – avtomatsko izločen in prenapajanje zdravih delov omrežja je vzpostavljeno.

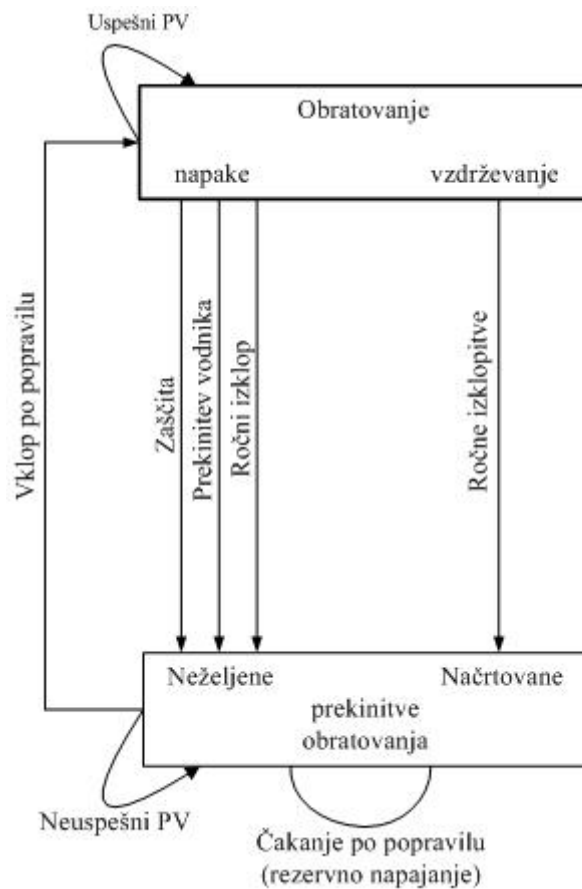
Procesi krmiljenja in signalizacije kakor tudi procesi odprave okvar v distribucijskih srednjenapetostnih omrežjih so za različne nivoje avtomatizacije obratovanja srednjenapetostnih omrežij različni.

3.1.6 Časovna analiza odprave napake

Brez napak in okvar v omrežjih ne gre. Naloga stalnih izboljšav v projektiranju, vzdrževanju in obratovanju pa je, da so napake čim manj opazne pri odjemu električne energije oz. da je kvaliteta dobavljene električne energije čim višja.

Napake in prekinitve si lahko predočimo na grafu (Slika 52).

Zanesljivost preskrbe je odvisna od tipa omrežij in od sistema obratovanja (radialno, zazankano in tretiranja nevtralne točke). Pri določenem sistemu obratovanja in določeni topografiji omrežja pa razlikujemo še zanesljivost delovanja elektroenergetskih naprav in zanesljivost preskrbe z električno energijo.

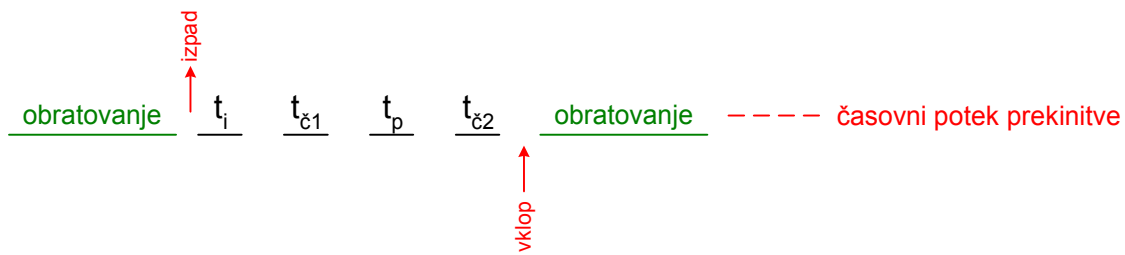


Slika 52: Izklopi naprav iz različnih vzrokov

Vir: Kaufmann, 1995, 2/38

Zanesljivost preskrbe (kvaliteta dobave) pri določeni topografiji omrežja ni enaka zanesljivosti delovanja posameznih elektroenergetskih naprav, saj lahko s prenapajanjem izboljšamo zanesljivost in kvaliteto dobave električne energije.

Pri analizi in načrtovanju zmanjšanja časa odprave defekta lahko uporabimo tri ali štiri časovne intervale (Kaufmann, 1995, 2/28).



t_i – iskanje napake

$t_{\check{c}1}$ – čakanje na pričetek popravila

t_p – čas popravila

$t_{\check{c}2}$ – čakanje do ponovne vključitve v obratovanje

Celotni čas odprave napake je odvisen od narave napake in tudi od organizacije dela.

Po ugotovitvi odseka z napako t_i sledi prenapajanje zdravih delov omrežja. Časi $t_{\check{c}1}$, t_p , in $t_{\check{c}2}$ ne zadevajo odjemalcev, na zdravih delih sredjenapetostnega omrežja, ki so bili brez napetosti le čas t_i . Čas t_i kakor tudi dodatek k času t_i je odvisen od stopnje avtomatizacije ukrepov po nastanku napake.

3.1.7 Ločilno mesto



Slika 53: Ločilno mesto z daljinsko vodenim bremenskim stikalom na betonskem drogu

Naprave ločilnega mesta so zaščitene proti udaru strele s prenapetostnimi odvodniki. Povezava v nadrejeni sistem je lahko omogočena na različne načine.

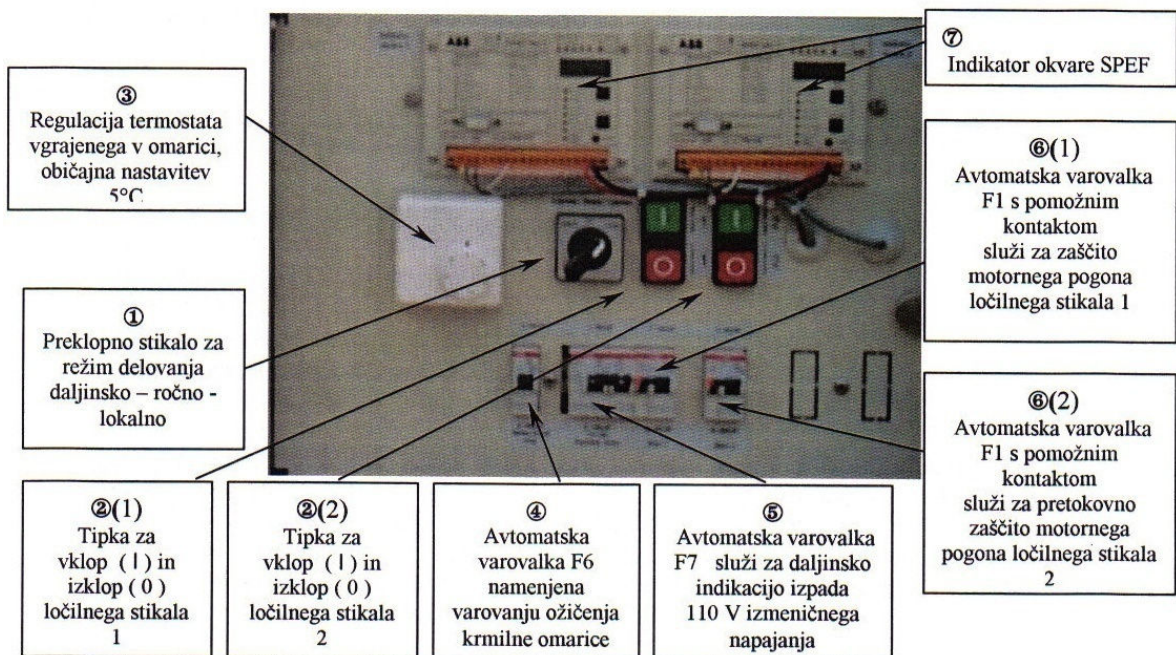
Daljinsko vodeni odklopniki, bremenska stikala in ločilniki v srednjenapetostnem omrežju so nujne naprave v avtomatiziranem obratovanju distribucijskega omrežja. Navedena stikala služijo za spreminjanje konfiguracije omrežja in prilagajanje vsakokratnim obratovalnim razmeram. Lokacija na kateri je nameščeno stikalo je ločilno mesto s katerim prekinjamo ali spajamo daljnovodne odseke in s tem izdvajamo odseke daljnovoda (omrežja) z napako in izvajamo prenapajanja.

Ob vznožju stebra je krmilna omarica.

Krmilna omarica

Krmilna omarica je sestavni del ločilnega mesta. Iz nje je možno neposredno krmiljenje ločilnega mesta oz. stikala ali pa vzpostavitev povezave z nadrejenim distribucijskim centrom vodenja. Podrobnosti v krmilni omarici se razlikujejo od proizvajalca do proizvajalca. V prikazanem primeru na sliki (Slika 54) gre za krmilno omarico za ločilno mesto z dvema bremenskima stikaloma na betonskem odcepnem drogu (Tehmar, 2007).

Ohišje krmilne omarice je običajno nerjaveča pločevina in ima zaščitno IP 55. Na ohišju krmilne omarice so pregrajene ventilacijske odprtine. Mehanizem za zapiranje vrat ima signalne kontakte. Vgrajen je grelec s termostatom. Slika 54 prikazuje glavne elemente omarice.



Slika 54: Krmilna omarica daljinsko vodenega stikala na drogu

Vir: Tehmar, 2007, stran 23

Tokovi v fazah daljnovoda se merijo preko tokovnih transformatorjev, ki so lahko nameščeni kar na skoznike. Napajanje elementov krmilne omarice je preko napetostnega transformatorja. Krmilno ploščo sestavljajo: krmilno zaščitno vezje za pogonski motor, napajalni modul, indikator okvare, krmilno komunikacijska enota, akumulatorske baterije, radijska postaja UHF z anteno ali drugi elementi telekomunikacijskih povezav ter prenapetostna zaščita.

Akumulatorska baterija je običajno večnamenski napajalni modul, ki ga sestavljajo: polnilec akumulatorskih baterij, indikacija prisotnosti AC napetosti, meritev AC napetosti, indikacija prenizke baterijske napetosti ter zaščita akumulatorskih baterij pred izpraznitvijo.

Komunikacija med ločilnim mestom in DCV je nujna za višje nivoje avtomatizacije distribucijskega omrežja.

Nadzor obsega naslednje glavne podatke: stanje končnih stikal, možnost daljinskega krmiljenja, stanje avtomatskih varovalk, stanje baterij, izpad izmenične napetosti, odprta vrata omarice in pritisk plina v komori stikala.

Krmiljenje poteka preko relejskih izhodov za vklop in izklop stikala. Končna postaja (RTU) še omogoča: dovolitev ali prepoved avtomatike (odklopa), dajanje merjenih količin na poziv ter zajem kronoloških podatkov kot so: položajna signalizacija o stanju ločilnega stikala, izpad po delovanju kratkostične zaščite, izpad po delovanju zemljestične zaščite, uspešen APV po delovanju kratkostične zaščite, uspešen APV po delovanju zemljestične zaščite, nesimetrija, izpad izmenične napajalne napetosti, prenizka napetost akumulatorskih baterij, napaka na končni postaji, napaka na napravi za detekcijo na vodu, prisotnost napetosti (SN), avtomatsko delovanje dovoljeno, preklopno stikalo daljinsko, preklopno stikalo lokalno, vstop v krmilno omarico, stanje varovalk, indikacija plina, komunikacija s končno postajo.

Praviloma imajo distribucijska omrežja zančno topologijo. Zanka je prekinjena – odprta na ločilnem mestu, ki je načeloma tam, kjer so tokovi zanke najmanjši. Sklenitev zanke je dopustna le kratek čas v procesu prenapajanja. Ločilno mesto je opremljeno z ločilnikom ali bremenskim stikalom (odklopnim ločilnikom) ali odklopnikom.

Avtomatizacijo omrežja načrtujemo po prioritetah, ki jih narekujejo predvsem zahtevnost odjema, konfiguracija terena preko katerega potekajo srednjenapetostni vodi in investicijske možnosti.

3.2 FUNKCIJE DISTRIBUCIJSKEGA CENTRA VODENJA

Vodenje obratovanja distribucijskega omrežja omogoča obvladovanje in omejevanje vpliva motenj in okvar v okviru razpoložljivih obratovalnih možnosti. Vodenje omrežja v normalnih obratovalnih stanjih sledi obratovalnim načrtom.

Osrednja točka vodenja distribucijskega omrežja je distribucijski center vodenja (DCV). Vrsta stalno dopolnjujočih naprav centrov vodenja, ki imajo posredne in neposredne povezave z elementi elektroenergetskega sistema predstavljajo odprt sistem v katerega je vključen dežurni operater. Vodenje spada v obratovalno področje in ima ozke povezave z vzdrževalnim področjem. Operater v širšem pomenu besede (skladno z veljavnimi zakonskimi določili) obvladuje tudi razvoj svojih omrežij pri čemer mora upoštevati **trajnostni razvoj** in ne le rentabilnostni račun vlaganj v distribucijske elektroenergetske objekte. Poleg tega mu zakonska regulativa odreja, da morajo naložbe prispevati k izboljšanju oziroma ohranjanju parametrov kakovosti storitve prenosa oziroma distribucije električne energije. Zaradi ugotavljanja upravičenosti naložb morajo razvojni načrti vsebovati tudi podatke o predračunski vrednosti, terminskem načrtu in virih financiranja ter **oceno vplivov na kakovost električne energije**, parametrov stalnosti izvajanja storitve in izgub v omrežju.

Distribucijski objekti morajo biti projektirani in zgrajeni tako, da preko svojih sekundarnih sistemov omogočajo:

- vodenje in delovanje distribucijskih omrežij, ki je podrobneje določeno z obratovalnimi navodili posameznega objekta;
- zagotavljanje in uporabo sistemskih storitev, ki so nujne za homogeno delovanje distribucijskega omrežja (financirajo jih odjemalci pri plačilu prenosa električne energije od proizvajalcev);

- podatke za priključevanje odjemalcev in proizvajalcev električne energije, ki jih uporabljamo pri vključevanju novih moči v distribucijsko omrežje;
- analitične podatke za dostop do omrežja odjemalcem in proizvajalcem električne energije kot so obremenjenost omrežja pred vključitvijo novih prenosov električne energije;
- načrtovanje, vzdrževanje in nadzor zaščitnih naprav v distribucijskem elektroenergetskem sistemu, saj sloni vzdrževanje na podatkih o delovanju naprav v preteklem obdobju (podatki služijo tudi za načrtovanje zamenjave naprav in posodobitve);
- načrtovanje, vzdrževanje in nadzor naprav za zajem in prenos števnih in obratovalnih meritev v distribucijskem elektroenergetskem sistemu;
- pridobivanje podatkov 15–minutnih realiziranih vrednosti proizvodnje in odjema ter izračun realizacije odjemalcev brez registracijskih meritev.

Operater distribucijskega omrežja zagotavlja ustrezno načrtovanje razvoja distribucijskega omrežja, njegovo izgradnjo ter vzdrževanje, pri čemer je upoštevan sigurnostni kriterij (n–1).

V obratovanju distribucijskega sistema so predvsem pomembne naslednje funkcije:

- načrtovanje obratovanja (izdelava obratovalnih načrtov),
- analiza izpadov, okvar in izdelava obratovalne statistike,
- nadzor kakovosti električne energije.
- izvajanje predpisanih ukrepov omejevanja obtežb in porabe,
- nadzor in krmiljenje,
- izvajanje predpisanih ukrepov omejevanja obtežb in porabe,
- koordinacijo vodenja obratovanja s sosednjimi sistemi,
- optimizacijo obratovanja s spreminjanjem konfiguracije distribucijskega omrežja,
- koordiniranje vzdrževanja s sosednjimi omrežji, koordiniranje delovanja zaščite,
- koordiniranje dela z vzdrževalci na terenu in odzivanje na sporočila uporabnikov.

3.2.1 Sistemske storitve

Za delovanje distribucijskega omrežja so nujno potrebne sistemske storitve. Sistemske storitve se vključujejo v vodenje obratovanja v vseh situacijah, regulacijo napetosti, zagotavljanje jalove energije in zagotavljanje tako standardne kot nadstandardne kakovosti električne energije skladno s pogodbami o kakovosti.

3.2.2 Kriterij n–1

Kriterij n–1 pomeni, da noben izpad elementa omrežja ne povzroči prekinitve dobave električne energije. V distribucijskih omrežjih je kriterij močno reduciran v primerjavi s kriterijem, ki velja za prenosno omrežje. Vsaka okvara v distribucijskem omrežju povzroči prekinitev dobave električne energije pri odjemalcih, ki so priključeni na prizadeti vod. Gre torej za kriterij, ki zahteva le, da ima vsaka transformatorska postaja SN/NN ali odjemalec na sredjenapetostnem omrežju v primeru okvare na vodu možnost prenapajanja iz sosednjega omrežja. Brez napetosti ostanejo le odjemalci priključeni na okvarjen odsek omrežja, ki mora biti izoliran (izklopljen). Kriterij n–1 velja za sredjenapetostna omrežja, na nizkonapetostnem omrežju je uporaba kriterija omejena le na odjem s posebnimi zahtevami.

3.2.3 Centri vodenja (DCV)

Vsak center vodenja ima svoj operativno–informatijski sistem SCADA. SCADA prejema podatke iz vseh relevantnih točk omrežja, jih obdeluje in da v obdelavo ali uporabo za vodenje omrežja.

Glavne funkcije SCADA:

- zajem podatkov in posredovanje delovnim postajam na različnih lokacijah;
- procesiranje podatkov: obratovalna stanja, meritve;
- izdajanje komand – krmiljenje;
- signalizacija, alarmiranje;
- izračun in analize.

DMS (Dynamik Network Model) je dinamično orodje, ki oblikuje podatke iz SCADA za neposredno uporabo v centru vodenja. Uporaba je široka in se stalno dopolnjuje.

DMS služi za:

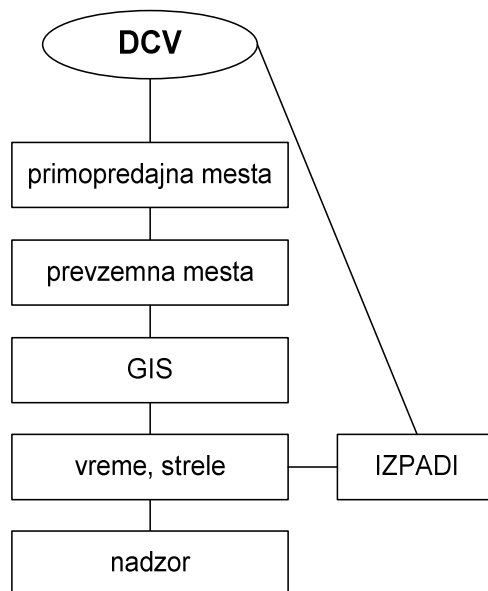
- vodenje v realnem času,
- izdelavo analiz in študij,
- določitev hipotetičnih stanj in izdelavo zbirk predvidljivih stanj in ukrepov.

Center vodenja v primeru motenj v energetskem sistemu izvaja ukrepe (stikalne manipulacije), da se motnje ali posledice razpada omejijo ali odpravijo ter se ponovno zagotovita preskrba odjemalcev z električno energijo in zanesljivo delovanje distribucijskega omrežja. Le-to ima prednost pred posebnimi in posamičnimi interesi uporabnikov (glejte tudi podpoglavje obratovalna in vzdrževalna navodila).

Če obstaja nevarnost, da se motnja v obratovanju elektroenergetskega sistema razširi, ali če grozi razpad elektroenergetskega sistema je operater distribucijskega omrežja upravičen izklopiti določene dele omrežja za čas, ki je nujno potreben, da se ta nevarnost odpravi. Enako velja za izpad večjih proizvodnih enot, ekološkega znižanja proizvodnje in pomanjkanja električne energije.

Neposredno vodenje temelji na številnih podatkih, ki jih centri vodenja prejemajo iz elementov elektroenergetskega sistema med katerim so najpomembnejši:

- viri napetosti,
- bremena v TP,
- kompenzacija,
- kogeneracije in alternativni viri,
- regulacija napetosti,
- kvaliteta el. energije.



Slika 55: Glavni izvori podatkov za vodenje omrežja
Vir: Lasten

Osnovna funkcija DCV je vodenje SNO in VNO (v perspektivi tudi NNO). Posamezne funkcije se oblikujejo na osnovi podatkov SCADA v DMS sistemih.

- T**
- *Zamislite si uporabo glavnih funkcij SCADA in nadgradnje DMS v vodenju distribucijskega omrežja.*
 - *Oblikujte načrt signalizacij, ki so smotne za racionalno izvedbo prenapajanja ob okvari na odseku voda srednjenapetostnega omrežja.*

3.2.4 Nadzor kakovosti električne energije

Za zagotavljanje kvalitete dobave električne energije služi stalen nadzor – monitoring kakovosti napetosti na izbranih točkah distribucijskega omrežja. Gre za kvaliteto na zbiralkah VN/SN razdelilnih transformacijskih postaj, na meji med prenosnim in distribucijskim omrežjem, na točkah povezav s sosednjimi sistemi (interkonekcija), ter na točkah periodičnega preverjanja stanja kakovosti električne energije. Pomembni podatki o kvaliteti so predvsem: odstopanja od nazivne napetosti, upadi napetosti, nesimetrija, flikerji, harmonske in medharmonske komponente ...

Shranjevanje podatkov

V DCV se podatki uporabljajo za načrtovanje obratovanja, sprotno obratovanje in analize. Podatki so namenjeni tudi drugim aktivnostim distribucijskega podjetja in so običajno grupirani kot sledi:

- obratovalni podatki,
- podatki o priključitvah,
- podatki o dostopih do distribucijskega omrežja,
- podatki o proizvajalcih električne energije,
- podatki o odjemalcih s posebnimi zahtevami,
- podatki o kakovosti električne energije in podatkov o merilnih, zaščitnih,
- podatki o telekomunikacijskih napravah in napravah daljinskega vodenja.

Naštete in tudi druge skupine, ki nastajajo z razvojem distribucije je treba upoštevati pri projektiranju sekundarnih naprav elektroenergetskih objektov.

To so predvsem naslednji podatki o:

- parametrov napetosti na prevzemno–predajnih mestih,
- obremenitvah vodov,
- stikalnem stanju distribucijskega omrežja,
- pretokih moči,
- stanju elementov distribucijskega omrežja ,
- proizvajalcih električne energije, ki so priključeni na distribucijsko omrežje,
- postrojih in napravah upravičenih odjemalcev,
- ponudnikih sistemskih storitev in odjemalcih.

T Ovrednotite uporabnost naštetih podatkov za obratovanje in razvoj distribucijskega omrežja.

3.2.5 Spremljanje atmosferskih razelektritev

Atmosferske razelektritve predstavljajo določen vpliv ali vzrok izpada delov elektroenergetskega sistema. Še posebej izrazito je to lahko v srednjenapetostnem omrežju, kjer je izolacijski nivo bistveno nižji kot v visokonapetostnem in je zato število motenj višje. SCALAR (Slovenski Center za Avtomatsko Lokalizacijo Atmosferskih Razelektritev), ki deluje na EIMV, je namenjen detekciji atmosferskih razelektritev, shranjevanju informacij in razpošiljanju teh informacij do končnih uporabnikov – centrov vodenja.

Vhodni podatki:

- podatki o strelah iz sistema za lokalizacijo strel;
- podatki o izpadih daljnovodov iz sistema SCADA;
- podatki o točkah vodov iz GIS podatkovne zbirke (*GeoServer*).

Korelacija izpada dela omrežja s strelo je osnovana na časovni in prostorski korelaciji. Rezultat je izražen z verjetnostjo, da je izpad dela omrežja povzročila strela.

V centru vodenja služijo podatki SCALAR za določanje nevarnosti izpadov in s tem v zvezi za odločanje o preventivnih merah, ki vplivajo na pripravo rezervnih napajanj in pripravo intervencijskega kadra.

TKritično osvetlite uporabnost sistema za prikaz lokacije, moči in gostote atmosferskih razelektritev, kot indikatorja za ukrepe v centru vodenja distribucijskega omrežja.

3.2.6 Nadzor zaščitnih naprav elektroenergetskih objektov

Število zaščitnih funkcij v elektroenergetskih postrojih se stalno povečuje. Kljub temu je potrebno zadržati tako redne kot izredne preglede naprav ter tekoče verificirati delovanje zaščit. Daljinski nadzor zaščitnih naprav omogoča racionalen nadzor in hitro ukrepanje.

Pomemben delež zaščitnih relejev v EES imajo numerični releji. Njihov delež se še povečuje. Značilno za njih je, da lahko v primerjavi s prejšnjimi tehnološkimi generacijami relejev, nudijo mnogo več funkcij (in s tem povezanih podatkov). Sem sodijo tudi oscilogramski zapisi, ki zaščitnim inženirjem omogočajo boljšo analizo napak.

Nove digitalne zaščitne naprave pomnijo zadnje dogodke in dopolnjujejo analogne zapise. Praktično to pomeni zasledovanje dogodkov, kot so npr. preklapljanje stikal, položaj ločilnikov ali vozička, start in delovanje posameznih zaščit, ...

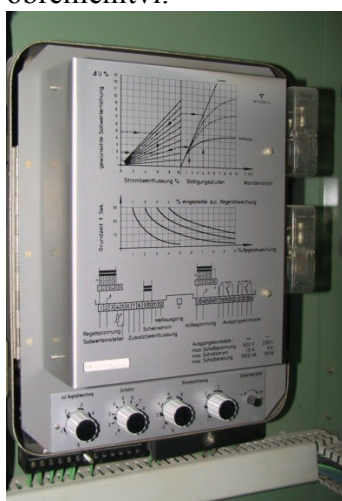
Daljinski nadzor omogoča tudi spreminjanje parametrov zaščite in s tem po potrebi prilagajanje zaščite trenutnim potrebam omrežja.

Za komunikacije med sistemom za nadzor zaščite (SNZ) in posameznimi postroji oz. zaščitnimi napravami v postroju služi praviloma optično vlakno.

3.2.7 Avtomatska regulacija napetosti

Napetost srednjenapetostnega omrežja lahko reguliramo v RTP z regulatorji napetosti. Z njimi so opremljeni 110/SN energetske transformatorji, ki so regulacijski, kar pomeni, da lahko reguliramo napetost na njihovi sekundarni strani pod obremenitvijo. Napetost v nizkonapetostnem omrežju je nastavljiva na transformatorjih SN/0,4 (0,42)–kV, ki imajo 5 odcepov ($\pm 2 \times 2,5 \%$ in osnovni odcep) na SN stran transformatorja.

Avtomatska regulacija na 110/SN energetskih transformatorjih, ki vzdržuje na SN zbiralnicah želeno napetost v odvisnosti od višine obremenitev je kompaundna regulacija napetosti. Njen namen je sprotno prirejanje napetosti na SN zbiralnicah v RTP ustrezno trenutni obremenitvi za kompenziranje napetostnih izgub v srednjenapetostnem (in tudi nizkonapetostnem) omrežju, ki so premo sorazmerne obremenitvi.



Slika 56: Primer avtomatskega napetostnega regulatorja
Vir: Hrovatin, et al., 2007, stran 337

Distribucijski centri vodenja in sekundarni postroji distribucijskih objektov se stalno izpopolnjujejo in dograjujejo za doseganje visoke kakovosti obratovanja, racionalnega vzdrževanja, doseganja in preseganja s predpisi določene kvalitete dobave električne energije, za racionalne investicije in razširitve distribucijskih omrežij.

3.3 OBRATOVALNA IN VZDRŽEVALNA NAVODILA

Oblikovanje in vsebina navodil

T Sodobno obratovanje omogočata dve področji:

- sodobne ali posodobljene naprave povezane v sistem;
- visoko kvalitetno obratovanje (to je način in organizacija dela obratovalcev).

Obe področji—komponenti sodobnega obratovanja skupaj omogočata visoko kvaliteto dobave električne energije.

Tako kot dobro projektiranje in gradnja postrojev z napravami visoke zanesljivosti je pomembno tudi pravilno in varno obratovanje s hitrimi in zanesljivimi posegi—ukrepi strokovno preverjenih obratovalcev. Gre za ukrepe v primerih izrednih stanj na katere je treba kljub zanesljivim napravam tudi v bodoče računati, kakor tudi za proces in ukrepe v rednem vzdrževanju ter preverjanju naprav in postrojev.

Za pravilno vzdrževanje in obratovanje postroja so nujna obratovalna in vzdrževalna navodila. Ta upoštevajo:

- značilnosti posameznih naprav in celotnega postroja,
- delovanje postroja in naprav v različnih obratovalnih stanjih ter ustrezne ukrepe operaterjev, upoštevajoč varnostna pravila podjetja in določila veljavnih predpisov.

Navodila je potrebno dopolnjevati pri čemer upoštevamo:

- dograjevanje in posodabljanje primarnih in sekundarnih delov postroja;
- dognanja obratovalcev na področju napredka obratovalnih procesov, organizacije načrtovanih posegov ter ukrepov v izjemnih stanjih;
- spremembe tehnične regulative.

Obratovalna in vzdrževalna navodila posameznega postroja naj kleno podajajo vsebino. V ta namen morajo biti:

- enostavna in enoumna,
- sestavljena v logičnem zaporedju (n.pr. v drevesni strukturi); upoštevati morajo vse značilnosti delujočih naprav, pri čemer je treba upoštevati napotke proizvajalcev za posamezno vrsto opreme in postopke tehničnih kadrov.

Priporočljivo je, da pri sestavi obratovalnih navodil upoštevamo veljavnost tehnične regulative tako, da k posameznim določilom pripišemo tudi pravilnik, uredbo in člen veljavne tehnične regulative na katerega se določilo nanaša. Spremembe in dopolnitve tehnične regulative so namreč pogoste. Z navedenimi oznakami se ustvari preglednost, ki je potrebna pri dopolnjevanju obratovalnih in vzdrževalnih navodil ob spremembah in dopolnitvah tehnične regulative.

Zaradi jasnosti podajanja navodil se poslužujemo risb in slik, ki povedo več kot le zgolj opis ukrepa. Poleg opisa in slike lahko pri nekaterih primerih dodamo tudi matematični izraz, ki točno definira vsebino ukrepa in pogoje ob katerih se ukrep izvaja. Obratovalna navodila so elektroenergetski dokument z globljo tehnično vsebino ob upoštevanju varnosti.

Iz obratovalnih navodil elektroenergetskega postroja bomo predstavili nekaj ilustrativnih odsekov.

Primer preklopa odvodov na drug sistem zbiralk

Preklop bremen (odvodov) iz ene na drugo zbiralko mora potekati brez prekinitve napajanja.

Transformatorja v RTP 110/20 kV delujeta na ločeni zbiralki. Transformator I deluje na zbiralke S_1 in transformator II na zbiralke S_2 (slika 57). Transformator I in zbiralke I (S_1) bomo izklopili. Bremena (izvodi a, b, c, d, e, f in g), ki so priključeni na zbiralke S_1 predhodno premestimo na zbiralke S_2 .

Premeščanje bremen iz zbiralk S_1 na S_2 sledi naslednjim stikalnim manipulacijam:

- najprej sistematično pregledamo položaje ločilnikov izvodov sistema 1 (zbiralnični ločilniki na izvodih a, b, c, d, e, f in g so vklopljeni na S_1),
- DCV : izenačitev regulacijskih stopenj transformatorjev,
- vklop 20 kV odklopnika zveznega polja (zbiralnični ločilnika zveznega polja sta bila že vklopljena),
- izklop odklopnika in ločilnika S_1 v transformatorski celici transformatorja I,
- preklop lastne rabe iz S_1 na S_2 ,
- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda a na zbiralke S_2 ,
- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda b na zbiralke S_2 ,
- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda c na zbiralke S_2 ,

- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda d na zbiralke S_2 ,
- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda e na zbiralke S_2 ,
- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda f na zbiralke S_2 ,
- vklop zbiralničnega ločilnika izvoda g na zbiralke S_2 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda a iz zbiralk S_1 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda b iz zbiralk S_1 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda c iz zbiralk S_1 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda d iz zbiralk S_1 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda e iz zbiralk S_1 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda f iz zbiralk S_1 ,
- izklop zbiralničnega ločilnika izvoda g iz zbiralk S_1 ,
- izklop zveznega polja z odklopnikom in obema ločilnika S_1 in S_2 ,
- z visokonapetostnim indikatorjem preverimo breznepetostno stanje,
- v zato namenjene reže na stikalnih celicah namestimo izolacijske plošče ter z prenosnimi ozemljitvenimi napravami ozemljimo glavne zbiralke in transformatorsko celico.

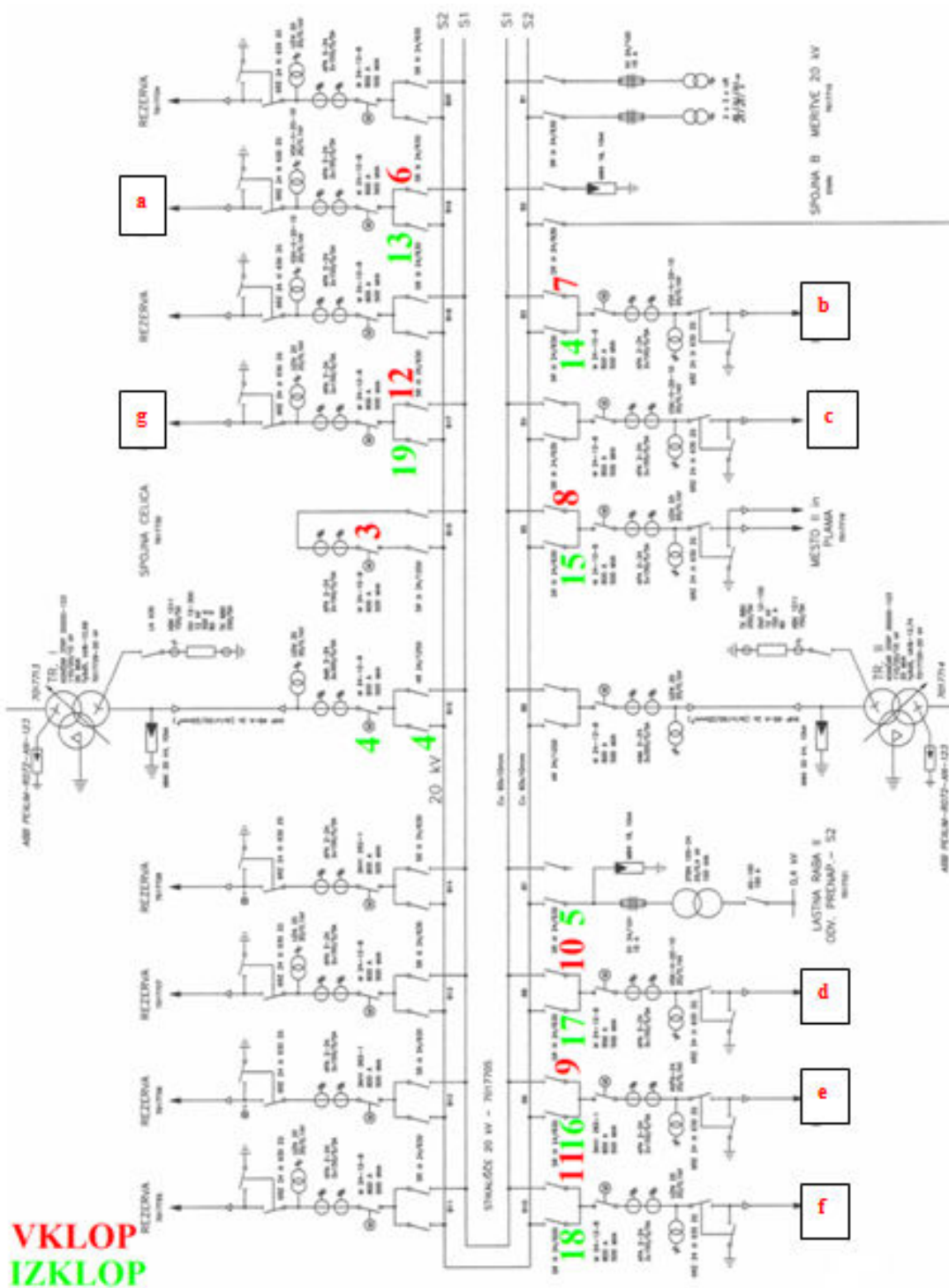
Znotraj skupin manipulacij (vklopi zbiralničnih ločilnikov na zbiralke S_2) in (izklopi zbiralničnih ločilnikov iz zbiralk S_1) so zaporedja manipulacij poljubna.

Opomba 1

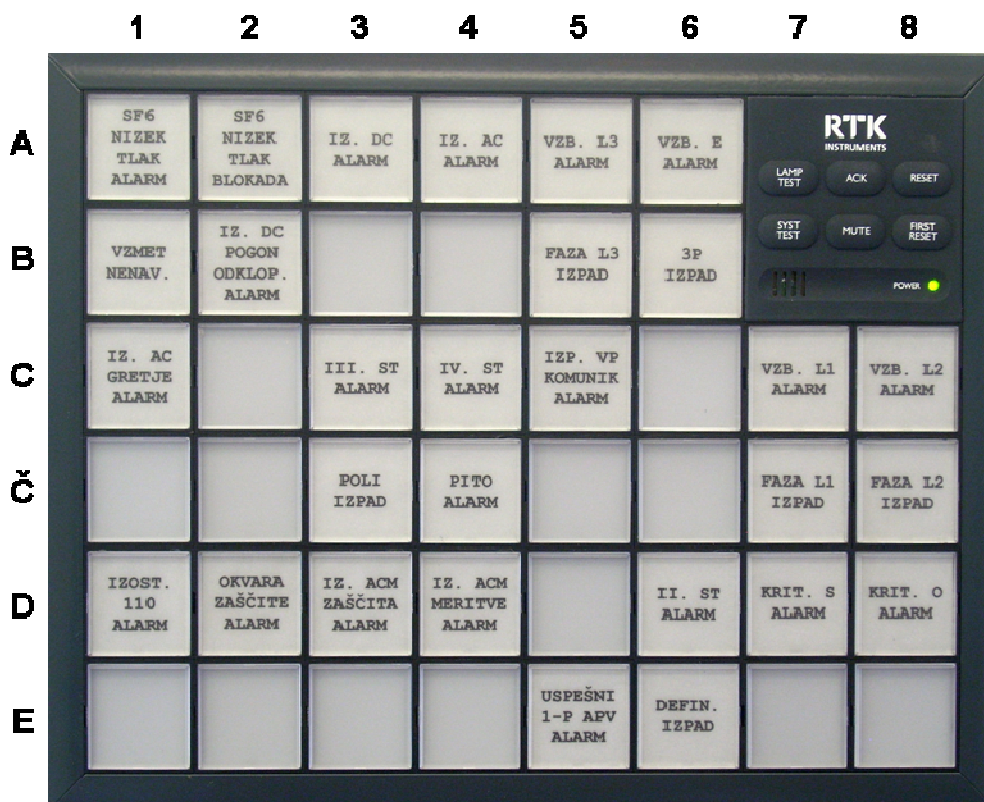
Vsaka RTP ima svoje specifičnosti, ki so posebej mnogotere ob postopni razširitvi in modernizaciji postaje. V tem primeru je lastna raba normalno vklopljena na zbiralke S_1 . Preklopi iz S_1 na S_2 pa se realizirajo na nizki napetosti. Detajl kaže na nujnost dobrega poznavanja stanja naprav in njihovih povezav.

Opomba 2

Vklop zbiralničnih ločilnikov, ki so priključeni na zbiralke S_2 za izvode a, b, c, d, e, f in g je možen po vklopu zveznega polja, ko sta obe zbiralki na skupnem—istem potencialu. Vklop in izklop voda z ločilniki na obe zbiralki pod napetostjo je možen, ker je tok in s tem tudi moč pri stikalni manipulaciji nič.



Slika 57: Enočrtna stikalna shema RTP 110/20 kV z oznakami zaporednih stikalnih manipulacij za preklop izvodov iz ene zbiralke na drugo brez prekinitve napajanja
Vir: Šajn, 2008, 21



Slika 58: Vzorec komandne plošče daljnovidnega polja 110 kV
Vir: Novak, 2008, 47

Opisi vzorčnih polj na komandni plošči (Slika 58) z ustreznimi ukrepi.
1/A

Zaščita	Nizek tlak SF6 V ODKLOPNIKU.	
Signal v DCV	SF6 ALARM.	
Signal v RTP	SF6 nizek tlak ALARM .	
Samodejno del.	-	
Verjetni vzrok	Upadanje tlaka se pojavi zaradi uhajanja plina iz gasilne komore. Signal se pojavi, ko tlak pade za 1 bar pod nazivno vrednost.	
Takojšen ukrep	Dispečer:	Obvesti DO.
	DO: dežurni obratovalec	Obratovalci morajo opraviti vizualni pregled odklopnika in po možnosti odpraviti vzrok. Če je okvara večja, izklopimo odklopnik in poiščemo pomoč pooblaščenega serviserja 110 kV odklopnikov SF6.
Nadaljnji ukrep	Po potrebi aktivirati oddelek za meritve (SMZ).	
Opomba	Signalizirana je okvara na konstrukciji odklopnika.	

1/B

Zaščita	Navijanje vzmeti odklopnika 110 kV.	
Signal v DCV	VZMET.	
Signal v RTP	VZMET nenavita .	
Samodejno del.	Navijanje vzmeti odklopnika 110 kV.	
Verjetni vzrok	Signal se pojavi pri vklopu odklopnika 110 kV in normalno traja cca 10–20 sekund.	
Takojšen ukrep	Dispečer:	-
	DO:	-
Nadaljnji ukrep	
Opomba	Signalizacija sveti v času navijanja vzmeti odklopnika (čas navijanja ca. 10 s). Če se navijanje ne izvede do konca, bo gorela signalizacija delovanja neprekinjeno in opozarjala na napako. Potrebno je odpraviti okvaro .	

1/C

Zaščita	Izpad avtomata gretja omaric v DV polju.
Signal v DCV	Izpad AC gretja.
Signal v RTP	Izpad AC gretja ALARM.
Samodejno del.	Izpad avtomata AC v razvodu =NE+LR, ki napaja grelne elemente v DV polju.
Verjetni vzrok	Okvara na instalaciji.
Takojšen ukrep	Dispečer: Obvesti DO. DO: Poišče in odpravi okvaro–po potrebi pokliče SMZ.
Nadaljnji ukrep	–
Opomba	Gretje omaric transformatorja in daljnovoda 110 kV je izvedeno z daljinsko signalizacijo. Napajanje je izvedeno preko avtomata AC v omari Izpad avtomata je signaliziran na pripadajočih omarah (...). V normalnem obratovanju je avtomat vklopljen in se med letom ne poslužuje. Bimetal samodejno vklopi gretje pri zunanji temperaturi približno 5 °C.

1/D

Zaščita	Izostanek napetosti 110 kV.
Signal v DCV	IZS 110kV.
Signal v RTP	IZS 110 ALARM.
Samodejno del.	–
Verjetni vzrok	Izklop ali izpad DV 110 kV.
Takojšen ukrep	Dispečer: Če ni prišlo do izpada ali izklopa DV poklicati DO: –
Nadaljnji ukrep	Po potrebi se izvede prenapajanje odjema RTP.
Opomba	

2/A

Zaščita	Nizek tlak SF6 blokada.
Signal v DCV	SF6 blok.
Signal v RTP	SF6 nizek tlak BLOKADA.
Samodejno del.	
Verjetni vzrok	Nedopustno upadanje tlaka .
Takojšen ukrep	Dispečer: Obvesti DO. DO: Odklopnik ne smemo posluževati. Obratovalna služba vzpostavi breznapetostno stanje odklopnika, ga ročno izklopi s pogonsko ročico ter sproži postopek pri pooblaščenem servisu.
Nadaljnji ukrep	Po potrebi se aktivira SMZ.
Opomba	Tlak je padel preko kritične meje (npr. za 1,3 bar), kar povzroči blokado odklopnika. Takšen upad tlaka je posledica hitrega uhajanja plina SF6 zaradi večje poškodbe odklopnika.

2/B

Zaščita	Izpad DC avtomata za napajanje motornega pogona odklopnika
Signal v DCV	IZ.DC pogona odklop.
Signal v RTP	Izpad DC pogona odklop. ALARM.
Samodejno del.	–
Verjetni vzrok	Okvara na instalaciji.
Takojšen ukrep	Dispečer: Obvesti DO. DO: Poišče in odpravi okvaro.
Nadaljnji ukrep	Po potrebi se aktivira SMZ.
Opomba	Signalizacija zajema izpad avtomata v omarici DV odklopnika v polju 110 kV. Nadrejeni avtomat se nahaja v omari DC razvoda.

2/D

Zaščita	Okvara zaščitne naprave DV.
Signal v DCV	Okvara na zaščiti.

Signal v RTP	Okvara zaščite ALARM .
Samodejno del.	–
Verjetni vzrok	Okvara zaščitne naprave za DV 110 kV.
Takojšen ukrep	Dispečer: Po potrebi izvede prenapajanje odjema RTP, in izklopi DV 110 kV z okvarjeno zaščito. Obvesti SMZ. DO: Po potrebi izvede prenapajanje odjema RTP.
Nadaljnji ukrep	Okvaro odpravi SMZ.
Opomba	Zaščita je okrnjena, zato je izklop DV nujen ukrep, za preprečitev nastanka večje havarije.

3/A

Zaščita	Izpad avtomata za krmiljenje odklopnika 110 kV.
Signal v DCV	Izpad zaščite odklopnika.
Signal v RTP	IZ. DC ALARM .
Samodejno del.	–
Verjetni vzrok	Okvara na instalaciji.
Takojšen ukrep	Dispečer: Obvesti DO. DO: Poišče in odpravi okvaro.
Nadaljnji ukrep	Po potrebi se aktivira SMZ.
Opomba	Signalizacija pomeni izpad avtomata DC v omari za DV za krmiljenje odklopnika Q0 in zaščito.

3/A

Zaščita	Izpad avtomata za lokalno signalizacijo.
Signal v DCV	IZ.DC LOK.SIG.
Signal v RTP	IZ. DC ALARM .
Samodejno del.	–
Verjetni vzrok	Okvara na instalaciji.
Takojšen ukrep	Dispečer: Obvesti DO. DO: Poišče in odpravi okvaro.
Nadaljnji ukrep	Po potrebi se aktivira SMZ.
Opomba	Signalizacija pomeni izpad avtomata v omari DV za signalizacijo.

3/A

Zaščita	Izpad avtomata za računalnik polja za daljinsko upravljanje in signalizacijo.
Signal v DCV	Izpad avtomata (DC).
Signal v RTP	IZ. DC ALARM
Samodejno del.	–
Verjetni vzrok	Okvara na instalaciji.
Takojšen ukrep	Dispečer: Obvesti DO. DO: Poišče in odpravi okvaro.
Nadaljnji ukrep	Po potrebi se aktivira SMZ.
Opomba	Signalizacija pomeni izpad avtomata v omari DV za računalnik polja za daljinsko upravljanje in signalizacijo.

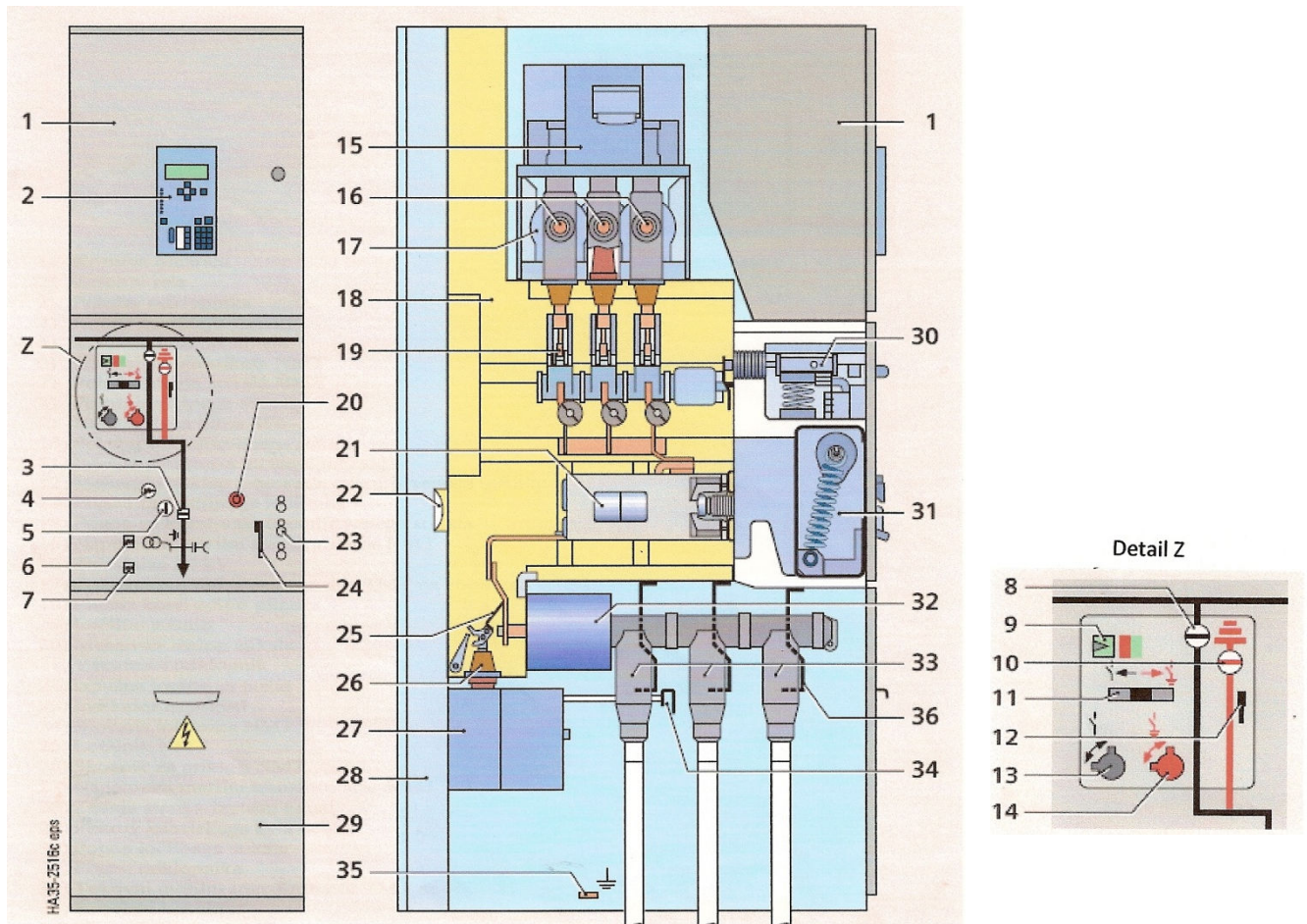
DO: dežurni obratovalec

SMZ: služba za meritve in zaščito

DC: enosmerno napajanje

Obratovalna navodila vsebujejo številne specifične ukrepe (namenjene le določenemu postroju).

Obratovalna in vzdrževalna navodila vsebujejo tudi navodila proizvajalcev, tako v dodatkih kot tudi v tabelarnih pregledih in osrednjem delu navodil. V naslednjem podpoglavju si oglejmo kot primer vodno celico na 20 kV zbiralkah v RTP 110/20 kV.



Slika 59: Vodna celica 20 kV z vsemi podrobnostmi, ki jih mora poznati obratovalec
Vir: Markovič, 2008, 24 (RTP Primskovo Kranj, Siemens 2006)

Legenda k sliki (Slika 59):

1. Krmilna omarica
2. Zaščitni rele
3. Položaj odklopnika
4. Ročno navijanje vzmeti
5. Mehanski vklop stikala
6. Položaj stanja stikala NMT
7. Položaj stanja stikala NMT
8. Položaj ločilnega stikala
9. Nadzor tlaka plina SF6
10. Položaj ozemljitvenega stikala
11. Izbirni preklopnik za manipuliranje
12. Mehanski zaklep – blokada ozemljitvenega stikala
13. Pogon za krmiljenje ločilnika
14. Pogon za krmiljenje ozemljitvenega stikala
15. Napetostni merilni transformator NMT
16. Zbiralnice 20 kV
17. Tokovni merilni transformator TMT na zbiralkah
18. Plinski kotel z SF6 plinom
19. Ločilno stikalo
20. Mehanski izklop stikala
21. Vakuumski odklopnik
22. Izpušna loputa za požar

23. Indikator napetosti
24. Blokada ločilnika NMT
25. Ločilnik NMT
26. Skoznik za priklop NMT
27. Napetostni merilni transformator NMT
28. Zadnja stran – izpušni kanal
29. Pokrov kablskega dela celice
30. Pogon ločilnega stikala
31. Pogon odklopnika
32. Tokovni merilni transformator TMT na zbiralkah
33. Kabelski konektor
34. Pogon ločilnika NMT
35. Priključno mesto za ozemljitev celice
36. Ozemljitev kablških končnikov

TMT: tokovni merilni transformator

NMT: napetostni merilni transformator

Tipska vodna (odvodna ali dovodna) celica za notranjo montažo ima sprednji del za posluževanje, zadnji del pa je nedostopen. V spodnjem delu je kabelski odvod s kablškimi končniki (33), tokovni transformatorji (32) in odvodniki prenapetosti.

V srednjem delu je vakuumski odklopnik z motornim pogonom (31). Ločilnik ima tri položaje z mehanizmom za zapahovanje.

3.4 IZVAJANJE STIKALNIH MANIPULACIJ

Oglejmo si planski izklop 20 kV odvoda, ki ga opravimo *zaradi del na daljnovodu*. V normalnih razmerah najprej izvedemo dve stikalni manipulaciji:

1. izklop odklopnika,
2. izklop zbiralničnega ločilnika – vidna ločitev (skladno z določili v dokumentu za varno delo).

Navedeni stikalni manipulaciji se izvedeta na obeh straneh daljnovoda (skladno z navedbo v dokumentu za varno delo). Po obojestranskem izklopu in vidno ločitvijo daljnovoda od delov pod napetostjo izvedemo še:

- preprečitev ponovnega vklopa,
- preizkus breznapetostnega stanja odvoda,
- vklop ozemljitvenega ločilnika in nato še vklop odklopnika (s tem je zagotovljena ozemljitev odvoda),
- izklop daljinskih komand,
- namestitev opozorilnih napisov,
- ograditev mest, ki so ostala pod napetostjo.

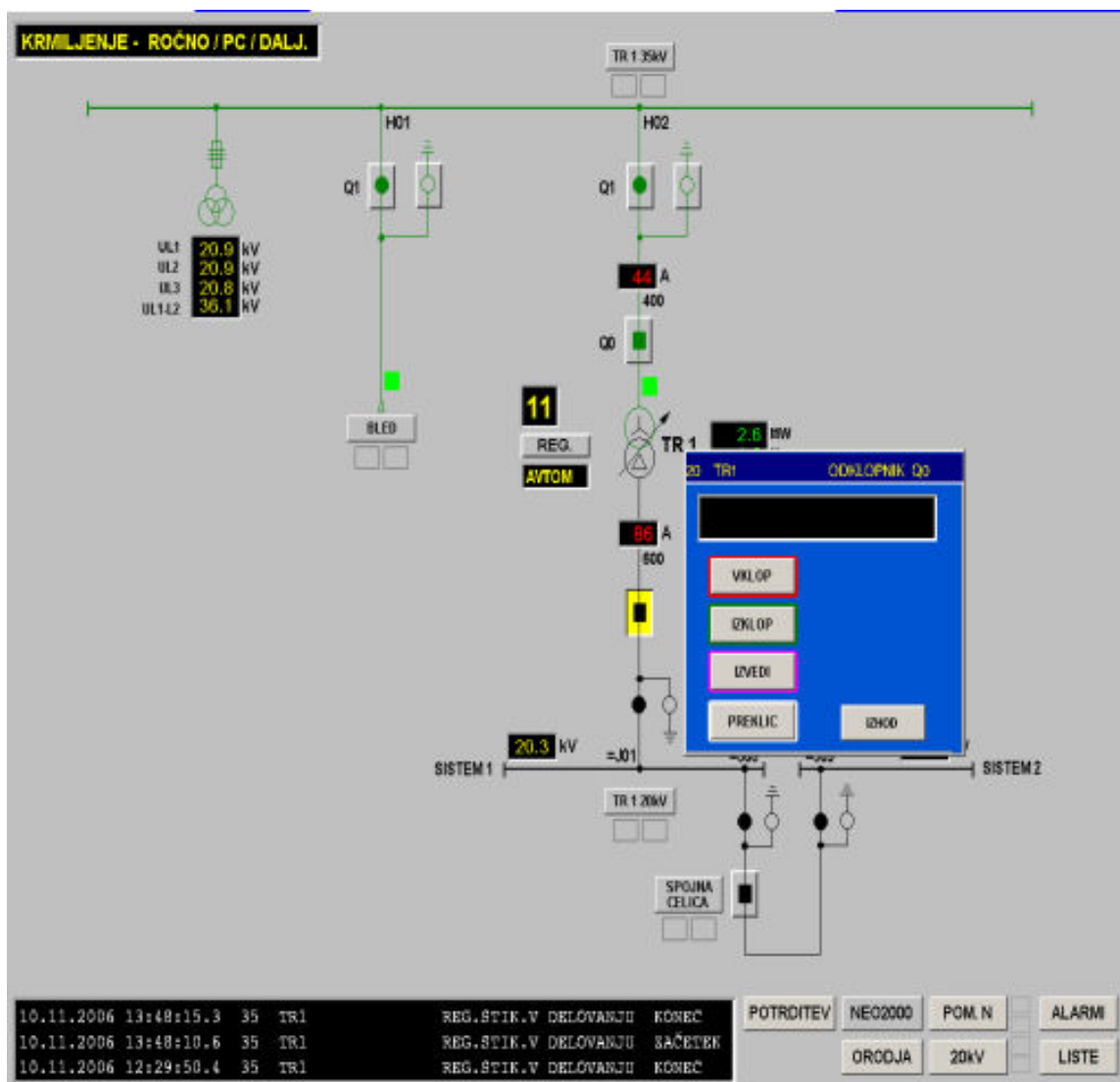
Po navedenih manipulacijah in ukrepih se odgovornemu vodji del izda pisno dovoljenje za delo.

Postopek priklopa odvoda izvedemo po končanih delih in pisnem obvestilu o prenehanju del. Praviloma vzpostavimo normalno obratovalno stanje v obratnem vrstnem redu stikalnih manipulacij kot je bil izveden odklop, vendar vedno skladno z izdanimi dokumenti.

Primer izvajanja stikalnih manipulacij v stikališču RTP 110/20 kV. Možnosti stikalnih manipulacij:

- Daljinsko preko računalnika v DCV.
- Lokalno preko postajnega računalnika.
- Lokalno iz računalnika polja.
- Neposredno na posameznih aparatih.

TPresodite o upoštevanju petih osnovnih varnostnih pravil pri planskem izklopu 20 kV odvoda zaradi del na daljnovodu.

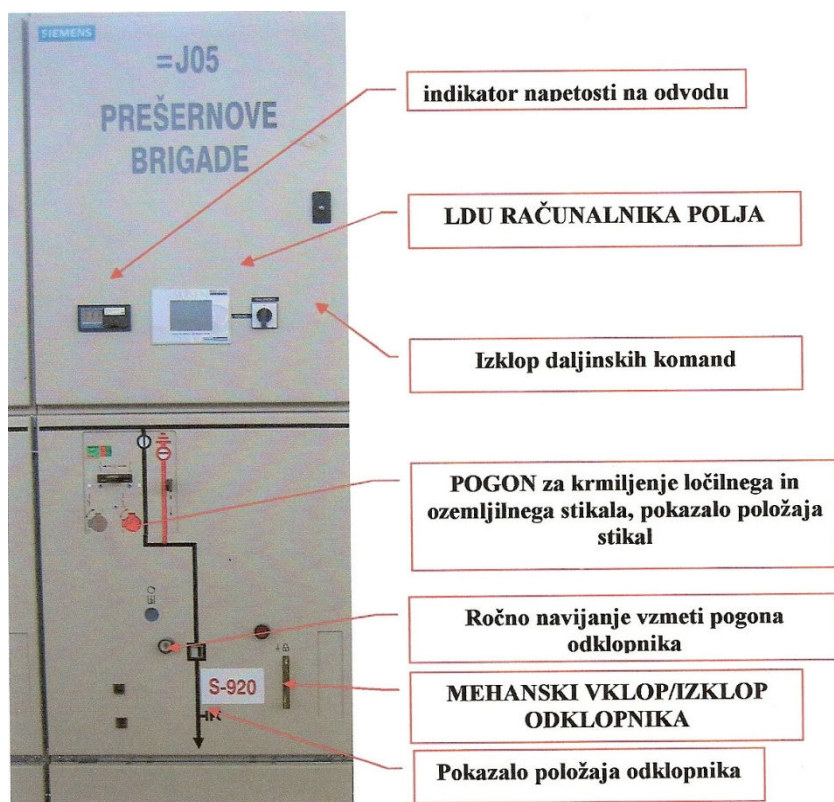


Slika 60: Plošča za krmiljenje stikalnih manipulacij iz komandnega prostora postroja
Vir: Markovič, 2008, 69

Daljinsko krmiljenje stikal v DCV spada v normalno posluževanje; v primerih nepredvidenih dogodkov izvaja stikalne manipulacije dežurni dispečer samostojno (lokacija okvare, izvedba prenapajanja ipd.). V ostalih primerih pa po nalogu odgovorne osebe za izvajanje stikalnih manipulacij.

Lokalno krmiljenje preko postajnega računalnika iz komandnega prostora postroja izvajamo v primeru, ko daljinsko posluževanje iz DCV ni možno, ali pa pri načrtovanih delih in preizkusih, ki se izvajajo po posebnem programu ali nalogu (Slika 60).

Sodobna izvlačljiva celica (Slika 61) daljnovodnega polja ima v zgornji polovici celice krmilni pano (LDU) za lokalno izvajanje lokalnih manipulacij.



Slika 61: Krmiljenje preko računalnika polja odvoda 20 kV v RTP 110/20 kV

Vir: Markovič, 2008, 71

Neposredno na posameznih aparatih izvajamo stikalne manipulacije le izjemoma v primeru večjih havarij v stikališču.

3.4.1 Vzdrževanje elektroenergetskih objektov – postrojov

Vzdrževanje je delo za ohranitev elektroenergetskih postrojov v tehniško brezhibnem stanju, v skladu z navodili o vzdrževanju in navodilih proizvajalcev opreme.

Praviloma, pri večini elektroenergetskih naprav, ločimo več vrst vzdrževanja:

- Pregled je vidno ugotavljanje stanja obratovalne pripravljenosti naprav in postroja v rokih, ki so določeni s pravilnikom o vzdrževanju.
- Preizkus in kontrolne meritve so dela, ki jih opravlja vzdrževalno osebje ali zunanji izvajalci na napravah v skladu z zahtevami proizvajalca opreme oz. zahtevami tehnične regulative.
- Revizija je periodični pregled elektroenergetskih postrojov zaradi ugotavljanja stanja in obratovalne sposobnosti v časovnih razdobjih predvidenih z navodili o reviziji.
- Remont je delo katerega naloga je, da se z večjimi popravili in zamenjavo izrabljenih delov obdrži postroj v tehniško brezhibnem stanju, v časovnih razdobjih, ki so predvidena v navodilih o remontu.
- Termovizija je metoda ugotavljanja temperatur in njene porazdelitve po površini elementa na osnovi barvnega prikaza za ugotavljanje morebitnega pregrevanja na elementu.

- Za vsako napravo so roki in obseg posameznih vrst vzdrževanja specifični.

Tabela 2: Primer odseka iz navodil za vzdrževanje

PRIMER PREGLEDOV, MERITEV IN REVIZIJ ZA REGULACIJSKO STIKALO TRANSFORMATORJA	Pregled	Meritve	Revizija
Tesnjenje	2T		L
Oddušnik regulacijskega stikala			L
Pogonski mehanizem in gretje omarice	2T		5L
Zamenjava olja v regulacijskem stikalu			5L
Stikalo, pogonski mehanizem, kontaktni upori in izolacijski cilinder			5L
Funkcionalno delovanje, električne in mehanske blokade		L	
Delovanje signalizacije in zaščite		L	
Funkcionalno delovanje elektronskega regulatorja		L	5L

L: 1x letno

5L: 1 x na 5 let

2T: 2 x tedensko

3.5 POVZETEK POGlavJA »VODENJE DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA«

T Doktrina srednjenapetostnih omrežij v Sloveniji je dvostransko napajanje vseh srednjenapetostnih napajalnih točk. Stopnjevanje napetosti distribucijskega omrežja je 110/20/0,4 kV. Srednjenapetostna omrežja obratujejo s posredno ozemljeno nevtralno točko. Zlasti v razsežnejših mešanih omrežjih se uporabljajo tuljave za kompenzacijo kapacitivnih tokov.

Pri analizi skrajšanja časa odprave napake so smotrne proučitve posameznih časovnih elementov pri odpravi napake.

Vloga centrov vodenja v obratovanja distribucijskih omrežij, kakor tudi njihova struktura in podatki, ki se zbirajo za različne službe v okviru distribucijske organizacije so nujne osnove na katerih gradi elektroinženir svoje znanje, opravlja tekoče delo in oblikuje nove rešitve za dvig racionalnosti in kvalitete dobave električne energije. Strategija distribucijske organizacije pri zajemanju podatkov in njihovi obdelavi za vse odjemalce distribucijskega omrežja postaja z uvajanjem novih tehnologij vedno bolj aktualna.

Elektroenergetski objekti morajo obratovati varno, zanesljivo in racionalno. Zato so nujna obratovalna navodila, ki vsebujejo kratek opis naprav objekta, vlogo objekta v distribucijskem omrežju in ukrepe v posameznih obratovalnih stanjih. V obratovalnih navodilih upoštevamo nivoje vodenja elektroenergetskega objekta od najnižjega na napravi objekta do krmiljenja iz centra vodenja.

Osrednji del transformatorske postaje, razdelilne transformatorske postaje in razdelilne postaje so stikališča, katerih funkcija je prilagojena lokaciji postaje v omrežju, njenemu namenu in tudi fleksibilnosti pri razvrščanju bremen, ločevanju odjemalcev in omejevanju kratkostičnih moči. Elektroinženir pozna posamezne tipe stikalnih elementov, ter njihove možnosti v obratovanju za pravilno ukrepanje v vseh obratovalnih stanjih.

Naloge in vprašanja

T Vodenje distribucijskih omrežij lahko kreiramo na osnovi razvoja in vrednotenja naslednjih vprašanj in rešitve problemov:

- Kaj je doktrina obratovanja slovenske distribucije?
- Glavne značilnosti obratovanja s posredno ozemljeno nevtralno točko in razlike v primerjavi z obratovanjem z izolirano nevtralno točko.
- Kako izboljšati kvaliteto dobave električne energije distribucijskim odjemalcem?
- Kaj je avtomatizacija obratovanja distribucijskih omrežij?
- Kaj so nivoji avtomatizacije obratovanja distribucijskih omrežij?
- Katere so osnovne naprave avtomatizacije obratovanja?
- Katere so osnovne funkcije avtomatizacije obratovanja?
- S katerimi napravami razpolaga distribucijski center vodenja?
- Opis osnovnih funkcij distribucijskega centra vodenja.
- Signalizacije in krmiljenje v procesu vodenja distribucijskih omrežij.
- S katerimi napravami omejujemo odstopanja napetosti na primo–predajnih mestih odjemalcev?
- Kateri so glavni deli obratovalnih in vzdrževalnih navodil?
- Kako se odraža »regulacija« distribucije kot panoge elektrogospodarstva?
- Navedite statistične podatke, ki so relevantni za izbiro stopnje avtomatizacije distribucijskega omrežja.
- Izdelajte grobo vsebino obratovalnih navodil za elektroenergetski objekt.

Razumevanje, rabo, možnost analize sinteze kreacije in ovrednotenja rešitev ter uporabo pridobljenega znanja iz poglavja 3 »Vodenje distribucijskega omrežja« bomo preizkusili še na oblikovanju dodatnih tehničnih rešitev:

- Namestitev naprav za avtomatizirano obratovanje v delu distribucijskega omrežja s funkcijskimi povezavami z distribucijskim centrom vodenja.
- Proces lokacije napake na omrežju, izločitev okvarjenega odseka omrežja, izvedba prenapajanja in organizacija popravila napake.
- Izdelajte del navodil vzdrževanja za izbrani element elektroenergetskega postroja.
- Zamislite si izklop odseka daljnovoda za primer antikorozijske zaščite stebra ter določite vsebino dokumentov po katerih bo izklop izvršen.

»... creativity is not something you wait for. It is something that waits for you. You must *decide* to be creative, not wait to be. ... Turn on the computer. ... Propose the solution. Advance the idea. *Become* the answer.«

Neale Donald Walsch

Vir: today@nealedonaldwalsch.ccsend.com today@nealedonaldwalsch.com (6. 2. 2009)

4 LITERATURA

- Bauer, S. Elektrarna na bioplin. Diplomaska naloga. Ljubljana ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2008.
- Dejanovič, B., Sevšek, I. Termoelektrarne. Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 1998.
- Deklaracija o usmeritvah za delovanje republike Slovenije v institucijah EU); Ur.l.RS št. 31/2007.
- Energetski zakon Ur.l.RS. št.27/2007. Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=79243> in <http://www.uradni-list.si/1/content?id=87575810> (19.2.2009).
- EURELECTRIC Annual Convention and Conference, »The Next to Years , 11–12 junij 2007 Antwerpen Belgija.
- Gradnik, T. Babuder, M, Končan–Gradnik, M. Pomen optimiranja hlajenja za življenjsko dobo in zanesljivost transformatorjev velikih moči. Ljubljana: Elektrotehniški vestnik, vol. 73, št.:4, 2006.
- Gubina, F. Delovanje elektroenergetskega sistema. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko Univerza v Ljubljani, 2006.
- Hrovatin, J. Delovanje zahodnoevropske interkonekcije UCPT. Ljubljana: Elektrotehniški vestnik vol 59, 1992.
- Hrovatin, J. et. al., Zgodovina slovenskega elektrogospodarstva. Ljubljana: Izd : Elektrotehniška zveza Slovenije; 2007.
- Korez, J. *Vpliv hlajenja transformatorja 300 MVA na življenjsko dobo transformatorja.* Diplomaska naloga, Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2007.
- Koželj M. *Električni stroji.* Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 1998.
- Markovič, B. *Sodobno obratovanje RTP 110/20 kV Primskovo.* Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2008.
- Močnik, Z. *Hidroelektrarne.* Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 1998.
- Nagode, A. *Vetrne elektrarne.* seminarsko gradivo iz premeta elektroenergetski sistemi, Ljubljana. ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2007.
- Novak B., Novak I. *Stikališča v elektroenergetskem sistemu.* Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2001.
- Omahen, P. *Modeliranje, simulacije in analiza delovanja elementov EES.* Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2001.
- Omahen, P. *Orodja za analizo delovanja EES.* Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 1997.
- Orel, B. *Energetski pretvorniki I.*Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo Ljubljana, 1992.
- Papler, D. *Obnovljivi viri energije.* Naklo: Biotehnični center, 2008.

- Plaper, M. *Elektroenergetska omrežja 2.del*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, 1975.
- Plaper, M. *Elektroenergetska omrežja 1.del*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, 1974.
- Plaper, M. *Elektroenergetska omrežja III. Del*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani 1977.
- *Pravilnik o projektni dokumentaciji* (Ur. l. RS, št. 55/2008)
- *Pravilnik o sistemskem obratovanju distribucijskega omrežja za električno energijo* (Ur. l. RS, št.123/2003). Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=40802> (10.11.2008).
- *Resolucija o NEP* (Ur. l. RS, št. 57/2004). Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=49416> (10.11.2008).
- *Sistemska obratovalna navodila za prenosno omrežje električne energije*, Ur.l. RS. št. 49/2007. Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596> (10.11.2008).
- *Splošni pogoji za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskega omrežja električne energije* (Ur. l. RS, št. 126/2007). Dostopno na naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=84434> (10.12.2008).
- *Stikalne naprave in varovalke*. Izd.: Elektrotehniška zveza Slovenije, Sloko CIGRE (IBSN 961–90028–2–2) 1995.
- Štular, I. *Fotonapetostna elektrarna*. Diplomaska naloga. Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2005.
- Šajn, B. *Obratovalna navodila za RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica*. Ljubljana: ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko, 2005.
- *Uporabniški priročnik za ločilno mesto*. Tehmar Maribor : Tehnična dokumentacija 2001.
- <http://sl.wikipedia.org/wiki/Premog> (12.2.2009).
- <http://www.google.si/search?hl=sl&q=termoelektrarne&btnG=Iskanje+Google&meta=&aq=f&oq=> (12.2.2009).
- http://www.nek.si/sl/o_jedrski_tehnologiji/delovanje_nek/shema_delovanja_nek/ (12.2.2009).
- http://www.te-tol.si/index.php?sv_path=2455,2850 (12.2.2009).
- http://www.agen-rs.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=29&id_informacija=883 (19.2.2009).
- http://www.ucte.org/_library/ohb/consultation/081120_UCTE_OH_Policy1_publicConsultation.pdf (19.2.2009).
- <http://www.ucte.org/aboutus/> (10.11.2008).
- <http://www.ucte.org/activities/systemoperation/operationhandbook/> (21.1.2009)
- <http://www.uradni-list.si/1/content?id=79518> (10.9.2008).
- http://www.te-tol.si/index.php?sv_path=2455,2850 (12.2.2009).

- http://www.agen-rs.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=29&id_informacija=883 (12.2.2009)
- <http://www.uradni-list.si/1/content?id=80596> (12.2.2009).
- http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P006-0000.PDF (20.2.2009).
- http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P005-0000.PDF (20.2.2009).
- http://www.ucte.org/_library/ohb/consultation/081120_UCTE_OH_Policy3_publicConsultation.pdf (20.2.2009).
- http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P020-0000.PDF (20.2.2009).
- http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-049-02638-OB~P012-0000.PDF (20.2.2009).
- <http://www.uradni-list.si/1/content?id=15650&part=&highlight=uredba+o+omejevanju+obte%C5%BEb> (26.2.2009).
- http://www.eles.si/portal/page/portal/Eles_partnerji/pA_PEE/pa_pee_predstavitev/pa_pee_dalj/pa_pee_potekdalj (26.2.2009).
- today@nealedonaldwalsch.ccsend.com today@nealedonaldwalsch.com (6. 2. 2009).

Projekt **Impletum**

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

Konzorcijski partnerji:



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.