



REPUBLIKA E SHQIPËRISË  
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS  
FAKULTETI I INXHINIERISË ELEKTRIKE

**"ANALIZA DHE PËRCAKTIMI I STRATEGJIVE PËR  
PROÇESIN E RIVENDOSJES SË SISTEMIT  
ELEKTROENERGJETIK NË KUSHTET E TREGUT TË  
LIBERALIZUAR DHE PENETRIMIT TË BURIMEVE TË  
RINOVUESHME TË ENERGJISË ELEKTRIKE"**

Përgatitur nga:  
**Msc.Ing. Elio Voshtina**

Udhëheqës Shkencor:  
**Prof. Dr. Marialis Çelo**

**Tiranë, 2025**



**REPUBLIKA E SHQIPËRISË  
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS  
FAKULTETI I INXHINIERISË ELEKTRIKE**

**DISERTACION**

**i**

**Paraqitur nga**

**Msc.Ing. Elio VOSHTINA**

Për marrjen e gradës shkencore

**Doktor**

Në Inxhinieri Elektrike – nënfusha energjetikë

Tema:

**“ANALIZA DHE PËRCAKTIMI I STRATEGJIVE PËR PROCESIN E  
RIVENDOSJES SË SISTEMIT ELEKTROENERGJETIK NË KUSHTET E TREGUT  
TË LIBERALIZUAR DHE PENETRIMIT TË BURIMEVE TË RINOVUESHME TË  
ENERGJISË ELEKTRIKE”**

Mbrohet më datë. 16. 09. 2025 para jurisë së ngritur nga Këshilli i  
Profesorëve i FIE me Vendimin Nr. 14, datë 26.09.2025:

1. Akad.Prof.Rajmonda Buhaljoti
2. Prof. Dr. Astrit BARDHI
3. Prof. Asoc. Alfred PJETRI
4. Prof. Dr. Gëzim KARAPICI
5. Prof. Dr. Piro CIPO

**Kryetar (Oponent)**

Anëtar

Anëtar

Anëtar (Oponent)

Anëtar

**Tiranë, 2025**

---

Ky punim është në kuadër të shkollës së doktoratës në Inxhinieri  
Elektrike, nënfusha energjetikë.  
Punimi është pjesë e projektit "Ndërveprimi i teknologjive  
informatike dhe energjetike për një sistem elektroenergjetik të  
mençur (smart grid)".

---

## MIRËNJOHJE

*Fillimisht dëshiroj të shpreh mirënjohjen time për udhëheqësen shkencore, Prof. Dr. Marialis Çelo, e cila më ka udhëhequr me përkushtim dhe vizion gjatë gjithë këtij udhëtimi akademik. Mbështetja e saj akademike dhe profesionale, këshillat e çmuara dhe inkurajimi i vazhdueshëm kanë qenë vendimtare për realizimin e këtij punimi. Ajo jo vetëm që ka dhënë një drejtim të qartë shkencor, por ka ndikuar thellësisht edhe në formimin tim si Inxhinier Elektrik, duke më udhëhequr drejt këtij rrugëtimi. Nëpërmjet bashkëpunimit me të, mendoj se kemi arritur të ndërthurim njohuritë akademike me praktikën e operimit të sistemit elektroenergjetik.*

*Një falënderim për Akad. Asoc. Prof. Dr. Rajmonda Buhaljoti, për diskutimet e frytshme dhe shkëmbimet e ideve që kanë pasuruar më tej perspektivën time kërkimore dhe kanë dhënë një kontribut të vyer në përmbajtjen e këtij studimi.*

*Gjithashtu, dëshiroj të falënderoj kolegët e mi të Departamentit të Sistemeve Elektrike të Fuqisë pranë Fakultetit të Inxhinierisë Elektrike, veçanërisht Dr.Ing. Aldi Muçka, me bashkëpunimin, sugjerimet dhe diskutimet e frytshme ka kontribuar ndjeshëm në pasurimin e këtij punimi.*

*Një mirënjohje e veçantë shkon për kolegët e Operatorit të Sistemit të Transmetimit (OST sh.a.), veçanërisht për stafin e Departamentit të Operimit të Sistemit (Qendra Dispeçer Kombëtare), Ing.Luan Aranitasi, Ing.Albert Laska, Ing.Besnik Meça, të cilët kanë ndarë me mua eksperiencën e tyre të çmuar dhe aspektet praktike që kanë qenë thelbësore për këtë punim.*

*Mbi të gjitha, falënderimi më i madh i takon familjes sime, e cila ka qenë burimi im i forcës dhe mbështetjes gjatë gjithë këtij procesi. Durimi dhe inkurajimi i tyre kanë qenë motivimi im më i madh për të përballuar sfidat dhe për të arritur këtë moment.*

*Ky punim është fryt i një rrugëtimi të përbashkët, ku kontributi i secilit ka qenë i vyer dhe i pazëvendësueshëm.*

---

*Pär Silvi & Ester*

---

## PËRMBAJTJE

|         |                                                                            |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.      | Hyrje .....                                                                | 1  |
| 1.1     | Qëllimi dhe objektivat.....                                                | 6  |
| 2.      | Sistemi Elektroenergjetik Shqiptar .....                                   | 9  |
| 2.1     | Kapacitetet aktuale transmetuese .....                                     | 9  |
| 2.2     | Kapacitetet aktuale të prodhimit të energjisë elektrike.....               | 13 |
| 2.3     | Kapacitet e pritshme gjeneruese në rrjetin e transmetimit.....             | 14 |
| 2.4     | Kapacitetet e pritshme të sistemit të transmetimit .....                   | 17 |
| 3.      | Modelimi elementëve të sistemit të transmetimit .....                      | 20 |
| 3.1     | Modelimi i Gjeneratorëve Konvencional.....                                 | 20 |
| 3.2     | Parametrat operacionalë të makinës sinkrone.....                           | 21 |
| 3.3     | Parametrat Standard të makinës sinkrone .....                              | 24 |
| 3.4     | Parametrat bazuar në përafrimet klasike .....                              | 24 |
| 3.5     | Saktësimi i parametrave standart të makinës sinkrone .....                 | 27 |
| 3.6     | Parametrat që përfshijnë efektet e reciprocitetit .....                    | 28 |
| 3.7     | Vlerat tipike të parametrave standartë .....                               | 30 |
| 3.8     | Modelimi transformatorëve të fuqisë .....                                  | 30 |
| 3.9     | Modelimi linjave të transmetimit.....                                      | 34 |
| 3.10    | Modelimi ngarkesave .....                                                  | 36 |
| 3.11    | Modelimi shunt-reaktorëve dhe kapacitorëve.....                            | 38 |
| 3.12    | Modelimi rregullatorëve të shpejtësisë .....                               | 41 |
| 3.12.1  | Turbinat hidraulike dhe sistemet e kontrollit.....                         | 41 |
| 3.12.2  | Turbinat hidraulike dhe sistemet e rregullimit .....                       | 42 |
| 3.12.3  | Modeli jo-linear i turbinës, duke pranuar një kolonë jo-elastike uji ..... | 48 |
| 3.12.4  | Rregullatorët për Turbinën hidraulike .....                                | 53 |
| 3.12.5  | Modeli i plotë i sistemit hidraulik.....                                   | 57 |
| 3.13    | Modelimi rregullatorëve të tensionit (sistemi i eksitimit).....            | 65 |
| 3.14    | Kërkesat e sistemit të eksitimit .....                                     | 66 |
| 3.14.1  | Konsideratat për gjeneratorin .....                                        | 66 |
| 3.14.2  | Konsideratat e sistemit të fuqisë .....                                    | 66 |
| 3.14.3  | Elementët e një sistemi eksitimi .....                                     | 67 |
| 3.14.4  | Llojet e sistemeve të eksitimit .....                                      | 68 |
| 3.14.5  | Modelimi i komponentëve të sistemit të eksitimit.....                      | 68 |
| 3.14.6  | Eksituesit DC me eksitim të pavarur .....                                  | 68 |
| 3.14.7  | Eksituesit DC me vetëeksitim.....                                          | 72 |
| 3.14.8  | Eksituesit AC dhe radrizatorët.....                                        | 73 |
| 3.14.9  | Amplifikatori .....                                                        | 75 |
| 3.14.10 | Qarku stabilizues i sistemit të eksitimit.....                             | 75 |
| 3.14.11 | Limituesit max dhe min .....                                               | 76 |
| 3.14.12 | Funksionet e portave.....                                                  | 78 |
| 3.14.13 | Shndërruesi tensionit dhe kompensuesi i ngarkesës .....                    | 79 |
| 3.14.14 | Modelimi i plotë i Sistemeve të Eksitimit .....                            | 79 |
| 3.14.15 | Modeli i eksituesit TIPI DC1A.....                                         | 80 |
| 3.14.16 | Modeli i eksituesit TIPI AC1A.....                                         | 81 |
| 3.14.17 | Modeli i eksituesit TIPI AC4A.....                                         | 82 |

---

|         |                                                                           |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.14.18 | Modeli i eksituesit TIPI ST1A.....                                        | 83  |
| 3.14.19 | Modelimi i limituesve.....                                                | 83  |
| 3.15    | Testimet për zhvillimin dhe verifikimin e modelit .....                   | 86  |
| 3.16    | Modelimi i inverterit në impiantet fotovoltaike.....                      | 87  |
| 3.16.1  | Krahasimi midis Konverterave GFL dhe GFM.....                             | 87  |
| 3.16.2  | Qarku i Kontrollit të Konverterave GFM .....                              | 89  |
| 4.      | Konsiderata mbi strategjite e rivendosjes së SEE.....                     | 91  |
| 4.1     | Plani i Mbrojtjes së Sistemit të Transmetimit.....                        | 91  |
| 4.2     | Skemat Speciale dhe Sistemi i Mbrojtjes (SPS) .....                       | 92  |
| 4.3     | Koordinimi i planeve të mbrojtjes .....                                   | 93  |
| 4.4     | Harmonizimi i planeve të mbrojtjes.....                                   | 93  |
| 4.5     | Pajisjet për Kontrollin e Fluksit të Energjisë .....                      | 94  |
| 4.6     | Sinkrofazoret (Njësitë e Matjes me Fazorë PMU).....                       | 94  |
| 4.7     | Ndikimi i Burimeve të Rinovueshme .....                                   | 95  |
| 4.8     | Përgjigjia e ngarkesës .....                                              | 96  |
| 4.9     | Strategjitë e rivendosjes së Sistemit Elektroenergjetik.....              | 96  |
| 4.10    | Gjeneratorët me aftësi me vetëlëshim (black start).....                   | 98  |
| 4.11    | Veprimet në nënstacione .....                                             | 99  |
| 4.12    | Përmbledhje e strategjive të rivendosjes.....                             | 99  |
| 4.13    | Skemat Automatike të Shkarkimit nga mbi frekuenca dhe nën frekuenca ..... | 100 |
| 4.14    | Plani i Mbrojtjes ndaj Qëndrueshmërisë së Frekuencës .....                | 102 |
| 4.15    | Skema e kontrollit për nën frekuencë .....                                | 103 |
| 4.16    | Modaliteti i Kufizuar i Ndjeshmërisë ndaj Frekuencës – Nënfrekuencë ..... | 104 |
| 4.17    | Kalimi dhe Shkycja automatike e njërive të ruajtjes së energjisë .....    | 105 |
| 4.18    | Skema e SHAF në SEE Shqiptar .....                                        | 105 |
| 4.19    | Implementimi Planit të SHAF .....                                         | 106 |
| 4.20    | Kërkesa minimale teknike për aplikimin e SHAF .....                       | 106 |
| 4.21    | Skema e kontrollit të mbifrekuencës.....                                  | 107 |
| 4.22    | Modaliteti Ndjeshmërisë ndaj Frekuencës - Mbifrekuenca .....              | 107 |
| 4.23    | Sfida për shkak të Ndryshimeve në Burimet e Reja të Prodhimit .....       | 107 |
| 4.24    | Ndikimi i Parametrave Kritikë.....                                        | 108 |
| 4.25    | Skemat Automatike të mbi dhe nën tensionit .....                          | 110 |
| 4.26    | Bazat e Analizës së Qëndrueshmërisë së Tensionit .....                    | 112 |
| 5.      | Rastet ndërkombëtare të rënies së sistemeve .....                         | 121 |
| 5.1     | Përvoja ndërkombëtare në rivendosjen e sistemeve elektroenergjetike ..... | 121 |
| 5.2     | Rënia e Sistemit Elektroenergjetik Shqiptar në 21 Qershor 2024 .....      | 123 |
| 5.3     | Gjendja e rrjetit dhe tregut para incidentit .....                        | 124 |
| 5.3.1   | Ndërprerjet e planifikuara.....                                           | 124 |
| 5.3.2   | Ndërprerje të Paplanifikuara para incidentit.....                         | 126 |
| 5.3.3   | Gjendja e Tregut para incidentit .....                                    | 126 |
| 5.4     | Ngarkesa në sistemet e transmetimit para incidentit.....                  | 129 |
| 5.5     | Prodhimi energjisë elektrike para incidentit .....                        | 129 |
| 5.6     | Flukset Ndërkufitare para incidentit .....                                | 130 |
| 5.7     | Shkëmbimet e skeduluara para incidentit .....                             | 131 |
| 5.8     | Flukset Fizike Ndërkufitare para incidentit .....                         | 131 |

---

|      |                                                                        |     |
|------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.9  | Analiza e sigurisë për ditën në avancë në SEE para incidentit .....    | 132 |
| 5.10 | Sekuenca Faktike e incidentit .....                                    | 133 |
| 5.11 | Prodhim dhe Ngarkesa gjatë incidentit .....                            | 135 |
| 5.12 | Flukset e fuqisë aktive dhe reaktive .....                             | 136 |
| 5.13 | Tensionet në rrjetin e OST .....                                       | 139 |
| 5.14 | Analiza Q-V .....                                                      | 140 |
| 5.15 | Këndet e tensionit .....                                               | 143 |
| 5.16 | Frekuenca .....                                                        | 143 |
| 5.17 | Sekuenca e rivendosjes (OST) .....                                     | 144 |
| 5.18 | Veprimet për Rivendosjen e Prodhimit (OST) .....                       | 144 |
| 5.19 | Veprimet e Rivendosjes së Ngarkesës (OST) .....                        | 145 |
| 5.20 | Gjetjet kryesore dhe rekomandimet .....                                | 146 |
| 5.21 | Rekomandimet nga ENTSO – E në lidhje me incidentin .....               | 146 |
| 6.   | Simulimi incidentit në softin PSS/E .....                              | 149 |
| 6.1  | Skenari Nr.1: Validimi modelit me skenarin dt. 21/06/2024 .....        | 149 |
| 6.2  | Skenari Nr.2: L 400kV Elbasan2-Zemblak(Monita) .....                   | 155 |
| 6.3  | Skenari Nr.3: L400kV Zemblak-Kardia (Monita) .....                     | 158 |
| 6.4  | Skenari Nr.4: L400kV Tirana2-Podgorica2(Monita) .....                  | 160 |
| 6.5  | Skenari Nr.5: L400kV Tirana2-Elbasan2(Monita) .....                    | 163 |
| 6.6  | Skenari Nr.6: L400kV Zemblak-Kardia (Skenari FV) .....                 | 164 |
| 6.7  | Skenari Nr.7: L400kV Zemblak-Kardia(Skenari pajisje kompensimi ) ..... | 166 |
| 6.8  | Skenari Nr.8: L400kV Elbasan2-Zemblak .....                            | 167 |
| 7.   | Konkluzionet .....                                                     | 170 |
| 8.   | Literatura .....                                                       | 173 |
| 9.   | Aneks modele dinamike .....                                            | 176 |

---

## LISTA E FIGURAVE

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Skema konceptuale e Sistemit Elektronergjetik Shqiptar viti 2024 (burimi: Arkiva OST sh.a.) .....      | 1  |
| Figura 2 Skema Sistemit të Transmetimit OST sh.a.(Burimi OST sh.a.) .....                                       | 2  |
| Figura 3 Zhvillimi fuqisë së instaluar në Sistemin e Transmetimit (Burimi: Arkive të dhëna OST sh.a.) .....     | 3  |
| Figura 4 Kapaciteti instaluar i njësive gjeneruese sipas lëndës së parë (burimi OST sh.a.) .....                | 3  |
| Figura 5 Prodhimi Energjisë Elektrike në Sistemin e Transmetimit .....                                          | 4  |
| Figura 6 Konsumi Energjisë Elektrike në Sistemin e Transmetimit (burimi: Arkivë të dhëna OST) .....             | 4  |
| Figura 7 Shkëmbimi energjisë elektrike në linjat e interkoneksioni (burimi: OST sh.a.) .....                    | 5  |
| Figura 8 Sistemi transmetimit Shqiptar sipas shtrirjes gjeografike të rrjetit (burimi OST sh.a.) .....          | 12 |
| Figura 9 Ndarja e njësive hidro me rezervuar dhe me derivacion .....                                            | 14 |
| Figura 10 Statusi Aplikimeve për burime gjeneruese në Transmetim(burimi OST sh.a.) .....                        | 16 |
| Figura 11 Burimet hidrogjenuese të KESH sh.a. në kaskadën e Drinit(Burimi OST sh.a.) .....                      | 16 |
| Figura 12 Parashikimi zhvillimit të fuqisë instaluar ne OST .....                                               | 17 |
| Figura 13 Akset gjatësore dhe tërthore të gjeneratorit sinkron .....                                            | 21 |
| Figura 14 Qarqet ekuivalente të makinës sinkrone .....                                                          | 22 |
| Figura 15 Qarku ekuivalent për parametra në rastin e një disturbance .....                                      | 26 |
| Figura 16 Qarku ekuivalent që përfshin efektet e reciprocitetit .....                                           | 28 |
| Figura 17 Skema e transformatorëve dhe autotransformatorëve .....                                               | 31 |
| Figura 18 Qarku ekuivalent për transformator 1 Fazor me dy pështjella .....                                     | 31 |
| Figura 19 Qarku ekuivalent për skemen e zëvendësimit të transformatorit në formën T .....                       | 33 |
| Figura 20 Qarku ekuivalent për një linjë një fazore transmetimi me parametra të shpërndarë[2] .....             | 34 |
| Figura 21 Skema ekuivalente për një linjë tre fazore me parametra të përqëndruar[21] .....                      | 35 |
| Figura 22 Ilustrim i ndjeshmërisë së ngarkesës ndaj tensionit .....                                             | 37 |
| Figura 23 Skema e lidhjes së shunt reaktoreve .....                                                             | 39 |
| Figura 24 Reaktor i kontrolluar me tiristorë .....                                                              | 40 |
| Figura 25 Kapacitor të kontrolluar me tiristorë .....                                                           | 40 |
| Figura 26 Kombinim i reaktorëve dhe kapacitorëve me kontroll me tiristorë .....                                 | 40 |
| Figura 27 Bllokskemë ilustruese e rregullimit për turbinat .....                                                | 41 |
| Figura 28 Skema e një impianti hidrik .....                                                                     | 43 |
| Figura 29 Varësia e ndryshimit të fuqisë mekanike të turbinës ndaj hapjes me një pozicion të portës hyrëse .... | 47 |
| Figura 30 Qarku ekuivalent për një turbinë hidraulike .....                                                     | 48 |
| Figura 31 Varesia e hapjes ideale me hapje reale te aparatit drejtues .....                                     | 51 |
| Figura 32 Përgjigjia në frekuencë e modelit jolinear me kolonë jo-elastike uji .....                            | 52 |
| Figura 33 Aparat drejtues me një kompensim kalimtar të droop-it .....                                           | 53 |
| Figura 34 Skema e një aparati drejtues mekaniko-hidraulik për një turbine hidro. ....                           | 54 |
| Figura 35 Bllok-diagramë e një aparati drejtues të përshtatshëm për studime të qëndrueshmërisë .....            | 55 |
| Figura 36 Kontrollor me tre nyje: proporcional-integral-derivative (PID) .....                                  | 57 |
| Figura 37 Rrjedhja e ujit përmes një tubacioni elastik .....                                                    | 58 |
| Figura 38 Modeli elastik i kolonës së ujit .....                                                                | 61 |
| Figura 39 Modeli i impiantit hidraulik pa kullë ekuilibri .....                                                 | 62 |
| Figura 40 Basen Diferencial .....                                                                               | 63 |
| Figura 41 Bllok-diagrama e turbinës hidraulike me kullë ekuilibri .....                                         | 65 |
| Figura 42 Elementët kryesorë të sistemit të eksitimit .....                                                     | 67 |
| Figura 43 Eksitues DC me eksitim të pavarur .....                                                               | 68 |
| Figura 44 Karakteristika e pangopur e punimit pa ngarkesë e eksituesit .....                                    | 69 |
| Figura 45 Karakteristika e saturimit të eksituesit .....                                                        | 70 |
| Figura 46 Bllok diagrama e një eksituesi DC .....                                                               | 71 |
| Figura 47 Eksitues DC me vetëeksitim .....                                                                      | 72 |
| Figura 48 Bllok diagrama e eksituesit AC .....                                                                  | 73 |
| Figura 49 Karakteristika e ngopjes së eksituesit AC .....                                                       | 74 |
| Figura 50 Modeli i rregullimit të radrizatorit .....                                                            | 74 |
| Figura 51 Modeli i amplifikatorit .....                                                                         | 75 |
| Figura 52 Modeli i amplidinës .....                                                                             | 75 |
| Figura 53 Qarku stabilizues i sistemit të eksitimit .....                                                       | 75 |
| Figura 54 Bllok integrues limitues max .....                                                                    | 76 |
| Figura 55 Bllok integrues limitues min .....                                                                    | 76 |
| Figura 56 Bllok me konstante kohe me limitues max .....                                                         | 77 |
| Figura 57 Bllok me konstante kohe me limitues min .....                                                         | 77 |

---

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 58 Blloku perparim-vonese me limitues min.....                                            | 78  |
| Figura 59 Funksionet e portes me vlera te medha dhe te vogla ne hyrje .....                      | 78  |
| Figura 60 Modeli transduserit tension dhe kompensuesi i ngarkeses .....                          | 79  |
| Figura 61 Struktura e detajuar e nje sistemi eksitimi .....                                      | 80  |
| Figura 62 Modeli i eksituesit TIPI DC1A.....                                                     | 80  |
| Figura 63 Modeli i eksituesit TIPI AC1A .....                                                    | 81  |
| Figura 64 Modeli i eksituesit TIPI AC4A .....                                                    | 82  |
| Figura 65 Modeli i eksituesit TIPI ST1A .....                                                    | 83  |
| Figura 66 Tipi i nje limituesi te neneksitimit .....                                             | 84  |
| Figura 67 Modeli i limituesit V/Hz.....                                                          | 85  |
| Figura 68 Modeli i limituesit te rrymes se fushes.....                                           | 86  |
| Figura 69 Skema zevendesimit per inverter ndjekes rrjeti dhe formues rrjeti .....                | 88  |
| Figura 70 Topologjia e nje konverteri GFL me kontroll PQ.....                                    | 89  |
| Figura 71 Topologjia e nje konverteri GFM me kontrollin VSG.....                                 | 90  |
| Figura 72 Skema e Shkarkimit Automatik të Frekuencës(SHAF) sipas ENTSO-E .....                   | 94  |
| Figura 73 Nivelet e kontrollit automatik të gjenerimit.....                                      | 101 |
| Figura 74 Shkycja e ngarkesës në dy etapa për të mbrojtur kundër kolapsit të frekuencës. ....    | 104 |
| Figura 75 Shkycja e ngarkesës në dy etapa për të mbrojtur kundër kolapsit të frekuencës .....    | 104 |
| Figura 76 Ndikimi i kohëve të ndryshme të reagimit në lidhje me kontrollin e mbifrekuencës ..... | 108 |
| Figura 77 Limitet e sigurise se transmetimit dhe kufizime të ndryshme .....                      | 110 |
| Figura 78 Një nyje me fuqi infinit furnizon një ngarkesë nëpërmjet një linje transmetimi.....    | 111 |
| Figura 79 Karakteristikat e transmetimit të fuqisë aktive dhe reaktive.....                      | 111 |
| Figura 80 Kushte ideale në nyjen ngarkesë.....                                                   | 113 |
| Figura 81 Qëndrueshmëria statike e tensionit dhe kufijtë a) Kurba P-V; b) Kurba V-P .....        | 114 |
| Figura 82 Qëndrueshmëria statike e tensionit në pikën e operimit .....                           | 114 |
| Figura 83 Marrëdhënia V-P e ndikuar nga faktori i fuqisë në skajin marrës .....                  | 116 |
| Figura 84 Qarku elektrik për linjat e gjata .....                                                | 117 |
| Figura 85 Kurba Q-V e sistemit për ngarkesë 3 p.u. dhe faktor fuqie 0.9.....                     | 118 |
| Figura 86 Impakti i rritjes së ngarkesës në kurbën Q-V dhe në qëndrueshmërinë e tensionit .....  | 119 |
| Figura 87 Siguria afatgjatë e tensionit dhe veprimet korrigjuese .....                           | 120 |
| Figura 88 Ilustrimi grafik i ndërprerjeve të planifikuara në Evropën Juglindore .....            | 125 |
| Figura 89 Çmimet e energjisë elektrike në tregjet e ditës në avans (D-1) për secilin treg.....   | 126 |
| Figura 90 Flukset Fizike në linjën 400kV Zemblak-Kardia vitet 2022-2024 .....                    | 127 |
| Figura 91 Flukset Fizike në linjën 220kV Koplik-Podgorica1 vitet 2022-2024.....                  | 127 |
| Figura 92 Flukset Fizike në linjën 400kV Tirana2-Podgorica2 vitet 2022-2024.....                 | 128 |
| Figura 93 Flukset maksimale ditore në të dy drejtimet në kufirin Greqi-Shqipëri.....             | 128 |
| Figura 94 Grafiku i ngarkesës për datën 21, javën 25 (17.06 - 21.06) dhe datën 14.....           | 129 |
| Figura 95 Struktura e gjenerimit për vendet e prekura.....                                       | 130 |
| Figura 96 Flukset e skeduluara për datën 21 Qershor 2024, ora 13:00[51] .....                    | 131 |
| Figura 97 Flukset e skeduluara, fizike dhe diferenca për datën 21 Qershor 2024, ora 13:00 .....  | 132 |
| Figura 98 Harta me ndërprerjet e planifikuara dhe rradhën e incidentit .....                     | 134 |
| Figura 99 Sekuenca e incidentit në raport me stakimet e linjave .....                            | 135 |
| Figura 100 Humbja e ngarkesës për zonën e prekur dhe jashtë zonës së prekur. ....                | 136 |
| Figura 101 Humbja e gjenerimit për zonën e prekur .....                                          | 136 |
| Figura 102 flukset e fuqise ne linjat 400kV per eventet ID1 dhe ID2.....                         | 137 |
| Figura 103 Ngarkimi në raport me limitin termik Linja 400kV Zemblak-Kardia .....                 | 137 |
| Figura 104 Flukset aktive të linjave (në njesi relative) në rrjetin OST .....                    | 138 |
| Figura 105 Ndryshimi i flukseve reaktive (në pu) në rrjetin OST.....                             | 138 |
| Figura 106 Tensioni në nyjet 400 kV në rrjetin e OST .....                                       | 139 |
| Figura 107 Tensionet në nënstacionet 220kV të Kaskadës së Drinit.....                            | 139 |
| Figura 108 Tensionet në nyjet 220 kV në rrjetin e OST .....                                      | 140 |
| Figura 109 Kurba QV për zbarat 400kV në Tirana2 .....                                            | 140 |
| Figura 110 Kurba QV për zbarat 400kV në Zemblak.....                                             | 141 |
| Figura 111 Kurba QV për zbarat 400kV në Podgorica 2(Mal i Zi) .....                              | 141 |
| Figura 112 Kurba QV për zbarat 400kV në Trebinje (Bosnje dhe Hercegovinë) .....                  | 142 |
| Figura 113 Kurba QV për zbarat 400kV në Konjsko (Kroaci).....                                    | 142 |
| Figura 114 Këndet e tensionit të shprehura në lidhje me Soazza (CH).....                         | 143 |
| Figura 115 Frekuenca në disa nyje te Sistemit Elektroenergjetik Evropian .....                   | 143 |
| Figura 116 Veprimet hap pas hapi gjatë procesit të rivendosjes në rrjetin e OST-së .....         | 144 |

---

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 117 Rivendosja e prodhimit në secilin nga rrjetat e transmetimit .....                      | 145 |
| Figura 118 Rivendosja e Ngarkesës në secilin nga rrjetat e transmetimit .....                      | 145 |
| Figura 119 Skema 400kV e rrjetit të OST dhe disa nyje 400kV të rajonit .....                       | 149 |
| Figura 120 Tensioni në zbarat 400kV Tirana2 simulim vs matje .....                                 | 151 |
| Figura 121 Tensioni në zbarat 400kV Zemblak simulim vs matje .....                                 | 152 |
| Figura 122 Tensioni në zbarat 400kV Elbasan2 simulim vs matje .....                                | 152 |
| Figura 123 Flukset e Fuqisë në linjat e interkoneksionit sipas simulimit në PSS/E .....            | 153 |
| Figura 124 Përgjigjia e rregullatoreve të tensionit në gjeneratorët HEC Fierze dhe HEC Koman ..... | 153 |
| Figura 125 Përgjigjia inverterit të PV Blue1 krahasuar me tensionin në Tirana2 400kV .....         | 154 |
| Figura 126 Flukset e fuqisë aktive në linjat e interkoneksionit .....                              | 155 |
| Figura 127 Tensionet në një 400kV për stakimin e linjes 400kV Zemblak-Kardia .....                 | 156 |
| Figura 128 Tensioni në nyjet 220kV të sistemit Shqiptar .....                                      | 156 |
| Figura 129 Tensioni dhe Fuqia Reaktive në impiantet fotovoltaike .....                             | 157 |
| Figura 130 Flukset në linjat e interkoneksionit(MONITA stakuar).....                               | 158 |
| Figura 131 Tensionet në nyjet 400kV(Monita Stakuar).....                                           | 159 |
| Figura 132 Tensionet në nyjet 220kV(Monita Stakuar).....                                           | 159 |
| Figura 133 Tensioni dhe fuqia reaktive në impiantet fotovoltaike(Monita Stakuar).....              | 160 |
| Figura 134 Flukset në linjat e interkoneksionit(MONITA stakuar).....                               | 161 |
| Figura 135 Tensionet në nyjet 400kV(Monita Stakuar).....                                           | 161 |
| Figura 136 Tensionet në nyjet 220kV(Monita Stakuar).....                                           | 162 |
| Figura 137 Tensioni vs Fuqia Reaktive (FV) .....                                                   | 162 |
| Figura 138 Flukset e fuqisë në interkoneksion(Monita jashtë punë).....                             | 163 |
| Figura 139 Tensionet në nyjet 400kV (Monita jashtë punë).....                                      | 164 |
| Figura 140 Flukset e Fuqisë aktive në interkoneksion .....                                         | 165 |
| Figura 141 Tensionet në nyjet 400kV (vetëm BRE në SEE) .....                                       | 165 |
| Figura 142 Tensionet në nyjet 400kV .....                                                          | 166 |
| Figura 143 Tensionet në nyjet 220kV .....                                                          | 167 |
| Figura 144 Flukset e Fuqisë aktive në interkoneksion .....                                         | 168 |
| Figura 145 Tensionet në nyjet 400kV .....                                                          | 168 |
| Figura 146 Tensionet në nyjet 220kV .....                                                          | 169 |

---

---

## LISTA E TABELAVE

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 Lista e nënstacioneve në sistemin e transmetimit .....                                     | 11  |
| Tabela 2 Linjat e interkoneksionit në sistemin e transmetimit(burimi OST sh.a.).....                | 12  |
| Tabela 3 Fuqia e instaluar ne sistemin e transmetimit.....                                          | 13  |
| Tabela 4 Aplikimet deri në vitin 2024 për lidhje në rrjetin e transmetimit (Burimi OST sh.a.) ..... | 15  |
| Tabela 5 Projektet e OST sh.a. sipas rajoneve (Burimi OST sh.a. Raporte) .....                      | 19  |
| Tabela 6 Kapacitetet e reja Transformuese në Sistemin e Transmetimit (Burimi OST sh.a.) .....       | 19  |
| Tabela 7 Kapacitet e linjave sipas niveleve të tensionit (Burimi: Raporte OST sh.a.) .....          | 19  |
| Tabela 8 Shprehjet klasike dhe shprehjet e sakta për Gjeneratorin Sinkron.....                      | 29  |
| Tabela 9 Parametra tipike per njesi hidro dhe termo.....                                            | 30  |
| Tabela 10 Vlerat tipike të parametrave të transformatorit në vlerësimet e njësive pu .....          | 33  |
| Tabela 11 Parametrat kryesore të linjës elektrike 3 fazore .....                                    | 34  |
| Tabela 12 Vlerat tipike të maturuara të koeficienteve “a” .....                                     | 46  |
| Tabela 13 Veprimet tipike në rast të gjendjes së nënfrekuencës.....                                 | 102 |
| Tabela 14 Veprime tipike në rast të gjendjes së mbifrekuencës.....                                  | 103 |
| Tabela 15 Lista e rënieve më të rëndësishme në sistemet elektroenergjetike .....                    | 122 |
| Tabela 16 Lista elementeve te stakuar e koordinuar .....                                            | 124 |
| Tabela 17 Sekuenca e avarisë faktike dt 21 Qershor 2024.....                                        | 133 |
| Tabela 18 Përmbledhja e skenareve të analizuar në softin PSS/E .....                                | 171 |

# KAPITULLI I

## 1. Hyrje

Sistemi Elektroenergjetik Shqiptar i ka fillesat e tij në vitin 1951. Gjatë viteve ka evoluar në aspekte të ndryshme të tilla si organizimi, pajisjet e fuqisë të përdorura ose konceptet e zhvillimit dhe operimit të tij. Para viteve 1990, Sistemi elektroenergjetik Shqiptar, ngjashmërisht me sistemet elektroenergjetike të vendeve të tjera të Ballkanit, ishte në operim dhe mirëmbajtje/zhvillim të Drejtoria e Përgjithshme e Energjitikës (DPE), dhe Drejtoria e Shfrytëzimit të Sistemit Energjetik (DSHSE). Para viteve 1990, pjesa më e madhe e ngarkesës i përkiste konsumit industrial, ndërkohë konsumi familjar ishte mjaft i vogël. Rrjedhimisht profili ngarkesës ishte shumë ndryshe nga ngarkesa që shihet sot në Sistemin Elektroenergjetik (SEE). Nga ana tjetër zhvillimi i sistemit ishte i orientuar në drejtim të sigurisë së lartë për konsumatorët industrialë. Kryesisht raporti konsum dhe prodhim i energjisë elektrike, ishte pozitiv, çka do të thotë se kishte në mënyrë të vazhdueshme teprica të energjisë elektrike. Teprricat e prodhimit të energjisë elektrike alokoheshin në eksport nëpërmjet linjave të interkoneksionit të cilat ishin të pakta në numër si dhe me kapacitet transmetues të kufizuar.

Pas viteve 1990, si rrjedhojë e zhvillimit intensiv të konsumatorit familjar dhe zhvillimit ekonomik të vendit, ngarkesa/konsumi në sistemin Elektroenergjetik Shqiptar, vijoi me rritje të konsiderueshme. Ndryshimet social-politike dhe zhvillimi ekonomik në konsumin familjar, sollën rritje të konsumit familjar dhe relativisht një regres të konsumit industrial. Prodhimi energjisë elektrike ishte i pa mjaftueshëm për të mbuluar konsumin në SEE. Në Sistemin Shqiptar filluan të shfaqen problemet e para të mjaftueshmërisë në raportin prodhim/konsum.

Në Figura 1, paraqitet struktura e sotshme konceptualisht e Sistemit Elektroenergjetik Shqiptar. Siç mund të vihet re, në përputhje me Ligjin 43/2015 "Për Sektorin e Energjisë Elektrike"[1], sistemi transmetimit formohet nga nivelet e tensionit 400kV, 220kV dhe 110kV.

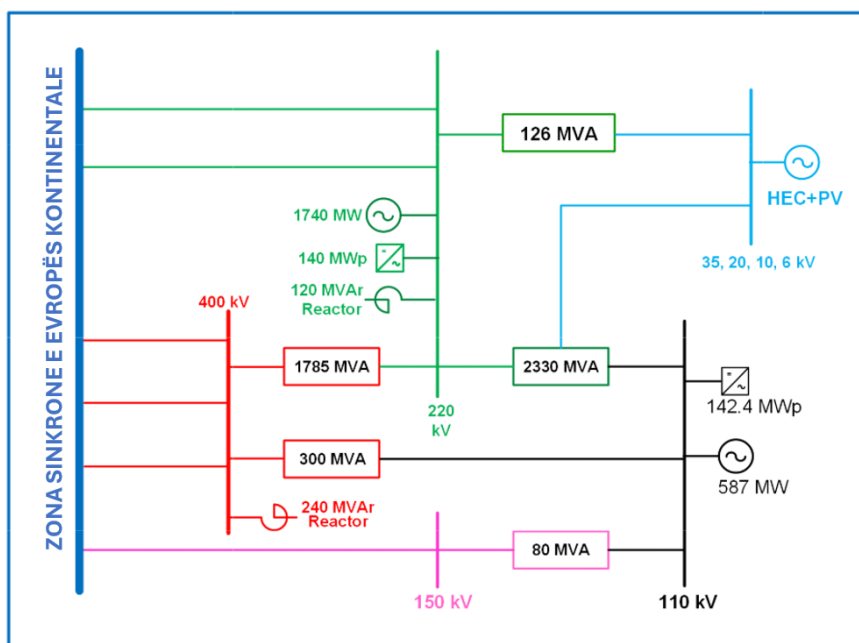


Figura 1 Skema konceptuale e Sistemit Elektroenergjetik Shqiptar viti 2024 (burimi: Arkiva OST sh.a.)

Sistemi Transmetimit përbëhet nga element me nivele tensioni 400kV, 220kV dhe 110kV. Linjat e interkoneksionit me vendet fqinje janë 6, 3 linja 400kV, 2 linja 220kV dhe 1 linjë 150kV. Në tërësinë e tij Sistemi Transmetimit Shqiptar ka një profil gjatësor, ku në veri janë të lidhur njesitë gjeneruese me fuqi më të madhe në sistem (Kaskada e Drinit dhe burime të reja hidrogjeneruese). Qendrat më të mëdha të ngarkeses janë në zonën e Shqipërisë së mesme dhe në jug të vendit. Interkonektorët kryesisht janë zhvilluar që të lidhen pranë qendrave të ngarkesës në Tiranë dhe Elbasan, për të furnizuar direkt ngarkesën në rastet e importit të lartë të energjisë elektrike. Profili gjatësor rrejdhimisht sjell dhe një profil gjatësor të niveleve të tensionit në sistem, ku nyjet në veri operohen në tensione më të larta për të mbajtur nivele tensioni nominale në qendër dhe në jug të SEE(Sistemi Elektroenergjetik).

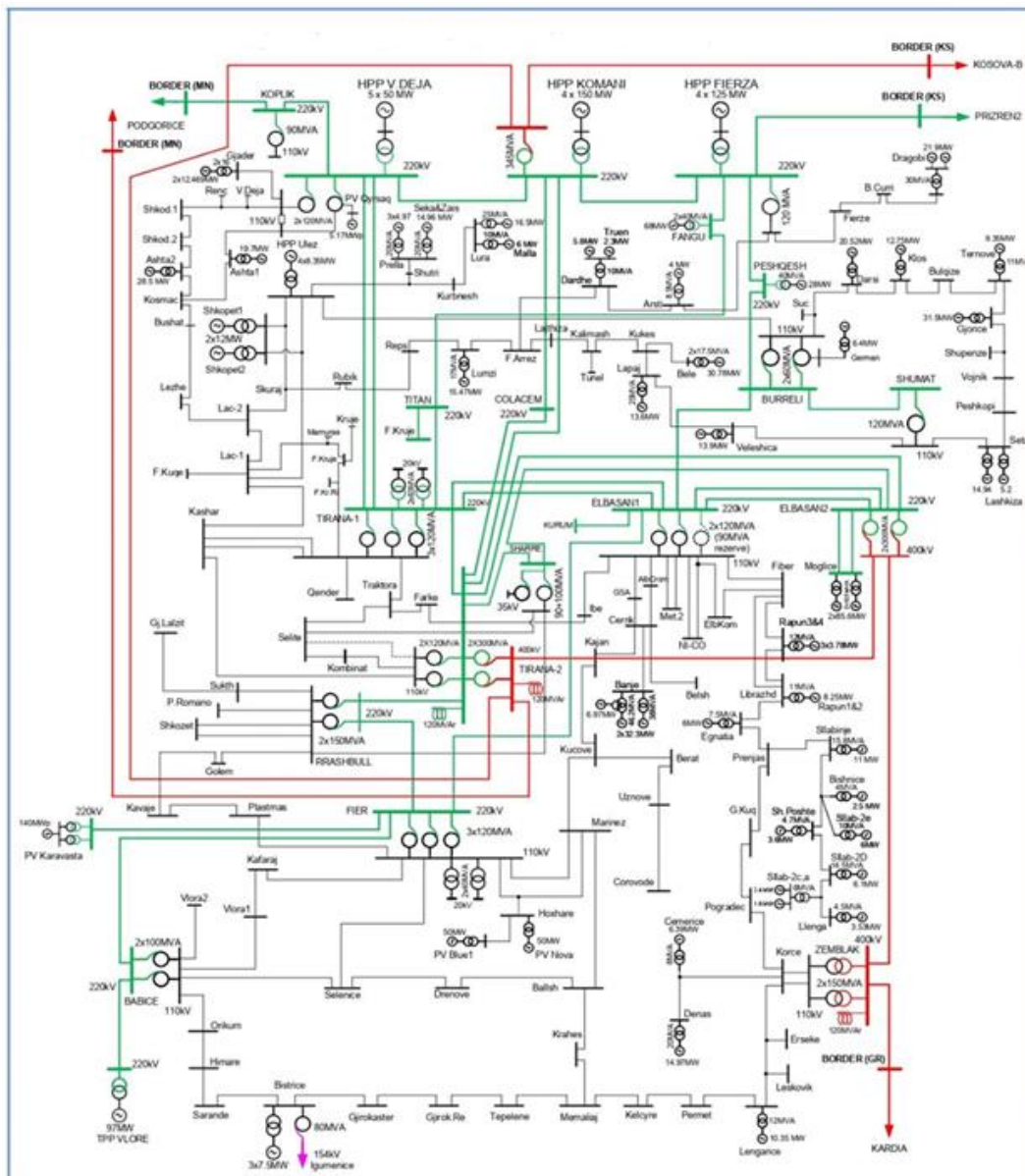


Figura 2 Skema Sistemit të Transmetimit OST sh.a.(Burimi OST sh.a.)

Kapaciteti i instaluar për prodhim të energjisë elektrike ka pësuar rritje progresive nga viti në vit. Figura 3 paraqet ndryshimin e kapacitetit të instaluar në Sistemin e Transmetimit nga viti 2010 deri më vitin 2024, ku fuqia e instaluar është 2.64GW [2], [3], [4], [5], [6], [7].

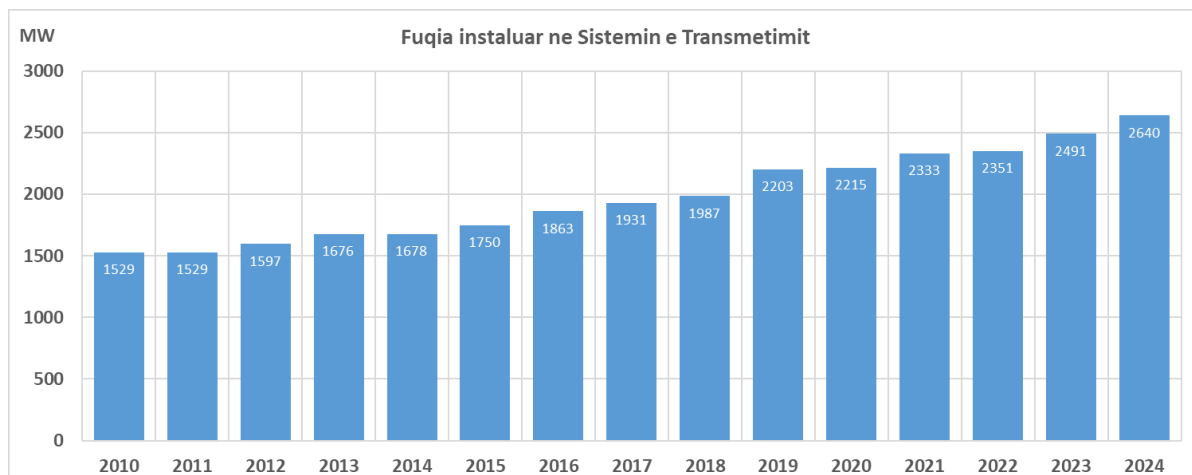


Figura 3 Zhvillimi fuqisë së instaluar në Sistemin e Transmetimit (Burimi: Arkive të dhena OST sh.a.)

Kapaciteti instaluar i ndarë sipas tipit të lëndës së parë paraqitet në Figura 4. Në figurë vihet re se pjesën më madhe zënë burimet hidrike, ndërkohë në vitet e fundit ka një rritje të fuqisë së instaluar në burime të tipit fotovoltaik, kryesisht të lokalizuara në jug të vendit ku kushtet e rrezatimit diellor janë më të favorshme.

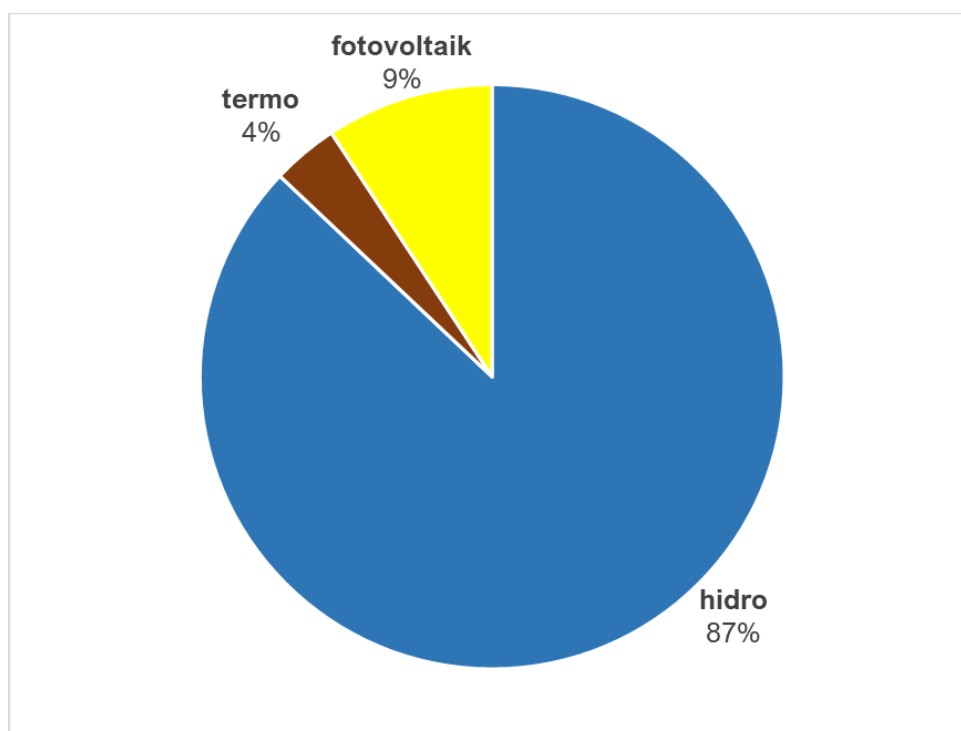
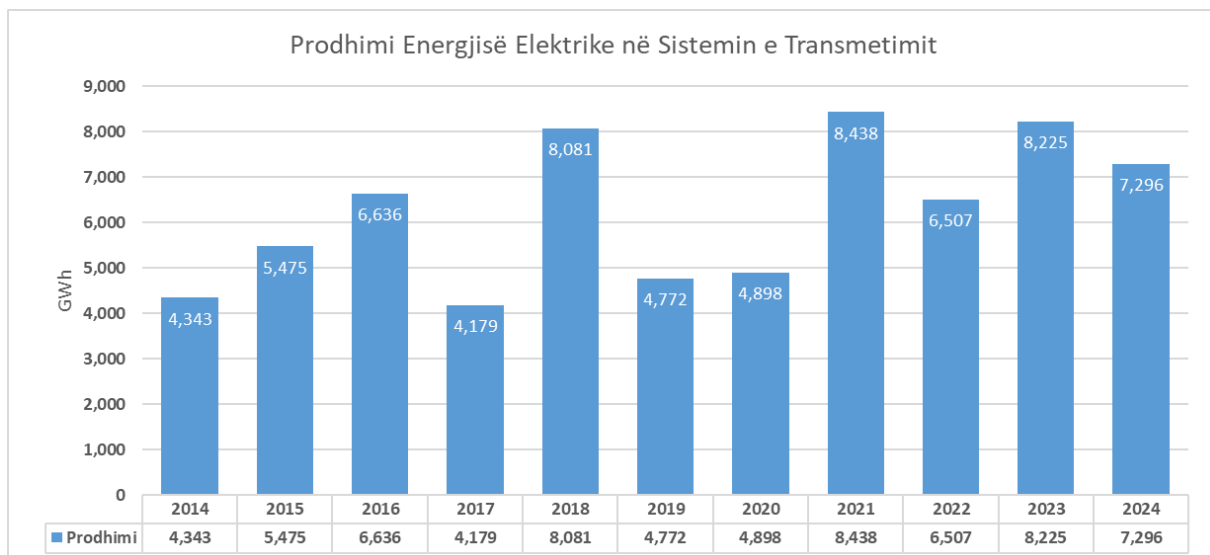


Figura 4 Kapaciteti instaluar i njësive gjeneruese sipas lëndës së parë (burimi OST sh.a.)

Grafiku i mëposhtëm paraqet prodhimin vendas injektuar në Sistemin e Transmetimit në 10 vitet e fundit. Duhet të kemi në konsideratë se prodhimi energjisë elektrike është nga burime hidrike dhe impiante fotovoltaike si rrjedhojë është i lidhur ngushtë me kushtet meteorologjike të vendit tonë.

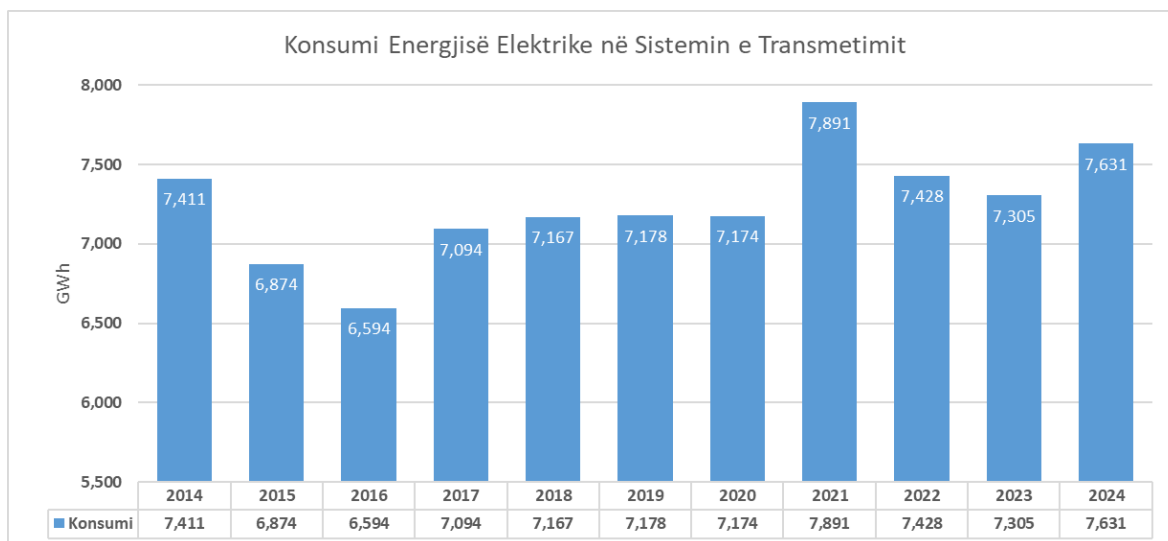


*Figura 5 Prodhimi Energjisë Elektrike në Sistemin e Transmetimit*

Duke qënë se në masën më të madhe burimet e prodhimit të energjisë elektrike janë hidrike, atëherë prodhimi energjisë elektrike në Sistemin Elektroenergjetik Shqiptar do të varet nga kushtet hidro meteorologjike. Ky fenomen mund të vihet re nga variacioni në prodhimin e energjisë elektrike ndër vite në Figura 5. Me gjithë rritjen e vazhduar të kapacitetit të instaluar, edhe gjatë viteve të fundit, dukshëm konstatohet se peshën kryesore të prodhimit të energjisë në vend vijnë ta mbajnë HEC-et e kaskadës së lumit Drin, të cilat mbulojnë 60% të prodhimit të energjisë elektrike në vend.

### Konsumi

Konsumi total i energjisë në rrjetin e transmetimit kryesisht luhetet në vlerën 7TWh deri në 7.8TWh. Në 10 vjeçarin e fundit, konsumi më i lartë është arritur në vitin 2021, ku pas Pandemisë së Covid-19, të gjithë ekonomitë në vende të ndryshme të botes, patën një rritje e cila u reflektua dhe në rritje të konsumit të energjisë elektrike. Në vite normale rritja e konsumit të energjisë elektrike nuk është më e lartë se 1% progresive.



*Figura 6 Konsumi Energjisë Elektrike në Sistemin e Transmetimit (burimi: Arkivë të dhëna OST)*

## Shkëmbimi i energjisë elektrike

Shkëmbimi i energjisë elektrike nëpërmjet linjave të interkoneksionit lidhet ngushtë me prodhimin e energjisë elektrike e cila nga ana tjetër lidhet me kushtet hidro-meteorologjike. Figura 7, tregon pamjaftueshmërinë e sistemit të transmetimit Shqiptar në vitet me prodhim të ulët të energjisë elektrike dhe me vlera të larta të importit nga rrjeti Sinkron Evropian i Transmetimit. Gjithsesi rritja e fuqisë së instaluar në vitet e fundit ka treguar një rënie të varësisë nga importet e energjisë elektrike. Importi në 4 vitet e fundit nuk e tejkalon vlerën 1 TWh [6], [7].

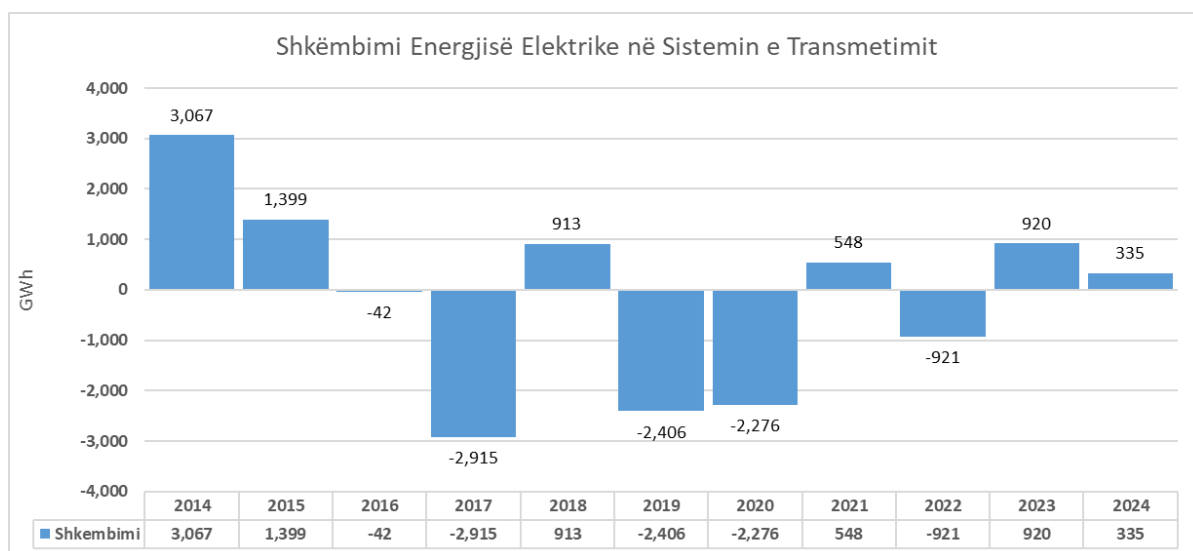


Figura 7 Shkëmbimi energjisë elektrike në linjat e interkoneksioni (burimi: OST sh.a)

Në vitet e fundit si pasojë e zhvillimit të burimeve të rinovueshme vihet re një ndryshim i konsiderueshëm në shpërndarjen e flukseve fizike të energjisë elektrike në rrjetin e transmetimit të rajonit në Evropën Juglindore.

Kryesisht në të kaluarën, flukset e energjisë në rrjetin 400kV Shqiptar ishin të balancuar, diktuar dhe nga balanca e vendeve të tjera në rajon. Ndërkohë në vitet e fundit në sistemin e Greqisë ka një rritje të konsiderueshme të burimeve të rinovueshme, e cila shkakton që pjesa më e madhe e flukseve të kalojë tranzit në sistemin e OST dhe të orientohet në veri (pjesa më e madhe në drejtim të Shqipërisë), dhe më pas në kabllin DC MONITA (Mal i Zi-Itali) ku është dhe kërkesa më e madhe ose në drejtim të Sistemit të Bosnjës. Rrjedhimisht linja magjistrale Kardia-Zemblak-Elbasan2-Tirana2-Podgorica2, krijon një korridor të energjisë elektrike, mjaft të ngarkuar me impakt rajonal. Çdo stakim i kësaj linje ose ndonjë linje tjetër në rajon ka ndikim në konfigurimin e flukseve të energjisë, duke krijuar kushte shumë të vështira në Sistemin e Transmetimit në Rajonin e Evropës Juglindore dhe veçanërisht për rrjetin e OST dhe Mal i Zi.

Në pikëpamjen sasiore, në linjën 400kV, Greqi-Shqipëri, vlerat maksimale të regjistruara në linjë janë evidentuar:

- Viti 2023: 448MW drejtimi GR->AL(33% kundrejt limitit)
- Viti 2024: 650MW drejtimi GR->AL(48% kundrejt limitit)
- Viti 2025: 840MW drejtimit GR->AL(66% kundrejt limitit)

Trendi rritës ndër vite përbën një faktor shqetësues, pasi cdo rritje e mëtejshme do të sjellë daljen e shpeshtë jashtë pune të linjes 400kV Zemblak-Kardia, duke ulur sigurinë e SEE.

---

## 1.1 Qëllimi dhe objektivat

Qëllimi kryesor i këtij dizertacioni është vlerësimi i sigurisë së punës së Sistemit tonë Elektroenergjetik, duke synuar të paraqesë rrugëzgjdhje konkrete të problemeve të caktuara, të shfaqur në kushtet e rritjes së penetrimit të burimeve të rinovueshme, me fokus adaptimin e sistemit elektroenergjetik në një sistem më të qëndrueshëm, më pak të varur nga importi i energjisë, i mbështetur në një diversitet të burimeve të energjisë, në vecanti burimet energjetike të pastra dhe rritjen e kapaciteteve të transmetimit të energjisë.

Përzgjedhja e temës “Analiza dhe përcaktimi i strategjive për procesin e rivendosjes së sistemit elektroenergjetik në kushtet e tregut të liberalizuar dhe penetrimit të burimeve të rinovueshme të energjisë elektrike”, është në funksion të sfidave me të cilat përballen sot sistemet elektroenergjetike në Europë dhe sigurisht edhe në vendin tonë, në kushtet e tranzicionit energjetik, penetrimit masiv të burimeve të rinovueshme[8], ndryshimeve klimatike, etj. Tema ka një rëndësi të madhe në kushtet e tregjeve të hapura të energjisë elektrike dhe në detyrimet që duhet të përmbushim në raport me kuadrin rregullator ekzistues si dhe standartet dhe guidën e operimit të sistemit elektroenergjetik shqiptar anëtare me të drejta të plota pranë ENTSO-E.

Synimi kryesor i temës është përcaktimi i aftësive që duhet të kenë impiantet gjeneruese për të punuar në regjimet pas avari për rivendosjen e shpejtë të Sistemit Elektroenergjetik dhe identifikimi i masave dhe investimeve në sisteme automatike inteligjente të cilat mundësojnë procedurat e rivendosjes së gjendjes SEE.

Në shoqërinë e sotme ndërprerja e furnizimit të energjisë elektrike ka impakt të gjerë në jetën ekonomike. Prandaj qëndrueshmëria në Sistemin Elektronergjetik ka një fokus të veçantë për Operatorët e Transmetimit të energjisë elektrike. Implementimi i rregullave të reja të tregut, planet për krijimin e bursës së energjisë elektrike, rritja e prodhimit të energjisë elektrike nga burimet e rinovueshme, të cilat janë shumë të vështirë për t’u menaxhuar, si dhe zgjerimi gjeografik i ndërlidhjes(interkoneksionet) Europiane duke lidhur vende të reja kanë paraqitur (dhe vazhdojnë të paraqesin) sfida të reja për Operatorët e Sistemit të Transmetimit.

Funksionimi i sistemeve elektroenergjetike në sinkron me sistemin European mundëson një nivel të lartë të sigurisë dhe besueshmërisë së furnizimit me energji të konsumatorëve në mënyrë efikase. Karakteristika kryesore e ndërlidhjeve elektrike të mëdha, qëndron pikërisht në nivelin e lartë të sigurisë në funksionimin e sistemeve elektrike individuale për shkak të ndihmës së sistemeve fqinje të energjisë të lidhura me linja interkonektive. Pavarësisht qëndrueshmërisë së lartë që kanë sistemet e ndërlidhura, disavantazhi kryesor që kanë është impakti i fenomeneve elektrike në mënyrë të ndërsjelltë ndërsistëmore. Siguria e lartë e Sistemit Elektronergjetik European (Zona Sinkrone Europiane), mund të çënohet nga një ngacmim/et në një nga sistemet që e përbëjnë atë, rrjedhimisht mund të lindin procese kalimtare/dinamike të cilat sjellin ndërprerje të furnizimit me energji elektrike të konsumatorëve.

### Objektivat dhe rezultatet kryesore të arritura

Objektivi kryesor i punimit është trajtimi i sfidave teknike, në lidhje me menaxhimin eficient të sistemeve moderne elektroenergjetike në tregun e hapur të energjisë.

Në këtë kuadër është analizuar performanca e sistemit të transmetimit, duke marrë parasysh strategjitë mbështetëse, nxitjen dhe promovimin e investimeve për përdorimin e burimeve të rinovueshme të energjisë, me qëllim rritjen e sigurisë së furnizimit dhe mbrojtjen e mjedisit, përcaktimin e aftësive që duhet të kenë impiantet gjeneruese për të punuar në regjimet pas avari për rivendosjen e shpejtë të Sistemit Elektroenergjetik dhe identifikimi i masave dhe

---

investimeve në sisteme automatike inteligjente të cilat mundesojne procedurat e rivendosjes së gjendjes SEE.

**Objekti kryesor më pas është zbërthyer në objektiva të tjerë si më poshtë:**

1. Ndërtimi i një modeli statik dhe dinamik për sistemin Shqiptar ku për herë të parë do të integrohet në modelin statik dhe dinamik të Europës Kontinentale. Nëpërmjet punës në softet llogaritëse është krijuar një bazë me të dhëna për modelimin e SEE Shqiptar. Gjithashtu në model janë aplikuar teknologji të ndryshme të burimeve të rinovueshme si me erë dhe diell.
2. Analiza, kërkimi studimi dhe ballafaqimi i strategjive të rivendosjes së Sistemit Elektroenergjetik. Qëllimi kryesor është përcaktimi i strategjive dhe kriterëve që aplikohen nga Operatori i Sistemit të Transmetimit në procesin e rivendosjes së sistemit elektroenergjetik pas regjimeve avari shoqëruar me rënie të SEE.
3. Përcaktimin e aftësive që duhet të kenë impiantet gjeneruese për të punuar në regjimet pas avari për rivendosjen e shpejtë të Sistemit Elektroenergjetik. Propozimi i masave ose investimeve në sisteme automatike të cilat ndihmojnë procedurat e rivendosjes së SEE.
4. Rekomandime në lidhje me shkallën e ndërhyrjes në Sistemin Elektroenergjetik në funksion të identifikimit të masave dhe investimeve në sisteme automatike inteligjente të cilat mundësojnë procedurat e rivendosjes së gjendjes SEE.

**Pritshmëritë:**

- ✓ Përcaktimin e strategjive dhe kriterëve që duhet të aplikojë Operatori i Sistemit të Transmetimit në procesin e rivendosjes së sistemit elektroenergjetik pas regjimeve avari shoqëruar me rënie të SEE.
- ✓ Përcaktimin e aftësive që duhet të kenë impiantet gjeneruese për të punuar në regjimet pas avari për rivendosjen e shpejtë të Sistemit Elektroenergjetik.
- ✓ Propozimin e masave ose investimeve në sisteme automatike të cilat ndihmojnë në:
  - Identifikimin e procedurat e rivendosjes së SEE.
  - Identifikimin e Projekteve që ndikojnë në rritjen e kapacitetit të transmetimit dhe në reduktimin e humbjeve të sistemit elektroenergjetik shqiptar, duke mundësuar integrimin e burimeve të reja të prodhimit dhe lehtësimin e tregtisë ndërkufitare të energjisë elektrike.
  - Propozimin e masave për rritjen e fleksibilitetit operativ dhe qëndrueshmërisë së sistemit elektroenergjetik shqiptar, duke përmirësuar kontrollin e tensionit dhe frekuencës dhe duke reduktuar rrezikun e ndërprerjeve dhe zgjerimit të dëmtimeve.
  - Propozimin e masave që ndikojnë në qëndrueshmërinë dhe sigurinë e sistemit elektroenergjetik, duke mundësuar izolimin dhe restaurimin e rajoneve të ndryshme në raste defektesh apo emergjence.

**Verifikimi dhe rekomandime në lidhje me:**

1. Skemat e Mbrojtjes së Sistemit përfshijnë së paku:
  - skemën e kontrollit automatik nga nën-frekuenca
  - skemën e kontrollit automatik nga mbi-frekuenca dhe;
  - skemën e kontrollit automatik nga kolapsi i tensionit

---

## 2. Proçedura e Planit të Mbrojtjes Sistemit, përfshin së paku:

- proçedurën e menaxhimit të devijimit të frekuencës;
- proçedurën e menaxhimit të devijimit të tensionit;
- proçedurën e menaxhimit të flukseve;
- asistence për proçedurën e fuqisë aktive;
- proçedurën e çkycjes manuale të kërkesës.

Për zhvillimin e temës, është përdorur softi llogaritës PSS/E, me anë të të cilit është simuluar procesi rivendosjes së sistemit elektroenergjetik, si dhe analiza me metoda krahasimore e incidenteve në sistemin e transmetimit dhe simulimi i tyre me softë llogaritëse për lidhje të shkurtra apo dëmtime të ndryshme.

Të gjitha objektivat e mësipërme janë realizuar dhe më poshtë jepet një përmbledhje e rezultateve të arritura:

Në studim është bërë një analizë e sektorit elektroenergjetik në Shqipëri, duke patur parasysh kapacitetet e ardhshme gjeneruese, ecurinë e parashikimit të gjenerimit deri në vitin 2033. Ky punim trajton kushtet e sigurisë së Sistemit Elektroenergjetik (SEE), duke u fokusuar në procesin e rënies së sistemit dhe procedurat e rivendosjes pas një blackout-i. Objektivi kryesor është analizimi i sfidave teknike dhe organizative që shoqërojnë ngjarjet e avarive dhe difekteve të permasave të mëdha.

Rezultatet e hulumtimit nxjerrin në pah se modernizimi i rrjetit të transmetimit, aplikimi i mjeteve bashkëkohore për identifikimin e kushteve të qëndrueshmërisë, si dhe përdorimi i pajisjeve të kompensimit të fuqisë reaktive, janë elementë kryesorë për sigurinë e SEE.

Procesi i rivendosjes është i domosdoshëm për rikthimin e funksionimit të sistemit pas një avarie. Kjo kërkon skenarë të mirëpërcaktuar dhe procedura të detajuara për operatorët e transmetimit, të cilët duhet të veprojnë në kushte të presionit të lartë kohor. Elementet kyçe përfshijnë: zgjedhjen e njësive gjeneruese me aftësi vetëleshimi (black start), krijimin e ishujve me tension dhe lidhjen graduale të tyre duke ruajtur balancën mes gjenerimit dhe ngarkesës. Njëkohësisht, kontrolli i tensionit dhe frekuencës është vendimtar për shmangien e mbingarkesave dhe luhatjeve. Simulimet e kryera me softin PSS/E tregojnë se përzgjedhja e saktë e sekuencës së energjizimit është faktor thelbësor për qëndrueshmërinë e procesit.

Nga pikëpamja organizative, procesi i rivendosjes përbën një sfidë të jashtëzakonshme. Shpesh kërkohet ndërhyrje e menjëhershme në shumë nyje të rrjetit, herë në mënyrë të njëkohshme e herë në sekuencë të përcaktuar. Përdorimi i komandimit në distancë në disa nënstacione del si një avantazh i madh për shkak të shpejtësisë së reagimit dhe shmangies së vonesave që lidhen me ndërhyrjet manuale.

---

# KAPITULLI II

## 2. Sistemi Elektroenergjetik Shqiptar

### 2.1 Kapacitetet aktuale transmetuese

Një nga sfidat kryesore të planifikimit të sistemit elektroenergjetik është sigurimi i integritetit të besueshëm dhe efikas të burimeve të rinovueshme të energjisë në rrjetin e transmetimit të energjisë. Burimet e Rinovueshme të Energjisë (BRE), të tilla si eolike, fotovoltaike, hidrike, kanë potencial për të reduktuar emetimet e gazeve serrë dhe për të diversifikuar burimet e energjisë, por ato paraqesin gjithashtu sfida teknike dhe ekonomike për shkak të ndryshueshmërisë, pasigurisë dhe karakteristikave specifike të vendndodhjes.

Prandaj, planet afatgjata të zhvillimit të energjisë duhet të marrin në konsideratë shpërndarjen optimale të kapacitetit gjenerues të BRE, zgjerimin e transmetimit dhe strategjitë e operimit për të balancuar ngarkesën me gjenerimin, për të minimizuar kostot dhe për të ruajtur sigurinë dhe qëndrueshmërinë e sistemit elektroenergjetik.

Shqipëria është një vend që mbështetet shumë në hidrocentralet për prodhimin e saj të energjisë elektrike, duke zënë rreth 90% të furnizimit të saj total me energji elektrike. Megjithatë, hidrocentralet janë të ndjeshme ndaj kushteve atmosferike dhe variacioneve sezonale, të cilat mund të shkaktojnë mungesa të energjisë elektrike dhe paqëndrueshmëri në rrjet.

Prandaj, strategjia mbi energjinë elektrike synon diversifikimin energjetik duke zhvilluar burime të tjera të energjisë së rinovueshme, si fotovoltaike, eolike, biomasa. Shqipëria është gjithashtu pjesë e Komunitetit të Energjisë, e cila është një organizatë rajonale që promovon integritetin e tregjeve të energjisë dhe zbatimin e politikave energjetike të BE-së në Evropën Juglindore. Si anëtare e Komunitetit të Energjisë, Shqipëria është angazhuar të zbatojë Paketën e Tretë të Energjisë të BE-së si dhe Paketën e katërt CEP, e cila kërkon ndarjen ligjore dhe funksionale të kompanive të energjisë, liberalizimin e tregut të energjisë elektrike dhe mbrojtjen e të drejtave të konsumatorëve.

Në Strategjinë Kombëtare të Energjisë është përcaktuar se objektivi i energjisë së rinovueshme ndaj konsumit total arrin nivelin 42% [9] në vitin 2030 dhe ulja e emetimeve të gazeve serrë kundrejt totalit arrin në 11.5% në vitin 2030;

Në bazë të ligjit 43/2015 “Për Sektorin e Energjisë Elektrike”[1] i ndryshuar theksohet se: Operatori i Sistemit të Transmetimit harton një plan dhjetëvjeçar të zhvillimit të rrjetit, në konsultim me palët e interesuara, dhe e paraqet për miratim në ERE. Më tej shprehet se plani i zhvillimit të rrjetit duhet të marrë në konsideratë:

- a) kërkesën dhe ngarkesën ekzistuese dhe atë të parashikuar;
- b) planifikimin urban dhe rajonal të zonës ku shtrihen instalimet e transmetimit;
- c) planet e investimeve për rrjetet rajonale të Komunitetit të Energjisë;
- d) legjislacionin e mbrojtjes së mjedisit.

Kompania OST, ka përjetuar veçanërisht gjatë dy viteve të fundit një intensitet të lartë të aplikimeve për lidhje të centraleve të reja gjeneruese, kryesisht nga era dhe dielli, kushtëzuar nga politikat favorizuese dhe sidomos nga pasojat e lindura nga konflikti në Ukrainë. Kjo

---

situatë ka zgjuar interesin e investitoreve vendas dhe të huaj për të aplikuar për ndërtimin e këtyre centraleve duke e bërë situatën e lidhjes me rrjetin mjaft sfiduese.

Kjo situatë verëhet edhe në sistemet e transmetimit të vendeve fqinje, duke vështirësuar së tepërmi modelimin e rrjetit në planin afatgjatë.

Në nenin 13 të ligjit 7/2017 “Për Nxitjen e Përdorimit të Energjisë nga Burimet e Rinovueshme” theksohet se Operatorët e sistemit të transmetimit dhe të shpërndarjes ndërmarrin hapat e duhur për të zhvilluar infrastrukturën e rrjetit të transmetimit dhe të shpërndarjes, rrjetet inteligjente, impiantet e depozitimit dhe sistemin e energjisë elektrike, me qëllim që të lejojnë funksionim të sigurt të sistemit të energjisë elektrike, për të përfshirë zhvillimin e mëtejshëm të prodhimit të energjisë elektrike nga burimet e rinovueshme të energjisë, përfshirë interkonjeksionin me vendet fqinje, në përputhje me Planin Kombëtar të Veprimit për Burimet e Rinovueshme të Energjisë. Gjithashtu në nenin 14 të ligjit të mësipërm[10]: ‘Kostot për lidhjen me rrjetin dhe zgjerimin e kapaciteteve’ pika 3 të ligjit 7/2017 shprehet se Operatori i rrjetit duhet të përballojë kostot e optimizimit, të përforsimit dhe të zgjerimit të sistemit të rrjetit.

Në këtë mënyrë, integrimi i burimeve të reja gjeneruese në rrjetin e transmetimit në mbështetje të politikës për diversifikimin e burimeve gjeneruese të vendit me qëllim uljen e varësisë nga importi[11], përbën tashmë faktorin kryesor të planifikimit të këtij rrjeti në dallim nga vitet e mëparshme ku dimensionimi i rrjetit kryhej në përputhje me kërkesën afatgjatë për energji elektrike nga konsumatorët me përjashtim të rajonit të Tiranës në të cilën janë planifikuar investime në kuadër të furnizimit me energji elektrike të nënstacioneve të reja dhe ekzistuese të OSHEE për të përballuar dhe shpërndarje optimale të ngarkesës në këtë rajon.

Duhet kuptuar që rrjeti i transmetimit nuk është një rrjet i izoluar por i lidhur me zonën Sinkrone Evropiane nëpërmjet linjave të interkoneksionit. Rrjedha e flukseve të fuqisë varet pa ndashmërisht dhe nga planet zhvillimore të vendeve fqinje të cilat njësojë si vendi ynë, po përjetojnë një situatë dinamike të aplikimeve për lidhje me rrjetin e tyre dhe duke vështirësuar planifikimin afatgjatë të rrjetit. Planifikimi i zhvillimit të sistemit të transmetimit është në koordinim edhe me Planin Dhjetë Vjeçar të Zhvillimit të Rrjetit Evropian ENTSO-E (TYNDP)[12], dokumente të tjera të ENTSO-E si Planet Rajonale të Investimeve, perspektivën e sistemit të transmetimit dhe Parashikimit të Mjaftueshmërisë si dhe përcaktimet e ratifikuara nga Rregullorja KE 714/2009[13]. Pra, ndërtimi i linjave të reja të interkoneksionit është një proces që nuk varet vetëm nga OST por që duhet të dalë së pari nga studimet e kryera në nivel rajonal e më gjerë evropian të cilat bazohen në modelet e rrjetit të prespektives të secilit vend për horizonte kohore të përcaktuara dhe kërkojnë dakortësinë e vendeve të përfshira për të mundësuar procesin e fillimit të ndërtimit të këtyre linjave.

Burimet e rinovueshme, si energjia diellore, eolike, hidroelektrike dhe biomasa, kanë karakteristika të ndryshme nga burimet konvencionale, variabilitetin, intermitencat, sezonalitetin dhe lokacionin. Këto karakteristika kërkojnë në raport me planifikimin dhe operim më të sofistikuar të sistemit transmetimi, duke përfshirë aspekte teknike, ekonomike, sociale dhe mjedisore[14]. Rritja e sigurisë dhe efikasitetit të rrjetit të transmetimit nuk arrihet vetëm nëpërmjet rritjes së kapaciteteve transmetuese dhe transformuese por një një rrjet veçanërisht kompleks me prani të burimeve të reja gjeneruese si dielli dhe era, gjenerimi i të cilave lidhet direkt me kushtet e motit kërkon investime të tjera shtesë në teknologjinë smart[15] të cilat rrisin fleksibilitetin dhe ruajnë qëndrueshmërinë e rrjetit të transmetimit duke mbajtur brenda nivele të kërkuar në çdo kohë parametrat kryesore si si frekuenca dhe nivelet e tensionit.

Integrimi i burimeve gjeneruese është i bazuar, po ashtu jo vetëm në ndërtimin e kapaciteteve të reja pritëse por varet dhe nga aspekte si[15]:

- Harmonizimi i akteve ligjore dhe rregullatore në përputhje me kuadrin ligjor europian
- Respektimi i Kriteve të Kodit të Transmetimit nga gjeneruesit e lidhur në rrjet
- Zhvillimin e tregut të energjisë vendas dhe më gjerë siç është Tregu i Balancimit dhe funksionimi i Bursës shqiptare të energjisë.

Në kuadër të vlerësimit të impaktit teknik në rrjet kryhet dhe studimi për lidhje i burimeve gjeneruese, i cili përveçse është një kërkesë ligjore, mbetet edhe një metodë e dobishme për të vlerësuar impaktin e integrimit të burimeve të rinovueshme në sistemin e transmetimit.

Në bazë të ligjit 43/2015 “Për Sektorin e Energjisë Elektrike”[1], i ndryshuar, OST ka në pronësi sistemin e transmetimit të energjisë elektrike, që përfshin linjat 400 kV, 220 kV dhe 110 kV, nënstationet e transformimit të energjisë elektrike me nivele të transformimit të tensionit të lartë 400 kV, 220 kV dhe zbarat 110 kV në të gjitha nënstationet 110/TM kV, deri në pikën e matjes së energjisë në anën 110 kV të transformatorëve 110/TM kV, përfshirë pajisjet kyçëse/shkyçëse të linjave 110 kV. Deri në muajin janar të vitit 2024, rrjeti OST përbëhet nga:

- 3478.5 km linja të tensionit të lartë[16],
  - 445.7 km Linja në tension 400 kV
  - 1297.4 km Linja në tension 220 kV
  - 34.4 km Linja në tension 154 kV
  - 1701 km Linja në tension 110 kV
- 4,621 MVA fuqi transformatorike të instaluar
- 2,447 MW kapacitet të instaluar gjenerimi.

Më poshtë janë listuar Nënstationet kryesore të Sistemit të Transmetimit.

|               | Nënstationi                   | Fuqia (MVA) | Njësia Operative |
|---------------|-------------------------------|-------------|------------------|
| <b>400 kV</b> | N/st 400/220kV Koman          | 345         | Shkodër          |
|               | N/st 400/220kV/110kV Tirana 2 | 840         | Tiranë           |
|               | N/st 400/220kV Elbasan 2      | 600         | Elbasan          |
|               | N/st 400/110kV Zemblak        | 300         | Korçë            |
| <b>220 kV</b> | N/st 220/110kV V.Dejës        | 240         | Shkodër          |
|               | N/st 220/110kV Fierzë         | 120         | Shkodër          |
|               | N/st 220/110kV Koplik         | 90          | Shkodër          |
|               | N/st 220/110kV Burrel         | 120         | Shkodër          |
|               | N/st 220/110/35/20kV Tirana1  | 486         | Tiranë           |
|               | N/st 220/110/35kV Sharrë      | 190         | Tiranë           |
|               | N/st 220/110kV Rrashbull      | 200         | Tiranë           |
|               | N/st 220/110/35kV Elbasan 1   | 330         | Elbasan          |
|               | N/st 220/110/35kV Fier        | 360         | Fier             |
|               | N/st 220/110kV Babicë         | 200         | Fier             |
|               | N/st 220/110/35kV Shumbat     | 120         | Shkodër          |
| <b>150 kV</b> | N/st 110/150kV Bistrica 1     | 80          | Fier             |
| <b>TOTAL</b>  |                               | 4621        |                  |

Tabela 1 Lista e nënstationeve në sistemin e transmetimit

Sistemi Shqiptar i transmetimit është i lidhur me sistemet fqinje të Kosovës, Malit të Zi dhe Greqisë. Në përbërje të linjave të mësipërme janë pjesë e sistemit të Transmetimit dhe linjat e interkonjeksionit me vendet fqinje si:

| Shteti    | Emërtimi i Linjës            | Gjatësia në AL (km) | Kapaciteti (MW) | Viti vënies në pune |
|-----------|------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| Greqi     | 400kV Zemblak-Kardia         | 19.3                | 1349.6          | 1984                |
|           | 150kV Bistrica 1 - Igumenice | 34.4                | 138.7           | 1974                |
| Kosova    | 220kV Fierzë-Prizren         | 26.3                | 325.4           | 1987                |
|           | 400kV Koman - Kosova B       | 51.5                | 1349.6          | 2016                |
| Mali i Zi | 220kV Koplik-Podgorice1      | 44.75               | 278.2           | 1972                |
|           | 400kV Tirana 2 - Podgorice2  | 125.5               | 1349.6          | 2010                |

Tabela 2 Linjat e interkonjeksionit në sistemin e transmetimit(burimi OST sh.a.)



Figura 8 Sistemi transmetimit Shqiptar sipas shtrirjes gjeografike të rrjetit (burimi OST sh.a.)

**Rrjeti 400 kV** është zhvilluar vitet e fundit, veçanërisht për interkoneksionet me vendet fqinje dhe është i integruar me rrjetin rajonal. Topologjia aktuale e sistemit 400 kV nuk është në përputhje me kriteret n-1, të cilat nuk mund të kompensohen nga sistemi 220 kV. Nga ana tjetër, linjat 400 kV mjaft të gjata dhe jo gjithmonë të ngarkuara në mënyrë adekuate shkaktojnë mbritension, i cili përhapet në sistemet më të ulëta 220 kV dhe 110 kV.

Nga pikëpamja konstruktive rrjeti 400 kV është një rrjet i fuqishëm, i përbërë nga linja relativisht të reja me përcjellës ACSR 2x490/65 mm<sup>2</sup>, me kapacitet transmetues 1350 MVA.

Në rrjetin 220 kV janë të lidhura rreth 76% e kapacitetit total gjenerues të vendit. Autotransformatorët 220/400 kV kanë një kapacitet 1,785 MVA dhe rrjeti 110 kV është i lidhur me unazat 400 kV me dy autotransformatorë 150 MVA të instaluar në pjesën juglindore të rrjetit në nënstacionin Zemblak. Transmetimi i energjisë elektrike nga burimet kryesore të prodhimit në qendrat kryesore të konsumit bëhet përmes rrjetit 220 kV dhe më tej përmes transformimit 220/110 kV (2,320 MVA).

Linjat 220 kV janë linjat kryesore lidhëse të rrjetit të brendshëm të transmetimit të ndërtuara kryesisht me përcjellës të vjetër ACO me seksione 300 mm<sup>2</sup>, 360 mm<sup>2</sup>, 400 mm<sup>2</sup>, 500 mm<sup>2</sup> me kapacitet termik që varion nga 269 MW deri në 371 MW, ndërsa janë në shfrytëzim dhe linja të ndërtuara me përcjellës ACSR 490/65 mm<sup>2</sup> me kapacitet 371 MW që përbën dhe standartin e ndërtimit të linjave për këtë nivel tensioni. OST mban plotësisht të mbyllura linjat 400 kV dhe 220 kV ose në unazë të mbyllur.

**Rrjeti 110 kV** që furnizon të gjitha nënstacionet 110 kV më parë përfaqësonte nyjet kryesore të ngarkesës ndërsa aktualisht janë të lidhura rreth 24% të kapacitetit të instaluar gjenerues. Linjat 110 kV (me përjashtim të atyre të ndërtuara vitet e fundit) janë kryesisht me seksione të përcjellsave ALÇ 120 mm<sup>2</sup> (73 MVA) dhe në çdo rast ALÇ 95 mm<sup>2</sup> (64 MVA).

Ngarkesa në këto linja ka ardhur në rritje të vazhdueshme. Rrjedhimisht, disa nga unazat 110 kV nuk mund të rezervojnë rrjetin në kohën e ngarkesës së pikut. Problematike situata paraqitet edhe në disa zona ku ka një përqendrim të hidrocentraleve të rinj të lidhur në rrjetin 110 kV. Për shkak se këto impiante shpërndarëse me përparësi janë pa rezervuar (me derivacion), në orët minimale të ngarkesës dhe kur prodhimi i tyre është maksimal, ato shfaqin nivele të larta tensioni në rrjet. Një problem madhor i shfaqur pas vitit 1990 është zënia e traseve të linjës nga ndërtimet të ndryshme, veçanërisht në hyrjet e nënstacioneve të vendosura në zonat urbane. Rrjeti 110 kV nuk funksionon me unaza të mbyllura. Kjo është për shkak të konceptit të rrjetit 110 kV shumë të mbingarkuar dhe mosplotësimit të kriterit N-1 të unazave.

Në rrjetin 110 kV janë të orientuara dhe kërkesat më të larta për lidhje nga burimet e reja gjeneruese duke e rritur më tej rëndësinë e tij dhe kthyer në prioritet ndërtimin e infrastrukturës së rrjetit 110 kV nëpërmjet ndërtimit të linjave të reja, rikonstruksionit të atyre ekzistuese si dhe rehabilitimin e anës primare të nënstacionieve 110 kV.

## 2.2 Kapacitetet aktuale të prodhimit të energjisë elektrike

Kapaciteti total i instaluar në rrjetin e transmetimit arrin në gjithsej 2640 MW nga të cilat:

- 1864 MW të lidhur në rrjetin 220 kV (70%)
- 777 MW të lidhur në rrjetin 110 kV (30%)

Pjesa më e madhe e hidrocentraleve të reja janë të tipit të rrjedhës së lumit, kapaciteti i të cilëve arrin në 490 MW. Kapaciteti mesatar i instaluar në rrjetin e transmetimit është rreth 50 MW.

| Tipi centralit | Numri     | Fuqia (MW)   | Pesha ne %  |
|----------------|-----------|--------------|-------------|
| HEC            | 46        | 2300         | 87%         |
| TEC            | 1         | 97           | 4%          |
| PV             | 2         | 245          | 9%          |
| <b>Total</b>   | <b>49</b> | <b>2,641</b> | <b>100%</b> |

Tabela 3 Fuqia e instaluar ne sistemin e transmetimit

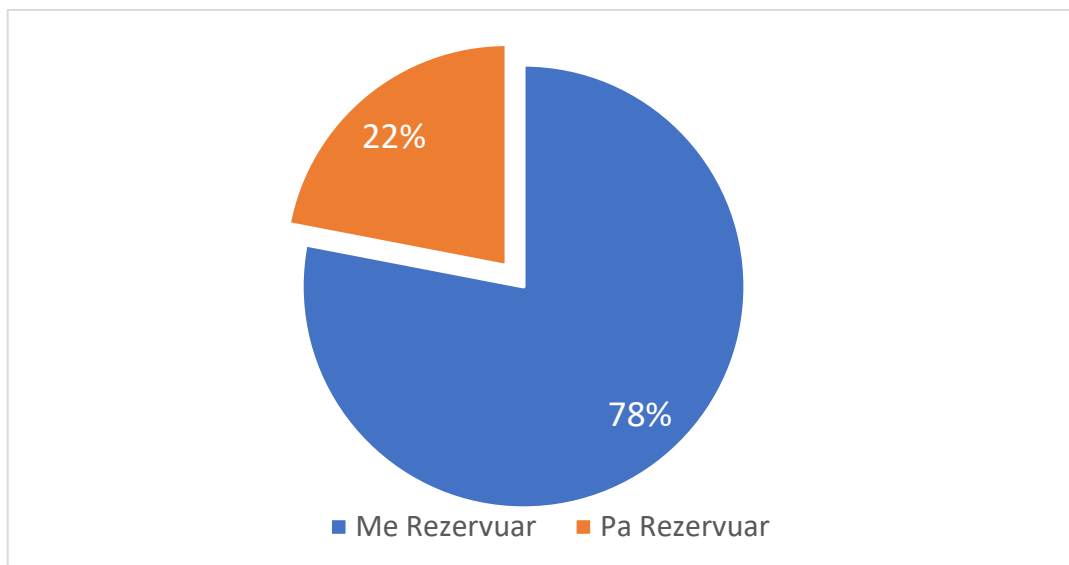


Figura 9 Ndarja e njësive hidro me rezervuar dhe me derivacion

Në Figura 9, ilustrohet raporti hidrocentraleve me derivacion dhe me rezervuar, dukshëm peshen me të madhe e zënë, hidrocentralet me rezervuar nga pikëpamja e fuqisë së instaluar. Rreth 91% e kapaciteteve të lidhura në rrjetin e transmetimit janë hidrocentrale, por duke filluar nga viti 2022, janë shtuar centrale të reja gjeneruese diellore si vijon;

- Në Maj të vitit 2022 u vendos në operim në rrjetin e transmetimit impianti i parë i prodhimit të energjisë elektrike nga panelet fotovoltaike i ndërtuar në Digën e Qyrsaqit me kapacitet 5.14 MWp (4.51 MWAC) i zhvilluar nga kompania KESH sha.
- Në dhjetor të vitit 2023 ka nisur nga operimi centrali Karavasta të zotëruar nga kompania Voltalia me një kapacitet 140 MWp (110 MW AC).
- Në Maj 2024, u vendos në punë impianti fotovoltaike Blue1, me fuqi 50MW AC, lidhur në rrjetin e transmetimit në n/st Hoxhare 220/110kV.
- Në Gusht 2024, u vendos në operim impianti fotovoltaike Nova Solar, me fuqi të instaluar 50MW AC, lidhur në rrjetin e transmetimit në n/st Hoxharë 220kV/110kV.
- Në Dhjetor 2024, u vendos në operim impianti Erseka Solar, me fuqi të instaluar 20MW AC, lidhur në rrjetin e transmetimit në n/st Ersekë 110kV.
- Anije lundruese të vendosura nga KESH sh.a. në Vlorë, me fuqi 100MW, me lëndë djegëse mazut.

### 2.3 Kapacitet e pritshme gjeneruese në rrjetin e transmetimit

Hapat e përgjithshme deri në komisionimin e impianteve të reja gjeneruese jepen si vijon:

- Aplikim për marrjen e një Opinion paraprak të lidhjes me rrjetin e transmetimit – pa afat
- Aplikim për marrjen e Ofertës së lidhjes/Miratim në Parim me rrjetin e transmetimit – me afat të vlefshëm 18 mujor nga pranimi i tij.
- Kërkesë për marrëveshje lidhje brenda 16 muajsh nga pranimi i ofertës së lidhjes duhet të nënshkruhet brenda 18 muajve nga marrja e ofertës së lidhjes/Miratimit në Parim.
- Paraqitja e projektit të zbatimit për miratim nga OST para fillimit të zbatimit të veprës.

Në rast tejkalimi të afateve kohore, procesi i aplikimit për lidhje rifillon nga e para. Nëse kushtet e rrjetit të transmetimit do të kenë ndryshuar edhe në fazën që gjeneruesi shpreh gatishmërinë për nënshkrimin e “Marrëveshjes së Lidhjes” dhe fillimin e punimeve, OST ruan të drejtën e rishikimit të mënyrës së lidhjes, e cila mund të mbetet e njëjtë apo mund të ndryshojë, duke respektuar kërkesat e Kodit të Transmetimit. Prioritarizimi i lidhjeve të reja të gjeneruesve kryhet sipas parimit “i pari që vjen – i pari shërbehet” (first come-first serve).

Për sa më sipër, ne Tabela 4, në vijim jepen aplikimet për lidhje me rrjetin e transmetimit nga gjeneruesit me status ende të vlefshëm të grupuara sipas llojit të centralit (HEC, TEC, eolik, solar).

| <b>Lloji i Centralit</b> | <b>Përmbledhje e Kërkesave</b> | <b>Nr.Aplikimeve /Centraleve</b> | <b>Fuqia (MW)</b> | <b>Pesha% ndaj totalit</b> |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------|
| <b>HEC</b>               | Opinion Paraprak               |                                  |                   | 0%                         |
|                          | Miratim ne Parim               | 4                                | 28.3              | 1%                         |
|                          | Marreveshje Lidhje             | 6                                | 109               | 22%                        |
| <b>TEC</b>               | Opinion Paraprak               | 1                                | 180               | 2%                         |
|                          | Miratim ne Parim               | 1                                | 130               | 6%                         |
|                          | Marreveshje Lidhje             | 1                                | 130               | 26%                        |
| <b>Solar</b>             | Opinion Paraprak               | 99                               | 5207              | 60%                        |
|                          | Miratim ne Parim               | 27                               | 1276              | 61%                        |
|                          | Marreveshje Lidhje             | 3                                | 255               | 52%                        |
| <b>Eolik</b>             | Opinion Paraprak               | 29                               | 3362              | 38%                        |
|                          | Miratim ne Parim               | 14                               | 673               | 32%                        |
|                          | Marreveshje Lidhje             |                                  |                   | 0%                         |
| <b>TOTAL</b>             | <b>Opinion Paraprak</b>        | <b>129</b>                       | <b>8749</b>       | <b>77%</b>                 |
|                          | <b>Miratim ne Parim</b>        | <b>46</b>                        | <b>2107</b>       | <b>19%</b>                 |
|                          | <b>Marreveshje Lidhje</b>      | <b>10</b>                        | <b>494</b>        | <b>4%</b>                  |

*Tabela 4 Aplikimet deri në vitin 2024 për lidhje në rrjetin e transmetimit (Burimi OST sh.a.)*

Siç shihet nga tabela e mësipërme aplikimet më të mëdha mbizotërohen nga gjeneruesit e burimeve të rinovueshme nga dielli dhe era, të cilat po të marrim në konsideratë vetëm aplikimet që kanë siguruar miratimin në parim dhe kanë lidhur marrëveshjen e lidhjes arrin në 2204 MW sa rreth 90% e kapacitetit aktual total gjenerues i instaluar në rrjetin e transmetimit prej 2441 MW. Kapaciteti mesatar i centrale gjeneruese që kanë aplikuar për lidhje arrin në 49 MW.

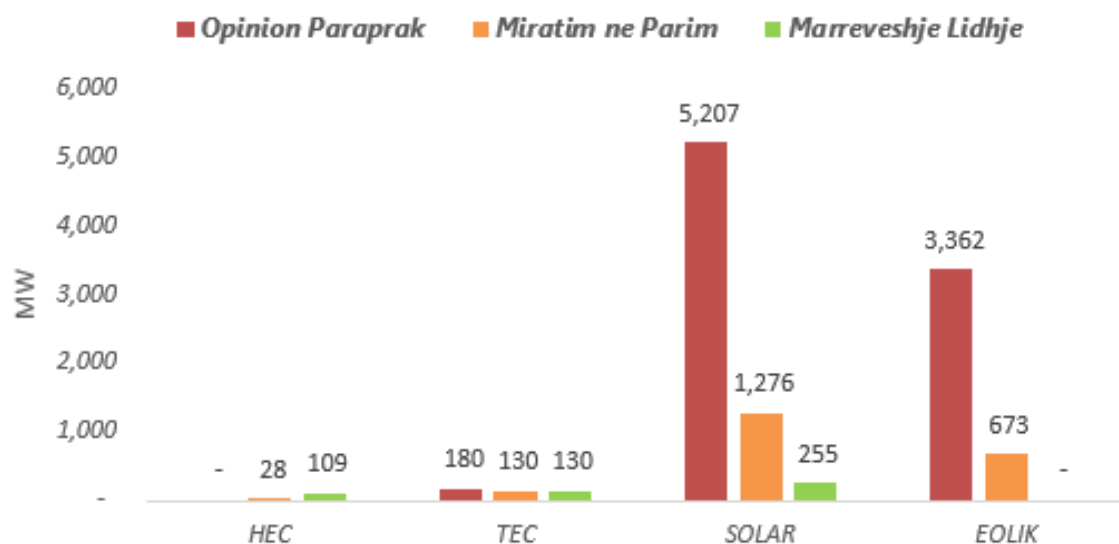


Figura 10 Statusi Aplikimeve për burime gjeneruese në Transmetim(burimi OST sh.a.)

## HEC-e



Figura 11 Burimet hidrogjeneruese të KESH sh.a. në kaskadën e Drinit(Burimi OST sh.a.)

Shqipëria është një nga vendet më premtuese dhe tërheqëse në rajon për investime në HEC-e. Aktualisht në Shqipëri ka shumë projekte dhe investitorë të përfshirë në zhvillimin e HEC-eve dhe ky treg është shumë dinamik.

Është e rëndësishme të evidentohet plani për ndërtimin e HEC-it të Skavicës në Kaskadën e Drinit, ndërtimi i të cilit do të rrisë ndjeshëm rregullimin e prurjeve ujore dhe do të rrisë efikasitetin e prodhimit të energjisë elektrike për të gjithë kaskadën. Ndërtimi i HEC Skavicës do të bëjë të mundur jo vetëm rritjen e kapaciteteve prodhuese të energjisë në vend, por do të ketë rolin e rregullatorit në Kaskadën e Drinit duke optimizuar shfrytëzimin dhe operimin e të gjithë aseteve gjeneruese për KESH sh.a.

### TEC-e

Përveç rehabilitimit të TEC-it të Vlorës (97 MW) që pritet, së shpejti dhe dy njësive të reja (107 MW secila) që pritet në vitin 2028, gjithashtu ka plane për ndërtimin e një termocentrali 170MW në zonën e Roskovecit duke shfrytëzuar gazin e TAP.

Në mars të vitit 2021 u nënshkrua një marrëveshje midis qeverisë shqiptare dhe kompanive amerikane ExxonMobil dhe Excelerate Energy, e cila përmban 3 pika kryesore: futjen e gazit të lëngshëm në Shqipëri, shndërrimin e TEC-it të Vlorës për të punuar me këtë gaz dhe ndërtimin e një terminali të ri gazifikimi, për shpërndarjen e gazit në shkallë të vogël, duke e shndërruar Vlorën në një treg rajonal dhe kontekstin e diversifikimit të burimeve të reja.

### BRE-e (Eolike dhe Diellore)

Politikat aktuale favorizuese në drejtim të prodhimit të energjisë elektrike nga burimet e rinovueshme jo vetëm në Shqipëri, por edhe më gjerë në vendet e Ballkanit, nëse ritmet e ndërtimit të këtyre impianteve mbeten minimalisht të pandryshuara, rajoni i Ballkanit pritet të kthehet në një vend eksporti të energjisë së rinovueshme në vendet e Evropës Perëndimore.

Sipas parashikimeve, deri në vitin 2033 pritet që rreth 500 MW të kapaciteteve të instaluar të energjisë së erës, rreth 1000 MW centrale diellore të lidhen në rrjetin e transmetimit. Afati kohor i mëposhtëm tregon parashikimet për skenarin konservator të gjenerueseve të energjisë elektrike të lidhura me rrjetin e transmetimit deri në vitin 2033. Bazuar në këto shifra, Shqipëria do të bëhet një eksportues neto duke filluar nga viti 2025 e më tej. BRE-të nga era dhe dielli më rritjen e peshës së tyre në kapacitetin total gjenerues duke arritur maksimumin në vitin 2033 prej  $1500/4970 = 30\%$  të totalit gjenerues.

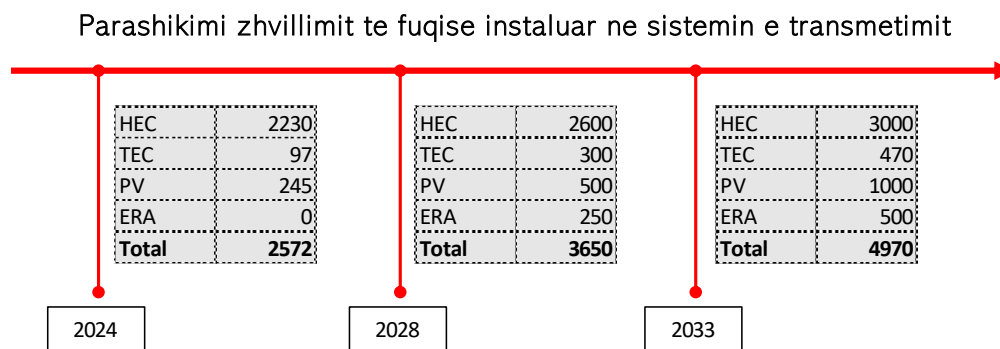


Figura 12 Parashikimi zhvillimit të fuqisë instaluar në OST

## 2.4 Kapacitetet e pritshme të sistemit të transmetimit

Në vijim të angazhimit për hartimin e planit të investimeve për vitet 2024÷2027 OST ka identifikuar një sërë investimesh disa prej tyre të cilësuar si emergjente dhe të domosdoshme për rritjen e performancës së rrjetit të transmetimit, për furnizimin dhe transmetimin me siguri dhe cilësi të energjisë elektrike kryesisht të rrjetit me tension 110 kV. Ky rrjet ka një shtrirje të gjerë në të gjithë territorin e vendit dhe përpos investimeve të vazhdueshme ende karakterizohet

në një pjesë të tij nga elementet konstruktive të linjave të amortizuara dhe me kapacitet të ulet transmetimi.

Nevoja për ndërhyrje në këtë rrjet vjen edhe në përmbushje të kërkesave të larta për lidhje nga burimet e rinovueshme kryesisht impiante fotovoltaike dhe të përqëndruara kryesisht në rajonin e ultësisës perëndimore të vendit.

Nga analiza e hollësishme e kryer në përcaktimin e investimeve janë marrë në konsideratë dhe problematikat që trajtojnë kërkesat e ardhura nga OSSH në kuadër të bashkëpunimit për harmonizimin e planit të investimeve ndërmjet dy operatorëve.

Në bazë të shkallës së emergjencës dhe në zbatim të Master Planit të OST 2018-2033[17] për zhvillimin e rrjetit të transmetimit është përcaktuar lista prioritare e investimeve për periudhën 2024÷2027 me fokus kryesor:

- Rehabilimin e rrjetit të transmetimit nëpërmjet rikonstruksionit të nënstacioneve dhe linjave ekzistuese me normë të lartë amortizimi dhe me rëndësi për sigurinë e sistemit.
- Ndërtimi i linjave të reja unazore duke rritur sigurinë e furnizimit nëpërmjet plotësimit të kushtit të sigurisë statike N-1.
- Zhvillimin e infrastrukturës energjitike të transmetimit në mbështetje të fuqizimit të rrjetit të shpërndarjes, për zhvillimin e projekteve strategjike si Porti i ri Durrësit, atyre infrastrukturë rrugore dhe tursitike
- Ndërtimin apo rikonstrukionin e linjave të reja me kapacitet të rritur për të lehtësuar akomodimin e burimeve të rinovueshme kryesish nga dielli dhe era në kuadër të mbështetjes së politikës së diversifikimit të burimeve gjeneruese në vend dhe uljen e varësisë nga importi.
- Mbështje në zhvillimin e rrjetit të shpërndarjes nëpërmjet planifikimit të linjave të reja të transmetimit që shërbejnë për rritjen e sigurisë dhe cilësisë së furnizimit me energji elektrike të abonentëve të këtij rrjeti.

Në mënyrë të përmbledhur në tabelën e mëposhtme pasqyrohet informacioni mbi projektet e OST që priten të finalizohen deri në vitin 2027[17] dhe kapacitetet e rritura të transmetimit:

| Rajoni           | Linjë e re/Rikonstruksion                                                   | Un (kV) | Gjatësia | Kapaciteti Total (MW) | Kapaciteti i rritur (MW) |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|----------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Veri</b>      | 3 Linja të reja + 1 Rikonstruksion                                          | 110     | 107.6    | 492                   | 428                      |
| <b>Qendër</b>    | 12 Linja të reja + 4 Rikonstruksion                                         | 110     | 173.5    | 1968                  | 1712                     |
|                  | 1 Linjë e re                                                                | 220     | 0.25     | 371                   | 371                      |
|                  | 1 Linjë e re                                                                | 400     | 112      | 2699.2                | 2699.2                   |
| <b>Jug</b>       | 3 Linja të reja + 4 Rikonstruksion                                          | 110     | 217.9    | 861                   | 569                      |
|                  | 1 Linjë e re me dy qarqe dhe 2 projekte shtrim përcjellësi në qarkun tjetër | 220     | 69.5     | 1113                  | 1113                     |
|                  | 1 Linjë e re                                                                | 400     | 148      | 2699.2                | 2699.2                   |
| <b>Juglindje</b> | 1 Linjë Rikonstruksion                                                      | 110     | 54.8     | 246                   | 100                      |

|              |                                                                                |     |       |      |      |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|------|------|
| <b>Total</b> | 18 Linja të reja + 9 Linja rikonstrukcion                                      | 110 | 553.8 | 3567 | 2809 |
|              | 2 Linja të reja me dy qarqe dhe 2 projekte shtrim përcjellësi në qarkun tjetër | 220 | 69.75 | 1484 | 1484 |
|              | 2 Linja të reja                                                                | 400 | 260   | 5398 | 5398 |

Tabela 5 Projektet e OST sh.a. sipas rajoneve (Burimi OST sh.a. Raporte)

Në tabelën vijuese pasqyrohen kapacitetet transformuese që pritet të instalohen në rrjetin e transmetimit:

| Rajoni        | Un(kV) | Nr. | Fuqia (MVA) | Fuqia totale (MVA) |
|---------------|--------|-----|-------------|--------------------|
| <b>Qendër</b> | 220    | 1   | 120         | 120                |
|               |        | 1   | 100         | 100                |
|               | 400    | 1   | 150         | 150                |
| <b>Jug</b>    | 400    | 1   | 400         | 400                |
| <b>Total</b>  | 220    | 2   | 220         | 220                |
|               | 400    | 2   | 550         | 550                |

Tabela 6 Kapacitetet e reja Transformuese në Sistemin e Transmetimit (Burimi OST sh.a.)

Në total kapaciteti i instaluar transformatorik do të rritet në vlerën 5391 MVA ose rreth 17% më tepër se vlera aktuale prej 4501 MVA e pasqyruar më sipër në këtë material.

Ndërsa rritja e kapaciteteve termike të linjave në rang vendi sipas niveleve të tensionit për secilin rajon do të pasqyrohet në tabelën e mëposhtme:

| Rajoni           | Un (kV)    | Kapaciteti Aktual (MW) | Kapaciteti Shtese (MW) | Kapaciteti i pritshëm (MW) |
|------------------|------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| <b>Veri</b>      | 110        | 4528                   | 428                    | 4956                       |
|                  | 220        | 5193                   |                        | 5193                       |
|                  | 400        | 1350                   |                        | 1350                       |
| <b>Qendër</b>    | 110        | 3753                   | 1712                   | 5465                       |
|                  | 220        | 5620                   | 371                    | 5991                       |
|                  | 400        | 4049                   | 2699.2                 | 6748                       |
| <b>Jug</b>       | 110        | 3712                   | 569                    | 4281                       |
|                  | 220        | 1702                   | 1113                   | 2815                       |
|                  | 400        | 1350                   | 2699.2                 | 4049                       |
| <b>Juglindje</b> | 110        | 3659                   | 100                    | 3759                       |
|                  | 220        |                        |                        |                            |
|                  | 400        | 1350                   |                        | 1350                       |
| <b>Total</b>     | <b>110</b> | <b>15652</b>           | <b>2809</b>            | <b>18461</b>               |
|                  | <b>220</b> | <b>12515</b>           | <b>1484</b>            | <b>13999</b>               |
|                  | <b>400</b> | <b>8098</b>            | <b>5398</b>            | <b>13496</b>               |

Tabela 7 Kapacitetet e linjave sipas niveleve të tensionit (Burimi: Raporte OST sh.a.)

---

# KAPITULLI III

## 3. Modelimi elementëve të sistemit të transmetimit

Përshkrimi modeleve do të trajtojë, gjeneratorët, transformatorët, linjat e transmetimit, pajisjet kompensuese, ngarkesën, rregullatorët, impiantet e energjive të rinovueshme. Modelimi elementeve ka rëndësi pasi do të përshkruajë me pas gjatë simulimit sjelljen dinamike të secilit komponent në sistem.

Në kontekstin e analizës së sistemit elektroenergjetik nëpërmjet softeve, një aspekt themelor është modeli i elementeve të sistemit. Duke qënë se modelimi përfshin të gjithë pajisjet elektrike si linja, transformatorë, gjeneratorë, është me rëndësi të veçantë që secila pajisje të paraqitet me modelin e vetë matematikor i cili përfaqëson sjelljen e pajisjes. Në këtë kapitull do të trajtohen të gjitha pajisjet që do të përdoren dhe modelohen në softin PSS/E. Fillimisht do të trajtohen pajisjet në aspektin teorik dhe më pas aplikimi dhe modelimi tyre në softin llogaritës PSS/E.

Përshkrimi i modeleve do të trajtojë, gjeneratorët, transformatorët, linjat e transmetimit, pajisjet kompensuese, ngarkesën, rregullatorët, impiantet e energjive të rinovueshme. Modelimi elementeve ka rëndësi pasi do të përshkruajë me pas gjatë simulimit sjelljen dinamike të secilit komponent në sistem.

### 3.1 Modelimi i Gjeneratorëve Konvencional

Modelimi gjeneratorëve sinkron përben një nga aspektet më të rëndësishme dhe elementeve më kompleks në fushën e analizës së sistemit elektroenergjetik. Me zhvillimin e sotshëm të softeve llogaritës ekzistojnë mjetet e nevojshme për modelimin me më shumë detaje të gjeneratorëve. Këtu përfshihet modelimi i dinamikave të qarkut të eksitimit, përshtjellave të qetësimit të rotorit etj.

Specifikisht për analizën e qëndrueshmërisë së tensionit ose të frekuencës simulimet mund të realizohen nga disa sekonda, deri në minuta. Në përgjithësi në lidhje me gjeneratorët mund të bëhet kategorizimi më poshtëm:

- a) Për analizën e qëndrueshmërisë së këndit, për ngacmime të vogla është e rëndësishme të paraqiten gjeneratorët dhe qarku rotorit së bashku me përshtjellat e qetësimit[18].
- b) Për analizën e qëndrueshmërisë së tensionit është e rëndësishme të modelohen sistemet e eksitimit dhe limitet e gjeneratorit duke përfshirë kurbën e aftësisë së gjeneratorit. Gjatë kohës që realizohen simulime të kolapsit të tensionit, sistemi eksitimit merr një rëndësi të veçantë sidomos në regjimet e mbieksituara. Në këto raste, sistemet e eksitimit kanë kufizuesin e fushës i cili kufizon rrymën në sistemin e eksitimit dhe rotorit në mënyrë që të mbrohet gjeneratori.
- c) Kryesisht problemet e qëndrueshmërisë së frekuencës janë të lidhura me përgjigje jo të mirë të pajisjeve gjeneruese ose luhatje të ngarkesës[19]. Qëndrueshmëria identifikohet duke monitoruar vlerën e çastit ose shpejtësinë e ndryshimit të frekuencës në kohë. Modelet e gjeneratorëve në këto raste duhet të përfshijnë sistemet automatike të rregullimit të

shpejtësisë (RASH), stabilizatorët e sistemit (PSS), dhe grupin turbinë-gjenerator, për të derivuar momentin e gjeneratorit dhe varësitë me shpejtësinë e gjeneratorit.

### 3.2 Parametrat operacionalë të makinës sinkrone

Ekuacionet e makinës sinkrone të zhvilluara, në shumicën e rasteve përfshijnë induktancat dhe rezistencat e qarqeve të statorit dhe rotorit si parametra. Këto parametra referohen si parametra themelorë ose bazë dhe identifikohen nga elementet e qarqeve ekuivalente të akseve “d” dhe “q”. Ndërsa parametrat themelorë specifikojnë plotësisht karakteristikat elektrike të makinës sinkrone, ato nuk mund të përcaktohen drejtpërdrejt nga vlerat e nxjerra nga matjet që bëhen gjatë testimeve të gjeneratorit. Prandaj, qasja tradicionale për caktimin e të dhënave të gjeneratorit ka qenë që të shprehen ato në terma të parametrave të nxjerrë nëpërmjet matjeve në bornat e statorit apo rotorit, matje të cilat bëhen gjatë testimeve standarde që zhvillohen për çdo gjenerator të prodhuar. Një metode për identifikimin e madhësive elektrike të makinës elektrike, në lidhje me parametrat operacionale në varesi të madhësive të statorit dhe rotorit tregohet në Figura 13, ku shprehet lidhja e këtyre parametrave:

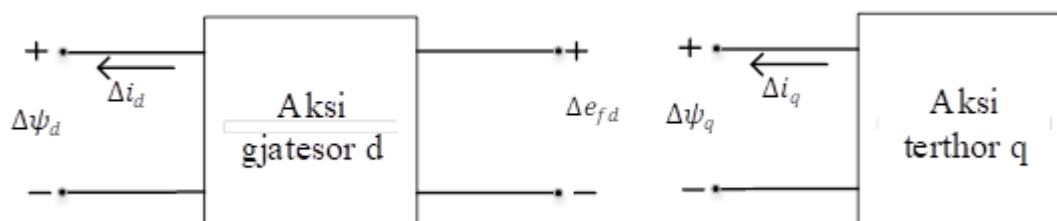


Figura 13 Akset gjatësore dhe tërthore të gjeneratorit sinkron

$$\Delta\psi_{fd}(s) = G(s)\Delta e_{fd}(s) - L_d(s)\Delta i_d(s) \quad 3.1$$

$$\Delta\psi_{fd}(s) = -L_q(s)\Delta i_q(s) \quad 3.2$$

ku:

- **G(s)** është funksioni i transmetues ,
- **L<sub>d</sub>(s)** është induktanca gjatësore në aksin “d”,
- **L<sub>q</sub>(s)** është induktanca tërthore në aksin “q”.

Në ekuacionet e mësipërme, **s** është operatori Laplasit kurse **Δ** tregojnë vlera shumë të vogla që shtohen për efekt studimor ose vijnë si rezultat i nje ngacmimi.

Ekuacionet 3.1 dhe 3.2 janë të vlefshme pa marrë parasysh numrin e qarqeve në rotor. Në fakt, R.H. Park në punimin e tij origjinal i shprehu ekuacionet e fluksit të statorit pa specifikuar numrin e qarqeve të rotorit. Me ekuacionet në formë operacionale, rotor mund të konsiderohet si një sistem me parametra të shpërndarë. Parametrat operacionale mund të përcaktohen ose nga llogaritjet që janë bërë gjatë dizajnit të tij ose më lehtë nga vlerat e mara nga përgjigjja në frekuencë.

Kur supozohet një numër i kufizuar i qarqeve në rotor, parametrat operacionale mund të shprehen si një raport polinomes në rrafshin e Laplasit. Rendet e polinomeve në numërues dhe emërues të **L<sub>d</sub>(s)** dhe **L<sub>q</sub>(s)** janë të barabarta me numrin e qarqeve të rotorit të supozuar në akset përkatëse, ndërsa **G(s)** ka të njëjtin emërues si **L(s)**, por një numërues të një rendi më të ulët se emëruesi.

Në këtë seksion do të zhvillojmë shprehjet për parametrat operacionale të modelit të përfaqësuar nga qarqet ekuivalente. Kjo strukturë modeli konsiderohet përgjithësisht e

përshtatshme për studimet e qëndrueshmërisë dhe përdoret gjerësisht në softet që merren me studime mbi qëndrueshmërinë. Karakteristikat e rotorit përfaqësohen nga përfshirja e peshtjellës kryesore (fushës) dhe një peshtjellë qetësimi në aksin gjatësor “d” dhe dy peshtjella qetësimi në boshtin “q”. Induktancat reciproke  $L_{fd}$  dhe  $L_{ad}$  supozohet të jenë të barabarta, çka i bën që gjitha induktancat reciproke në aksin gjatësor “d” të barabarta.

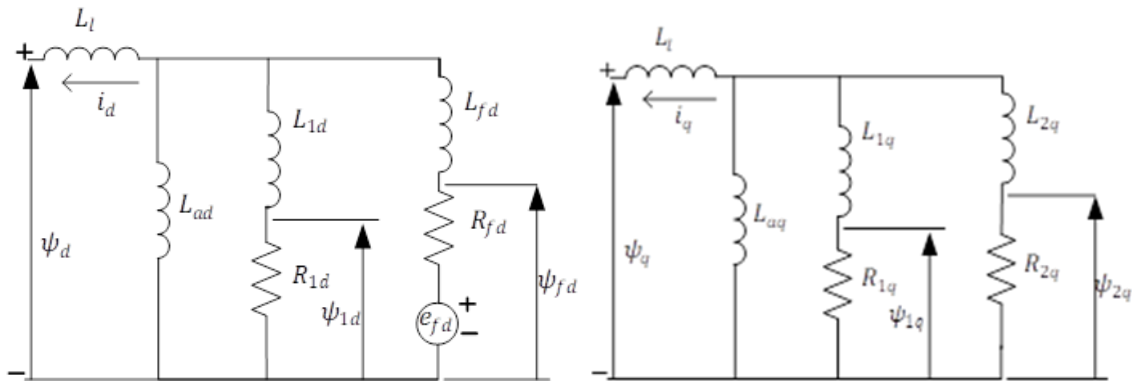


Figura 14 Qarqet ekuivalente të makinës sinkrone

Duke konsideruar që induktancat reciproke në boshtin “d” janë të barabarta, ekuacionet operacionale që lidhin flukset në boshtin “d” shkruhen si më poshtë:

$$\psi_d(s) = -L_d i_d(s) + L_{ad} i_{fd}(s) + L_{ad} i_{1d}(s) \quad 3.3$$

$$\psi_{fd}(s) = -L_{ad} i_d(s) + L_{fd} i_{fd}(s) + L_{ad} i_{1d}(s) \quad 3.4$$

$$\psi_{1d}(s) = -L_{ad} i_d(s) + L_{ad} i_{fd}(s) + L_{11d} i_{1d}(s) \quad 3.5$$

Ndërsa forma operacionale e ekuacioneve të tensionet në rotor është:

$$e_{fd}(s) = s\psi_{fd}(s) - \psi_{fd}(0) + R_{fd} i_{fd}(s) \quad 3.6$$

$$0 = s\psi_{1d}(s) - \psi_{1d}(0) + R_{1d} i_{1d}(s) \quad 3.7$$

Ku  $\psi_{d(0)}$ ,  $\psi_{fd(0)}$  dhe  $\psi_{1d(0)}$  tregojnë vlerat fillestare të flukseve magnetike, është më e përshtatshme t'i shprehim ekuacionet në terma të vlerave të shtuara rreth pikës së punës në gjë ndjen fillestare, në mënyrë që vlerat e çastit fillestar të eliminohen. Kjo e thjeshton dhe bën më të përshtatshme kuptimin e ekuacioneve.

Duke zëvendësuar flukset magnetike në terma të rrymave, ekuacionet e tensionit të rotorit në formë të zgjeruar do të jenë:

$$\begin{aligned} \Delta e_{fd}(s) &= s\Delta\psi_{fd}(s) + R_{fd}\Delta i_{fd}(s) \\ &= sL_{ad}\Delta i_d(s) + (R_{fd} + sL_{fd})\Delta i_{fd}(s) + sL_{ad}\Delta i_{1d}(s) \end{aligned} \quad 3.8$$

$$\begin{aligned} 0 &= s\Delta\psi_{1d}(s) + R_{1d}\Delta i_{1d}(s) \\ &= -sL_{ad}\Delta i_d(s) + (sL_{ad}\Delta i_{fd}(s) + (R_{1d} + sL_{11d})\Delta i_{1d}(s)) \end{aligned} \quad 3.9$$

Ne synojmë që të shprehim ekuacionet e boshtit “d” në formën e Ekuacionit 3.1; kjo gjë mund të arrihet duke eliminuar rrymat e rotorit në terma të variablave që marrim në borna  $e_{fd}$  dhe  $i_d$ . Zgjidhja e ekuacioneve 3.8 dhe 3.9:

$$\Delta i_{fd}(s) = \frac{1}{D(s)} [(R_{1d} + sL_{11d})\Delta e_{fd}(s) + sL_{ad}(R_{1d} + sL_{1d})\Delta i_d(s)] \quad 3.10$$

---


$$\Delta i_{1d}(s) = \frac{1}{D(s)} [(-sL_{ad}\Delta e_{fd}(s) + sL_{ad}(R_{fd} + sL_{fd})\Delta i_d(s)] \quad 3.11$$

ku

$$D(s) = s^2(L_{11d}L_{ffd} - L_{ad}^2) + s(L_{11d}R_{fd} + L_{ffd}R_{1d}) + R_{1d}R_{fd} \quad 3.12$$

Duke pasur parasysh

$$L_d = L_{ad} + L_l \quad 3.13$$

$$L_{ffd} = L_{ad} + L_{fd} \quad 3.14$$

$$L_{11d} = L_{ad} + L_{1d} \quad 3.15$$

Zëvendësimi i ekuacionit 3.10 dhe ekuacionit 3.11 tek ekuacioni 3.3 na paraqet marrëdhënien midis parametrave të aksit gjatësor në një formë shumë të qartë dhe të kuptueshme. Kjo lidhje na ndihmon të kuptojmë më mirë ndërveprimet mes fluksit, rrymës dhe tensionit në aksin gjatësor, duke na lejuar një analizë më të saktë të sjelljes së makinës sinkrone në këtë aks.

$$\Delta \psi_d(s) = G(s)\Delta e_{fd}(s) - L_d(s)\Delta i_d(s) \quad 3.16$$

Shprehjet për parametrat operacional në aksin gjatësor “**d**” janë dhënë nga:

$$L_d(s) = L_d \frac{1 + (T_4 + T_5)s + T_4T_6s^2}{1 + (T_1 + T_2)s + T_1T_3s^2} \quad 3.17$$

$$G(s) = G_0 \frac{(1 + sT_{kd})}{1 + (T_1 + T_2)s + T_1T_3s^2} \quad 3.18$$

Ku:

$$G_0 = \frac{L_{ad}}{R_{fd}} \quad T_{kd} = \frac{L_{1d}}{R_{1d}}$$

$$T_1 = \frac{L_{ad} + L_{fd}}{R_{fd}} \quad T_2 = \frac{L_{ad} + L_{1d}}{R_{1d}}$$

$$T_3 = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{ad}L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}} \right) \quad T_4 = \frac{1}{R_{fd}} \left( L_{fd} + \frac{L_{ad}L_l}{L_{ad} + L_l} \right) \quad 3.19$$

$$T_5 = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{ad} + L_l}{L_{ad} + L_l} \right) \quad T_6 = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{ad}L_{fd}L_l}{L_{ad}L_l + L_{ad}L_{fd} + L_{fd}L_l} \right)$$

Nëse faktorizojmë ekuacionet 3.17 dhe 3.18 ne marrim:

$$L_d(s) = L_d \frac{(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0})}{(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0})} \quad 3.20$$

$$G(s) = G_0 \frac{(1 + sT_{kd})}{(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0})} \quad 3.21$$

Ekuacionin për induktancën tërthore në aksin “q” mund ta shkruajmë duke patur parasysh ngjashmëritë që egzistojnë midis qarqeve ekuivalente të aksit “d” dhe “q”. Ku në formë të faktorizuar kemi:

$$L_q(s) = L_q \frac{(1 + sT'_q)(1 + sT''_q)}{(1 + sT'_{q0})(1 + sT''_{q0})} \quad 3.22$$

Konstantet e kohës që kemi shkruar në ekuacionet e mësipërme, të cilat lidhen me  $L_d(s)$ ,  $L_q(s)$  dhe  $G(s)$  do shikojmë që janë disa nga parametrat më të rëndësishëm të makinës sinkrone.

### 3.3 Parametrat Standard të makinës sinkrone

Pas një ngacmimi, gjithmonë kemi induktim rryme në qarqet e rotorit të gjeneratorëve. Siç e dimë për gjatë një lidhjeje të shkurtër, disa prej këtyre rrymave të induktuara në rotor shuhën më shpejt se të tjerat. Parametrat e makinës që ndikojnë në komponentët që shuhën shpejt quhen parametra mbikalimtare, ndërsa ata që ndikojnë në komponentët që shuhën ngadalë quhen parametra kalimtarë. Parametrat që ndikojnë në komponentët e qëndrueshëm janë parametrat sinkronë. Disa nga karakteristikat më të rëndësishme të makinës sinkrone janë induktancat efektive (ose reaktancat) të cilat mund t'i përllogarisim duke ditur rezultatet që mund të merren në borna të gjeneratorit, të cilat lidhen me rrymat në rastin kur jemi në kushte të qëndrueshme, kalimtare ose mbikalimtare. Përveç këtyre induktancave, konstantet e kohës përkatëse, të cilat përcaktojnë shkallën me të cilën shuhën harmonikat e rrymave dhe tensioneve, formojnë parametrat standartë që përdoren për të specifikuar karakteristikat elektrike të makinës sinkrone.

Parametrat standartë, siç do shikojmë më poshtë, mund të përcaktohen nga shprehjet e parametrave operacional  $L_d(s)$ ,  $G(s)$  dhe  $L_q(s)$ . Konstantet  $T'_{d0}$ ,  $T''_{d0}$ ,  $T'_d$  dhe  $T''_d$  janë katër konstantet kryesore për aksin gjatësor “d” të makinës sinkrone. Marrëdhëniet e tyre me parametrat themelore përcaktohen duke barazuar numëruesit dhe emëruesit përkatës të ekuacioneve 3.17 dhe

3.20.

Kështu,

$$(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0}) = 1 + s(T_1 + T_2) + s^2(T_1T_3) \quad 3.23$$

$$(1 + sT'_d)(1 + sT''_d) = 1 + s(T_4 + T_5) + s^2(T_4T_6) \quad 3.24$$

Shprehjet për katër konstantet e kohës që përmendëm më sipër mund të përcaktohen në mënyrë të saktë duke zgjidhur ekuacionet e 3.23 dhe 3.24. Por këto shprehje janë shumë komplekse për tu zgjidhur kështu që jemi të detyruar të bëjmë disa përafime.

### 3.4 Parametrat bazuar në përafrimet klasike

Zgjidhja e ekuacioneve 3.23 dhe 3.24 mund të bëhet shumë lehtë në qoftë se ne pranojmë që vlera e  $R_{fd}$  është shumë më e madhe se  $R_{fd}$ . Kjo bën që  $T_2$  dhe  $T_3$  të jenë shumë më të vogla se  $T_1$ , dhe  $T_5$  gjithashtu  $T_6$  shumë më e vogël se  $T_4$ . Andaj:

$$(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0}) \approx (1 + sT_1)(1 + sT_3) \quad 3.25$$

$$(1 + sT'_d)(1 + sT''_d) \approx (1 + sT_4)(1 + sT_6) \quad 3.26$$

Kështu ne mund të përafrojmë:

$$\begin{aligned}
T'_{d0} &\approx T_1 \\
T''_{d0} &\approx T_3 \\
T'_d &\approx T_4 \\
T''_d &\approx T_6
\end{aligned}
\tag{3.27}$$

Shprehjet nga  $T_1$  tek  $T_6$ , në terma të parametrave themelorë janë dhënë nga Ekuacioni . Këto konstante janë dhënë në njesi bazë(radianë). Ato duhet të pjesëtohen me frekuencën këndore të vlerësuar ( $\omega s=2\pi f$ ) për t'u konvertuar në sekonda. Për një sistem me frekuencë 60 Hz, zakonisht përafrohet në 314 radianë për sekondë.

Në rastin kur qarku i statorit është i hapur ( $i_d=0$ ), nga Ekuacionet 3.1 dhe 3.21 kemi:

$$\Delta\psi_d(s) = G_0 \frac{(1 + sT_{kd})}{(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0})} \Delta e_{fd}
\tag{3.28}$$

Më sipër vërejmë që, në kushtet e qarkut të hapur, fluksi i statorit në aksin gjatësor dhe tensioni në borna ndryshojnë në varësi të ndryshimit të tensionit të fushës me konstante kohe  $T'_{d0}$  dhe  $T''_{d0}$ . Përderisa  $R_{1d}$  është shumë më e madhe se  $R_{fd}$ , atëherë  $T''_{d0}$  është shumë më e vogël se  $T'_{d0}$ ; pra  $T''_{d0}$  është ajo që ndjen ndryshimin fillestar dhe quhet konstantja mbikalimtare e qarkut të hapur për aksin gjatësor “d”. Konstantja e kohës  $T'_{d0}$  përfaqëson një ndryshim të ngadalshëm që korrespondon me procesin kalimtar; ndryshe quhet konstantja kalimtare e qarkut të hapur për aksin gjatësor “d”. Konstantet  $T'_d$  dhe  $T''_d$  përfaqësojnë konstantet kalimtare dhe mbikalimtare të qarkut të shkurtër. Marrim në shqyrtim tani vlerat efektive të  $L_d(s)$  në kushtet e gjendjes së qëndrueshme, kalimtare dhe mbikalimtare.

Në gjendje të qëndrueshme, ku  $s=0$ , ekuacioni 3.20.

$$L_d(0) = L_d
\tag{3.29}$$

Kjo përfaqëson induktancën sinkrone të aksit gjatësor “d”.

Gjatë një procesi kalimtar të shpejtë, s tenton drejt infinitit , vlera limit e  $L_d(s)$  jepet nga

$$\begin{aligned}
L''_d &= L_d(\infty) \\
&= L_d \left( \frac{T'_d T''_d}{T'_{d0} T''_{d0}} \right)
\end{aligned}
\tag{3.30}$$

Kjo përfaqëson induktancën efektive  $\frac{\Delta\psi_d}{\Delta i_d}$  që ndjek ndryshimet e shpejta dhe quhet induktancë mbikalimtare. Pa marrë parasysh pësjtjellën e qetësimit, vlera limit e kësaj induktance është:

$$\begin{aligned}
L'_d &= L_d(\infty) \\
&= L_d \left( \frac{T'_d}{T'_{d0}} \right)
\end{aligned}
\tag{3.31}$$

Shprehjet e mësipërme mbi induktancat kalimtare dhe mbikalimtare mund t'i nxjerrim nga parimi i lidhjeve që dimë mbi flukset, ku fluksi i cili lidh një qark induktiv me rezistencë të kufizuar dhe fem nuk mund të ndryshojë në moment. Pra, pas një ngacmimi të caktuar, flukset në qarkun e rrotorit nuk ndryshojnë në çastin fillestar. Kjo tregon se në momentet fillestare pas një ndryshimi në sistem, qarku ekuivalent merr formë të tillë siç tregohet në Figura 15.

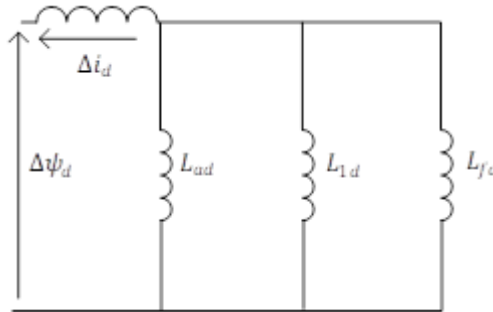


Figura 15 Qarku ekuivalent për parametra në rastin e një disturbance

Nga Figura 15, induktiviteti efektiv  $\frac{\Delta\psi_d}{\Delta i_d}$  që përfaqëson  $L''_d$  është i njëjtë me atë që nxorëm nga ekuacioni i mësipërm. Duke mos marrë parasysh pështjellën e qetësimit ( $L_{1d} = \infty$ ) induktiviteti efektiv korrespondon me  $L'_d$  që rrjedh nga ekuacioni më lart. Shprehjen për parametrat në aksin tërthor “q” mund ta shkruajmë shumë lehtë duke pasur parasysh ngjashmeritë midis qarqeve në dy akset. Kështu që konstantet kalimtare dhe mbikalimtare për qark të hapur në aksin tërthor jepen nga:

$$T'_{q0} = \frac{L_{aq} + L_{lq}}{R_{lq}} \quad 3.32$$

$$T''_{q0} = \frac{1}{R_{2q}} \left( L_{aq} + \frac{L_{aq}L_{lq}}{L_{aq} + L_{lq}} \right) \quad 3.33$$

Gjithashtu induktancat kalimtare dhe mbikalimtare dalin nga

$$T''_q = L_1 + \frac{L_{aq}L_{1q}L_{2q}}{L_{aq}L_{1q} + L_{aq}L_{2q} + L_{1q}L_{2q}} \quad 3.34$$

$$T'_q = \frac{L_{aq}L_{1q}}{L_{aq} + L_{1q}} \quad 3.35$$

Induktiviteti sinkron i aksit tërthor “q” del nga vlera të mara gjatë gjendjes së qëndrueshme të  $L_q(s)$  e cila është e barabartë me  $L_q$

Shprehjet e nxjerra më lart mbi parametrat standart të makinës sinkrone bazohen në supozimet që gjatë procesit mbikalimtar  $R_{fd}=R_{1q}=0$  dhe gjatë procesit kalimtar  $R_{1d}=R_{2q} \rightarrow \infty$ . Këto supozime janë përdorur në teorinë klasike për makinat sinkrone. Megjithatë, vitet e fundit janë hasur disa problematika ku shikohet mundësia e ndodhjes së gabimeve të mëdha në qoftë se ne bëjmë studime referuar këtyre supozimeve, siç përshkruhen në Standardin IEEE 115-1983.

Më poshtë do të nxjerrim disa shprehje të cilat reflektojnë më saktë përkufizimin e parametrave standartë. Këto shprehje do të ndihmojnë për të arritur rezultate që janë në

përputhje me matjet reale dhe minimizon diferencat midis modeleve teorike dhe sjelljes së vërtetë të makinës sinkrone.

### 3.5 Saktësimi i parametrave standart të makinës sinkrone

Vlerat e sakta të  $T'_d$  dhe  $T''_{d0}$  i nxjerrim nga polet e  $L_d(s)$  kurse vlerat e  $T'_d$  dhe  $T''_d$  dalin nga zerot e shprehjes  $L_d(s)$ . Me pak fjalë ne duhet të përdorim zgjidhjet e sakta të ekuacioneve 3.23 dhe 3.24. Polet e  $L_d(s)$  do të jenë:

$$s^2 + \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_3} s + \frac{1}{T_1 T_3} = 0 \quad 3.36$$

Sidoqofte shprehjet plotësisht të sakta për polet e  $L_d(s)$  bëhen të ndërlikuara dhe vështirë të zgjidhshme. Mund të bëjmë thjeshtime të tyre pa ndikuar shumë në rezultatin përfundimtar. Të pranojmë që  $4 \cdot T_1 T_3$  është më e vogël se  $(T_1 + T_2)^2$ . Me këtë thjeshtim rrënjët e ekuacionit 3.36 reduktohen në:

$$s_1 = \frac{1}{T_1 + T_2} \quad 3.37$$

$$s_2 = -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_3} \quad 3.38$$

Konstantet e kohës për qark të hapur janë të barabarta me të kundërtën e vlerave reciproke të rrënjëve:

$$T'_{d0} = T_1 + T_2 \quad 3.39$$

$$T''_{d0} = \frac{T_1 T_3}{T_1 + T_2} \quad 3.40$$

Në të njëjtën mënyrë duke zgjidhur rrënjët e numëruesit të  $L_d(s)$  ne marrim:

$$T'_d = T_4 + T_5 \quad 3.41$$

$$T''_d = \frac{T_4 T_6}{T_4 + T_5} \quad 3.42$$

Induktancat kalimtare dhe mbikalimtare jepen duke zëvendësuar konstantet e kohës së mësipërme në ekuacionet 3.30 dhe 3.31.

$$L'_d = L_d \frac{T_4 + T_5}{T_1 + T_2} \quad 3.43$$

$$T''_d = L_d \frac{T_4 T_6}{T_1 T_3} \quad 3.44$$

Shprehjet e sakta dhe të përafërta(klasike) për parametrat standart janë përmbledhur në tabelën 5. Këto ekuacione përdoren për të modeluar qarkun ekuivalent të makinës sinkrone i cili merr parasysh dy qarqe të rotorit, pra në dy akset, me induktancë reciproke të barabartë. Duhet të theksohet që shumica e softëve që përdoren për simulime të cilat vleresojnë qëndrueshmërinë marrin si inpute parametra kalimtarë dhe mbikalimtarë të dalë nga shprehjet e thjeshtuara(klasike). Megjithatë të dhënat e ofruara nga prodhues gjeneratorësh

korrespondojnë me të dhënat që merren nga testimet. Kështu që ka disa pikepyetje në lidhje me përdorimin e parametrave standard.

### 3.6 Parametrat që përfshijnë efektet e reciprocitetit

Në procesin e shkrimit të shprehjeve mbi parametrat standart të lartpërmendur, është supozuar se të gjitha induktancat e ndërsjella në boshtin “d” janë të barabarta. Sistemi reciprok në bazë që është zgjedhur bën që induktancat e ndërsjellta midis statorit dhe rotorit dhe midis rotorit dhe pështjellës së qetësimit, të jenë të barabarta. Sidoqoftë, induktanca e ndërsjellë midis rotorit dhe pështjellës së qetësimit mund të jetë e ndryshme. Megjithëse supozimi që të gjitha induktancat e ndërsjella në boshtin “d” janë të barabarta jep rezultate të mira në llogaritjen e madhësive të statorit, ai mund të çojë në gabime të konsiderueshme gjatë llogaritjes së rrymës së fushës në kushte kalimtare. Qarku ekuivalent në boshtin “d” që përfshin efektet e pabarabarta të reciprocitetit dhe flukset e ndryshme reciproke, paraqitet në Figura 16.

Ky model është më i avancuar i cili ndihmon në përshkrimin më të saktë të sjelljes së makinës gjatë kushteve kalimtare, duke marrë parasysh diferencat reale në flukset reciproke midis komponentëve të ndryshëm.

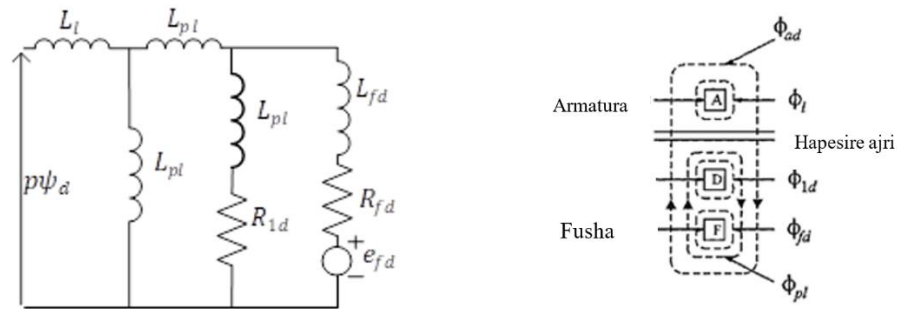


Figura 16 Qarku ekuivalent që përfshin efektet e reciprocitetit

| Parametrat                           | Shprehjet klasike      | Shprehjet e sakta                          |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| $T'_{d0}$                            | $T_1$                  | $T_1 + T_2$                                |
| $T'_d$                               | $T_4$                  | $T_4 + T_5$                                |
| $T''_{d0}$                           | $T_3$                  | $T_3 \left[ \frac{T_1}{T_1 + T_2} \right]$ |
| $T''_d$                              | $T_6$                  | $T_6 \left[ \frac{T_4}{T_4 + T_5} \right]$ |
| $T'_d$                               | $L_d(T_4/T_1)$         | $L_d(T_4 + T_5)/(T_1 + T_2)$               |
| $L''_d$                              | $L_d(T_4T_6)/(T_3T_1)$ | $L_d(T_4T_6)/(T_1T_3)$                     |
| $T_1 = \frac{L_{ad}+L_{fd}}{R_{fd}}$ |                        | $T_2 = \frac{L_{ad}+L_{1d}}{R_{1d}}$       |

$$T_3 = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{ad}L_{fd}}{L_{ad}+L_{fd}} \right)$$

$$T_4 = \frac{1}{R_{fd}} \left( L_{fd} + \frac{L_{ad}L_l}{L_{ad}+L_l} \right)$$

$$T_5 = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{ad}+L_l}{L_{ad}+L_l} \right)$$

$$T_6 = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{ad}L_{fd}L_l}{L_{ad}L_l+L_{ad}L_{fd}+L_{fd}L_l} \right)$$

Tabela 8 Shprehjet klasike dhe shprehjet e sakta për Gjeneratorin Sinkron

- Shënime:** 1-Shprehje të ngjashme përdoren për parametrat në aksin “q”  
 2-Gjithë parametrat në njësi bazë  
 3-Konstantet mund t’i kthejmë në sekonda duke pjesëtuar me  $w_0 = 2\pi f$   
 4- Të gjitha induktancat reciproke në boshtin “d” merren të barabarta

Induktiviteti i serisë  $L_{pl} = L_{fld} + L_{ad}$  korresponson me fluksin anësor ( $\Phi_{pl}$ ) i cili lidh rotorin dhe pështjellën e qetësimit, por duke mos përfshirë armaturën. Duke supozuar  $R_{fd} = 0$  gjatë procesit mbikalimtar dhe  $R_{1d} = \infty$  gjatë periudhës kalimtare, shprehjet për parametra standard mund të shkruhen si mëposhtë:

$$L_d = L_{ad} + L_l \quad 3.45$$

$$L'_d = L_l + \frac{1}{\frac{1}{L_{ad}} + \frac{1}{L_{fd} + L_{pl}}} = L_l + \frac{L_{ad}(L_{fd} + L_{pl})}{L_{ad} + L_{fd} + L_{pl}} \quad 3.46$$

$$L''_d = L_l + \frac{L_{1d}L_{fd}L_{ad} + L_{1d}L_{pl}L_{ad} + L_{ad}L_{fd}L_{pl}}{L_{ad}L_{fd} + L_{ad}L_{1d} + L_{1d}L_{fd} + L_{1d}L_{pl} + L_{fd}L_{pl}} \quad 3.47$$

$$T'_{d0} = \frac{L_{ad} + L_{fd} + L_{pl}}{R_{fd}} \quad 3.48$$

$$T''_{d0} = \frac{1}{R_{1d}} \left( L_{1d} + \frac{L_{fd}(L_{ad} + L_{pl})}{L_{pl} + L_{fd} + L_{ad}} \right) \quad 3.49$$

$$T'_d = \frac{1}{R_{fd}} \left( L_{fd} + L_{pl} + \frac{L_{ad}L_l}{L_{ad} + L_l} \right) \quad 3.50$$

$$T''_d = \frac{1}{R_{1d}} + \left( L_{1d} + \frac{L_{1d}L_{fd}L_{ad} + L_{1d}L_{pl}L_{ad} + L_{ad}L_{fd}L_{pl}}{L_{ad}L_{fd} + L_{fd}L_l + L_{pl}L_{ad} + L_{pl}L_l + L_{ad}L_{pl}} \right) \quad 3.51$$

Shprehjet e sakta, të cilat janë të aplikueshme për një strukturë modeli më komplekse që përfshin këto qarqe të rotorëve në secilin bosht dhe induktanca të pabarabarta të ndërsjellta në boshtin “d”, janë dhënë në referencat e dhëna.

### Parametrat e makinave me pole të dukshme:

Në diskutimin e parametrave standard deri tani, kemi konsideruar një strukturë modeli me dy qarqe në rotor për secilin bosht. Megjithatë, për një makinë me pole të dukshme, pështjella e qetësimit është i vetmi qark në boshtin q prandaj, vetëm një qark në aksin tërthor q (i shënuar me nënshkrimin 1q) është i aplikueshëm. Parametrat e këtij qarku përfaqësojnë efektet mbikalimtare që shihen shpejt. Qarku i dytë (i shënuar me nënshkrimin 2q) nuk meret parasysh sepse nuk mund të bëhet dallimi midis kushteve kalimtare dhe sinkrone (gjëndje e qëndrueshme). Për rrjedhojë, shprehjet për parametrat e boshtit q të një makine me pole të dukshme janë si më poshtë:

$$L_q = L_l + L_{aq} \quad 3.52$$

$$L''_q = L_l + \frac{L_{aq}L_{lq}}{L_{aq} + L_{lq}} \quad 3.53$$

$$T''_{d0} = \frac{L_{aq} + L_{lq}}{R_{1q}} \quad 3.54$$

Parametrat kalimtarë L dhe T janë të paplikueshëm në këtë rast. Në boshtin “d”, është e përshtatshme të konsiderohen dy qarqe(fusha dhe pështjella e qetësmit), shprehjet e nxjerra më parë janë të aplikueshme për makinat me pole të dukshme.

### 3.7 Vlerat tipike të parametrave standartë

Tabela 9 tregon intervalet brenda të cilave zakonisht janë parametrat e gjeneratorëve. Nga shprehjet mbi parametrat e makinës, të përmbledhura në Tabelën 5, është lehtësisht e dukshme se parametrat standardë përfshijnë një gamë të caktuar që varet nga struktura dhe karakteristikat specifike të makinës sinkrone.

Këto vlera ndihmojnë në përshkrimin dhe analizën e saktë të sjelljes së gjeneratorëve gjatë operimit në kushte të ndryshme, duke ofruar referenca të qarta për projektim dhe matje të parametrave të sistemit.

$$X_d \geq X_q > X'_q \geq X'_d > X''_q \geq X''_d \quad 3.55$$

$$T'_{d0} > T'_d > T''_{d0} > T''_d > T_{kd} \quad 3.56$$

$$T'_{q0} > T'_q > T''_{d0} > T''_q \quad 3.57$$

| Parametrat                       |            | Njësi Hidro | Njësi Termo  |
|----------------------------------|------------|-------------|--------------|
| <b>Reaktancat sinkrone</b>       | $X_d$      | 0.6–1.5     | 1.0–2.3      |
|                                  | $X_q$      | 0.4–1.0     | 1.0–2.3      |
| <b>Reaktancat kalimtare</b>      | $X'_d$     | 0.2–0.5     | 0.15–0.4     |
|                                  | $X'_q$     | -           | 0.3–1.0      |
| <b>Reaktancat mbikalimtare</b>   | $X''_d$    | 0.15–0.35   | 0.12–0.25    |
|                                  | $X''_q$    | 0.2–0.45    | 0.12–0.25    |
| <b>Konstante kalimtare QH</b>    | $T'_{d0}$  | 1.5–9 s     | 3.0–10.0 s   |
|                                  | $T'_{q0}$  | -           | 0.5–2.0 s    |
| <b>Konstante mbikalimtare QH</b> | $T''_{d0}$ | 0.01–0.05 s | 0.02–0.05 s  |
|                                  | $T''_{q0}$ | 0.01–0.09 s | 0.02–0.05 s  |
| <b>Induktiviteti statorit</b>    | $X_l$      | 0.1–0.2     | 0.1–0.2      |
| <b>Rezistenca e statorit</b>     | $R_a$      | 0.002–0.02  | 0.0015–0.005 |

Tabela 9 Parametra tipike per njesi hidro dhe termo

### 3.8 Modelimi transformatorëve të fuqisë

Transformatorët janë të nevojshëm për të lidhur pjesë të sistemit elektroenergjetik të cilat funksionojnë në nivele të ndryshme të tensionit. Përveç ndryshimit të nivelit të tensionit, transformatorët përdoren gjithashtu për të kontrolluar tensionin në nyjet e SEE dhe janë të pajisura me rregullatorë tensionin nën ngarkesë ose pa ngarkesë, për të lejuar ndryshimin e dredhave të pështjellës dhe rrjedhimisht kontrollin e nivelit të tensionit në nyjet ku është lidhur transformatori. Transformatorët në sistemet e fuqisë mund të klasifikohen sipas funksionit të tyre në tre kategori të përgjithshme:

- Transformatorët ngritës në gjeneratorë, të cilët lidhin gjeneratorin me rrjetin transmetim/shpërndarje.
- Transformatorët në transmetim, të cilët perdoren për të lidhur pjesë të ndryshme të rrjetit të transmetimit në nivele të ndryshme të tensionit ose lidhjen me rrjetin shpërndarës.
- Transformatorët e shpërndarjes, të cilët reduktojnë tensionin deri në qendrën e ngarkesës së konsumatorit.

Transformatorët e gjeneratorëve dhe transformatorëve kanë fuqi nga disa dhjetëera MVA deri në 1000MVA. Transformatorët e gjeneratorëve zakonisht kanë përshtjellën primare në 10-20kV ku secili gjenerator mund të ketë transformatorin e vetë të dedikuar ose disa gjeneratorë mund të lidhen në një transformatore sic është skema tipike për hidrocentralet të vogla

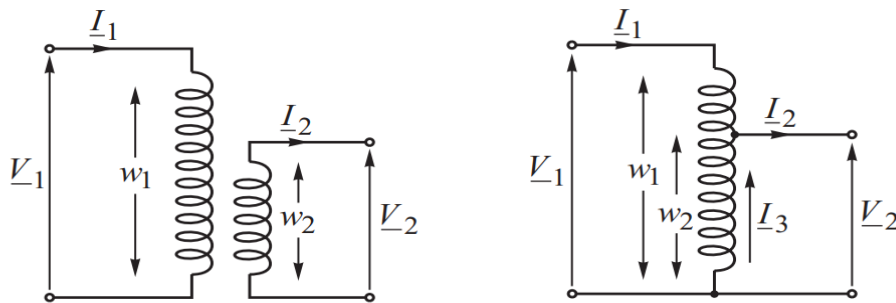


Figura 17 Skema e transformatorëve dhe autotransformatorëve

Në Figura 17 tregohet skema për transformatorët dhe autotransformatorët në sistemet e transmetimit. Përshtjellat në këta transformatorë zakonisht lidhet në grup lidhjen Y–Y me neutralin e tokëzuar[20]. Këta transformatorë zakonisht kanë dhe një përshtjellë të tretë, me fuqi të ulët, e cila kryen funksionin e mbylljes së rrymave qarkulluese në rastet e ngarkesës asimetrike në përshtjellën e tensionit të lartë. Gjithashtu kjo përshtjellë ka dhe funksionin e furnizimit me ngarkesë për nevojat vetjake të nenstacionit.

Nëse koeficienti transformimit nuk është shumë i madh transformatori me dy përshtjella në Figura 18a, mund të zëvendësohet me një autotransformator si tregohet në Figura 18b. Autotransformatorët përdoren për lidhjen e dy tensioneve të njëpasnjëshme si p.sh 110/220, 220/400 kV. Në Figura 18, jepet qarku ekuivalent për një transformator 1 fazor me dy përshtjella.

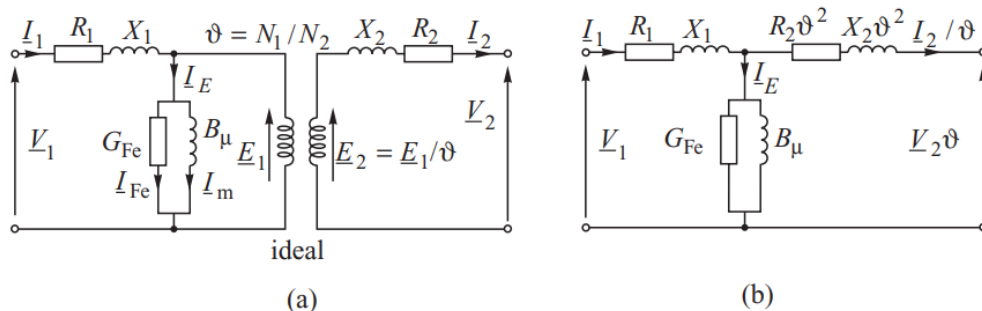


Figura 18 Qarku ekuivalent për transformator 1 Fazor me dy përshtjella

Elementi kryesor i qarkut është transformatori ideal me koeficient transformimi  $\vartheta = \frac{N_1}{N_2}$ , ku  $N_1$  dhe  $N_2$  janë përkatësisht numri i dredhave në pështjellën parësore dhe dytësore.

Rezistencat  $R_1$  dhe  $R_2$  përbëjnë humbjen  $I^2 R$  në pështjellën parësore dhe dytësore ndërsa reaktancat  $X_1$  dhe  $X_2$  përbëjnë fluksin e rrjedhjes, që është komponenti i fluksit që nuk lidh dy pështjellat, por vetëm pështjellën parësore ose dytësore.

Nga ndryshimet sinusoidale të burimit të ushqimit, në bërthamën e transformatorit shkaktohet rimagnetizim periodik, siç përcaktohet nga cikli i histerezës i bërthamës së çelikut. Kjo rezulton në rrjedhjen e një rryme magnetizimi ( $I_\mu$ ) edhe kur transformatori është në regjimin e punimit pa ngarkesë. Rryma e magnetizimit ( $I_\mu$ ) është në fazë me fluksin magnetik dhe për rrjedhojë është në vonesë faze  $\pi/2$  me forcën elektromotore të induktuar ( $E_1$ ).

Për shkak të ndryshimeve periodike të fluksit të bërthamës, në bërthamën e transformatorit shpërndahet një sasi e caktuar energjie në formën e nxehtësisë. Ky komponent i humbjes në bërthamë quhet humbje të histerezës.

Duke qenë se bërthama është një përcjellës, ndryshimi periodik i fluksit do të indukojë në to forca elektromotore duke bërë të mundur qarkullimin e rrymave fuko. Rrymat fuko shkaktojnë humbje të fuqisë të cilat quhen humbje nga rrymat fuko. Shuma e humbjeve nga rrymat fuko dhe ciklit të histerezës do të japë humbjen në celik  $P_{Fe}$ . Humbjet në celik kompensohen nga një rrymë shtesë  $I_{Fe}$  që rrjedh në parësor, kësaj radhe në fazë me forcën elektromotore të induktuar. Kjo modelohet duke shtuar në degën tërthore të qarkut ekuivalent të Figura 18a, përcueshmërinë aktive të transformatorit  $G_{Fe}$ . Në regjimin e punimit pa ngarkesë, rryma e eksitimit  $I_E$ , në anën parësore është e barabartë me shumën fazore të rrymës magnetizuese dhe rrymës së humbjeve në çelik. Kur transformatori është i ngarkuar, rryma e eksitimit i shtohet rrymës së ngarkesës.

Për të eliminuar koeficientin e transformimit  $\vartheta$  nga diagrama e qarkut ekuivalent të transformatorit [20], të gjitha madhësitë elektrike duhet t'i referohen njërës anë (parësore ose dytësore). Në Figura 18b, tregohet rasti kur tensioni, rrymat dhe impedanca e qarkut të Figura 18a reduktohen në pështjellën parësore. Për të krijuar këtë model të transformatorit, tensioni dytësor shumëzohet me  $\vartheta$ , ndërsa rryma dytësore pjesëtohet me  $\vartheta$ . Për rrjedhojë, impedanca dytësore duhet të shumëzohet me  $\vartheta^2$ .

Qarku ekuivalent i paraqitur tregon skemën “T” të zëvendësimit, por shpesh është më e përshtatshme që në analizën e rrjetit, të meret në studim skema “ $\pi$ ” e zëvendësimit të transformatorit. Nëse elementët e degës tërthore në qarkun ekuivalent të transformatorit nuk mund të neglizhohen, atëherë qarku i Figura 18b mund të transformohet në skemën “ $\pi$ ” të zëvendësimit duke përdorur transformimin standard yll-trekëndësh. Megjithatë, skema “ $\pi$ ” nuk do të jetë simetrike nëse impedancat e degës gjatësore të pështjellës parësore dhe dytësore në Figura 18b nuk janë të barabarta. Për të shmangur këtë, zakonisht bëhen përafrimet e mëposhtme:

impedanca gjatësore e pështjellës dytësore referuar asaj parësore ( $\underline{Z}_2 = R_2 \vartheta^2 + jX_2 \vartheta^2$ ) është e barabartë me rezistencën gjatësore të pështjellës parësore ( $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ );

impedanca e degës tërthore  $\frac{1}{G_{Fe} + jB_\mu}$  është shumë më e madhe se rezistenca totale e degës gjatësore  $\underline{Z}_T = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$ .

Me këto supozime parametrat e skemës “ $\pi$ ” të zëvendësimit, të paraqitur në Figura 19, janë dhënë nga barazimet :

$$\underline{Z}_T = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = R + jX, \quad Y_E = G_{Fe} + jB_\mu \quad 3.58$$

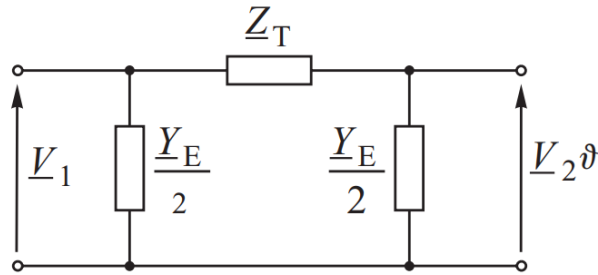


Figura 19 Qarku ekuivalent për skemën e zëvendësimit të transformatorit në formën T

Vlera e parametrave në qarkun ekuivalent të transformatorit mund të përcaktohet nga eksperimenti i punimit pa ngarkesë dhe nga eksperimenti i lidhjes së shkurtër. Në të dyja këto eksperimente tensioni i ushqimit, rryma dhe fuqia aktive maten. Tabela 10 tregon disa shembuj të të dhënave të eksperimentit.

Gjatë eksperimentit të punimit pa ngarkesë pështjella dytësore e transformatorit lihet e hapur dhe pështjella parësore ushqehet me tension nominal  $V_1 = V_N$ . Në këto kushte, impedanca e degës gjatësore është e vogël në krahasim me përcjellshmërinë e degës tërthore dhe mund të neglizhohet në mënyrë që rryma dhe fuqia e matur të korrespondojnë plotësisht me degën e tërthore dhe të lidhen me rrymën e eksitimit  $I_E$  dhe humbjen në celik  $P_{Fe}$ .

| $S_n(MVA)$ | $V_{SHC}(nj.r)$ | $P_{CU}(nj.r)$ | $I_E(nj.r)$ | $P_{Fe}(nj.r)$ |
|------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|
| 150        | 0.11            | 0.0031         | 0.003       | 0.001          |
| 240        | 0.15            | 0.0030         | 0.0025      | 0.0006         |
| 426        | 0.145           | 0.0029         | 0.002       | 0.0006         |
| 630        | 0.143           | 0.0028         | 0.004       | 0.0007         |

Tabela 10 Vlerat tipike të parametrave të transformatorit në vlerësimet e njësisë pu

Parametrat e degës tërthore mund të llogariten, në njësi relative:

$$G_{Fe} = P_{Fe(pu)} \quad 3.59$$

$$Y_E = I_E(pu) \quad 3.60$$

$$B_\mu = \sqrt{Y_E^2 - G_{Fe}^2} \quad 3.61$$

nga ku  $P_{Fe(pu)}$  dhe  $I_E(pu)$  shprehen gjithashtu në njësi relative.

Gjatë eksperimentit të lidhjes së shkurtër, pështjella dytësore lidhet në të shkurtër. Pështjella parësore ushqehet me tension të mjaftueshëm për të qarkulluar një rrymë në dytësorin e lidhur në të shkurtër që është e barabartë me rrymën nominale të ngarkesës ( $I_2 = I_n$ ). Ky tension parësor zakonisht referohet si tensioni i qarkut të shkurtër  $V_{SHC}$  dhe është shumë më i vogël se tensioni i vlerësuar  $V_{SHC} \ll V_n$ . Vlera e vogël e tensionit në parësor do të thotë që rryma e eksitimit  $I_E$  është shumë më e vogël se  $I_2 = I_n$  dhe mund të neglizhohet. Prandaj, parametrat e degës gjatësore, për njësi bazë, mund të gjenden nga:

$$Z_T = V_{SHC(pu)}, R_T = P_{Cu(pu)}, X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad 3.62$$

ku  $V_{SHC(pu)}$  dhe  $P_{Cu(pu)}$  janë dhënë në pu.

Qarku ekuivalent për një transformator me shumë pështjella është formuar në mënyrë të ngjashme. Për shembull, qarku ekuivalent i një transformatori me tre pështjella përbëhet nga tre impedanca të lidhura në yll me degën tërthore në pikën e yllit.

### 3.9 Modelimi linjave të transmetimit

Linjat e transmetimit janë ndër elementët më të rëndësishëm të cilat bëjnë lidhjen e njësive të prodhimit të energjisë elektrike me qendrat e konsumit. Kryesisht në sistemet e transmetimit përdoren linja ajrore, por në vitet e fundit kanë filluar aplikime të gjera të linjave kabllorë në tensione të larta si pasojë e zhvillimeve të teknologjisë së materialeve të përdorura në kablllo. Linjat mund të klasifikohen në 3 lloje[19] sipas gjatësisë së tyre:

#### a) Linja të shkurtra

Linjat e shkurtëra konsiderohen me gjatësi deri në 80 ose 100km. Në këto linja për shkak të gjatësisë së tyre, përcjellshmëria tërthore është shumë e vogël dhe mjafton një modelim duke përdorur impedancën e linjës  $Z$ .

#### b) Linja të mesme

Linjat me gjatësi mesatare konsiderohen nga 100km deri në 200km. Kryesisht këto linja modelohen me parametra të përqëndruar me qarkun ekuivalent " $\pi$ ".

#### c) Linja të gjata

Linjat e gjata, janë mbi 200km. Në këto linja modelimi me parametra të përqëndruar nuk është i vlefshëm, por duhen përdorur parametrat e shpërndarë për modelimin e linjës, ose mund të ndahen në seksione sipas gjatësisë dhe të përdoret për secilin seksion qarku ekuivalent " $\pi$ ".

Figura 20 tregon qarkun ekuivalent një fazor të një linje transmetimi. Në këtë qark tensionet dhe rrymat në terminalet e linjës janë variabël, ndërsa parametrat e linjës supozohen të jenë të shpërndarë në mënyrë uniforme në të gjithë gjatësinë e linjës.

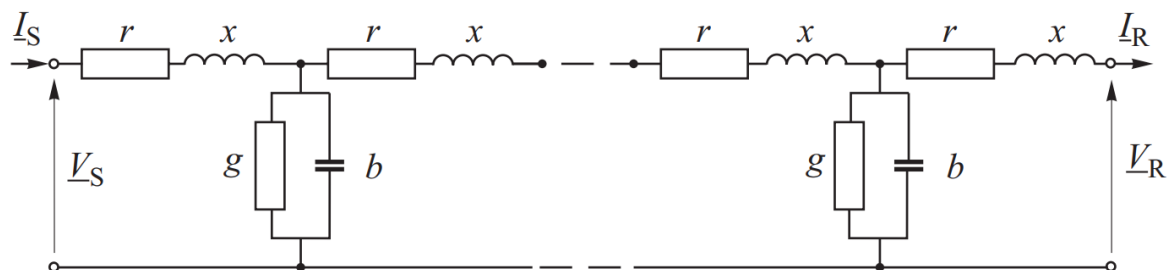


Figura 20 Qarku ekuivalent për një linjë një fazore transmetimi me parametra të shpërndarë[2]

Parametrat që përshkruajnë këtë qark janë si me poshtë:

|                                    |                                                                                                  |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>r</b>                           | Rezistenca në seri e përcjellesit për cdo fazë (Ohm/km)                                          |
| <b>x = <math>\omega * L</math></b> | Rezistenca në seri e përcjellesit për cdo fazë (Ohm/km) dhe L induktanca për secilën fazë (H/km) |
| <b>g</b>                           | Përcjellshmëria aktive për secilën fazë (S/km)                                                   |
| <b>b = <math>\omega * C</math></b> | Përcjellshmëria reaktive për secilën fazë (S/km) dhe kapaciteti shunt për secilën fazë (F/km)    |
| <b>l</b>                           | Gjatësia linjës (km)                                                                             |

Tabela 11 Parametrat kryesorë të linjës elektrike 3 fazore

ku,  $\omega = 2 * \pi * f$  dhe  $f$ , është frekuenca në Hz. Impedanca në seri dhe përcjellshmëria në shunt për secilën fazë shprehen si:

$$\underline{Z} = r + j * x \quad 3.63$$

$$\underline{Y} = g + j * b \quad 3.64$$

Secili nga parametrat në qarkun ekuivalent ka një kuptim fizik dhe lidhet me një aspekt të përcaktuar në sjelljen e linjës së transmetimit.

Rezistenca paraqet humbjet(ngohjen) në përcjellës si pasojë rrymës që kalon dhe varet nga lloji i përcjellësit, konstruksioni, diametri etj. Induktanca në seri L, varet nga fluksi i pjesshëm i vetë përcjellësit për secilën fazë dhe fluksi reciprok me fazat e tjera. Përcjellshmëria g përfaqëson humbjet si pasojë e efektit kurorë dhe rrymat e rrjedhjes në izolatorë. Kjo vlerë nuk është konstante pasi efekti kurorë varet nga disa faktorë të ambjentit si lagështia etj, Ndërkohë rrymat e rrjedhjes varen nga papastërtitë në izolatorë. Në linjat e transmetimit g është shumë e vogël dhe zakonisht neglizhohet. Kapaciteti shunt vjen si pasojë e diferencës së potencialit ndërmjet përcjellësve. Qarku ekuivalent i linjës trefazore është paraqitur në Figura 21. Impedanca vetjake dhe reciproke jepen nga:

$$[\underline{Z}_{abc}] = \begin{bmatrix} \underline{Z}_s & \underline{Z}_m & \underline{Z}_m \\ \underline{Z}_m & \underline{Z}_s & \underline{Z}_m \\ \underline{Z}_m & \underline{Z}_m & \underline{Z}_s \end{bmatrix}; \quad 3.65$$

$$[\underline{Y}_{abc}] = \begin{bmatrix} \underline{Y}_s & \underline{Y}_m & \underline{Y}_m \\ \underline{Y}_m & \underline{Y}_s & \underline{Y}_m \\ \underline{Y}_m & \underline{Y}_m & \underline{Y}_s \end{bmatrix} \quad 3.66$$

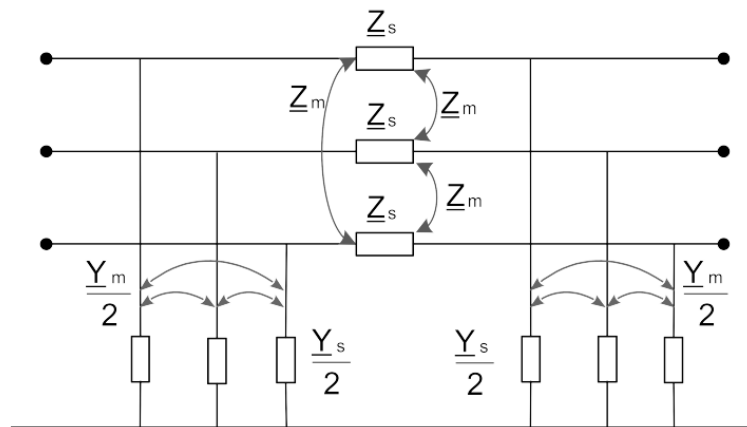


Figura 21 Skema ekuivalente për një linjë tre fazore me parametra të përqëndruar[21]

Për modelimin e linjës përcaktohet renditja e drejtë dhe nulare, nëpërmjet matricave të  $\underline{Z}_1$ ,  $\underline{Y}_1$ ,  $\underline{Z}_0$ ,  $\underline{Y}_0$ . Renditja e kundërt konsiderohet e barabartë me renditjen e drejtë. Shndërrimi realizohet nëpërmjet matrices komplekse të transformimit:

$$[\underline{T}_s] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \rightarrow [\underline{T}_s]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad 3.67$$

$$[\underline{Z}_{012}] = [\underline{T}_s]^{-1} * [\underline{Z}_{abc}] * [\underline{T}_s] \quad 3.68$$

Rrjedhimisht impedancat dhe përcjellshmëritë vetjake dhe reciproke, do të lidhen me  $\underline{Z}_1$ ,  $\underline{Y}_1$ ,  $\underline{Z}_0$ ,  $\underline{Y}_0$ , si me poshtë:

$$\underline{Z}_s = \frac{1}{3} * (\underline{Z}_0 + 2 * \underline{Z}_1); \quad 3.69$$

$$\underline{Y}_s = \frac{1}{3} * (\underline{Y}_0 + 2 * \underline{Y}_1) \quad 3.70$$

$$\underline{Z}_m = \frac{1}{3} * (\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1); \quad 3.71$$

$$\underline{Y}_m = \frac{1}{3} * (\underline{Y}_0 - \underline{Y}_1); \quad 3.72$$

Nga pikëpamja matematikore linjat kablllore nëntokësore mund të modelohet në të njëjtën mënyrë si një linjë transmetimi ajrore. Dallimi i vetëm është në vlerat e parametrave R, X, B.

Për shkak se ka shumë metoda të ndërtimit të kablllove, parametrat e këtyre kablllove të ndryshme mund të jenë gjithashtu mjaft të ndryshme në varësi të materialeve të përdorura. Në veçanti kapaciteti i shuntit të kabllit lidhet me faktin nëse përcjellesi trefazorë është ekranizuar ose perbehet nga kablllo të veçanta njëfazore. Reaktanca në seri për njësi me gjatësi të një kabllloje është rreth gjysma e asaj të një linje ajrore të vlerësuar në mënyrë të ngjashme.

Nga ana tjetër, rryma e kapacitive për njësi të gjatësisë është rreth 30 herë më shumë. Kjo do të thotë se edhe për një linje kablllore të shkurtër prej disa dhjetëra kilometrash, rryma kapacitive në kablllo përbën a një pjesë e konsiderueshme e rrymës maksimale (limitit termik) të saj të pranueshme termikisht dhe kufizon aftësinë transmetuese. Në rastin të një kabllloje të gjatë, rryma kapacitive do të ishte e barabartë me rrymen maksimale dhe nuk do të kishte kapacitet për transmetim të energjisë. Ngarkimi është pengesa kryesore për aplikimin praktik të kablllove AC të gjata në transmetimin e energjisë.

### 3.10 Modelimi ngarkesave

Rrjeti i transmetimit dhe shpërndarjes është sistemi që lidh njesitë e prodhimit të energjisë elektrike me qendrat e ngarkesës. Zakonisht numri i nyjeve në rrjetin e transmetimit është më i vogël se numri i nyjeve në rrjetin shpërndarës. Rrjedhimisht për arsye praktike rrjeti i transmetimit modelohet në formë të detajuar. Ndërkohe rrjeti shpërndarës modelohet në formë ekuivalente. Kjo do të thotë se ngarkesa e rrjetit shpërndarës duhet ekuivalentuar me një model ngarkese të përberë (kompozite)[20] e cila është në gjendje të simulojë sjelljen e saj. Për shkak të karakterit të ndryshëm që ka ngarkesa në çdo konsumator të lidhur në rrjetin shpërndarës, nga pikëpamja praktike kjo paraqet vështirësi mjaft të mëdha, praktikisht të pakalueshme, e cila do të për afrohet nëpërmjet përdorimit të modeleve të përbëra.

Në gjendje të vendosur fuqia e ngarkesës varet nga tensioni në nyje V dhe nga frekuenca e sistemit f. Funkcionet të cilat përshkruajnë varësinë e fuqisë aktive dhe reaktive nga tensioni dhe frekuenca janë P(V,f) dhe Q(V,f) dhe emërtohet karakteristikat statike të ngarkesës. Karakteristikat P(V) dhe Q(V) quhen karakteristikat e tensionit në një frekuencë konstante, ndërsa P(f) dhe Q(f) janë karakteristikat e frekuencës për një tension konstant. Pjerrësia e këtyre funksioneve referohet zakonisht si faktorëve të ndjeshmërisë së ngarkesës ndaj tensionit ose frekuencës.

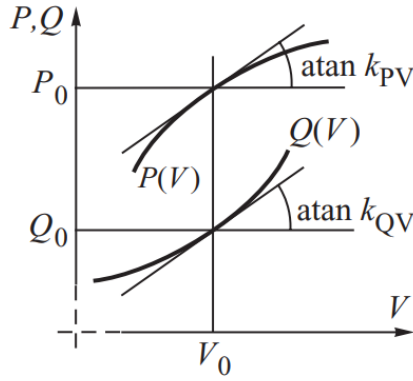


Figura 22 Ilustrim i ndjeshmërisë së ngarkesës ndaj tensionit

Faktorët e ndjeshmërisë shprehen me termat  $k_{PV}$  dhe  $k_{QV}$ , ose  $k_{Pf}$  dhe  $k_{Qf}$  për frekuencën dhe shprehen në njësi relative për një pikë pune të caktuar si më poshtë:

$$k_{PV} = \frac{\frac{\Delta P}{P_0}}{\frac{\Delta V}{V_0}}, k_{QV} = \frac{\frac{\Delta Q}{Q_0}}{\frac{\Delta V}{V_0}}, k_{Pf} = \frac{\frac{\Delta P}{P_0}}{\frac{\Delta f}{f_0}}, k_{Qf} = \frac{\frac{\Delta Q}{Q_0}}{\frac{\Delta f}{f_0}} \quad 3.73$$

ku,  $V_0$ ,  $P_0$ ,  $Q_0$ ,  $f_0$ , janë kushtet fillestare për tensionin, fuqinë aktive, fuqinë reaktive dhe frekuencën.

Një ngarkesë do të konsiderohet e “ngurtë” nëse faktorët e ndjeshmërisë janë të vegjël. Nëse faktorët e ndjeshmërisë së tensionit janë zero, atëherë fuqia e ngarkesës nuk do të ketë varësi me tensionin. Një ngarkesë konsiderohet e ndjeshme ndaj tensionit nëse faktorët janë në vlera të larta dhe çdo ndryshim në tension do të shkaktojë një ndryshim të madh në vlerën e fuqisë së ngarkesës. Zakonisht faktorët e ndjeshmërisë së fuqisë aktive janë më të vegjël se të fuqisë reaktive për tensionin. Në këtë seksion do të trajtohet modeli i ngarkesave. Modelet me të thjeshta të ngarkesës janë:

- Ngarkesë me fuqi aktive konstant (P)
- Ngarkesë me rrymë konstante (I)
- Ngarkesë me impendancë konstante (Z)

Modelimi një ngarkese me kërkesë aktive konstante, e cila është e pandryshueshme ndaj tensionit dhe lejon një vlerë konstante të tensionit, shprehet nëpërmjet  $k_{PV} \approx k_{QV} = 0$ , për të paraqitur ngarkesat. Zakonisht ky model përdoret në llogaritjet statike të shpërndarjes së flukseve, por është i pamjaftueshëm si model në simulime dinamike ose llogaritje të tjera.

Modeli me rrymë konstante, paraqet një ngarkesë e cila ndryshon vlerën në mënyrë lineare me tensionin  $k_{PV} \approx 1$ , pra nënkupton një miks të ngarkesës rezistive dhe motorrike.

Modeli me impendancë konstante i referohet rastit kur fuqia ndryshon proporcionalisht me katrorin e tensionit  $k_{PV} \approx k_{QV} = 0$ , dhe i referohet ngarkesave të ndricimit kryesisht.

#### a) Modeli ZIP

Për të përftuar një model më të mirë, i cili kombinon të tre modelet e mësipërme, duke kombinuar sjelljet e të tre modeleve, përdoret modeli polinomial ose i quajtur ndryshe Modeli ZIP, i cili përfshin shumën e modelit me fuqi aktive konstante (P), ngarkesa me rrymë konstante (I) dhe Impedance konstante (Z) me termat si më poshtë:

$$\begin{aligned} P &= P_0 \left[ a_1 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + a_2 \left( \frac{V}{V_0} \right) + a_3 \right] \\ Q &= Q_0 \left[ a_4 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + a_5 \left( \frac{V}{V_0} \right) + a_6 \right] \end{aligned} \quad 3.74$$

ku,  $V_0$ ,  $P_0$ ,  $Q_0$ , janë vlerat e kushteve fillestare. Parametrat e modelit polinomial janë koeficientët nga  $a_1$  deri te  $a_6$  dhe faktori fuqisë ( $\cos \varphi$ ) se ngarkesës. Në rastet që kemi mungesë të informacioneve për ngarkesën, fuqia aktive paraqitet me modelin me rrymë konstante, ndërsa fuqia reaktive paraqitet me modelin me impedance konstante.

#### b) Modeli eksponencial

Në këtë model fuqia lidhet me tensionin sipas barazimeve me poshtë:

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{n_p} \quad \text{dhe} \quad Q = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{n_q}, \quad 3.75$$

Ku,  $n_p$  dhe  $n_q$  janë parametrat e modelit [20]. Mund të vihet re se duke vendosur parametrat 0,1,2, ngarkesa mund të shprehet si model me fuqi konstante, rrymë konstante, impedance konstante. Pjerresia e kurbës së modelit eksponencial varet nga parametrat  $n_p$  dhe  $n_q$ .

### 3.11 Modelimi shunt-reaktorëve dhe kapacitorëve

Shunt Reaktorët dhe elementet në seri, si kapacitorët në seri dhe kompensatorët shunt, përdoren në sistemin e transmetimit për disa qëllime. Në do të analizojmë për qëllime të kompensimit të fuqisë reaktive dhe rritjes së qëndrueshmërisë.

Zakonisht, fuqia reaktive dhe fuqia aktive mund të shkaktojnë ndryshime të mëdha në profilin e tensionit në rrjet. Fuqia reaktive nuk mund të transmetohet në distanca të mëdha, por duhet të kompensohet pranë qendrave të konsumit. Metoda më e thjeshtë është përdorimi i kompensimit shunt, duke vendosur kapacitor ose induktor pranë ngarkesës ose në nyjen ku është lidhur ngarkesa.

Elementët e shunt mund të vendosen gjithashtu përgjatë sistemit të transmetimit për të minimizuar humbjet e energjisë dhe rëniet e tensionit. Tradicionalisht, elementët statikë të shuntit operohen me celësa ose komandohen me rele tensioni e cila bën kycjen/çkycjen sipas tarimit të relese të tensionit. Teknika moderne e komandimit të shunteve përfshin përdorimin e tiristorëve për komandimin e shunteve.

Kur kërkesa për energji në sistemit është e ulët, fuqia reaktive e prodhuar nga kapaciteti i linjës së transmetimit mund të mbizotërojë mbi fuqinë reaktive të konsumuar nga induktiviteti i linjës së transmetimit, rrjedhimisht linja e transmetimit mund të jetë një burim neto i fuqisë reaktive. Efekti i kësaj mund të jetë për të rritur tensionet e rrjetit në vlera të larta. Në rrethana të tilla mund të përdoren shunt reaktorët, të cilët konsumojnë fuqinë reaktive të tepërt dhe përftohet një profil tensioni brenda vlerave të lejuara. Zakonisht nevojiten shunt reaktorë për linjat e transmetimit më të gjata se 200 km. Gjatë kushteve të ngarkimit të rëndë disa nga

reaktorët mund të duhet të shpëputen dhe kondensatorët e shunt të përdoren për të furnizuar fuqinë reaktive dhe për të rritur tensionet.

Një tjetër mjet tradicional për sigurimin e kompensimit të shuntit është përdorimi i një kompensuesi sinkron. Ky është një makinë sinkron me pole të dukshme që funksionon në regjimin pa ngarkesë dhe fusha e të cilit kontrollohet në mënyrë që të gjenerojnë ose konsumojë fuqinë reaktive. Kur mbi-eksitohet, kompensuesi sinkron është burimi i fuqisë reaktive; kur

nën-eksitohet ai konsumon fuqinë reaktive. Edhe pse relativisht e shtrenjtë kompensatorët sinkron luajnë një rol të rëndësishëm në kontrollin e tensionit dhe fuqisë reaktive në nivelet e tensionit të transmetimit dhe veçanërisht të nëntransmetimit. Ato përdoren për të përmirësuar qëndrueshmërinë e tensionit dhe ruajtjen e tensioneve brënda kufijve të dëshiruar në kushte të ndryshme të ngarkesës dhe situatave kur ndodh një kontigjence.

Kur përdoren në nënstacionet e reja, kompensatorët sinkron shpesh plotësohen nga bateritë e kondensatorëve shunt të komandueshem në mënyrë që të zvogëlohen kostot e instalimit dhe funksionimit. Në shumicën e instalimeve të kompensuesve sinkron janë projektuar për funksionim të kycjes ose çkycjes në mënyrë të pambikëqyrrur me kontroll automatik. Kompensimi shunt realizohet në nyje të ndryshme të sistemit të fuqisë me qëllim kontrollin e tensionit dhe stabilizimin e ngarkesës duke përmirësuar faktorin e fuqisë pranë ngarkesës( $\cos\Phi$ ). Si rrjedhim duke vendosur shunt reaktor në sistemet elektroenergjitike arrihet një vlerë konstante tensioni e cila lejon që gjeneratorët të punojnë në regjime pune optimale me tension nominal

a) Shunt reaktor

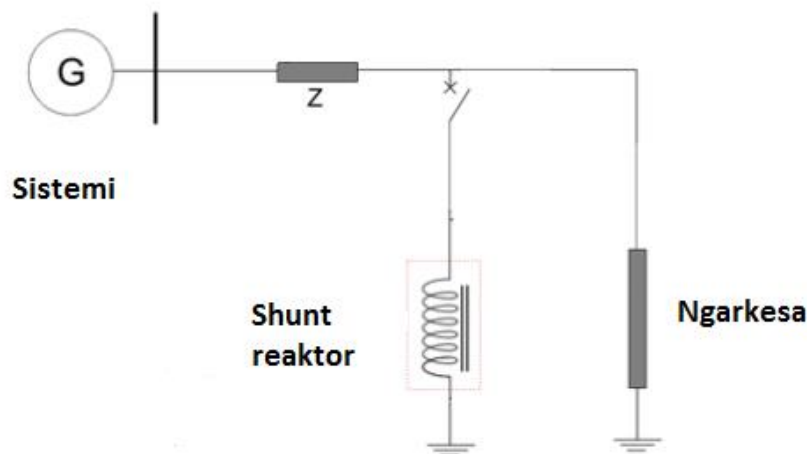


Figura 23 Skema e lidhjes së shunt reaktoreve

Në Figura 23, tregohet një shunt reaktor i vendosur në një nyje të sistemit. Kjo lloj metode për kontrollin e nivelit të tensionit përdoret në rastet kur kemi linja të gjata transmetimi apo kablllo nëntokësor. Duke qenë se linjat e gjata të transmetimit do të shkaktojnë një rritje të fuqisë reaktive në nyjet ku janë lidhur atëherë kycja e shunt reaktorit do të ul vlerën e tensionit brenda vlerave të lejuara për operimin normal të sistemit të fuqisë. Kycja e shunt reaktorit mund të bëhet me një hap ose mund të jetë me disa hapa.

b) Reaktorët e kontrolluar me tiristorë (Thyristor Controlled reactor-TCR)

Reaktori i kontrolluar me tiristorë mund të kontrollohet në mënyrë që të absorbohet vlera e dëshiruar e fuqisë reaktive nga rrjeti me anë të komandimit të tiristorëve. Duke qenë se në këtë konfigurim janë të vendosur tiristorë mund të arrihet një kontroll i vazhdueshëm i fuqisë reaktive në nyjen ku është lidhur shunt reaktori.

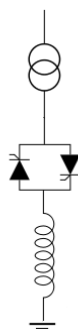


Figura 24 Reaktor i kontrolluar me tiristorë

c) Kapacitor të kontrolluar me tiristorë (Thyristor Switched Capacitor –TSC)

Në rastet kur ngarkesa në një nyje është e lartë kërkohet të realizohet kompensimi fuqisë reaktive lokalisht duke vendosur kapacitor për të rikthyer tensionin në vlerat nominale. Kycja e kompensatorëve realizohet duke komanduar tiristorët.

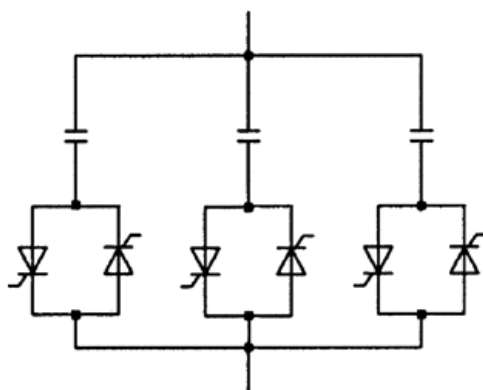


Figura 25 Kapacitor të kontrolluar me tiristorë

d) Kombinim i reaktorëve dhe kapacitorëve me kontroll me tiristorë

Aplikimi i kombinuar i reaktorëve dhe kapacitorëve është metoda me efektivitet më të lartë pasi të lejon kontroll të tensionit në të gjithë diapazonet e tij. Gjithashtu përdorimi i pajisjeve të elektronikës të fuqisë si tiristorët në këtë rast lejon kycje dhe çkycje pa fenomene kalimtare dhe me hapa të vegjël sipas nevojave për fuqi reaktive në nyjen në fjalë por edhe më gjerë në sistemin elektroenergjetik.

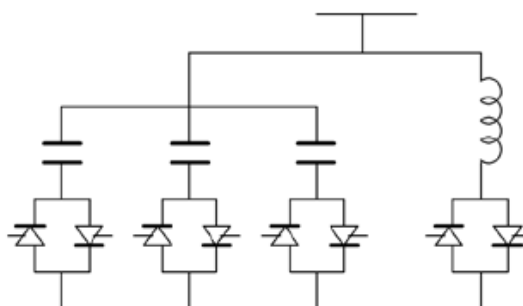


Figura 26 Kombinim i reaktorëve dhe kapacitorëve me kontroll me tiristorë

### 3.12 Modelimi rregullatorëve të shpejtësisë

Burimet kryesore të energjisë elektrike që furnizojnë konsumatorin janë hidrocentralet (burim energjia kinetike e ujit) dhe termocentralet (burim energjia termike e nxjerrë nga lëndët djegëse fosile ose ndarja bërthamore). Pajisjet si turbina (prime movers) konvertojnë këto burime të energjisë në energji mekanike (uji, avulli etj.), e cila më pas konvertohet në energji elektrike nëpërmjet gjeneratorëve sinkron. Sistemet e rregullimit të pajisjeve kryesore ofrojnë mundësinë për kontrollin e fuqisë dhe frekuencës, një funksion i njohur si kontrolli i fuqisë dhe frekuencës ose kontroll automatik i gjenerimit (AGC). Figura 27 paraqet marrëdhëniet funksionale ndërmjet elementeve bazë të lidhur me gjenerimin dhe kontrollin e prodhimit të energjisë. Ky kapitull shqyrton karakteristikat e pajisjeve kryesore dhe sistemet e furnizimit me energji, gjithashtu zhvillon modele të përshtatshme për përfaqësimin e tyre në studimet dinamike të sistemit elektroenergjitik.

#### 3.12.1 Turbinat hidraulike dhe sistemet e kontrollit

Turbinat i ndajmë në dy grupe të mëdha si:

- 1) Turbina Impulsive
- 2) Turbina Reaktive

Turbina e tipit impulsiv (Impulse Turbines), që përfaqësohet nga turbina Pelton, përdoret për lartësi të mëdha, nga 300 metra e lart. Rrotori është në presion atmosferik dhe e gjithë rënia e presionit ndodh në hundëzat e palëvizshme që e kthejnë energjinë potenciale në energji kinetike. Rrjedhja me shpejtësi të lartë e ujit godet lopatat (forme të lugët) të cilat janë të fiksuara në rrotor; këto të fundit devijojnë ujin në mënyrë aksiale për rreth 160°. Ndryshimi i momentit në aksin e turbinës krijon një çift forcash rrotullues që e bën të mundur lëvizjen e turbinës.

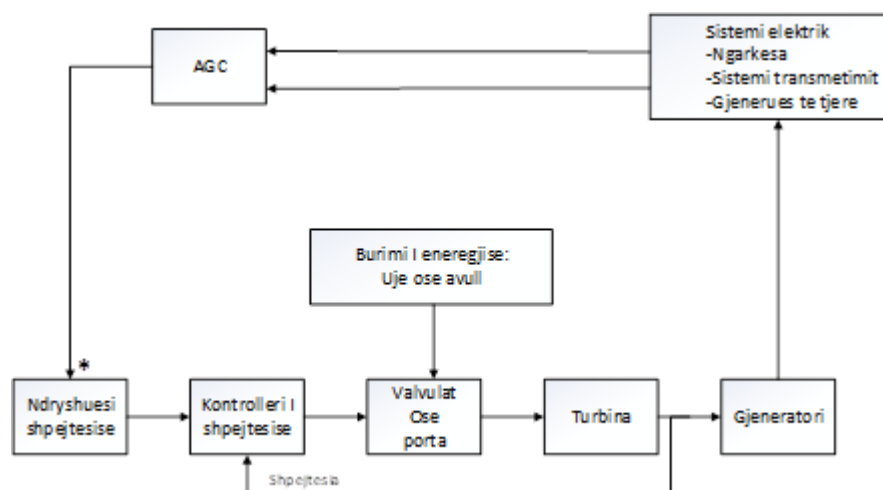


Figura 27 Bllokskemë ilustruese e rregullimit për turbinat

Në një turbinë reaksioni, presioni brenda turbinës është më i lartë se ai atmosferik; në këtë rast, uji përmban energji kinetike dhe potenciale. Uji fillimisht kalon përmes një mbështjellje spirale nëpërmjet shufrave radiale të palëvizshme dhe portave që janë rreth gjithë periferisë së saj. Portat kontrollojnë fluksin e rrjedhjes së ujit.

---

Ka dy kategori turbinash reaktive:

- **Turbina Francis:** Përdoret për rënie (lartësi) deri në 360 metra. Në këtë lloj turbine, uji rrjedh përmes fletëve drejtuese duke goditur rrotorin në mënyrë tangenciale dhe duke dalë aksialisht.
- **Turbina Propler:** Siç diktohet nga emri, përdor rrota e punes të llojit propeler. Ajo përdoret për rënie (lartësi) të ulëta, deri në 45 metra. Mund të ndërtohet duke përdorur fletë të fiksuara ose fletë (lopata) me pjerrësi të ndryshueshme. Turbina propeler me fletë me pjerrësi të ndryshueshme, e njohur zakonisht si turbina Kaplan, ka efikasitet mjaft të lartë.

Performanca e një turbine hidraulike ndikohet nga karakteristikat e kolonës së ujit që furnizon turbinën; këto përfshijnë efektet e inercisë së ujit, kompresueshmërisë së ujit dhe elasticitetit të murit të tubacionit në “penstock”. Efekti i inercisë së ujit ndikon që ndryshimet në rrjedhën e turbinës të jenë më të ngadalta se ndryshimet në hapjen e portës së turbinës. Efekti i elasticitetit është të shkaktojë valë bredhëse të presionit në tubacion; kjo dukuri njihet zakonisht si "grushti hidraulik"

### 3.12.2 Turbinat hidraulike dhe sistemet e rregullimit

Modelimi i saktë i turbinave hidraulike kërkon supozime të ngjashme me ato të linjave të transmetimit. Dualiteti qëndron midis rrjedhjes së fluidit në formë vale dhe rrjedhjes së rrymës. Zakonisht, shpejtësia e përhapjes së këtyre valëve bredhëse është rreth 1200 metra në sekondë. Prandaj, modelet e valëve bredhëse mund të kërkojnë vetëm kur penstock-u është i gjatë.

Në vijim, së pari do të zhvillojmë modele të sistemit të turbinës hidraulike dhe të penstock-ut pa marrë parasysh efektet e valëve bredhëse, duke supozuar që nuk ka rezervuar uji. Pastaj, do të identifikojmë kërkesat e veçanta për rregullatorët e turbineve hidraulike. Në fund, do të zgjerojmë modelin duke trajtuar efektet e grushtit hidraulik dhe rezervuarit.

#### Funksioni transmetues i turbinës Hidraulike

Përfaqësimi i turbinës hidraulike dhe kolonës së ujit në studimet që bëhen mbi qëndrueshmërinë zakonisht bazohet në supozimet e mëposhtme:

1. Rezistenca hidraulike është e papërfillshme. Kjo do të thotë se ndikimi i humbjeve të energjisë për shkak të fërkimeve dhe pengesave në rrjedhën e ujit është i zakonshëm dhe nuk merret parasysh në analizë.
2. Tubacioni penstock është jo elastik dhe uji është i pa kompresueshëm. Kjo supozim nënkupton që penstock-u nuk ndryshon në dimensione për shkak të presionit dhe që uji nuk ndryshon në volum për shkak të kompresionit, duke e bërë analizën më të thjeshtë.
3. Shpejtësia e ujit ndryshon drejtpërdrejt me hapjen e portës dhe me rrënjën katrore të lartësisë së rënies neto. Ky supozim ndihmon në lidhjen e shpejtësisë së rrjedhjes së ujit me parametrat e tjera të sistemit, si hapja e portës dhe lartësia e rënies.
4. Fuqia dalëse e turbinës është proporcionale me produktin e lartësisë dhe rrjedhës volumetrike. Kjo nënkupton që fuqia e prodhuar nga turbina është një funksion i drejtpërdrejtë i lartësisë së rënies së ujit dhe sasisë së ujit që kalon përmes turbinës.

Elementet thelbësore të impiantit hidraulik janë paraqitur në Figura 28.

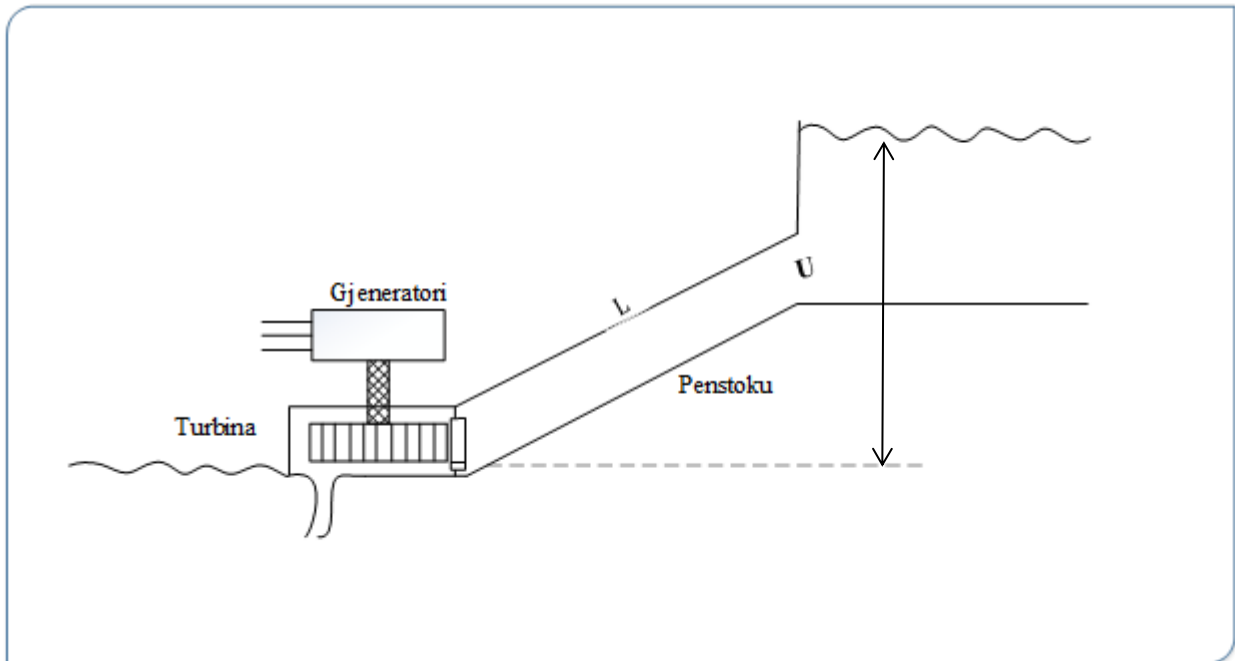


Figura 28 Skema e një impianti hidrik

Karakteristikat e turbinës dhe penstokut përcaktohen nga tre ekuacione bazë:

1. Shpejtësia e ujit në penstok
2. Fuqia mekanike e turbinës
3. Përsheptimi i kolonës së ujit

Shpejtësia e ujit në penstok jepet nga:

$$U = K_u G \sqrt{H} \quad 3.76$$

Ku

$K_u$ - Konstante proporcionale

U- Gradienti i shpejtësisë së ujit

G- Pozicioni i portës

H- Lartësia e rënies

Për devijime të vogla nga pika e punës kemi,

$$\Delta U = \frac{\partial U}{\partial H} \Delta H + \frac{\partial U}{\partial G} \Delta G \quad 3.77$$

Zëvendësimi i shprehjeve të përshtatshme për derivatet e pjeshme dhe ndarja e tyre jepet duke ditur që

$$U_0 = K_u G \sqrt{H_0} \quad 3.78$$

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \frac{\Delta H}{2H_0} + \frac{\Delta G}{G_0} \quad 3.79$$

---

Ose

$$\Delta \bar{U} = \frac{1}{2} \Delta \bar{H} + \Delta \bar{G} \quad 3.80$$

ku "0" tregon vlerat fillestare në regjim të qëndrueshëm, ndërsa  $\Delta$  tregon devijim të vogël dhe viza e sipërme "-" tregon vlerat e normalizuara referuar regjimit të qëndrueshëm. Fuqia mekanike e turbinës është në proporcion të drejtë me produktin e presionit dhe rrjedhjes së ujit, pra;

$$P_m = K_p H U \quad 3.81$$

Linearizimi duke konsideruar ndryshime  $\Delta$  dhe normalizimi duke pjesëtuar dy anët me  $P_{m0} = K_p H_0 U_0$  na jep:

$$\frac{\Delta p_m}{P_{m0}} = \frac{\Delta H}{H_0} + \frac{\Delta U}{U_0} \quad 3.82$$

Ose

$$\Delta \bar{P}_m = \Delta \bar{H} + \Delta \bar{U} \quad 3.83$$

Zëvendësimi i  $\Delta \bar{U}$  nga ekuacioni 3.80 jep:

$$\Delta \bar{P}_m = 1.5 \Delta \bar{H} + \Delta \bar{G} \quad 3.84$$

Ndryshe zëvendësimi  $\Delta \bar{H}$  nga ekuacioni. 3.80 do na japë

$$\Delta p_m = 3 \Delta \bar{U} - 2 \Delta \bar{G} \quad 3.85$$

Ndryshimi i shpejtësisë së ujit që vjen si shkak i një ndryshimi në lartësinë e rënies së ujit në turbinë, karakterizohet nga ligji i dytë i Njutonit, shprehja merr formë të tillë:

$$(\rho L A) \frac{d\Delta U}{dt} = -A(\rho a_g) \Delta H \quad 3.86$$

Ku

**L**= Gjatësia e kanalit

**A**= Zona e tubit

**P**= Densiteti i masës

**a<sub>g</sub>**= Nxitimi

**ρL A**= Sasia e ujit në kanal

**ρa<sub>g</sub>ΔH**= Rritja e presionit në hashin e turbinës

**t**= Koha në sekonda

Duke thjeshtuar dy anët me  $A \rho a_g H_0 U_0$ , ekucioni i nxitimit do të jetë

$$\frac{L U_0}{a_g H_0} \frac{d}{dt} \left( \frac{\Delta U}{U_0} \right) = - \frac{\Delta H}{H_0} \quad 3.87$$

Ose

---

$$T_W \frac{d\Delta\bar{U}}{dt} = -\Delta\bar{H} \quad 3.88$$

Nga ku dihet që

$$T_W = \frac{L U_0}{a_g H_0} \quad 3.89$$

$T_W$  cilësohet si koha e “rënies së ujit”, e cila përfaqëson kohën e nevojshme që uji të arrijë shpejtësinë nominale duke pasur parasysh lartësinë e tubit  $H_0$ , si shpejtësi nominale i referohemi  $U_0$ . Duhet cilësuar që  $T_W$  varet nga ngarkesa. Përgjithësisht, për ngarkesë të plotë,  $T_W$  varion nga 0.5s deri në 4s.

Ekuacioni 3.88 përfaqëson një nga karakteristikat më të rëndësishme për një impiant hidraulik. Ekuacioni na tregon që, nëse aplikohet një presion i kundërt në fund të penstokut, pra mbyllet porta, atëherë kjo do të sillte një ulje të shpejtësisë së ujit gjatë rënies. Në këtë rast, nxitimi i ujit dhe presioni janë në përpjesëtim të zhdrejtë.

$$T_W \frac{d\Delta\bar{U}}{dt} = 2(\Delta\bar{G} - \Delta\bar{U}) \quad 3.90$$

Zëvendësojmë  $d/dt$  me operatorin  $s$  të Laplasit, kemi:

$$T_W s \Delta\bar{U} = 2(\Delta\bar{G} - \Delta\bar{U}) \quad 3.91$$

Ose

$$\Delta\bar{U} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} T_W s} \quad 3.92$$

Duke zëvendësuar  $\Delta\bar{U}$  nga ekuacioni 3.85 marim:

$$\frac{\Delta\bar{P}_m}{\Delta\bar{G}} = \frac{1 - T_W s}{1 + \frac{1}{2} T_W s} \quad 3.93$$

Ekuacioni 3.93 përfaqëson funksionin transmetues klasik për turbinat hidraulike. Ky ekuacion paraqet se si fuqia në dalje të turbinës është në varësi të hapjes së portës, gjithmonë duke iu referuar një turbine ideale (pa humbje). Në rastin e Turbinat jo-ideale

Funksioni transmetues për një turbinë jo-ideale merret duke pasur parasysh shprehjet e mëposhtme mbi vlerën e shpejtësisë së rrjedhjes së ujit dhe fuqinë e turbinës:

$$\Delta\bar{U} = a_{11} \Delta\bar{H} + a_{12} \Delta\bar{\omega} + a_{13} \Delta\bar{G} \quad 3.94$$

$$\Delta\bar{P}_m = a_{21} \Delta\bar{H} + a_{22} \Delta\bar{\omega} + a_{23} \Delta\bar{G} \quad 3.95$$

Ku  $\Delta\bar{\omega}$  është devijimi për njësinë e shpejtësisë. Përgjithësisht, devijimet e shpejtësisë janë të vogla, në veçanti kur njësia është e sinkronizuar me një sistem me fuqi të infinit, prandaj termat e lidhur me  $\Delta\bar{\omega}$  mund të neglizhohen, atëherë kemi:

$$\Delta\bar{U} = a_{11} \Delta\bar{H} + a_{13} \Delta\bar{G} \quad 3.96$$

$$\Delta\bar{P}_m = a_{21} \Delta\bar{H} + a_{23} \Delta\bar{G} \quad 3.97$$

Koeficientet  $a_{11}$  dhe  $a_{13}$  janë derivate të pjesshme të rrjedhjes së ujit në lidhje me hapjen e portës hyrëse, ndërsa  $a_{21}$  dhe  $a_{23}$  janë derivate të pjesshme të fuqisë në dalje të turbinës në lidhje me hapjen e portës hyrëse. Këto koeficiente varen nga ngarkesa e njësisë dhe mund të vlerësohen nga karakteristika e turbinës në pikën e punës. Ekuacionet 3.96 dhe 3.97 zëvendësojnë ekuacionet 3.80 dhe 3.84, funksioni transmetues ndërmjet  $\Delta \bar{P}_m$  dhe  $\Delta \bar{G}$  do jetë:

$$\frac{\Delta \bar{P}_m}{\Delta \bar{G}} = a_{23} \frac{1 + \left( a_{11} - \frac{a_{13} a_{21}}{a_{23}} \right) T_W s}{1 + a_{11} T_W s} \quad 3.98$$

Koeficientët “a” ndryshojnë në varësi të llojit të turbinës. Për një turbinë ideale Francis kemi:

$$a_{11} = 0.5, \quad a_{13} = 1.0 \quad a_{21} = 1.5 \quad a_{23} = 1.0 \quad 3.99$$

Vlerat tipike të matura të koeficienteve “a” për një njësi 40 MW me turbinë Francis janë si më poshtë:

| Niveli i ngarkeses      | $a_{11}$ | $a_{13}$ | $a_{21}$ | $a_{23}$ |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Ngarkese e plote (100%) | 0.58     | 1.1      | 1.40     | 1.5      |
| Pa ngarkese             | 0.57     | 1.1      | 1.18     | 1.5      |

Tabela 12 Vlerat tipike të maturuara të koeficienteve “a”

### Karakteristikat e turbinave hidraulike

Funksioni transmetues i dhënë nga ekuacionet 3.93 ose 3.98 përfaqëson një sistem “non-minimum phase”. Karakteristika e këtij funksioni transmetues ilustruhet duke monitoruar “përgjigjen” gjatë ndryshimit të pozicionit të portës hyrëse.

Për një ndryshim pozicioni në  $\bar{G}$

$$\Delta \bar{P}_m(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left( s \frac{1}{s} + \frac{1 - T_W s}{1 + \frac{1}{2} T_W s} \right)^1 = -2 \quad 3.100$$

Nga teorema e vlerës përfundimtare kemi

$$\Delta \bar{P}_m(\infty) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left( s \frac{1}{s} + \frac{1 - T_W s}{1 + \frac{1}{2} T_W s} \right)^1 = 1 \quad 3.101$$

Sistemet me pole ose zero në gjysmën e djathtë të rrafshit të Laplasit quhen sisteme “non-minimum phase.” Këto sisteme nuk rezultojnë të kenë zhvendosjen në fazë aq sa është e nevojshme. Sistemet të tilla nuk mund të identifikohen vetëm duke njohur grafikun e amplitudës me frekuencën.

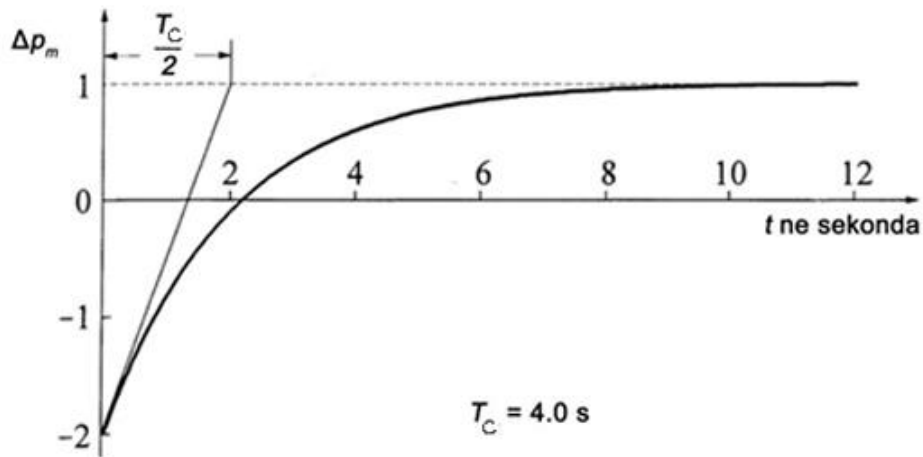


Figura 29 Varësia e ndryshimit të fuqisë mekanike të turbinës ndaj hapjes me një pozicion të portës hyrëse

Përgjigja e plotë në kohë jepet nga funksioni:

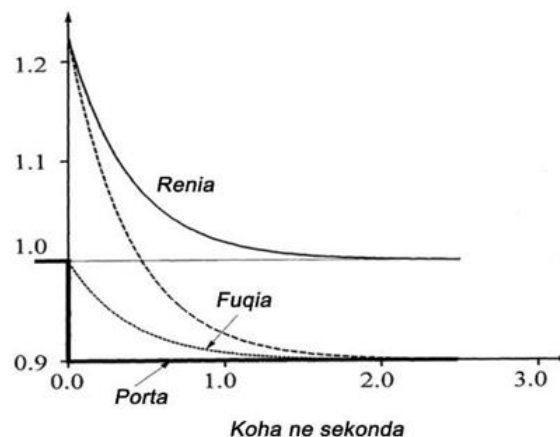
$$\Delta \bar{P}_m(t) = \left[ 1 - 3e^{-\left(\frac{2}{T_W}\right)t} \right] \Delta \bar{G} \quad 3.102$$

Figura 29 na jep një pasqyrë të plotë të përgjigjes në kohë për një model ideal të turbinës me  $T_W=4s$

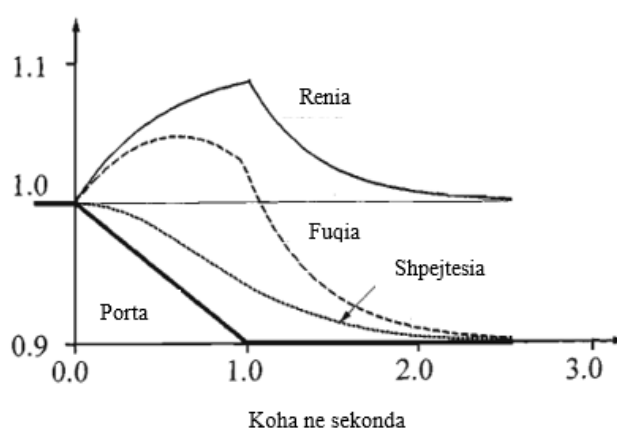
Menjëherë pas ndryshimit të pozicionit të portës me një njësi, vërejmë që fuqia mekanike do të zvogëlohet me 2 njësi. Me pak fjalë, kemi një rritje në mënyrë eksponenciale me konstantë kohe prej  $T_W/2$  deri në një gjendje të qëndrueshme me vlerë 1 njësi mbi gjendjen fillestare.

Rritja fillestare e fuqisë është e kundërt me hapjen e pozicionit të portës, për arsye se kur porta hapet papritur, rrjedha e ujit nuk ndryshon në mënyrë të menjëhershme për shkak të inercisë së ujit. Ndërkohë, presioni në tub zvogëlohet, çka sjell zvogëlim të fuqisë. Gjatë kohës  $T_W$  rrjedha e ujit përshpejtohet derisa të arrijë shpejtësinë nominale të qëndrueshme për pikën e punës.

Me poshtë paraqiten përgjigjet në formë grafike për fuqinë, lartësinë e turbinës dhe shpejtësinë e rrjedhjes së ujit për një turbinë hidraulike me  $T_W=1.0 s$  në rastin kur hapja e portës zvogëlohet me 0.1 njësi për:



a. Zvogëlimi i pozicionit të portës me një hap



### Analogjia midis turbinës hidraulike dhe qarkut elektrik

Për të pasur një tablo më të qartë mbi performancën e turbinave hidraulike, është e rëndësishme të krijohet një analogji me qarkun elektrik, ku të përdoren parametra të grumbulluar, siç tregohet në Figura 30. Në këtë rast, shikojmë që sistemi hidraulik dhe ai elektrik janë plotësisht ekuivalent, ku shpejtësia e ujit  $U$ , hapja e portës  $G$ , dhe lartësia  $H$  korrespondojnë përkatësisht me rrymen  $I$ , përçueshmërinë e ngarkesës  $G$ , dhe me tensionin  $V$ .

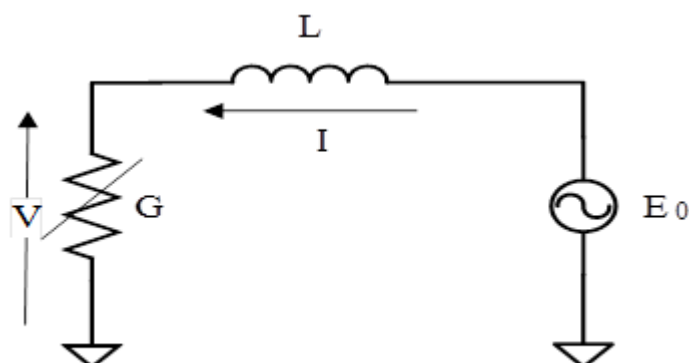


Figura 30 Qarku ekuivalet për një turbinë hidraulike

$$I = GV \quad \frac{dI}{dt} = \frac{1}{L}(E_0 - V) \quad \frac{dI}{dt} = \frac{1}{L}(E_0 - V) \quad P = VI \quad 3.103$$

Kur kemi një zvogëlim të ngarkesës si pasojë e zvogëlimit të përçueshmërisë, në këtë moment, rryma  $I$  nuk ndryshon, por tensioni në ngarkesë pëson një rritje të shpejtë për shkak të zvogëlimit të përçueshmërisë (ose rritjes së rezistencës). Kjo bën që të kemi një rritje të fuqisë në dalje. Me një madhësi të caktuar nga induktiviteti  $L$ , rryma  $I$  zvogëlohet në mënyrë eksponenciale deri sa arrin një vlerë të qëndrueshme, për të cilën kemi një fuqi konstante në dalje.

### 3.12.3 Modeli jo-linear i turbinës, duke pranuar një kolonë jo-elastike uji

Modeli linear i nxjerrë nga ekuacioni 3.98 paraqet trajtën e sinjalit “te ulet” të turbinës. Për tarimin e një sistemi kontrolli, është e nevojshme të përdoren teknika të analizës lineare si

përgjigja në frekuencë, root locus, etj. Për shkak të thjeshtësisë së strukturës së tij, ky model ofron informacion mbi karakteristikat themelore të sistemit hidraulik.

Vite më parë, prezantimi i turbinës hidraulike në studimet e qëndrueshmërisë të sistemit lidhej me funksionin transmetues të dhënë në ekuacionin 3.93 ose në ekuacionin 3.98. Por një model i tillë nuk është i mjaftueshëm për studime që përfshijnë ndryshime të mëdha të fuqisë në dalje dhe frekuencës. Në këtë kapitull, ne paraqesim një model jo-linear i cili është i përshtatshëm për simulime të sinjaleve të mëdha në rrafshin e kohës.

Përsëri, ne konsiderojmë një sistem të thjeshtë hidraulik me një me gjatësi të pafundme, gjithashtu me ose pa kullë ekuilibri.

Duke supozuar një kanal në të cilin kalon një fluid i pakompresueshëm, ekuacioni bazë hidrodinamik do të ishte:

$$U = K_u G \sqrt{H} \quad 3.104$$

$$P_m = K_p H U \quad 3.105$$

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{a_g}{L} (H - H_0) \quad 3.106$$

$$Q = AU \quad 3.107$$

Ku:

U= Shpejtësia e rrjedhës së ujit

G= Hapja ideale e portës

H=Rënia hidraulike e portës

H<sub>0</sub> =Vlera fillestare e H për gjëndje të qëndrueshme

P= Fuqia e turbinës

L=Gjatësia e kanalit

a<sub>g</sub>=Përsheptimi i rrjedhës së ujit

T=Koha në sekonda

Përderisa na intereson performanca e sinjalit në amplitudë të madhe, atëherë normalizojmë ekuacionet e mësipërme bazuar në vlerat e përcaktuara. Ekuacionet 3.104 dhe 3.105 në formë të normalizuar na japin:

$$\frac{U}{U_r} = \frac{G}{G_r} \left( \frac{H}{H_r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad 3.108$$

$$\frac{P}{P_r} = \frac{U}{U_r} \frac{H}{H_r} \quad 3.109$$

Vlerat që kanë shënimin “r” janë të ashtuquajturat vlera të përcaktuara. Ekuacionet e mësipërme mund t’i shenojmë duke i kthyer në njësinë bazë:

$$\bar{U} = \bar{G}(\bar{H})^{\frac{1}{2}} \quad 3.110$$

$$\bar{P} = \bar{U}(\bar{H}) \quad 3.111$$

Nga ekuacioni 3.110

$$\bar{H} = \left( \frac{\bar{U}}{\bar{G}} \right)^2 \quad 3.112$$

Në të njëjtën mënyrë, shkruajmë ekuacionin 3.106 si mëposhtë:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{U}{U_r} \right) = - \frac{a_g}{L} \frac{H_r}{U_r} \left( \frac{H}{H_r} - \frac{H_0}{H_r} \right) \quad 3.113$$

Ose

$$\frac{d\bar{U}}{dt} = - \frac{1}{T_W} (\bar{H} - \bar{H}_0) \quad 3.114$$

Nëse bëjmë transformimin e Laplasit, kemi:

$$\frac{\bar{U}}{\bar{H} - \bar{H}_0} = \frac{-1}{T_W s} \quad 3.115$$

Ku  $T_W$  koha e fillimit të rrjedhjes së ujit në ngarkesë nominale është një vlerë e fiksuar që referohet penstokut të turbinës dhe rrjedh si më poshtë:

$$T_W = \frac{L U_r}{a_g H_r} = \frac{L Q_r}{a_g A H_r} \quad 3.116$$

Fuqia mekanike në dalje  $P_m$  është:

$$P_m = P - P_L \quad 3.117$$

Ku  $P_L$  paraqet humbjet e fuqisë në turbine që rrjedh nga ekuacioni:

$$P_L = U_{NL} H \quad 3.118$$

Me  $U_{NL}$  është paraqitur shpejtësia e rrjedhjes së ujit në rastin kur nuk kemi ngarkesë, ku në një formë normalizuar dalim në përfundim që:

$$\frac{P_m}{P_r} = \frac{P}{P_r} - \frac{P_L}{P_r} = \left( \frac{U}{U_r} - \frac{U_{NL}}{U_r} \right) \frac{H}{H_r} \quad 3.119$$

ose

$$\bar{P}_m = (\bar{U} - \bar{U}_{NL}) \bar{H} \quad 3.120$$

Ekuacioni i mësipërm paraqet vlerat për njësinë bazë të fuqisë në dalje të turbinës, duke iu referuar një vlere të përcaktuar fuqie. Në rastet ku kryejmë studime mbi qendrueshmerine e rrjetit, zgjidhja e ekuacionit të rrotullimit të rrotorit kërkon që çifti rrotullues mekanik i turbinës të jetë i barabartë me fuqinë e plotë të gjeneratorit ose me një vlerë bazë fuqie. Atëherë

$$\bar{T}_m = \left( \frac{\omega_0}{\omega} \right) \bar{P}_m \left( \frac{P_r}{MVA_{base}} \right) = \frac{1}{\bar{\omega}} (\bar{U} - \bar{U}_{NL}) \bar{H} \quad 3.121$$

Ku

$\bar{\omega}$  = Shpejtësia për njësi bazë

$MVA_{base}$  = Fuqia Bazë e përcaktuar

$\bar{P}_r$  = Fuqia për njësi e turbinës

Në ekuacionet e mësipërme,  $\bar{G}$  është hapja ideale e portës e cila leviz nga zero ngarkes deri në ngarkes të plotë, që në njësitë bazë është e barabartë me 1. Kjo lidhet me hapjen reale të portës  $\bar{g}$ , siç shihet në Figura 31. Hapja reale e portës i referohet ndryshimit nga mbyllje e plotë në hapje të plotë

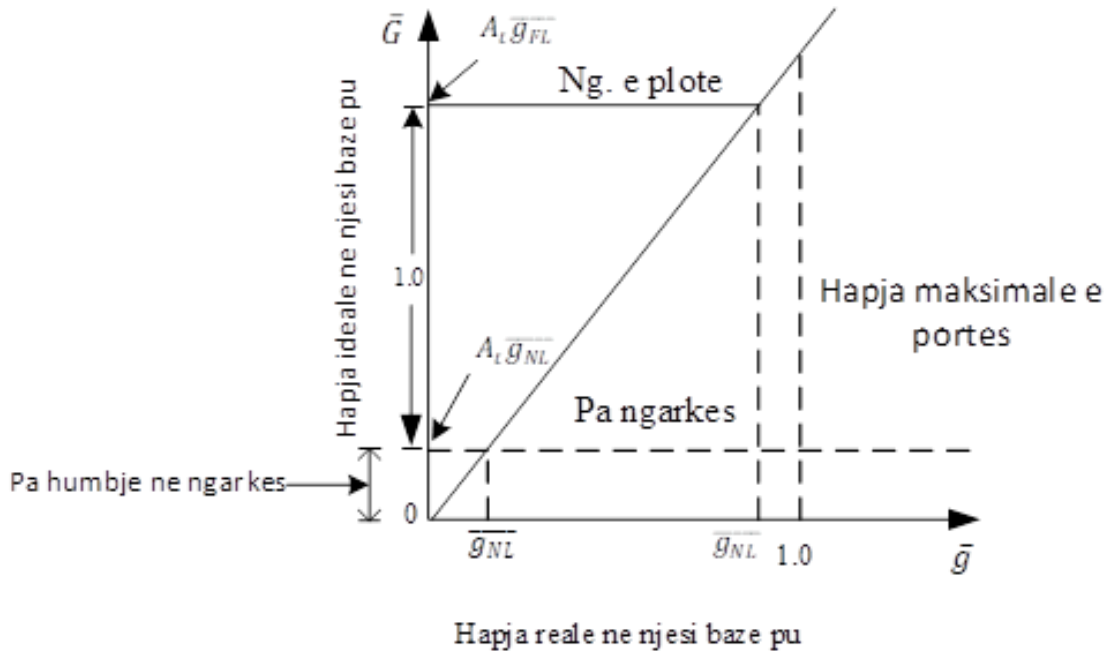


Figura 31 Varesia e hapjes ideale me hapje reale te aparatiti drejtues

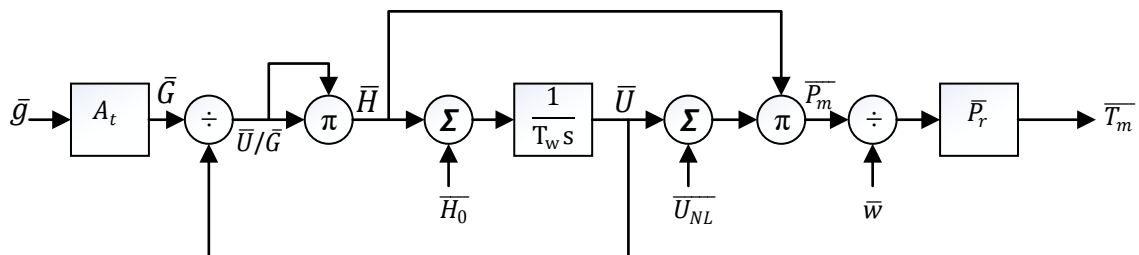
Hapja ideale e portës lidhet me hapjen reale të saj si mëposhtë:

$$\bar{G} = A_t \bar{g} \quad 3.122$$

Ku  $A_t$  është koeficienti i amplifikimit të turbinës që rrjedh nga:

$$A_t = \frac{1}{\bar{g}_{FL} - \bar{g}_{NL}} \quad 3.123$$

Për të përmbledhur dhe paraqitur një tablo të plotë mbi kolonen e ujit dhe karakteristikat e turbinës, ekuacionet nga 3.112 deri tek 3.116 dhe 3.121 deri tek 3.123 mund të paraqiten në një bllok-diagramë të thjeshtë që ilustron lidhjet dhe karakteristikat kryesore. Ky diagram mund të përfshijë:



$$A_t = \frac{1}{\bar{g}_{FL} - \bar{g}_{NL}} \quad T_W = \frac{LU_r}{a_g H_r} \quad \bar{P}_r = \frac{\text{Fuqia e turbinës në MW}}{\text{Fuqia baze MVA}} \quad 3.124$$

Pergjithsisht kemi:

$$\bar{g}_{FL} = 0.96 \text{ pu} \quad \bar{g}_{NL} = 0.16 \text{ pu} \quad T_W = 10 \text{ s} \quad 3.125$$

Modeli i Penstokut së bashku me turbinën mund të paraqitet nëpërmjet dy ekuacioneve ku njëri paraqet kolonën e ujit dhe tjetri turbinën:

Ekuacioni i kolonës së ujit:

$$\frac{d\bar{U}}{dt} = -\frac{1}{T_W}(\bar{H} - \bar{H}_0) = -\frac{1}{T_W} \left[ \left( \frac{\bar{U}}{A_t \bar{g}} \right)^{\frac{1}{2}} - \bar{H}_0 \right] \quad 3.126$$

Ekuacioni i turbinës:

$$\bar{T}_m = \frac{\bar{U} - \bar{U}_{NL}}{\bar{\omega}} \left( \frac{\bar{U}}{A_t \bar{g}} \right)^{\frac{1}{2}} \bar{P}_r \quad 3.127$$

Nga ekuacioni 3.126, duke konsideruar një gjëndje të qëndrueshme pa ngarkesë, ne kemi:

$$\bar{U}_{NL} = A_t \bar{g}_{NL} (\bar{H}_0)^{\frac{1}{2}} \quad 3.128$$

Zakonisht  $\bar{H}_0 = 1.0$

Përgjigjia në frekuencë e modelit jolinear me kolonë jo-elastike uji

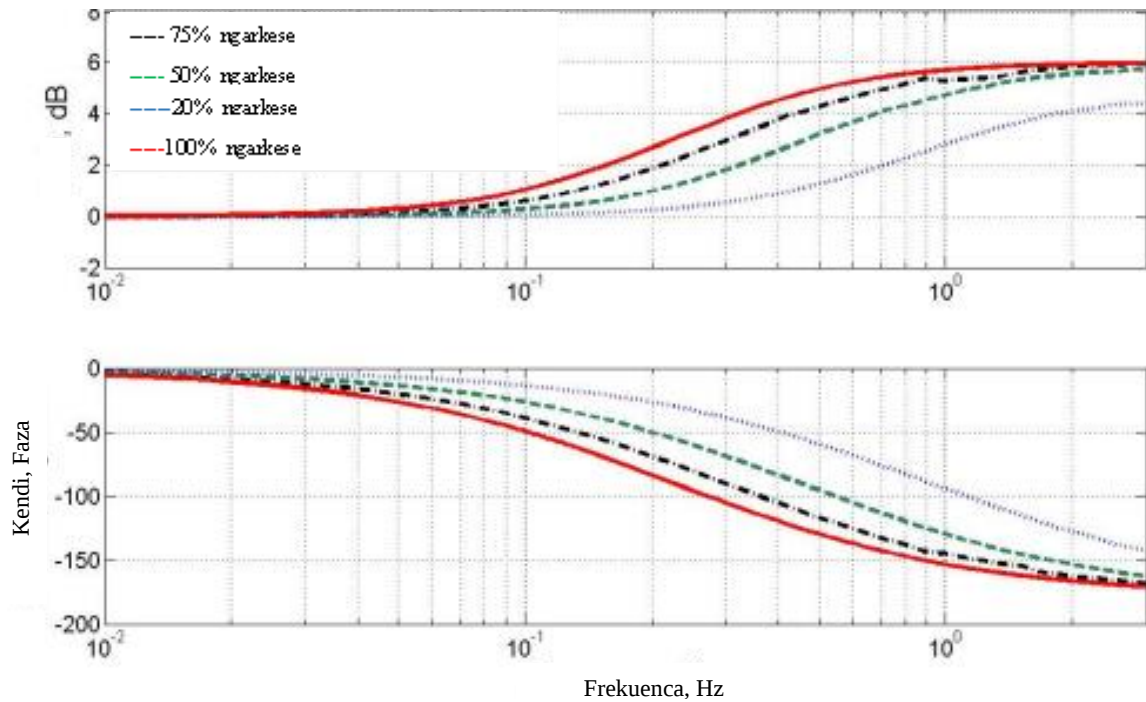


Figura 32 Përgjigjia në frekuencë e modelit jolinear me kolonë jo-elastike uji

Më lartë paraqitet përgjigja në frekuencë e modelit jo-linear për ngarkesë të plotë, 75% ngarkesë dhe 50% ngarkesë, ku koha e lëshimit të ujit në penstock për ngarkesë të plotë është 1 sekondë. Krahasuar me modelin linear për ngarkesa të ndryshme, përgjigjet në frekuencë të modelit jo-linear shfaqin ndryshime të mëdha. Diferencat në përgjigje në frekuencë mund të arrijnë deri në një “decade”. Nëse koha e lëshimit të ujit  $T_w$  nuk rillogaritet për ndryshimet në pikën e punës, modeli linear mund të japë përgjigje shumë të ndryshme nga realiteti, sidomos kur një njësi gjeneruese modelohet me më pak se ngarkesa e plotë. Ky ndryshim tregon se modeli jo-linear është më i saktë për analiza më të detajuara dhe për parashikimin e sjelljes së sistemit në kushte që ndryshojnë ndjeshëm nga ngarkesa e plotë.

### 3.12.4 Rregullatorët për Turbinën hidraulike

Funksioni kryesor i një aparati drejtues është të kontrollojë shpejtësinë dhe/ose ngarkesën. Në këtë kapitull do të diskutohen funksionet dhe kërkesat mbi një aparat drejtues të një turbine hidraulike, fenomenet dhe studimin e sistemit.

Kontrolli primar i shpejtësisë/ngarkesës përfshin kthimin dhe leximin e gabimit të shpejtësisë për të kontrolluar pozicionin e portës. Për të siguruar një punim të qëndrueshëm të disa njësive, aparati drejtues është i pajisur me një “karakteristikë statike”. Funksioni i kësaj karakteristike është të bëjë një shpërndarje të barabartë të ngarkesës midis njësive gjeneruese. Zakonisht, rënia e gjendjes së qëndrueshme vendoset në rreth 5%, një devijim i shpejtësisë prej 5% shkakton 100% ndryshim në pozicionin e portës ose në fuqinë dalëse. Kjo korrespondon me një koeficient gain 20. Për një turbinë hidro ku aparati drejtues është i pajisur me një karakteristikë të thjeshtë rënie, nuk do të ketë një punim të mirë.

### Kërkesat për një statizem kalimtar

Siç e dimë, turbinat hidro kanë një përgjigje specifike që vjen si rezultat i inercisë së ujit. Një ndryshim në pozicionin e portës inicjon një ndryshim të fuqisë së turbinës, e cila është e kundërt me atë të kërkuar. Që të kemi një kontroll të qëndrueshëm të performancës, kërkohet një statizem (rënie) ose gjendje kalimtare e shtrirë në kohë. Kjo realizohet me kompensim kalimtar, siç tregohet dhe në Figura 33. Impakti në shpejtësi ka një vonësen ose kufizon lëvizjen e portës derisa fluksi i rrjedhës së ujit dhe fuqia në dalje të shkojnë në gjendjen e kërkuar. Rezultati është një aparat drejtues i cili shfaq një statizem të madh (Low gain) për një devijim të shpejtë të shpejtësisë dhe një statizem normal (high gain) në gjendje të qëndrueshme.

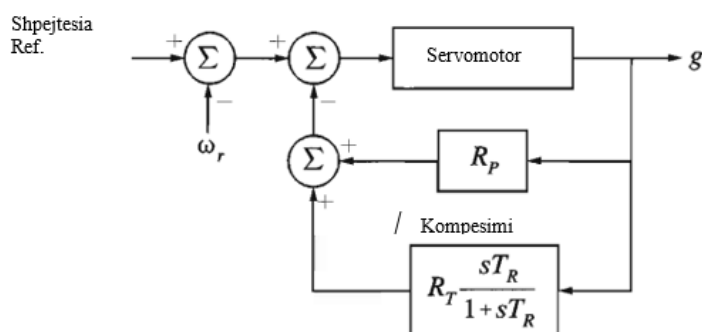


Figura 33 Aparat drejtues me një kompensim kalimtar të droop-it

$R_p$ =Statizem permanent

$R_T$ = statizem kalimtar

$T_R$ =Rivendosja e kohë

## Rregullatori Mekaniko-Hidraulik

Figura 34 tregon në mënyrë skematike një shembuj të thjeshtë të një rregullatori (aparati drejtues). Në njësitë e vjetra gjeneruese, roli i aparatit drejtues është luajtur nga komponentët hidraulikë të kombinuar me ato mekanike. Sensori i shpejtësisë, reagimi i përhershëm dhe funksionet llogaritëse arrihen përmes komponentëve mekanikë, ndërsa funksionet që lidhen me fuqi më të lartë arrihen përmes komponentëve hidraulikë. Një sistem amortizimi (dashpot) përdoret për të dhënë një kompensim statizmit kalimtar. Gjithashtu, zakonisht përdoret një rregullues që anashkalon sistemin e amortizimit në rast se nevojitet

Funksioni transmetues i valvulës rele dhe servomotorit të portës është:

$$\frac{g}{a} = \frac{K_1}{s} \quad 3.129$$

Funksioni transmetues i valvulës pilot dhe servo-pilot është:

$$\frac{a}{b} = \frac{K_2}{1 + sT_p} \quad 3.130$$

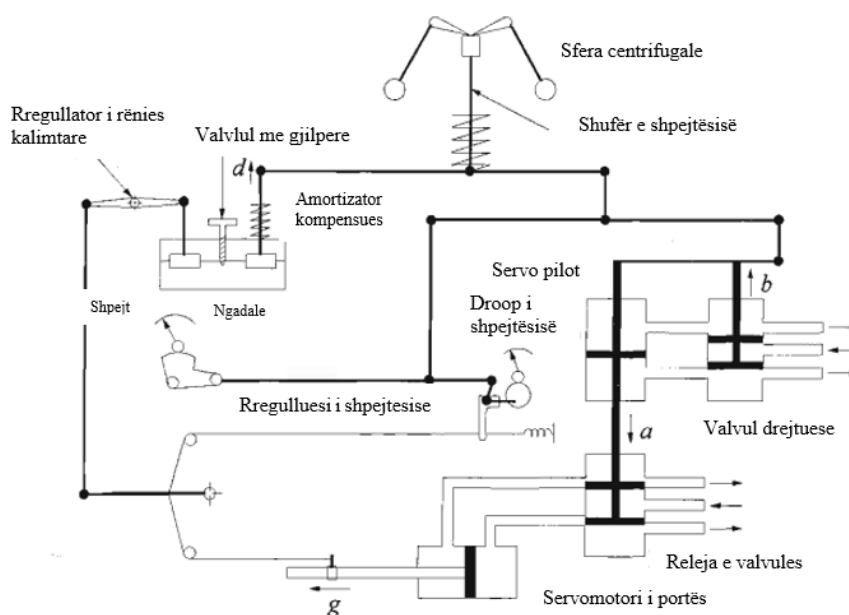


Figura 34 Skema e një aparati drejtues mekaniko-hidraulik për një turbine hidro.

Ku  $K_2$  përcaktohet nga raporti i levës së reagimit  $T_p$  dhe nga porta e valvulës pilot  $K_2$ . Kombinimi i ekuacioneve 3.129 dhe 3.130 na jep:

$$\frac{g}{b} = \frac{K_1 K_2}{s(1+sT_p)} = \frac{K_s}{s(1+sT_p)} \quad 3.131$$

Ku  $K_s$  është gain-i i servos dhe  $T_p$  është konstantja e kohës së valvulës/servomotorit pilot.  $K_s$  gain-i i servos, përcaktohet nga pozicioni i levës së reagimit të valvulës pilot. Duke supozuar

që rrjedha e ujit të amortizues që kalon dashpotit përmes valvës gjilpërë është në proporcion me presionin në amortizues, funksioni transmetues i sistemit të amortizimit është:

$$\frac{d}{g} = R_T \frac{sT_R}{1+sT_R} \quad 3.132$$

Statizmi i përkohshëm  $R_T$  përcaktohet nga “pozicioni i levës,” ndërsa koha e rivendosjes  $T_R$  varet nga pozicioni i valvës gjilpërë. Uji nuk është një fluid që kompresohet në masë të madhe; në qoftë se porta mbyllet shumë shpejt, presioni i mbetur mund të shpërthejë tubin e presionit (penstock). Kjo nënkupton që shpejtësia e lëvizjes së portës është e kufizuar. Shpesh, shkalla e lëvizjes së portës kufizohet dhe në zonën e sigurt, pra kur jemi në kushtet e mbylljes së plotë, veprim që amortizon presionin e lartë.

Në Figura 35 paraqitet një bllok-diagramë e një aparati drejtues të përshtatshëm për studime të qëndrueshmërisë.

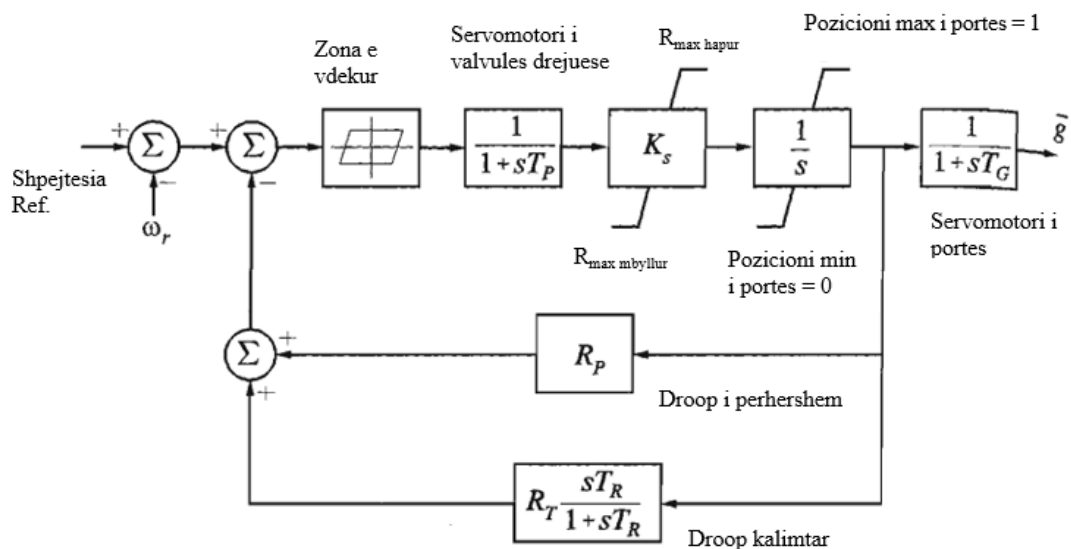


Figura 35 Bllok-diagramë e një aparati drejtues të përshtatshëm për studime të qëndrueshmërisë

#### Parametrat:

$T_p$  = Konstantja e kohës së valvulës pilot/servomotor

$K_s$  = Gain-i i servos

$T_G$  = Konstantja e kohës së servos kryesor

$R_p$  = droop-i i qëndrueshëm

$R_T$  = Droop kalimtar

$T_R$  = Koha e rivendosjes

#### Supozime:

Limiti maksimal i pozicionit të portës = 1.0

Limiti minimal i pozicionit = 0

$R_{mx\ open}$  = Shkalla maksimale e hapjes së portës 0.16pu/s

$R_{mx\ close}$  = Shkalla maksimale e mbylljes së portës 0.16pu/s

$R_{mx\ buff}$  = Shkalla maksimale e hapjes së portës në zonën e sigurtë 0.04pu/s

---

$g_{buff}$  = Zona e amortizimit të goditjes në lopata

Figura 35 jep një paraqitje të plotë mbi modelin e turbinës hidraulike dhe sistemin e rregullatorit të shpejtësisë. Nëpërmjet modelit të paraqitur në Figura 35 mund të vërehen efektet e zonave të vdekuara (dead bands). Gjithsesi, është e vështirë të merren të dhëna mbi magnitudën dhe vendodhjen e këtyre efekteve. Nga kjo kuptojmë që efektet e zonës së vdekur përgjithësisht nuk janë të modeluara gjatë studimeve të sistemit.

### Rregullatori elektrohidraulik

Rregullatorët modern të shpejtësisë për turbinat hidraulike përdorin sisteme elektrohidraulike. Funksionimi i tyre është i ngjashëm me rregullatorët e shpejtësisë mekanik-hidraulik. Matja e shpejtësisë, statizmi permanent statizmi kalimtar, funksionet kompjuterike, si dhe matjet e tjera bëhen në mënyrë elektrike. Komponentët elektrikë japin fleksibilitet dhe një performancë të mirë kur bëhet fjalë për brezat e vdekur dhe vonesat në kohë. Karakteristikat dinamike të rregullatorëve elektrikë janë zakonisht të përshtatura për t'u afruar me ato të rregullatorëve mekaniko-hidraulikë.

### Parametrizimi i rregullatorit të shpejtësisë

Baza për përzgjedhjen e parametrave të një rregullatori janë të njohura.

Kemi dy kërkesa të rëndësishme ndaj rregullatorit:

1. Operim stabël kur sistemi është i izoluar.
2. Shpejtësia e përgjigjes të jetë brenda normave në rastet kur ngarkesa është mbi apo nën nivelin nominal të operimit sinkron.

Për operim të qëndrueshëm në kushtet e izolimit të sistemit, zgjedhja e e statizmit kalimtar  $R_T$  dhe kohës së rivendosjes  $T_R$  është e lidhur ngushtë me kohën e fillimit të rënies së ujit  $T_W$  dhe kohën e levizjes mekanike  $T_M$ .

$$R_T = [2.3 - (T_W - 1.0)0.15] \frac{T_W}{T_M} \quad 3.133$$

$$T_R = [5.0 - (T_W - 1.0)0.5]T_W \quad 3.134$$

Dhe përveç kësaj, koeficienti i amplifikimit i sistemit servo  $K_s$  duhet të jetë aq i lartë sa ç'është praktikisht e mundshme. Cilësimet e mësipërme sigurojnë një performancë të mirë të qëndrueshme kur njësia është duke furnizuar një konsumator tërësisht të izoluar. Ky është rasti më i vështirë që një njësi mund të operojë. Gjatë marrjes dhe shkarkimit të ngarkesës në rastin kur sistemi është i ndërlidhur, cilësimet e mësipërme na japin një përgjigje të ngadaltë. Që të kemi një status qëndrueshmërie të kënaqshëm, duhet që cilësimet e mësipërme të jenë:  $T_R < 1.0s$ , afërsisht  $0.5s$ .

Kërkesat e mësipërme bien në kontradiktë me njëra-tjetrën, dhe zgjidhja është përdorimi i anashkalimit të sistemit të amortizimit (dashpot bypass):

- Me një sistem amortizmi të panashkaluar, cilësimet plotësojnë kushtet për funksionim të qëndrueshëm në rast izolimi.
- Me një sistem amortizmi të anashkaluar, koha e rivendosjes  $T_R$  ka një vlerë të reduktuar, që rezulton në vlera të pranueshme të ngarkesës.

Normalisht, “dashpot-i” është i pa-bajpasuar, kështu që në rast të ndonjë ngacmimi që çon në izolim të sistemit, kontrolli i shpejtësisë do të jetë i qëndrueshëm. Dashpot-i baipasohet për periudha të shkurtra kohe gjatë ngarkimit dhe shkarkimit të ngarkesës.

### Rregullatorët PID

Disa rregullatorë elektrohidraulik janë prodhuar me rregullator me tre nyje: proporcional-integral-derivativ (PID), siç tregohet në Figura 36. Këta ofrojnë mundësinë e një përgjigjeje të shpejtë duke siguruar reduktim të madhësisë së magnitudes (gain-it) ose rritje të magnitudes. Nyja derivuese jep një ndikim pozitiv gjatë operimit në kushte izolimi, praktikisht për gjeneratorë që kanë një kohë të madhe të lëshimit të ujit ( $T_W=3$  s ose më shumë). Vlerat tipike që hasim zakonisht janë  $K_P=3.0$ ,  $K_I=0.7$  dhe  $K_D=0.5$ .

Sidoqoftë, përdorimi i një koeficienti përforcimi derivativ të lartë ose një gain-i kalimtar rritës do të sjellë luhajtje të mëdha, të cilat çojnë në paqëndrueshmëri kur njësia është e lidhur me sistemin. Prandaj, koeficienti përforcimi derivativ zakonisht merret zero. Pa nyjen derivuese, funksioni transmetues i rregullatorit PID do të shndërrohej në funksion transmetues PI, i cili është i njëjtë me rregullatorin mekanik-hidraulik. Përgjithësisht, përdorim koeficienti përforcimi proporcional-integral për të përfituar një statizemideal dhe një kohë ideale të rivendosjes.

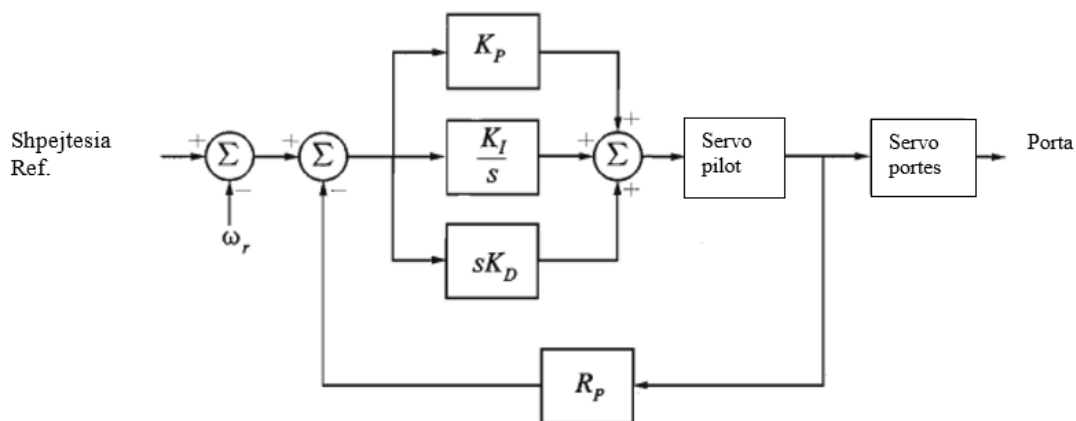


Figura 36 Kontrollor me tre nyje: proporcional-integral-derivativ (PID)

#### 3.12.5 Modeli i plotë i sistemit hidraulik

Modelet konvencionale të sistemeve hidraulike, të cilat i trajtuam më sipër, nuk neglizhojnë kompresimin (ngjeshjen) e ujit dhe elasticitetin e tubit. Gjithashtu, merret e mirëqenë që rezervuari ujëmbledhës (baseni) është ideal (tubi dhe baseni merren të ndarë) ose nuk ekziston një i tillë. Në një pjesë të madhe të studimeve përdoren këto artifica, por për të pasur një studim sa më të detajuar, duhen llogaritur patjetër ndërveprimet midis sistemeve hidraulike dhe atyre energjetike.

Në fillim do të paraqesim ekuacionet e valës së presionit dhe rrjedhjes së ujit kur kanali është i mbyllur. Më pas do të përdorim këto ekuacione për të nxjerrë modelin e plotë të një impianti hidraulik.

## Ekuacionet e Valës së Rrjedhjes në Tubacion

Le të marrim parasysh rrjedhën e ujit në kanal, të treguar në Figura 37(a). Nëse në një çast mbyllim pjesërisht portën, në moment do të krijohet një valë presioni që lëviz lart, drejt rezervuarit. Në Figura 37(b) paraqitet një pjesë e kanalit në të cilin paraqitet vala e presionit. Për të modeluar këtë fenomen, duhet të përdorim ekuacionet që përshkruajnë përhapjen e valës së presionit dhe ndikimin e saj në rrjedhën e ujit në tubacion. Këto ekuacione zakonisht përfshijnë aspekte si shpejtësia e valës së presionit, ndryshimet në rrjedhë dhe ndikimin e elasticitetit të tubit dhe kompresionit të ujit.

$$(A\Delta\chi\rho)\frac{dU}{dt} = -A\Delta p \quad 3.135$$

Ku  $\rho$  = densiteti i masës ujore. Ndryshimi në presion refruar ndryshimit në lartësi

$$\Delta p = \rho a_g \Delta H \quad 3.136$$

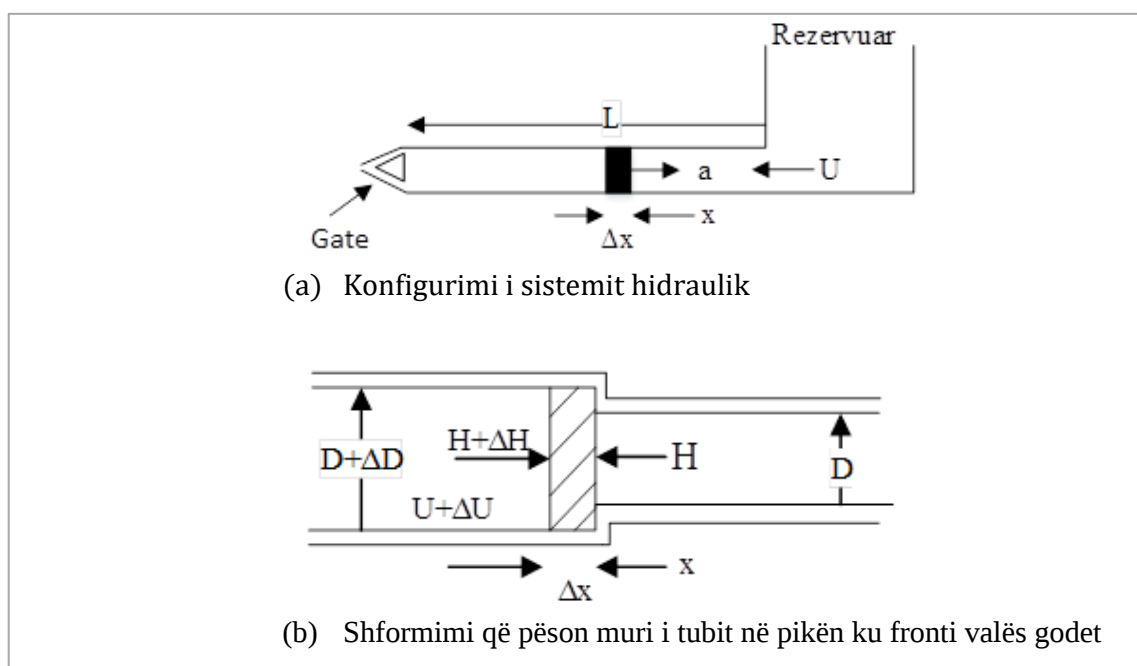


Figura 37 Rrjedhja e ujit përmes një tubacioni elastik

$H$  = Lartësia totale

$U$  = Shpejtësia e rrjedhës së ujit

$A$  = Sipërfaqja e kanalit

$F$  = Trashësia e murit të tubit

$a$  = shpejtësia e valës

Ku  $a_g$  = nxitimi për shkak të gravitetit. Duke marrë vlera pafundësisht të vogla  $\partial\chi$ ,  $\partial U$  dhe  $\partial t$ . Ekuacioni 3.135 do të shkruhej si:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -a_g \frac{\partial H}{\partial \chi} \quad 3.137$$

Rritja e volumit (vëllimit) për shkak të shformimit që muret e tubit pësojnë jepet si:

$$\Delta V_E = \frac{ADH\Delta x}{E_f} \Delta p \quad 3.138$$

Ku

E= Moduli i elasticitetit (YOUNG) mbi materialin me të cilin është ndërtuar tubi

f = Trashësia e murit të tubit

Ndryshimi i vëllimit të ujit në një seksion të caktuar për shkak të kompresimit është :

$$\Delta V_C = \frac{A\Delta x}{K} \Delta p \quad 3.139$$

ku:

K është konstante që përfaqëson modulin e kompresimit të ujit

Rritja e masës së ujit në një seksion të tubit për shkak të kombinimit të dy efekteve, sjell që elasticiteti i tubit me ngjeshjen që pëson uji është:

$$\Delta m = \rho(\Delta V_E + \Delta V_C) = \rho A \Delta x \left[ \frac{1}{K} + \frac{D}{E_f} \right] \Delta p \quad 3.140$$

Kjo do të jetë e barabartë me ndryshimin e masës së ujit në një seksion të tubit gjatë kohës  $\Delta t$  të dhënë nga diferenca e rrjedhës në hyrje të këtij seksioni me daljen;

$$\Delta m = \rho A U \Delta t - \rho (U + \Delta U) A \Delta t = -\rho A \Delta U \Delta t \quad 3.141$$

Duke barazuar shprehjet për  $\Delta m$  e cila jepet nga ekuacionet 3.140 dhe 3.141, nxjerrim që :

$$\frac{\Delta U}{\Delta x} = -\left(\frac{1}{K} + \frac{D}{E_f}\right) \frac{\Delta p}{\Delta t} = -\left(\frac{1}{K} + \frac{D}{E_f}\right) \rho a_g \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad 3.142$$

Në qoftë se marrim një pafundësi vlerash rritëse, ekuacioni i mësipërm shkruhet si:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -\alpha \frac{\partial H}{\partial t} \quad 3.143$$

Ku

$$\alpha = \rho a_g \left( \frac{1}{K} + \frac{D}{E_f} \right) \quad 3.144$$

Ekuacionet 3.137 dhe 3.143 janë ekuacionet bazë hidraulike që përcaktojnë rrjedhjen e fluidit të ngjeshur në një tub uniform elastik, duke neglizhuar fërkimin. Këto ekuacione janë të ngjashme me ekuacionet e linjave të transmetimit; shpejtësia e fluidit U dhe lartësia e rënies (head) H janë në analogji të plotë me rrymën dhe tensionin në një linjë transmetimi.

Për të zgjidhur këto ekuacione, përdorim transformimet e Laplasit, të cilat na lejojnë të trajtojmë ekuacionet diferenciale në rrafshin e frekuencës. Zgjidhja e këtyre ekuacioneve në rrafshin e Laplasit jepet nga:

$$H_2 = H_1 \operatorname{sech}(T_e s) - Z_0 Q_2 \tanh(T_e s) \quad 3.145$$

$$Q_1 = Q_2 \cosh(T_e s) - \frac{1}{Z_0} H_2 \sinh(T_e s) \quad 3.146$$

Ku

$T_e$  = koha elastike ( koha e udhëtimit të valës)

$$= \frac{\text{Gjatësia e kanalit } L}{\text{Shpejtësia e valës } a} = \frac{L}{\sqrt{\frac{a_g}{\alpha}}} \quad 3.147$$

$Z_0$  = Impedanca e plotë e mbipresionit hidraulik të kanalit

$$= \frac{\text{Shpejtësia e vales } a}{A a_g} = \frac{1}{A \sqrt{\frac{a_g}{\alpha}}} \quad 3.148$$

$Q$  = Rrjedha e ujit =  $AU$

Vlera tipike të shpejtësisë së valës ( $a = \sqrt{\frac{a_g}{\alpha}}$ ) së ujit janë 1220m/s për tubacion metalik dhe 1420 m/s për tunel në shkëmb.

Shkruajmë ekuacionet 3.145 dhe

3.146 në formën bazë të tyre ku njësitet bazë janë  $H_r$  dhe  $Q_r$ , kemi:

$$\bar{H}_2 = \bar{H}_1 \text{sech}(T_e s) - Z_n \bar{Q}_2 \tanh(T_e s) \quad 3.149$$

$$\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2 \cosh(T_e s) - \frac{1}{Z_n} \bar{H}_2 \sinh(T_e s) \quad 3.150$$

Ku  $Z_n$  është vlera e normalizuar e impedancës hidraulike së mbipresionit të kanalit e cila del nga:

$$Z_n = Z_0 \left( \frac{Q_r}{H_r} \right) \quad 3.151$$

Ku në njësi baze del që rrjedhja e ujit me shpejtësinë janë të barabarta,

$$\frac{Q}{Q_r} = \frac{AU}{AU_r} \quad 3.152$$

Kur ekuacioni 3.150 i shkruar në njësi bazë të rrjedhës  $\bar{Q}$  e cila është zëvendësuar me shpejtësinë  $\bar{U}$ .

Në formulimin e mësipërm, fërkimi është neglizhuar. Efekti i humbjeve të rënies për shkak të fërkimit është përafruar duke modifikuar ekuacionin 3.149.

$$\bar{H}_2 = \bar{H}_1 \text{sech}(T_e s) - Z_n \bar{U}_2 \tanh(T_e s) - k_f \bar{U}_2 |\bar{U}_2| \quad 3.153$$

Ku  $k_f$  është konstantja e head loss për shkak të fërkimit. Shkruajmë ekuacionet 3.150 dhe 3.153 duke ju referuar lartësisë  $\Delta H$  të rënies dhe shpejtësisë. Në kushtet e një gjëndje të qëndrueshme, ne kemi

$$h_2 = h_1 \text{sech}(T_e s) - Z_n u_2 \tanh(T_e s) - \Phi u_2 \quad 3.154$$

$$u_1 = u_2 \cosh(T_e s) - \frac{1}{Z_n} h_2 \sinh(T_e s) \quad 3.155$$

Ku

$h$  = diferenca e  $(H - H_0)$  në pu

$u$  = diferenca në shpejtësi  $(U - U_0)$  në pu

$\Phi = \text{koeficienti i fërkimit} = 2kf |u_{20}|$

$U_{20}$  = vlera fillesatare e shpejtësisë së rrjedhjes së ujit në bjefin e poshtëm, gjëndje të qëndrueshme.

Modeli më i saktë për kolonën e ujit është modeli i valës bredhëse, i cili merr parasysh efektin e "grushtit hidraulik" për shkak të elasticitetit të ujit dhe tubin e presionit. Në këtë model, konstantet e shtuara janë:

- $Z_0$  = Impedanca e plotë e mbipresionit hidraulik të kanalit, dhe
- $Te$  = Koha elastike (koha e udhëtimit të valës).

Krahasuar me modelin jo-elastik, përgjigjja në frekuencë jep një pasqyrë më reale, ku vonesa në fazë nuk është e kufizuar në 180 gradë, por vazhdon të rritet sipas frekuencës. Ky model, duke përfshirë elasticitetin e ujit dhe tubit, ofron një përshkrim më të detajuar dhe të saktë të dinamikës së kolonës së ujit, veçanërisht në situata ku ndryshimet e presionit janë të shpejta dhe të konsiderueshme.

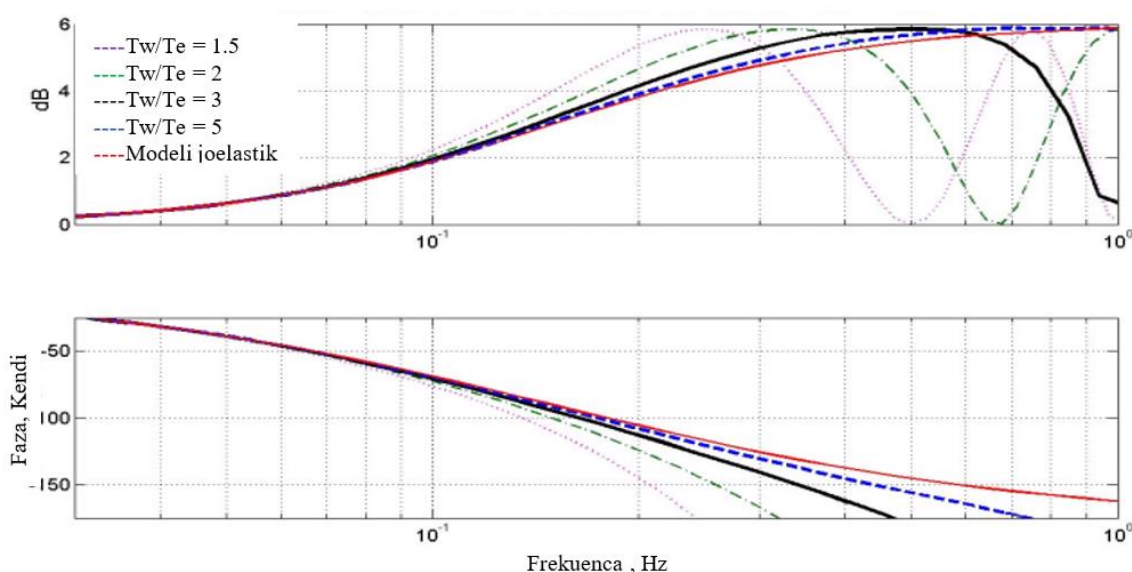


Figura 38 Modeli elastik i kolonës së ujit

Një raport më i ulët ndërmjet konstantës së kohës së rrjedhjes së ujit ( $T_w$ ) dhe kohës së udhëtimit të valës ( $Te$ ) do të rrisë gjithashtu ndikimin e modelit elastik. Prandaj, nevoja për modelin penstock elastik duhet të vlerësohet rast pas rasti.

### Modeli i impiantit hidraulik pa kullë ekuilibri

Duke iu referuar 3.154, arrijmë në përfundimin se për një rezervuar të madh, devijimi i lartësisë së ujit në sipërfaqen e rezervuarit është zero  $h_w = 0$ . Kështu, bazuar në ekuacionin 3.154, rezulton që shprehja për devijimin e lartësisë në turbinë (head deviation) do të jetë:

$$h_t = -Z_p u_t \tanh(T_{ep}s) - \Phi_p u_t \quad 3.156$$

Kjo shprehje tregon se ndryshimi në lartësinë efektive të turbinës  $h_t$  përcaktohet nga devijimi i presionit dhe rrjedhjes në sistem, duke qenë i lidhur ngushtë me karakteristikat dinamike të rrjedhës në tubacion dhe elasticitetin e tij. Në këtë mënyrë, modeli i impiantit

hidraulik pa kullë ekuilibri merr parasysh devijimet në lartësi që ndodhin gjatë ndryshimeve të rrjedhës dhe presionit.

$$F(s) = \frac{u_t}{h_t} = \frac{-1}{\Phi_p + Z_p \tanh(T_{ep}s)} \quad 3.157$$

Ku

$Z_p$  = impedancë e normalizuar hidraulike për penstockun

$\Phi_p$  = koeficienti i fërkimit të penstockut  $2k_p |U_{t0}|$

$T_{ep}$  = koha elastike e penstock

$h_t$  = devijimi i lartësisë së turbinës

$h_w$  = devijimi i drejtimit në rezervuar

$u_t$  = devijimi i shpejtësisë në turbinë

$u_p$  = devijimi i shpejtësisë në bjeftin e sipërm

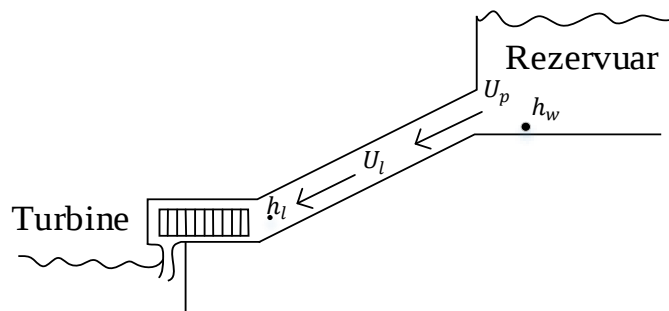


Figura 39 Modeli i impiantit hidraulik pa kullë ekuilibri

Funksioni transmetues  $F(s)$  i ekuacionit 3.157 tregon një sistem me parametra të shpërndarë:

$$\tanh(T_{ep}s) = \frac{1 - e^{-2T_{ep}s}}{1 + e^{-2T_{ep}s}} = \frac{sT_{ep} \prod_{n=1}^{\infty} \left[ 1 + \left( \frac{sT_{ep}}{n\pi} \right)^2 \right]}{\prod_{n=1}^{\infty} \left[ 1 + \left( \frac{2sT_{ep}}{(2n-1)\pi} \right)^2 \right]} \quad 3.158$$

Kemi  $n=\infty$  për arsye se në këtë mënyrë ruajmë të gjitha karakteristikat e rrënjëve që ka ky funksion transmetues  $F(s)$ . Kjo lejon një përfaqësim të plotë dhe të saktë të dinamikës së sistemit. Megjithatë, për lehtësi në veprime dhe analizë, në shumicën e rasteve ky funksion përafrohet me një funksion ekuivalent me parametra të grumbulluar, ku  $n_0$  përcaktohet në varësi të tipit të studimit.

Përafrimet e parametrave të grumbulluar. Në qoftë se marrim  $n=0$ , kemi  $\tanh(T_{ep}s) = T_{ep}s$  që sjell

$$F(s) = \frac{-1}{\Phi_p + Z_p T_{ep}s} \quad 3.159$$

Nga ekuacionet 3.147, 3.148, 3.151 dhe 3.116 ne vërejmë që

$$Z_p T_{ep} = \frac{Q_r}{H_r} \frac{L}{A a_g} = T_{wp} \quad 3.160$$

$Z_p T_{ep}$  është e barabartë me kohën e lëshimit të ujit  $T_{wp}$  në penstock për ngarkesë nominale. Në qoftë se neglizhojmë fërkimin,  $F(s)$  që del nga ekuacioni 3.159 është i njëjtë me ekuacionin 3.115. Përafrimi i  $n=0$  është ekuivalent me supozimin që kolona e ujit është joelastike.

Ndërsa për  $n=1$ , poli dhe zeroja e parë e funksionit  $\tanh$  (që jep harmonikën bazë të kolonës së ujit) nuk preken. Atëherë shprehja përkatëse e funksionit transmetues  $F(s)$  është

$$F(s) = \frac{-1}{\Phi_p + F_2(s)} \quad 3.161$$

Ku

$$F_2(s) = Z_p \tanh(T_{ep} s) = \frac{s T_{wp} \left[ 1 + s^2 \left( \frac{T_{ep}}{\pi} \right)^2 \right]}{\left[ 1 + s^2 \left( \frac{2 T_{ep}}{\pi} \right)^2 \right]} \quad 3.162$$

Në shumicën e rasteve kur bëhet fjalë për studime të qëndrueshmërisë së rrjetit, një përafrim i tillë është i domosdoshëm për të thjeshtuar analizën dhe për të ruajtur koherencën e llogaritjeve.

### Modeli i impiantit hidraulik me kullë ekuilibri

Kulla e presionit zakonisht instalohet pranë turbinës për të reduktuar rritjen e presionit gjatë mbylljes së shpejtë të portës. Energjia kinetike e ujit që rrjedh në penstock shndërrohet në energji potenciale në kullën e presionit, duke ulur kështu presionin e lartë. Një basen diferencial, siç tregohet në Figura 40, përbëhet nga dy ndarje: një ngritje me sipërfaqe të vogël që është e lidhur me një rezervuar me sipërfaqe të madhe. Kjo platformë ngritëse ndihmon në amortizimin e goditjes së grushtit hidraulik dhe siguron që rezervuari kryen funksionin e ruajtjes dhe furnizimit me ujë.

Në vazhdim do të trajtojmë ekuacionet për disa nga komponentët kryesorë të sistemeve hidraulike, si: tuneli, baseni i presionit, penstock-u dhe rezervuari. Ekuacionet janë shkruar në njësi bazë. Shpejtësia e rrjedhës së ujit dhe humbjet e energjisë janë vlerësuar duke iu referuar vlerave të gjendjes së qëndrueshme. **Ekuacioni 3.154** zbatohet për rendimentin e tunelit dhe përfshin balancën e energjisë në sistem, duke marrë parasysh transformimin midis energjisë kinetike dhe energjisë potenciale në komponentët e ndryshëm të sistemit hidraulik.

$$h_r = h_w \operatorname{sech}(T_{ec} s) - Z_c u_c \tanh(T_{ec} s) - \Phi_c u_c \quad 3.163$$

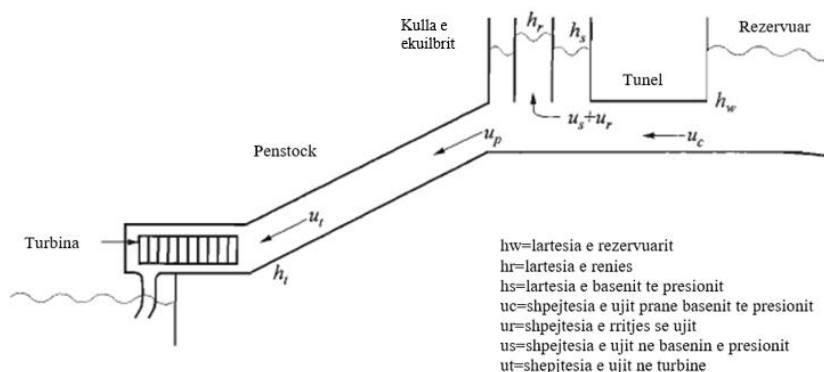


Figura 40 Basen Diferencial

Për një rezervuar të madh, devijimi në rënie (head) në fundin e bjeftit të sipërm të tunelit është zero: pra  $h_w=0$ . Përveç kësaj, efektet e valës në tunel janë të papërfillshëm kështuqë termi  $T_{ec}s$  mund të përafrohet duke marrë  $n=0$  tek ekuacioni 3.158. Nga kjo ekuacioni 3.163 thjeshtohet në:

$$h_r = -sT_{wc}u_c - \Phi_c u_c \quad 3.164$$

$T_{wc}$ =koha e lëshimit të ujit në tunel= $Z_c T_{ec}$

$\Phi_c$ =koeficienti i fërkimit në tunel =  $2kc | u_{c0}|$

Shkalla e rrjedhjes dhe shpejtësisë në basenin e presionit lidhen nga ekuacioni i vazhdueshmërisë

$$u_c = (u_s + u_r) + u_p \quad 3.165$$

Shpejtësitë e fluidit në basenin e presionit dhe platforma ngritëse janë të lidhur me lartësinë e rënies (head) nga ekuacioni

$$u_s + u_r = sT_s h_r \quad 3.166$$

Ku  $T_s$  është koha e rënies në basen

Baseni i presionit dhe lartësia e rënies lidhen nëpërmjet ekuacionit

$$h_r = h_s + \Phi_s(u_s + u_r) \quad 3.167$$

Ku

$\Phi_s$ =koeficienti i fërkimit në basen= $2kf | u_{s0} - u_{r0}|$

Në kushte të qëndrueshme, derivimi i gjithë variablave në kohë jep një rezultat të barabartë me zero. Ndaj nga ekuacioni 3.166 duke përdorur vlerat e plota dhe duke anashkaluar vlerat me trend në rritje, kemi

$$U_{s0} + U_{r0} = T_s \frac{dH_r}{dt} = 0 \quad 3.168$$

Prandaj,  $\Phi_s=0$  dhe ekuacioni 3.167 reduktohet në

$$h_r = h_s \quad 3.169$$

Aplikimi i ekuacioneve 3.154 dhe 3.155 për të nxjerrë rendimentin e penstokut

$$h_t = h_r \operatorname{sech}(T_{ep}s) - Z_p u_t \tanh(T_{ep}s) - \Phi_p u_t \quad 3.170$$

$$u_p = u_t \cosh(T_{ep}s) - \frac{1}{Z_p} h_t \sinh(T_{ep}s) \quad 3.171$$

Ku

$Z_p$ = impedanca hidraulike e penstokut

$\Phi_p$ = koeficienti i fërkimit në penstok

$T_{ep}$ =konstantja e kohës së elasticitetit të penstokut

Nga ekuacionet 3.164 dhe 3.169 funksioni transmetues i tunelit dhe kullës së ekuilibrit mund të shkruhet si;

$$F_1(s) = \frac{h_s}{u_p} = \frac{\Phi_c + sT_{wc}}{[1 + sT_s\Phi_c + s^2T_{wc}T_s]} \quad 3.172$$

Funksioni transmetues i plotë që lidhe shpejtësinë e rrjedhës së ujit me lartësin e rënies (head) në turbinë mund të shkruhet duke kombinuar ekuacionet 3.169 dhe 3.172:

$$F(s) = \frac{u_t}{h_t} = -\frac{1 + \left[\frac{F_1(s)}{Z_p}\right] \tanh(T_{ep}s)}{\Phi_p + F_1(s) + Z_p \tanh(T_{ep}s)} = -\frac{1 + \left[\frac{F_1(s)}{Z_p^2}\right] F_2(s)}{\Phi_p + F_1(s) + F_2(s)} \quad 3.173$$

ku

$$F_2(s) = Z_p \tanh(T_{ep}s) \quad 3.174$$

Siç e kemi thënë më lartë,  $F(s)$  përfaqëson një sistem me parametra të shpërndarë. Një përafrim i parametrave të grumbulluar të  $F_2(s)$ , me  $n=1$ , në shprehjen për  $\tanh(T_{ep}s)$ , jepet nga ekuacioni 3.162.

Modeli i plotë i sistemit hidraulik paraqitet nga funksioni transmetues  $F(s)$  i cili lidhë shpejtësinë e rrjedhës së ujit me hashin e turbinës. Figura 41 tregon bllok-diagramen e turbinës hidraulike. Diagrama bazohet në Figura 39 dhe është modifikuar me qëllim që të përfshijë goditjen që jep fluidi (grushtit hidraulik) dhe efektet që jep baseni i presionit.

Më poshtë janë marrë disa vlera për efekt eksperimental

$$T_{ec}=13s; Z_c=4; \Phi_c = 0.009; T_s=900s; T_{ep}=0.25s; Z_p=4; \Phi_c=0.001 \quad 3.175$$

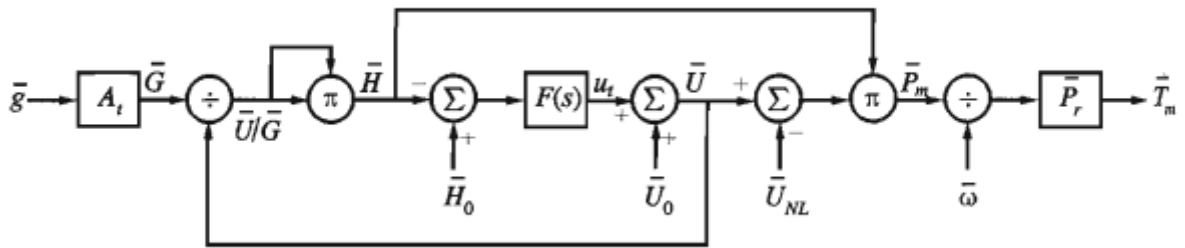


Figura 41 Blllok-diagrama e turbinës hidraulike me kullë ekuilibri

Në qoftë se impianti nuk ka kullë ekuilibri  $T_{wc}$  dhe  $\Phi_c$  janë zero dhe funksioni transmetues  $F_1(s)$  hiqet nga ekuacioni 3.173 atëherë funksioni transmetues reduktohet në ekuacionin që është shkruar më lart (ekuacioni 3.161). Nëse përveç këtyre ne neglizhojmë fërkimin në tubin e presionit dhe grushtin hidraulik, funksioni transmetues thjeshtohet akoma më shumë:

$$F(s) = \frac{1}{sT_{wp}} \quad 3.176$$

Në qoftë se neglizhojmë efektin e çekanit të ujit në penstok por modelojmë kullën e ekuilibrit, atëherë  $F_2(s)$  në ekuacionin 3.173 është i barabartë me  $sT_{wp}$ .

### 3.13 Modelimi rregullatorëve të tensionit (sistemi i eksitimit)

Detyrat kryesore të sistemit të eksitimit janë:

- Furnizimi me rrymë të vazhduar i pështjellës së eksitimit të gjeneratorit,

- Kontrolli i nivelit të tensionit dhe fuqisë reaktive,
- Të kontribuojë në rritjen e qëndrueshmërisë së sistemit.

Funksionet e kontrollit përfshijnë kontrollin e tensionit dhe fuqisë reaktive, dhe rritjen e qëndrueshmërisë së sistemit. Funksionet mbrojtëse sigurojnë punën brenda limiteve të caktuara të makinës sinkrone, sistemit të eksitimit dhe pajisjeve të tjera.

Ky kapitull përshkruan karakteristikat dhe modelimin e llojeve të ndryshme të sistemeve të eksitimit të gjeneratorëve sinkron. Gjithashtu jepen kriteret për studimin e performancës dinamike dhe ofron përkufizime të termave të ndërlidhur të dobishëm në identifikimin dhe specifikimin e kërkesave të sistemeve të eksitimit. Këto shërbejnë si referenca të dobishme për ndërmarrjet, prodhuesit dhe studiuesit e sistemit duke krijuar një udhëzues të përbashkët, duke standartizuar modelet dhe duke ofruar specifikime dhe teste përkatëse.

### **3.14 Kërkesat e sistemit të eksitimit**

#### **3.14.1 Konsideratat për gjeneratorin**

Kërkesa bazë është që sistemi i eksitimit të furnizojë dhe rregullojë automatikisht rrymën e eksitimit të gjeneratorit sinkron për të ruajtur tensionin në bornat e gjeneratorit pasi dalja ndryshon sipas lakores në formë V të gjeneratorit. Kjo kërkesë mund të vizualizohet nga lakorja në formë V të gjeneratorit e cila shpreh varësinë e rrymës së induktit nga rryma e eksitimit për fuqi aktive dhe tension konstant. Kufijtë për ndryshimet e temperaturës, dëmtimet e komponentëve, etj., duhet të merren parasysh kur bëhet vlerësimi i fuqisë në regjime të qëndrueshme. Normalisht, fuqia e nevojshme për eksitimin e gjeneratorit sinkron varion nga 2.0 në 3.5 kW/MVA e fuqisë së plotë të makinës. Gjeneratorët me koeficient të vogël të fuqisë, numër të vogël të rrotullimeve dhe ngarkesë të madhe, kërkojnë fuqi më të madhe për eksitimin.

Përveç kësaj, sistemi i eksitimit duhet të jetë në gjendje t'i përgjigjet ngacmimeve kalimtare me veprimin e fushës së rotorit në përputhje me aftësinë e gjeneratorit. Aftësitë e gjeneratorit në këtë drejtim janë të kufizuara nga disa faktorë: dëmtimi i izolimit të rotorit për shkak të tensionit të lartë të fushës, ngrohja e rotorit për shkak të rrymës së lartë të fushës, ngrohja e statorit për shkak të ngarkesës së lartë të rrymës së statorit, ngrohja e skajit të bërthamës gjatë funksionimit në regjim të nënëksituar dhe ngrohja për shkak të tepicës së fluksit (volt/Hz). Kufijtë termikë kanë karakteristika të varura nga koha, dhe për gjeneratorët aftësia afatshkurtër për mbingarkesë mund të shtrihet nga 15 në 60 sekonda. Për të siguruar përdorim më të mirë të sistemit të eksitimit, ai duhet të jetë në gjendje të plotësojë nevojat e sistemit duke përfituar plotësisht nga aftësitë afatshkurtra të gjeneratorit pa i tejkaluar limitet e tyre.

#### **3.14.2 Konsideratat e sistemit të fuqisë**

Nga pikëpamja e sistemit energjitik, sistemi i eksitimit duhet të kontribuojë në kontrollin efektiv të tensionit dhe rritjen e gjëndjes së qëndrueshme të sistemit. Ai duhet të jetë në gjendje t'i përgjigjet me shpejtësi, një shqetësimi dhe të rivendosë fushën e gjeneratorit në mënyrë që të përmirësojë qëndrueshmërinë ndaj ngacmimeve të vogla.

Historikisht, ka qenë në rritje të vazhdueshme roli i sistemeve të eksitimit në rritjen e performancës së sistemit energjitik. Sistemet e hershme të eksitimit kontrolloheshin manualisht për të ruajtur tensionin e dëshiruar të bornat e gjeneratorit dhe fuqinë reaktive. Në fillim të viteve 1920, u njoh potenciali për rritjen e qëndrueshmërisë kundrejt ngacmimeve të vogla dhe kalimtare përmes përdorimit të rregullatorëve me veprim të shpejtë. Një interes i madh u shfaq në projektimin e sistemeve të eksitimit dhe eksituesit dhe rregullatorët e tensionit

me përgjigje më të shpejtë e cila u prezantuan shpejt në industri. Që atëherë, sistemet e eksitimit kanë pësuar një evolucion të vazhdueshëm. Në fillim të viteve 1960, roli i sistemit të eksitimit u zgjerua duke përdorur sinjale stabilizuese ndihmëse, përveç sinjalit të gabimit të tensionit në bornat e tij, për të kontrolluar luhatjet e tensionit të fushës. Kjo pjesë e kontrollit të eksitimit referohet si stabilizues i fuqisë në sistem. Sistemet moderne të eksitimit janë të afta të ofrojnë përgjigje praktikisht të menjëhershme me tensione të larta eksitimi.

### 3.14.3 Elementët e një sistemi eksitimi

Figura 42 paraqet bllok diagramën e funksionimit të një sistemi tipik kontrolli eksitimi për një gjenerator të madh sinkron. Sistemi i eksitimit duhet të jetë i thjeshtë, i sigurt, me mirëmbajtje sa më të vogël, i qëndrueshëm dhe me shpejtësi të lartë përgjigje gjatë proceseve kalimtare. Më poshtë është një përshkrim i shkurtër i pjesëve kryesore të sistemit të eksitimit.

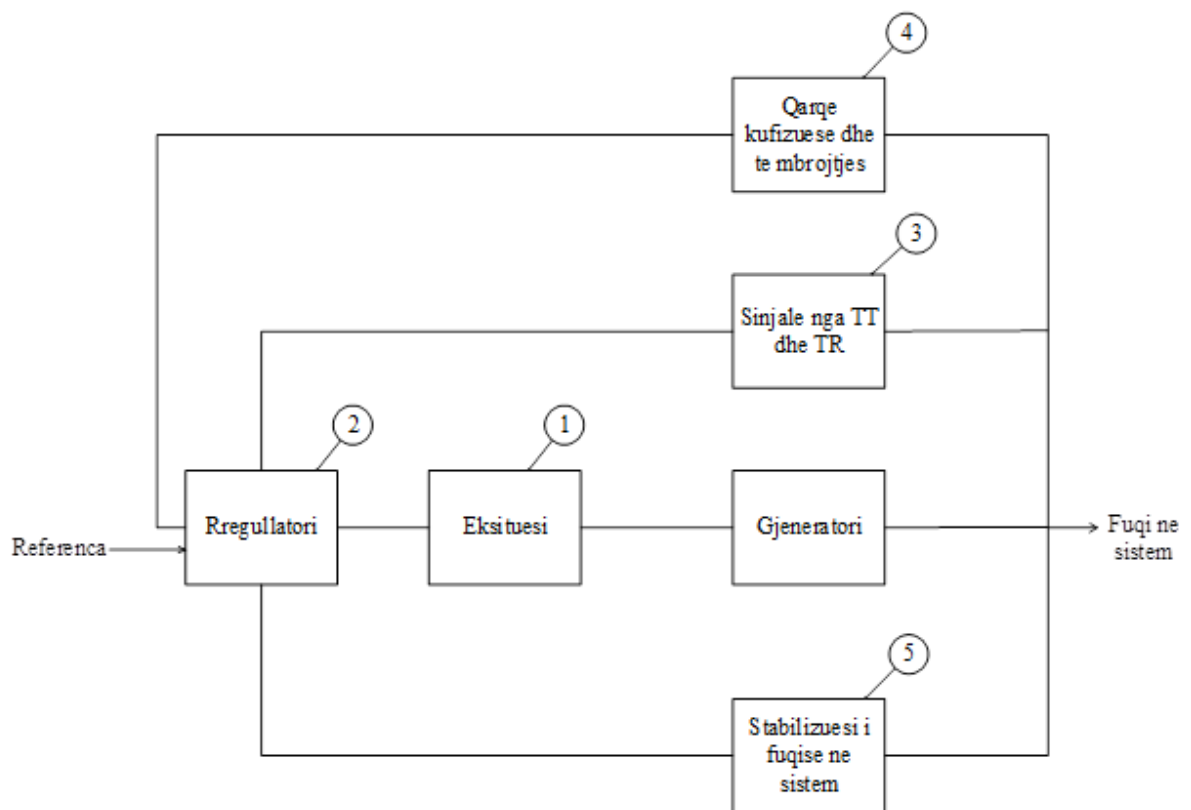


Figura 42 Elementët kryesorë të sistemit të eksitimit

**Eksituesi i gjeneratorit :** Siguron rrymë të vazhduar të nevojshme për ushqimin e pësjtjellës së eksitimit të gjeneratorit.

**Rregullatori:** Përpunon sinjalet e hyrjes sipas një ligji të caktuar, amplifikon sinjalet në dalje për kontrollin e eksituesit

**Matja e tensionit  $V_g$ :** Bëhet matja e tensionit në bornat e GS, kryhet radrizimi për t'u krahasuar me fuqinë e referimit dhe realizohet kontrolli sipas fuqisë reaktive

Qarqet që kufizojnë rrymën minimale dhe maksimale të eksitimit, kufizojnë raportin V/Hz, si dhe të mbrojtjes së sistemit të eksitimit nga anomalitë në të.

Sinjal për stabilizimin e sistemit të eksitimit dhe sistemit të transmetimit në tërësi gjatë proceseve kalimtare.

#### 3.14.4 Llojet e sistemeve të eksitimit

Sistemet e eksitimit kanë ndryshuar gjatë viteve të evolucionit të tyre. Duke ju referuar burimit të furnizimit, sistemet e eksitimit ndahen në këto tipe kryesore:

- Sistemi i eksitimit me gjeneratorë të rrymës së vazhduar;
- Sistemi i eksitimit me gjeneratorë të rrymës alternative;
- Sistemi i eksitimit statik.

#### 3.14.5 Modelimi i komponentëve të sistemit të eksitimit

Elementet bazë që formojnë lloje të ndryshme të sistemeve të eksitimit janë eksituesit DC (me vetëeksitim ose eksitim të pavarur); eksituesit AC; radrizatorët (të kontrolluar ose të pakontrolluar); amplifikatorë magnetikë, rotullues ose elektronikë; qarqet stabilizues të sistemit të eksitimit; qarqet e sensorëve dhe përpunimit të sinjalit. Në këtë seksion do të përshkruhen modele për këta elementë individualë.

#### 3.14.6 Eksituesit DC me eksitim të pavarur

Modeli i qarkut të eksituesit është paraqitur në Figura 43.

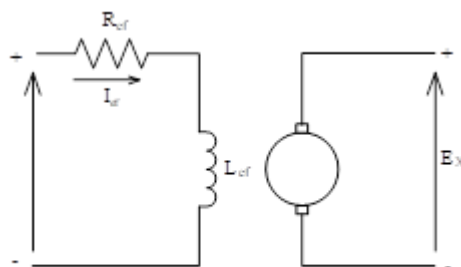


Figura 43 Eksitues DC me eksitim të pavarur

Për qarkun e eksitimit, do të kemi :

$$E_{ef} = R_{ef}I_{ef} + \frac{d\psi}{dt} \quad 3.177$$

$$\psi = L_{ef}I_{ef} \quad 3.178$$

Duke neglizhuar fluksin e shpërndarjes, tensioni në dalje të eksituesit  $E_x$  jepet nga formula:

$$E_x = K_x\psi \quad 3.179$$

ku  $K_x$  varet nga shpejtësia dhe konfigurimi i pështjellës së armaturës të eksituesit. Tensioni i daljes  $E_x$  është një funksion jolinear i rrymës së fushës së mbetur të eksituesit për shkak të ngopjes magnetike.

Tensioni në dalje  $E_x$  ndikohet gjithashtu nga ngarkesa në eksitues. Në praktikën e modelimit të sistemeve të eksitimit DC duhet që të merret parasysh ngopja dhe rregullimi i

ngarkesës përafërsisht duke kombinuar dy efektet dhe duke përdorur karakteristikën e ngarkesës Figura 44.

Le të jetë  $R_g$  pjerrësia e karakteristikës së pangopur të punimit pa ngarkesë dhe me  $\Delta I_{ef}$  shënojmë distancën nga karakteristika e pangopur e punimit pa ngarkesë (1) dhe karakteristikës së punimit nën ngarkesë (3).

Nga Figura 44, mund të shkruajmë:

$$I_{ef} = \frac{E_X}{R_g} + \Delta I_{ef} \quad 3.180$$

Ku  $\Delta I_{ef}$  është një funksion jolinear i  $E_X$  dhe mund të shprehet :

$$\Delta I_{ef} = E_X S_e(E_X) \quad 3.181$$

Ku  $S_e(E_X)$  është funksioni i saturimit që varet nga  $E_X$

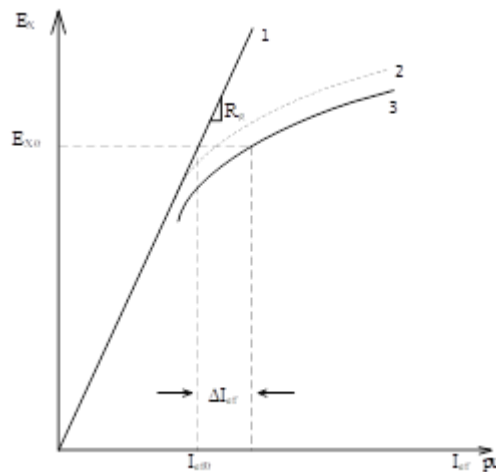


Figura 44 Karakteristika e pangopur e punimit pa ngarkesë e eksituesit

Nga ekuacionet 3.177 deri 3.181 do të marrim:

$$E_{ef} = \frac{R_{ef}}{R_g} E_X + R_{ef} S_e(E_X) E_X + \frac{1}{K_X} \frac{dE_X}{dt} \quad 3.182$$

Ekuacioni i mësipërm jep marrëdhënien midis tensionit të daljes  $E_X$  dhe tensionit të hyrjes  $E_{ef}$ . Një sistem i përshtatshëm në p.u për këtë ekuacion është ai me vlerat bazë të  $E_X$  dhe  $I_{ef}$  të zgjedhura të jenë të barabarta me ato vlera të kërkuara për të dhënë tension nominal të makinës sinkrone në karakteristikën e pangopur të punimit pa ngarkesë. Kështu,

$$\begin{aligned} E_{Xbase} &= E_{fdbase} \\ I_{efbase} &= \frac{E_{fdbase}}{R_g} \\ R_{gbase} &= R_g \end{aligned} \quad 3.183$$

Nga pjestimi i ekuacionit 3.183 me  $E_{Xbase}$ , do të kemi:

$$\frac{E_{ef}}{E_{Xbase}} = \frac{R_{ef}}{R_g} \frac{E_X}{E_{Xbase}} + R_{ef} S_e(E_X) \frac{E_X}{E_{Xbase}} + \frac{1}{K_X} \frac{d}{dt} \left( \frac{E_X}{E_{Xbase}} \right) \quad 3.184$$

Në p.u, do të kemi:

$$\bar{E}_{ef} = \frac{R_{ef}}{R_g} \bar{E}_X [1 + \bar{S}_e(\bar{E}_X)] + \frac{1}{K_X} \frac{d\bar{E}_X}{dt} \quad 3.185$$

Në ekuacionin e mësipërm,  $\bar{S}_e(\bar{E}_X)$  është funksioni i ngopjes në p.u i përcaktuar si më poshtë:

$$\bar{S}_e(\bar{E}_X) = \frac{\Delta \bar{I}_{ef}}{\bar{E}_X} = R_g S_e(E_X) \quad 3.186$$

Nga Figura 45, me  $E_X$  dhe  $I_{ef}$  të shprehura në p.u, funksioni i ngopjes në p.u jepet nga [2]

$$\bar{S}_e(\bar{E}_X) = \frac{A - B}{B} \quad 3.187$$

Parametri  $K_X$  i përcaktuar nga ekuacioni 3.178 mund të shkruhet si:

$$K_X = \frac{E_X}{\psi} = \frac{E_X}{L_{ef} I_{ef}} = \frac{R_g \bar{E}_X}{L_{ef} \bar{I}_{ef}} \quad 3.188$$

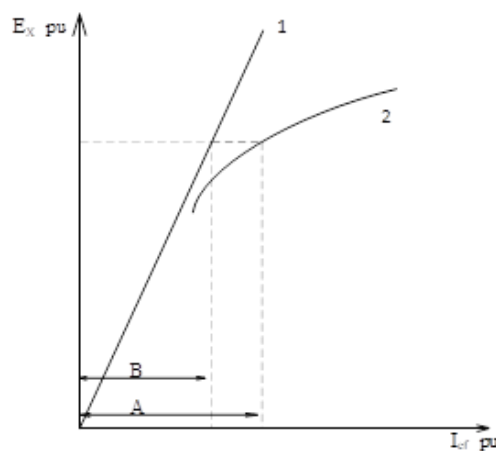


Figura 45 Karakteristika e saturimit të eksituesit

$$L_{fu} = L_{ef} \frac{\bar{I}_{ef0}}{\bar{E}_{X0}} \quad 3.189$$

Prandaj,  $K_X = \frac{R_g}{L_{fu}}$ . Duke zëvendësuar në ekuacionin 3.184, marrim:

$$\bar{E}_{ef} = K_E \bar{E}_X + \bar{S}_e(\bar{E}_X) \bar{E}_X + T_E \frac{d\bar{E}_X}{dt} \quad 3.190$$

ku

$$K_E = \frac{R_{ef}}{R_g} \quad 3.191$$

$$T_E = \frac{L_{fu}}{R_g} \quad 3.192$$

$$\bar{S}_e(\bar{E}_X) = \bar{S}_e(\bar{E}_X) \frac{R_{ef}}{R_g} \quad 3.193$$

Ekuacioni 3.190 paraqet marrëdhënien hyrje-dalje të eksituesit. Për një eksitues me eksitim të pavarur, tensioni i hyrjes  $E_{ef}$  është tensioni i daljes e rregullatorit  $V_R$ . Tensioni i daljes  $E_X$  i një eksituesi DC, aplikohet drejtpërdrejt në rotorin e makinës sinkrone. Prandaj, eksituesi mund të paraqitet në formë bllok diagrami siç tregohet në Figura 46. Në diagram, të gjitha variablat janë në p.u.

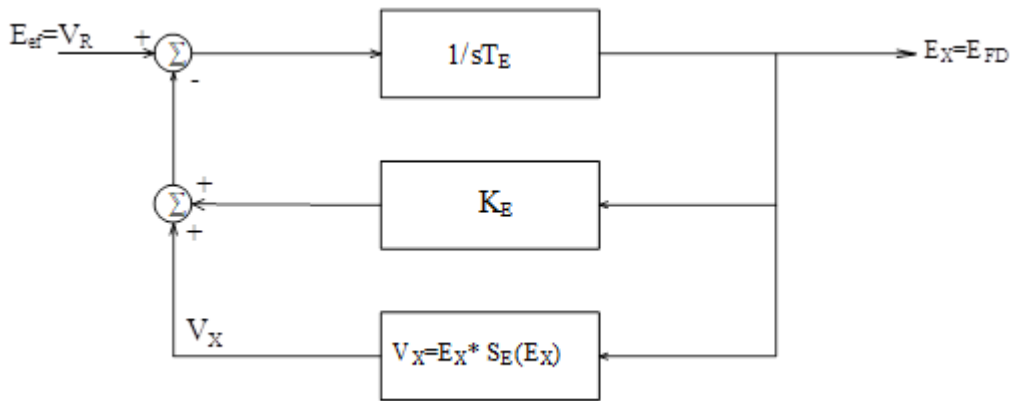


Figura 46 Bllok diagrama e një eksituesi DC

Zakonisht përdoret  $V_X = A_{EX} e^{B_{EX} E_X}$

Rregullimi i rezistencës së qarkut të fushës  $R_{ef}$  ndikon në  $K_E$  si dhe funksionin e ngopjes  $S_e(E_X)$  por jo kohën e integritetit  $T_E$  të funksionit transmetues.

Ka disa shprehje matematikore të përshtatshme që mund të përdoren për të përafëruar efektin e ngopjes së eksituesit. Një shprehje e përdorur zakonisht është funksioni eksponencial

$$V_X = E_X S_e(E_X) = A_{EX} e^{B_{EX} E_X} \quad 3.194$$

Bllok diagrama në Figura 46, ofron një mjet të përshtatshëm për të përfaqësuar eksituesin DC në studimet e qëndrueshmërisë. Megjithatë, amplituda dhe konstantja e kohës së eksituesit nuk janë lehtësisht të dukshme prej tij.

Për çdo pikë funksionimi  $E_X = E_{FD} = E_{FD0}$ , me amplitudë  $K$  dhe konstante kohe për eksituesit për ngacmime të vogla janë:

$$K = \frac{1}{B_{EX} S_e(E_{FD0}) + K_E} \quad 3.195$$

$$T = \frac{T_E}{B_{EX} S_e(E_{FD0}) + K_E} \quad 3.196$$

Ku

$$S_E(E_{X0}) = A_{EX} e^{B_{EX} E_{FD0}}$$

3.197

### 3.14.7 Eksituesit DC me vetëeksitim

Figura 47 tregon një model qarku të një eksituesi DC me vetëeksitim.

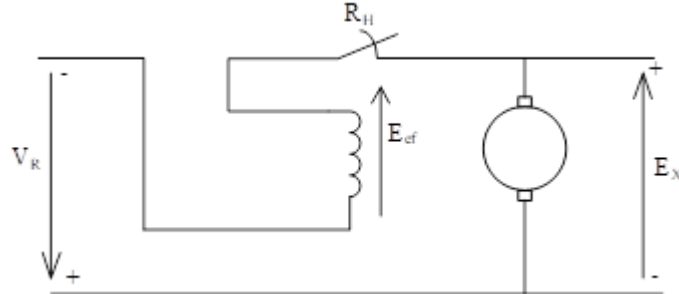


Figura 47 Eksitues DC me vetëeksitim

Për këtë eksitues, dalja e rregullatorit  $V_R$  është në seri me pëstjtjellen e fushës të eksituesit. Prandaj, tensioni në p.u në fushën e eksituesit është:

$$E_{ef} = V_R + E_X \quad 3.198$$

Marrëdhënia midis vlerave në p.u të  $E_{ef}$  dhe  $E_X$  të zhvilluar për eksituesin me eksitim të pavarur zbatohet gjithashtu në këtë rast. Duke zëvendësuar  $E_{ef}$  të dhënë nga ekuacioni 3.198 në ekuacionin 3.184, do të kemi:

$$V_R + E_X = \frac{R_{ef}}{R_g} E_X [1 + S_e(E_X)] + \frac{1}{K_X} \frac{dE_X}{dt} \quad 3.199$$

Nga reduktimi:

$$V_R = K_E E_X + S_E(E_X) E_X + T_E \frac{dE_X}{dt} \quad 3.200$$

$$K_E = \frac{R_{ef}}{R_g} - 1 \quad 3.201$$

$$T_E = \frac{L_{fu}}{R_g} \quad 3.202$$

$$S_E = S_e(E_X) \frac{R_{ef}}{R_g} \quad 3.203$$

Bllok skema në Figura 47, zbatohet gjithashtu për eksituesin DC me vetëeksitim. Vlera e  $K_E$  megjithatë, tani është e barabartë me  $\frac{R_{ef}}{R_g} - 1$  në krahasim me  $\frac{R_{ef}}{R_g}$  për rastin e me eksitim të pavarur.

Operatorët e stacionit zakonisht ndjekin rregullatorin e tensionit duke rregulluar periodikisht pikën e caktuar të reostatit në mënyrë që të bëjë zero daljen e rregullatorit të tensionit. Kjo llogaritet duke zgjedhur vlerën  $K_E$  në mënyrë që vlera fillestare e  $V_R$  të jetë e

barabartë me zero. Prandaj, parametri  $K_E$  nuk është i fiksuar, por ndryshon me kushtet e funksionimit.

### 3.14.8 Eksituesit AC dhe radrizatorët

Paraqitja e eksituesit të rrymës (duke përfshirur korrigjimin) e rekomanduar për përdorim në studimet e qëndrueshmërisë në shkallë të gjerë është paraqitur në Figura 48.

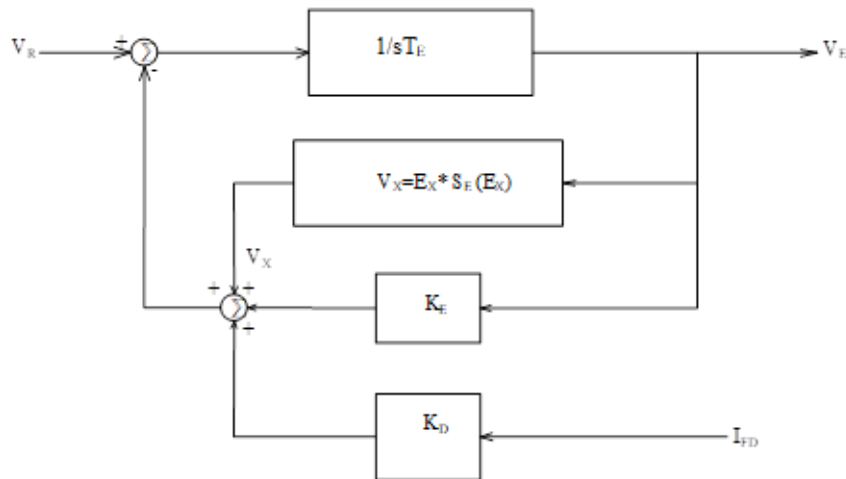


Figura 48 Bllok diagrama e eksituesit AC

Struktura e përgjithshme e modelit është e ngjashme me atë të eksituesit DC. Megjithatë, në këtë rast rregullimi i ngarkesës për shkak të efektit të reaksionit të induktit llogaritet në mënyrë të qartë dhe karakteristika e punimit pa ngarkesë përdoret për të përcaktuar funksionin e ngopjes  $S_E$ . Tensioni i brendshëm i eksituesit është tensioni  $V_E$  i punimit pa ngarkesë siç përcaktohet nga karakteristika e punimit pa ngarkesë. Rryma kryesore e fushës së gjeneratorit  $I_{FD}$  përfaqëson rrymën e ngarkesës së eksituesit lidhja e kundert  $K_D I_{FD}$  llogaritet efektin çmagnetizues të reaksionit të induktit. Konstantja  $K_D$  varet nga reaktancat sinkrone dhe kalimtare të eksituesit AC.

Figura 49 ilustron llogaritjen e funksionit të ngopjes  $S_E$  për një vlerë të caktuar të  $V_E$ . Funksioni i ngopjes në p.u është:

$$S_E(V_E) = \frac{A - B}{B} \quad 3.204$$

Çdo shprehje e përshtatshme matematikore mund të përdoret për të përfaqësuar funksionin e ngopjes. Ashtu si në rastin e eksituesve DC, një shprehje e përdorur zakonisht për është

$V_X = V_E S_E(V_E)$  funksioni eksponencial i dhënë nga ekuacioni 3.198.

Qarqet radrizuese të urës me valë të plotë trefazore përdoren zakonisht për të korrigjuar tensionin e daljes së eksituesit AC. Impedanca efektive e burimit të rrymës e parë nga radrizatori është kryesisht një reaktancë induktive. Efekti i kësaj reaktance induktive (referuar si reaktancë komutuese) është të vonojë procesin e komutimit, d.m.th., transferimin e rrymës nga një valvul në tjetrin.

Kjo prodhon një ulje të tensionit mesatar të daljes së radrizatorit ndërsa rritet rryma e ngarkesës së tij. Literatura tregon se një qark radrizues i urës me valë të plotë trefazore është një nga tre mënyrat e dallueshme pasi rryma e ngarkesës së radrizatorit ndryshon nga regjimi i punimit pa ngarkesë në regjimin e qarkut të shkurtër. Mënyra e funksionimit varet nga rënia

e tensionit komutues (e barabartë me produktin e reaktancës komutuese dhe rrymës së ngarkesës).

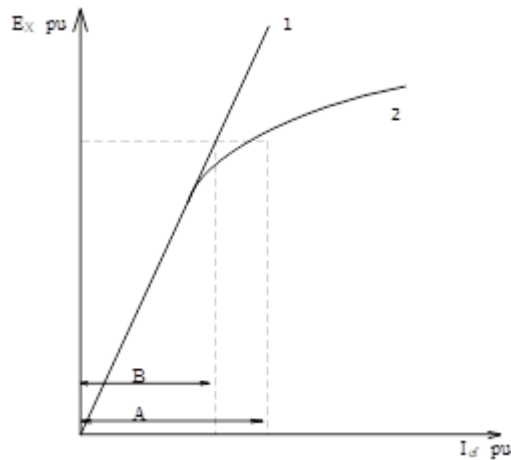


Figura 49 Karakteristika e ngopjes së eksituesit AC

Ekuacionet që përcaktojnë rregullimin e radrizatorit si funksion i rënies së tensionit të komutimit mund të shprehen si më poshtë:

$$E_{FD} = F_{EX} V_E \quad 3.205$$

$$F_{EX} = f(I_N) \quad 3.206$$

$$I_N = \frac{K_C I_{FD}}{V_E} \quad 3.207$$

Konstantja  $K_C$  varet nga reaktanca komutuese. Efektet e rregullimit të radrizatorit të identifikuar më sipër mund të përshkruhen në formën e bllok-diagramit siç tregohet në Figura 50.

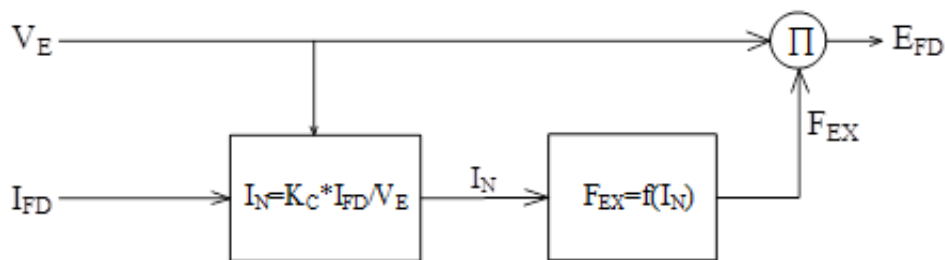


Figura 50 Modeli i rregullimit të radrizatorit

Duke iu referuar Figura 48 dhe Figura 49, tensioni i daljes së eksituesit  $E_{FT}$  është simuluar si tension i brendshëm i eksituesit AC ( $V_E$ ) të reduktuar nga reaksioni i induktit ( $I_{FD}K_D$ ) dhe rregullimi i radrizatorit ( $F_{EX}$ ).

### 3.14.9 Amplifikatori

Amplifikatorët mund të jenë të tipit magnetik, rotullues ose elektronik. Përforcuesit magnetikë dhe elektronikë karakterizohen nga një amplitudë dhe mund të përfshijnë gjithashtu një konstante kohe. Si të tilla ato mund të përfaqësohen nga bllok-diagrami i Figura 51.

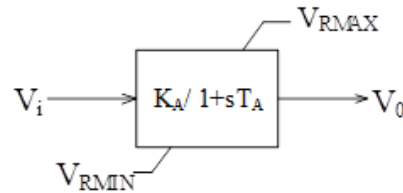


Figura 51 Modeli i amplifikatorit

Dalja e amplifikatorit është e përcaktuar nga kufizimet e ngopjes ose të furnizimit me energji elektrike; kjo përfaqësohet nga kufijtë  $V_{RMAX}$  dhe  $V_{RMIN}$  në Figura 51.

Kufijtë e daljes së disa amplifikatorëve që kanë furnizim me energji nga gjeneratori ose nga zbarat e nevojave vetjake ndryshojnë me tensionin e terminalit të gjeneratorit. Në raste të tilla,  $V_{RMAX}$  dhe  $V_{RMIN}$  ndryshojnë drejtpërdrejt me tensionin e zbarës së gjeneratorit  $E_t$ .

Funksioni i transmetimit të një amplifikatori ka formën e përgjithshme të paraqitur në Figura 52.

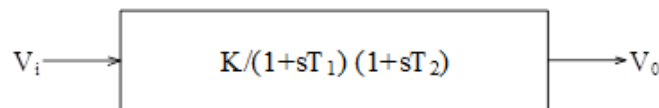


Figura 52 Modeli i amplidines

### 3.14.10 Qarku stabilizues i sistemit të eksitimit

Ka disa mënyra për të realizuar fizikisht funksionin stabilizues të identifikuar në Figura 42. Disa sisteme eksitimit përdorin transformatorë në seri siç tregohet në Figura 53.

$$V_1 = R_1 i_1 + sL_1 i_1 + sM i_2 \quad 3.208$$

$$V_2 = R_2 i_2 + sL_2 i_2 + sM i_1 \quad 3.209$$

ku me 1 dhe 2 tregohen parametrat primarë dhe sekondarë; R, L dhe M tregojnë respektivisht rezistencën aktive, induktancën vetjake dhe induktivitetin reciprok.

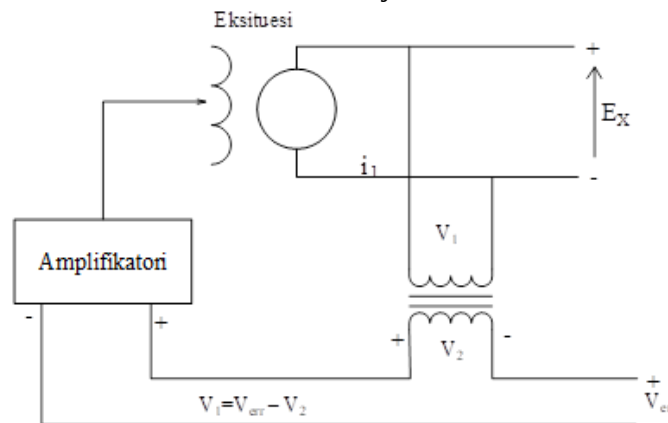


Figura 53 Qarku stabilizues i sistemit të eksitimit

Sekondari i transformatorit është i lidhur me një qark me rezistencë të lartë. Prandaj, duke neglizhuar  $i_2$ , kemi:

$$V_1 = (R_1 + sL_1)i_1 \quad 3.210$$

$$V_2 = sMi_1 \quad 3.211$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{sM}{R_1 + sL_1} = \frac{sK_F}{1 + sT_F} \quad 3.212$$

ku

$$K_F = \frac{M}{R} \quad 3.213$$

$$T_F = \frac{L_1}{R} \quad 3.214$$

### 3.14.11 Limituesit max dhe min

Në modelimin e sistemeve të eksitimit, është e nevojshme të bëhet dallimi midis kufijve max. limitit min Kufij të tillë hasen me blloqet integruese, blloqet e njëkohshme konstante dhe blloqet me përparim-vonesë. Figura 54 dhe Figura 55 tregojnë ndryshimet midis dy llojeve të limiteve kur aplikohen në një bllok integrues.

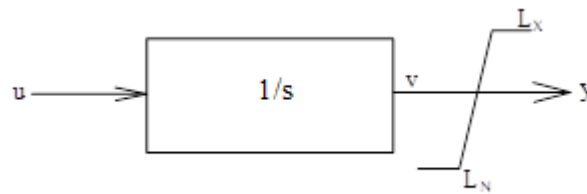


Figura 54 Bllok integrues limitues max

$$\text{Ekuacionet e sistemit: } \frac{dv}{dt} = u \quad 3.215$$

Limitet:

$$\begin{aligned} \text{Nëse } L_N < v < L_X, \text{ atëherë } y &= v \\ \text{Nëse } v \geq L_X, \text{ atëherë } y &= L_X \\ \text{Nëse } v \leq L_N, \text{ atëherë } y &= L_N \end{aligned} \quad 3.216$$

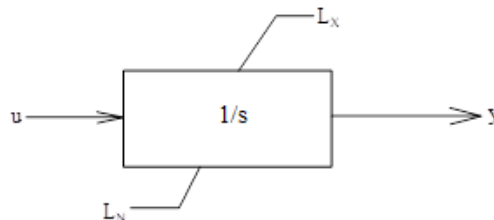


Figura 55 Bllok integrues limitues min

$$\text{Ekuacionet e sistemit: } \frac{dy}{dt} = u \quad 3.217$$

Limitet:

$$\begin{aligned}
 &\text{Nëse } L_N < y < L_X, \text{ atëherë } \frac{dy}{dt} = u \\
 &\text{Nëse } y \geq L_X \text{ dhe } \frac{dy}{dt} > 0, \frac{dy}{dt} = 0, y = L_X \\
 &\text{Nëse } y \leq L_N \text{ dhe } \frac{dy}{dt} < 0, \frac{dy}{dt} = 0, y = L_N
 \end{aligned}
 \tag{3.218}$$

Me limituesin max. ndryshorja  $v$  nuk është e kufizuar. Prandaj, ndryshorja në dalje  $y$  nuk mund të dalë jashtë kufijve derisa  $v$  të hyjë brenda kufijve. Me limituesin min., ndryshorja në dalje  $y$  është e kufizuar; del jashtë kufijve sapo hyrja  $u$  ndryshon shenjën. Figura 56 dhe Figura 57 tregojnë ndryshimin midis dy llojeve të kufijve kur aplikohen në një bllok të vetëm me konstante kohe. Rëndësia e dy llojeve të kufijve është e ngjashme me atë për një integruer. Me një limitues max., ndryshorja në dalje  $y$  nuk mund të dalë jashtë kufijve derisa  $v$  të hyjë brenda kufijve. Megjithatë, me limitues min., dalja  $y$  del jashtë kufijve sapo hyrja  $u$  rihyn në intervalin brenda kufijve.

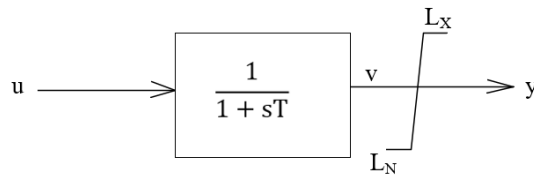


Figura 56 Bllok me konstante kohe me limitues max

$$\text{Ekuacionet e sistemit: } \frac{dv}{dt} = \frac{u-v}{T}
 \tag{3.219}$$

Limitet:

$$\begin{aligned}
 &\text{Nëse } L_N < v < L_X, \text{ atëherë } y = v \\
 &\text{Nëse } v \geq L_X \text{ atëherë } y = L_X \\
 &\text{Nëse } v \leq L_N \text{ atëherë } y = L_N
 \end{aligned}
 \tag{3.220}$$

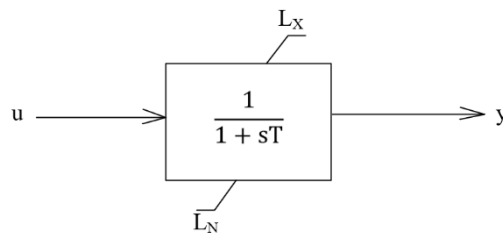


Figura 57 Bllok me konstante kohe me limitues min

$$\text{Ekuacionet e sistemit: } f = \frac{u-y}{T}
 \tag{3.221}$$

Limitet:

$$\begin{aligned}
 &\text{Nëse } L_N < y < L_X, \text{ atëherë } \frac{dy}{dt} = f \\
 &\text{Nëse } y \geq L_X \text{ dhe } f > 0, \frac{dy}{dt} = 0, y = L_X \\
 &\text{Nëse } y \leq L_N \text{ dhe } f < 0, \frac{dy}{dt} = 0, y = L_N
 \end{aligned}
 \tag{3.222}$$

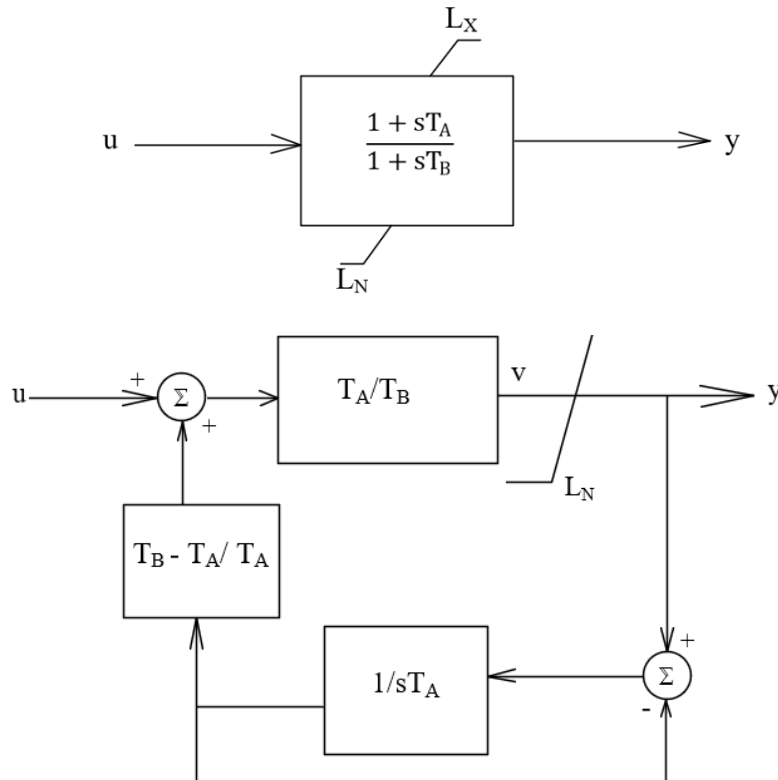


Figura 58 Blloku perparim-vonese me limitues min

Limitet:

$$\begin{array}{ll} \text{Nëse} & L_N \leq v \leq L_X, \text{ atëherë } y = v \\ \text{Nëse} & v > L_X \text{ atëherë } y = L_X \\ \text{Nëse} & v < L_N \text{ atëherë } y = L_N \end{array} \quad 3.223$$

Me një bllok përparim-vonese, interpretimi i veprimit të windup limit është i drejtpërdrejtë dhe është i ngjashëm me atë të një blloku të vetëm me konstante kohe. Megjithatë, mënyra në të cilën mund të realizohet nonwindup limit nuk është unike, prandaj interpretimi i veprimit kufizues duhet të bazohet në pajisjen fizike të përfaqësuar nga blloku. Figura 58 ilustron një veprim të tillë kufizues që lidhet me zbatimin elektronik të funksioneve përparim-vonesë.

### 3.14.12 Funksionet e portave

Portat përdoren kur kërkohet të jepet kontrolli në një nga dy sinjalet hyrëse, në varësi të madhësisë së tyre relative në lidhje me njëri-tjetrin. Figura 59 ilustron funksionet e një porte me vlerë të ulët (VV) dhe një porte me vlerë të mëdha (VM) dhe simbolet e përdorura për t'i paraqitur ato në diagramet bllok.



Figura 59 Funksionet e portes me vlera te medha dhe te vogla ne hyrje

$$\begin{array}{ll} \text{Nëse} & u \leq v, \quad y = u \\ \text{Nëse} & u \geq v, \quad y = v \end{array} \quad 3.224$$

### 3.14.13 Shndërruesi tensionit dhe kompensuesi i ngarkesës

Paraqitja e bllok-diagramit të këtyre elementeve është paraqitur në Figura 60. Konstantja e kohës  $T_R$  përfaqëson korrigjimin dhe filtrimin e tensionit të bornave të makinës sinkrone. Parametrat e kompensuesit të ngarkesës janë  $R_c$  dhe  $X_c$ . Variablat hyrës  $E_t$  dhe  $I_t$  janë fazore. Kur kompensimi i ngarkesës nuk përdoret,  $R_c$  dhe  $X_c$  vendosen në zero. Dalja e dhënësit të tensionit  $V_c$  formon sinjalin kryesor të kontrollit në sistemin e eksitimit. Nëse nuk përdoret një kompensues ngarkese dhe  $T_R$  është i papërfillshëm,  $V_c = E_t$ .

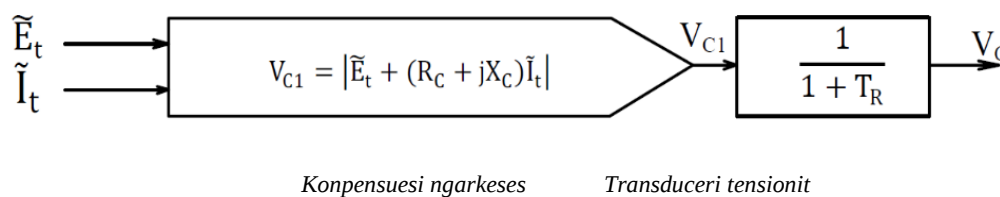


Figura 60 Modeli transducerit tension dhe kompensuesi i ngarkeses

### 3.14.14 Modelimi i plotë i Sistemeve të Eksitimit

Figura 61 përshkruan strukturën e përgjithshme të një modeli të detajuar të sistemit të eksitimit që ka një lidhje një-për-një me pajisjen fizike. Ndërsa kjo strukturë modeli ka avantazhin e mbajtjes së një lidhjeje të drejtpërdrejtë midis parametrave të modelit dhe parametrave fizikë, një detaj i tillë konsiderohet shumë i madh për studimet e përgjithshme të sistemit. Prandaj, teknikat e reduktimit të modelit përdoren për të thjeshtuar dhe për të marrë një model praktik të përshtatshëm për llojin e studimit për të cilin synohet.

Parametrat e modelit të reduktuar zgjidhen të tillë që karakteristikat e amplitudës dhe të fazës së modelit të reduktuar të përputhen me ato të modelit të detajuar në diapazonin e frekuencës nga 0 deri në 3 Hz. Përveç kësaj, llogariten të gjitha jolinearitetet e rëndësishme që ndikojnë në qëndrueshmërinë e sistemit. Megjithatë, me një model të reduktuar, lidhja e drejtpërdrejtë midis parametrave të modelit dhe parametrave aktualë të sistemit në përgjithësi humbet.

Struktura e përshtatshme për modelin e reduktuar varet nga lloji i sistemit të eksitimit. IEEE ka standardizuar 12 struktura modele në formë bllok diagrami për të përfaqësuar shumëllojshmërinë e gjerë të sistemeve të eksitimit që janë në përdorim aktualisht.

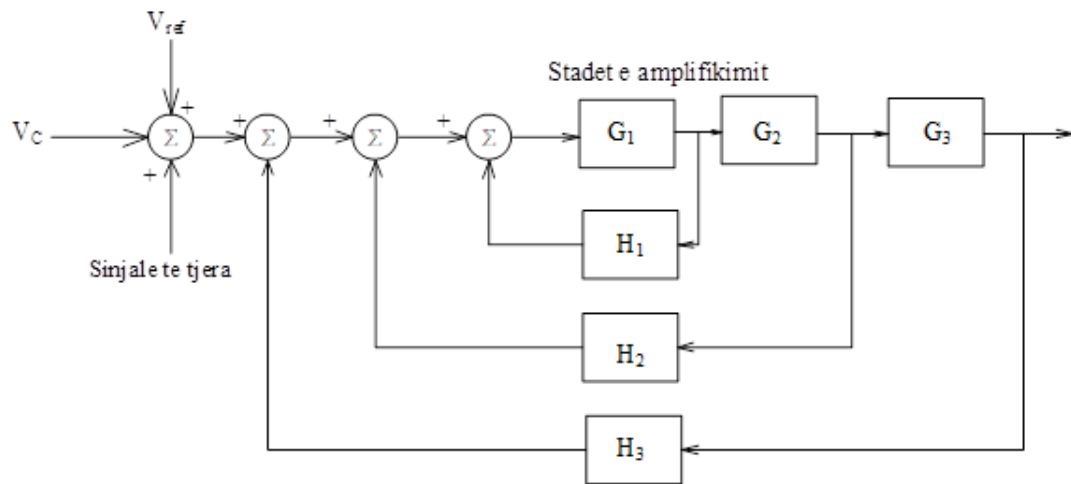


Figura 61 Struktura e detajuar e nje sistemi eksitimi

Këto janë të destinuara për përdorim në studimet e qëndrueshmërisë kalimtare dhe të qëndrueshmërisë për ngacmime të vogla. Për qëllime ilustrimi, do të shqyrtohen katër nga këto modele. Këto janë paraqitur në Figura 62 deri në Figura 65, me modifikim të lehtë të konventave të bllok-diagramit për t'iu përshtatur rekomandimeve të bëra në referencën . Shifrat përfshijnë një përshkrim të shkurtër të veçorive kryesore dhe të dhënave të mostrës. Prapashtesa "A" që shoqëron emërtimet është për qëllimin e diferencimit të këtyre modeleve të zhvilluara në 1992 nga modelet e ngjashme të zhvilluara më parë në 1981.

Sinjali kryesor i hyrjes për secilin prej sistemeve të eksitimit është dalja  $V_c$  e transduktorit të tensionit të paraqitur në Figura 60. Në pikën e parë të mbledhjes, sinjali  $V_c$  zbritet nga referenca e rregullatorit të tensionit  $V_{ref}$  dhe dalja  $V_s$  e stabilizatorit të sistemit të fuqisë, nëse përdoret, shtohet për të prodhuar sinjalin aktivizues që kontrollon sistemin e eksitimit. Sinjalet shtesë, si dalja e kufizuesit të nënëksitimit ( $V_{UEL}$ ), hyjnë në lojë vetëm gjatë kushteve ekstreme ose të pazakonta. Në gjëndje të qëndrueshme,  $V_s=0$  dhe  $V_r$  marrin një vlerë unike për gjëndjen e ngarkimit të makinës sinkrone në mënyrë që sinjali i gabimit të rezultojë në tensionin e kërkuar të fushës  $E_{fd}$ .

### 3.14.15 Modeli i eksituesit TIPI DC1A

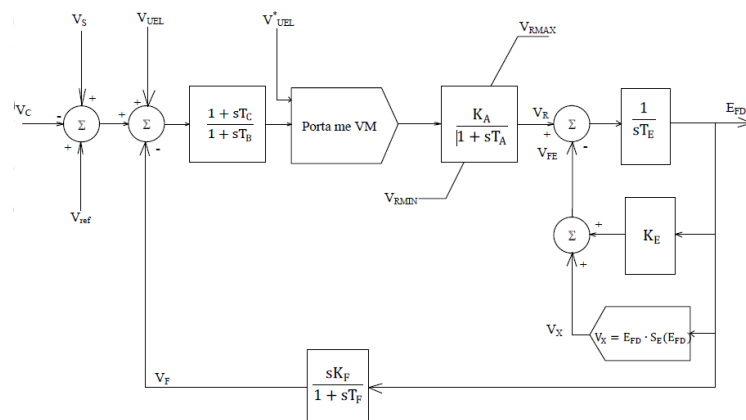


Figura 62 Modeli i eksituesit TIPI DC1A

Modeli i eksituesit të tipit DCIA përfaqëson eksituesin e tipit DC me fushë të kontrolluar, me rregullatorë të tensionit që veprojnë vazhdimisht. Eksituesi mund të jetë me eksitim te pavarur ose me veteksitim, lloji i fundit është më i zakonshëm. Kur është me veteksitim,  $K_E$  zgjidhet në mënyrë që fillimisht  $V_R=0$ , të përfaqësojë veprimin e operatorit për gjurmimin e rregullatorit të tensionit duke shkurtuar periodikisht pikën e caktuar të reostatit të fushës së eksituesit.

Të dhënat standarte për TIPIN DC1A

Eksitues DC me vetë-eksitim:

|            |       |
|------------|-------|
| $K_A$      | 187   |
| $T_A$      | 0.89  |
| $T_E$      | 1.15  |
| $A_{EX}$   | 0.014 |
| $B_{EX}$   | 1.55  |
| $K_F$      | 0.058 |
| $T_F$      | 0.62  |
| $T_B$      | 0.06  |
| $T_C$      | 0.173 |
| $T_R$      | 0.05  |
| $V_{RMAX}$ | 1.7   |
| $V_{RMIN}$ | -1    |

### 3.14.16 Modeli i eksituesit TIPI AC1A

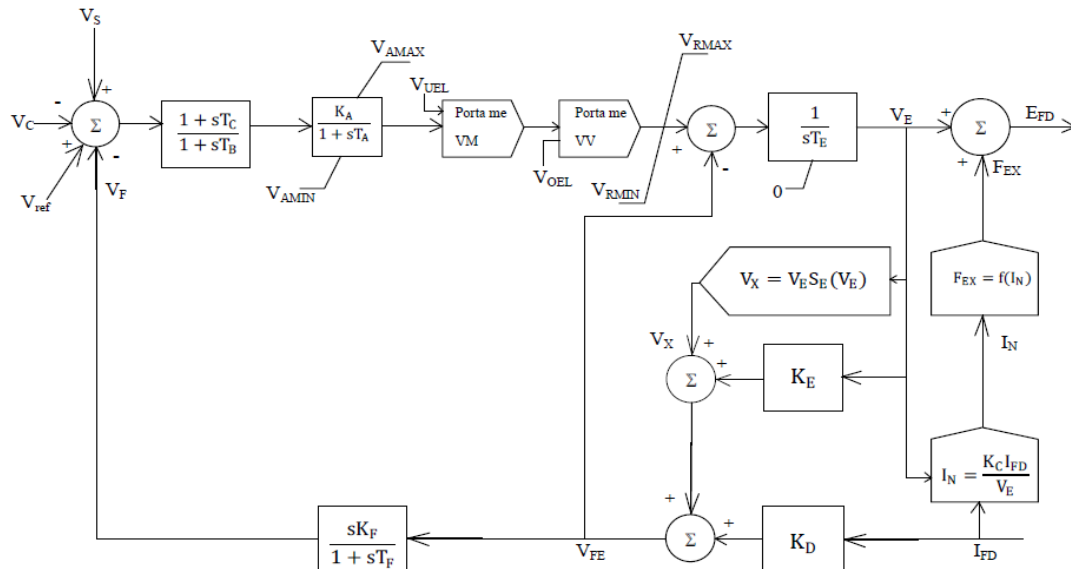


Figura 63 Modeli i eksituesit TIPI AC1A

Modeli eksituesit i tipit ACIA përfaqëson një sistem të eksitimit alternativ me fushë të kontrolluar me ure radrizatorësh të pakontrolluar dhe është i zbatueshëm për sistemet e

eksitimit pa furça. Karakteristika e urës me dioda imponon një kufi më të ulët zero në tensionin e daljes së eksituesit. Fusha e eksituesit furnizohet nga një eksitues pilot dhe furnizimi me energji i rregullatorit të tensionit nuk ndikohet nga burimet e jashtme.

#### Të dhënat standarte për TIPIN AC1A

Eksitues dhe rregullatori:

|                   |
|-------------------|
| $K_A = 400$       |
| $T_A = 0.02$      |
| $T_B = 0$         |
| $T_C = 0$         |
| $K_F = 0.03$      |
| $T_F = 1.0$       |
| $K_E = 1.0$       |
| $T_E = 0.8$       |
| $K_D = 0.38$      |
| $K_C = 0.2$       |
| $V_{RMAX} = 7.3$  |
| $V_{RMIN} = -6.6$ |
| $V_{AMAX} = 15$   |
| $V_{AMIN} = -15$  |
| $B_{EX} = 0.03$   |
| $A_{EX} = 0.1$    |

#### 3.14.17 Modeli i eksituesit TIPI AC4A

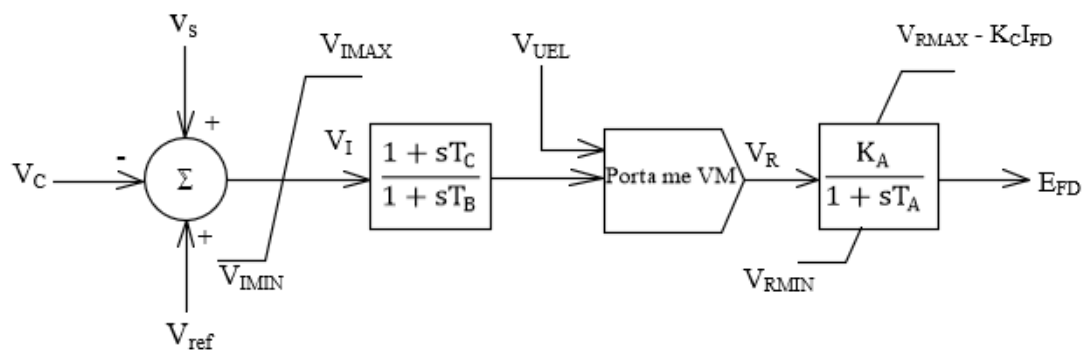


Figura 64 Modeli i eksituesit TIPI AC4A

Modeli eksituesit i tipit AC4A përfaqëson një sistem eksitimit me radrizatore të kontrolluar. Konstantja e kohës e lidhur me rregullatorin dhe ndezjen e tiristorëve përfaqësohet nga  $T_A$ . Amplituda përfaqësohet nga  $K_A$ . Efektet e rregullimit të radrizatorit në kufijtë e daljes së eksituesit llogariten nga konstantja  $K_C$ . Të dhënat standarte për TIPIN AC4A

|              |
|--------------|
| $K_A = 200$  |
| $T_A = 0.04$ |

|                    |
|--------------------|
| $T_B = 12$         |
| $T_C = 1.0$        |
| $V_{RMAX} = 6.64$  |
| $V_{RMIN} = -4.53$ |
| $V_{IMAX} = 1$     |
| $V_{IMIN} = -1$    |
| $K_C = 0$          |

### 3.14.18 Modeli i eksituesit TIPI ST1A

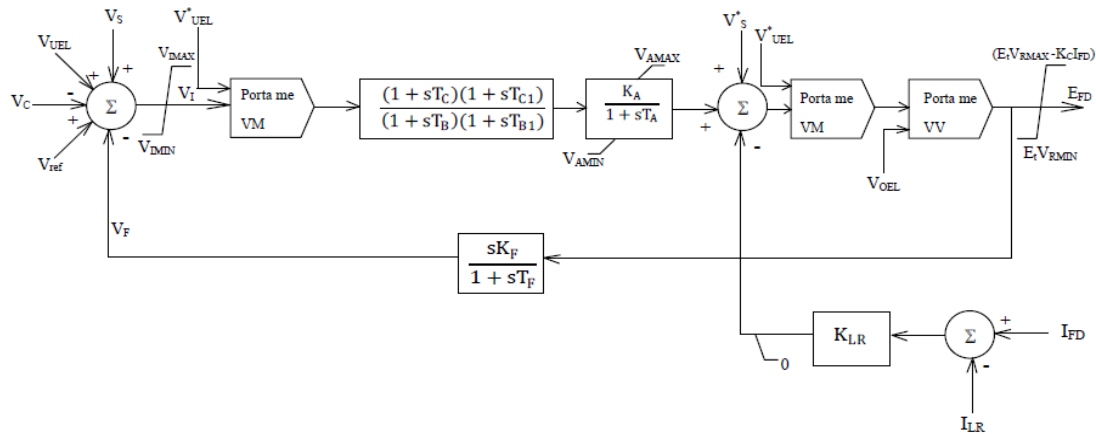


Figura 65 Modeli i eksituesit TIPI ST1A

Modeli i eksituesit të tipit ST1A përfaqëson një sistem me radrizatore të kontrolluar me burim potencial. Eksituesi furnizohet përmes një transformatori nga bornat e gjeneratorit; prandaj, tensioni maksimal të ngacmuesit është drejtpërdrejt proporcional me tensionin e terminalit të gjeneratorit. Efekti i rregullimit të radrizatorit në tensionin e maksimal përfaqësohet nga  $K_C$ .

#### Të dhënat standarde për TIPIN ST1A

$K_A = 200$                        $T_A = 0$                        $K_C = 0.04$   
 $V_{RMAX} = 7$                        $V_{RMIN} = -6.4$                        $K_{LR} = 4.54$                        $I_{LR} = 4.4$   
 $T_B, T_C, T_{C1}, K_F, T_F$  nuk përdoren  
 $V_{IMAX}, V_{IMIN}, V_{AMAX}, V_{AMIN}$  nuk janë paraqitur  
 Transduseri dhe kompensuesi i ngarkesës:  $T_R = 0.015$                        $R_C = 0$                        $X_C = 0$

### 3.14.19 Modelimi i limituesve

Modelet standarde të paraqitura në Figura 62 deri në Figura 65 nuk përfshijnë paraqitjen e qarqeve limituese, përkatësisht, limituesin e nënëksitimit, limituesin V/Hz dhe limituesin maksimal të eksitimit. Këto qarqe nuk hyjnë në lojë në kushte normale dhe zakonisht nuk modelohen në studimet e qëndrueshmërisë kalimtare dhe për ngacmime të vogla. Megjithatë, ato mund të jenë të rëndësishme për studimet dinamike të qëndrueshmërisë dhe qëndrueshmërisë së tensionit.

Zbatimi aktual i këtyre funksioneve limituese ndryshon gjerësisht në varësi të prodhuesit, cilësisë së mirë të pajisjeve dhe kërkesave të specifikuara nga shërbimi. Prandaj, modelet për

këto qarqe duhet të krijohen rast pas rasti. Këtu do të ilustronim se si modelohen pajisje të tilla duke shqyrtuar shembuj specifikë.

### Limituesit e nënëksitimit:

Figura 66 tregon modelin e një limituesi të nënëksitimit të përdorur në lidhje me një eksitues të tipit ST1A (statik). Parametrat  $K_C$  dhe  $K_R$  përcaktojnë karakteristikat e limituesit në planin P-Q.  $V_{UEL}$ -i i daljes së limituesit aplikohet në portën VM të modelit të eksituesit të Figura 66.

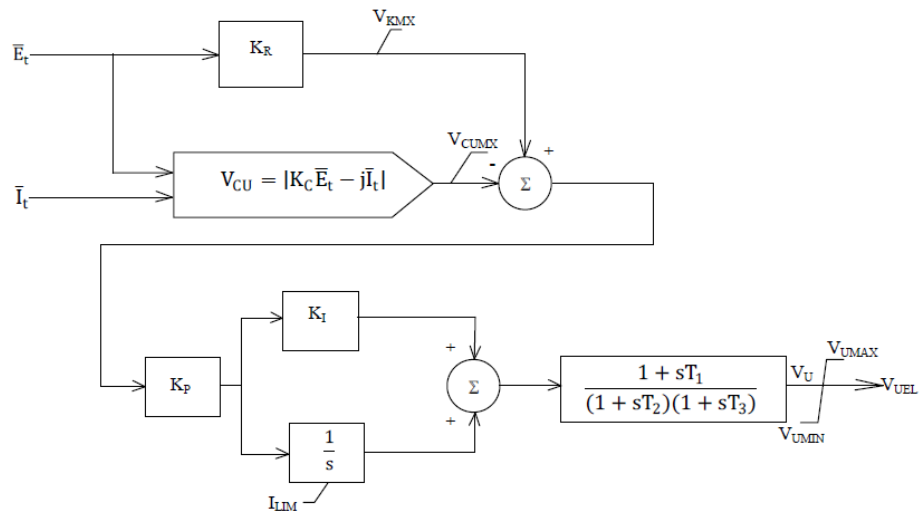


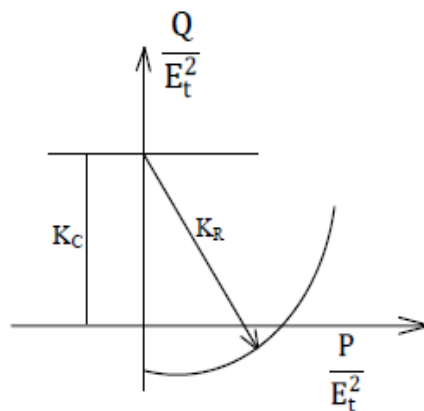
Figura 66 Tipi i një limituesi të nënëksitimit

### Të dhënat standarde

$$\begin{array}{llllll} K_P = 0.015 & K_I = 10 & T_I = 6.4 \text{ s} & T_2 = 0.8 \text{ s} & & \\ T_3 = 0.64 \text{ s} & V_{KMX} = 4 & V_{CUMX} = 4 & V_{UMX} = 0.2 & V_{UMN} = -0.2 & \\ I_{LIM} = -0.012 & & & & & \end{array}$$

$K_R$  = Rrezja e karakteristikës së Nënëksitimit

$K_C$  = Qendra e karakteristikës së Nënëksitimit



### Limituesit V/Hz:

Një shembull i modelit të limituesit V/Hz është paraqitur në Figura 67. Funksionimi i kufizuesit është mjaft i drejtpërdrejtë. Kur vlera për njësi V/Hz tejkalon vlerën kufizuese të  $V_{ZLM}$ , një sinjal i fortë negativ e zvogëlon eksitimin. Kufiri  $V_{ZLM}$  është vendosur zakonisht në 1.07 deri në 1.09 p.u.

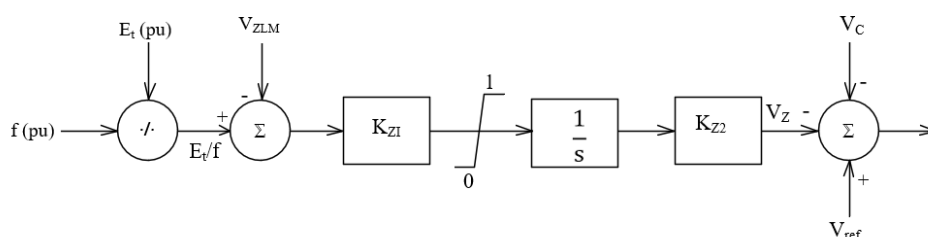


Figura 67 Modeli i limituesit V/Hz

### Të dhënat standarde

$$V_{ZLM} = 1.07$$

$$K_{Z1} = 1000$$

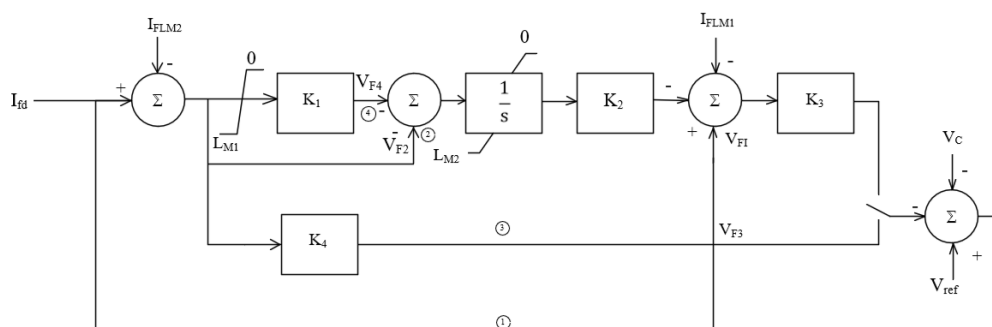
$$K_{Z2} = 0.007$$

### Limituesi i rrymës së fushës ose i mbieksitimit

Figura 68 tregon modelin e një qarku limitues të rrymës së fushës. Është projektuar që të ketë një veprim limitues siç tregohet në Figura 68. Një vlerë e lartë siguron kufizim pothuajse të menjëhershëm në 1,6 herë rrymën e ngarkesës së plotë. Një vlerë e ulët i  $1.05 \times RNP$  në lidhje me një funksion të kohës së rampës siguron një veprim kufizues me vonesë kohe në varësi të nivelit të rrymës së fushës. Për shembull, niveli aktual i rrymës së fushës  $1,325 \times RNP$  do të lejohet për 15 s, e ndjekur nga një ulje e nivelit aktual në  $1,05 \times RNP$  gjatë 15 s.

Duke iu referuar bllok diagramit të Figura 68, kur  $I_{fd}$  tejkalon vendosjen e lartë  $I_{FLM1}$ , sinjali  $V_{F1}$  i kontrollit të qarkut (1) vepron për të reduktuar eksitimin në çast.

Kur rryma e fushës është nën  $I_{FLM1}$ , veprimi kufizues bëhet përmes kontrollit të qarkut (2). Madhësia e sinjalit të kontrollit  $V_{F2}$  dhe vlera e amplitudës  $K_2$ , përcaktojnë vonesën kohore dhe veprimin rampës. Sapo rryma e fushës arrin vlerën e ulët  $I_{FLM2}$ , çelësi i përzgjedhjes ndryshon në pozicionin e përzgjedhjes së ulët; kjo siguron që rryma e fushës, në rast të një shqetësimi të dytë, të mos kalojë vlerën e ulët për një periudhë minimale për të lejuar ftohjen e makinës. Kur rryma e fushës është nën  $I_{FLM2}$ , sinjali  $V_{F4}$  ndihmon për të rivendosur me shpejtësi daljen e integruarit në zero.

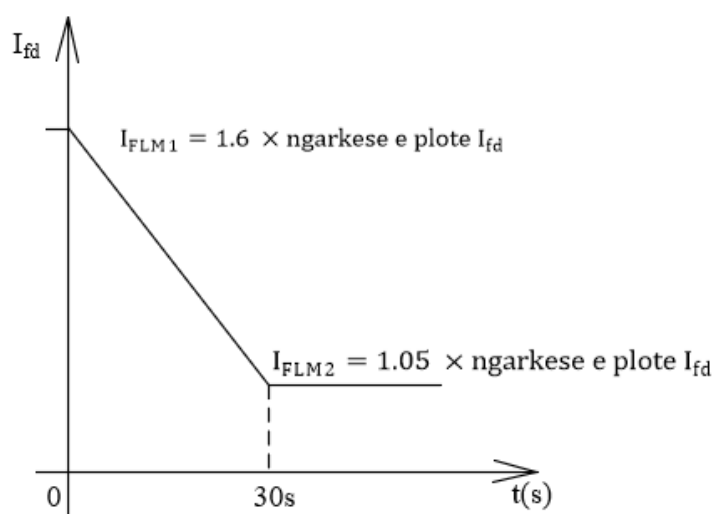


(a) : Paraqitja e bllok diagramës

Të dhënat standarde

$$I_{FLM1} = 1.6 \times \text{ngarkesë e plotë } I_{fd} \quad I_{FLM2} = 1.05 \times \text{ngarkesë e plotë } I_{fd}$$

|        |        |
|--------|--------|
| $K_1$  | 150    |
| $K_2$  | 0.248  |
| $K_3$  | 12.6   |
| $K_4$  | 140    |
| $LM_1$ | -0.085 |
| $LM_2$ | -3.85  |



(b) : Karakteristika e limituesit

Figura 68 Modeli i limituesit te rrymes se fushes

### 3.15 Testimet për zhvillimin dhe verifikimin e modelit

Megjithëse shumica e të dhënave që lidhen me modelet e sistemit të eksitimit mund të merren nga testet në fabrikë, të dhëna të tilla mund të konsiderohen vetëm si tipike. Cilësimet aktuale zakonisht përcaktohen në vend gjatë instalimit dhe vënies në punë të pajisjes. Prandaj është e dëshirueshme që të përcaktohen parametrat e modelit duke kryer teste në pajisjet aktuale në vend.

Natyra e testeve të kërkuara do të varet nga lloji i sistemit të eksitimit që testohet. Një procedurë e përgjithshme për verifikimin dhe zhvillimin e modelit është si më poshtë:

Merrni diagramet e qarkut, bllok diagramet, cilësimet nominale dhe diapazonin e cilësimeve. Ndërtoni një bllok diagram të detajuar të sistemit të plotë të eksitimit, duke identifikuar konstantet kohore dhe jolineare.

Me gjeneratorin (makinë sinkrone) të fikur, kryeni testet e përgjigjes së frekuencës dhe/ose testet e përgjigjes kalimtare në elementët individualë që përbëjnë sistemin e eksitimit. Identifikoni funksionet e tyre transmetuese jolineare, karakteristikat e ngopjes dhe kufijtë maksimale. Duke përdorur këto të dhëna, ndërtoni bllok diagramën e detajuar të sistemit të eksitimit dhe modifikoni diagramën sipas nevojës.

---

Kryeni testet e përgjigjes së frekuencës dhe përgjigjes në kohë me gjeneratorin që funksionon me shpejtësi nominale dhe prodhon tension nominal në qark të hapur. Kryeni prova shtesë me gjeneratorin që funksionon afër ngarkesës së vlerësuar. Vërtetoni modelin e detajuar të sistemit të plotë duke krahasuar me përgjigjet e matura.

Zvogëloni në hallka modelin e detajuar për t'iu përshtatur modelit standart të zbatueshëm për llojin specifik të sistemit të eksitimit duke përdorur teknikat e teorisë klasike të kontrollit. Vërtetoni përgjigjet e modelit të reduktuar kundrejt përgjigjeve të matura.

Procedura e mësipërme është mjaft e rëndësishme dhe kërkon shumë kohë për eksituesin më të vjetër me reagim të ngadaltë. Për një sistem eksitimi me reagim të shpejtë, testet e përgjigjes së frekuencës zakonisht nuk kërkojnë pasi numri i konstantave të kohës brenda ciklit kryesor të reagimit është i vogël. Për sistemet e eksitimit statik, parametrat e modelit zakonisht mund të merren nga të dhënat e projektimit, testet në terren kërkojnë vetëm për verifikim.

### **3.16 Modelimi i inverterit në impiantet fotovoltaike**

Kërkesa globale për energji po rritet vazhdimisht, dhe burimet e rinovueshme po zhvillohen me shpejtësi për të adresuar krizat energjitike. Këto burime lidhen me rrjetin elektrik përmes konvertuesve elektronikë të energjisë, të quajtur invertera, të cilët reagojnë shpejt, por nuk ofrojnë inerci mekanike, ndryshe nga gjeneratorët sinkronë tradicionalë. Kjo mungesë inercie zvogëlon qëndrueshmërinë e frekuencës së rrjetit, veçanërisht me rritjen e injektimit nga burimet e rinovueshme dhe dekomisionimin e centraleve të mëdha. Për të referuar këtë sfidë, janë zhvilluar strategjitë e kontrollit të rrjetit (grid-forming, GFM), si gjeneratorët virtualë sinkronë (VSG), të cilët imitojnë sjelljen e gjeneratorëve sinkronë, duke rritur inercinë dhe amortizimin e rrjetit.

#### **3.16.1 Krahasimi midis Konverterave GFL dhe GFM**

Konverterat(inverter) e energjisë ndahen në dy kategori kryesore: Ndjekës të rrjetit (grid-following ,GFL) dhe Formues Rrjeti (grid-forming, GFM), referuar skemave të kontrollit.

##### **Konverterat GFL**

Përfaqësohen si burime të kontrolluara të rrymës (Figura 1/a) dhe përdorin njësinë PLL (Phase-Locked Loop) për të ndjekur këndin e fazës së tensionit në pikën e lidhjes (PCC). Kontrollon fuqinë aktive dhe reaktive duke rregulluar rrymat e injektuara, por nuk rregullojnë drejtpërdrejt frekuencën ose tensionin, pasi varen nga referencat e rrjetit. Nuk janë të përshtatshëm për operim në modalitet ishull dhe nuk mund të trajtojnë devijimet e frekuencës.

##### **Konverterat GFM**

Përfaqësohen si burime të kontrolluara të tensionit (Figura 1/b)dhe mund të operojnë pa PLL, duke imituar gjeneratorët sinkronë për vetë-sinkronizim. Rregullojnë shpejt parametrat e daljes për të trajtuar devijimet e frekuencës dhe janë të përshtatshëm për operim në modalitet ishull. Në rrjete të dobëta, arrijnë vetë-sinkronizim duke ju referuar fuqisë aktive, por në rrjete të forta, ndryshimet e vogla të fazës mund të shkaktojnë luhatje të mëdha të fuqisë.

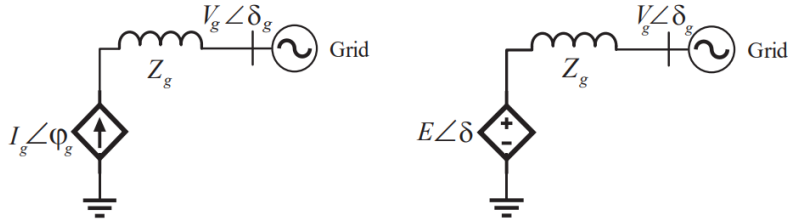


Figura 69 Skema zevendesimit per inverter ndjekes rrjeti dhe formues rrjeti

### Njësia PLL

Njësia PLL mundëson sinkronizimin e konverterit me rrjetin elektrik. Ajo ndjek këndin e fazës së tensionit në PCC dhe siguron sinkronizim të saktë. Modeli i linearizuar i sinjalit të vogël për PLL-në përshkruhet me ekuacionet:

$$\Delta \dot{\theta} = \Delta \omega, \quad 3.226$$

$$\Delta \dot{\omega} = k_p \Delta v_q + k_i \Delta \phi, \quad 3.227$$

ku  $k_p$  dhe  $k_i$  janë parametrat proporcional dhe integral të PLL-së, ndërsa  $\Delta v_q$  dhe  $\Delta \phi$  përfaqësojnë luhatjet e sinjalit.

### Loop i Kontrollit të Fuqisë

Loop-i i jashtëm i kontrollit të fuqisë rregullon fuqinë aktive ( $P_e$ ) dhe reaktive ( $Q_e$ ) të injektuara në rrjet. Fuqia aktive dhe reaktive shprehen si:

$$P_e = \frac{3}{2} (v_d i_d + v_q i_q), \quad 3.228$$

$$Q_e = \frac{3}{2} (v_d i_q - v_q i_d). \quad 3.229$$

Daljet e loop-it të fuqisë shërbejnë si referenca për loop-in e brendshëm të rrymës.

### Loop i Kontrollit të Rrymës

Loop-i i brendshëm rregullon rrymat e konverterit për të ndjekur referencat e vendosura nga loop-i i fuqisë. Përdoret një metodë “active-damping” bazuar në rezistencë virtuale për të reduktuar rezonancën por pa ndikuar në efikasitet. Modeli i linearizuar i rrymës është:

$$\Delta i_d = -\frac{R_f}{L_f} \Delta i_d + \omega \Delta i_q + \frac{1}{L_f} \Delta v_d, \quad 3.230$$

ku  $R_f$  dhe  $L_f$  janë rezistenca dhe induktanca e filtrit.

### Vonesa e Sistemit

Për shkak të vonesave nga kontrolli dixhital dhe modulimi i pulsit dixhital (PWM), modeli përfshin një kohë vonese:

$$\Delta \dot{x}_d = -\frac{1}{T_d} \Delta x_d + \frac{1}{T_d} \Delta u \quad 3.231$$

ku  $T_d$  është vonesa totale e sistemit.

## Modeli i Hapësirës së Gjendjes

Sipas ligjit të Kirchhoff-it, modeli i hapësirës së gjendjes të sistemit elektrik përshkruhet si:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad 3.232$$

ku  $x$  është vektori i gjendjes,  $A$  është matrica e sistemit, dhe  $B$  është matrica e hyrjes. Indeksi i qëndrueshmërisë së rrjetit (SCR) përcakton se sa i forte është rrjeti, kur  $SCR < 2$  tregon një rrjet të dobët ndërsa  $SCR > 3$  një rrjet të fortë.

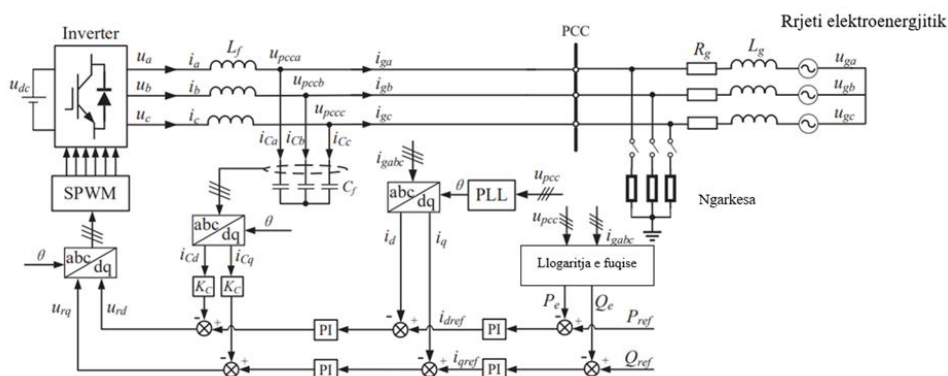


Figura 70 Topologjia e një konverteri GFL me kontroll PQ

GFL, ndjekje e rrjetit; PCC, pika e lidhjes të përbashkët; PI, integrali proporcional; PLL, loop i bllokuar me fazë; SPWM, modulimi sinusoidal i gjerësisë së pulsit.

### 3.16.2 Qarku i Kontrollit të Konverterave GFM

Konverterat GFM përdorin teknologjinë VSG për të imituar inercinë dhe amortizimin e gjeneratorëve sinkronë, duke përmirësuar qëndrueshmërinë e rrjetit.

#### Loop i Algoritmit VSG

Algoritmi VSG përfshin një kontrollor fuqie dhe frekuense, si dhe një kontrollor eksitimi. Kontrollori i fuqisë dhe frekuencës imiton karakteristikat e gjeneratorëve sinkronë:

$$J\dot{\omega} = P_{ref} - P_e - D(\omega - \omega_g) \quad 3.233$$

ku  $J$  është momenti i inercisë dhe  $D$  është koeficienti i amortizimit. Kontrollori i eksitimit rregullon tensionin.

#### Loop i Kontrollit të Tensionit

Loop-i i tensionit rregullon tensionet në PCC për t'u përputhur me referencat e VSG:

$$\Delta \dot{v}_d = k_{pv} \Delta e_d + k_{iv} \Delta \phi_v \quad 3.234$$

ku  $k_{pv}$  dhe  $k_{iv}$  janë koeficientët proporcional dhe integral.

#### Loop i Kontrollit të Rrymës

Loop-i i rrymës është i ngjashëm me atë të GFL, duke përdorur të njëjtin model të linearizuar.

## Modeli i Sistemit Elektrik

Modeli i sistemit elektrik për GFM është i ngjashëm me atë të GFL, por vlera e tensionit merret nga algoritmi VSG:

$$\dot{x} = A_g x + B_g u, \quad 3.235$$

ku  $A_g$  dhe  $B_g$  janë matricat përkatëse të sistemit GFM. Konvertuesit GFM ofrojnë avantazhe të mëdha për rrjetet me inerci të ulët, duke mundësuar operim në modalitet ishull dhe rregullim të shpejtë të frekuencës, ndërsa GFL janë të kufizuar në rrjete të forta dhe të sinkronizuara.

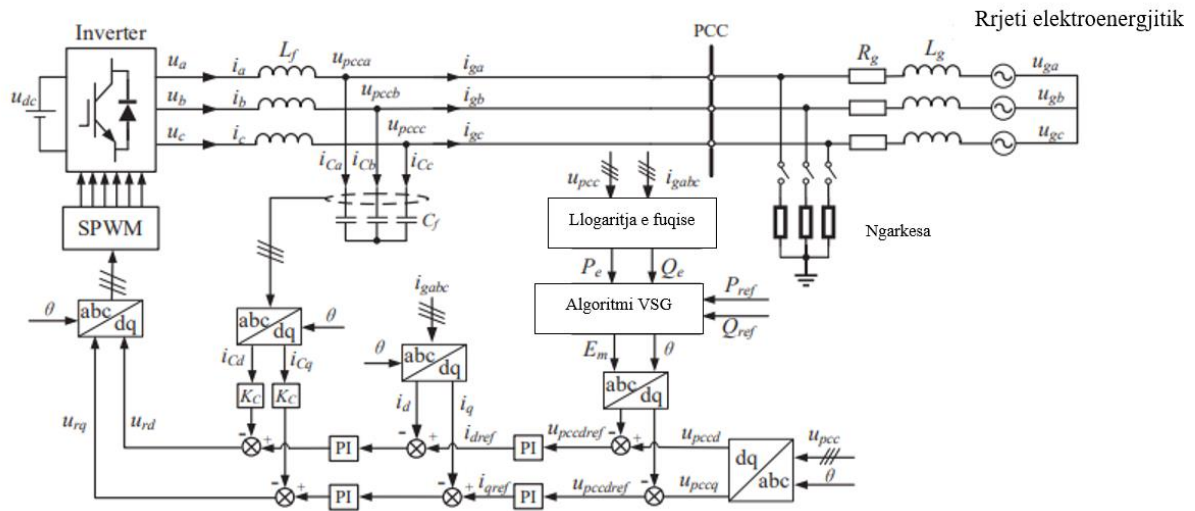


Figura 71 Topologjia e një konverteri GFM me kontrollin VSG,

---

# KAPITULLI IV

## 4. Konsiderata mbi strategjite e rivendosjes së SEE

### 4.1 Plani i Mbrojtjes së Sistemit të Transmetimit

Sistemi elektroenergjitik është projektuar dhe operohet në mënyrë që të jetë në gjendje të përballojë një numër kontigjencash të paracaktuara (p.sh. ngjarje N-1 si ndërprerja e një linje ose stakimi gjeneratoreve). Nëse ndodh një kontigjencë e tillë, sistemi elektroenergjitik duhet të jetë në gjendje të rikthehet në një pikë të qëndrueshme operimi. Gjithashtu është e mundur që sistemi t'i nënshtrohet një kontigjence që nuk është në listën e kontigjencave të parashikuara dhe që është më e rëndë (p.sh. ndërprerje e shumëfishtë e linjave ose e gjenerimit). Kur kontigjenca ekstreme ndërpret sistemin e ndërlidhur elektroenergjitik, efektet pas shqetësimit mund të çojnë në një numër llojesh të ndryshme të kolapsit të sistemit. Në shumicën e rasteve, kolapsi lidhet me paqëndrueshmëri (këndi i rotorit, frekuenca ose tensioni) ose me ndërprerje kaskadë të linjave. Kolapsi mund të shmanget vetëm përmes kontrollit në kohë të këtyre fenomeneve pas shqetësimit. Për të mbrojtur sistemin, është me rëndësi parësore të kuptohen secili nga fenomenet që përfshihen në kolapsin e sistemit. Prandaj, është thelbësore të kemi parasysh horizontin kohor për përhapjen e këtyre çështjeve, pasi kjo do të përcaktojë kohën në dispozicion për të zbutur problemin.

- **Qëndrueshmëria e Këndit të Rotorit:** Aftësia e gjeneratorëve sinkronë të një sistemi elektroenergjitik të ndërlidhur për të qëndruar të sinkronizuar pas një shqetësimi. Ajo ndahet në qëndrueshmëri të këndit për ngacmime të vogla dhe qëndrueshmëri kalimtare (pas një shqetësimi të madhe si psh një lidhje e shkurtër)[19].

- **Qëndrueshmëria e Frekuencës:** Aftësia e sistemit elektroenergjitik për të arritur dhe ruajtur një pikë të qëndrueshme operimi pas një ngacmimi të madhe(rëndë) që sjell një çekuilibër të konsiderueshëm midis prodhimit dhe konsumit [14][15]. Në sistemet e mëdha elektroenergjitike të ndërlidhura, kjo lloj qëndrueshmërie lidhet kryesisht me humbjen e njësieve të gjenerimit (kontigjenca të shumëfishta) ose ndarjen e sistemit në zona të pabalancuara.

- **Qëndrueshmëria e Tensionit:** Aftësia e sistemit elektroenergjitik për të ruajtur nivele të pranueshme të tensionit në të gjitha nyjet e sistemit pas një ngacmimi. Qëndrueshmëria e tensionit varet nga aftësia e sistemit për të furnizuar ngarkesën aktive dhe reaktive.

- **Mbi-ngarkesat Statike dhe Kalimtare (Termike):** Aftësia e sistemit elektroenergjitik për të furnizuar të gjithë ngarkesën pa dëmtuar ose aktivizuar mbrojtjen ndaj mbingarkesës termike të ndonjë elementi të sistemit.

#### Përshkrimi i Planit Mbrojtës

Për të parandaluar kolapsin, sistemi elektroenergjitik është i pajisur me një skemë mbrojtjeje me strukturë me shumë nivele.

**Niveli i parë** i mbrojtjes është i integruar që në fazën e projektimit të sistemit, ku sigurohet një shkallë e mjaftueshme rezerve për të përballuar efektet e një ndërprerjeje të vetme të ndonjë elementi.

---

**Niveli i dytë** përfshin pajisjen e elementeve të sistemit me sisteme mbrojtëse që synojnë të shmangin dëmtimet e përhershme pas një kontigjence. Për shembull, një shkarkim elektrik (flashover) midis një linje dhe një peme rezulton në shkëputjen e përkohshme të linjës përmes mbrojtjes distancionale.

**Niveli i tretë** përbëhet nga një grup rregullash operacionale të hartuara si një kuadër referimi që u mundëson operatorëve të sistemit të përballojnë kontigjencat e besueshme përmes veprimeve manuale ose të automatizuara.

Në rastin e kontigjencave ekstreme që shkaktajnë çrregullime në funksionimin e sistemit elektroenergjitik të ndërlidhur, parashikohet një linjë e fundit e mbrojtjes, e njohur si plani i mbrojtjes.

Sipas Cigré, plani i mbrojtjes formohet nga një liste masash të koordinuara, të cilat janë te nevojshme për mbrojtjen e SEE nga ngacmimet që mund të jenë të mëdha ose kontigjenca të rënda, zakonisht jo të shkaktuara nga fatkeqësi natyrore. Plan i mbrojtjes nënkupton reduktimin e pasojave të ngacmimeve ose eventeve të paparashikuara, si dhe parandalimi i rënies së sistemit, duke shmangur përshkallëzimin e situatës deri në një ndërprerje të plotë të furnizimit me energji elektrike (blackout).

Skemat e Speciale të mbrojtjes (SPS – Special Protection Schemes), mund të jenë: zvogëlimi prodhimit të energjisë elektrike, ndërprerja e ngarkesës, kontrolli i fuqisë reaktive ose nivelit të tensionit nëpërmjet burimeve gjeneruese, ndarja e nyjeve apo e sistemit, etj., konsiderohen si komponentë të koordinuar brenda një plani mbrojtjeje.

ENTSO-E dhe Cigre, klasifikojnë ngjashëm Skemat Speciale të Mbrojtjes. Gjithashtu, ENTSO-E ka zhvilluar një metodologji për përcaktimin e hapave ose kritereve për përcaktimin e gjendjeve të sistemit dhe gjendjen respektive kur aktivizohet plani i mbrojtjes. Sipas metodologjisë së ENTSO-E, përshkruar në Guiden e Operimit të Sistemit, në rast rënie të sistemit, SEE kalon në katër gjendje: gjendje normale, gjendje alarmi, gjendje emergjence dhe rënie të plotë (blackout). Plan i mbrojtjes aktivizohet në kalimin nga gjendja emergjencës në gjendjen e rënies së plotë (blackout) [15].

## 4.2 Skemat Speciale dhe Sistemi i Mbrojtjes (SPS)

Plan i mbrojtjes përbëhet nga disa skema të cilat synojnë të parandalojnë humbjen e qëndrueshmërisë së sistemit. Në literaturën teknike qarkullojnë disa terma për të përshkruar këto skema. Një metodë për t'i kategorizuar është duke bërë dallimin bazuar në shkaktarin (trigger-in) që aktivizon skemën.

Skema mund të aktivizohet nga një ngjarje e vencantë në SEE, dhe në këtë rast ajo quhet skemë e bazuar në ngjarje (event-based). Një shembull tipik është një termocentral i lidhur me pjesën tjetër të sistemit përmes dy linjave. Në rast se ndodh një ndërprerje e njërës prej linjave, njësia e prodhimit redukton menjëherë fuqinë e saj ose shkëputet, për të shmangur mbingarkesën e linjës së mbetur.

Skemat e tjera aktivizohen në bazë të reagimit të SEE përkundrejt daljes jashtë pune të një elementi ose ndryshime, të tilla si ndryshimet në tension, frekuencë, etj. Një shembull për këtë është veprimi i ndarjes së ngarkesës në rast të tensionit të ulët (under-voltage load shedding).

NERC në disa raste përdor emertimin “Skema speciale të mbrojtjes”, që nënkuptojnë një sistem mbrojtjeje automatik të projektuar për të vepruar në gjendje jonormale ose të paracaktuara të sistemit dhe për të aplikuar veprime përmiresuese përveç izolimit të komponentëve me difekt[22].

ENTSO-E, nga ana tjetër, bën dallimin bazuar në problemin që skema synon të adresojë. Në këtë kontekst, skemat e mbrojtjes së sistemit fokusohen në problemet e qëndrueshmërisë, ndërsa skemat speciale të mbrojtjes janë të përcaktuara për t'u aktivizuar në raste të rralla, por

---

të parashikueshme, që mund të komprometojnë qëndrueshmërinë e rrjetit. Këto të fundit njihen gjithashtu si Skema të Mbrojtjes së Integritetit të Sistemit.

Në përputhje me këtë klasifikim:

Skema e mbrojtjes aktivizohet pas një eventit ose reagimi të sistemit; Ndërsa një skemë speciale e mbrojtjes mund të aktivizohet në bazë të një ngjarjeje ose një reagimi të sistemit [11][12][13]. Megjithatë më lart, u shpjeguan skema të ndryshme, këto skema kanë një ngjashmëri të lartë me njëra tjetrën, pavarësisht emërtimeve të ndryshme.

#### **4.3 Koordinimi i planeve të mbrojtjes**

Për të zbatuar në mënyrë të duhur një plan mbrojtjeje në situata kritike të funksionimit të rrjetit, është e rëndësishme të ekzistojë një koordinim i mirë midis të gjithë palëve të interesuara të sistemit të energjisë elektrike. Për këtë arsye, operatorët e sistemit trajnohen përmes ushtrimeve mbi incidente me ndikim të gjerë, të cilat përfshijnë bashkëpunimin me palë të tjera si Operatorët e Sistemit të Transmetimit (OST) brenda të njëjtës zonë sinkrone, Operatorët e Sistemit të Shpërndarjes (OSSH), si dhe kompanitë e prodhimit të energjisë elektrike. Për shumicën e OST-ve, këto trajnime zhvillohen çdo dy vjet si dhe koordinohen me Qendrat e Koordinimit të Sigurisë RCC[23].

Për ngjarjet që kanë ndikim përtej rajonit të vet të OST-së, duhet të jenë në fuqi marrëveshje për ndërmarrjen e veprimeve të duhura dhe të përshtatshme. Këto ngjarje mund të përfshijnë ndërprerjen e një elementi apo aktivizimin e një Skeme të Mbrojtjes Speciale (SPS), e cila shkakton shkelje të parametrave të sistemit në një sistem fqinj, si mbingarkesat, problemet me tensionin ose frekuencën, etj. Një shembull mund të jetë ndryshimi automatik i pikës së punës së një lidhjeje HVDC, që shkakton ndryshim të frekuencës në një zonë tjetër sinkrone.

Për të ulur efektin e mbingarkesave, të gjithë OST-të kanë kontrata bilaterale me kompanitë e prodhimit të energjisë. Në rastet e mbingarkimeve në rrjet, janë në fuqi marrëveshje me OST-të fqinje për menaxhimin e kongestionit[24]. Gjithashtu, me rritjen e burimeve të shpërndara të prodhimit, nevoja për koordinim me OSSH-të është shtuar ndjeshëm. Në rajonet me prani të lartë të gjenerimit të shpërndarë është konstatuar se ndërhyrjet automatike për shkëputjen e ngarkesës mund të rezultojnë në shkëputjen e më shumë gjenerimi sesa ngarkese, duke sjellë efektin e kundërt nga ai i dëshiruar. Për të lehtësuar koordinimin, komunikimi i drejtpërdrejtë realizohet përmes telefonit, postës elektronike dhe faksit.

#### **4.4 Harmonizimi i planeve të mbrojtjes**

Harmonizimi aktual i planeve të mbrojtjes ka qenë kryesisht i fokusuar në planet e ndarjes së ngarkesës për frekuencë të ulët (SHAF), pasi ato ndikojnë në të gjitha zonat e një rrjeti sinkron të ndërlidhur. ENTSO-E këshillon një skemë lineare të shkëputjes së ngarkesës në Evropë dhe detyron OST-të që të nderpresin të paktën 5% të ngarkesës, nëse frekuenca bie nën 49Hz Figura 72. Është e qartë se, nëse skemat nuk janë identike, zonat me hapat më të mëdha të shkëputjes së ngarkesës në një kufi të caktuar, do të mbajnë ngarkesën më të madhe.

Më tej, për shkak të rritjes së Burimeve të Rinovueshme të Energjisë (BRE), në disa zona është bërë më e vështirë të vlerësohet sasia e ngarkesës pas çdo linje shpërndarëse dhe është vërtetuar që në disa raste është shkëputur më pak se 5% në fazën e parë të skemës së SHAF. Për këtë arsye, disa OST, kanë perditesuar skemat e tyre për të kompensuar humbjen e gjenerimit të brendshëm, duke shkëputur më shumë ngarkesë në fazën e parë të skemës. Por kjo ndihmon edhe më shumë në parandalimin e shpërndarjes të barabartë të shkëputjes së ngarkesës midis zonave të ndryshme dhe shkakton një ndikim më të madh se sa është e

nevojshme për të ulur efektin e kontingjencës. Prandaj, është e nevojshme që të zhvillohet një skemë më inteligjente SHAF.

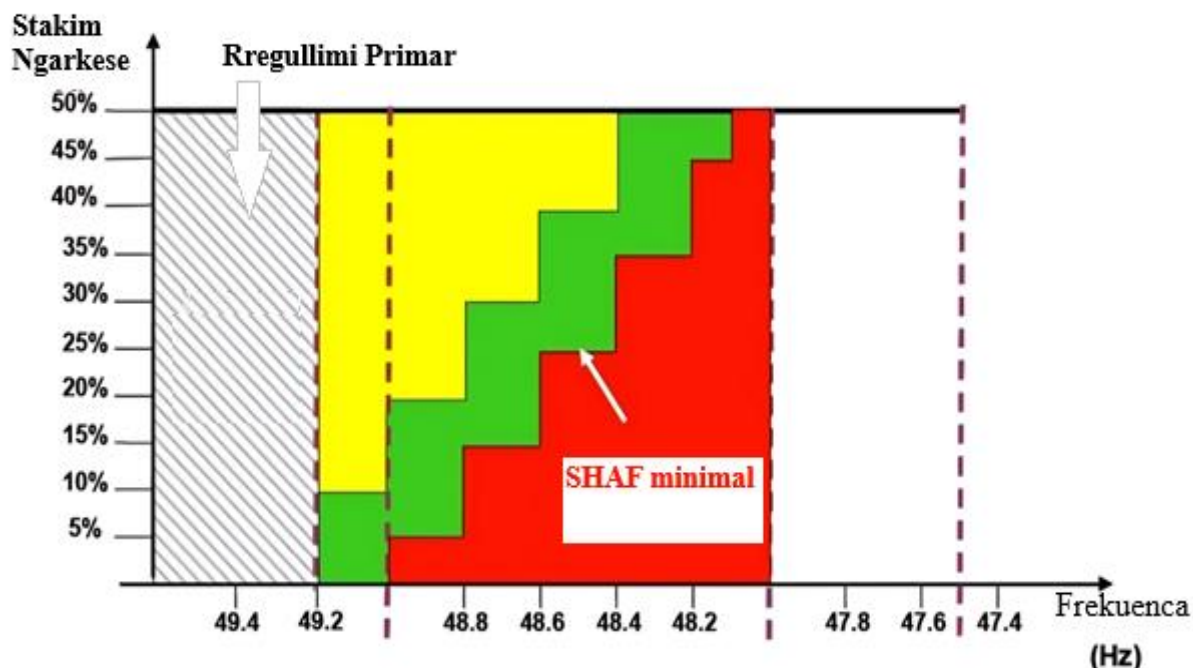


Figura 72 Skema e Shkarkimit Automatik të Frekuencës (SHAF) sipas ENTSO-E

#### 4.5 Pajisjet për Kontrollin e Fluksit të Energjisë

Një nga ndryshimet thelbësore në sistemin elektroenergjetik është instalimi i shtuar i transformatorëve me ndryshim faze dhe linjat me rryme të vazhduar (HVDC)[25]. Linjat HVDC mund të ofrojnë një përgjigje të shpejtë ndaj ndryshimeve në flukset aktive dhe reaktive në sistem, për këtë arsye, mund të përdoren për të reaguar shpejt ndaj mbingarkesave, luhatjeve të fuqisë dhe problemeve të tensionit. Megjithatë, përdorimi i tyre në planet e mbrojtjes ka qenë deri tani relativisht i kufizuar. Arsyet për këtë janë se ka një numër të kufizuar pajisjesh, dhe operimi i linjave interkonektive mund të sjellë përfitime për një zonë, por mund të ketë ndikim të kundërt në zonën fqinje. Prandaj, duke u fokusuar në lidhjet HVDC, veprimet e kontrollit kryhen përgjithësisht manualisht dhe shpesh pas konsultimeve me OST-në fqinje. Për shembull, një lidhje HVDC operohet me një marrëveshje bilaterale në rast emergjencash, që përcakton se importi mund të zvogëlohet deri në zero ose të rritet deri në maksimum pa ndryshuar drejtimin e fluksit, kur ka një problem të frekuencës. Për të ndryshuar drejtimin e fluksit, duhet të bëhet një telefonatë në qendrën Dispeçer të Operatorit të sistemit fqinje.

Ekziston edhe një skemë automatike për reduktimin ose rritjen e fluksit. Disa linja DC janë instaluar me skema shkëputjeje të poleve për të shmangur mbingarkesat AC. Gjithashtu, pasi numri i linjave DC po rritet, është e nevojshme një qasje më e harmonizuar, pasi marrëveshjet bilaterale nuk do të mjaftojnë më.

#### 4.6 Sinkrofazoret (Njësitë e Matjes me Fazorë PMU)

Sinkrofazoret (PMU) ofrojnë informacion me saktësi të lartë dhe të sinkronizuar në kohë reale për variablat e rrjetit elektrik (p.sh., tensioni, rryma, frekuenca, shkalla e ndryshimit të frekuencës) në zona të ndryshme të sistemit, dhe për këtë arsye mund të përdoren për të

---

vëzhguar lëkundjet, nivelet e tensionit dhe frekuencat në zona të ndryshme[26]. Prandaj, pas një përpunimi të mëtijshëm, informacioni nga PMU-të mund të përdoret në skemat e mbrojtjes së sistemit të bazuara në reagim për lloje të ndryshme të qëndrueshmërisë. Gjithashtu, informacioni nga PMU-të mund të përdoret për të detektuar situatat e ndarjes së sistemit (islanding).

Informacioni nga PMU-të mund të përdoret potencialisht në këto plane mbrojtjeje për të gjeneruar sinjale aktivizimi në Sistemet e Mbrojtjes Speciale (SPS), kur matjet përpunohen në mënyrë të shpejte.

Për të shfrytëzuar informacionin nga PMU-të në planet e mbrojtjes në të ardhmen, është e nevojshme të sigurohet që algoritmet e përdorura për të iniciuar veprimet mbrojtëse të jenë të besueshme. Gjithashtu, transferimi i të dhënave nga PMU-të në zona të ndryshme duhet të jetë i besueshëm dhe cilësia e të dhënave të jetë e lartë. Meqenëse PMU-të varen nga sinkronizimi përmes satelitëve, duhet të theksohet gjithashtu se kjo krijon një çënueshmëri të brendshme në matje.

#### **4.7 Ndikimi i Burimeve të Rinovueshme**

Objektivat e vendosura nga Bashkimi Evropian kanë çuar në një rritje të konsiderueshme të njësive të prodhimit të energjisë nga burime të rinovueshme të lidhura me sistemin elektroenergjetik. Integrimi i lartë i gjenerimit me erë (WG) mund të ketë ndikime të rëndësishme në planet e mbrojtjes për qëndrueshmërinë e frekuencës dhe tensionit.

Sa i përket qëndrueshmërisë së frekuencës, është e qartë se zëvendësimi i pjesshëm i gjenerimit konvencional me WG çon në rënie të inercisë së sistemit, gjë që shkakton rritje të shkallës së ndryshimit të frekuencës (RoCoF – Rate of Change of Frequency) gjatë ngjarjeve dhe potencialisht çaktivizime të padëshiruara të mbrojtjeve RoCoF. Për këtë arsye, kërkimi shkencor po fokusohet në strategji shitesë të kontrollit për të siguruar përgjigje inerciale nga WG, duke bërë që ato të imitojnë kontrollin primar ose me pjerrësi (droop control) për të frenuar rënien e frekuencës.

Në rast të rënieve të mëdha të frekuencës, mund të nevojitet ndërprerja e ngarkesës përmes skemave të nën-frekuencës SHAF (UFLS – Under Frequency Load Shedding) për të parandaluar luhatjen e qëndrueshmërisë së frekuencës[27]. Megjithatë, skemat tradicionale të ndërprerjes së ngarkesës mund të jenë joefikase në kushte të një integrimi të lartë të RES. Prandaj, është e nevojshme të zhvillohen skema të avancuara të ndërprerjes së ngarkesës që marrin në konsideratë ndikimin e këtij gjenerimi të shpërndarë.

Në mënyrë të ngjashme, për situata të mbi-frekuencës, aftësia e kontrollit të fuqisë aktive në kohë shumë të shkurtër e turbinave moderne me erë (WTs – Wind Turbines)[28] është një opsion i rëndësishëm, pasi turbinat me lidhje me konvertues mund të ulin fuqinë e tyre shumë më shpejt sesa gjeneratorët e tjerë. Gjenerimi me erë gjithashtu mund të ofrojë apo të absorbojë fuqi reaktive për periudha të shkurtra për të ndihmuar në qëndrueshmërinë e tensionit.

Edhe pse turbinat me erë me shpejtësi të ndryshueshme mund të mbështesin qëndrueshmërinë e tensionit përmes rregullimit të fuqisë reaktive, kapaciteti i kufizuar i konvertuesit në turbinat me DFIG (Double-Fed Induction Generator) rezulton në një kapacitet të kontrollit të tensionit që nuk mund të imitojë plotësisht një gjenerator sinkron.

Gjithashtu, është shumë e rëndësishme të shqyrtohen kërkesat për rezerva në kushtet e një integrimi të lartë të burimeve të rinovueshme. Përdorimi i rezervave dinamike, në vend të atyre statike, mund të jetë një zgjidhje më e përshtatshme për të përballuar luhatjen e ekuilibrave që vijnë si rezultat i gabimeve në parashikim. Gabimet në parashikim zvogëlohen kur afati i parashikimit afrohet me kohën reale, por gjithsesi mund të arrijnë deri në 100%. Kjo vjen kryesisht për shkak të pasaktësive në parashikimet meteorologjike. Për rrjedhojë, nëse rezervat

---

përcaktohen në mënyrë statike dhe jo dinamike, do të kërkohet një kapacitet shumë më i lartë rezervash automatike për t'u angazhuar, të cilat do të mbeten të pashfrytëzuara për pjesën më të madhe të kohës[29].

#### **4.8 Përgjigjia e ngarkesës**

“Përgjigjia e ngarkesës” ose Demand Side Response (DSR)[30] luan një rol të rëndësishëm në operimin dhe fleksibilitetin e sistemit elektroenergjetik, duke marrë në konsideratë evolucionin që do të kenë në të ardhmen burimet e rinovueshme dhe shkallën e lartë të integritetit të burimeve të rinovueshme të energjisë (BRE). DSR kontribuon në optimizimin e konsumit të energjisë gjatë kushteve normale të funksionimit, por edhe në rritjen e sigurisë së operimit të rrjetit në kushtet e variabilitetit dhe paqëndrueshmërisë së burimeve BRE[31].

Gjatë funksionimit në kushte normale, menaxhimi i ngarkesës elektrike përmes DSR mundëson zhvendosjen e konsumit nga oraret e ngarkesës maksimale (peak) drejt orareve të ngarkesës minimale (off-peak), duke ndihmuar në riformësimin e profilit të përgjithshëm të ngarkesës së sistemit dhe uljen e stresit mbi elementët e rrjetit.

Në kontekstin e qëndrueshmërisë së frekuencës, DSR është shfaqur si një zgjidhje premtuese ndaj mungesës së përgjigjes inerciale të shkaktuar nga integrimi në rritje i turbinave me erë dhe gjeneratorëve të tjerë të lidhur nëpërmjet konvertuesve të fuqisë[32]. Aftësia për të çaktivizuar ngarkesat e shpërndara brenda intervalit kohor të reagimit inercial dëshmon kapacitetin e DSR për të ofruar një “inercí efektive” të sistemit. Në mënyrë të veçantë, është analizuar kontrolli inteligjent i ngarkesave termostatike (TCL – Thermostatically Controlled Loads), ku çdo ngarkesë e pajisur me logjikë kontrolli të decentralizuar identifikon devijimet e frekuencës dhe, sipas një algoritmi të përcaktuar, modifikon konsumin e saj energjetik në mënyrë autonome.

Në rast të deficitit të prodhimit i cili sjell rënie të shpejtë të frekuencës, pajisjet reagojnë në mënyrë të koordinuar përmes reduktimit të konsumit, duke kontribuar në rikthimin e ekuilibrit midis ngarkesës dhe prodhimit. Studimet aktuale kanë vlerësuar ndikimin e këtij lloji reagimi në sigurinë dinamike të sistemit, pavarësisht se koncepti tradicional i konstantes inerciale nuk aplikohet në mënyrë të drejtpërdrejtë te këto ngarkesa. Gjithsesi, rezultoni se përmes përfshirjes së DSR, operatorët e sistemit mund të rrisin inercinë efektive të sistemit, duke lejuar kështu një integrim më të lartë të burimeve të rinovueshme që përndryshe do të kufizoheshin për arsye të qëndrueshmërisë operacionale[33].

Menaxhimi i fazës së rikuperimit të ngarkesave TCL pas një ndërhyrjeje është gjithashtu kritik, pasi rikthimi i sinkronizuar i konsumit mund të shkaktojë luhajtje të padëshiruara në sistem. Një strategji kontrolli bazike por efektive shmang nevojën për sinkronizim të pajisjeve individuale dhe minimizon kostot shtesë të energjisë, duke e shpërndarë rikuperimin në kohë. Megjithatë, për të garantuar besueshmëri të lartë të DSR, do të nevojiten strategji më të avancuara dhe të qëndrueshme të kontrollit, të cilat të integrojnë mekanizma adaptivë dhe koordinim në kohë reale[34].

#### **4.9 Strategjitë e rivendosjes së Sistemit Elektroenergjetik**

Rivendosja e sistemit energjetik[35] është procesi i rikthimit të gjeneratorëve dhe elementëve të sistemit elektroenergjetik në operim dhe rikthimit të ngarkesës pas një ngacmimi i cili sjell ndërprerjen e furnizimit me energji elektrike. Në mbarë botën, restaurimi trajtohet si një aspekt kritik i funksionimit dhe planifikimit të sistemit energjetik. Autoritetet përgjegjëse (Operator Sistemi, Ente Rregullatore etj) kanë vendosur standarde të detyrueshme dhe kode rrjeti që përfshijnë zhvillimin e planeve të rivendosjes deri në testim/rishikimin

---

periodik të këtyre planeve dhe zbatimin e tyre pas një ndërprerjeje. Pajtueshmëria monitorohet nëpërmjet rishikimeve të materialeve të dorëzuara të planit të rivendosjes dhe testeve periodike[36].

Edhe pse përmasat e procesit të restaurimit dhe hapat e tij ndryshojnë ndërmjet entiteteve dhe vendeve të ndryshme, procesi i përgjithshëm mund të përmbledhet në katër hapat e mëposhtëm[37] :

**Hapi 1: Vlerësimi i statusit të sistemit.**

Një vlerësim i menjëhershëm i kushteve të sistemit, duke përfshirë burimet e disponueshme të transmetimit dhe gjenerimit.

**Hapi 2: Përcaktoni dhe zbatoni një strategji rivendosjes.**

Bazuar në Hapin 1, strategjia e rivendosjes duhet të rishikohet nga operatori i sistemit për të marrë në konsideratë kushtet ekzistuese të sistemit dhe disponueshmërinë e pajisjeve kryesore të transmetimit, gjenerimit. Kjo mund të ndihmojë në krijimin e një sekuence të rivendosjes.

**Hapi 3: Zbatimi procedures se rivendosjes (plani ringritjes).**

Operatori i Sistemit të Transmetimit mund të fillojë rivendosjen e pajisjeve të prodhimit, transmetimit dhe ngarkesës, duke ruajtur parametra të pranueshëm të tensionit dhe frekuencës. Ky hap përfshin gjithashtu sinkronizimin e ishujve pasi ato të jenë stabilizuar. Për këtë hap zbatimi, Operatori i Sistemit mund të përdorin udhëzimet e dokumentuara në planin e rivendosjes.

**Hapi 4: Interkonektoret me Operatores të Sistemeve të tjerë.**

Kur është e përshtatshme, përdorimi i linjave të interkoneksionit për t'u lidhur me sistemet e transmetimit të vendeve të fqinje mund të përshpejtojë procesin e restaurimit në nivelin interkonektiv. Rekomandohet ndihma e një sistemi elektrik fqinje për sa kohë që nuk shkakton një ndikim negativ në procesin e rivendosjes.

**Në fazën e parë të rivendosjes, fokusi është te:**

- Vlerësimi i statusit të sistemit pas ngacmimit në SEE;
- Përcaktimi i "zones/ishullit për energjizim" për ringritje dhe strategjisë së ringritjes së SEE;
- Ri-energizimi nevojave vetjake të impanteve (nënstationet dhe njësitë gjeneruese);
- Krijimi i një sistemi të qëndrueshëm (nga pikëpamja e kontrollit dinamik të tensionit dhe frekuencës);
- Ri-furnizimi i infrastrukturës kritike;
- Përcaktimi ngarkesave që do të energjizohen sipas pritoritetit.

**Në fazën e dytë të rivendosjes:**

- Qëllimi kryesor është të zgjerohet sistemi/ishujt e energjizuar dhe të sinkronizohen ishujt/sistemet në masën që rivendosja e ngarkesës të mund të arrihet në fazën e tretë;
- Sistemi i ri energjizuar zgjerohet, përfshirë sinkronizimin e nën-sistemeve të ndryshme kur është e mundur;
- Konsumatorë të rinj furnizohen me energji;
- Gjeneratorët e tjerë rinisin funksionimin;

- Njësitë më të mëdha, të ngarkesës themelore, përgatiten për rinisje;
- Organizohet angazhimi i njësive në varësi të burimeve primare të energjisë (p.sh., koordinimi i rezervave me pompa dhe prodhimit konvencional).

#### **Në fazën përfundimtare të rivendosjes:**

- Vijon sinkronizimi me sistemet fqinje;
- Kontrolli i Fuqi frekuence(LFC) rikthehet në funksion;
- Minimizohet ngarkesa e pa-furnizuar sa më shumë që të jetë e mundur.

Në të gjitha rastet, operatori i sistemit do të monitorojë vazhdimisht treguesit e rëndësishëm si tensioni, frekuenca etj dhe do të marrë veprimet permiresuese nëse është e nevojshme. Rivendosja e sistemit zakonisht përfshin sa vijon:

- Përdorimin e burime të përcaktuara për vetë-lëshim për të inicuar sekuencën e kërkuar të veprimeve. Gjeneratorët me vete-leshim të vendosur në mënyrë strategjike janë instrumenti kyç për rivendosjen efikase të një sistemi elektroenergjetik. Testimi periodik i këtyre burimeve kërkohet për të siguruar gadishmerine e tyre të vazhdueshme
- Energjizimi në mënyrë progresive i rrjetit të transmetimit (dhe rrjetin e shpërndarjes nëse kërkohet) në mënyrë që gjenerimi tjetër në SEE, i referuar si burime mbështetëse të restaurimit, të mund të rifillojë.
- Rikycja e ngarkesave të lidhura në nivel transmetimi ose të shpërndara siç kërkohet për të furnizuar ngarkesat minimale në gjendje të qëndrueshme, duke krijuar kështu ishuj të energjizuar.
- Rikycja dhe sinkronizimi i ishujve të cilët janë energjizuar në gjendje të qëndrueshme duke përfshirë ndërlihdjen me rrjetet fqinje.
- Rifurnizimi i ngarkesës së humbur deri në energjizimin e plote të sistemit.

#### **4.10 Gjeneratorët me aftësi me vetëlëshim (black start)**

Gjeneratorët të cilët kanë aftësi për vete lëshim përkufizohen si: *Njësi gjeneruese që janë në gjendje të vihen në punë, pa prezencë tensioni nga rrjeti.* Këto njësi kanë disa karakteristika si:

- Aftësia për tu aktivizuar në mënyrë të pavarur nga furnizimi i jashtëm dhe pa prezencë tensioni nga rrjeti.
- Aftësia për të energjizuar një pjesë të rrjetit të transmetimit që nuk ka tension.
- Kapaciteti për të pranuar ngarkesa të menjëhershme në blloqe konsumi (shpesh aplikohet një bllok ngarkese maksimale e paracaktuar, p.sh., 20 MW).
- Funksionim i qëndrueshëm me furnizimin e sistemeve ndihmëse, në nivele të ulëta të ngarkesës ose me ngarkesa të tjera të rrjetit brenda një ishulli elektroenergjetik.
- Sigurimi i kontrollit të tensionit dhe frekuencës si në gjendje të qëndrueshme ashtu edhe në dinamike. Në fazat e hershme të rivendosjes, kjo përfshin gjithashtu sigurimin e të gjithë fuqisë reaktive të nevojshme për energjizimin e linjave të transmetimit, shunt reaktorëve (nëse ka), transformatorëve dhe ngarkesave.
- Aftësia për të kaluar nga mënyrat e kontrollit në kushte normale të sistemit në ato që kërkohen gjatë kushteve të vete leshimit, p.sh., kalimi nga kontrolli frekuencës lokal të gjeneratorit në kontroll fuqi frekuencë.
- Aftësia për të ruajtur nivelin e kontraktuar të shërbimit të furnizimit vetëlëshim për një kohë minimale sipas marrëveshjes me operatorin e sistemit. Në veçanti, energjia për

---

furnizimin e ngarkesave fillestare, që përfshin ngarkesat e nevojave vetjake të njësive gjeneruese, duhet të jetë e disponueshme (p.sh. ruajtja e rezervave ujore në hidrocentrale).

- Disponueshmëri e lartë: zakonisht të paktën 90%.
- Redundancë në pajisjet kryesore dhe nevojat vetjake të impaienteve prodhuese.

#### 4.11 Veprimet në nënstacione

Operatorët e Sistemit të Transmetimit (OST) dhe Operatorët e Sistemit të Shpërndarjes (OSSH) duhet të përgatitin nënstacionet e tyre para ri-energizimit. Kjo do të realizohet duke ndjekur udhëzimet nga Operatori i Sistemit. Një faktore i rëndësishëm që duhet marrë në konsideratë është koha e ndërprerjes së furnizimit të nevojave vetjake të nënstacioneve.

Pas një **renie të plotë (black out)**, pjesë të vogla të rrjetit ose nënstacione të vetme zakonisht çkyçen para energjizimit të parë. Hapat që merren përfshijnë:

- Hapja e pajisjeve komutuese (vetëm celesave) për të menjanuar kycjen e ngarkesave të mëdha në mënyrë të kontrolluar.
- Hapja e çelësave të transformatorëve të tensioneve të larta dhe të mesme.
- Operatori i Sistemit do të japë udhëzime OSSH-së për përgatitjen e blloqeve të ngarkesës për rivendosje.
- OSSH do të hapë të gjithë çelësat e ngarkesës në nivelin e tensionit të mesëm (TM). Në disa raste rekomandohet që hapja e çelësve TM të realizohet në mënyrë automatike nëse ka humbje të tensionit në anën e tensionit të lartë në një nënstacion 110kV/TM.

Përveç kësaj, një protokoll për ruajtjen e baterive DC zakonisht zhvillohet për të siguruar që do të ketë furnizim të mjaftueshëm me bateri DC kur të jepet udhëzimi për të mbyllur pajisjet komutuese për energjizimin e rrjetit, sipas planit të rivendosjes.

Operatorët zakonisht do të çkyçin çelësat kryesorë që furnizojnë zbarat e fiderave, zbarat e transformatorëve, seksionet e zbarave. Kjo ruajtje e furnizimit me DC do të marrë parasysh gjithashtu pajisjet për SCADA, mbrojtjen dhe pajisjet e tele-aksionit për të siguruar integritetin e mbrojtjes, komunikimin dhe vëzhgueshmerinë e SCADA gjatë rivendosjes së sistemit.

#### 4.12 Përmbledhje e strategjive të rivendosjes

Në procesin e restaurimit identifikohen 3 (tre) strategjitë e mëposhtme të ri-energizimit [38]:

##### 1. Rienergizim nga poshtë lart (bottom - up):

Rienergizimi nga poshtë lart, nënkupton përdorimin e burimeve të brendshme të prodhimit të energjisë elektrike të një sistemi elektroenergjetik për procesin e rivendosjes. Ky proces parashikon nepermjet kësaj strategjie përdorimin e gjeneratoreve me aftësi për vetëleshim. Ndërkohe që vendosen në punë gjeneratore në paralel kycet ngarkesat në SEE, për të mbajtur balancën ndërmjet prodhimit të energjisë elektrike dhe konsumit. Kycja e ngarkesës në mënyrë të kujdesshme lejon kontrollin e tregueseve elektrike të rrjetit si tensioni dhe frekuenca. Kycja e ngarkesës duke ndjekur prodhimin e energjisë elektrike do të jetë instrumenti kryesor për kontrollin dhe rivendosjen e sukseshme në SEE [39].

Në përgjithësi, strategjia nga poshtë-lart mund të jetë problem me praninë e gjenerimit të shpërndarë. Për shkak të integritetit të lartë të paneleve fotovoltaike në rrjetat TU dhe TM, vlera

---

e ngarkesës ndryshojne ne menyre dinamike varesisht nga kushtet atmosferike, fakt i cili mund te vesh tiresoje procesin e rivendosjes.

Pas rënies së plotë, vlera e ngarkesës rritet dhe kjo mund të jetë një sfidë për grupin e njësive të cilat kanë filluar procesin e veteleshimit duke ndikuar negativisht në mbajtjen e balances prodhim konsum.

## **2. Rienergizim nga lart-poshtë (top-down):**

Rienergizimi lartë-poshtë, nënkupton përdorimin e burimit të jashtëm të tensionit, i cili është një sistem elektrik fqinj i lidhur me linjë interkoneksioni. Linjat e interkoneksionit kanë një rol thelbësor në këtë rast pasi janë një burim i fuqishëm energjie elektrike (në varësi të kapacitetit) për rienergizimin e rrjetit elektrik pas rënies së plotë.

Strategjia Lartë-Poshtë, aplikohet duke shfrytëzuar linjat e më të fuqishme të Sistemit elektroenergjetik dhe duke përshpejtuar vendosjen në punë të njësive gjeneruese brenda zonës së kontrollit të sistemit i cili ka pësuar rënien e plotë. Në këtë proces rivendosjeje, nëse konfigurimi topologjik bëhet shumë i gjatë, pajisjet për kontrollin e nivelit të tensionit japin një ndihmë të madhe për menaxhimin e niveleve të tensionit, sidomos shunt reaktorët.

Të dyja strategjitë mund të aplikohen, zgjedhja e strategjisë optimale, do të varet nga situata para-black out dhe faktorë si:

- Difekti i cili solli gjendjen e black out;
- Disponueshmeria e njësive gjeneruese në SEE për vetëlëshim;
- Kushtet atmosferike;
- Etj.

## **3. Rienergizimi Hibrid**

Kjo strategji i referohet përdorimit të njëkohshëm dhe kombinimit të strategjive nga lartë-poshtë dhe nga poshtë-lart. Kjo do të thotë se rivendosja e sistemit do të vazhdojë njëkohësisht me përdorimin e burimeve të përcaktuara për vetë-lëshim dhe linjave të interkoneksionit për rivendosjen e sistemit elektroenergjetik. Operatorët e Transmetimit përdorin këtë strategji varësisht nga karakteristikat që ka sistemi elektroenergjetik. Në parim çdo rivendosje nënkupton krijimin e ishujve të energjizuar dhe të qëndrueshme në pikëpamjen elektrike dhe sinkronizimin e tyre duke zgjeruar zonën e energjizuar.

Kjo strategji ka avantazhet e mëposhtme:

- Restaurimi paralel dhe i njëkohshëm i objekteve të ndryshme të transmetimit/prodhimit/ngarkesës.
- Shmangia e problemeve në një ishull të energjizuar kundrejt ishujve të tjerë brenda të njejtit sistem.

### **4.13 Skemat Automatike të Shkarkimit nga mbi frekuenca dhe nën frekuenca**

Siç u përshkrua më herët, një ndryshim i menjëhershëm në frekuencë ndodh kur kemi stakim në një ose disa elementë të rrjetit, duke krijuar një disbalance të madhe mes fuqisë aktive të ngarkesës dhe fuqisë aktive të prodhuar. Në një sistem energjetik të madh dhe të ndërlidhur, kjo lloj situatë zakonisht shoqërohet me ndërprerje të shumta të njësive gjeneruese ose me

ndarje të sistemit, siç ndodhi në Evropë më 4 nëntor 2006[40]. Në rastin e ndarjes së sistemit, disa zona do të kenë tepricë prodhimi (mbifrekuençë), ndërsa zona të tjera do të kenë mungesë (nënfrekuençë). Në zonat me mbifrekuençë, prodhimi duhet të reduktohet. Në zonat me nënfrekuençë, duhet të kemi rritje të gjenerimit, ose duhet të implementohet masa për uljen e ngarkesës. Meqenëse frekuenca është një parametër i të gjithë sistemit dhe nuk kufizohet në një zonë të vetme, koordinimi për skemat e mbifrekuençës dhe nënfrekuençës konsiderohet i nevojshëm. Zakonisht, aktivizimi i veprimeve të caktuara përcaktohet në bazë të një pragu të frekuencës. Rendi i veprimeve përcaktohet kryesisht në bazë të ndikimit ekonomik dhe social të tyre.

Nëse një ngarkesë relativisht e madhe lidhet (ose shkëputet) papritur nga sistemi, ose nëse një njësi gjeneruese shkëputet papritmas nga veprimi i mbrojtës, do të ketë një diferencë në balancën e fuqisë ndërmjet asaj që jepet nga turbinat dhe asaj që konsumohet nga ngarkesat. Kjo disbalance fillimisht mbulohet nga energjia kinetike e rotorëve që rrotullohen në gjeneratorë dhe motorë dhe, si rezultat, frekuenca në sistem do të ndryshojë. Fillimisht është e nevojshme të përshkruhet funksionimi i kontrollit fuqi-frekuençë (LFC), pasi kjo është themelore për të përcaktuar mënyrën sesi do të ndryshojë frekuenca në përgjigje të një ndryshimi të ngarkesës. Ndryshimet më të vogla, por më të shpejta të ngarkesës, trajtohen nga LFC për të[41]:

- mbajtur frekuençën në vlerën e planifikuar (kontrolli i frekuencës);
- mbajtur shkëmbimet neto të fuqisë me zonat fqinje në vlerat e planifikuara (kontrolli i linjave të interkonjeksionit);
- kryer ndarjen e fuqisë mes njësive sipas nevojave të dispeçimit të zonës (tregu i energjisë, siguria ose situata emergjente). AGC është një shembull shumë i mirë i një sistemi kontrolli me shumë nivele, struktura e përgjithshme e të cilit paraqitet në Figura 73.

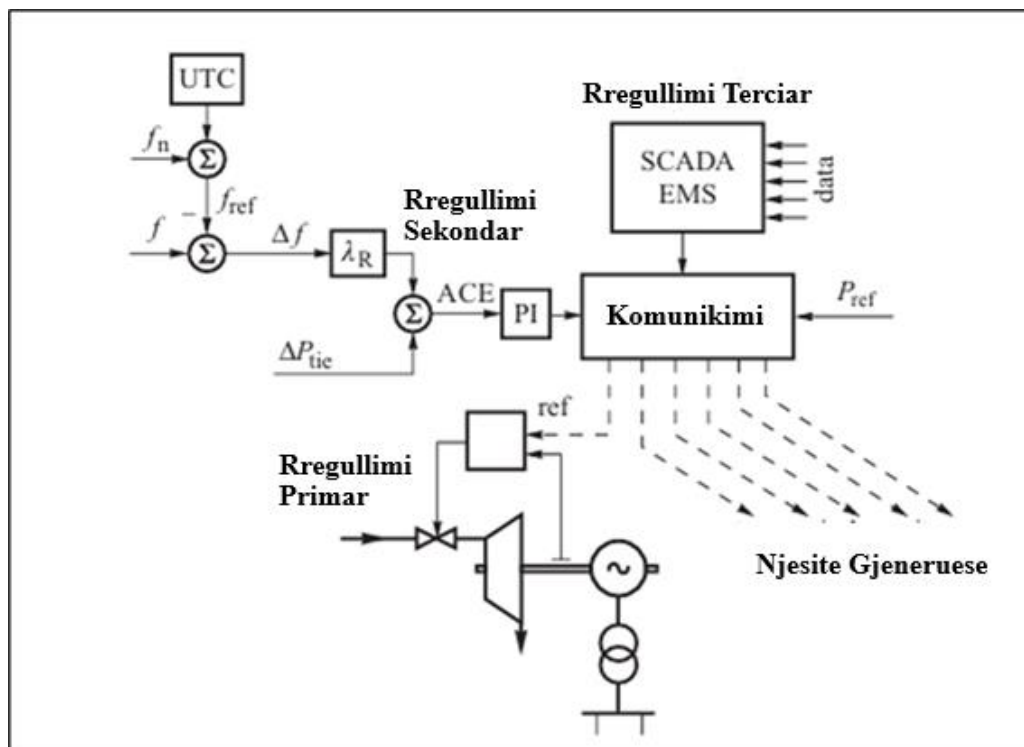


Figura 73 Nivelet e kontrollit automatik të gjenerimit

Sistemi i komandimit të turbinës me pikën e referencës së ngarkesës përfaqëson nivelin më të ulët të kontrollit primar, ku të gjitha komandat nga nivelet më të larta zbatohen në këtë nivel.

Kontrolli primar është i decentralizuar, pasi është një sistem kontrolli i vetë njësisë gjeneruese. Ndërkohë rregullimi sekondar ose kontrolli fuqi-frekuencë është i centralizuar, duke kontrolluar frekuencën dhe flukset në linjat e interkoneksionit. Në sistemet e izoluara, kontrolli sekondar është i kufizuar në kontrollin e frekuencës dhe mund të implementohet lokalisht, pa nevojën për koordinim me operator të tjerë[42]. Kontrolli sekondar duhet të jetë më i ngadaltë se ai primar. Detyra e kontrollit terciar është të sigurojë një brez të përshtatshëm për kontrollin sekondar. Në mënyrë të qartë, kontrolli terciar duhet të jetë më i ngadaltë se të dy kontrollët: primar dhe sekondar. Prandaj mund të neglizhohet kur merren parasysh dinamikat e koordinimit mes kontrollit primar dhe sekondar. Zgjidhjet moderne kryejnë detyrat e kontrollit sekondar dhe terciar duke përdorur funksionin LFC (Kontrolli Fuqi-Frekuencë) në algoritmet e kontrollit të SCADA-EMS (Sistemi i Menaxhimit të Energjisë) që mbështet operatorin e sistemit. Struktura hierarkike e paraqitur në Figura 73 gjithashtu përfshin një bllok UTC që i përket kontrollit të kohës sinkrone, domethënë kohës që matet nga orët sinkrone të bazuara në frekuencën e sistemit. Frekuenca e sistemit të energjisë ndryshon vazhdimisht, prandaj orët sinkrone ose elektrike kanë tendencë të kenë një gabim proporcional me integrimin e frekuencës së sistemit. Ky gabim eliminohet herë pas here duke ndryshuar vlerën referuese të frekuencës(psh. 50.01Hz ose 49.99Hz).

#### 4.14 Plani i Mbrojtjes ndaj Qëndrueshmërisë së Frekuencës

Sistemi i kontrollit të frekuencës dhe fuqisë është i projektuar për të përballuar devijime të zakonshme në ekuilibrin real të fuqisë, siç janë ndërprerjet e paplanifikuara të njësive të mëdha gjeneruese. Ndërprerja më e madhe që ky sistem është i aftë të trajtojë përcaktohet si *incident referues*. Reagimi primar në Evropën Kontinentale është i aftë të përballojë një ngjarje që shkakton një devijim maksimal prej 200 mHz (ose një luhatje fuqie prej 3000 MW). Nëse devijimi i frekuencës është më i madh, operatori i sistemit mund të shkëpusë konsumatorë sipas marrëveshjeve kontraktuale, të reduktojë eksportin në një linjë HVDC me një zonë tjetër. Ilustrime të detajuara të këtyre planeve të mbrojtjes jepen në Tabela 13 dhe Tabela 14.

Tabela 13 Veprimet tipike në rast të gjendjes së nënfrequencës

| f(Hz) | delta | Veprimi ose skema e mbrojtjes                                                                                                                                                                                                 |
|-------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 50    | <0.2  | Operim Normal. Rregullimi primar në njësitë gjeneruese do të rregullojë brenda këtij diapazoni frekuencën. Gjithashtu rregullimi Sekondar do japë kontribut në varësi të karakteristikës së frekuencës që ka zona kontrollit. |
| 49    | 0.2   | Rregullatori sekondar (LFC) do të bllokohet. Njësitë gjeneruese në modalitet pompim duhet të kalojnë në prodhim.                                                                                                              |
| 49    |       | Fillon Shkalla e parë e shkarkimit të ngarkesës (SHAF).                                                                                                                                                                       |
| 48    | 1     | Minimalisht janë ekzekutuar 6 shkallë të SHAF.                                                                                                                                                                                |
| 47.5  | 1.5   | Lejohen stakimi njësive gjeneruese, duke kaluar në gjendje operim në ishull për të mbajtur nevojat vetjake.                                                                                                                   |

Tabela 14 Veprime tipike në rast të gjendjes së mbifrekuençës

| <b>f(Hz)</b> | <b>delta f</b> | <b>Veprimi ose skema e mbrojtjes</b>                                                                                                                                                                                          |
|--------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>50</b>    | <b>&gt;0.2</b> | Operim Normal. Rregullimi primar në njësitë gjeneruese do të rregullojë brenda këtij diapazoni frekuencën. Gjithashtu rregullimi Sekondar do japë kontribut në varësi të karakteristikës së frekuencës që ka zona kontrollit. |
| <b>50.2</b>  | <b>&gt;0.2</b> | Njësitë gjeneruese me modalitet gjenerim, kalojnë në modalitet pompim.<br>Bllokohet kontrolli Fuqi-Frekuencë.                                                                                                                 |
| <b>51.3</b>  | <b>0.2</b>     | Njësitë gjeneruese kalojnë në regjim të rregullimit të shpejtësisë.                                                                                                                                                           |
| <b>51.5</b>  | <b>1.5</b>     | Njësitë gjeneruese lejohet të stakosen, duke kaluar në regjim operimi për furnizimin e nevojave vetjake.                                                                                                                      |

#### 4.15 Skema e kontrollit për nën frekuencë

Mbrojtja e parë kundër një frekuence më të ulët se frekuenca nominale sigurohet nga reagimi primar i njësive gjeneruese. Shumë sisteme mund të mbrohen nga kolapsi i frekuencës duke importuar sasi të mëdha fuqie nga sistemet fqinje për të kompensuar prodhimin e humbur. Megjithatë, në një sistem të izoluar, ose në një sistem të ndërlidhur me kapacitet të kufizuar për linjat e lidhjes, kjo mundësi mund të mos jetë e disponueshme. Kur frekuenca bie nën 49 Hz, aktivizohet plani automatik i stakimit të ngarkesës. Çdo OST është përgjegjëse për hartimin e këtyre skemave (pragjet e frekuencës dhe sasia e ngarkesës së shkëputur) brenda zonës së saj, megjithatë politikat e ENTSO-E përcaktojnë që në 49 Hz duhet të shkëputet të paktën 5% e ngarkesës. Nën 49 Hz rekomandohet një skemë lineare e shkëputjes së ngarkesës. Shpesh, hartimi i këtyre skemave bëhet në bashkëpunim të ngushtë me operatorët e shpërndarjes (DSO), për të qenë në gjendje të identifikohen furnizuesit me përparësi të lartë (spitale, objekte komunikimi, ushtarake, etj.).

Shkyçja automatike e ngarkesës realizohet përmes përdorimit të releve nënfrekuencës, të cilat janë të dizajnuara për të zbuluar fillimin e rënies së frekuencës në sistem dhe për të shkyçur sasi të përshtatshme ngarkese. Ky proces vazhdon derisa prodhimi dhe ngarkesa të rikthehen në ekuilibër dhe sistemi i energjisë mund të kthehet në frekuencën e tij normale të operimit.

Duke qenë se shkyçja e ngarkesës është një masë kontrolli disi drastike, ajo zbatohet zakonisht në etapa. Çdo etapë aktivizohet në një nivel të ndryshëm frekuence për të mundësuar shkyçjen e ngarkesave më pak të rëndësishme në një fazë të parë. Figura 74 tregon efektin e shkyçjes së ngarkesës kur një diferencë fuqie  $P_0$  shfaqet në një sistem me një rezervë të ulët të rrotullimit.

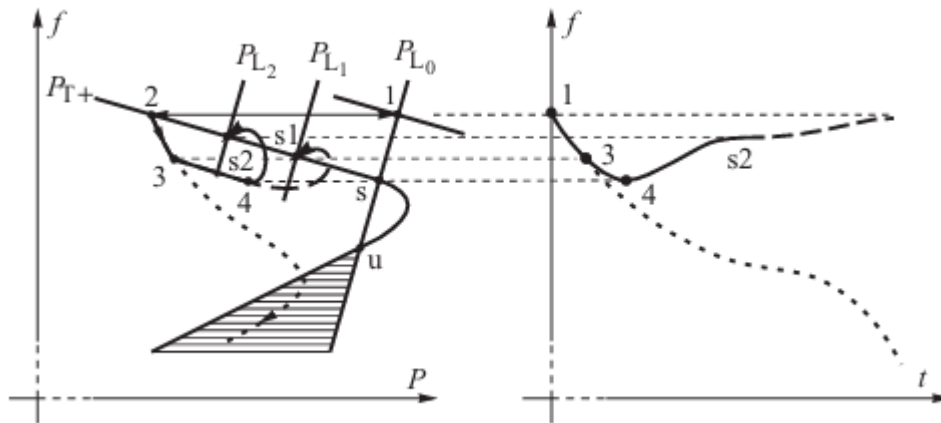


Figura 75 Shkyçja e ngarkesës në dy etapa për të mbrojtur kundër kolapsit të frekuencës

Pa shkyçjen e ngarkesës, sistemi do të pësonte një kolaps të frekuencës, siç tregohet nga vija e thyer.

Etapa e parë e shkyçjes së ngarkesës aktivizohet në pikën 3, duke kufizuar ngarkesën në një vlerë që përputhet me karakteristikën  $P_{L1}$ . Shkalla e rënies së frekuencës tani është shumë më e ngadaltë, pasi diferenca midis ngarkesës dhe prodhimit është më e vogël. Në pikën 4, aktivizohet etapa e dytë e shkyçjes së ngarkesës, duke zvogëluar më tej ngarkesën në një vlerë që korrespondon me karakteristikën  $P_{L2}$ . Prodhimi tani është më i lartë se ngarkesa, frekuenca rritet dhe trajektorja e sistemit tregon një tendencë drejt pikës  $s_2$ , ku karakteristikat  $P_{L2}$  dhe  $P_{T+}$  ndërthuren.

Përveç mbrojtjes nga kolapsi i frekuencës, shkyçja e ngarkesës mund të përdoret gjithashtu për të parandaluar rëniet e thella të frekuencës së sistemit, duke ofruar një mekanizëm efektiv dhe të kontrolluar për mbajtjen e qëndrueshmërisë të sistemit elektroenergjetik.

Skema automatike e kontrollit të nënfrekuencës përfshin:

- Plan Shkyçjeje të Ngarkesës në Frekuencë të Ulët (LFDD); dhe
- Modalitet i Kufizuar i Ndjeshmërisë ndaj Frekuencës - Nënfrekuencë (LFSM-U) në zonën e kontrollit të frekuencës (LFC).

#### 4.16 Modaliteti i Kufizuar i Ndjeshmërisë ndaj Frekuencës – Nënfrekuencë

LFSM-U (Load-Frequency Sensitive Mode - Upward) duhet të aktivizohet kur sistemi ndodhet në një gjendje emergjente pas një ndërprerjeje të rëndë që ka shkaktuar një mungesë të konsiderueshme në prodhim dhe të gjitha kapacitetet e FCR (Frequent Control Reserves) të blera janë aktivizuar. LFSM-U aktivizohet automatikisht në PGM (Power Generating Module) kur frekuenca bie nën 49.80 Hz. Kur LFSM-U është aktivizuar, përgjigja LFSM-U e njërive që ofrojnë FCR rifillon nga aktivizimi i përgjithshëm i FCR-ve deri në ndërhyrjen e LFSM-U. Në rast se frekuenca bie nën 49.80 Hz dhe mbetet në intervalet e frekuencës të specifikuara në nenin 154(6) të SOGL (System Operation Guideline)[43], PGM-të duhet të rrisin më tej prodhimin e fuqisë së tyre, nëse është e nevojshme, deri në kapacitetin maksimal të mundshëm, duke respektuar gjithashtu kufizimet teknike. Përgjigja e LFSM-U duhet të ketë të njëjtin shkallëzim të miratuar për gjendjet normale dhe të alarmit, ku vlera e synuar është 5%, me një gamë të pranueshme nga 2% deri në 12%[44], dhe nuk duhet të rrezikojë në asnjë mënyrë qëndrueshmërinë e PGM-ve që ofrojnë FCR. Kur shkalla e ndryshimit të frekuencës e lejon, LFSM-U duhet të aktivizohet përpara LFDD (Load Frequency Demand Disconnection), si një

masë për të parandaluar rënien e mëtejshme të frekuencës dhe për të stabilizuar sistemin elektroenergjetik[45].

#### 4.17 Kalimi dhe Shkyçja automatike e njësive të ruajtjes së energjisë

Njësitë e ruajtjes së energjisë duhet të kontribuojnë në stabilizimin e frekuencës në rast të luhatjeve të mëdha të frekuencës duke përshtatur prodhimin e fuqisë aktive. Në modalitetin e ngarkesës, njësitë e ruajtjes së energjisë do të shkëputen automatikisht kur frekuenca arrin një kufi të rastësishëm që ndodhet ndërmjet 49.01 Hz dhe 49.2 Hz. Ky interval frekuence është projektuar për të parandaluar shkëputjen e një numri të madh njësish ruajtjeje në një kufi të caktuar frekuence, duke siguruar një reagim të kontrolluar dhe gradual.

Koha maksimale e shkëputjes totale duhet të jetë sa më e shkurtër që është e mundur teknikisht, duke marrë parasysh kohën e matjes, kohën e llogaritjes së relëve, kalimin e qarqeve ndihmëse dhe kohën e hapjes për ndërprerësit e qarkut. Vonesat e qëllimshme nuk lejohen, dhe gjithçka duhet të realizohet me precizitet dhe në kohë të shpejtë për të siguruar qëndrueshmërinë e sistemit elektroenergjetik.

#### 4.18 Skema e SHAF në SEE Shqiptar

Mirëfunksionimi i sistemit elektroenergjetik në ishull apo i ndërlidhur varet nga vlera e frekuencës e cila është funksion i balancës ndërmjet prodhimit dhe konsumit. Pas një ngacmimi në sistemin elektroenergjetik i cili ka shkaktuar një rënie në vlerën e frekuencës, është e domosdoshme të aktivizohen skemat e Shkarkimit Automatik nga Frekuenca (SHAF) për të parandaluar rënien e mëtejshme të frekuencës dhe rikthimin në vlerën nominale. Procesi i rikthimit është mjaft kompleks pasi përfshin kontributin e njësive gjeneruese, në varësi të aftësisë që disponojnë për aktivizimin e rezervës primare. Parimet e përgjithshme që ndiqen në projektimin e skemave të SHAF janë:

- I. Shpërndarje gjeografike uniforme në Sistemin Transmetimit dhe të nën-transmetimit;
- II. Përdorimi i të njëjtës frekuencë reference për të gjithë sistemin e ndërlidhur;
- III. Aftësi për kompensimin e deficitit maksimal të pritur të fuqisë aktive;
- IV. Skema e SHAF duhet të jetë efektive, pra stakimi i ngarkesës duhet të jetë minimumi i domosdoshëm për të parandaluar rënien e mëtejshme dhe rikthimin e frekuencës në vlerën nominale;
- V. Të mos stakohen njësii gjeneruese, ose të stakohet minimumi i mundshëm në rrjetin e shpërndarjes;
- VI. Të parandalohet gjendja mbi-frekuencës, mbi-tensionit ose fenomene kalimtare të cilat mund të sjellin ndërprerje të mëtejshme të gjenerimit;
- VII. Të parandalohet ndarja në disa ishuj e zonës ku është implementuar SHAF.

Në Sistemin Elektroenergjetik Shqiptar aktualisht është implementuar automatika si më poshtë:

| Shkalla | Frekuenca (Hz) | % e ngarkesës së çkycur | Koha e veprimit |
|---------|----------------|-------------------------|-----------------|
| 1       | 49.0           | 10%                     | 0.2 sekonda     |
| 2       | 48.8           | 15%                     | 0.2 sekonda     |
| 3       | 48.2           | 15%                     | 0.5 sekonda     |
| 4       | 47.8           | 15%                     | 0.5 sekonda     |

Ashtu siç mund të dallohet, në Sistemin Shqiptar është implementuar një skemë me 4 Shkallë të SHAF në brezin 49 Hz deri në 47.8 Hz. Luhatjet e frekuencës në brezin 50-49 Hz konsiderohen të kompensuara nga reagimi i rregullimit primar të njësive gjeneruese të të gjithë zonës sinkrone, pasi duhet të kemi parasysh se çdo luhatje frekuence në zonën sinkrone do të reflektohet në të gjithë zonat e kontrollit që e përbëjnë atë; rrjedhimisht, në brezin 50-49 Hz, rregullimi primar është dimensionuar për të kompensuar këtë rënie frekuence prej 1 Hz.

Në Vitin 2017 të gjithë OST e Zonës Sinkrone të Evropës Kontinentale miratuan Politiken 5 të ndryshuar. Ndryshimi konsiston në detyrimin që kanë të gjithë Operatorët e Transmetimit për të implementuar Skemat e reja të SHAF me minimalisht 6 Shkallë. Për sa më sipër Operatori i Sistemit të Transmetimit OST sh.a. duhet të implementojë të gjithë parashikimet e Politikës 5 të re në lidhje me SHAF.

#### 4.19 Implementimi Planit të SHAF

Kërkesat teknike të skemave të SHAF në përputhje me Politikën 5 të Manualit Operacional për frekuencë në diapazonin 49 Hz deri në 48 Hz, çdo OST duhet të implementojë planin e SHAF si më poshtë:

1. Minimalisht do të stakohet ngarkesa në masën 5% të ngarkesës totale në 49 Hz.
2. Në total duhet të stakohet një ngarkesë që të korrespondojë në  $45\% \pm 7\%$  të ngarkesës së sistemit në brezin 49 Hz deri në 48 Hz.
3. Minimumi i shkallëve të stakimit të ngarkesës duhet të jetë 6 (duke përfshirë dhe shkallën e aktivizuar në 49 Hz).
4. Në çdo shkallë duhet të stakohet maksimumi 10% e ngarkesës totale.
5. Në reletë e frekuencës nuk duhet të vendoset mbajtje kohe.
6. Funksione shtesë  $df/dt$  lejohet të vendoset në rele në diapazonin 49.8 Hz deri në 49.0 Hz.

#### 4.20 Kërkesa minimale teknike për aplikimin e SHAF

Koha maksimale e veprimit të SHAF duke konsideruar kohën e llogaritjes së relesë, kohën e aktivizimit të qarqeve sekondare dhe kohën e veprimit të çelësit nuk duhet të kalojë 300 ms.

Duke marrë në konsideratë sa më sipër Sistemi Shqiptar në tre vitet e fundit ka pasur një ngarkesë mesatare orare prej 850 MW. Kjo ngarkesë rekomandohet të përdoret si ngarkesë reference për implementimin e SHAF.

| Frekuenca | Shkallë | Ngarkesa totale | Hapi | Ngarkesa që stakohet [MW] |
|-----------|---------|-----------------|------|---------------------------|
| 50-49.1Hz |         | 850             | -    |                           |
| 49.00     | 1       | 808             | 5%   | 43                        |
| 48.80     | 2       | 723             | 10%  | 85                        |
| 48.60     | 3       | 638             | 10%  | 85                        |
| 48.40     | 4       | 553             | 10%  | 85                        |
| 48.20     | 5       | 468             | 10%  | 85                        |
| 48.00     | 6       | 425             | 5%   | 43                        |
|           |         |                 | 50%  | 425                       |

---

#### 4.21 Skema e kontrollit të mbifrekuencës

Skema e kontrollit të mbifrekuencës është parashikuar për të parandaluar shkëputjen e njësive të mëdha gjeneruese (PGM) në rast të rritjes së tejkaluar të frekuencës së sistemit, duke reduktuar rrezikun për destabilizim apo kolaps të sistemit elektroenergjetik. Kjo skemë automatike vepron nëpërmjet reduktimit proporcional të fuqisë aktive të injektuar në rrjet nga secila zonë e kontrollit të ngarkesës-frekuencës (LFC), brenda zonës sinkrone.

Skema e Kontrollit të Mbifrekuencës në nivel të njësive individuale gjeneruese përbën një komponent të pandashëm të mbrojtjes së sistemit. Për këtë arsye, ajo duhet të respektojë disa parime themelore funksionale, përfshirë selektivitetin, përgjigjen proporcionale ndaj shkallës së ndryshimeve të frekuencës, si dhe bashkërendimin dinamik me njësitë e tjera gjeneruese brenda rajonit përkatës dhe të gjithë zonës sinkrone. Zbatimi i këtyre parimeve është thelbësor për të shmangur efekte negative dinamike, të cilat mund të ndodhin gjatë episodeve të mbifrekuencës në nivel sistemi. Një konsideratë kritike është se matja lokale e frekuencës në nivelin e një njësie të veçantë prodhimi mund të karakterizohet nga një ndryshueshmeri e lartë në saktësi dhe qëndrueshmëri. Duhet të kihet parasysh se njësitë me kapacitet të ulët, të lidhura në nivelet e tensionit të ulët (TU) apo të mesëm (TM), shpesh nuk janë të pajisura me pajisje matëse të kalibruara për matje të sakta të frekuencës.

#### 4.22 Modaliteti Ndjeshmërisë ndaj Frekuencës - Mbifrekuenca

Aktivizimi i LFSM-O (Limited Frequency Sensitive Mode – Overfrequency) [46] është i domosdoshëm kur sistemi ndodhet në një gjendje emergjente pas një ndërprerjeje të rëndë, e cila ka rezultuar në një tepricë të konsiderueshme të fuqisë së gjeneruar dhe kur të gjitha rezervat primare të kontrollit të frekuencës (FCR) janë tashmë të aktivizuara.

Të gjitha llojet e Njësive Gjeneruese duhet të jenë të afta të ofrojnë përgjigje të fuqisë aktive ndaj frekuencës nëpërmjet funksionit LFSM-O. Ky funksion aktivizohet automatikisht në secilën PGM kur frekuenca tejkalon pragu e 50.20 Hz.

Nëse frekuenca tejkalon këtë prag dhe hyn në intervalet e përcaktuara në rregulloren SOGL (Rregullorja për Operimin e Sistemit)[43], PGM-të janë të detyruara të reduktojnë më tej fuqinë e gjeneruar deri në kapacitetin minimal teknik, duke respektuar kufizimet specifike të secilës njësi.

Shkalla e përgjigjes së fuqisë aktive për LFSM-O duhet të jetë e njëjtë si në kushtet normale dhe të alarmit, me një vlerë të synuar prej 5%, dhe e pranueshme brenda një gama prej 2% deri në 12%. Kjo përgjigje nuk duhet në asnjë mënyrë të ndikojë qëndrueshmërinë funksionale të njësive që ofrojnë FCR.

Gjatë aktivizimit të LFSM-O, përgjigja përkatëse e njësive që ofrojnë FCR do të zhvillohet në vijimësi me shkallëzimin e përgjithshëm të aktivizimit të FCR-së, deri në momentin kur ndodh aktivizimi i plotë i funksionit LFSM-O.

Operatorët e Sistemit të Transmetimit (TSO) janë përgjegjës për hartimin e skemës automatike të kontrollit të mbifrekuencës, duke marrë në konsideratë kapacitetet teknike të PGM-ve dhe të njësive të ruajtjes së energjisë brenda zonës së tyre të kontrollit të frekuencës (LFC).

- Pragu i frekuencës për aktivizimin e LFSM-O 50.2 Hz
- Raporti i reduktimit të injektimit të fuqisë aktive Rekomandohet 5%

#### 4.23 Sfidë për shkak të Ndryshimeve në Burimet e Reja të Prodhimit

Në të kaluarën kemi pasur një përqindje shumë të vogël të prodhimit të lidhur në rrjetin e shpërndarjes e cila ishte e përfshirë në skemën e dedikuar të shkëputjes dhe ishte parashikuar që çdo njësi e tillë të shkëputej automatikisht nga sistemi jashtë një intervali shumë të ngushtë të frekuencës rreth vlerës nominale të frekuencës me qëllim shmangien e formimit të ishujve

të pakontrolluar (me furnizim të paqëndrueshëm). Aktualisht, meqenëse prodhimi i lidhur në rrjetin e shpërndarjes ka një peshë të konsiderueshme në disa rajone dhe në kushte të favorshme kontribuon me një sasi domethënëse të fuqisë aktive në sistem, parametrat e shkëputjes për këto njësi duhet të koordinohen me cilësimet e njësive konvencionale të prodhimit dhe me skemën e mbrojtjes së përgjithshme të sistemit.

Për rrjedhojë, kërkohet urgjentisht një kontribut i koordinuar dhe selektiv nga njësitë e reja të prodhimit në rritjen ose reduktimin e furnizimit me fuqi, në varësi të kushteve të sistemit.

Për shkak se të gjitha njësitë e prodhimit të lidhura me rrjetin nëpërmjet elektronikës së fuqisë nuk kontribuojnë në inercinë e sistemit, pritët që shkalla e ndryshimit të frekuencës (Rate of Change of Frequency – ROCOF) në zonën sinkrone të rritet. Si pasojë, kërkohet një përgjigje më e shpejtë dhe e koordinuar në kushtet e mbifrekencës

#### 4.24 Ndikimi i Parametrave Kritikë

Për të vendosur Skemat e Kontrollit të Mbifrekencës, rekomandohet qasja e mëposhtme. Në një hap të parë, duhet analizuar disbalanca maksimale e mundshme e fuqisë aktive  $\Delta P_{\text{imbalance,max}}$  e një ishulli të mundshëm të mbifrekencës për të gjitha skenarët përkatës.  $\Delta P_{\text{imbalance,max}}$  zakonisht përputhet me importin e fuqise aktive përmes rrjetit AC të ishullit të mundshëm të mbifrekencës para një ndarjeje të sistemit. Pra, zvogëlimi maksimal i prodhimit të fuqisë aktive bazuar në LFSM–O ( $\Delta P_{\text{LFSM-O,max}}$ ) duhet të jetë të paktën i barabartë me  $\Delta P_{\text{imbalance,max}}$  për të mundur balancimin e tepërt të prodhimit pas ndarjes së sistemit. Në realitet, efekti vetë-rregullues i ngarkesave zvogëlon shumë e kërkuar të  $\Delta P_{\text{LFSM-O}}$ , por kjo mund të shihet si një marzh sigurie. Sipas formulës 1,  $\Delta P_{\text{LFSM-O,max}}$  varet nga shkallëzimi  $s$  i kontrollit të fuqisë aktive, si dhe nga  $\Delta f_{\text{LFSM-O,max}}$ .

$$\Delta P_{\text{LFSM-O,max}} = \frac{100\%}{s} * \Delta f_{\text{LFSM-O,max}} \quad 4.1$$

Për shkak se  $\Delta f_{\text{LFSM-O,max}}$  varet nga pragu i frekuencës  $f_{\text{prag}}$  (midis 50.2 dhe 50.5 Hz), i cili përcakton pikën fillestare të LFSM–O, pjerrësia e kërkuar  $s$  ndryshon për vlera të ndryshme të  $f_{\text{prag}}$ . Vlera tipike për pjerrësinë në kontrolluesit e fuqi-frekuencës janë jo më të vogla se 5 %.

$$\Delta f_{\text{LFSM-O,max}} = 51.5 \text{ Hz} - f_{\text{pragu}} \quad 4.2$$

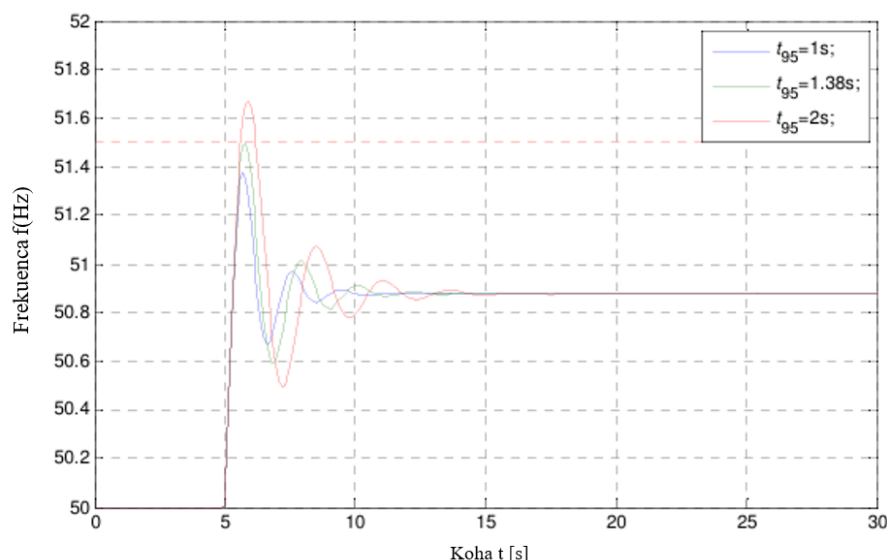


Figura 76 Ndikimi i kohëve të ndryshme të reagimit në lidhje me kontrollin e mbifrekencës

Përveç pragut të frekuencës  $f_{\text{prag}}$  dhe pjerrësisë së karakteristikës  $s$ , duhet të merret në konsideratë edhe koha e reagimit e funksionit të modifikimit të kufirit të frekuencës në

modalitetin e mbingarkesës (LFSM–O). Në rast se dinamika kohore e përgjithshme e LFSM–O nuk është mjaftueshëm e shpejtë për të kompensuar çekuilibrin e fuqisë përpara se frekuenca e sistemit të arrijë vlerën maksimale të lejueshme  $f_{\max} = 51.5$  Hz, atëherë do të jetë e pamundur të parandalohet ndërprerja e furnizimit me energji elektrike në sistemin e izoluar pasi njësitë gjeneruese janë të taruara të shkëputen në atë nivel frekuence. Për këtë arsye, nga perspektiva e qëndrueshmërisë së sistemit elektroenergjetik, është e nevojshme që mekanizmit LFSM–O t'i sigurohet sa më shumë kohë e mundur për të ulur prodhimin e fuqisë aktive në mënyrë efektive. Në veçanti, për sistemet ishullore ku ekziston rreziku i frekuencave të larta dhe çekuilibrave të mëdhenj të mundshëm në bilancin energjetik, është kritike që  $f_{\text{frag}}$  të konfigurohet në vlerën minimale të lejuar prej 50.2 Hz. Njëkohësisht, koha maksimale e reagimit të LFSM–O për një reduktim prej 50% të fuqisë aktive nuk duhet të tejkalojë 1 sekondë, për të shmangur tejkalimin e kufirit të sipërm të frekuencës prej 51.5 Hz, dhe për të siguruar që përgjigja e sistemit të jetë në përputhje me kërkesat operacionale dhe kriteret e sigurisë.

Funksioni LFSM-O, i zbatuar në njësitë gjeneruese dhe në lidhjet HVDC që lidhin zona të ndryshme sinkrone, është skema e vetme që parandalon ndërprerjen e energjisë (blackout) të një ishulli në mbifrekuençë, pas një ndarje të sistemit. Në këtë kontekst, me "ishull" nënkuptohet një pjesë relativisht e madhe e rrjetit të transmetimit, së bashku me nënrrjetet e shpërndarjes që i përkasin atij. Skema LFSM-O zvogëlon prodhimin e energjisë në një nivel të barabartë me ngarkesën në ishullin që është formuar papritur si i izoluar. Ndërkohë, gjatë periudhës nga ndarja e sistemit deri te reagimi i skemës LFSM-O, teprica e fuqisë në ishull nxit përshpejtimin e masave rrotulluese. Kjo vlerë maksimale e ROCOF (the rate of change of the frequency) që duhet të përcaktohet, ka tre aspekte të rëndësishme:

Për të gjithë përdoruesit e rrjetit (si ngarkesat, ashtu edhe modulet gjeneruese), kjo vlerë maksimale e ROCOF përcakton aftësinë e tyre për të përballuar ndryshimet në frekuençë: Asnjë përdorues i rrjetit nuk duhet të shkëputet apo të dëmtohet për shkak të vlerës maksimale të ROCOF.

Formula në vijim

$$T_{N,min} = \frac{\Delta P_{\text{Imbalance}}}{P_{\text{Load}}} * \frac{f_0}{RoCoF_{\max}} \quad 4.3$$

përcakton inercinë minimale që duhet të jetë në funksion në ishull, duke marrë parasysh një çekuilibër të caktuar brenda tij.

Sa më e lartë të jetë vlera maksimale e ROCOF, aq më pak kohë mbetet për aktivizimin e skemës LFSM-O. Prandaj, ROCOF përcakton në mënyrë të tërthortë kohën maksimale të reagimit të skemës LFSM-O.

Për vlerën maksimale të ROCOF, rekomandohet një vlerë prej 2 Hz/s.

Arsyet:

- Nga njëra anë, një vlerë e ulët do të ishte e dëshirueshme për të lejuar që skema LFSM-O të reagojë me ngadalë. Nga ana tjetër, një ROCOF maksimal i ulët do të kërkonte një sasi të madhe inercie në sistem. Vlera 2 Hz/s duket të jetë një kompromis i mirë midis këtyre dy aspekteve.
- Në diskutimet me prodhuesit, 2 Hz/s shihet si një vlerë realiste për aftësinë për përballim (withstand capability).
- Në kodin e lidhjeve HVDC, kërkohet 2.5 Hz/s për konvertuesit HVDC. Një lidhje HVDC duhet të qëndrojë në funksion më gjatë se të gjithë përdoruesit e tjerë të rrjetit. Vlera 2 Hz/s për përdoruesit e rrjetit lë një diferencë të arsyeshme sigurie.

#### 4.25 Skemat Automatike të mbi dhe nën tensionit

Analizat mbi qëndrueshmërinë e sistemeve të energjisë elektrike kryesisht janë lidhur me qëndrueshmërinë dinamike të makinave sinkrone. Nga ana tjetër, në analizën e qëndrueshmërisë së tensionit, shqetësimi kryesor është kolapsi i tensionit, edhe pse gjeneratorët mund të mbeten në sinkronizëm. Siç dihet qëndrueshmëria e tensionit i referohet aftësisë së një sistemi elektro-energjetik për të mbajtur tensione të qëndrueshme, brenda limiteve në të gjithë nyjet e sistemit pas një situatë të paparashikuar, gjithmonë duke ju referuar kushteve fillestare.

Me pak fjalë, SEE është i qëndrueshëm në aspektin e tensionit nëse tensionet pas ngacmimeve janë afër tensioneve nominale operative. Sistemi elektroenergjetik shkon në paqëndrueshmëri kur tensionet bien në mënyrë të pakontrolluar për shkak të stakimit të elementeve, rritjes së ngarkesës ose uljes së prodhimit. Zakonisht, problemet e qëndrueshmërisë së tensionit lidhen me sistemet e dobëta dhe linjat e gjata[47]; megjithatë, problemet me tensionin tani janë gjithashtu një burim shqetësimi edhe në rrjete shumë të zhvilluara si rezultat i ngarkesave shumë të mëdha. Limitet e transmetimit të energjisë përcaktohen nga kushte si qëndrueshmëria e këndit të rotorit, qëndrueshmëria e tensionit dhe limitet termike (Psh. Kriteri N-1). Kjo ilustron në Figura 77. Është e qartë se në kushte të ngarkesës së ulët dhe të mesme, qëndrueshmëria kalimtare është një kusht përcaktues. Nga ana tjetër, në kushte të ngarkesës së lartë, qëndrueshmëria e tensionit është kryesore.

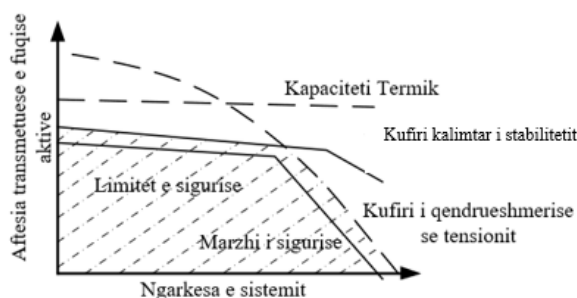


Figura 77 Limitet e sigurisë së transmetimit dhe kufizime të ndryshme

Ndryshe nga qëndrueshmëria e frekuencës, qëndrueshmëria e tensionit është përgjithësisht një problem lokal; megjithatë, pasojat e paqëndrueshmërisë së tensionit mund të kenë një ndikim të gjerë. Rezultati i këtij ndikimi është kolapsi i tensionit, i cili zakonisht buron nga një sekuencë ngjarjesh të paparashikuara, jo nga ndonjë luhajtje apo ngacmim specifik. Kjo çon në profile shumë të ulëta të tensionit në një pjesë të madhe të sistemit elektro-energjetik. Paqëndrueshmëria e tensionit zakonisht rezulton në ulje të shtrira në kohë (ose aperiodike) të tensioneve. Ndonjëherë, paqëndrueshmëria e tensionit mund të shfaqet si lëkundje tensioni e cila nuk shuhet (undamped). Paqëndrueshmëria e tensionit mund të shkaktojë humbje të ngarkesës në një zonë, ndërprerjen e linjave të transmetimit ose elementëve të tjerë nga mbrojtjet përkatëse, duke çuar në ndërprerje të njëpasnjëshme (Kaskadë). Këto ndërprerje ose shkelja e kushteve të sigurisë së operimit mund të shkaktojnë humbjen e sinkronizmit të gjeneratorëve të lidhur në rrjet.

Ka disa faktorë që kontribuojnë në paqëndrueshmërinë e tensionit apo kolapsin total të tij, si rritja e ngarkesës në linjat e transmetimit, kufizimet e fuqisë reaktive, procesi i lëvizjes së rregullatorëve në transformatorë (OLTC) dhe karakteristikat e ngarkesës. Problemi i tensioneve të ulëta në kushte të qëndrueshme statike ndryshon me paqëndrueshmërinë e tensionit. Është e mundur që kolapsi i tensionit të ndodhë edhe nëse tensionet fillestare operative janë në nivele të pranueshme. Kolapsi i tensionit mund të ndodhë shpejtë (për shkak të ngarkesave të motorëve asinkron ose pajisjeve konvertuese si HVDC) ose i ngadalshëm (për

shkak të ndryshimit të rregullatorëve të tensionit nën-ngarkesë dhe limituesve të eksitimit të gjeneratorëve).

Arsyeja kryesore për paqëndrueshmërinë e tensionit është mungesa e aftësisë për të transmetuar fuqinë reaktive në distanca të gjata, kjo bën që të rritet kërkesa për furnizim të drejtpërdrejt në pikat që kanë nevojë për fuqi reaktive. Arsyet e reduktimit të transmetimit të fuqisë reaktive janë:

Fuqia reaktive nuk mund të transmetohet në rastet kur kemi kënde të mëdha të fuqisë dhe magnitudë të konsiderueshme të tensionit. Këndet e larta vijnë si rezultat i linjave të gjata dhe transmetimit në sasi të mëdha të fuqisë. Ky është një kufizim fizik referuar parametrave të linjes dhe mund të shpjegohet thjesht duke konsideruar sistemin me dy nyje të treguar në Figura 78. në të cilin neglizhojmë rezistencën e linjës,[48]

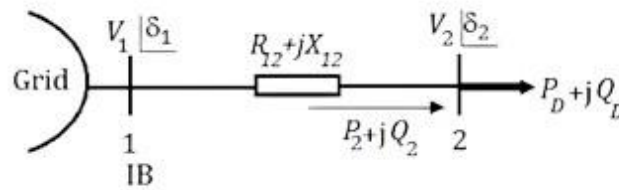


Figura 78 Një nyje me fuqi infinit furnizon një ngarkesë nëpërmjet një linje transmetimi

Një nyje me fuqi infinit furnizon një ngarkesë nëpërmjet një linje transmetimi.

$$P_2 = \frac{V_1 V_2}{X_{12}} \sin \delta_{12} \quad 4.4$$

$$Q_2 = \frac{V_1 V_2}{X_{12}} \cos \delta_{12} - \frac{V_2^2}{X_{12}} \quad 4.5$$

ku  $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$  dhe  $P_{max} = \frac{V_1 V_2}{X_{12}}$  është maksimumi i fuqisë mes nyjeve 1 dhe 2.

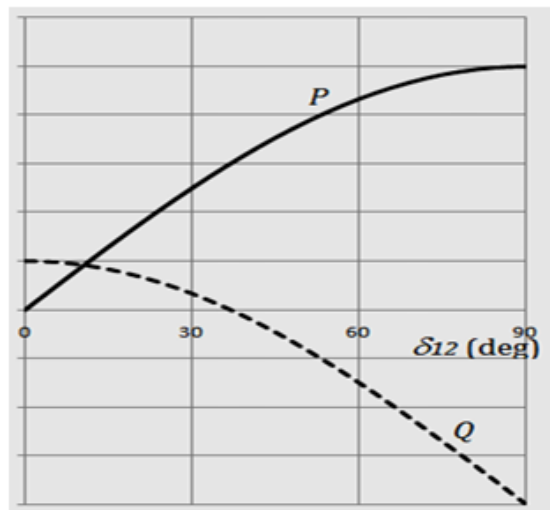


Figura 79 Karakteristikat e transmetimit të fuqisë aktive dhe reaktive

Nga Figura 79 mund të vërejmë se rritja e transmetimit të fuqisë aktive ose diferenca këndit midis nyjeve zvogëlon transmetimin e fuqisë reaktive.

Kufizimet e humbjeve të fuqisë aktive dhe reaktive. Humbjet reale duhet të minimizohen për arsye ekonomike; humbjet reaktive duhet të minimizohen për të reduktuar investimet në pajisje për fuqinë reaktive. Reduktimi i transmetimit të fuqisë reaktive dhe mbajtja e tensionit në nivele të larta është thelbësore për uljen e humbjeve. Kjo mund të shpjegohet nëpërmjet ekuacioneve të mëposhtme, të cilat nxirren nga sistemi i paraqitur në Figura 78.

$$P_{\text{loss}} = \left| \frac{V_1 - V_2}{R_{12} + jX_{12}} \right|^2 R_{12} \cong \frac{P_2^2 + Q_2^2}{V_2^2} R_{12} \quad 4.6$$

$$Q_{\text{loss}} = \left| \frac{V_1 - V_2}{R_{12} + jX_{12}} \right|^2 X_{12} \cong \frac{P_2^2 + Q_2^2}{V_2^2} X_{12} \quad 4.7$$

Transmetimi i lartë i fuqisë reaktive do të rezultojë në mbidimensionimin e kapaciteteve në (A) të elementeve të rrjetit.

#### 4.26 Bazat e Analizës së Qëndrueshmërisë së Tensionit

Qëndrueshmëria dinamike ose siç quhet qëndrueshmëria kalimtare e tensionit (TVS) përfshin modelimin jolinear të komponentëve të sistemit elektroenergjetik, ndërsa qëndrueshmëria statike e tensionit përfshin rastin e gjendjes së qëndrueshme të komponentëve të sistemit. Në këtë rast shpjegohen modeli dhe analiza e qëndrueshmërisë statike të tensionit.

Për sistemin e thjeshtë me 2 nyje të paraqitur në Fig. 72, marrëdhënia midis tensionit dhe fuqisë aktive (karakteristika  $V_2 - P_2$ ) në nyjën e ngarkesës mund të përcaktohet duke shprehur ekuacionet 4.4 dhe 4.5 në kontur të mbyllur, duke eliminuar këndin  $\delta_{12}$  dhe duke përdorur identitetin trigonometrik  $\sin^2 \delta_{12} + \cos^2 \delta_{12} = 1$ , si dhe formulën  $Q_2 = P_2 \tan \varphi_2$  (ku këndi  $\varphi_2$  i referohet fuqisë në nyjën 2). Gjithashtu, merret parasysh që  $A = \frac{V_1 V_2}{X_{12}}$  dhe  $B = \frac{V_2^2}{X_{12}}$ .

$$P_2^2 + (Q_2 + B)^2 = A^2 \quad 4.8$$

Pa marrë parasysh limitin termik, nga ekuacioni (4.8) mund të shihet se kapaciteti në fundin e linjes është një rreth me qendër në (0, -B) dhe me rreze A. Sic tregohet në Figura 80, mund të konstatohet se diapazoni maksimal i transmetimit të fuqisë reaktive ndodh kur fluksi i fuqisë aktive është zero. Diapazoni i fuqisë reaktive zvogëlohet me rritjen e fluksit të fuqisë aktive. Kur fluksi i fuqisë aktive është maksimal, fuqia reaktive është negative me vlerë -B.

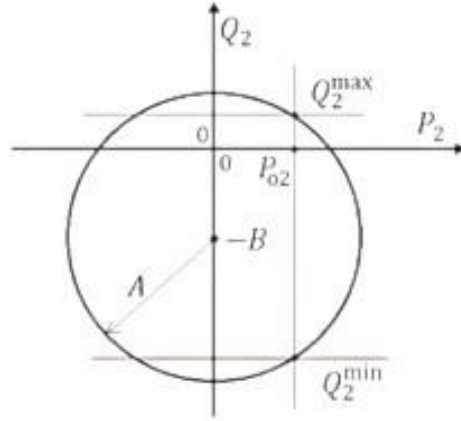


Figura 80 Kushte ideale në nyjen ngarkesë

Marrëdhënia midis  $P_2 - V_2$  mund të gjendet duke zgjidhur ekuacionet kuadratike 4.8;

$$P_2 = \frac{V_2^2}{X_{12}(1 + \tan^2 \varphi_2)} \left\{ -\tan \varphi_2 \pm \sqrt{-1 + \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 (1 + \tan^2 \varphi_2)} \right\} \quad 4.9$$

Zgjidhja reale mund të gjendet në qoftë se  $\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 (1 + \tan^2 \varphi_2) > 1$  Përveç kësaj, për një vlerë të vetme të tensionit në nyjën e ngarkesës, ekzistojnë dy zgjidhje të mundshme referuar fuqisë. Ngarkesa maksimale e sistemit përcaktohet maksimumi i ekuacionit (4.9). Max. jepet nga derivati i fuqisë në raport me tensionin në nyjën e ngarkesës  $\frac{dP_2}{dV_2} = 0$  dhe  $\frac{d^2P_2}{dV_2^2} < 0$  Tensioni dhe fuqia e marrë në shqyrtim quhen tension kritik ( $V_{cr}$ ) dhe kufiri maksimal i transmetimit të fuqisë ( $P_{\max}^{vs}$ ) në qoftë se i referohemi qëndrueshmërisë së tensionit. Këto vlera përfaqësojnë:

$$V_{cr} = \frac{V_1}{\cos \varphi} \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \sin \varphi_2)} \quad 4.10$$

$$P_{\max}^{vs} = \frac{V_1^2}{2X_{12} \cos \varphi} (1 - \sin \varphi_2) \quad 4.11$$

Funksoni 4.9 paraqet marrëdhënien midis  $V_2$  dhe  $P_2$ . Prandaj një formë që mund të shkruhet është;

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{2}V_1^2 - X_{12}P_2 \tan \varphi \pm \sqrt{\frac{1}{4}V_1^4 - X_{12}P_2 \tan \varphi_2 V_1^2 - X_{12}^2 P_2^2}} \quad 4.12$$

Ky ekuacion tregon se zgjidhjet reale pozitive egzistojnë vetëm në rast nëse  $\frac{1}{4}V_1^4 \geq (X_{12}P_2 \tan \varphi_2 V_1^2 + X_{12}^2 P_2^2)$  Funkzionet (4.10) dhe (4.11) përfaqësojnë ekuacionet e një

parabolë dhe forma e përgjithshme e tyre është e paraqitur në Figura 81. Për shkak të formës, kurba (b) quhet *nose curves*.

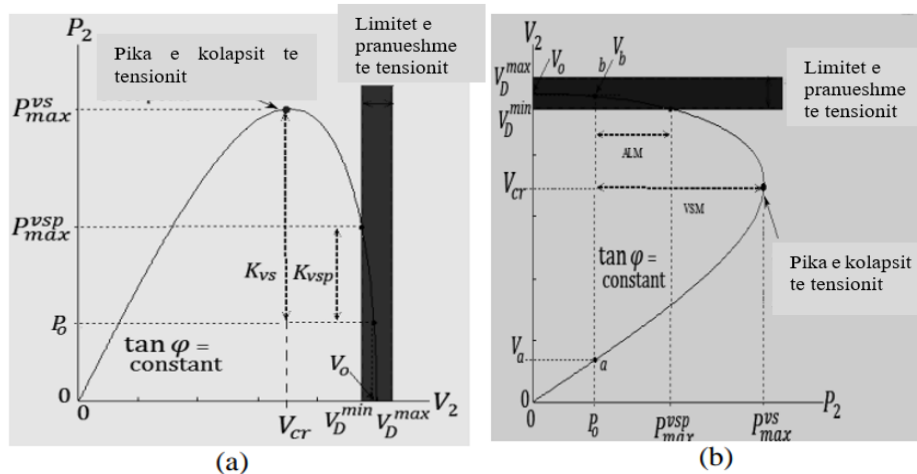


Figura 81 Qëndrueshmëria statike e tensionit dhe kufijtë a) Kurba P-V; b) Kurba V-P

Siç tregohet në Figura 81(b), për një vlerë fillestare të fuqisë ( $P_0$ ), marim dy vlera tensioni në këtë nyje,  $V_a$  dhe  $V_b$ . Ky rast në realitet i pamundur dhe një zgjidhje e saktë është të marret tensioni ( $V_b$ ) duke konsideruar që tensioni ( $V_a$ ) nuk është zgjidhje e saktë dhe e qëndrueshme. Qëndrueshmëria shpjegohet duke përdorur Figura 82 ku fuqia aktive  $P_0$  rritet me  $\Delta P$ . Me rritjen e fuqisë aktive, rënia e tensionit në linjën e transmetimit rritet ( $\Delta V = I_{12}^2 Z_{12}$ ). Prandaj, pika e re e punës duhet të karakterizohet nga një magnitudë më e ulët e tensionit. Siç tregohet në figurë, rritja e fuqisë aktive shkakton një ulje të magnitudës së tensionit nga b në b' në pjesën e sipërme të karakteristikës V-P, ndërsa pjesa e poshtme tregon një rritje të magnitudës së tensionit të nyjes nga a në a'. Si pasojë, në qoftë se rezultati i "2" është pozitiv atëherë 4.12 do të marrim një zgjidhje të saktë dhe të qëndrueshme. Prandaj, pjesa e sipërme e cila është e ngjyrosur përfaqëson zonën ku operohet qëndrueshëm. Kriteret e qëndrueshmërisë mund të paraqiten kështu:

$$\frac{dP_2}{dV_2} \begin{cases} < 0 & \text{i qëndrueshem} \\ > 0 & \text{paqendrueshem} \\ = 0 & \text{kritik} \end{cases} \quad 4.13$$

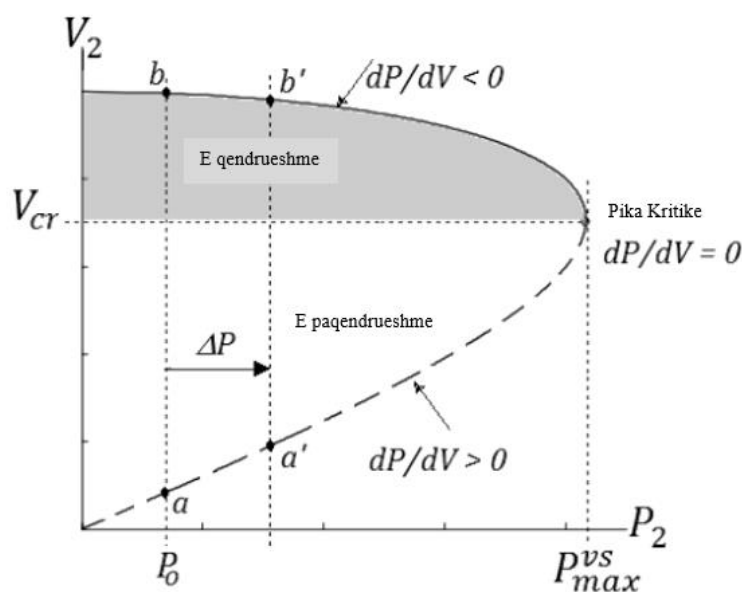


Figura 82 Qëndrueshmëria statike e tensionit në pikën e operimit

Nga pikëpamja e qëndrueshmërisë të tensionit, tensioni kritik dhe kufiri maksimal energjitik përfaqësohen nga ekuacionet 4.10 dhe 4.11; megjithatë, nga pikëpamja e kërkesave të ngarkesës, tensioni në nyjen e ngarkesës duhet të mbahet brenda kufijve të pranueshëm ose një brezi të caktuar (shih Figura 81). Rrjedhimisht, nëse nyja 2 furnizon një ngarkesë, kërkesa për tensionin e ngarkesës duhet të respektohet. Kjo është e nevojshme për funksionimin në mënyrë të duhur të pajisjeve dhe për të parandaluar dëmtimin e tyre. Zakonisht, në varësi të ndjeshmërisë së ngarkesës ndaj tensionit, diapazoni i lejuar i tensionit është  $\pm 3\%$ ,  $\pm 5\%$  ose  $\pm 10\%$ . Në përgjithësi, kufijtë e përcaktuar të tensionit për gjendje normale  $V_D$  përfaqësohen nga:

$$V_{D\min} \leq V_2 \leq V_{D\max} \quad 4.14$$

Zakonisht, tensioni kritik është shumë më i ulët se tensioni minimal i lejuar i ngarkesës; megjithatë, në rastet kur tensioni kritik është më i ulët se tensioni minimal i ngarkesës, operatori i sistemit të transmetimit kufizon tensionin e nyjes në tension kritik në vend të tensionit minimal të ngarkesës. Objektivi kryesor operacional është që të sigurohet njëkohësisht qëndrueshmëria e tensionit dhe përmbushja e kërkesave për tensionin e ngarkesës. Për shkak të këtyre kufizimeve, jo vetëm që manipulohet tensioni i lejuar i nyjes, por edhe bëhen ndryshime në kufirin maksimal të ngarkueshmërisë. Për shembull, në Figura 81, referuar qëndrueshmërisë së tensionit vërehet një reduktim i ndjeshëm i kufirit maksimal të ngarkueshmërisë për shkak të limiteve të tensionit të ngarkesës. Kufiri maksimal i ngarkueshmërisë zvogëlohet nga  $P_{max}^{vs}$  në  $P_{max}^{vsp}$ . Ekuacioni 4.12 i rishkruar në një formë tjetër 4.16 paraqet një karakteristikë shumë të rëndësishme të sistemit. Duke marrë parasysh që fuqia e lidhjes së shkurtër në pikën e aksesit të rrjetit (nyja 2; i quajtur gjithashtu pika e përbashkët e lidhjes (PCC)) jepet nga:

$$S_{sc1} = \frac{V_1^2}{X_{12}c} \quad 4.15$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{1}{2} - \left(\frac{P_2}{S_{sc1}}\right) \tan \varphi_2 \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \left(\frac{P_2}{S_{sc1}}\right) \tan \varphi_2 - \left(\frac{P_2}{S_{sc1}}\right)^2}} \quad 4.16$$

Marrëdhënia e paraqitur më lart tregon se kurba V-P është universale dhe varet vetëm nga kapaciteti i qarkut të lidhjes së shkurtër të sistemit dhe këndi i fuqisë në nyjen e ngarkesës. Marrëdhënia përshkruan atë që quhet kurbë V-P e normalizuar, në të cilën tensioni i ngarkesës përfaqësohet në njësi p.u. (për unit) të tensionit të rrjetit, ndërsa fuqia aktive e ngarkesës përfaqësohet në njësi p.u. të kapacitetit të qarkut të shkurtër të rrjetit. Marrëdhënia V-P ilustron në Figura 83, duke marrë parasysh efektin e faktorit të fuqisë.

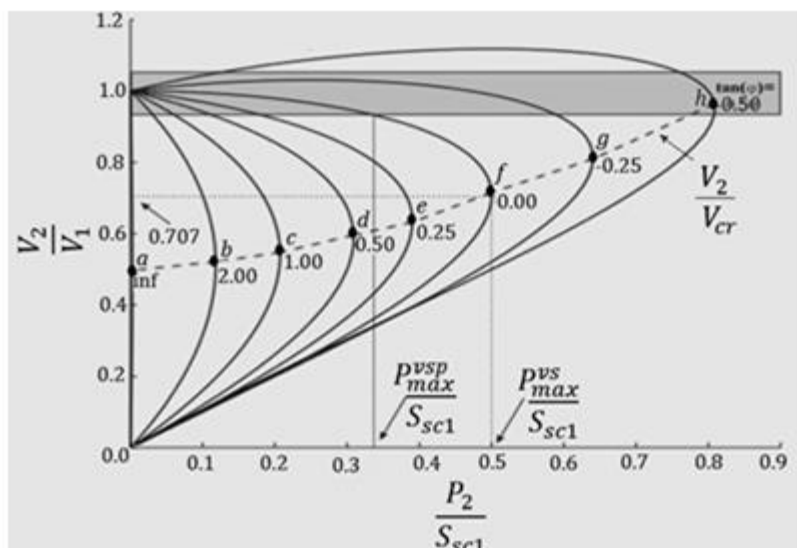


Figura tregon se pika e tensionit kritik varet shumë nga faktori i fuqisë, nga faktorët e fuqisë me vonesë deri te ata me përparësi, tensioni kritik rritet. Siç u shpjegua më lartë, që sistemi të funksionojë duhet që të sigurojmë një nivel të kënaqshëm të tensionit në nyjen e ngarkesës, kjo përkthehet në qëndrueshmëri tensioni. Prandaj, diapazoni minimal midis tensionit kritik dhe kufirit minimal të tensionit të ngarkesës zgjidhet si tensioni minimal i operimit, pra:

$$V_2^{\text{min.oper}}|_{\varphi_2} = \min\{V_{cr}, V_D^{\text{min}}\} \quad 4.17$$

Për shembull, në pikën e punës  $h$ , tensioni kritik është më i madh se tensioni minimal i ngakesës. Kështu që,  $V_2^{\text{min.oper}}|_{\tan \varphi_2 = -0.5} = V_{cr}|_{\tan \varphi_2 = -0.5}$ .

Në këtë mënyrë sigurojmë qëndrueshmëri dhe tension brenda limiteve, në pikën  $d$ ,  $V_2^{\min.oper}|_{\tan \varphi_2=0.5} = V_D^{\min}$ . Në situatat kur tensioni kritik është shumë afër ose brenda intervalit normal të tensionit të operimit, monitorimi i sigurisë së sistemit elektroenergjetik bëhet më i vështirë. Këto situata mund të ndodhin kur në sistem kemi mbikompensim nga kapacitorët. Me kompensime të larta, vërehet se kufiri i transmetimit të fuqisë rritet ndjeshëm, por sistemi bëhet më vulnerabel ndaj kolapsit të tensionit pasi tensioni kritik gjithashtu rritet. Situata ideale është kur kufiri i transmetimit është në kufij të lartë, ndërsa tensioni kritik është në kufij të ulët.

Deri më tani, modeli që përcakton marrëdhënien midis kurbave V-P është në përputhje me proceset që ndodhin në realitet, megjithatë siç vërehet në Figura 83, nuk tregohet efekti i faktorit të fuqisë në tension kur fuqia aktive është zero. Linjat e transmetimit kur operojnë në qark të hapur japin një vlerë tensioni më të lartë në fund se sa në fillim të linjës. Ky fenomen njihet si efekti Ferranti dhe i atribuohet ndikimit të kapacitetit të linjës. Duke rikujtuar se modeli i thjeshtë i linjës përfaqëson linjën nëpërmjet një impedancë në seri me elementë shunt të cilët nuk merren parasysh, pra ky model i kësaj kurbe nuk pasqyron efektin Ferranti dhe as ndikimin real të faktorit të fuqisë së ngarkesës në marrëdhënien V-P. Vlen të përmendet këtu se ndikimi i rezistencës së linjës mund të neglizhohet në linjat e tensionit të lartë (HV) dhe të tensionit ekstra të lartë (EHV).

Kjo ndodh për shkak se raporti X/R në linjat e tensionit të lartë është i madh. Nga ana tjetër, raporti X/R në qarqet e tensionit të mesëm dhe të ulët zakonisht nuk është mjaftueshëm i madh aq sa që të neglizhohet rezistenca. Modele më të avancuara janë të disponueshme për modelimin e këtyre shprehjeve, duke marrë parasysh modelet me parametra të shpërndarë të linjave të transmetimit. Për këtë qëllim, linja e treguar në Figura 78 përfaqësohet nga parametrat e modelit të linjës së gjatë, përkatësisht: impedanca karakteristike (ose impedanca e valës,  $Z_o$ ), gjatësia elektrike e linjës ( $\theta$ ), dhe surge impedancë e valës (PSIL), siç tregohet në Figura 84.

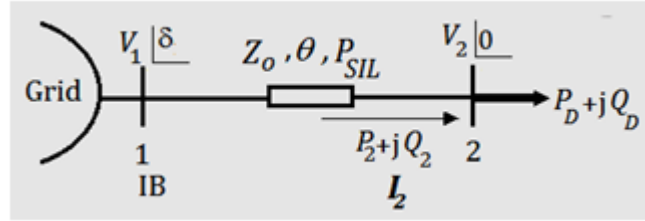


Figura 84 Qarku elektrik për linjat e gjata

Ekuacioni standard i cili karakterizon linjat e gjata AC shkruhet si:

$$V_1 = V_2 \cos \theta + jZ_o I_2 \sin \theta \quad 4.18$$

Fuqia e marrë në fund të linjës ( $P_2 + jQ_2$ ) është e lidhur me rrymën ( $I_2$ ) në fundin e saj:

$$I_2 = \frac{(P_2 - jQ_2)}{V_2^*} \quad 4.19$$

referuar ekuacionit 4.18 thjeshtohet  $I_2$  nga ekuacioni 4.19 dhe marrim:

$$V_1 = V_2 \cos \theta + jZ_o \left( \frac{(P_2 - jQ_2)}{V_2^*} \right) \sin \theta \quad 4.20$$

Duke ju referuar ekuacionit 4.20 dhe duke konsideruar këndin fazor të tensionit të nyjes 2 si referencë, zgjidhjet e tensionit për ekuacionin 4.20 mund të nxirren dhe të pasqyrohen në këtë formë:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{1}{\cos \theta} \right) \times \sqrt{\left( \frac{1}{2} \right) - \left( \frac{P_2}{P_{SLL}} \right) f(\theta) \tan \varphi_2 \pm \sqrt{\left( \frac{1}{4} \right) - \left( \frac{P_2}{P_{SLL}} \right) f(\theta) \tan \varphi_2 - \left( \frac{P_2}{P_{SLL}} \right)^2 f^2(\theta)}} \quad 4.21$$

$$kf(\theta) = \sin \theta \cos \theta$$

Ekuacioni 4.21 jep karakteristikën e plotë P-V të sistemit.

## Kurbat Q-V

Ndryshe nga kurbat V-P, kurbat Q-V paraqesin karakteristikat statike të sistemit dhe të ngarkesës të kombinuara. Marrëdhënia Q-V mund të përcaktohen duke shkruajtur ekuacionet 4.4 dhe 4.5 si më poshtë:

$$P_D = \frac{V_1 V_2}{X_{12}} \sin \delta_{12} = A \sin \delta_{12} \quad 4.22$$

$$Q_D - Q_C = \frac{V_1 V_2}{X_{12}} \cos \delta_{12} - \frac{V_2^2}{X_{12}} = A \cos \delta_{12} - B \quad 4.23$$

Ndaj,

$$Q_C = Q_D + B \pm \sqrt{A^2 - P_D^2} \quad 4.24$$

Ku rrjedh që,

$$\frac{Q_C}{S_{sc1}} = \frac{Q_D}{S_{sc1}} + \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \pm \sqrt{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 - \left(\frac{P_D}{S_{sc1}}\right)^2} \quad 4.25$$

$$Q_D = P_D \tan \varphi_D \quad 4.26$$

Ekuacionet 4.25 dhe 4.26 përshkruajnë kurbën Q-V duke marrë parasysh një model ngarkese me fuqi konstante.

Zgjidhja reale është e mundur vetëm nëse plotësohet kushti:  $\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \geq \left(\frac{P_D}{S_{sc1}}\right)^2$  Prej nga mund të përcaktohet ngarkesa maksimale.

Ngarkesa përfaqësohet, për shembull, nga modelet eksponenciale ose ZIP.

Kurba Q-V për një ngarkesë aktive prej 3.0 p.u, ndërkohë që ngarkesa operon me një faktor fuqie prej 0.9, paraqitet në Figura 85.

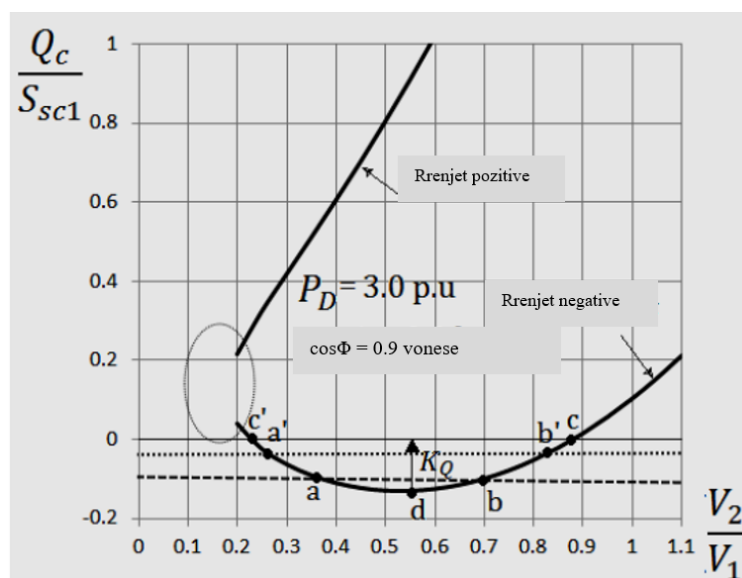


Figura 85 Kurba Q-V e sistemit për ngarkesë 3 p.u. dhe faktor fuqie 0.9

Figura paraqet grafikët për rrënjet pozitive dhe negative të ekuacionit 4.25. Vlerat e rrënjeve pozitive nuk përfaqësojnë kushte të vlefshme për rastin në gjendje standarde operimi. Rrënja negative përcakton një ekuilibër operimi për një vlerë të fuqisë reaktive të injektuar nga

një kompensator hipotetik. Natyrisht, kjo situatë është e pamundur, dhe nga dy pikat e punës, njëra është e qëndrueshme ndërsa tjetra e paqëndrueshme. Për një vlerë të caktuar të  $Q_c$ , pikat e mundshme të ekuilibrit janë a dhe b. Nëse fuqia kapacitive rritet, pikat zhvendosen nga  $a \rightarrow a'$  dhe  $b \rightarrow b'$ . Nga pikëpamja fizike, rritja e injektimit të fuqisë kapacitive në nyjen e ngarkesës duhet të rrisë magnitudën e tensionit. Siç vërehet, tensioni në  $a'$  është më i ulët se tensioni në a, ndërsa tensioni në  $b'$  është më i lartë se tensioni në b. Prandaj, ana e djathtë e rrënjës negative është e qëndrueshme, ndërsa ana tjetër është e paqëndrueshme. Pika e punës d paraqet pikën kritike. Qëndrueshmëria, duke marrë parasysh rrënjën negative të ekuacionit 4.25, përcaktohet si:

$$\frac{dQ_c}{dV_2} \begin{cases} > 0 & \text{qëndrueshem} \\ < 0 & \text{paqëndrueshem} \\ = 0 & \text{kritik} \end{cases} \quad 4.27$$

Vlera  $dQ_c/dV_2$  quhet gjithashtu faktori i ndjeshmërisë së tensionit (Voltage Sensitivity Factor – VSF). VSF mat ndryshimin e magnitudës së tensionit në një nyje të caktuar si rezultat i injektimit të fuqisë reaktive në atë nyje. Meqenëse po trajtojmë një kompensator reaktiv fiktiv, atëherë ekuilibri i operimit në sistemin real është ose në pikën c, ose në  $c'$ . Në qoftë se bazohemi në ekuacionin 4.14, pika e qëndrueshme e ekuilibrit është c. Atëherë është e qartë se distanca nga pika d (pra, pika kritike) deri tek boshti horizontal përfaqëson marzhin e humbjes së qëndrueshmërisë. Ky marzh quhet rezerva e fuqisë reaktive (Reactive Power Margin). Kur fuqia aktive e ngarkesës ndryshon, krijohet një familje kurbash Q-V, siç paraqitet në Figura 86.

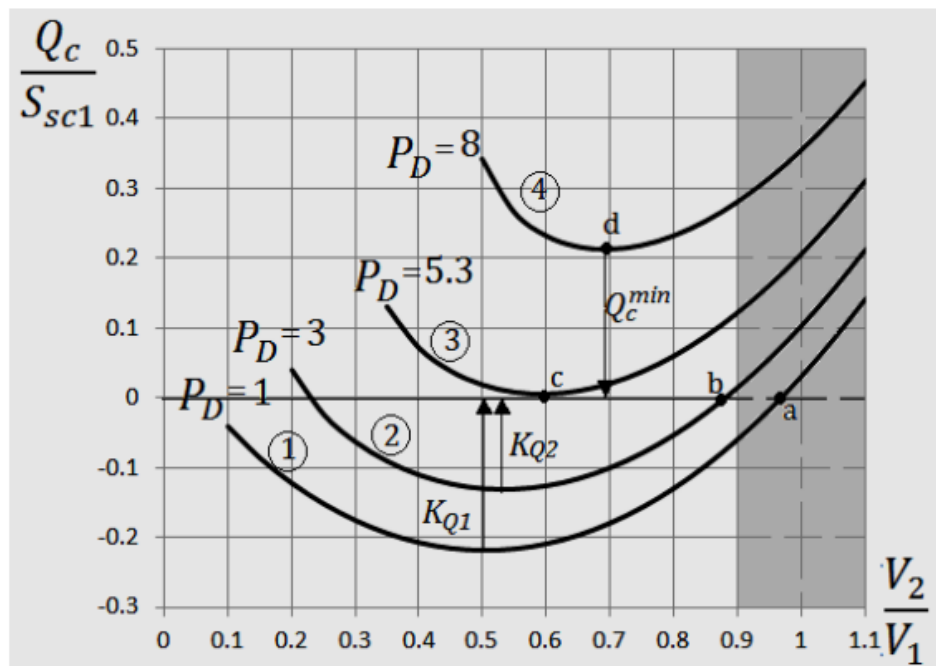


Figura 86 Impakti i rritjes së ngarkesës në kurbën Q-V dhe në qëndrueshmërinë e tensionit

Nga figura është e qartë se rritja e ngarkesës rezulton në uljen e magnitudës së tensionit në nyjën e ngarkesës (pika e punës zhvendoset nga a në b, pastaj në c, ndërsa ngarkesa rritet nga 1.0 në 3.0 dhe më pas në 5.3 p.u). Gjithashtu **vërejmë** se, për një ngarkesë prej 5.3 p.u, ekziston vetëm një pikë pune e mundshme, që është pika c. Kjo pikë quhet pikë kritike, në të cilën rezerva e fuqisë reaktive është zero. Nëse konsumi rritet përtej vlerës kritike, nuk mund të arrihet asnjë ekuilibër pa kompensim (dmth. me kompensim zero). Kjo tregohet në nivelin e

katërt të ngarkesës (8.0 p.u). Në këtë rast, kompensimi kapacitiv bëhet i domosdoshëm për funksionimin e sistemit. Nga pikëpamja e qëndrueshmërisë së tensionit, minimumi i fuqisë reaktive që rikthen sistemin të paktën në një gjendje kritike përcaktohet në Figura 86. Megjithatë, kjo vlerë minimale rezulton në operim me kushte të pasigurta, prandaj duhet zgjedhur një vlerë më e lartë për të arritur një rezervë të arsyeshme të fuqisë reaktive dhe një madhësi të pranueshme të tensionit operacional.

Nga pikëpamja e përmbushjes së kërkesës së ngarkesës, pikat b dhe c shkelin kufirin e poshtëm të tensionit. Prandaj, një kapacitor mund të përdoret për të rritur magnituden e tensionit në një brenda vlerave të pranueshme

Në skemat e Heqjes së Ngarkesave për Tension të Ulët (UVLS), një ngarkesë hiqet kur tensioni bie shumë poshtë. Heqja e ngarkesës lehtëson sistemin duke eliminuar rrymën që kalon në ngarkesën e hequr. UVLS zakonisht aktivizon kordonët e shpërndarjes për t'u hapur kur tensioni i sistemit elektrik të masës është rreth 90%. Relet e kohës së caktuar zakonisht veprojnë kur të gjitha tre fazat tregojnë tension të ulët për rreth 10 sekonda me madhësinë e tensionit prej 90%, dhe kjo do të ndodhte pas veprimit të disa transformatorëve ULTC. Disa konsumatorë kritikë nuk mund të hiqen nga ngarkesa, përkundër ndihmës që mund të sjellë kjo për sistemin. Konsumatorët kritikë përfshijnë spitalet ose konsumatorët që do të humbin shumë të ardhura nëse do të hiqen.

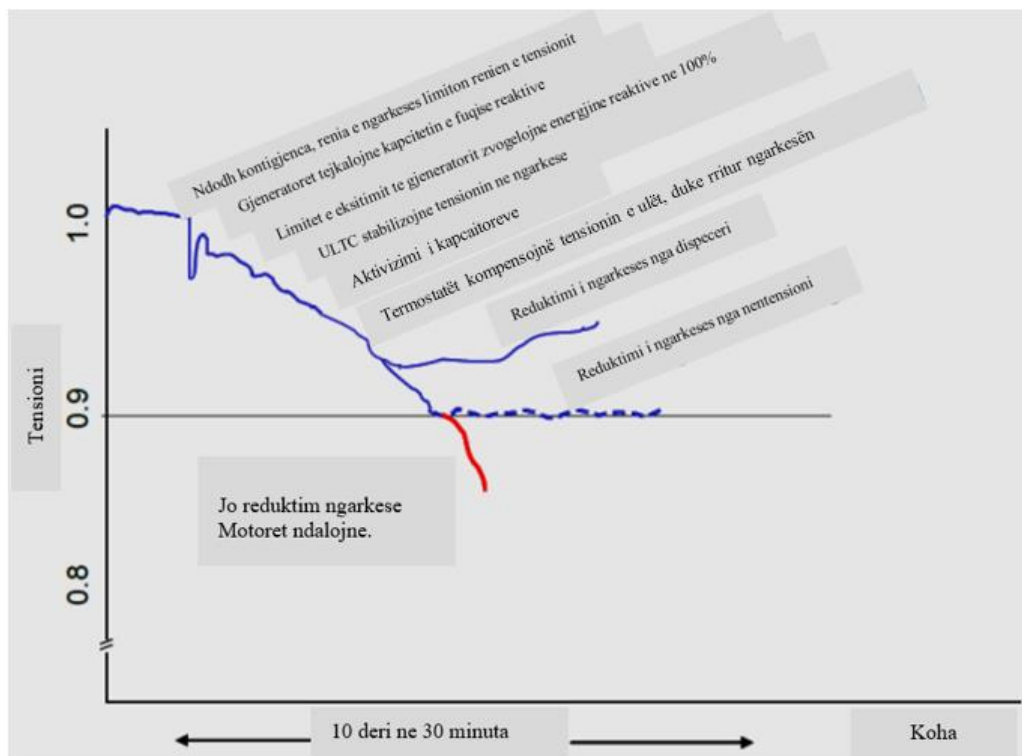


Figura 87 Siguria afatgjatë e tensionit dhe veprimet korrigjuese

# KAPITULLI V

## 5. Rastet ndërkombëtare të rënies së sistemeve

### 5.1 Përvoja ndërkombëtare në rivendosjen e sistemeve elektroenergjetike

Rënia e plotë ose e pjesshme e sistemit elektroenergjetik ndodh herë pas here, pavarësisht planifikimit të kujdesshëm dhe operimit të tij, për shkak të ngacmimeve ose tejkalimit të kriterëve bazë të projektimit, ose për shkaqe të ndryshme të tilla si fatkeqësitë natyrore, dështimi i shumë pajisjeve, moskoordinim ose mosfunksionim i sistemeve të mbrojtjes rele, dhe gabimet njerëzore. Në proceset e rivendosjes të sistemit elektroenergjetik, pas ngacmimeve të tilla, është jashtëzakonisht i rëndësishëm roli i Operatorit të Sistemit[49] në menaxhimin e sistemit të energjisë i cili ka si objektiv të mundësojë që sistemi energjetik të kthehet në kushte normale në mënyrë të sigurt dhe me shpejtësi, duke minimizuar kohën e restaurimit. Në Tabela 15, paraqitet lista e eventeve **kryesore** të regjistruara në sisteme elektroenergjetike të ndryshme në botë.

| Blackout   |                                         | Shkak                                                                                                                                           | Popullsia  | Ngarkesa e ndërprerë (MW) | Koha rivendosjes     |
|------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|----------------------|
| Data       | Zona e prekur                           |                                                                                                                                                 |            |                           |                      |
| 9/11/1965  | USA / Canada New York, Boston & Toronto | Veprim jo korrekt i mbrojtjes në linja 230 kV (TL) shoqëruar me stakimin e 4 linjave 230 kV nga mbingarkesa.                                    | 30 milion  | 20000                     | 13 orë dhe 20 minuta |
| 13/07/1977 | New York                                | Numër i madh kontigjencash provokuar nga kushtet atmosferike.                                                                                   | 9 milion   | 6,000                     | 26 orë               |
| 19/12/1978 | Francë                                  | Kolaps i sistemit të Francës, provokuar nga rritja e shpejtë e ngarkesës dhe veprimi i mbrojtjeve nga mbingarkesa.                              | 3,6 milion | 30,000                    | 4 orë                |
| 14/08/2003 | Pjesa Veri-lindore USA/Canada           | Kolaps tensioni shoqëruar me mbingarkime të linjave të transmetimit dhe stakime të linjave për shkak të shkurtimit të distancës me vegjetacion. | 50 milion  | 61,800                    | 4 ditë               |
| 11/3/1999  | Brazil                                  | Kontigjenca të shumta (stakimi 4 linjave 400 kV shkaktuar nga lidhje e shkurtër në zbara). Linjat u stakuan nga mbrojtja.                       | 45 million | 25,000                    | 4 orë dhe 20minuta   |
| 23/09/2003 | Suedi dhe Danimarkë                     | Kontigjenca të shumta, lidhje e shkurtër e cila solli rënie njësie gjeneruese.                                                                  | 4 milion   | 6,600                     | 6 orë dhe 30 minuta  |

|            |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                     |        |                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| 28/09/2003 | Itali                                              | 3 evente të njëpasnjëshme të shkurtimit të distancës së linjave me vegetacion. Operimi i Sistemit pranë limiteve solli kolapsin e tensionit.                                                                                                                                                                                      | 55 milion                                                           | 25,000 | 50% për 6.5 orë<br>70% për 10 orë<br>98% për 13.5 orë<br>99% për 15 orë      |
| 4/11/2006  | UCTE                                               | Koordinimi i Operatorëve të transmetimit ishte i pamjaftueshëm për kontrollin e kriterit N-1, i cili nuk plotësohej. Si pasojë e stakimit të disa linjave për punime remonti, zona sinkrone e Evropës Kontinentale u nda në 3 zona më të vogla me frekuenca të ndryshme, mbi dhe nën frekuencë.                                   | N/A                                                                 | 17000  | 1 orë dhe 20minuta                                                           |
| 21/06/2024 | Mal i Zi, Bosnje dhe Hercegovinë, Shqipëri, Kroaci | Operimi i rrjetit rajonal në kushtet e një ngarkese shumë të lartë, shoqëruar me stakimin e dy linjave 400 kV Ribarevine–Podgorice dhe Zemblak–Kardia, shkaktoi një kolaps tensioni, i cili u shoqërua me rënie të plotë për sistemet e transmetimit të AL, ME, BH dhe rënie të pjesshme për sistemin e transmetimit të Kroacisë. | 2.4 milione Shqiperi<br>0.62 Milione Mal i Zi<br>3.5 Milione Bosnje | 3500   | 50minuta Shqipëri<br>3 orë Mal i Zi<br>3 orë Kroaci<br>3 orë e 30 min Bosnje |
| 28/04/2025 | Spanjë dhe Protugali                               | Stakimi i 2.2 GW të njërive RES solli tensione të larta në sistemin e Spanjës dhe rënie të plotë.                                                                                                                                                                                                                                 | 60 milion                                                           | 31,000 | 16 orë                                                                       |
| 18/05/2025 | Maqedoni                                           | Si pasojë e ngarkesës shumë të ulët dhe tensioneve të larta, u stakuan disa transformatorë 400 kV/110 kV, duke shkaktuar një blackout të Maqedonisë së Veriut.                                                                                                                                                                    | 1.8 milion                                                          | 400    | 1 orë e 30 minuta                                                            |
| 04/07/2025 | Çeki                                               | Stakimi i një linje, i shkaktuar nga një problematikë e ndodhur në njërën nga fazat e saj, solli stakimin në kaskadë të disa linjave të tjera dhe ndërprerjen e një termocentrali. Një pjesë e sistemit u nda dhe ngeli e izoluar, çfarë shkaktoi rënien e një ngarkese 2700 MW dhe 1500 MW gjenerim.                             | N/A                                                                 | 2700   | 3 orë (e pjesshme)                                                           |

*Tabela 15 Lista e rënieve më të rëndësishme në sistemet elektroenergjetike*

---

Një praktikë e zakonshme për Operatorët e Sistemit është përdorimi i termocentraleve konvencionale për ringritjen e sistemit, duke e bërë atë një proces të qëndrueshëm dhe të parashikueshëm. Në një të ardhme ku do të ketë më pak ose aspak gjeneratorë sinkronë, është e rëndësishme të rimendohen strategjitë e ringritjes. Për shkak të faktit se pjesa e burimeve të rinovueshme të energjisë (BRE) në rrjetet e shpërndarjes është sot e rëndësishme (me tendencë për t'u rritur edhe më tej), ekziston nevoja për plane të integruara të restaurimit të OST/OSSH, të cilat do të përfshijnë rritjen e koordinimit, shkëmbimin e informacionit, trajnimin e përbashkët të operatorëve dhe, me shumë gjasa, mjete të zakonshme. Në varësi të sasisë, si dhe kontrollueshmërisë së BRE-ve të lidhura me OSSH, përgjegjësitë dhe kontributi i secilit entitet në procesin e restaurimit do të ndryshojnë. Me rritjen e BRE-ve dhe pajisjeve të tjera elektronike të energjisë në sistemin energjetik, aftësitë e tyre duhet të shfrytëzohen sa më shumë që të jetë e mundur.

Ndërsa lidhjet HVDC nuk përdoren zakonisht për ofrimin e shërbimit të restaurimit, pjesëmarrja e tyre pritet të rritet në të ardhmen. Funksionalitetet e këtyre lidhjeve mund të përdoren për të ndihmuar në restaurimin e sistemit, duke përfshirë sigurimin e mbështetjes së fuqisë aktive dhe reaktive gjatë veteleshimit. Për më tepër, Sistemet e ruajtjes së energjisë me bateri (BESS) mund të përdoren në disa mënyra për të mbështetur procesin e restaurimit. Një shembull është pjesëmarrja e BESS në ringritjen e ngarkesës. Një shembull tjetër është përdorimi i BESS[50] si burim për veteleshimin e njërive për sigurimin e fuqisë së nevojshme për gjeneratorët.

Roli i sistemeve të PMU për qëllime restaurimi pritet të rritet në të ardhmen. Kur krahasohen me matjet tradicionale SCADA, sinkrofazorët kanë një vlerë të shtuar të informacionit të këndit të fazës së tensionit të sinkronizuar midis zonave që duhet të riaktivizohen dhe/ose të rilidhen, gjë që mund të përfitojë ndjeshëm nga procesi i ringritjes.

Në fazën përgatitore të procesit të ringritjes, dhe kur plotësohen me të dhënat e vlerësimit të gjëndjes, sinkrofazorët japin informacion të saktë për sistemin e mbetur, ndarjen e tij në ishuj dhe komponentët e disponueshëm në sistem. Ky informacion ndihmon në ndërtimin e strategjisë së ringritjes.

## **5.2 Rënia e Sistemit Elektroenergjetik Shqiptar në 21 Qershor 2024**

Megjithëse rënia e plotë e sistemit elektroenergjetik është një fenomen i rrallë, përsëri mund të ndodhë për shkaqe dhe arsye të ndryshme. Në vijim do të ilustruhet dhe analizohet një rast praktik i rënies së plotë të SEE të Shqipërisë, Malit të Zi, Bosnje & Hercegovinës dhe pjesërisht në Kroaci.

Më datë 21 Qershor 2024, në rajonin e Evropës Juglindore u regjistrua një incident i rëndë elektroenergjetik, i cili pati ndikim të drejtpërdrejtë në operimin e Sistemit Sinkron të Evropës Kontinentale. Kjo ngjarje e papritur solli një ndërprerje të furnizimit me energji elektrike në disa vende të rajonit, përkatësisht Shqipëri (OST), Bosnje dhe Hercegovinë (NOSBiH), Mal të Zi (CGES) dhe pjesërisht në Kroaci (HOPS), si rezultat i një sërë kontigjencash (N-2) në rrjetin e transmetimit.

Difektet u lokalizuan kryesisht në rrjetet me tension të lartë 400 kV dhe 220 kV, të cilat pësuan ndërprerje graduale në intervale të afërta kohore. Fillimisht, linja 400 kV Ribarevinë – Podgoricë 2 u stakua në orën 12:09:16, ndërsa në orën 12:21:30 u regjistrua një stakim tjetër në linjën 400 kV Zemblak – Kardia. Në të dy rastet, shkaku kryesor ishte shkurtimi i distancës së linjave me vegjetacionin nën linjat e transmetimit, duke shkaktuar mbingarkesë dhe disturbancë në elementë të tjerë të rrjetit.

Pas 2 kontigjencave në rrjetin 400 kV (N-2) në Evropën Juglindore, ndodhi një lëkundje e shpejtë e qëndrueshmërisë së tensionit, duke çuar në një kolaps lokal të tensionit në disa nga zonat e prekura. Në total, u regjistrua një humbje gjenerimi prej 2,214 MW dhe reduktim i

ngarkesës në shkallë të gjerë, brenda një kohe shumë të shkurtër. Kjo situatë aktivizoi përgjigjet automatike të rregullatorëve të tensionit në transformatorët e zonave të kontrollit CGES (Mal i Zi), HOPS (Kroaci) dhe NOSBiH (Bosnje dhe Hercegovinë). Nga ana tjetër, sistemi i transmetimit në Shqipëri (OST) nuk dispononte në atë moment rregullim automatik të tensionit në transformatorë ose autotransformatorë.

Menaxhimi i situatës u realizua përmes koordinimit ndërmjet operatorëve të transmetimit, ku OST-të e përfshira vepruan në mënyrë të përbashkët për të rivendosur operimin e rrjetit dhe për të garantuar qëndrueshmërinë e mëtejshme të sistemit.

### 5.3 Gjendja e rrjetit dhe tregut para incidentit

#### 5.3.1 Ndërprerjet e planifikuara

Menaxhimi i ndërprerjeve të planifikuara në rrjetin e transmetimit për rajonin e Evropës Juglindore realizohet përmes një procesi të strukturuar bashkëpunimi midis Operatorëve të Sistemit të Transmetimit (OST) dhe Qendrave Rajonale të Koordinimit (RCC). Kjo qasje e koordinuar synon garantimin e funksionimit të qëndrueshëm dhe të sinkronizuar të rrjetit në nivel ndërkombëtar.

Në kuadër të Grupit të Mirëmbajtjes së SEE, i cili përfaqëson një forum të përbashkët për koordinimin e mirëmbajtjes, organizohet një takim vjetor, gjatë të cilit diskutohet dhe harmonizohet kalendari i ndërhyrjeve në elementët e rrjetit të transmetimit për të gjithë rajonin. Çdo OST paraqet planin e vet të mirëmbajtjes, i cili më pas përshtatet në përputhje me situatën rajonale dhe kërkesat e sigurisë sistemore.

Përtej planifikimit vjetor, procesi i koordinimit operativ në baza javore realizohet përmes telekonferencave teknike, të cilat mbahen rregullisht dhe udhëhiqen nga RCC përkatëse. Për vitin 2024, përgjegjësinë për zhvillimin e këtyre telekonferencave e mbante SELENE CC.

Topologjia e rrjetit për periudhën nga 15 deri më 21 qershor 2024, e cila përkon me javën e 25-të të vitit, është dokumentuar në raportin javor mbi remontet e planifikuara të elementeve të transmetimit në SEE. Të dhënat përkatëse janë paraqitur në Tabela 16 dhe në Figura 88, duke ofruar një pasqyrë të detajuar mbi konfigurimin e rrjetit gjatë asaj periudhe.

Tabela 16 Lista elementeve të stakuar e koordinuar

| ELEMENTI                                         | DATA-FILLIM | ORA-FILLIM | DATA-MBARIM | ORA-MBARIM |
|--------------------------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 400 KVTIE BEKESCSABA (MAVIR) - NADAB (TEL)       | 21.05.2024  | 07:00      | 12.07.2024  | 17:00      |
| 400KVTIEARACHTHOS(IPTO)-GALATINA(TERNA)          | 27.05.2024  | 08:00      | 23.06.2024  | 16:00      |
| 400 KV OHL BUCURESTI SUD (TEL) - PELICANU (TEL)  | 28.05.2024  | 06:00      | 20.06.2024  | 17:00      |
| 400 KV OHL TIRANA 2 (OST) - KOMAN (OST)          | 01.06.2024  | 00:00      | 30.09.2024  | 23:00      |
| 220 KV OHL KOLACEM (OST) - TIRANA 2 (OST)        | 01.06.2024  | 00:00      | 30.09.2024  | 23:00      |
| 400 KV TIE KOMAN (OST) - KOSOVO B (KOSTT)        | 01.06.2024  | 00:00      | 30.09.2024  | 23:00      |
| 400KVOHLCERNAVODA(TEL)-MEDGIDIASUD(TELA)         | 10.06.2024  | 06:00      | 21.06.2024  | 17:00      |
| 400 KV OHL BUCURESTI SUD (TEL) - SLATINA (TEL)   | 14.06.2024  | 05:00      | 20.06.2024  | 17:00      |
| 400KVOHLPAKS(MAVIR)-SĂÎNDORFALVA(MAVIR)          | 15.06.2024  | 07:00      | 16.06.2024  | 17:00      |
| 400KVOHLKOZLODUY(ESO)-SOFIAZAPAD(ESO)            | 15.06.2024  | 07:00      | 16.06.2024  | 17:00      |
| 400 KV OHL KOZLODUY (ESO) - SOFIA ZAPAD (ESO)    | 15.06.2024  | 07:00      | 16.06.2024  | 17:00      |
| 400 KV KOZLODUY (ESO) - SOFIA ZAPAD (ESO)        | 17.06.2024  | 07:00      | 21.06.2024  | 15:30      |
| 400 KV OHL OBRENOVAC (EMS) - KRAGUJEVAC 2 (EMS)  | 17.06.2024  | 07:00      | 23.06.2024  | 18:00      |
| 400/220 KV TR MARITZA IZTOK 3 (ESO)              | 17.06.2024  | 07:00      | 28.06.2024  | 15:00      |
| 220 KV TIE TE SISAK (HOPS) - PRIJEDOR 2 (NOSBIH) | 17.06.2024  | 08:00      | 19.07.2024  | 17:00      |
| 400 KV OHL TUZLA 4 (NOSBIH) - UGLJEVIK (NOSBIH)F | 20.06.2024  | 08:00      | 21.06.2024  | 16:00      |

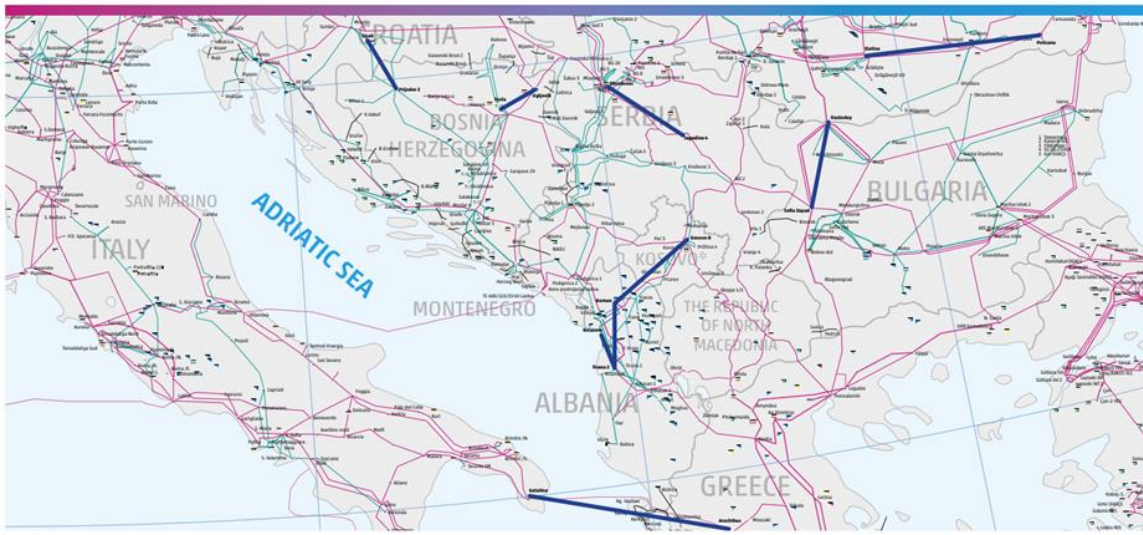


Figura 88 Ilustrimi grafik i ndërprerjeve të planifikuara në Evropën Juglindore

Në zonën e prekur më 21 Qershor 2024 këto linja të rëndësishme ishin të stakuara:

- 220 kV TIE TE Sisak (HOPS) – Prijedor 2 (NOSBiH)
- 400 kV OHL Tuzla 4 (NOSBiH) – Ugljevik (NOSBiH)
- 400 kV TIE Koman (OST) – Kosova B (KOSTT)
- 400 kV OHL Tirana 2 (OST) – Koman (OST)
- 220 kV OHL Kolacem (OST) – Tirana 2 (OST)

Përveç këtyre remonteve afatgjata të planifikuara, brenda zonës së prekur ishte planifikuar edhe shkëputja e mëposhtme:

- 400 kV OHL Melina (HOPS) – Velebit (HOPS)

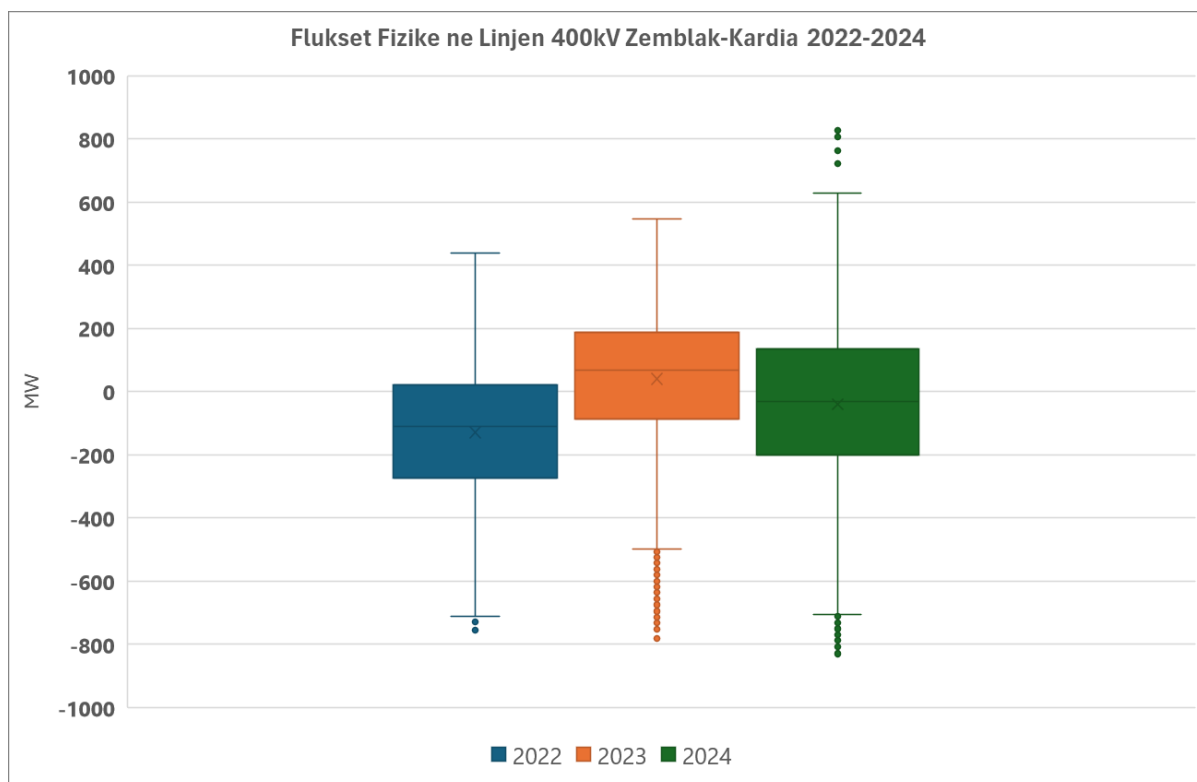
Gjatë përgatitjes së modeleve individuale të rrjetit (IGM), në kuadër të proceseve të parashikimit të ngarkesave për ditën në vijim (DACF), u raportua një remont i parashikuar në linjën 400 kV Tuzla 4 – Višegrad, e operuar nga NOSBiH. Shkaku ishte identifikuar si vlera të larta tensioni në një 400 kV Višegrad, një situatë që kërkonte ndërhyrje të kontrolluar sipas procedurave standarde.

Kjo masë preventive është në përputhje me udhëzimet e përcaktuara në kuadrin e procedurës së menaxhimit të tensionit të lartë të miratuar nga ENTSO-E dhe mbështetur nga të gjithë OST-të anëtare. Sipas kësaj procedure, shkëputje të tilla mund të konsiderohen të justifikuara dhe teknikisht të nevojshme për të menaxhuar mbingarkesat e tensionit, me kusht që të ketë koordinim të plotë ndërmjet OST-ve të përfshira në nyjat përkatëse.

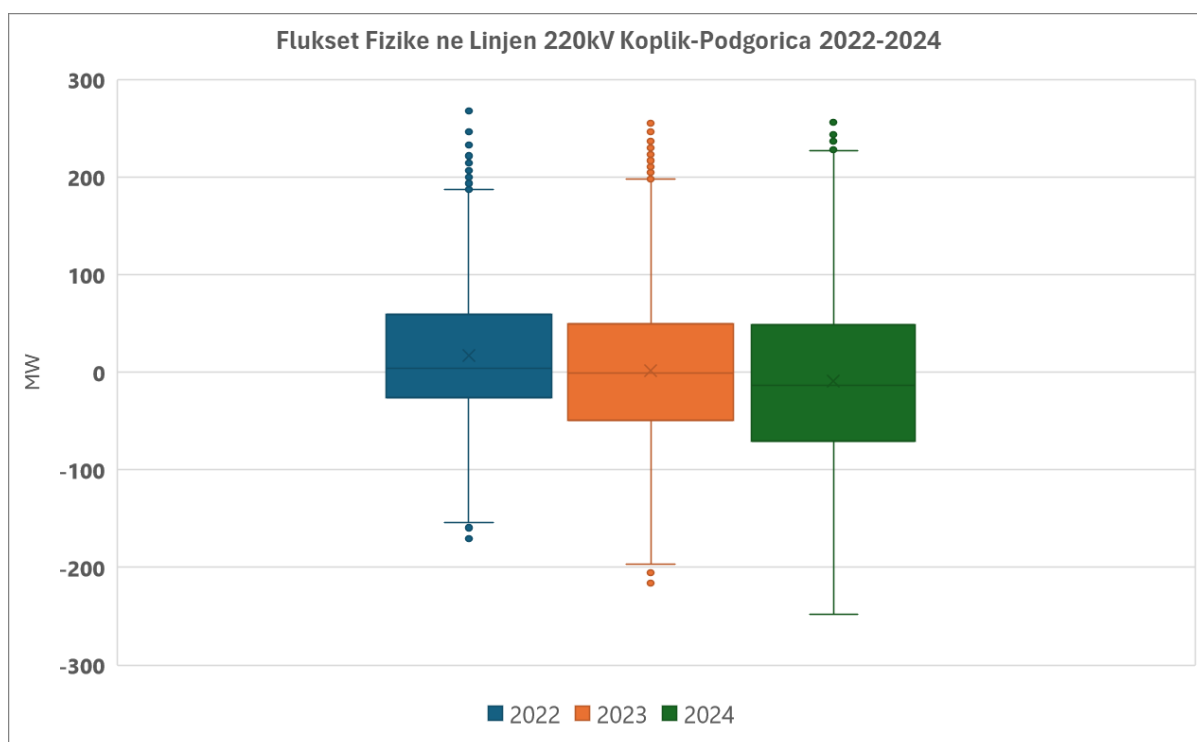
Ndërsa linja në fjalë ishte paraqitur si jashtë funksioni gjatë procesit DACF, ajo u riklasifikua si funksionale në parashikimin brenda-ditës (IDCF), përmes modeleve të përditësuara IGM të paraqitura nga OST-të përkatëse.

Të gjitha remontet e përmendura më sipër u reflektuan në mënyrë të saktë në modelin IGM të operatorëve të prekur dhe u integruan në modelin e përbashkët të rrjetit (Common Grid Model – CGM). Ky model i bashkërenduar shërbeu si bazë për kryerjen e analizave të sigurisë si për ditën në vijim, ashtu edhe në kohë reale gjatë ditës së operimit.





*Figura 90 Flukset Fizike në linjën 400kV Zemblak-Kardia vitet 2022-2024*



*Figura 91 Flukset Fizike në linjën 220kV Koplik-Podgorica1 vitet 2022-2024*

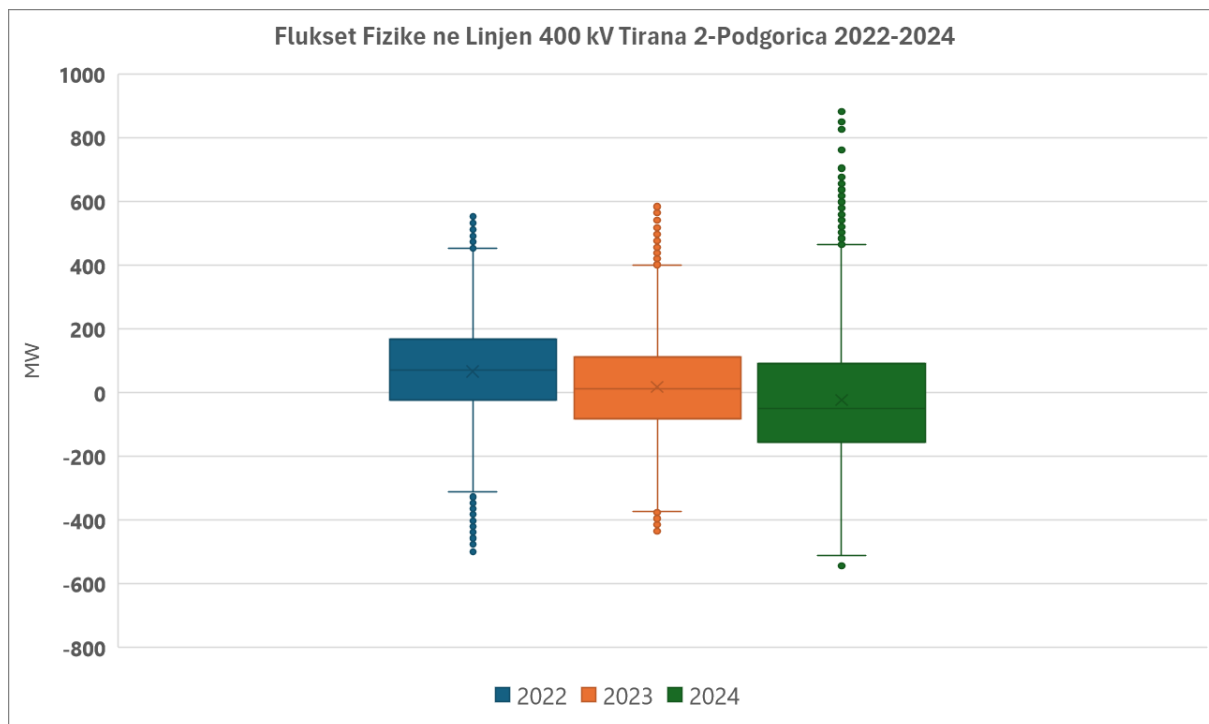


Figura 92 Flukset Fizike në linjën 400kV Tirana2-Podgorica2 vitet 2022-2024

Në kufirin ndërmjet Shqipërisë dhe Greqisë, flukset maksimale ditore të energjisë nga Shqipëria drejt Greqisë, për periudhën deri më 17 qershor 2024, kanë qenë ndjeshëm më të larta në krahasim me nivelet e regjistruara në të njëjtën periudhë të viteve 2022 dhe 2023. Pas kësaj date, është vërejtur një ndryshim i qartë në drejtimin e flukseve, me Greqinë që ka filluar të eksportojë energji drejt Shqipërisë, duke tejkaluar gjithashtu vlerat historike të të njëjtës periudhë në vitet e mëparshme.

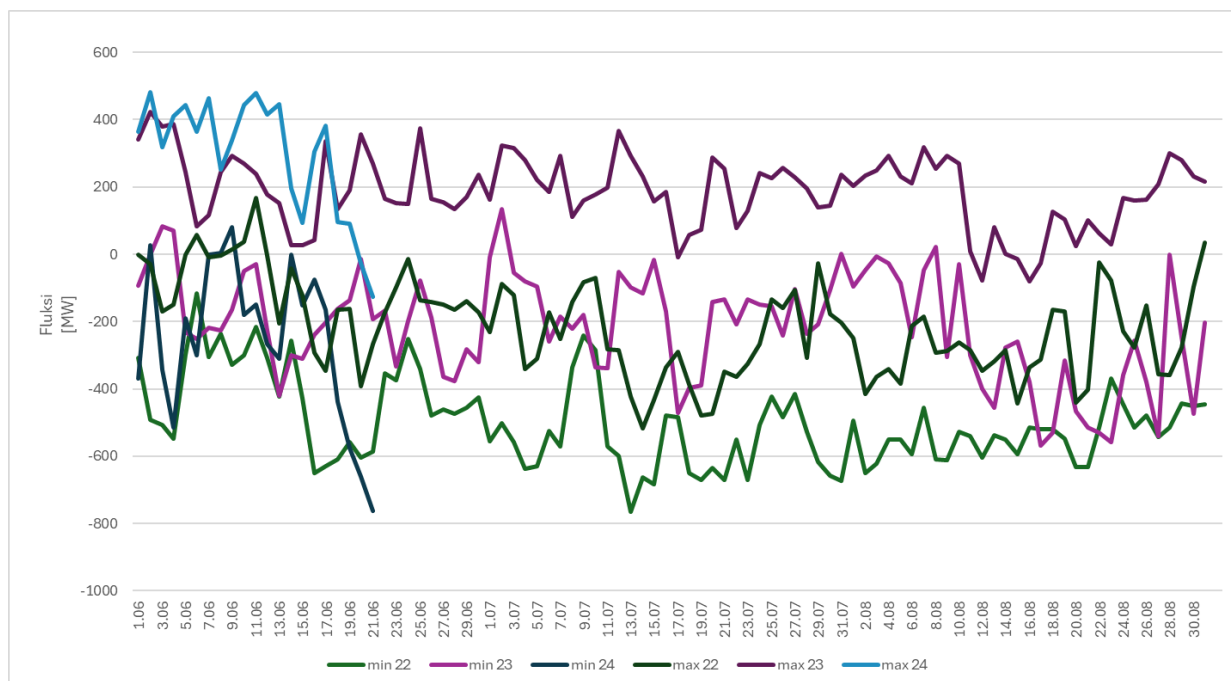


Figura 93 Flukset maksimale ditore në të dy drejtimet në kufirin Greqi-Shqipëri

## 5.4 Ngarkesa në sistemet e transmetimit para incidentit

Të dhënat nga Platforma e Transparencës së ENTSO-E[51] tregojnë se ngarkesa në sistemet elektroenergjetike të Shqipërisë, Malit të Zi, Bosnjës dhe Hercegovinës dhe Kroacisë pasqyronin ndikimin e faktorëve sezonalë gjatë periudhës së analizuar. Një nga faktorët kryesorë që ndikon në rritjen e ngarkesës është turizmi, i cili përbën një përqindje të konsiderueshme të aktivitetit ekonomik në këto vende gjatë muajve të verës. Për më tepër, kushtet atmosferike të ngjashme në të gjithë rajonin kanë kontribuar në rritjen e njëkohshme konsumit të energjisë elektrike, diktuar dhe nga regjimi punës së pajisjeve të kondicionimit e cila presumohet të ketë qenë në nivele të larta.

Gjatë kësaj periudhe është vërejtur një rritje e vazhdueshme ditore e kërkesës për energji në të katër sistemet, me luhajtje mes 4% dhe 6%. Më 21 Qershor 2024, deri në momentin e incidentit, kurba e ngarkesës ishte dukshëm mbi mesataren tipike të një dite pune, siç tregohet në Figura 94. Edhe pas përfshirjes së ndërprerjes në përllogaritje, konsumi total ditor rezultoi 7.8% më i lartë krahasuar me të hënën e së njëjtës javë dhe 10.3% më i lartë se e premtja e kaluar (14 Qershor 2024).

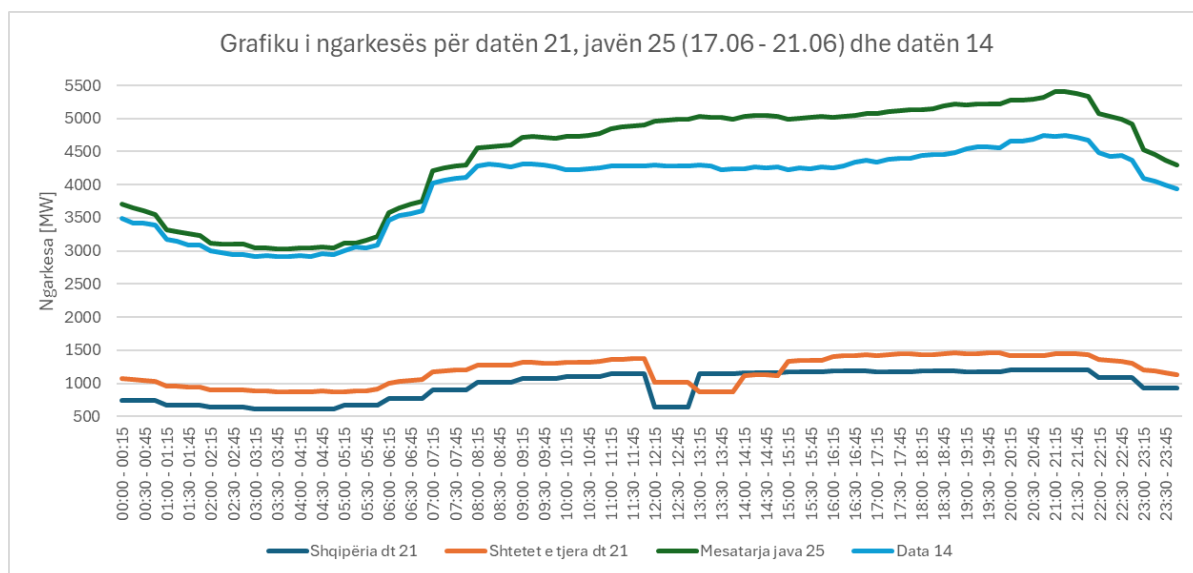


Figura 94 Grafiku i ngarkesës për datën 21, javën 25 (17.06 - 21.06) dhe datën 14

## 5.5 Prodhimi energjisë elektrike para incidentit

Gjatë periudhës kritike që përfshiu incidentin, nuk janë evidentuar devijime të pazakonta në profilet e prodhimit të energjisë në sistemet elektroenergjetike të prekura, gjë që përputhet me faktin se struktura e burimeve gjeneruese në këto vende ka mbetur relativisht e qëndrueshme gjatë viteve të fundit. Sipas të dhënave të përditësuara nga Platforma e Transparencës së ENTSO-E në fillim të vitit 2024, kapaciteti i instaluar në Shqipëri, Mal të Zi, Bosnje dhe Hercegovinë dhe Kroaci është rritur me gjithsej 558 MW krahasuar me vitin 2023.

Pjesa më e madhe e këtij zgjerimi – rreth 60% ose 275 MW – i atribuohet impianteve të reja solare, ndërsa një rritje tjetër e konsiderueshme prej 156 MW ka ardhur nga shtimi i kapaciteteve të prodhimit të energjisë nga era në zonat bregdetare.

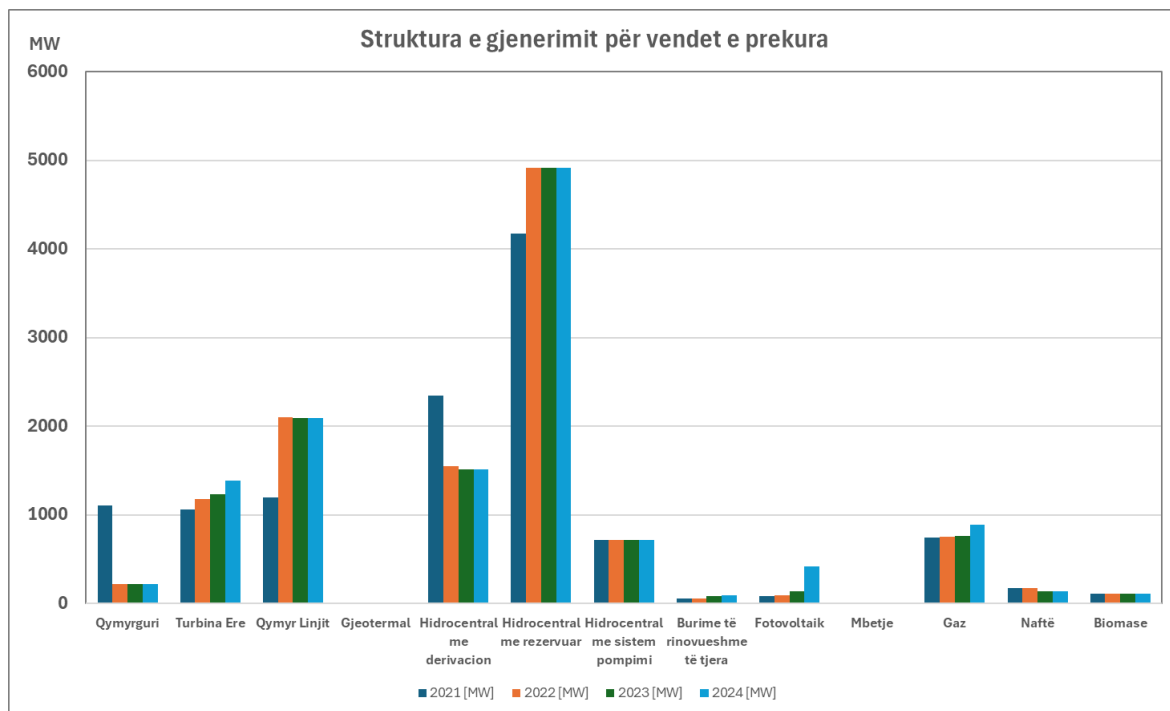


Figura 95 Struktura e gjenerimit për vendet e prekura

## 5.6 Flukset Ndërkufitare para incidentit

Gjatë ditës së incidentit, por edhe në pjesën më të madhe të kohës përpara tij, në zonën e prekur është vërejtur një mospërputhje e konsiderueshme midis shkëmbimeve të skeduluara dhe flukseve reale fizike të energjisë. Në disa kufij ndërmjet OST-ve të përfshira, kjo diferencë arriti deri në 500 MW. Kjo situatë pasqyron kompleksitetin dhe ndërlikohen e lartë të rrjetit elektroenergetik në Evropën Juglindore, veçanërisht në zonën ku ndodhi incidenti.

Një ndër faktorët kryesorë që kontribuojnë në këtë mospërputhje është mënyra se si aktualisht realizohet llogaritja e kapaciteteve ndërkufitare (NTC) në rajon[52]. Procesi vazhdon të mbështetet kryesisht në llogaritjen bilaterale të kapaciteteve të transferimit neto (NTC), e cila është e bazuar në marrëveshje ndërmjet palëve dhe zakonisht zhvillohet në baza mujore. Kjo qasje mund të mos pasqyrojë në mënyrë dinamike ndryshimet në kushte operationale të përditshme dhe ndikon edhe në kufijtë fqinj, të cilët janë përfshirë në mënyrë indirekte në këto llogaritje.

Sipas praktikave ekzistuese të përcaktuara në Raportin për Ndarjen e Sistemit të 8 janarit 2021, procedura e llogaritjes së kapacitetit për kufijtë jashtë zonave zyrtare të koordinimit (CCR) përfshin:

- Krijimin e një modeli të përbashkët të rrjetit (CGM) nga OST-të përkatëse për qëllime të llogaritjes mujore të kapacitetit;
- Përcaktimin e vlerave të NTC nga secili OST në bazë të këtij modeli, ku vlera përfundimtare për çdo kufi përcaktohet sipas minimumit të propozuar nga secili partner;
- Zhvillimin e llogaritjeve bilaterale për muajin në vijim;
- Koordinimin dhe bashkimin e rezultateve nga një OST i caktuar si Koordinator, me rotacion mujor të këtij roli sipas një plani të miratuar vjetor.

Për të përmirësuar saktësinë e vlerësimeve, disa OST në rajon ndërmarrin edhe llogaritje javore të kapaciteteve, duke reflektuar më mirë gjendjen aktuale të sistemit. Kjo metodë, megjithëse e përkohshme, synon të shërbejë si një zgjidhje ndërmjetëse deri në implementimin e plotë të metodologjisë së përbashkët për llogaritjen e kapaciteteve të koordinuara në nivel ditor (day-ahead coordinated capacity calculation).

### 5.7 Shkëmbimet e skeduluara para incidentit

Shkëmbimet neto të skeduluara ndërmjet Operatorëve të Sistemit të Transmetimit të përfshirë në incident tregohen në Figura 96, si dhe ndërmjet zonës së prekur dhe pjesës tjetër të rajonit të Evropës Juglindore, pasqyrojnë në mënyrë të drejtpërdrejtë prirjet e tregut të energjisë. Strukturat e flukseve tregtare ishin të orientuara nga sinjalet e çmimeve të tregut ditor (day-ahead), duke reflektuar diferencat e ndjeshme të çmimeve ndërmjet zonave të ndryshme.

Në mënyrë të veçantë, u raportuan volume të konsiderueshme të shkëmbimeve tregtare në drejtimin Lindje–Perëndim.



Figura 96 Flukset e skeduluara për datën 21 Qershor 2024, ora 13:00[51]

### 5.8 Flukset Fizike Ndërkufitare para incidentit

Ndërkohë që shkëmbimet e skeduluara ndoqën në përgjithësi sinjalet e tregut, flukset fizike të energjisë dalluan ndjeshëm dhe u përshtatën më shumë me raportin e prodhimit dhe ngarkesës të sistemeve përkatëse. Në veçanti, në Figura 97 flukset fizike nga Greqia në Shqipëri ishin 518 MW më të larta se sa shkëmbimi skedeluar (758 MW në krahasim me 240 MW të planifikuar, Ndërkohë NTC është 250MW). Gjithashtu, eksporti i planifikuar nga Mali i Zi për në Shqipëri rezultoi në flukse fizike të energjisë në drejtimin e kundërt, nga Shqipëria për në Mali të Zi, me një vlerë prej 241 MW.

Po ashtu, një përmbysje e ngjashme u regjistrua në kufirin Bosnje dhe Hercegovinë–Mali i Zi, ku flukset fizike qenë 100 MW nga Mali i Zi për në Bosnjë dhe Hercegovinë, në vend të 410 MW që ishin të planifikuar nga Bosnja dhe Hercegovina për në Mali të Zi. Kjo tendencë vijoi edhe në kufirin Bosnje dhe Hercegovinë–Kroacië, ku flukset fizike ishin 100 MW nga

Kroacia për në Bosnjë dhe Hercegovinë, përkundrejt 364 MW të planifikuar për nga Bosnja dhe Hercegovina në Kroaci.

Një tjetër shembull i këtij fenomeni ishte importi i Kroacisë nga Sllovenia, ku flukset fizike ishin 617 MW më të ulëta se sa ishin parashikuar, duke arritur në 406 MW, krahasuar me 1,023 MW të shkëmbimeve komerciale të planifikuara.

Në përgjithësi, diferenca midis flukseve fizike dhe atyre të planifikuara (kryesisht flukse loop, pasi nuk pati disbalanca të mëdha të sistemeve gjatë ditës) ishte e pranishme në të gjithë kufijtë përgjatë bregdetit të Adriatikut, duke arritur një sasi të përgjithshme afërsisht 500 MW.



Figura 97 Flukset e skeduluara, fizike dhe diferenca për datën 21 Qershor 2024, ora 13:00

## 5.9 Analiza e sigurisë për ditën në avancë në SEE para incidentit

Analizat për ditën në vijim dhe analiza brenda ditës janë themeli i koordinimit të sigurisë rajonale për çdo operator transmetimi. Ndërkohë, analiza e sigurisë në afat mesëm kryhet gjithashtu në mënyrë të koordinuar, por parashikimet sezonale që marrin parasysh ndryshimet e mundshme klimatike dhe rreziqet e shtuara sezonale, si temperaturat e larta, nuk realizohen.

Siguria operationale e çdo sistemi energjetik është e lidhur drejtpërdrejt me respektimin e kufijve të sigurisë operationale dhe implementimin e kriterit të sigurisë N-1. Ky standard përcakton që një ngjarje/ngacim i vetëm nuk duhet të shkaktojë rrezik për sistemin.

Analizat e kontingjencave për zonën e prekur kryhen nga të gjithë Operatorët e Sistemit të Transmetimit (OST-të) të përfshira dhe Qendrat Rajonale të Koordinimit (RCC) në përputhje me nenin 34 të SOGL (Regullorja 2017/1485 e Komisionit Evropian). Ky nen specifikon se:

Çdo OST duhet të realizojë një analizë kontingjencash në zonën e saj të vëzhgueshmërisë, duke identifikuar kontingjencat që mund të kërcënojnë sigurinë operationale të zonës dhe duke përcaktuar veprimet përmirësuese që mund të nevojiten për trajtimin e këtyre situatave.

Çdo OST duhet të sigurojë që mundësitë për shkelje të kufijve të sigurisë operationale, të identifikuar nga analiza e kontingjencave, të mos shkaktojnë rrezik për sigurinë operationale të sistemit të saj të transmetimit apo të sistemeve të transmetimit të lidhura.

Çdo OST duhet të realizojë një analizë kontingjencash duke u bazuar në parashikimet operationale dhe të dhënat operationale në kohë reale nga zona e saj e vëzhgueshmërisë. Pikënisja për këtë analizë në situatën N duhet të jetë topologjia përkatëse e sistemit të transmetimit, duke përfshirë ndërprerjet e planifikuara gjatë fazës së planifikimit operational.

Sipas Marrëveshjeve për ofrimin e shërbimeve operative, të nënshkruara ndërmjet SCC dhe përdoruesve të shërbimeve (CGES, OST dhe NOSBiH nga zona e prekur), modelet e koordinuara të rrjetit (CGM) dhe rezultatet e analizës së sigurisë përgatiten nga SCC dhe shpërndahen tek OST-të përkatëse përmes një serveri të dedikuar SFTP.

### 5.10 Sekuenca Faktike e incidentit

Në vijim parashtrohet sekuenca faktike e incidentit të datës 21 Qershor 2024, në vendet e Ballkanit. Mund të vihet re se pas incidentit N-2, i cili përfshinte në mënyrë të pavarur 2 linja 400kV, e para në Mal të Zi dhe e dyta në kufirin Shqipëri-Greqi, sistemi ngacmohet duke shkaktuar shprehjen e mbrojtjeve maksimale të mbirrymës dhe tensionit minimal. Më pas eventit kaskadë dhe kolapsi i tensionit bëhen të pa shmangshme dhe nuk mbetet asnjë masë për Operatorët e Transmetimit për të ndërhyrë me veprime korrigjuese.

*Tabela 17 Sekuenca e avarisë faktike dt 21 Qershor 2024  
(Shënim: DIF-Mbrojtje Diferenciale gjatësore, DIST-Mbrojtje Distanionale, MAKS-I- mbrojtje rryme maksimale, TENS-U-Mbrojtje tensioni minimal, MAN- stakim i linjës manual me urdhër nga QDS)*

| ID  | ORA<br>(CEST) | NENSTACIONI A<br>(TSO) | NENSTACIONI B<br>(TSO) | TENSIONI<br>(KV) | TIPI      | RELE   |
|-----|---------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------|--------|
| 1   | 12:09:16.213  | Ribarevina (CGES)      | Podgorica 2 (CGES)     | 400              | LINJE     | DIF    |
| 2   | 12:21:33:200  | Zemblak (OST)          | Kardia (IPTO)          | 400              | L-Interko | DIST   |
| 3   | 12:21:43:000  | Fierze (OST)           | Prizren 2 (KOSTT)      | 220              | L-Interko | MAKS-I |
| 4   | 12:21:45.774  | Podgorica 1 (CGES)     | Mojkovac (CGES)        | 220              | LINJE     | MAKS-I |
| 5   | 12:21:51:446  | Lastva (CGES)          | Villanova (Terna)      | 500              | Linje-DC  | TENS-U |
| 6   | 12:22:06:012  | Sarajevo 20 (NOSBiH)   | Piva (CGES)            | 220              | L-Interko | MAKS-I |
| 7   | 12:24:21:587  | Brinje (HOPS)          | Pađene (HOPS)          | 220              | LINJE     | DIST   |
| 8   | 12:24:22:341  | Prijedor 2 (NOSBiH)    | Jajce 2 (NOSBiH)       | 220              | LINJE     | MAKS-I |
| 9   | 12:24:22:350  | Ugljevik (NOSBiH)      | Tuzla 4 (NOSBiH)       | 400              | LINJE     | MAKS-I |
| 10* | 12:24:22:959  | Đakovo (HOPS)          | Gradačac (NOSBiH)      | 220              | L-Interko | TENS-U |
| 11* | 12:24:22:959  | Đakovo (HOPS)          | TPP Tuzla<br>(NOSBiH)  | 220              | L-Interko | TENS-U |
| 12  | 12:24:23:000  | Titan (OST)            | Tirana 1 (OST)         | 220              | LINJE     | DIST   |
| 13  | 12:24:23:089  | Međurić (HOPS)         | Prijedor 2 (NOSBiH)    | 220              | L-Interko | DIST   |
| 14  | 12:24:24:000  | Fierze (OST)           | Peshqesh (OST)         | 220              | LINJE     | MAN    |
| 15  | 12:24:26:558  | Trebinje (NOSBiH)      | Perucica (CGES)        | 220              | L-Interko | TENS-U |
| 16  | 12:24:26:579  | Trebinje (NOSBiH)      | Hodovo (NOSBiH)        | 220              | LINJE     | TENS-U |
| 17  | 12:24:26:583  | Trebinje (NOSBiH)      | Mostar 3 (NOSBiH)      | 220              | LINJE     | TENS-U |
| 18  | 12:24:26:593  | Trebinje (NOSBiH)      | Plat (HOPS)            | 220              | L-Interko | TENS-U |
| 19  | 12:24:27:694  | Prijedor 2 (NOSBiH)    | Bihac 1 (NOSBiH)       | 220              | LINJE     | DIST   |
| 20  | 12:24:28:000  | Fierzë (OST)           | Koman (OST)            | 220              | LINJE     | MAN    |
| 21  | 12:24:28:000  | Fierzë (OST)           | Fang (OST)             | 220              | LINJE     | MAKS-I |

Harta gjeografike e rajonit, e paraqitur në Figura 98 më poshtë, tregon rendin e ngjarjeve të ndërprerjeve. Ngjyra e përdorur pasqyron kohën e çdo ndërprerjeje, ndërsa numri i vendosur mbi secilën ndërprerje shfaq rendin e saj të saktë, i cili lidhet me ID-të përkatëse të ndërprerjeve të listuara në Tabelën 9.

Elementet që u ndërprejnë para incidentit janë shënuar me ngjyrë gri dhe janë etiketuar me shkronjën "M", që tregon se ato ishin në proces mirëmbajtjeje. Ndërprerja e linjës OHL Višegrad - Tuzla është shënuar si "O" (tjetër), pasi ndërprerja e kësaj linje ka ndodhur për shkak të tensioneve të larta në rrjetin NOSBiH gjatë natës që kaloi.

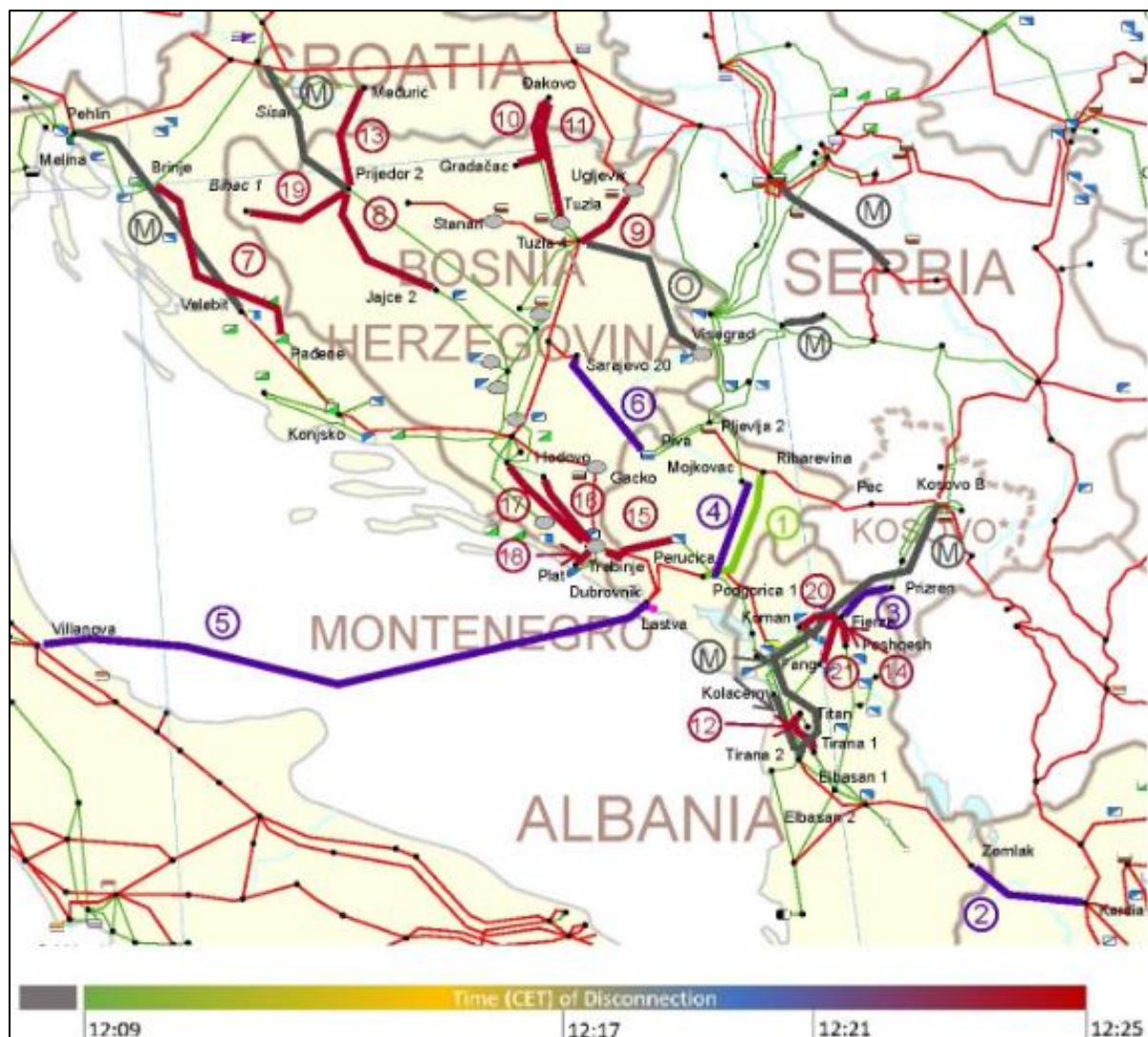


Figura 98 Harta me ndërprerjet e planifikuara dhe rradhën e incidentit  
Shenim: Ngjyra gri do të thotë që linjat ishin tashmë të ndërprera para ngjarjes për arsye mirëmbajtjeje (M) ose arsye të tjera (O).

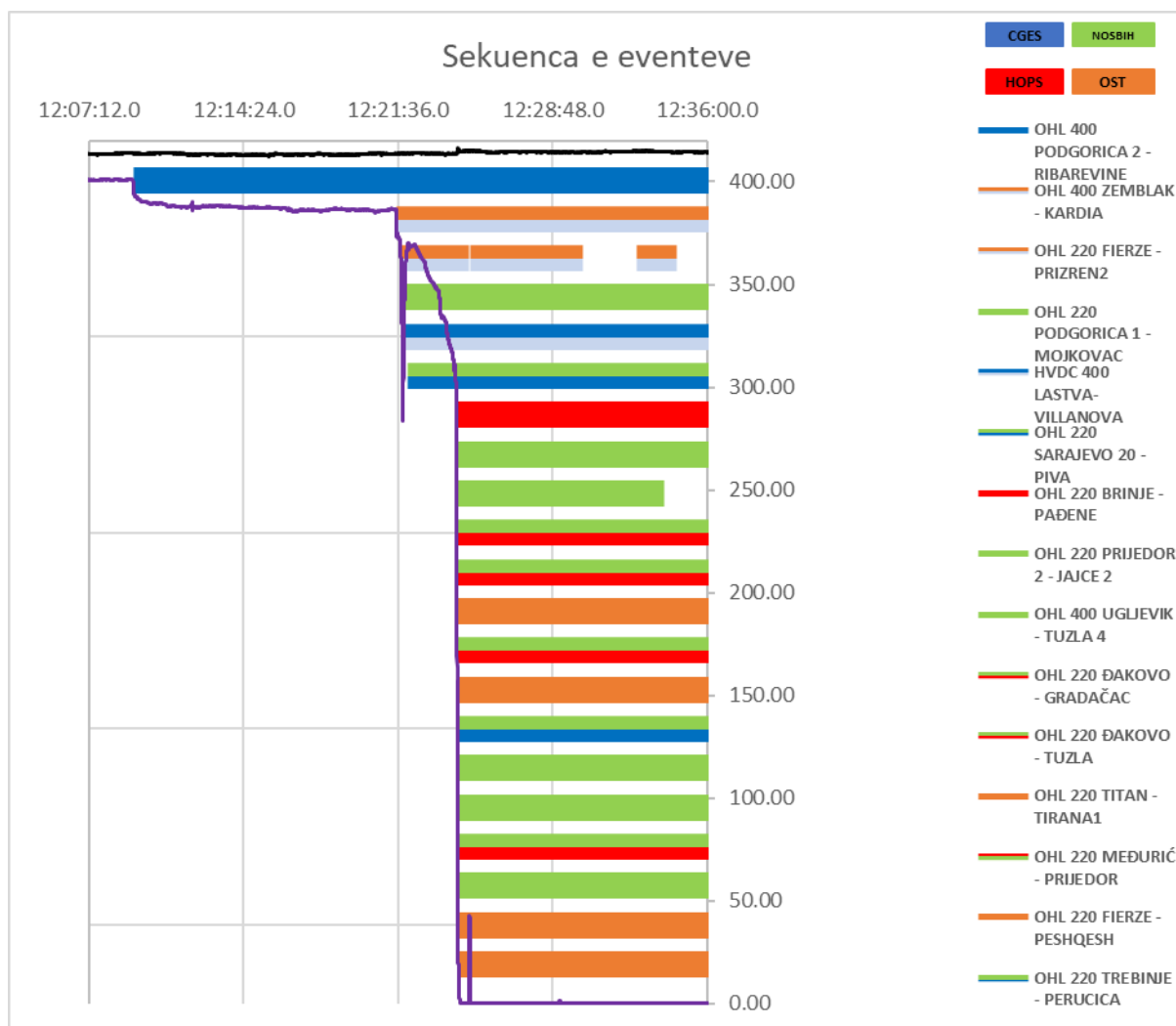


Figura 99 Sekuena e incidentit në raport me stakimet e linjave

Shënim: Ngjarje e shfaqur mbi tensionin në nënstacionin Trebinje (NOSBiH) të dhënat PMU (vjollcë) dhe tensionin në nënstacionin Tumbri (HOPS); gjatësia e shtyllave horizontale tregon kohëzgjatjen e ndërprerjes; shtyllat me dy ngjyra tregojnë linjat

### 5.11 Prodhimi dhe Ngarkesa gjatë incidentit

Pas ndodhisë së tre ndërprerjeve të shpejta në një periudhë të shkurtër, fillimisht në linjën 400 kV OHL Ribarevine – Podgorica 2 në orën 12:09:16, pasuar nga ndërprerja në linjën 400 kV OHL Zemblak – Kardia në orën 12:21:33 dhe në linjën Fierzë–Prizren në orën 12:21:43 — incidenti shkaktoi një rënie të papritur në vlerën e tensionit, e cila solli, stakimin e njëpasnjëshëm të disa njësive gjeneruese si pasojë e mbrojtjes së tensionit minimal.

Në 12:21:52, Operatorët e Sistemit të Transmetimit (OST) regjistruan një humbje prej 109 MW në prodhim, ndërsa pas pak minutash, në 12:21:54, NOSBiH raportoi një humbje prej 167 MW. HOPS regjistroi gjithashtu një humbje prodhimi prej 97 MW dhe CGES raportoi 113 MW humbje prodhimi. Në orën 12:24, rënia e tensionit solli një humbje të rëndësishme të ngarkesës në zonat e prekura.

Pas kësaj, në orën 12:24:21, një rënie e theksuar e tensionit që reduktoi nivelin në zero çoi në një humbje totale prodhimi prej 2,214 MW në të gjitha zonat e prekura. Në Figura 100, tregohet renia e tensionit dhe humbja e ngarkesës në rrjetet e prekura nga incidenti dhe për

referencë tregohet tensioni në një nënstacion jashtë zonës së prekur nga incidenti(n/st Ernestinovo Kroaci).

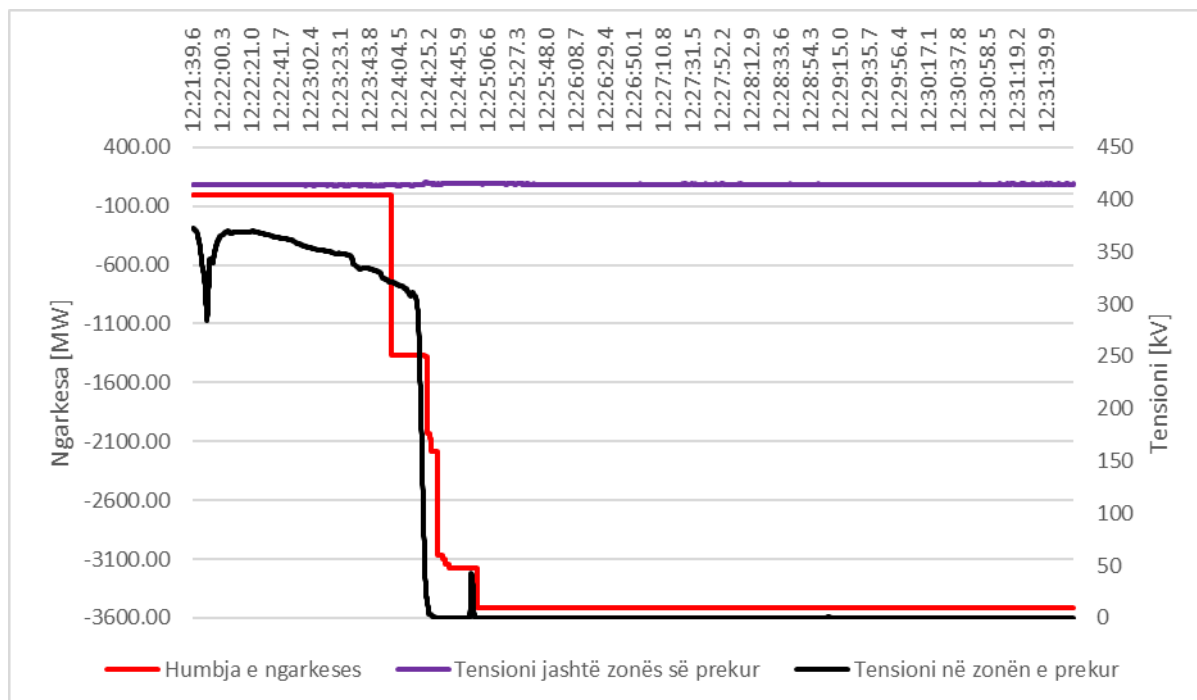


Figura 100 Humbja e ngarkesës për zonën e prekur dhe jashtë zonës së prekur.

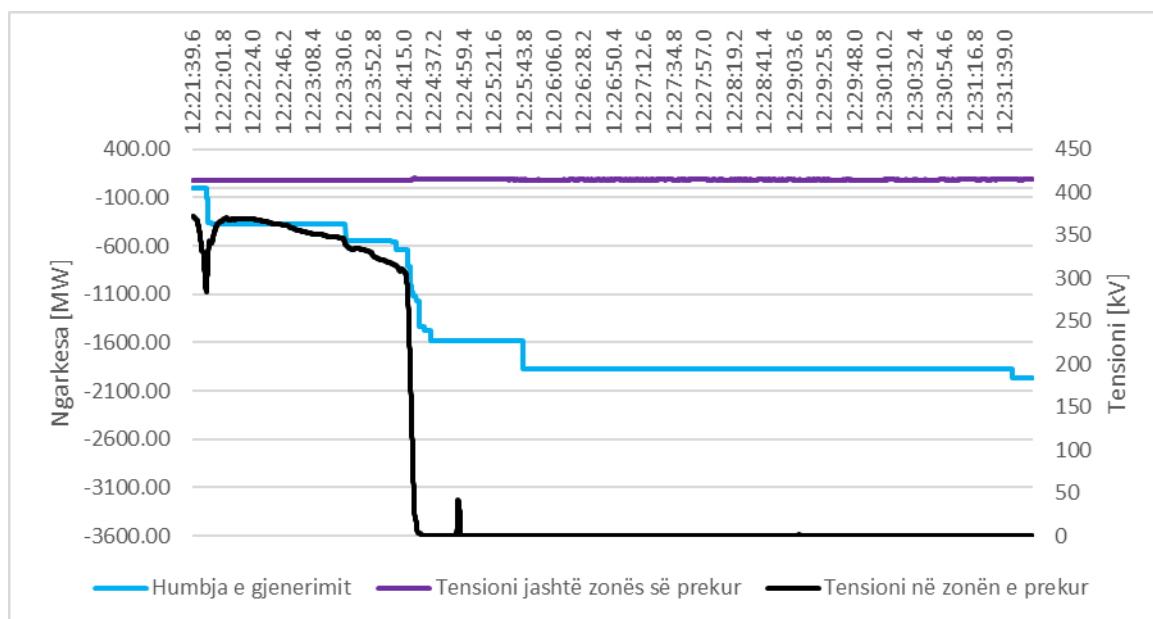


Figura 101 Humbja e gjenerimit për zonën e prekur

## 5.12 Flukset e fuqisë aktive dhe reaktive

Figura 102, tregon flukset e fuqisë aktive të linjave që u ndërprejnë nga difektet ID1 dhe ID2, të cilat shkaktuan ndërprerjen kaskadë të linjave të tjera. Dukshëm të dy linjat 400kV kanë qenë të ngarkuara në limitin e tyre termik, i cili për këto linja është 1.35GW. Në grafik mund

të vihet re se pas stakimit të linjës 400kV Ribarevine-Podgorica2(ID1), fluksi i fuqisë aktive në linjën 400kV Zemblak-Kardia, peson një rritje nga 650MW në 760MW, pra rreth 110MW.

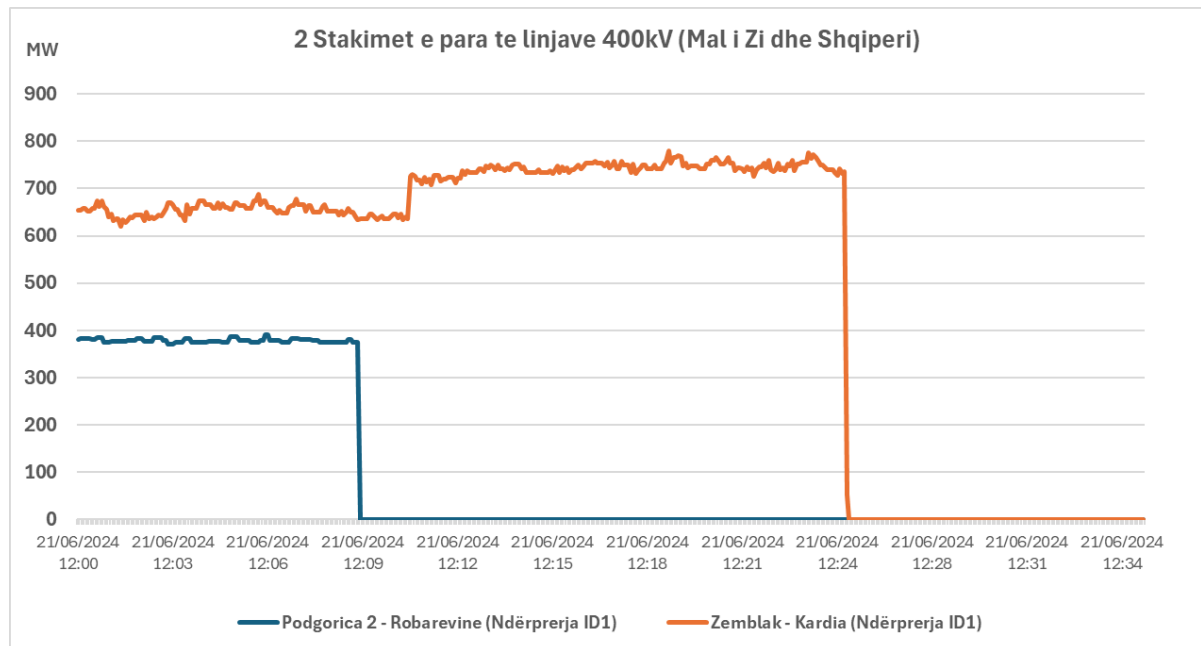


Figura 102 flukset e fuqise ne linjat 400kV per eventet ID1 dhe ID2

Në Figura 103, mund të vihet re ngarkimi linjës 400kV Zemblak-Kardia, gjatë 2 javëve para ndodhjes së incidentit. Dukshëm, për shkak të prodhimit të lartë energjisë elektrike në rajonin e Evropës Juglindore, dallohet një fluks në rritje, tranzit në këtë linjë, për rrjetin Shqiptar, në drejtimin Jug-Veri.

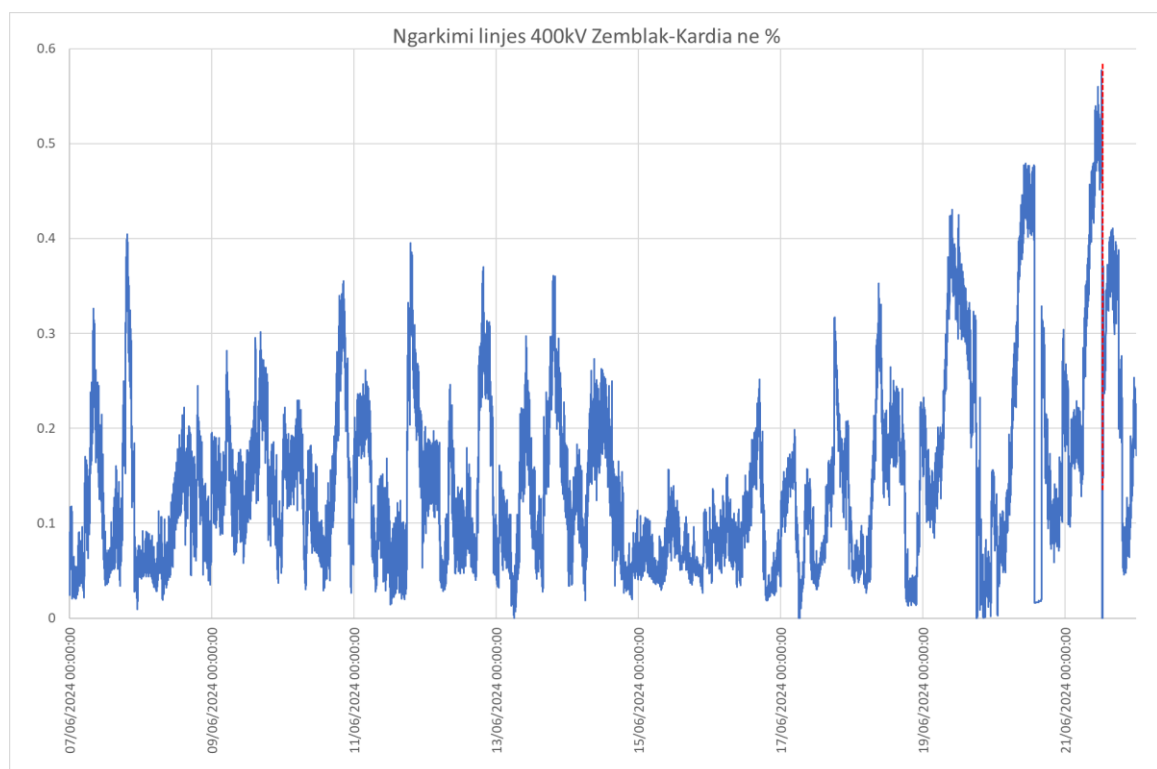


Figura 103 Ngarkimi në raport me limitin termik Linja 400kV Zemblak-Kardia

Figura 104 dhe Figura 105 tregojnë ngarkesat e linjave brenda zonës së kontrollit OST në lidhje me kufijtë e kapacitetit të tyre termik, shprehur në njësi relative përkundrejt limitit termik të linjave.

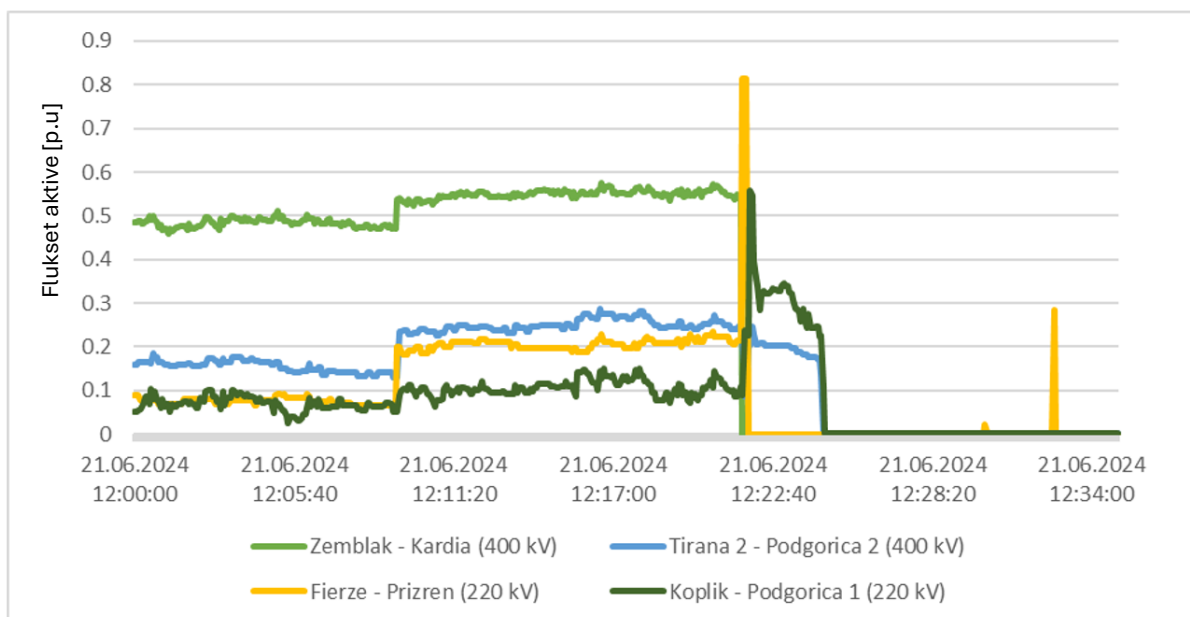


Figura 104 Flukset aktive të linjave (në njësi relative) në rrjetin OST

Një ndërprerje në linjën 400 kV OHL TIE Zemblak – Kardia, e shkaktuar nga mbrojtja për distancionale, solli një mbingarkim në linjën 220 kV OHL TIE Fierzë–Prizren2, që më pas u stakua për shkak të mbrojtjes nga mbirryma. Kjo seri ndërprerjesh çoi në një ulje të tensionit, e cila shkaktoi gjithashtu shkëputjen e linjave 400 kV OHL TIE Tirana 2 – Podgorica 2 dhe 220 kV OHL TIE Koplik–Podgorica1. Megjithatë, disa pjesë të sistemit OST vazhduan të mbeten të lidhura me sistemin e shtetit fqinj përmes linjës TIE 150 kV Bistricë–Mourtos.

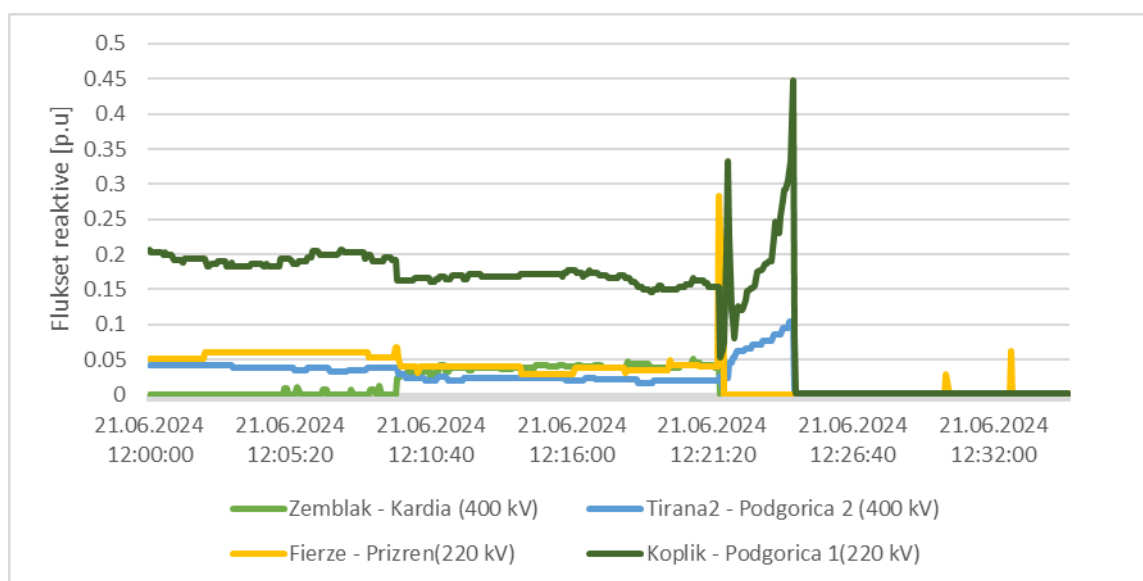


Figura 105 Ndryshimi i flukseve reaktive (në pu) në rrjetin OST

### 5.13 Tensionet në rrjetin e OST

Figurat më poshtë tregojnë ndryshimin e tensioneve në zonën e kontrollit të OST-së.

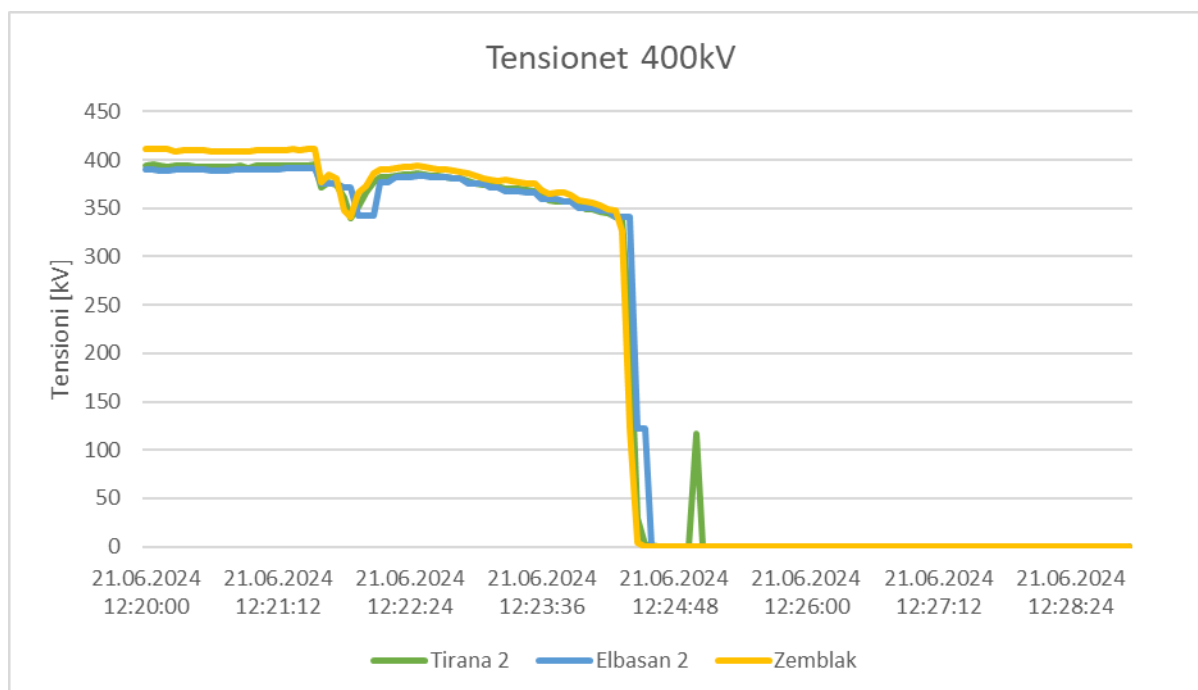


Figura 106 Tensioni në nyjet 400 kV në rrjetin e OST

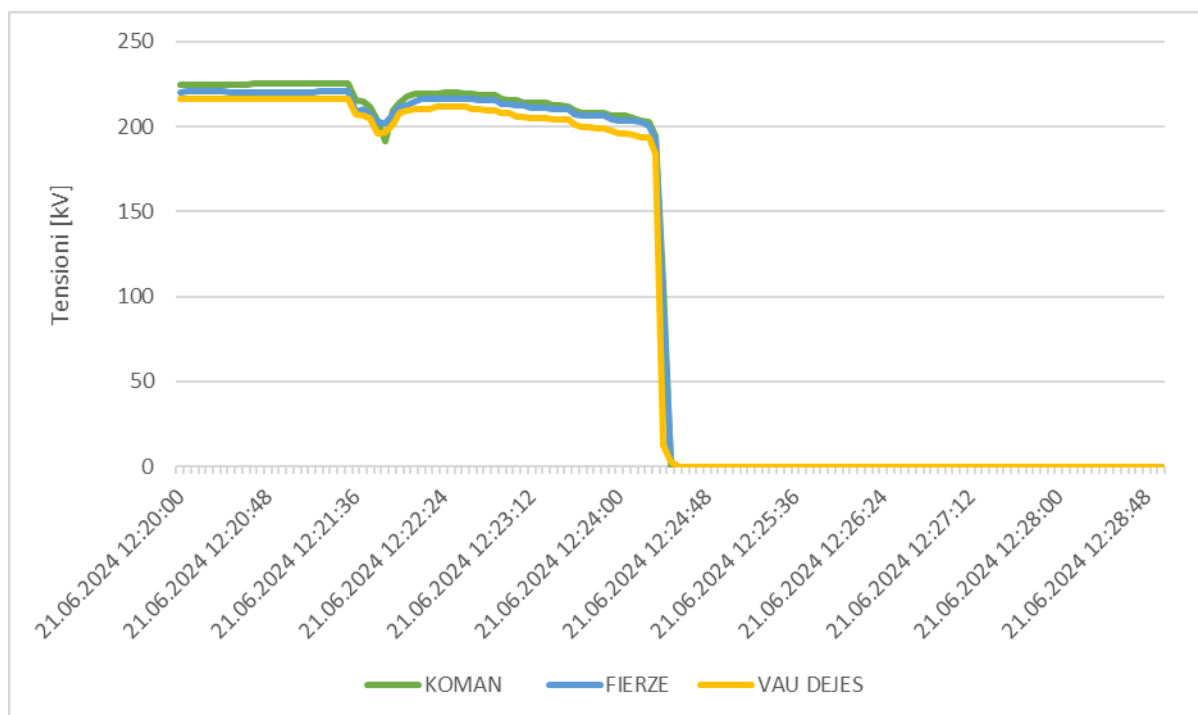


Figura 107 Tensionet në nënstacionet 220kV të Kaskadës së Drinit

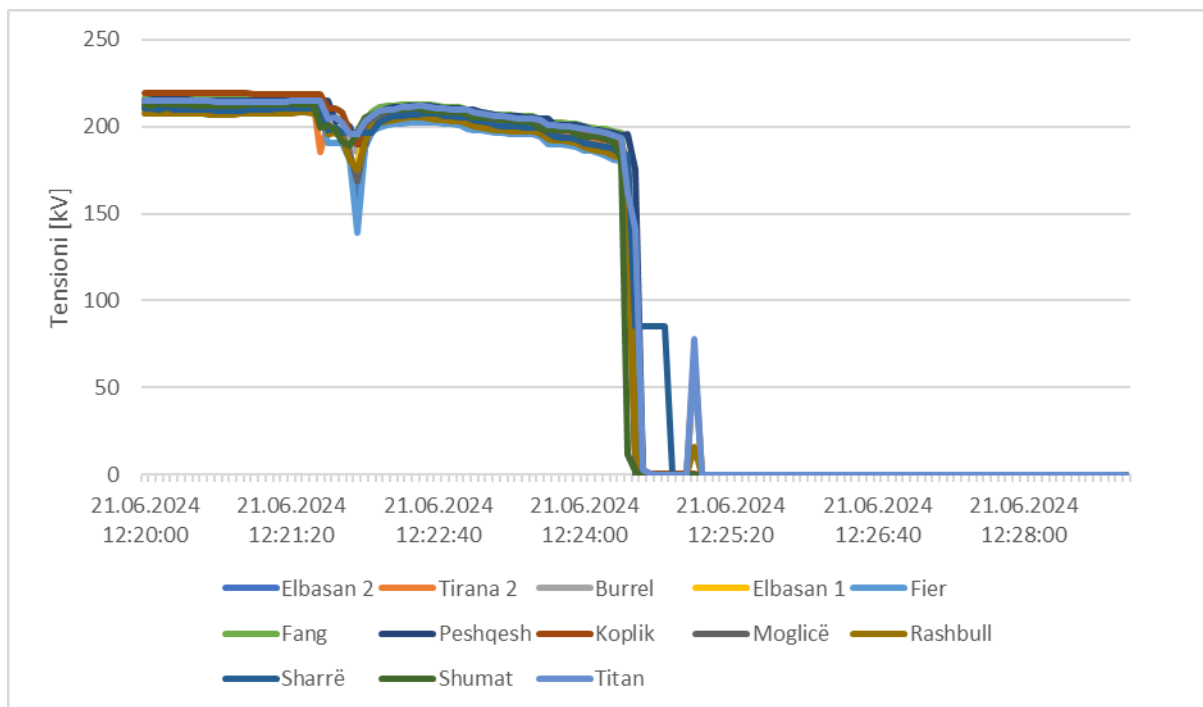


Figura 108 Tensionet në nyjet 220 kV në rrjetin e OST

#### 5.14 Analiza Q-V

Në Figura 109, ilustrohet kurba QV për zbarat 400kV, në n/st Tirana2. Nga kurba mund të vihet re fenomeni i ortekut të tensionit dhe çasti ku sistemi bëhet i pa qëndrueshëm dhe kalon pikën kritike të tensionit pas së cilës orteku i tensionit bëhet i pa evitueshëm.

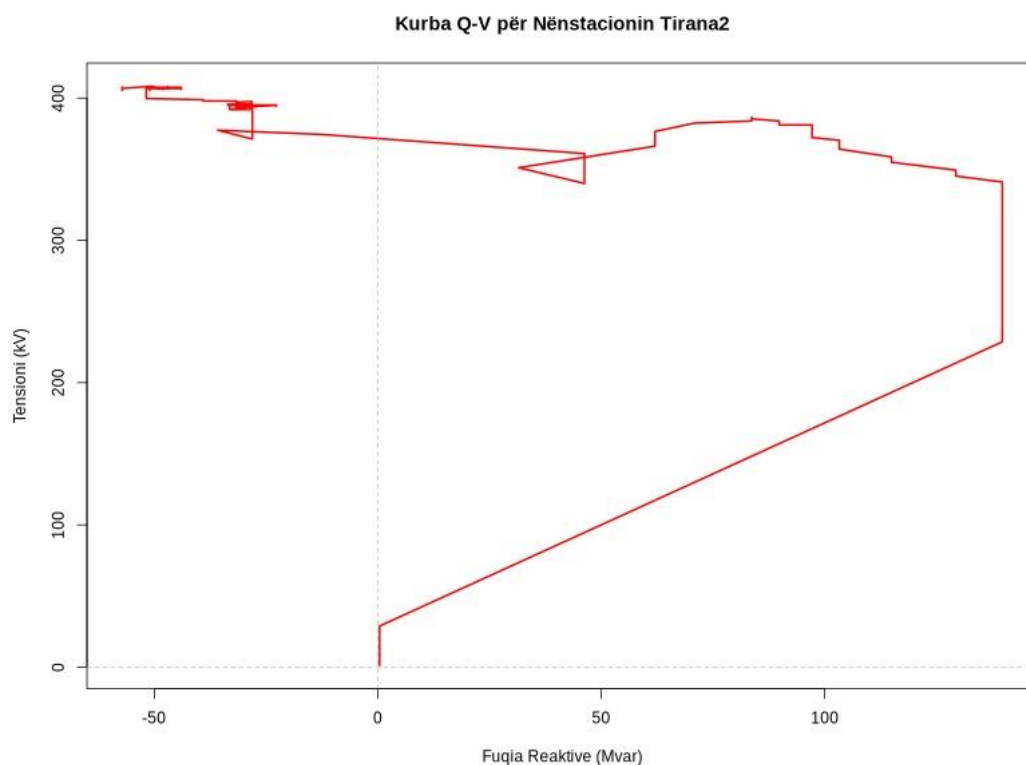


Figura 109 Kurba QV për zbarat 400kV në Tirana2

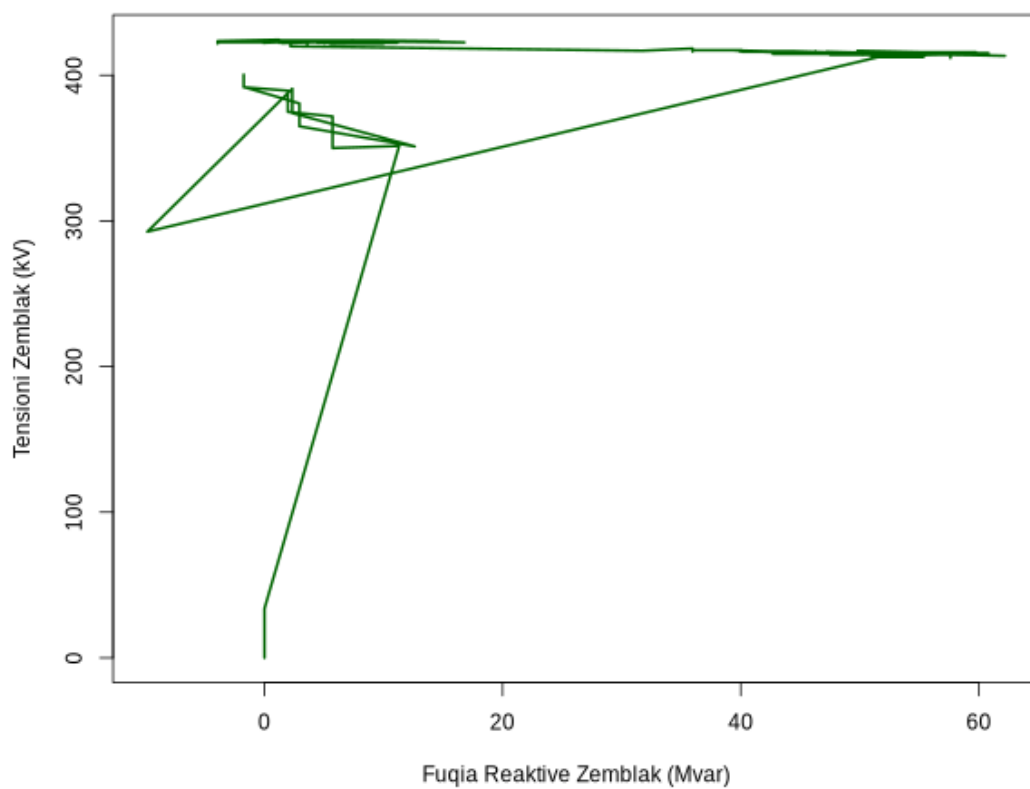


Figura 110 Kurba QV për zbarat 400kV në Zemblak

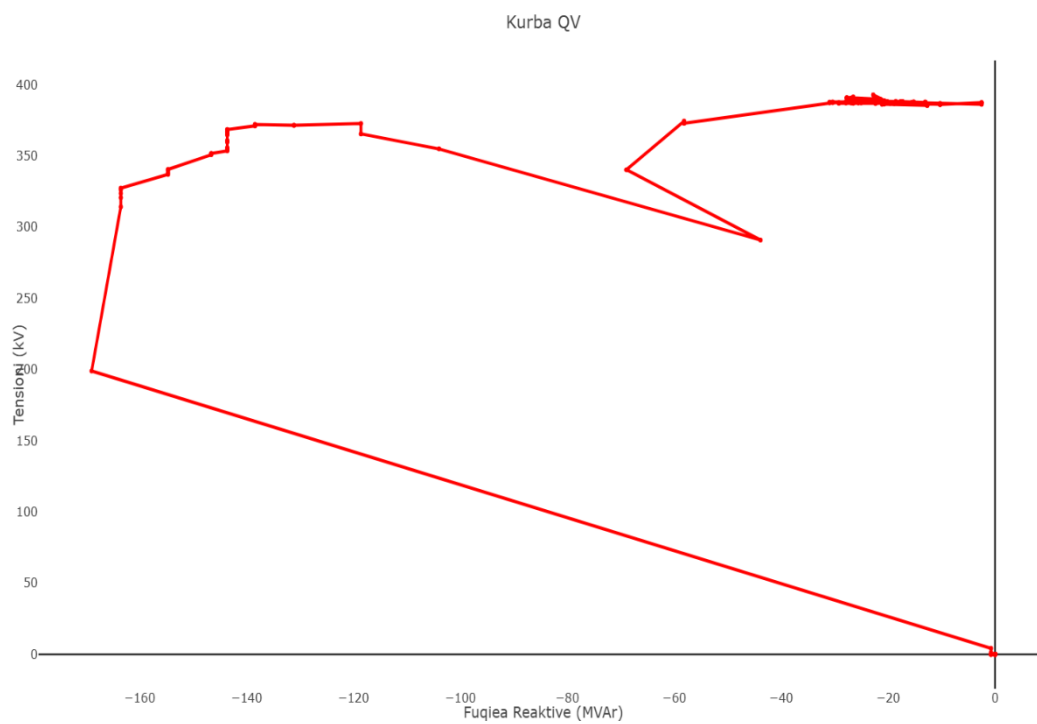


Figura 111 Kurba QV për zbarat 400kV në Podgorica 2(Mal i Zi)

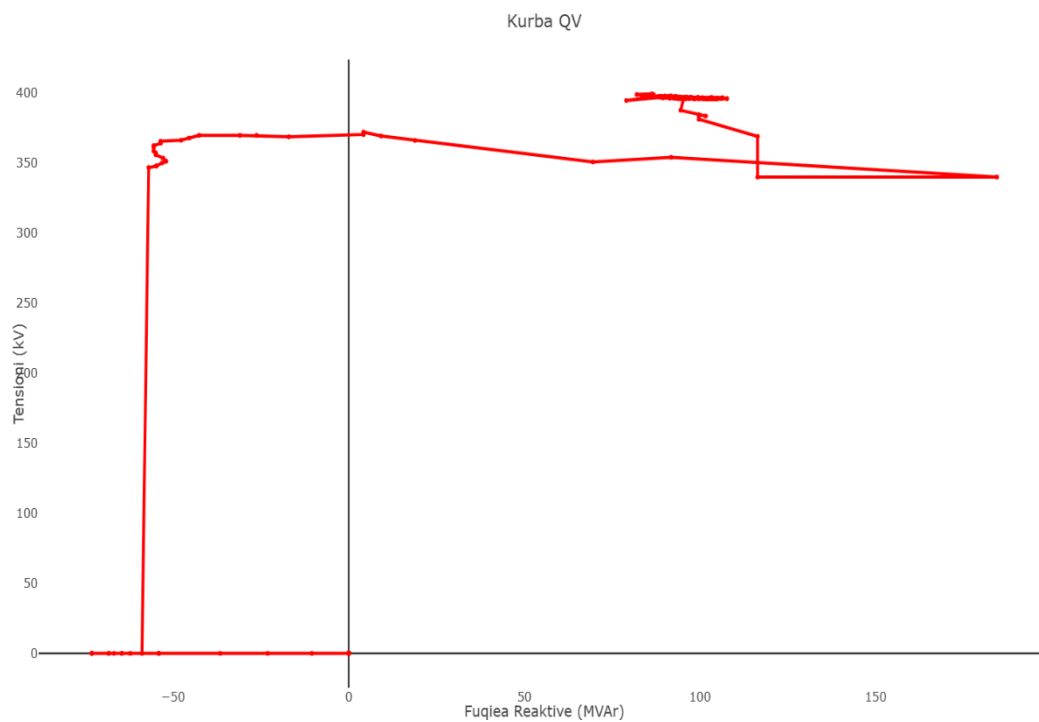


Figura 112 Kurba QV për zbarat 400kV në Trebinje (Bosnje dhe Hercegovinë))

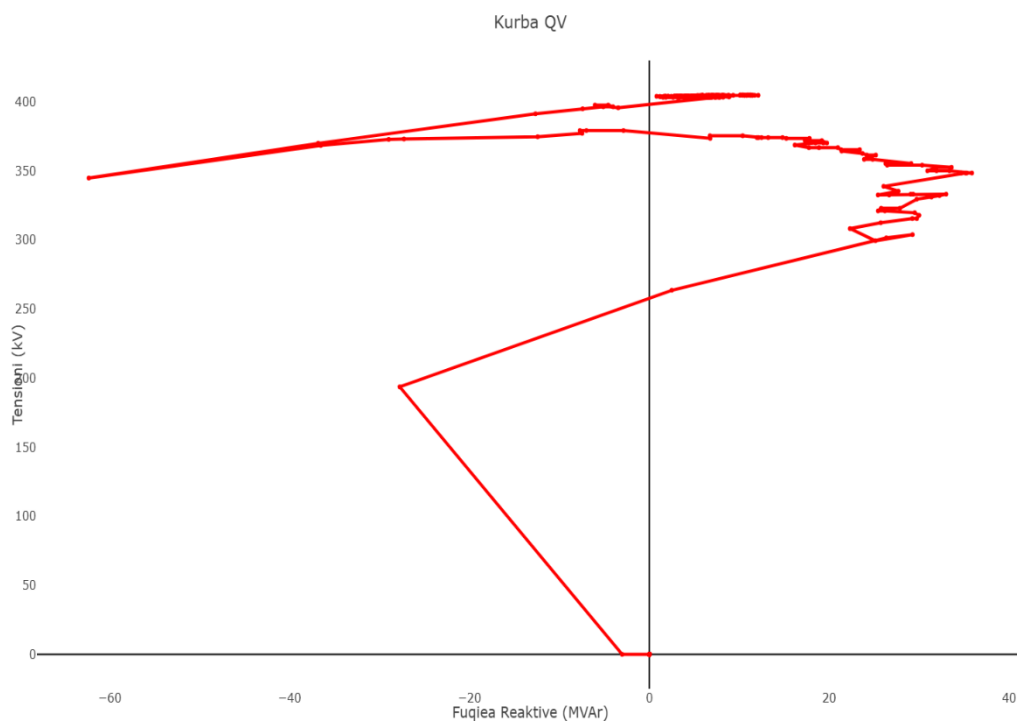


Figura 113 Kurba QV për zbarat 400kV në Konjsko (Kroaci)

### 5.15 Këndet e tensionit

Në Figura 114 ilustrohen ndryshimet në këndet e tensionit për disa nyje të zgjedhura. Për të lehtësuar analizën, këndet e tensionit janë vendosur në të njëjtën reference nga n/st Soazza. Kjo metodë ndihmon në ndjekjen e ndryshimeve relative të këndit të tensionit midis nyjeve të ndryshme.

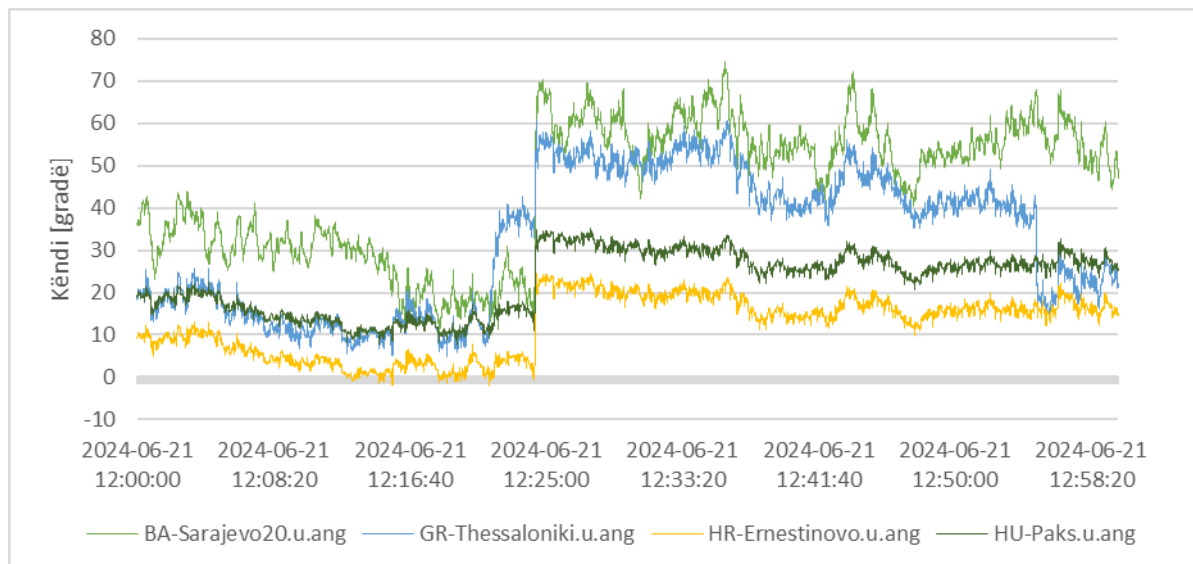


Figura 114 Këndet e tensionit të shprehura në lidhje me Soazza (CH)

### 5.16 Frekuenca

Në Figura 115 tregohet trajektorja e frekuencës të disa nyjeve të zgjedhura. Edhe pse është e dukshme se frekuenca është ndikuar nga ngjarjet në rrjet (p.sh., rreth orës 12:24), incidenti nuk solli ngacmime të tjera në frekuencën e zonës sinkrone Evropiane. Frekuenca brenda dhe jashtë zonës së prekur ka qëndruar gjithmonë brenda një game dhe ka mbetur sinkrone. Po ashtu, shpejtësia globale e ndryshimit të frekuencës (RoCoF) nuk ka arritur vlera të mëdha dhe ka mbetur larg kufirit të sistemit prej 1 Hz/s.

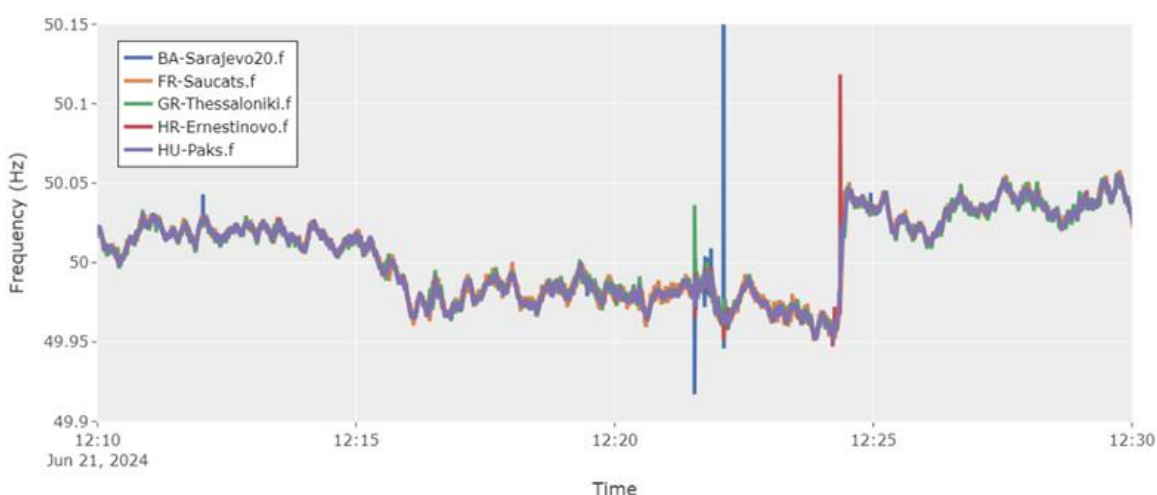


Figura 115 Frekuenca në disa nyje te Sistemit Elektroenergjetik Evropian

### 5.17 Sekuenca e rivendosjes (OST)

Në Figura 116 është paraqitur sekuenca e rikthimit të elementeve në rrjetin OST. Pas kycjes së çelësave në nënstacionet Zemlak, Elbasan2 dhe Tirana2, tensioni u kthye në zbarat 400 kV të këtyre nënstacioneve, menjëherë pas energjizimit të linjës 400kV TIE Kardias (GR) – Zemlak (AL) në orën 12:38.

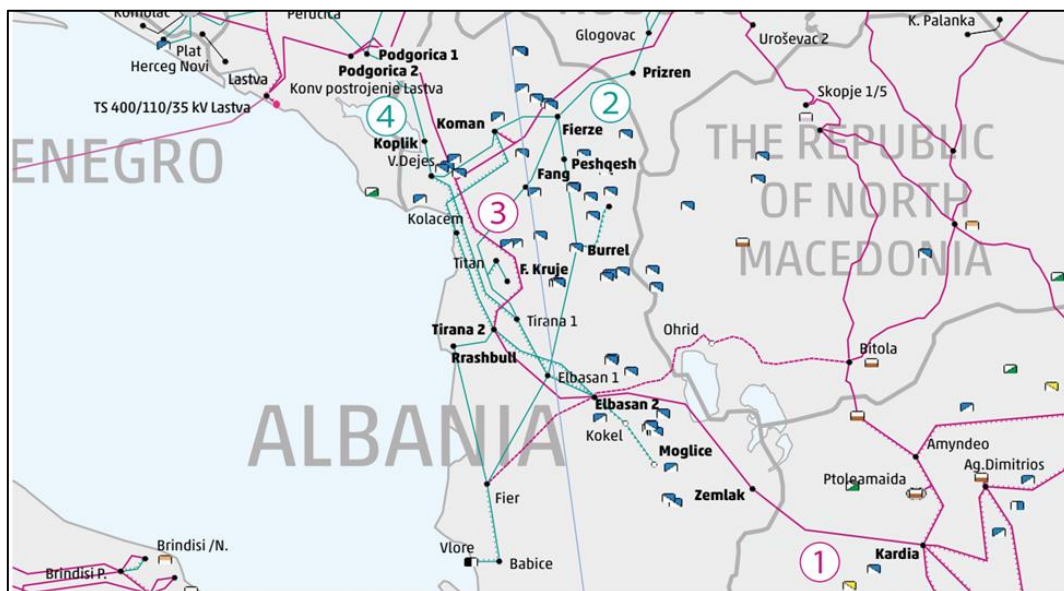


Figura 116 Veprimet hap pas hapi gjatë procesit të rivendosjes në rrjetin e OST-së

Duke qenë se në brendësi të rrjetit të OST, nuk pati stakime, energjizimi ishte mjaft i shpejtë.

Në orën 12:40, u bë sinkronizimi me KOSTT përmes linjës 220 kV Prizren2–Fierza, duke energjizuar menjëherë zbarat në nënstacionet Fierze dhe Fangu. Në orën 12:59, u bë sinkronizimi me CGES përmes linjës 400 kV Tirana2 (AL) – Podgorica 2 (ME) dhe në orën 13:06 përmes linjës 220 kV Koplik (AL) – Podgorica1 (ME).

### 5.18 Veprimet për Rivendosjen e Prodhimit (OST)

- HEC Vau Dejës në nënstacionin Vau Dejës me kapacitet total prej 40 MW u stakua në orën 12:24 dhe u sinkronizua në orën 13:11.
- HEC Fierzë në nënstacionin Fierzë me kapacitet total prej 109 MW u stakua në orën 12:24 dhe u sinkronizua në orën 12:43.
- HEC Fang në nënstacionin Fang me kapacitet total prej 61 MW u stakua në orën 12:24 dhe u sinkronizua në orën 12:48.
- HEC Koman në nënstacionin Koman me kapacitet total prej 211 MW u stakua në orën 12:24 dhe u sinkronizua në orën 13:30.

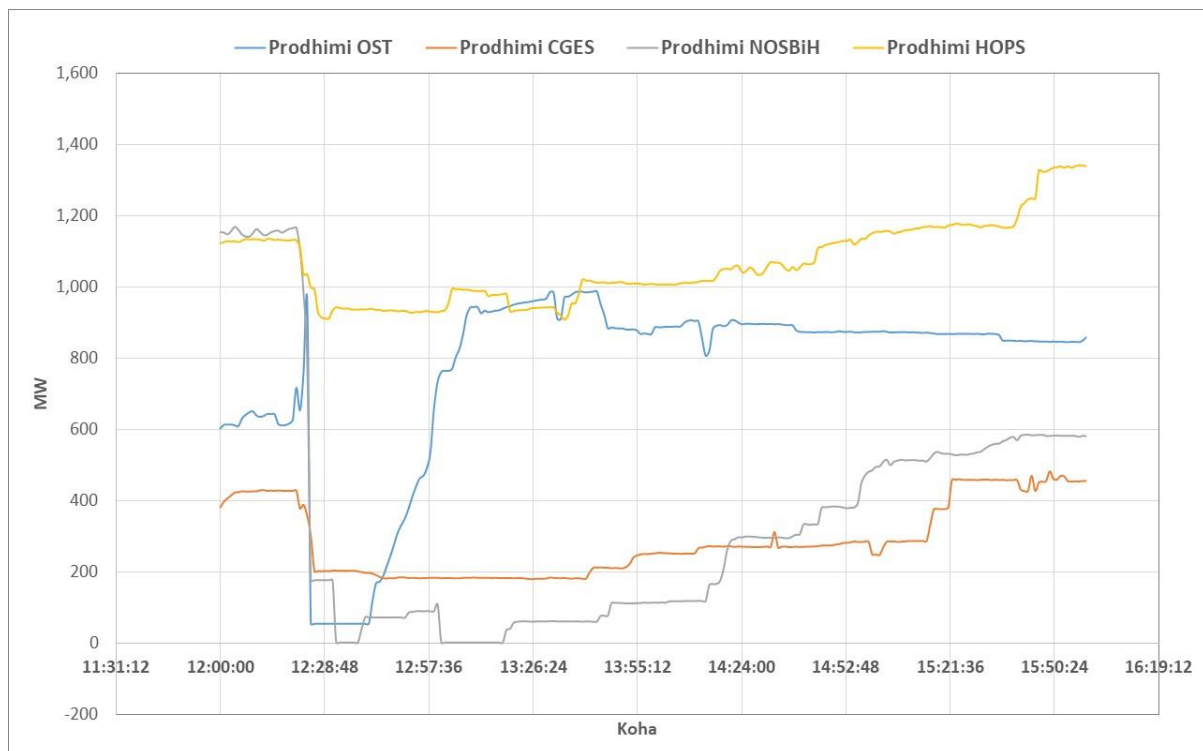


Figura 117 Rivendosja e prodhimit në secilin nga rrjetat e transmetimit

### 5.19 Veprimet e Rivendosjes së Ngarkesës (OST)

OST humbi pothuajse gjithë konsumimin, përveç një pjese të vogël të rrjetit që ishte e lidhur radialisht me rrjetin IPTO. Figura tregon rritjen e konsumit në rrjetin OST gjatë procesit të rivendosjes.

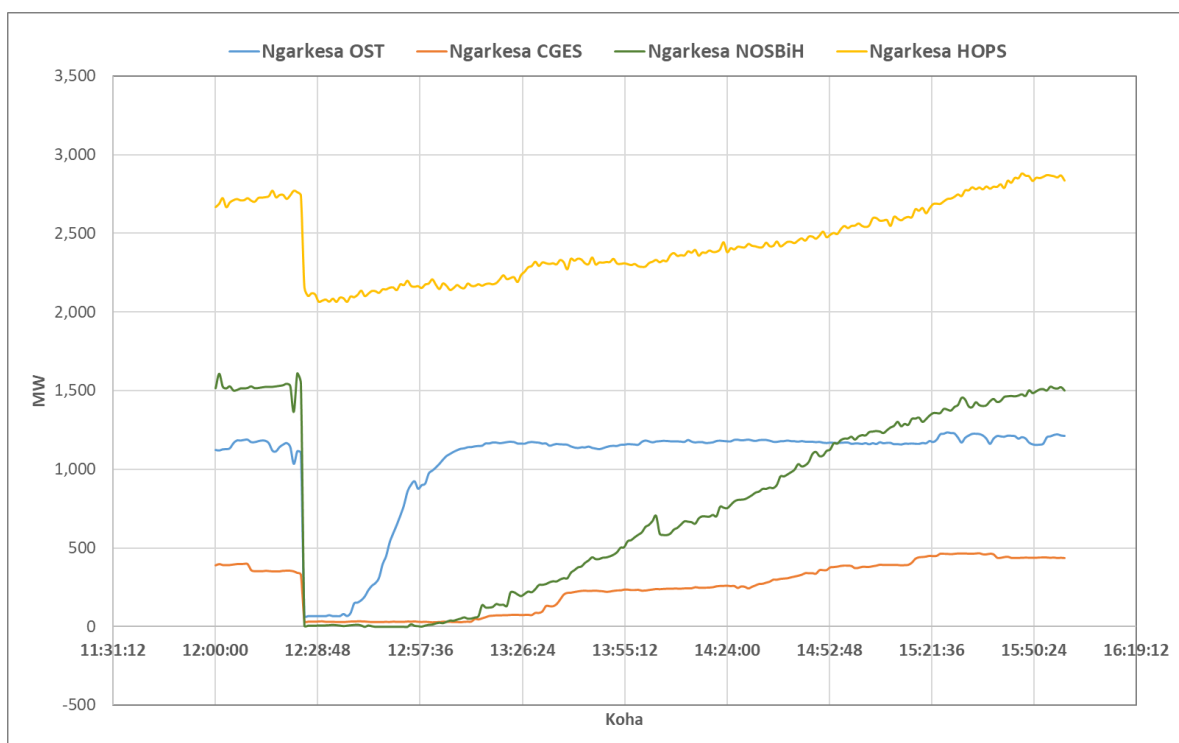


Figura 118 Rivendosja e Ngarkesës në secilin nga rrjetat e transmetimit

---

## 5.20 Gjetjet kryesore dhe rekomandimet

### I. Lidhja e shkurtër në linjat ID1 dhe ID2

Brenda më pak se 15 minutash, ndodhën dy lidhje të shkurtëra të ndryshme dhe të pavarura në rrjetin e tensionit të lartë të rajonit, të shkaktuara nga shkurtimi distances me vegjetacionin poshtë linjave 400kV.

### II. Mungesa e identifikimit të mbingarkimeve sipas kriterit N-1 pas daljes nga operimi të linjës së parë 400kV

Llogaritjet në kohë reale të kryera ndërmjet ndërprerjes së parë dhe asaj të dytë nuk identifikuan ndonjë cenim të kriterit N-1. Megjithatë, analizat pasuese dhe të dhënat faktike treguan qartë se kishte cenim të kriterit N-1.

### III. Paqëndrueshmëria e mundshme e tensionit në zonë nuk u identifikua në kohë

Mjetet e disponueshme dhe ekzistuese nuk ishin në gjendje të identifikonin asnjë rrezik të paqëndrueshmërisë së tensionit në rajon. Situata nuk u konsiderua e pazakontë apo që kërkonte ndonjë veprim urgjent. Tensionet u vlerësuan si normale nga Operatoret e transmetimit në rajon.

### IV. Hapjet e linjave ID3, ID4 dhe ID6

Pas ndërprerjes së dytë ID 2, ndodhën disa mbingarkesa në rrjet dhe 3 linja u çkyçën nga mbrojtja e mbingarkesës. Këto mbrojtje vepruan brenda sekondash dhe nuk lejuan asnjë veprim nga dispeçerite për të reduktuar flukset në rrjet. Analiza zbuloi një ndërprerje të shpejtë (brenda 31.5 sekondash) të tre linjave, të shkaktuara nga flukset e larta (rreth 120-130%).

### V. Veprimi automatik i transformatorëve të tensionit

Transformatorët me rregullator tensioni automatik (HV/MV) në shumicën e zonave ishin në modalitetin e kontrollit automatik, i cili mban tensionet në nivelet e tensionit të ulët sa më qendrueshme të jetë e mundur. Një efekt anësor i kësaj është se kjo ka tendencën të ulë tensionet në nivelet e tensionit të lartë. Nuk u ndërmor asnjë masë për të bllokuar rregullatorët e tensionit. Në rastin e OST rregullatorët e tensionit ishin paraprakisht në pozicion manual.

### VI. Mungesa e mjeteve të mjaftueshme për mbajtjen e tensionit.

Analiza tregon se gjatë ngjarjes ishin të disponueshme dhe të lidhura vetëm një numër i kufizuar pajisjesh, të cilat ishin të pamjaftueshme për të stabilizuar tensionin. Mungesa e mjeteve për kontroll kontribuoi në kolapsin e tensionit. Për më tepër, analiza ka treguar se nuk ka pajisje dhe procedura specifike të disponueshme të dedikuara për monitorimin dhe parandalimin e kolapsit të tensionit në rajonin e Evropës Juglindore.

### VII. Nevoja për masa shtesë lidhur me kolapsin e tensionit

Rajoni nuk ka masa shtesë të parashikuara në planin e mbrojtjes. Veprimet e mundshme që sugurohen (por jo detyruese) nga NC E&R nuk janë implementuar aktualisht nga OST-të e prekura.

## 5.21 Rekomandimet nga ENTSO – E në lidhje me incidentin

**Rekomandimi nr.1:** Kontrolloni politikën kombëtare dhe procesin operacional të kontrollit të rritjes së vegjetacionit pranë linjave ajrore të tensionit të lartë (OHL) dhe rishikoni ato nëse është e nevojshme.

**Arsyetimi:** Të shmanget lidhja e shkurter e linjës me vegjetacionin përreth.

---

**Rekomandimi nr.2:** Vlerësoni analizat N-1 të incidenteve në rrjetin fqinj në sistemet EMS-SCADA në kohë reale dhe, nëse është e nevojshme, rregulloni zonat e vëzhgueshmërisë brenda sistemeve SCADA të OST-ve të prekura.

**Arsyetimi:** Kjo është një kërkesë ligjore nga SOGL. Rritja e ndërgjegjësimit situacional nga rrjetet fqinje të OST-ve do të ndihmojë në identifikimin në kohë të veprimeve parandaluese ose kurative. Zgjerimi i llogaritjeve N-1 do të ndihmojë në parashikimin më të saktë të efekteve të incidenteve në rrjetet fqinje për ngarkesat e mundshme të tejkalura ose çështjet e tensionit në rrjetin përkatës.

**Rekomandimi nr.2:** Vlerësimi i rregullt i aspekteve të qëndrueshmërisë së tensionit në planifikimin operacional.

**Arsyetimi:** Pasi analiza ex post identifikoi rrezikun e mungesës së qëndrueshmërisë së tensionit (shih nenin 38.5 të SOGL), një kontroll i rregullt i qëndrueshmërisë mund të ndihmojë në identifikimin e paqëndrueshmërive të mundshme dhe masave të përshtatshme kundërvepruese.

Ky kontroll i rregullt mund të ndihmojë gjithashtu në identifikimin dhe arsyetimin e nevojës për masa shtesë të mbështetjes së tensionit në rrjet.

**Arsyetimi:** Çdo tregues i një rrjeti të dobësuar mund të krijojë një urgjencë për të vepruar përpara se të ndodhë një incident tjetër. Kjo mund të parandalojë kolapsin e tensionit nëse ndërhyrja bëhet mjaftueshëm shpejt përpara incidentit pasues.

**Rekomandimi nr.3:** Rishikoni udhëzimet ekzistuese të ENTSO-E mbi mbrojtjet ndaj mbingarkesës (overcurrent) në linjat ajrore të tensionit të lartë (OHL), për të vlerësuar mundësinë e përditësimit të tyre bazuar në gjetjet nga ky incident.

Çdo anëtar i ENTSO-E duhet të kontrollojë politikën e tij për instalimin e mbrojtjeve ndaj mbingarkesës (ose mbrojtjeve ndaj rrymave të tepërta) në OHL dhe të rishikojë këto parametra, duke marrë parasysh udhëzimet e rishikuara të ENTSO-E.

**Arsyetimi:** Mbrojtja ndaj mbingarkesës me vonesë të shkurtër dhe parametra të rreptë në një rrjet transmetimi nuk duhet të rrisin rrezikun e dështimeve kaskadë.

Këto parametra mbrojtjeje janë identifikuar gjithashtu si një nga kontribuesit kryesorë në ndarjen e sistemit të ndodhur në janar 2021.

**Rekomandimi nr.4:** Bllokimi i ULTC-ve (Under Load Tap Changers) të transformatorëve HV-MV dhe VHV-HV, aty ku është e përshtatshme (në varësi të futjes së energjisë nga burimet e rinovueshme dhe karakteristikave të ngarkesës).

**Arsyetimi:** Për të shmangur kolapsin e tensionit të shkaktuar nga efektet negative të transformatorëve me ndërrim automatik të raportit të tensionit (tap-changing).

**Rekomandimi nr.5:** Kryeni një vlerësim të tensionit dhe fuqisë reaktive për situatat e mundshme të tensionit të ulët që duhet të merren parasysh gjatë projektimit të sistemit. Rishikoni instalimin e masave mbështetëse në zonat ku ka rrezik për kolapsin e tensionit.

**Arsyetimi:** Të kenë mbështetje të mjaftueshme MVAR do të thotë që masat do të ndihmojnë në shmangien e kolapsit të tensionit në një rrjet të dobësuar.

**Rekomandimi nr.6:** Hulumtoni mundësinë e implementimit të një koncepti automatik kontrolli emergjence për pajisjet e kompensimit të fuqisë reaktive në burimet MVAR (p.sh., kondensatorët IN, induktorët OUT) në nivele ekstreme të tensionit të paracaktuara.

---

**Arsyetimi:** Gjatë një kolapsi të tensionit, kontrolli manual i pajisjeve të fuqisë reaktive mund të mos jetë i mundur në kohë. Kolapsi i tensionit mund të shmanget nëpërmjet kontrollit automatik të pajisjeve të fuqisë reaktive që mbështesin tensionin.

**Rekomandimi nr.7:** Kryeni një vlerësim dhe shqyrtoni mundësinë e instalimit të shkarkimit të ngarkesës nën tension (UVLS) në ngarkesa që kontribuojnë pozitivisht në tension në raste kur ka mungesë të mjeteve alternative për mbështetje të tensionit.

**Arsyetimi:** Shmangni kolapsin e tensionit duke instaluar masa shtesë stabilizuese.



Në vijim, duke qenë se sekuenca e black out, ishte mjaft komplekse, lind nevoja për automatizimin e procesit të llogaritjes dhe validimit të modelit sipas sekuencës faktike të ngjarjes së datës 21/06/2024.

Në softin PSS/E, automatizimi është i mundur duke përdorur gjuhën e programimit Python. Më poshtë tregohet “script” për automatizimin e të gjithë procesit të llogaritjes në gjuhën Python dhe i ekzekutueshëm në ambientin PSS/E. Duhet të theksojmë se scripti është përshtatur të afishojë rezultatet me intervale 4 sekonda, në mënyrë që rezultatet e tij të jenë të krahasueshme me matjet e Sistemit SCADA të OST Network Manager ABB.

```
##### Automatizimi Procesit te llogaritjes#####
##### Versioni 1.1 #####
#####
psspy.case(r"C:\Users\e.voshtina\Desktop\DYNAMICS Distertacion\Model-1 - Votage
Collapse\SAVs\Model-Increase Load ALL-19.sav") #hap Modelin Sav
psspy.rstr(r"C:\Users\e.voshtina\Desktop\DYNAMICS Distertacion\Model-1 - Votage
Collapse\SAVs\Model-Increase Load ALL.snp") #hap SNP file
#percakton channels
psspy.branch_p_channel([1,5574,2717,10220,102000],r"1",r"FLOW Fierze-Prizren")
psspy.branch_p_and_q_channel([2,5579,2724,101015,10110],r"1",r"P L400kV Tirana2-
Podgorica2",r"Q L400kV Tirana2-Podgorica2")
psspy.branch_p_and_q_channel([4,5581,2727,101035,10101],r"1",r"P L400kV Zemblak-
Kardia",r"Q L400kV Zemblak-Kardia")
psspy.voltage_and_angle_channel([6,5583,2730,2],r"V Blue1",r"Angle Blue1")
psspy.machine_array_channel([8,2,109004],r"H4",r"P Fierze AG4")
psspy.machine_array_channel([9,3,109004],r"H4",r"Q Fierze AG4")
psspy.machine_array_channel([10,4,109004],r"H4",r"Eterm Fierze AG4")
psspy.machine_array_channel([11,7,109004],r"H4",r"Pmech Fierze AG4")
psspy.machine_array_channel([12,2,109011],r"H1",r"P AG1 Koman")
psspy.machine_array_channel([13,3,109011],r"H1",r"Q AG1 Koman")
psspy.machine_array_channel([14,4,109011],r"H1",r"Eterm AG1 Koman")
psspy.machine_array_channel([15,6,109011],r"H1",r"Pmech AG1 Koman")
psspy.machine_array_channel([16,7,109011],r"H1",r"Speed AG1 Koman")
psspy.voltage_channel([17,5589,2735,101030],r"V Elbasan2 400kV")
psspy.branch_p_and_q_channel([18,5596,2742,10210,102015],r"1",r"P 220kV Koplik-
Podgorica1",r"Q 220kV Koplik-Podgorica1")
psspy.bsys(1,0,[0.0,0.0],0,[],3,[10110,101015,101035],0,[],0,[])
psspy.chsb(1,0,[-1,-1,-1,1,13,0])
psspy.bsys(1,0,[0.0,0.0],0,[],1,[109011],0,[],0,[])
psspy.chsb(1,0,[-1,-1,-1,1,2,0])
psspy.chsb(1,0,[-1,-1,-1,1,3,0])
psspy.chsb(1,0,[-1,-1,-1,1,13,0])
psspy.chsb(1,0,[-1,-1,-1,1,16,0])
psspy.bsys(0,0,[0.4,400.],0,[],1,[4],0,[],0,[])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,2,0])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,3,0])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,13,0])
psspy.bsys(0,0,[0.4,400.],0,[],1,[8],0,[],0,[])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,1,0])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,2,0])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,3,0])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,13,0])
psspy.chsb(0,0,[-1,-1,-1,1,16,0])
#konverto Ngarkesen per dynamics
psspy.cong(0)
psspy.conl(0,1,1,[0,0],[100.0,0.0,0.0,100.0])
psspy.conl(0,1,2,[0,0],[100.0,0.0,0.0,100.0])
psspy.conl(0,1,3,[0,0],[100.0,0.0,0.0,100.0])
# Fillo Simulimin Dynamic
psspy.strt_2([0,0],r"C:\Users\e.voshtina\Desktop\DYNAMICS Distertacion\Model-1 -
Votage Collapse\out\out53.out")
#percakto Kohen dhe ekzekuto per 30 sekonda(shkruaj rezultat cdo 4 sekonda)
```

```

#Stako Linjën 400kV Podgorice-Ribarevine
psspy.run(0, 0,1600,1600,1600)
psspy.run(0, 0,1600,1600,1600)
psspy.dist_branch_trip(381070,381060,r""1"")
psspy.run(0, 32.0,1600,1600,1600) #12:21:00 deri 12:21:32
#Stako Linjën 400kV Zemblak-Kardia
psspy.dist_branch_trip(101035,10101,r""1"")
psspy.dist_branch_trip(105490,105495,r""1"") #stakimi linjes 110kV gjirokaster-
tepelene
psspy.dist_branch_trip(105505,105510,r""1"") #stakimi linjes 110kV Bistricë-sarande
psspy.run(0, 43.0,1600,1600,1600) #12:21:32 deri 12:21:43
#Stako Linjën 220kV Fierze-Prizren
psspy.dist_branch_trip(10220,10200,r""1"")
psspy.run(0, 45.7,1600,1600,1600) #12:21:43 deri 12:21:45.7
#Stako Linjën 220kV Podgorica1-Mojkovac
psspy.dist_branch_trip(382030,382020,r""1"")#12:21:45.7
psspy.run(0, 51.4,1600,1600,1600) #12:21:51.4
psspy.dist_machine_trip(132011,r""1"") #stakimi trebinje gjenerator 1
psspy.dist_machine_trip(132011,r""2"") #stakimi trebinje gjenerator 2
psspy.dist_machine_trip(132011,r""3"") #stakimi trebinje gjenerator 3
psspy.load_chng_4(38030,r""DC"",[_i,_i,_i,_i,_i,_i],[_f,_f,300.0,_f,_f,0.0]) #stako
Kabllin Monita DC IT-ME
psspy.run(0, 66,1600,1600,1600) #12:22:06
psspy.dist_branch_trip(13221,382010,r""1"") #stako 220kV Sarajevo-Piva
psspy.run(0, 66,1600,1600,1600) #12:21:51.4
psspy.dist_branch_trip(130205,137215,r""1"") ##12:24:22 stako 220kV Prijedor-Jajce
psspy.dist_branch_trip(130130,133120,r""1"") ##12:24:22 stako 400kV Uglejvik-tuzla
psspy.run(0, 100,1600,1600,1600)

```

Për të krahasuar rezultatet do të përdoren disa nyje reference duke krahasuar matjet me rezultatin e simulimit. Në Figura 120 ilustron rezultati për validimin e modelit dinamik në softin PSS/E, duke krahasuar tensionin në zbarat 400kV Tirana2, të përfutur nga simulimi me matjet nga sistemi SCADA OST sh.a.

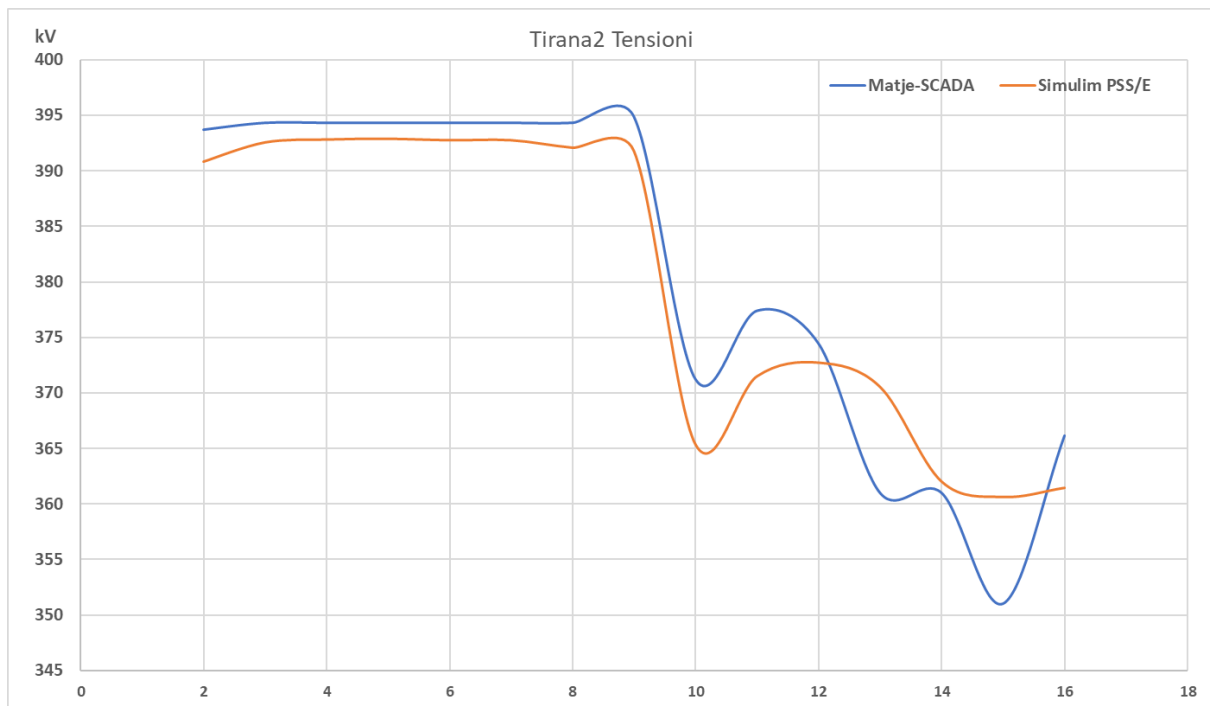


Figura 120 Tensioni në zbarat 400kV Tirana2 simulim vs matje

Figura 121 ilustrohet rezultati për validimin e modelit dinamik ne softin PSS/E, duke krahasuar tensionin ne zbarat 400kV Zemblak te perftuar nga simulimi, me matjet nga sistemi SCADA OST sh.a.

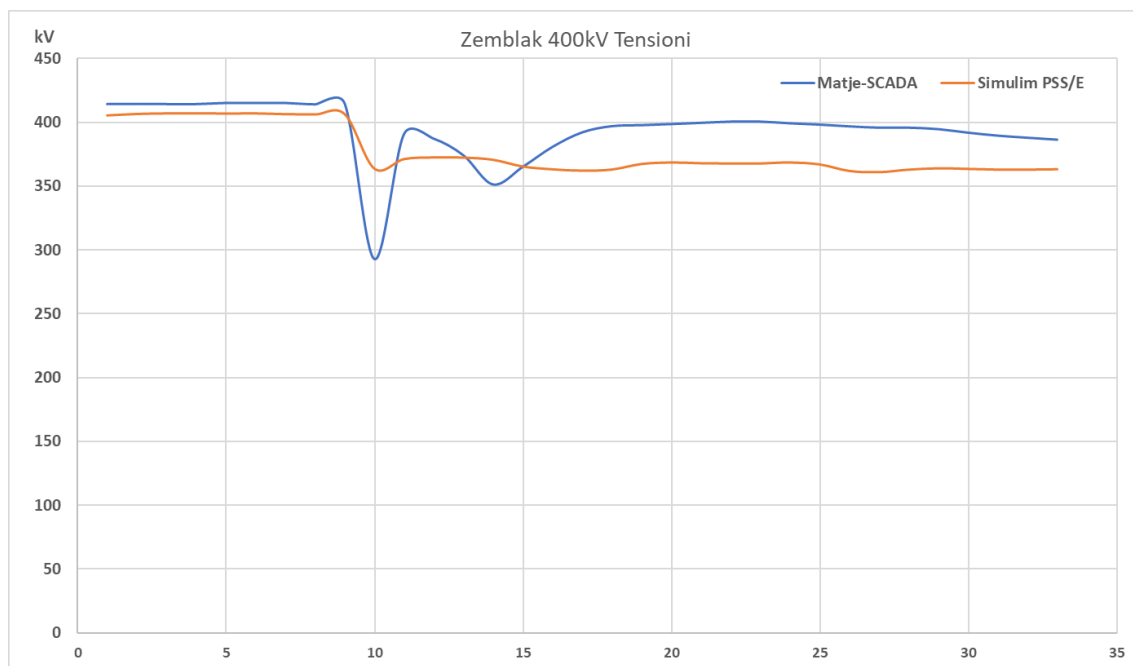


Figura 121 Tensioni ne zbarat 400kV Zemblak simulim vs matje

Figura 122 ilustrohet rezultati për validimin e modelit dinamik në softin PSS/E, duke krahasuar tensionin në zbarat 400kV Elbasan2, të përftuar nga simulimi me matjet nga sistemi SCADA OST sh.a.

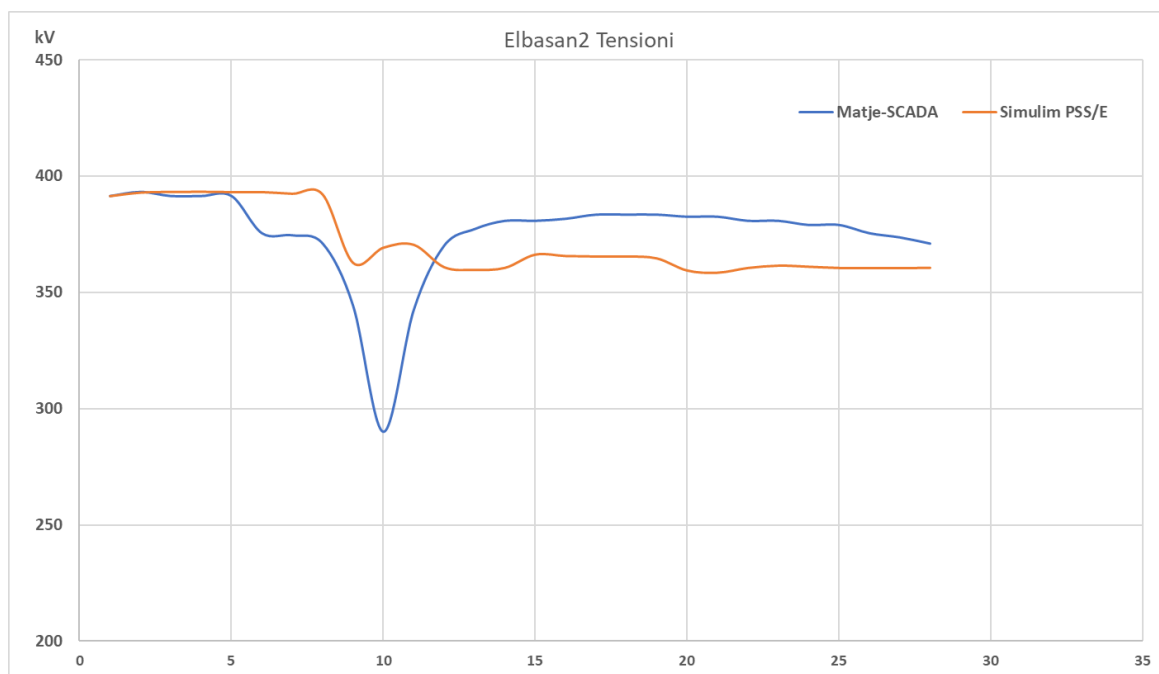


Figura 122 Tensioni në zbarat 400kV Elbasan2 simulim vs matje

Figura 123, ilustron rezultatin për validimin e modelit dinamik në softin PSS/E, duke afishuar flukset e fuqisë në linjat e interkoneksionit, të përfshirë nga simulimi..

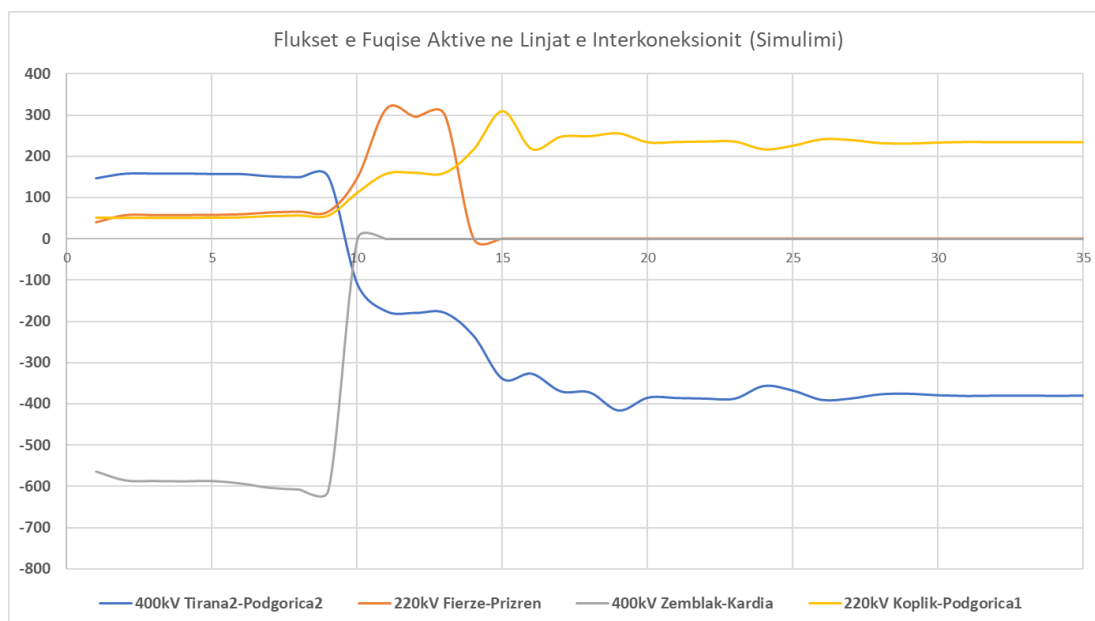


Figura 123 Flukset e Fuqisë ne linjat e interkoneksionit sipas simulimit ne PSS/E

Në Figura 124, tregohet përgjigjia e sistemit të rregullimit automatik të gjeneratoreve në HEC Fierze dhe HEC Koman.

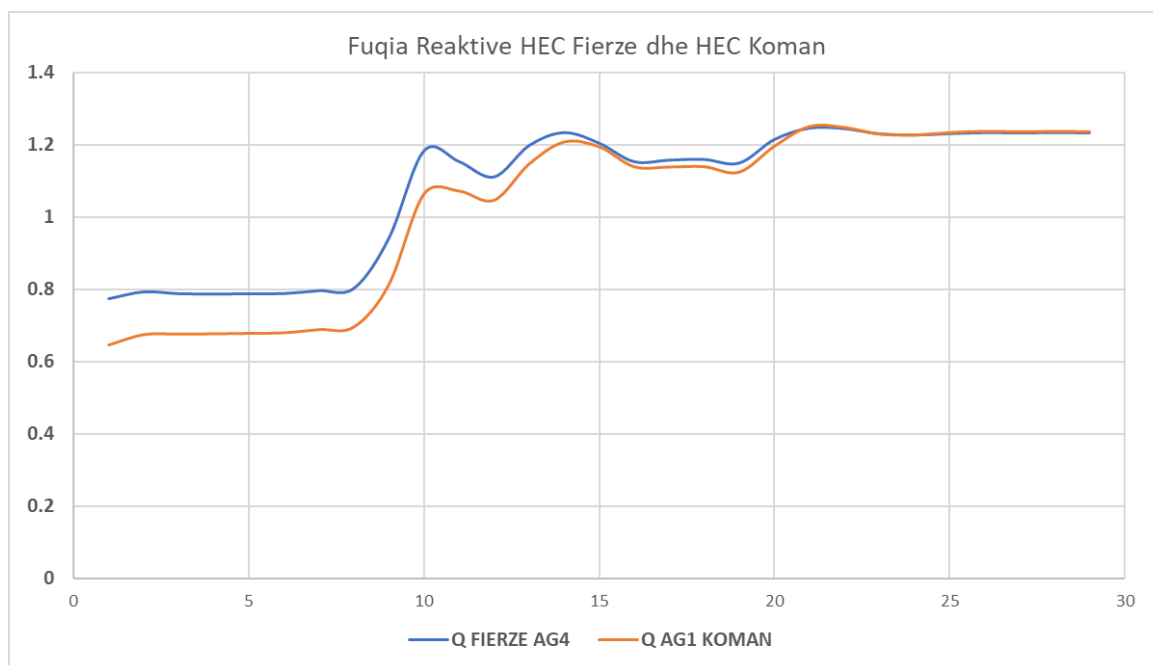


Figura 124 Përgjigjia e rregullatoreve të tensionit në gjeneratorët HEC Fierze dhe HEC Koman

Në Figura 125, tregohet reagimi i impiantit fotovoltaik Blue1, gjatë incidentit duke e krahasuar me tensionin në n/st Tirana2. Për shkak të mungesës të të dhënave nga sistemi SCADA për këtë impiant është e pamundur të krahasohet përgjigja me matjet reale, megjithëse do të ishte mjaft e rëndësishme në aspektin e validimit të modelit dinamik të inverterave të Blue1. Gjithsesi përgjigja e inverterit të modeluar me modelet të tipit, REGCAU1, REPCAUI është e mirë në krahasim me luhatjet e tensionit të rrjetit..

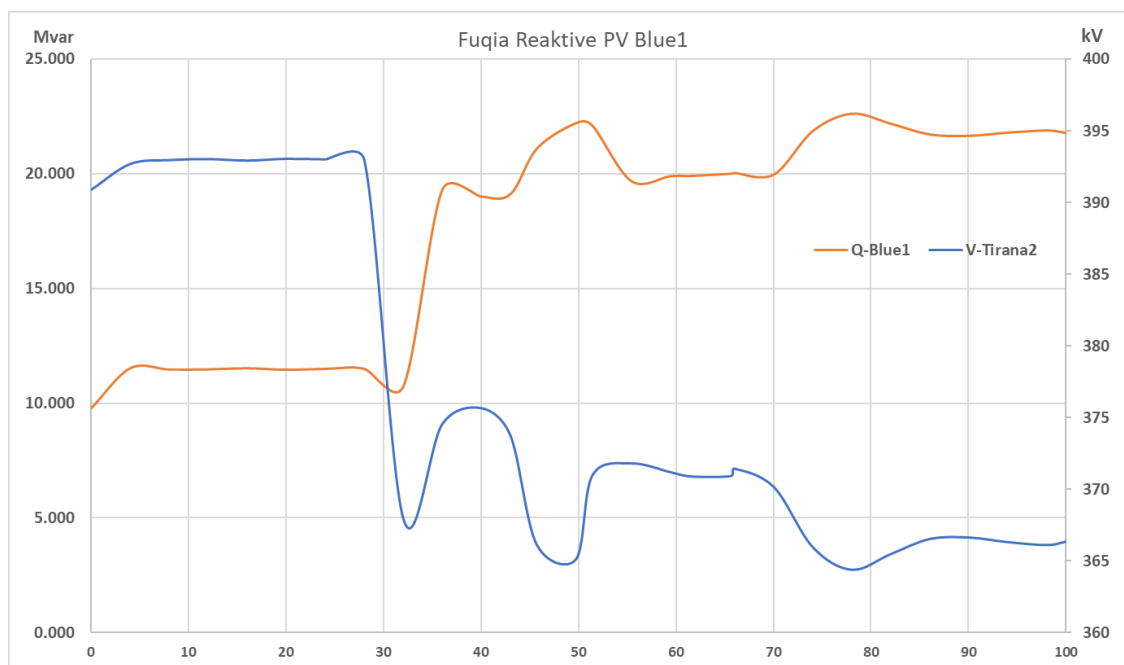


Figura 125 Përgjigja inverterit të PV Blue1 krahasuar me tensionin në Tirana2 400kV

Referuar skenarit të mospërm rezulton që modeli i ndërtuar në softin PSS/E përputhet plotësisht me modelin real të asaj dite. Kjo ilustron nga grafiket krahasimore të tensioneve në nyjet kryesore të sistemit elektroenergjetik Shqiptar, dhe nga përgjigja e rregullatorëve automatikë të tensionit në dy HEC-et më të mëdha të lidhura në sistemin e transmetimit.

Vlen të përmendet që reagimi i pajisjeve konvertuese të impianteve fotovoltaike të lidhura në rrjetin e transmetimit është plotësisht në pajtueshmëri të plotë me reagimin real të këtyre pajisjeve në momentet e blackout-it.

Për të studiuar qëndrueshmërinë e sistemit elektroenergjetik nevojitet të kryhen analiza mbi skenare të ndryshëm, në mënyrë që të gjykohej mbi ndikimin e fenomeneve të ndryshme në qëndrueshmërinë dinamike.

## 6.2 Skenari Nr.2: L 400kV Elbasan2-Zemblak(Monita)

Në skenarin Nr.2 është simuluar rasti ku linja HVDC Itali-Mal i Zi, është jashtë pune në gjendje N, dhe vijon simulimi me sekuencën si më poshtë. Simulimi fillon nga sekonda  $t=0$  dhe për:

- $t \leq 5$  sekonda sistemi qëndrueshëm pa ngacmime;
- $t=5$  sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevinë;
- $t=32$  sekonda stakohet linja 400kV Elbasan2-Zemblak;
- $t=60$  sekonda vijon simulimi pa ngacmime të tjera;

Në Figura 126, tregohen flukset në linjat e interkoneksionit në rast të stakimit të linjave 400kV Podgorica2-Ribarevinë (sekonda 5) dhe 400kV Elbasan2-Zemblak (sekonda 32).

Ajo që vlen të përmendet është se pas stakimit të parë shikojmë një rritje të ndjeshme të fluksit në linjat ndërlidhëse të sistemit elektroenergjetik, kjo ndodh për shkak se n/st Podgorica 2 është një nyje e cila përveç se ka të përqendruar përreth saj një përqindje të lartë të ngarkesës së ME, është një nyje kyçe në nivel rajonal në qoftë se i referohemi flukseve hyrëse dhe dalëse. Kjo bën që flukset rajonale të pësojnë ndryshime si në drejtim ashtu dhe në vlera. Gjithashtu nga më lart shikojmë që flukset tranzitore janë në drejtimin Jug-Veri që rrjedhimisht do sjellë një rritje të fluksit në linjat e ST të Shqipërisë, sidomos në linjën Tirana2-Podgorica 2.

Vihet re se impakti më të madh e jep stakimi i linjës 400kV Elbasan2-Zemblak. Kjo vjen për shkak se është linjë e cila bartë flukse të larta tranzitore Jug-Veri, vazhdimësi e linjës Zemblak-Kardia, ku dhe nga grafiku duket që mbart fluksin më të lartë nga gjithë linjat e tjera ndërlidhëse. Fluksi i linjës Zemblak-Kardia ka pësuar një ulje shumë të madhe, por duke bërë që linjat e tjera me Kosovën dhe Malin e Zi të pësojnë një rritje të ndjeshme në krahasim me skenarin N-1.

Pavarësisht, nga rezultatet e analizës mund të vihet re se linjat 400kV dhe 220kV janë brenda limiteve termike, përjashtim përbën linja 150kV me Sistemin e Greqisë e cila tejkalon limitin termik dhe mund të arrihet në konkluzion që do të stakohet nga veprimi i mbrojtjes maksimale me tarimin 1.2 X raportit të fuqisë së transformatorit 80MVA në n/st Bistricë.

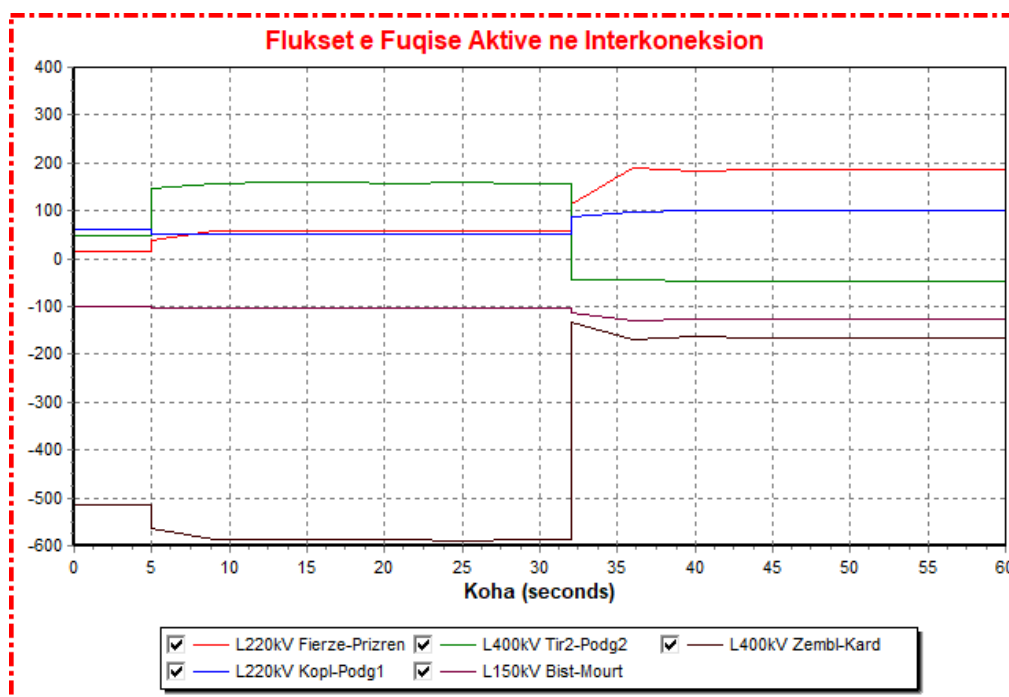


Figura 126 Flukset e fuqisë aktive ne linjat e interkoneksionit

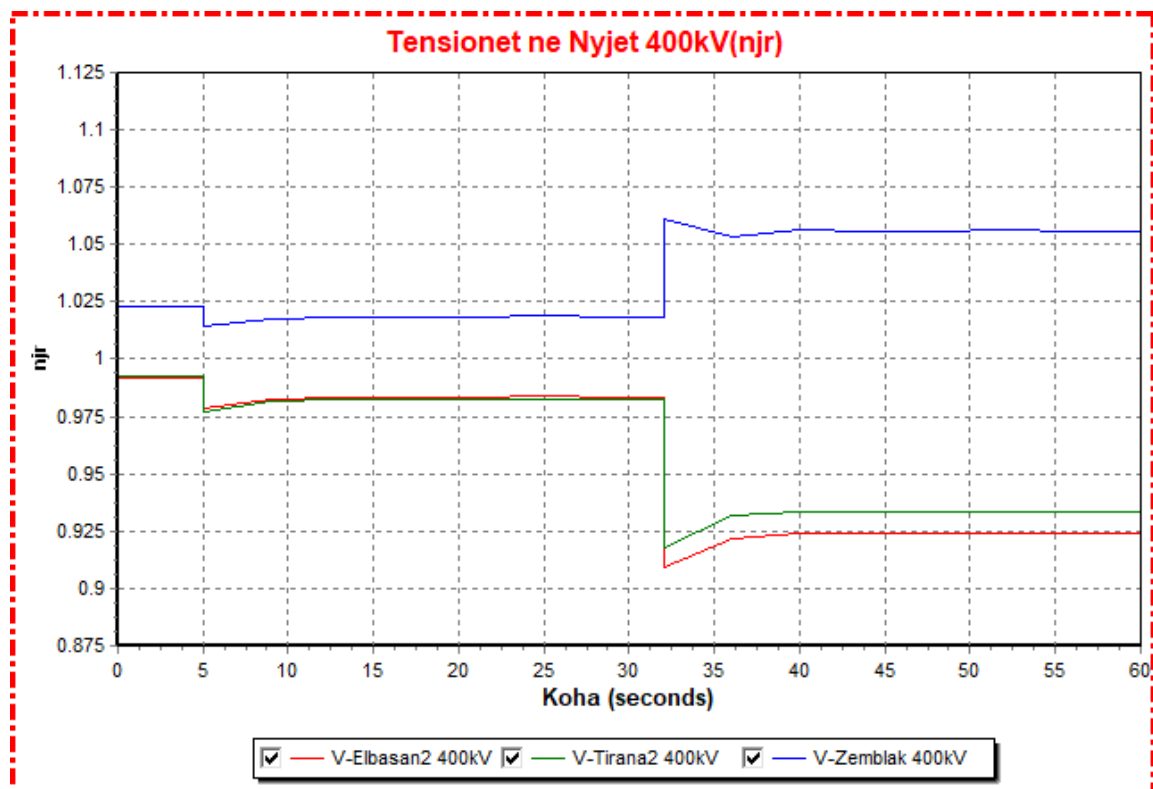


Figura 127 Tensionet ne nyje 400kV per stakimin e linjes 400kV Zemblak-Kardia

Ne Figura 127 vihet re profili i tensionit në nyjet 400kV (Elbasan2, Zemblak, Tirana2), shprehur në njësi relative. Stakimi i parë i linjës 400kV të brendshme në Mal të Zi, sjell rënie tensioni 0.025 njr, ndërsa stakimi i linjës 400kV në rastin N-1-1, të linjës Elbasan2-Zemblak, sjell një rënie tensioni deri në 0.91 njr në n/st Elbasan2. Ndërkohë në n/st Zemblak, duke qenë se mbetet nyje fundore me Sistemin e Greqisë, tensioni në zbarë do të stabilizohet në vlerën 1.06 njr. Sistemi vijon të jetë i qëndrueshëm nga pikëpamja e tensionit.

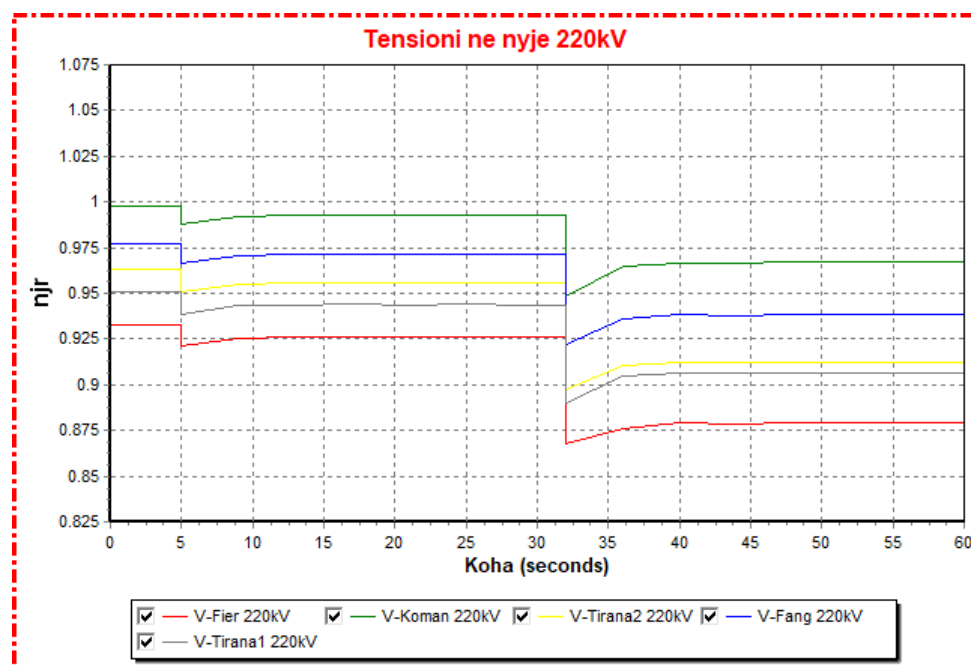


Figura 128 Tensioni ne nyjet 220kV te sistemit Shqiptar

Në Figura 128, ilustrohen vlerat e tensionit në nyjet 220kV, gjatë analizës në skenarin nr.2. Vihet re se në nyjen Fier 220kV do të ndodhë ndryshimi më i madh i vlerave të tensionit, ku pas 2 stakimeve të linjave 400kV, tensioni do të arrijë në vlerën 0.87 njr, e cila është mjaft e ulët për rrjetin 220kV.

Nga ana tjetër në HEC Koman vihet re se tensioni do të ketë ndryshimin më të vogël. Ndryshimet e vlerave të tensionit shpjegohen me distancën që ka secila nyje nga ngarkesa, ku në nyjen Fier 220kV kemi një ngarkesë më të madhe se në nyjet e tjera dhe ka, dhe elektrikisht është më larg nga burimet ose linjat e interkoneksionit.

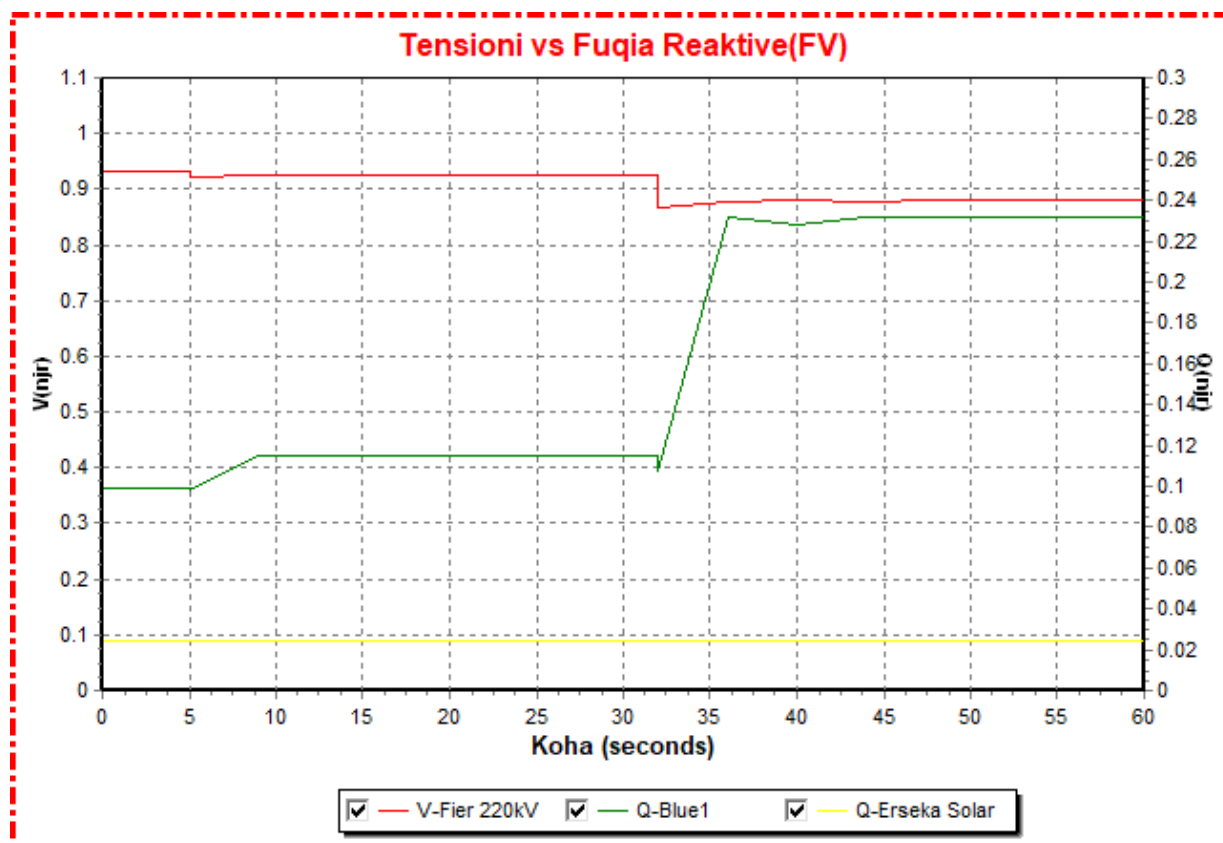


Figura 129 Tensioni dhe Fuqia Reaktive ne impiantet fotovoltaike

Nga observimi i rezultateve të analizës së simulimit dinamik vihet re se çënohen limitet për parametrat më poshtë:

- Flukset e fuqise aktive ne linjën 150kV Bistricë-Mourtos kalon limitin termik (shih Figura 126)
- Tensionet në nyjet 220kV poshtë vlerës 0.9nj.r (shih Figura 128)

### 6.3 Skenari Nr.3: L400kV Zemblak-Kardia (Monita)

Në skenarin Nr.3 është simuluar rasti ku linja HVDC Itali-Mal i Zi, është jashte pune në gjendje N, dhe vijon simulimi me sekuencën si me poshtë:

- t=5 sekonda Sistemi qëndrueshem pa ngacmime;
- t=5 sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevine;
- t=32 sekonda stakohet linja 400kV Zemblak-Kardia;
- t=60 sekonda vijon simulimi pa ngacmime të tjera;

Në Figura 130, tregohen flukset në linjat e interkoneksionit në rast të stakimit të linjave 400kV Podgorica2-Ribarevine (sekonda5) dhe 400kV Zemblak-Kardia(sekonda 32). Vihet re se ndryshimi me rëndësishem do jetë në linjën 400kV Zemblak-Kardia.

Nga rezultatet e analizës mund të vihet re se linjat 400kV dhe 220kV janë brenda limiteve termike, përjashtim përben linja 150kV me Sistemin e Greqisë e cila tejaklon limitin termik dhe mund te arrihet ne konkluzion qe do të stakohet nga veprimi mbrojtjes maksimale me tarimin 1.2 X raportit të fuqisë së transformatorit 80MVA në n/st Bistricë.

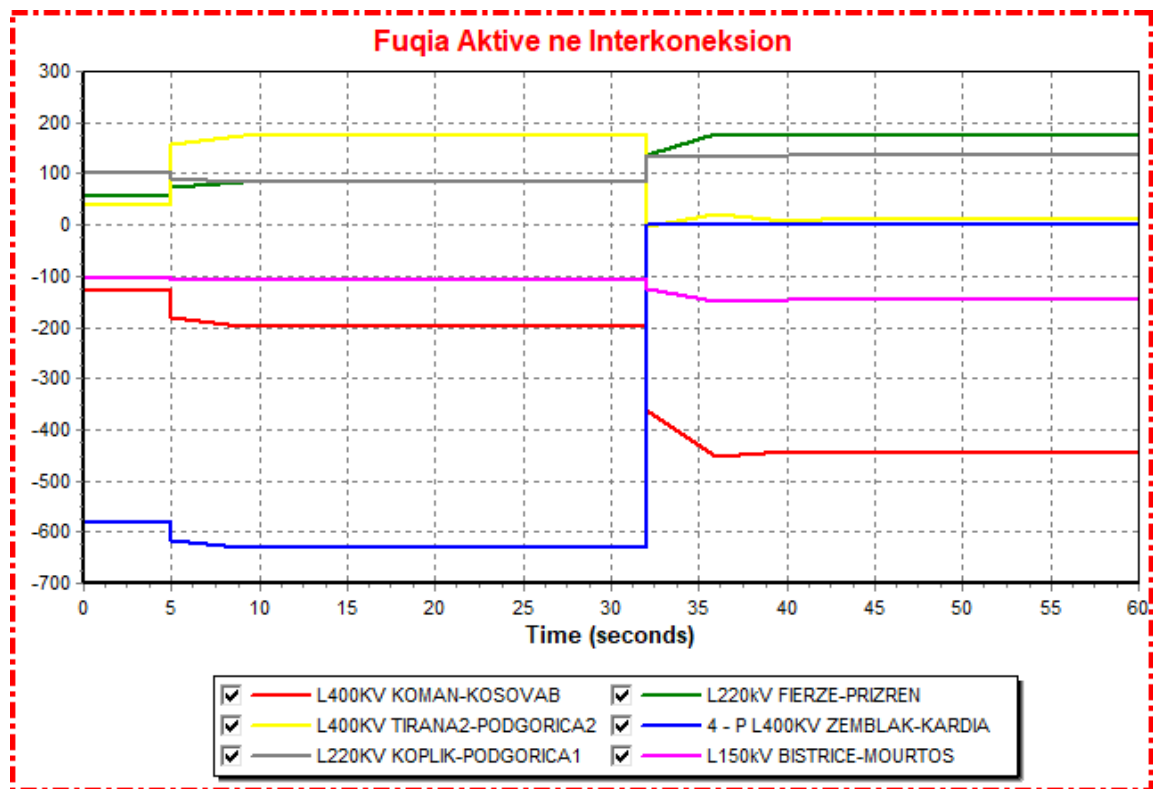


Figura 130 Flukset në linjat e interkoneksionit(MONITA stakuar)

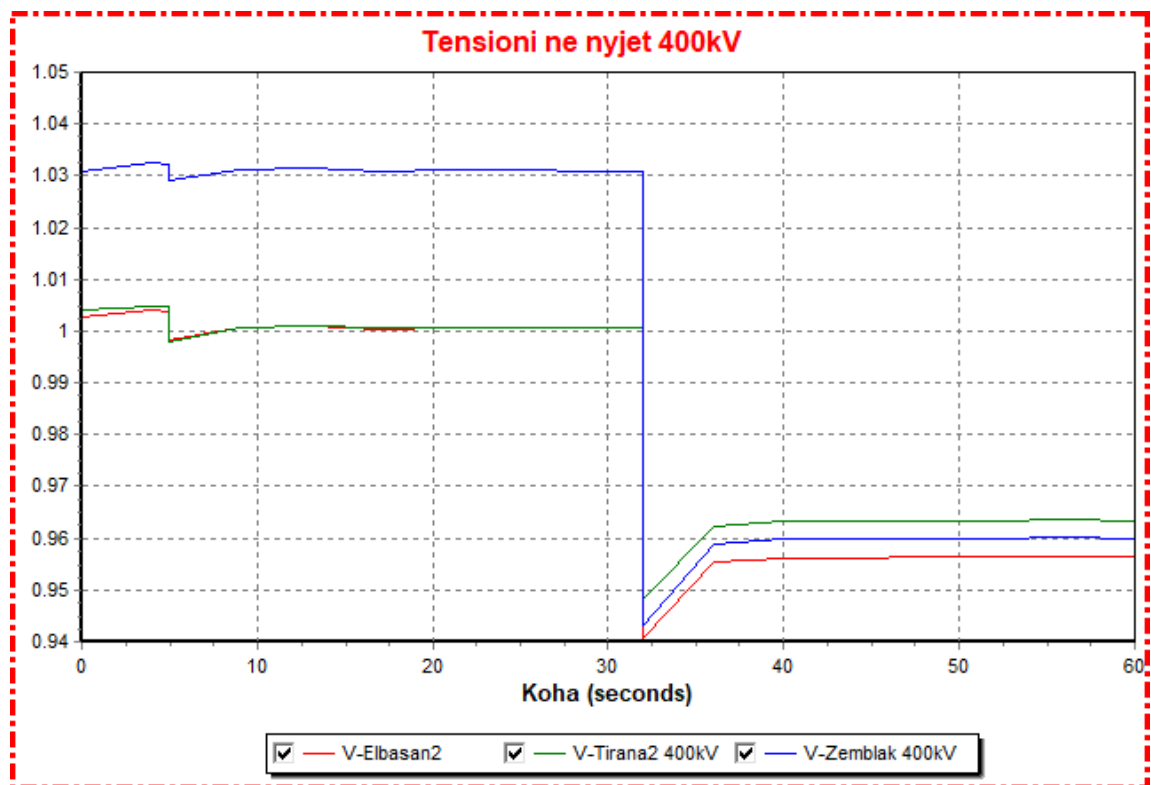


Figura 131 Tensionet ne nyjet 400kV(Monita Stakuar)

Në Figura 131, ilustrohet vlerat e tensionit pas 2 ngacmimeve ne SEE. Dukshëm tensioni në zbarat 400kV rezulton brenda limiteve të operimit të sigurve, ku vlera më e ulët regjistrohet në 0.94njr.

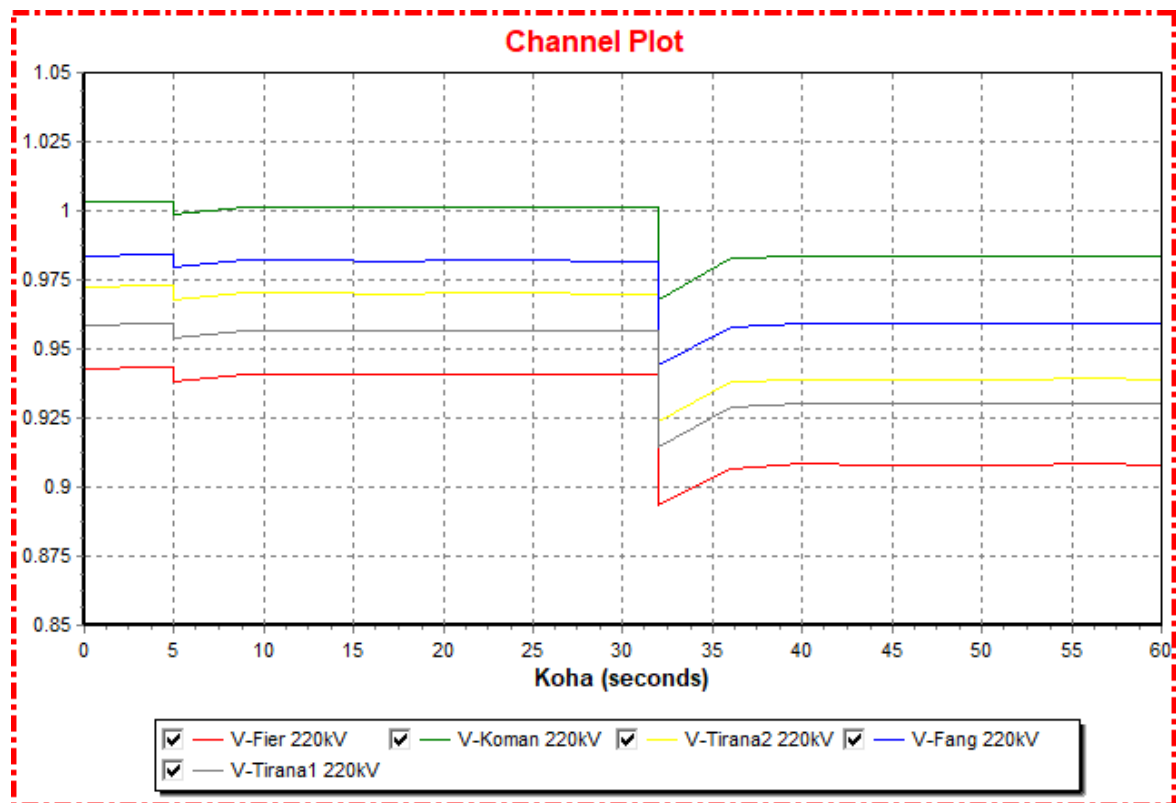


Figura 132 Tensionet në nyjet 220kV(Monita Stakuar)

Në Figura 132, ilustrohen vlerat e tensionit në nyjet 220kV, gjatë analizës në skenarin Nr.3. Vihet re se në nyjen Fier 220kV do të ndodhe ndryshimi me i madhe i vlerave të tensionit, ku pas 2 stakimeve të linjave 400kV, tensioni do të arrijë në vlerën 0.89njr. Nga ana tjetër në HEC Koman vihet re se tensioni do të kete ndryshimin më të vogel. Ndryshimet e vlerave të tensionit shpjegohen me distancën që ka secila nyje nga ngarkesa, ku në nyjen Fier 220kV kemi një ngarkesë më të madhe se në nyjet e tjera dhe elektrikisht është më larg nga burimet ose linjat e interkoneksionit.

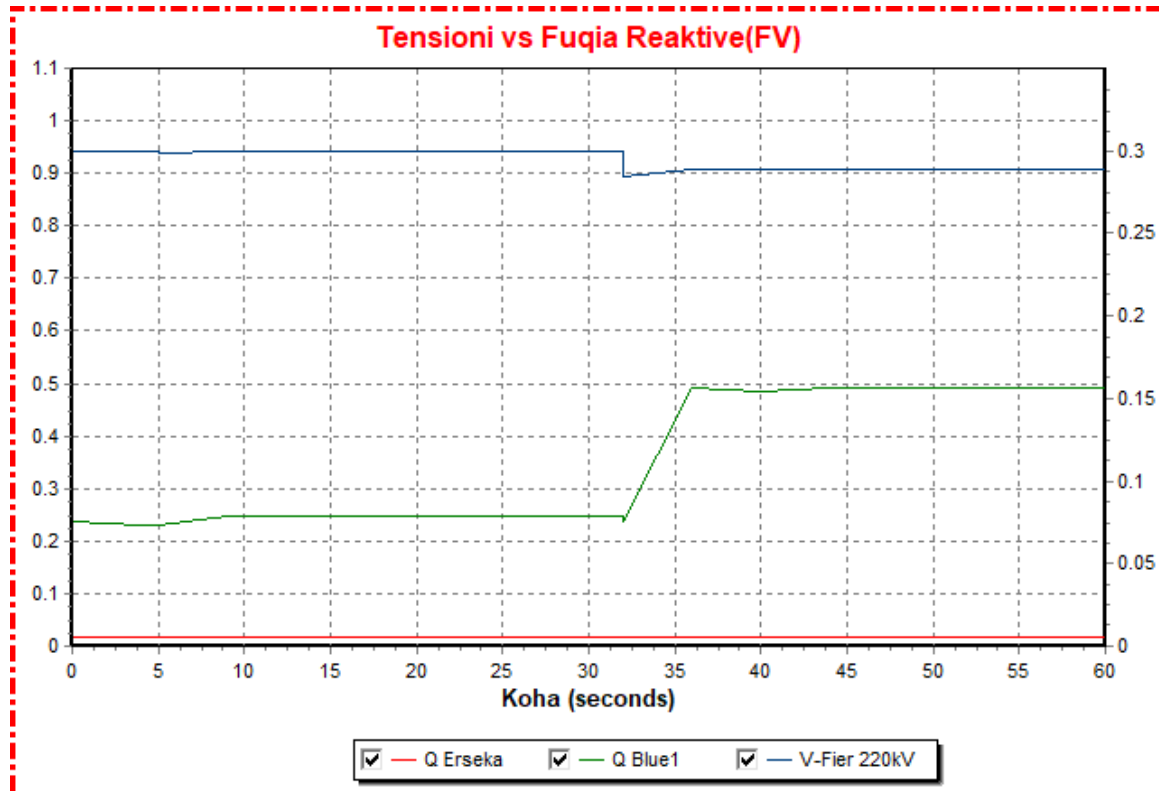


Figura 133 Tensioni dhe fuqia reaktive në impiantet fotovoltaike(Monita Stakuar)

Nga observimi rezultateve të analizës së simulimit dinamik vihet re se cënohen limitet për parametrat më poshtë:

- Flukset e fuqise aktive në linjën 150kV Bistricë-Mourtos kalon limitin termik(shih Figura 130)
- Tensionet ne nyjet 220kV poshtë vleres 0.9nj.r (shih Figura 132)

#### 6.4 Skenari Nr.4: L400kV Tirana2-Podgorica2(Monita)

Në skenarin nr.4 është simuluar një skenar ku linje HVDC Itali-Mal i Zi, është jashtë pune në gjendje N, dhe vijon simulimi si më poshtë:

- t=5 sekonda sistemi qëndrueshem pa ngacmime;
- t=5 sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevine;
- t=32 sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Tirana2;
- t=60 sekonda vijon simulimi pa ngacmime të tjera;

Në Figura 134, tregohen flukset në linjat e interkoneksionit në rast të stakimit të linjave 400kV Podgorica2-Ribarevine(sekonda5) dhe 400kV Podgorica2-Tirana2 (sekonda 32). Vihet re se ndryshimi me rëndësishem do jetë në linjën 400kV Zemblak-Kardia. Dukshëm, në asnjë

nga linjat nuk cënohen limitet e operimit dhe vihet re se sistemi qëndron i sigurtë pa ngacmime te metejshme në pikëpamjen e linjave të interkoneksionit.

Nga rezultatet e analizës mund të vihet re se linjat 400kV dhe 220kV janë brenda limiteve termike, përjashtim përben linja 150kV me Sistemin e Greqisë e cila është ngarkuar pranë limitit të stakimit nga mbrojtja, por nuk plotëson kushtet për veprimin e mbrojtjes.

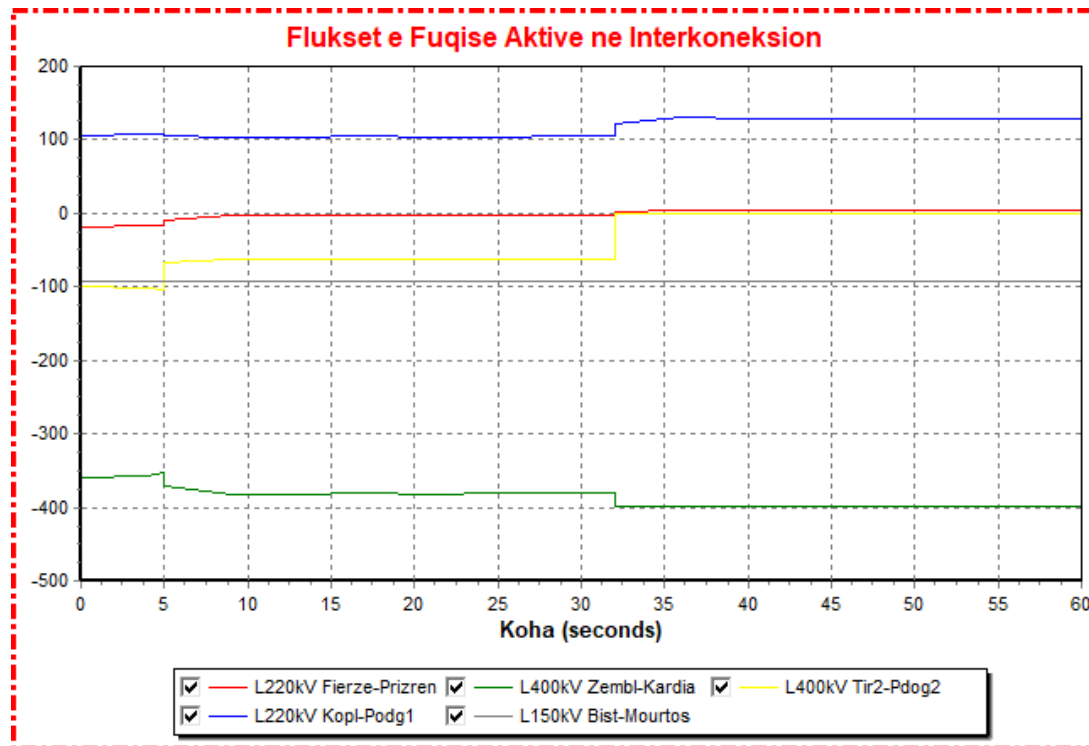


Figura 134 Flukset në linjat e interkoneksionit(MONITA stakuar)

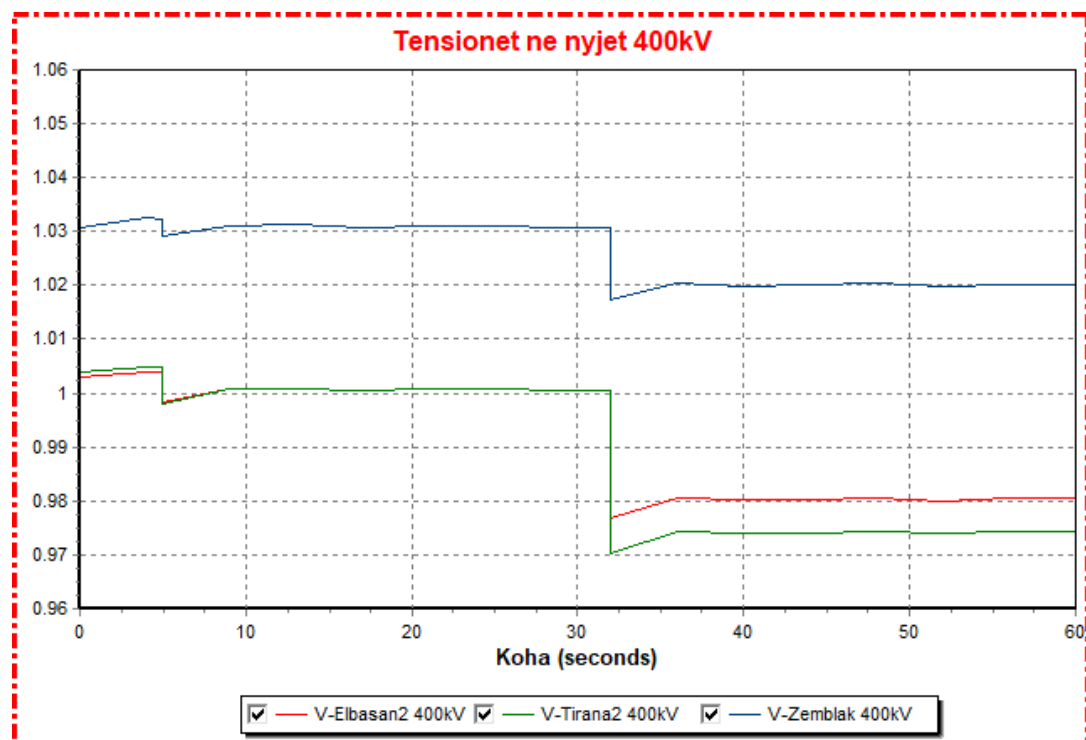


Figura 135 Tensionet në nyjet 400kV(Monita Stakuar)

Në Figura 135, ilustrohet vlerat e tensionit pas 2 ngacmimeve në SEE. Dukshëm tensioni në zbarat 400kV rezulton brenda limiteve të operimit të sigurtë, ku vlera më e ulët regjistrohet në 0.97njr.

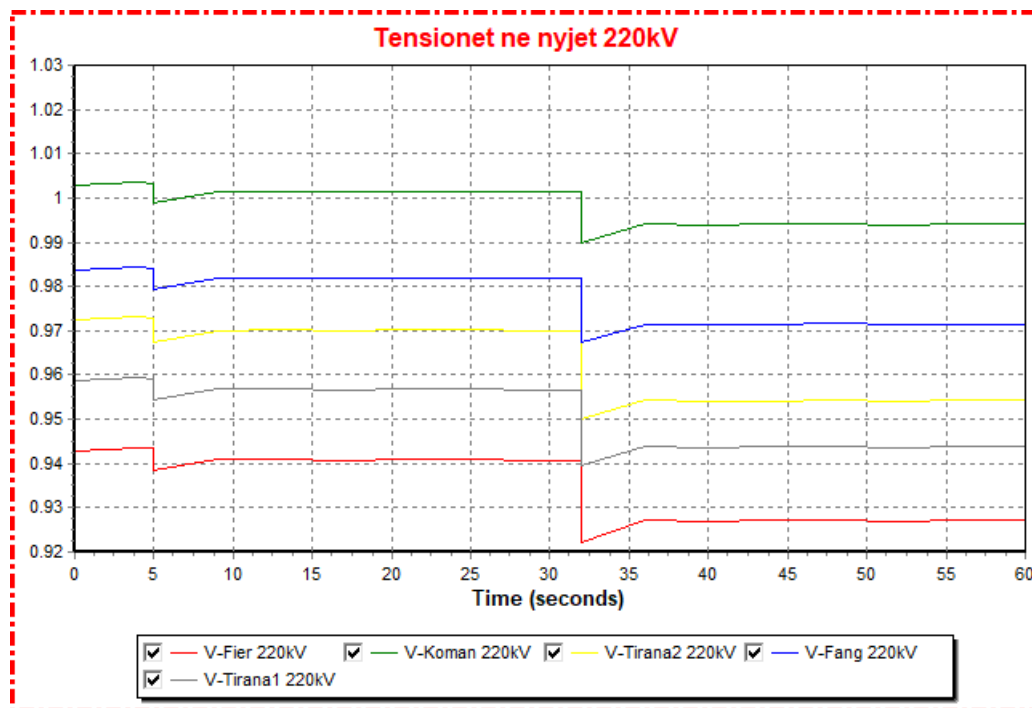


Figura 136 Tensionet në nyjet 220kV(Monita Stakuar)

Në Figura 136, ilustrohen vlerat e tensionit në nyjet 220kV, gjatë analizës në skenarin nr.4. Vihet re se në nyjen Fier 220kV do të ndodhë ndryshimi më i madh i vlerave të tensionit, ku pas 2 stakimeve të linjave 400kV, tensioni do të arrijë në vlerën 0.92njr.

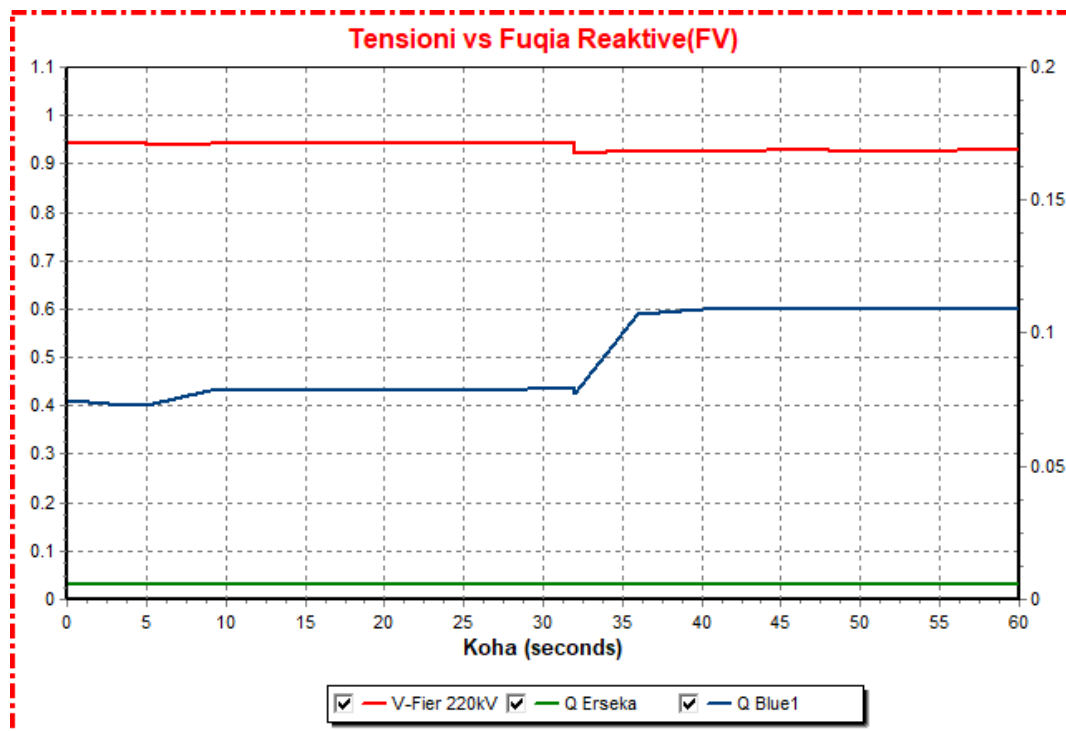


Figura 137 Tensioni vs Fuqia Reaktive (FV)

Nga observimi i rezultateve të analizës së simulimit dinamik vihet re se nuk cenohen limitet e sigurisë së operimit për asnjë nga parametrat e observuar.

### 6.5 Skenari Nr.5: L400kV Tirana2-Elbasan2(Monita)

Në skenarin nr.5 është simuluar një skenar ku linja HVDC Itali-Mal i Zi, është jashtë pune në gjendje N, dhe vijon simulimi si më poshtë.:

- t=5 sekonda Sistemi qëndrueshem pa ngacmime;
- t=5 sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevine;
- t=32 sekonda stakohet linja 400kV Tirana2-Elbasan2;
- t=60 sekonda vijon simulimi pa ngacmime te tjera;

Në Figura 138, tregohen flukset në linjat e interkoneksionit në rast të stakimit të linjave 400kV Podgorica2-Ribarevinë (sekonda 5) dhe 400kV Tirana2-Elbasan2 (sekonda 32). Vihet re se ndryshimi më i rëndësishëm do të jetë në linjën 400kV Zemblak-Kardia dhe linjën 400kV Tirana2-Podgorica2. Dukshëm, në asnjë nga linjat nuk cenohen limitet e operimit dhe vihet re se sistemi qëndron i sigurt pa ngacmime të mëtejshme në pikëpamjen e linjave të interkoneksionit.

Nga rezultatet e analizës mund të vihet re se linjat 400kV dhe 220kV janë brenda limiteve termike, përjashtim përbën linja 150kV me Sistemin e Greqisë e cila është ngarkuar pranë limitit të stakimit nga mbrojtja, por nuk plotëson kushtet për veprimin e mbrojtjes.

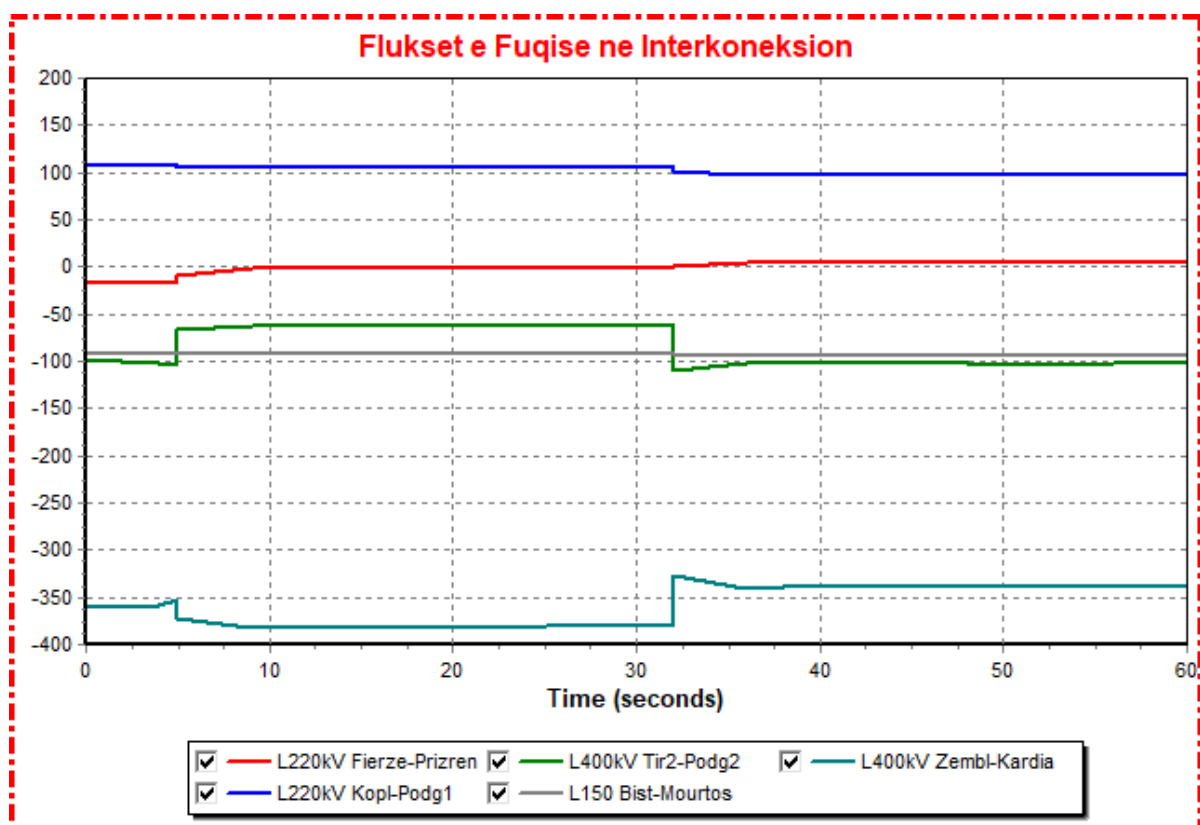


Figura 138 Flukset e fuqisë në interkoneksion(Monita jashte pune)

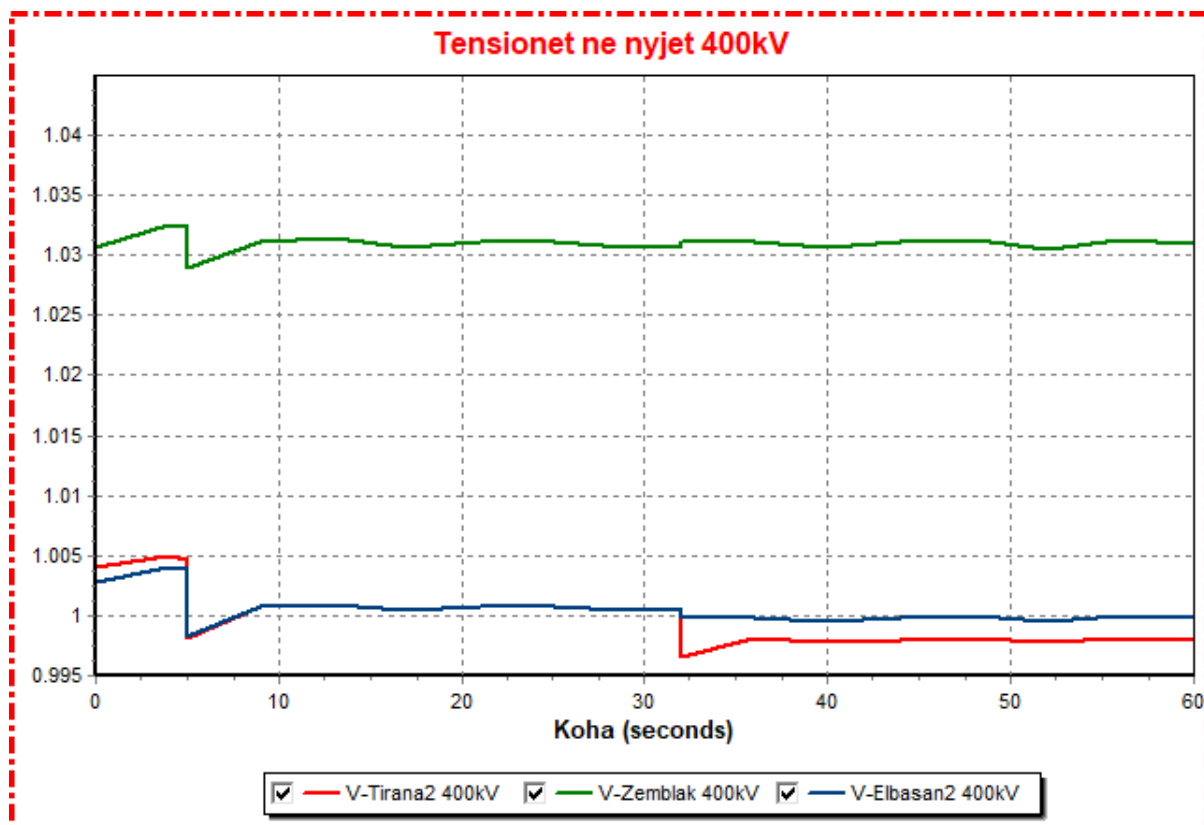


Figura 139 Tensionet në nyjet 400kV (Monita jashte pune)

Figura 139, ilustron tensionet në nyjet 400kV në rast të stakimit të linjës 400kV Tirana2-Elbasan2. Nga analiza rezulton se skenari i simuluar është mjaft i qëndrueshëm dhe nuk paraqet problematika për sigurinë e SEE.

## 6.6 Skenari Nr.6: L400kV Zemblak-Kardia (Skenari FV)

Në skenarin nr.6 është simuluar një skenar ku të gjithë burimet e hidroenergjinë janë jashtë pune. Ndërkohë në SEE Shqiptar ka vetëm burime fotovoltaike dhe vijon simulimi si më poshtë:

- t=5 sekonda Sistemi qëndrueshem pa ngacmime;
- t=5 sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevine;
- t=32 sekonda stakohet linja 400kV Zemblak-Kardia;
- t=60 sekonda vijon simulimi pa ngacmime te tjera;

Në Figura 140, tregohen flukset në linjat e interkoneksionit në rast të stakimit të linjave 400kV Podgorica2-Ribarevinë (sekonda 5) dhe 400kV Zemblak-Kardia (sekonda 32). Vihet re se ndryshimi më i rëndësishëm i flukseve të fuqisë do të jetë në rastin e linjës 400kV Koman-Kosova B.

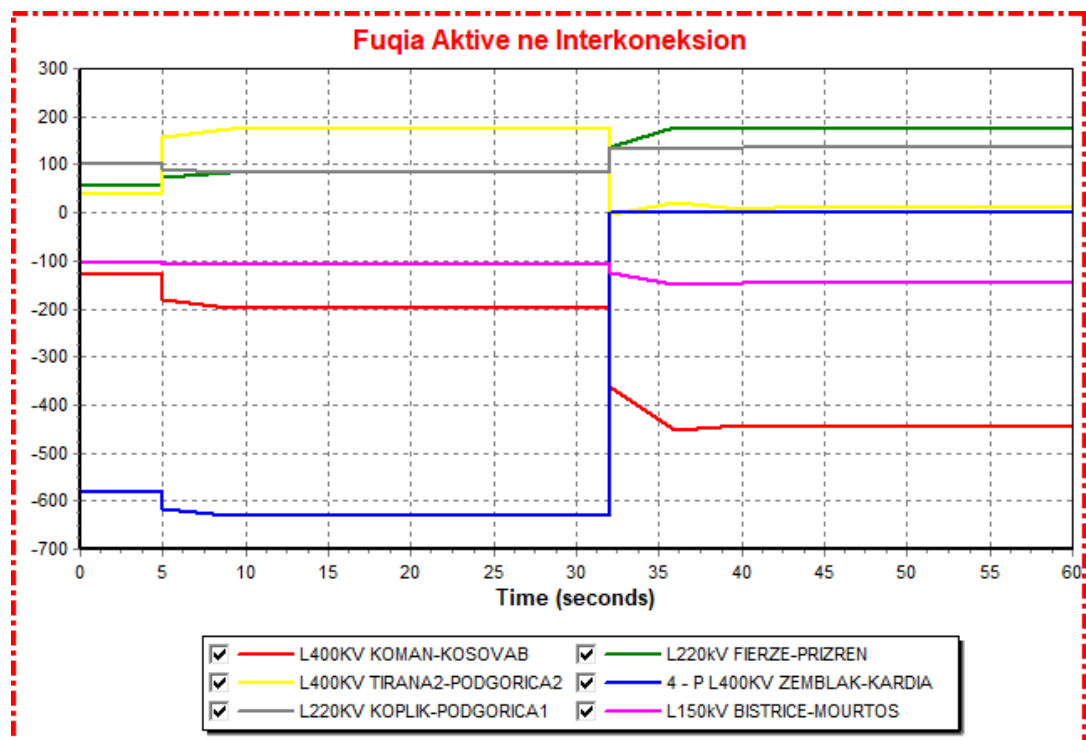


Figura 140 Flukset e Fuqise e aktive ne interkoneksion

Në Figura 141, ilustrohet tensionet në nyjet 400kV, pas stakimit të linjës Zemblak-Kardia. Vihet re se tensionet janë brenda limiteve, me përjashtim të linjës 150kV Bistricë-Mourtos e cila do të stakohet nga mbingarkesa.

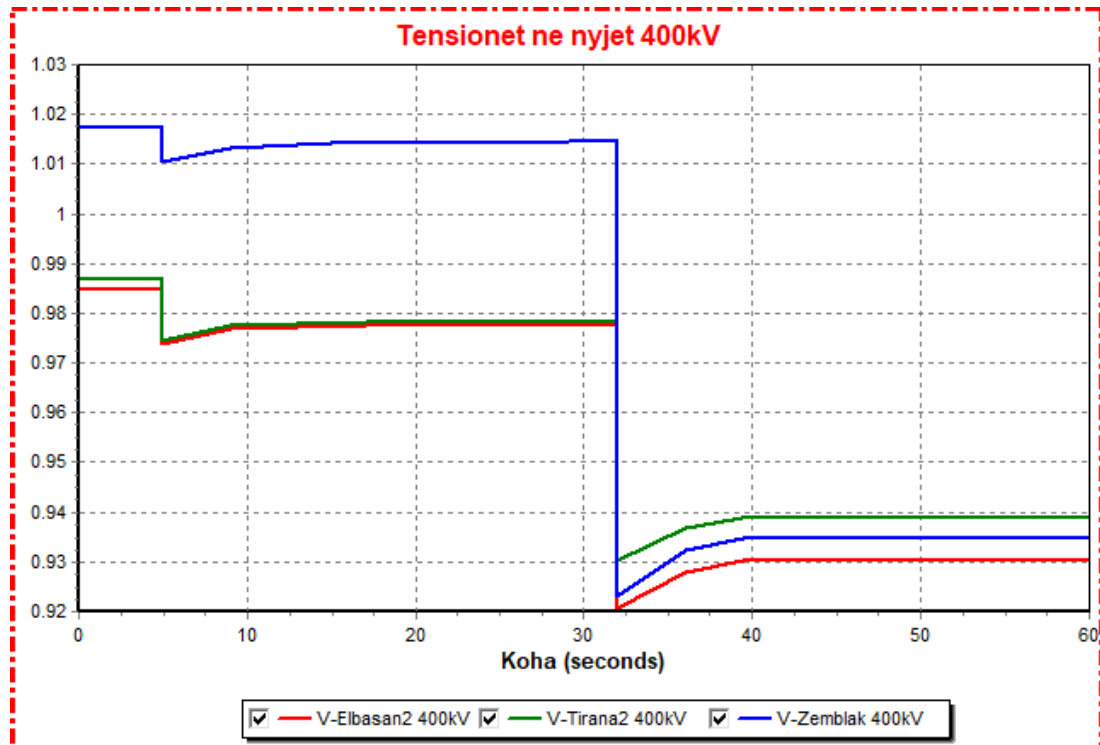


Figura 141 Tensionet ne nyjet 400kV (vetem BRE ne SEE)

## 6.7 Skenari Nr.7: L400kV Zemblak-Kardia(Skenari pajisje kompensimi )

Në skenarin nr.7 është simuluar një skenar ngjashëm me regjimin e datës 21 Qershor 2024, duke simuluar rastin e një pajisjeje kompensuese në Tirana2 në nyjen 400kV. Simulimi është realizuar si më poshtë:

- $t \leq 5$  sekonda Sistemi qëndrueshem pa ngacmime;
- $t=5$  sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevine;
- $t=32$  sekonda stakohet linja 400kV Zemblak-Kardia;
- $t=32$  sekonda kycet pajisja kompensuese ne Tirana2 (bateri me kapacitor)
- $t=60$  sekonda vijon simulimi pa ngacmime te tjera;

Në Figura 142, tregohen vlerat e tensionit në nyjet 400kV, ku mund të dallohet në kohën 32 sekonda të kycjes së pajisjes kompensuese, tensioni rikthehet pranë vlerave të pranueshme për operimin e sigurtë të SEE.

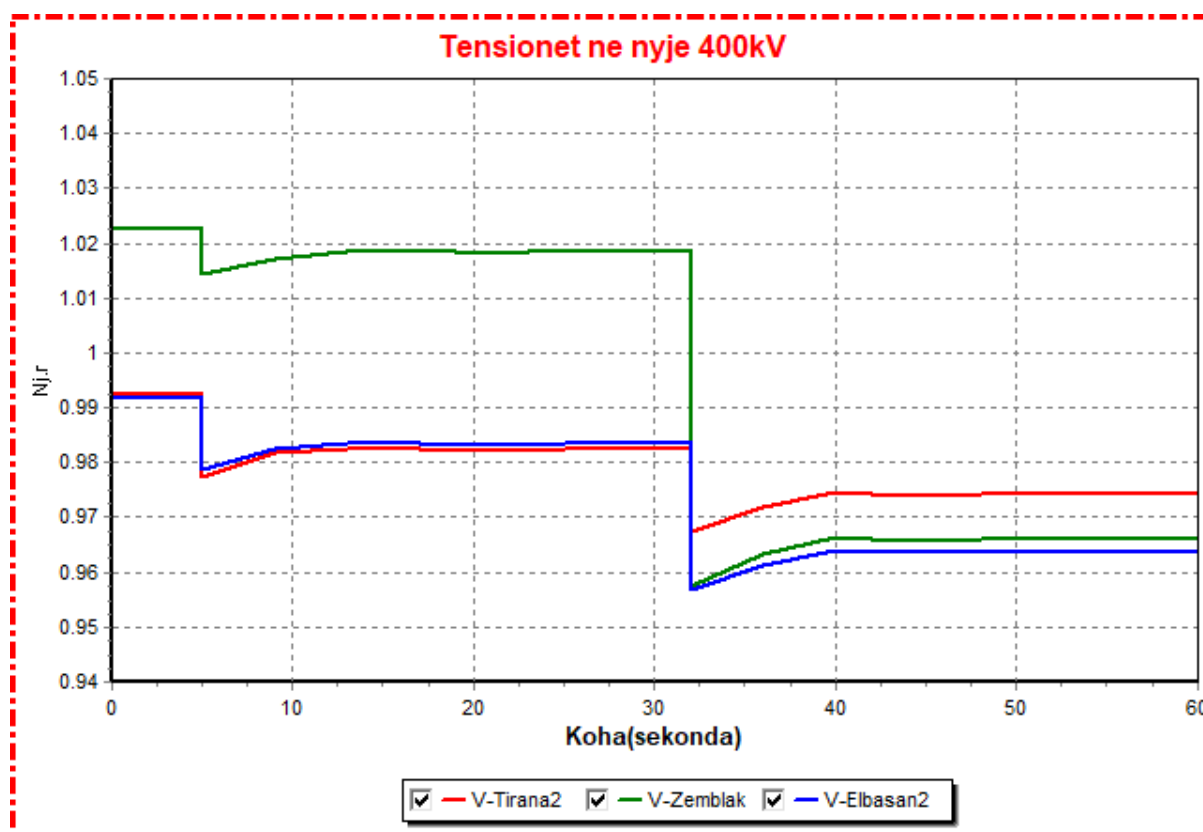


Figura 142 Tensionet ne nyjet 400kV

Në Figura 143, ilustrohen tensionet në nyjet 220kV, ku mund të dallohet vlera e tensionit qëndron brenda limiteve të lejuara nga Kodi i Transmetimit.

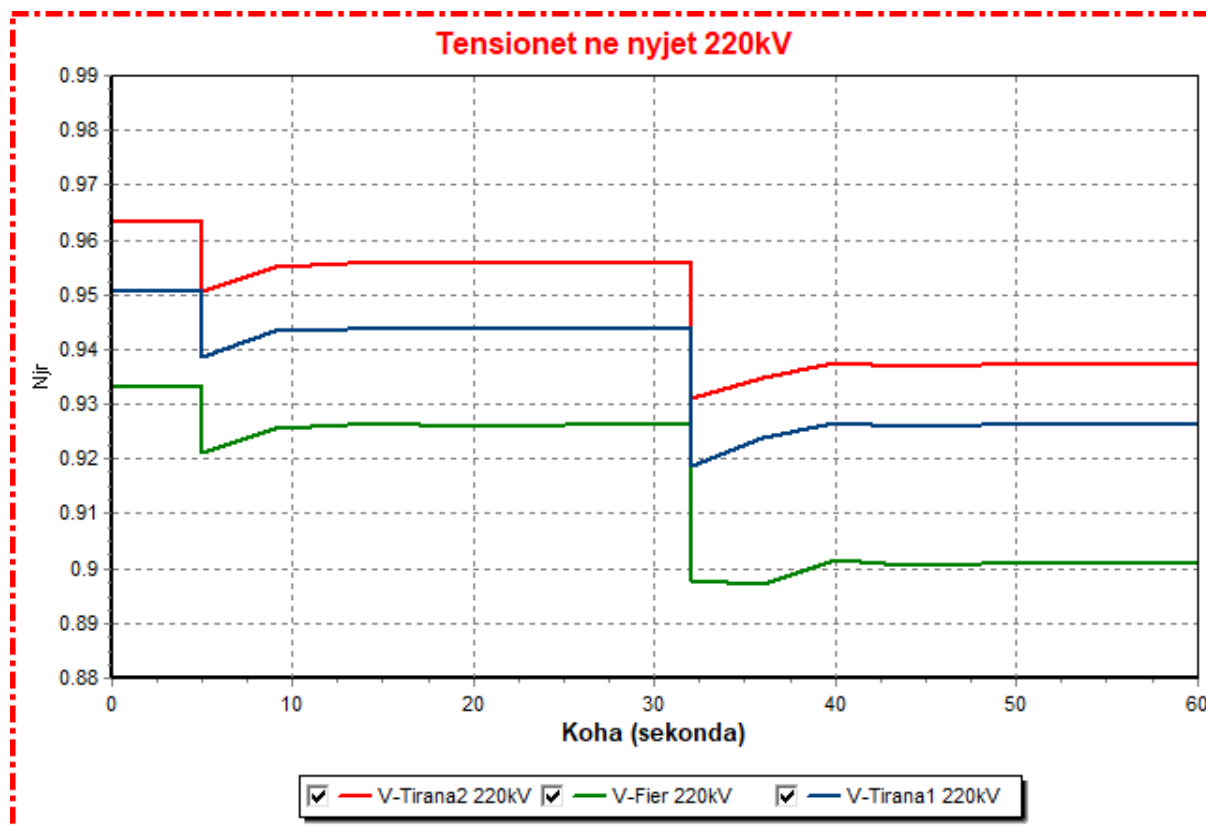


Figura 143 Tensionet ne nyjet 220kV

Në përfundim mund të pohojmë se pajisja për kompensimin e tensionit vendosur dhe dimensionuar në masën 150 Mvar në nyjen 400kV në nënstacionin Tirana2 është mjaft efektive për përmirësimin e tensionit në nyjet.

## 6.8 Skenari Nr.8: L400kV Elbasan2-Zemblak

Në skenarin Nr.8 është simuluar një skenar ngjashëm me regjimin e datës 21 Qershor 2024, duke simuluar rastin e stakimit të linjës 400kV Elbasan2-Zemblak. Simulimi është realizuar si më poshtë:

- $t \leq 5$  sekonda Sistemi qëndrueshem pa ngacmime;
- $t = 5$  sekonda stakohet linja 400kV Podgorica2-Ribarevine;
- $t = 32$  sekonda stakohet linja 400kV Elbasan2-Zemblak;
- $t = 60$  sekonda vijon simulimi pa ngacmime te tjera;

Në Figura 144, tregohen flukset në linjat e interkoneksionit, ku vihet re se përgjithësisht linjat e interkoneksionit nuk tejkalojnë limitin e tyre termik të ngarkimit, me përjashtim të linjës 150kV Bistricë-Mourtos, e cila do të stakohej nga mbrojtja.

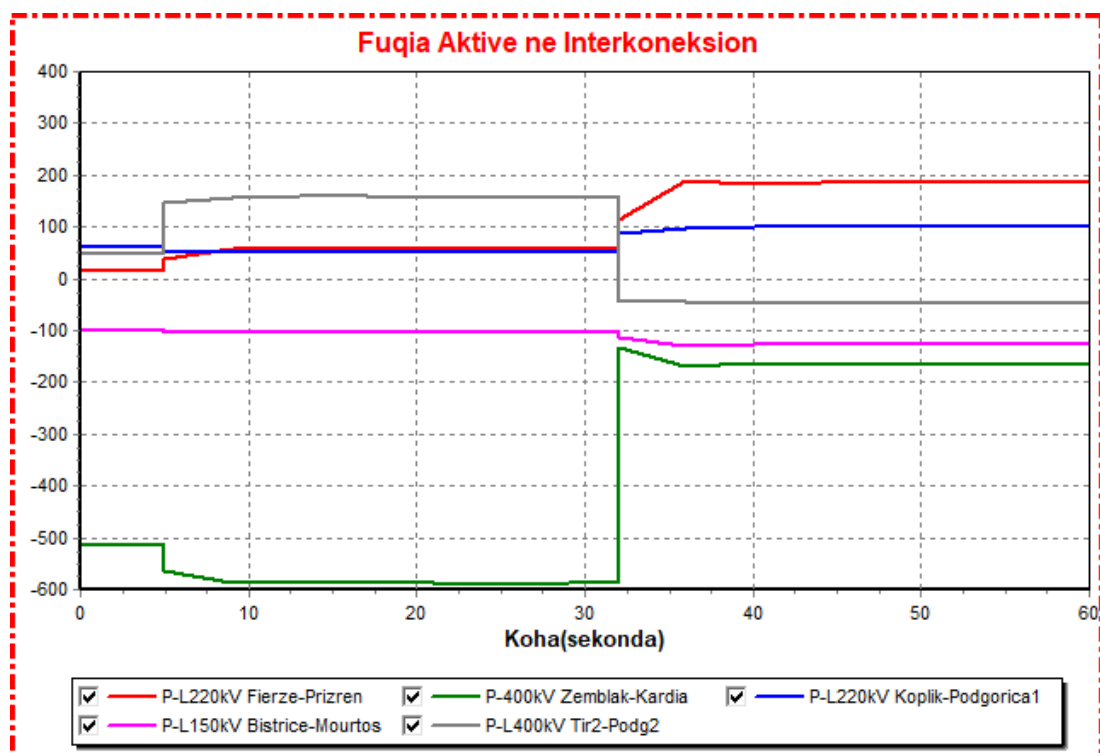


Figura 144 Flukset e Fuqisë e aktive ne interkoneksion

Në Figura 145, tregohen vlerat e tensionit në nyjet 400kV, ku mund të dallohet në çastin 5 sekonda, stakimi i linjës 400kV Podgorica2-Ribarevinë, si pasojë shkaktohet një rënie tensioni 6kV në nyjen Elbasan2, ndërsa në kohën 32 të stakimit të linjës 400kV Elbasan2-Zemblak, rënia e tensionit është 28kV. Përsëri tensioni në nyjet 400kV rezulton brenda intervalit 0.9-1.05 nj.r.

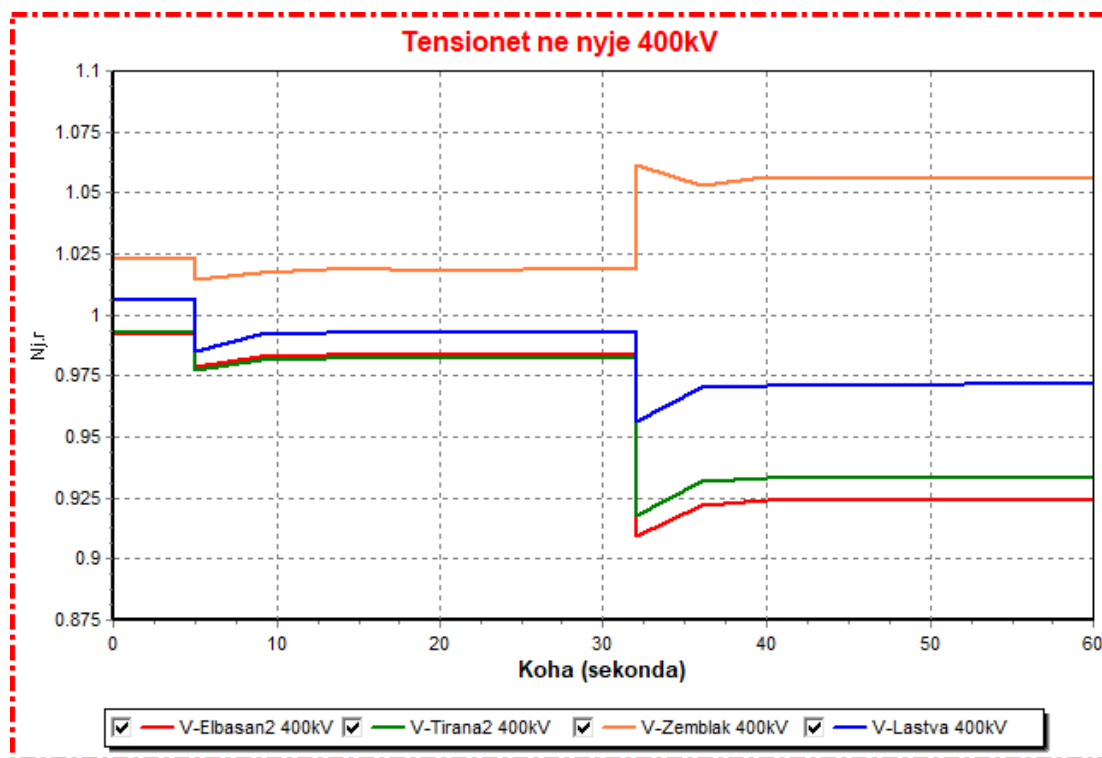


Figura 145 Tensionet ne nyjet 400kV

Në Figura 146, tregohen tensionet në nyjet 220kV, ku dallohet se vlera e tensionit në tre nyje rezulton nën vlerën e pranueshme 0.9 nj.r, respektivisht, nyjet Fier 220kV, Tirana1 220kV dhe Tirana2 220kV.



Figura 146 Tensionet ne nyjet 220kV

Në përfundim mund të themi se për këtë skenar, cenohen sërish dy kriteret:

- Ngarkimi në linjën 150kV Bistricë-Mourtos i cili tejkalon vlerën e limitit termik
- Tensionet në tre nyje 220kV rezultojnë nën vlerën e pranueshme të limitit të poshtëm të tensionit 0.9 nj.r.

---

# KAPITULLI VII

## 7. Konkluzionet

Fillimisht ky punim synon të analizojë kushtet e sigurisë së Sistemit Elektroenergjetik, me një fokus të veçantë në procesin e rënies së Sistemit dhe procedurave të rivendosjes së Sistemit pas black out.

Rezultatet e hulumtimit tregojnë se modernizimi i rrjetit të transmetimit, aplikimi i mjeteve të reja për identifikimin e kushteve të qëndrueshmërisë së SEE, përdorimi i pajisjeve të kompensimit të fuqisë reaktive përbëjnë shtyllat kryesore për garantimin e sigurisë operationale. Në këtë punim u parashtrua një panoramike e përgjithshme mbi gjendjen aktuale të sistemit të prodhimit të energjisë elektrike dhe të sistemit të transmetimit. Bazuar në informacionet e mbledhura sistemi i transmetimit dhe prodhimit po pësojnë ndryshime të shpejta. Sistemi i transmetimit duhet të përgatitet për integrimin e niveleve të larta të impianteve fotovoltaike ose me erë, të cilat kanë një kohë ndërtimi mjaft të shpejtë në raport me kohën e zgjerimit të kapaciteteve transmetuese.

Proçesi i rivendosjes është një element thelbësor i cili garanton reagimin e operatorëve të transmetimit në regjimet pas avari. Operatorët e Transmetimit duhet të jenë të përgatitur me skenarë dhe procedura të mirëpërcaktuara për rivendosjen e sistemit elektroenergjetik.

Në këndvështrimin analitik, në studim analizohen konceptet bazë të rivendosjes së sistemit elektroenergjetik, si qëndrueshmëria në regjimet pas avari, përzgjedhja e njësive gjeneruese me aftësi vetëleshimi (black start), krijimin e ishujve me prani tensioni dhe lidhjen graduale të tyre duke mbajtur një balancë ndërmjet gjenerimit dhe ngarkesës, duke kontrolluar tensionin dhe frekuencën. Modelet e simulimit në softin e simulimeve PSS/E, tregojnë se përzgjedhja e sekuencës së energjizimit të elementeve që futen në operim është vendimtare për të shmangur mbingarkesat dhe luhajtjet e tensionit ose frekuencës. Procesi i rivendosjes gjithashtu përbën një sfidë organizative të jashtëzakonshme, ku në një kohë të shkurtër është e nevojshme të kryhen veprime në nyje të ndryshme të rrjetit, në disa raste në mënyrë të njëkohshme ose në raste të tjera në sekuencë të mirëpërcaktuar, çka do të thotë se përdorimi i komandimit në distancë në disa nënstacione përbën një avantazh të madh nga pikëpamja organizative duke eliminuar vonesat nga personeli operativ.

Eksperienca e rasteve të rënies së sistemit në vendet e tjera, gjithashtu është analizuar duke nxjerrë mësimet të vlefshme për parandalimin dhe menaxhimin e incidenteve në Sistemin Shqiptar. Krahasimi i rasteve të rënies, nxjerr në pah se shkaqet kryesore janë vegjetacioni, kushtet atmosferike, dëmtime të përcjellësve në linjat e transmetimit.

Nga këndvështrimi praktik dhe institucional, rëniet e sistemeve në vendet e tjera kanë nxjerrë disa rekomandime:

1. Kontroll i vegjetacionit në afërsi të linjave të transmetimit
2. Sisteme të vlerësimit të qëndrueshmërisë në aspektet e tensionit dhe frekuencës
3. Nevoja për plane të koordinuara rivendosjeje, të bazuara në skenarë realë dhe të testuara në mënyrë periodike.

4. Forcimi i mekanizmave të komunikimit ndërmjet Operatorëve të transmetimit, pasi vonesat ose mungesa e shkëmbimit të informacionit shpesh përkeqësojnë avaritë.
5. Investime në mbrojtje dhe automatizim, si sistemet WAMS/PMU dhe skemat e mbrojtjes speciale (SHAF/SHAM/SHAG), që rrisin aftësinë për të identifikuar dhe izoluar defektet në kohë reale.

Për Shqipërinë dhe OST sh.a. dhe për studiues të ndryshëm, rasti i rënies në sistemin Shqiptar ofron një “laborator real” prej të cilit mund të nxirren udhëzime për parandalimin e ngjarjeve të ngjashme dhe për rritjen e besueshmërisë së Sistemit Elektroenergetik.

Risi e punimit, dhe e simulimeve të arritura ishte përshtatja e kohës dhe mundësia që të ofrojnë softet e sotme të simulimit, për realizimin e simulimeve në rrafsh të ndryshme kohore.

Gjithashtu një nga objektivat më të rëndësishëm, ishte krijimi dhe validimi i modelit dinamik në softin llogaritës PSS/E duke përfshirë dhe vendet e rajonit të Evropës Juglindore dhe më gjerë. Modeli në softin llogaritës u përshtat për simulimin afatgjatë të qëndrueshmërisë së tensionit, duke rakorduar kohën e simulimit me kohën e matjeve në kohë reale nga sistemi SCADA në OST sh.a. Si rrjedhojë u arrit një përafrim i kënaqshëm i rikrijimit “post mortem” të ngjarjes së datës 21 Qershor 2024, duke realizuar simulimet dhe krahasimin me matjet SCADA, në intervale 4 sekonda.

Po i njëjti model u përdor për të analizuar skenarë të ngjashëm të incidenteve në kushte N-2, si më poshtë:

*Tabela 18 Përmbledhja e skenareve të analizuar në softin PSS/E*

| SKENARET      |                                                     | STATUSI                | KRITERI QË CËNOHET                                                                                                                                                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Skenari Nr.1: | Validimi i modelit me ndodhinë e datës 21/06/2024   | Skenar i paqëndrueshëm | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tensionet në nyjet 400kV dhe 220kV rezultojnë nën vlerën 0.9 nj.r.</li> </ul>                                                                               |
| Skenari Nr.2: | L 400kV Elbasan2-Zemblak (Monita jashtë pune)       | Skenar i paqëndrueshëm | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flukset e fuqisë aktive në linjën 150kV Bistrice-Mourtos kalon limitin termik</li> <li>Tensionet në nyjet 220kV rezultojnë nën vlerën 0.9 nj.r.</li> </ul>  |
| Skenari Nr.3: | L400kV Zemblak-Kardia (Monita jashtë pune)          | Skenar i paqëndrueshëm | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flukset e fuqisë aktive në linjën 150kV Bistrice-Mourtos kalon limitin termik</li> <li>Tensionet në nyjet 220kV rezultojnë nën vlerën 0.9 nj.r.</li> </ul>  |
| Skenari Nr.4: | L400kV Tirana2-Podgorica2 (Monita jashtë pune)      | Skenar i qëndrueshëm   | -                                                                                                                                                                                                  |
| Skenari Nr.5: | L400kV Tirana2-Elbasan2 (Monita jashtë pune)        | Skenar i qëndrueshëm   | -                                                                                                                                                                                                  |
| Skenari Nr.6: | L400kV Zemblak-Kardia (Skenari FV )                 | Skenar i qëndrueshëm   | -                                                                                                                                                                                                  |
| Skenari Nr.7: | L400kV Zemblak-Kardia (Skenari pajisje kompensimi ) | Skenar i qëndrueshëm   | -                                                                                                                                                                                                  |
| Skenari Nr.8: | L400kV Elbasan2-Zemblak                             | Skenar i paqëndrueshëm | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flukset e fuqisë aktive në linjën 150kV Bistrice-Mourtos kalon limitin termik.</li> <li>Tensionet në nyjet 220kV rezultojnë nën vlerën 0.9 nj.r.</li> </ul> |

---

Në vijim, në 4 skenarë të ndryshëm u provua ndjeshmëria e kabëllit Monita në aspektin e tensionit, ku në gjendje N, kabëlli Monita u konsiderua i stakuar. Analiza vijoi me kontigjenca N-2 duke observuar vlerat e tensionit në rrjet. Në skenarët 2, 3, 4 dhe 5, vihet re se edhe nëse kabëlli me rrymë të vazhduar Itali-Mal i Zi do të ishte i stakuar, përsëri nuk do të kishte ndikim në qëndrueshmërinë e tensionit për rajonin e Ballkanit. Ky pohim suportohet edhe në skenarin Nr. 8, ku kabëlli Itali-Mal i Zi vendoset në punë, ngjashëm me skenarin 2, sistemi rezulton i paqëndrueshëm. Në formë më të përmbledhur mund të dallojmë:

- Ndërprerja e linjës 400kV Elbasan2-Zemblak ose 400kV Zëmbak-Kardia, krijon kushte paqëndrueshmërie të SEE, në terma të tensionit në nyjet 220kV ose 400kV.
- Në çdo rast linja 150kV Bistricë-Mourtos do të mbingarkohet, fakt i cili tregon mbi ekzistencën e një kongjestioni sistematik në interkoneksionin 150kV AL-GR. Në planet e saj OST sh.a. ka në proces një linjë të re 400kV Fier-Arachtos si dhe linjën 400kV Elbasan3-Bitola. Linja me Maqedoninë përforcon lidhjet interkonektive me rrjetin rajonal të energjisë elektrike, duke krijuar kushte për shkëmbime tregtare dhe tranzitime pa kufizim të energjisë elektrike në rajon, zhvillon rrjetin 400kV në zonën Jugore të Shqipërisë ku parashikohen të zhvillohen burimet e ardhshme të prodhimit të energjisë elektrike, dhe si pjesë e infrastrukturës së Korridorit të Tetë Evropian. Për shkak të flukseve të larta tranzit në drejtimin GR->AL, duhet analizuar mundësia e fuqizimit të mëtejshëm të lidhjes 150kV AL-GR, pasi operimi paralel i rrjetave 400kV, 110kV në anën Shqiptare dhe 150kV në palën Greke do të jetë gjithmonë i shoqëruar me mbingarkime, sidomos në rastet e ndërprerjes së linjave 400kV AL-GR.

## **PLANET PËR TË ARDHMEN**

Duke pasur parasysh zhvillimet e reja në sistemin Elektroenergjetik Shqiptar, kryesisht në anën e impianteve të prodhimit të energjisë elektrike, në të ardhmen planifikohet të studiohet mundësia e integritit të programeve të përdorura për analizën e qëndrueshmërisë së tensionit duke automatizuar llogaritjen më tej nëpërmjet integritit të të dhënave online, duke krijuar një mjet për analizë në kohë reale.

---

## 8. Literatura

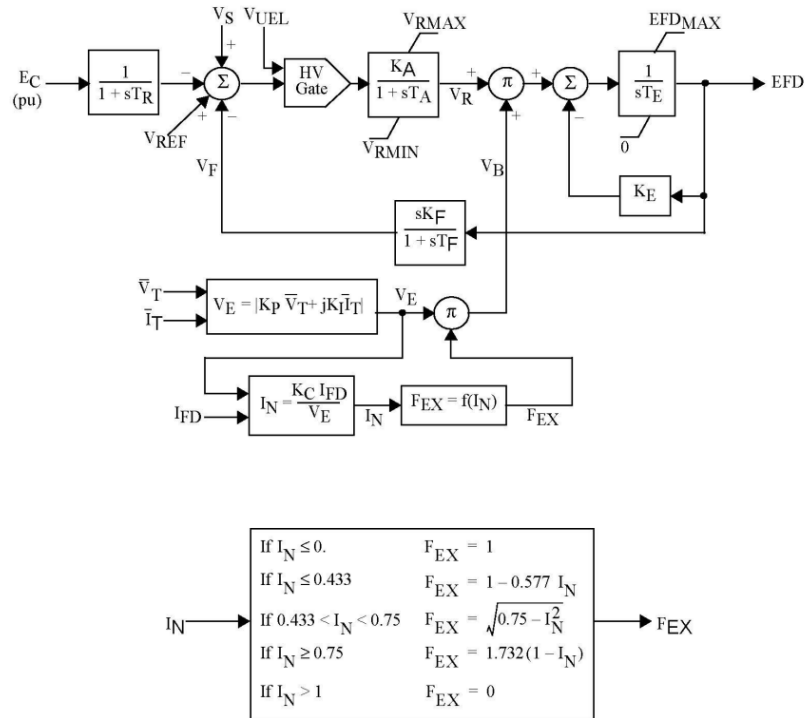
- [1] ‘LIGJ Nr. 43/2015 PËR SEKTORIN E ENERGJISË ELEKTRIKE’.
- [2] ‘Raporti Vjetor ERE 2020’.
- [3] ‘Raporti Vjetor ERE 2021’.
- [4] ‘Raporti Vjetor ERE 2022’.
- [5] ‘Raporti Vjetor ERE 2023’.
- [6] ‘Raporti Vjetor OST sh.a. 2022’.
- [7] ‘Raporti Vjetor 2023 OST’.
- [8] Elio Voshtina, Andi Hida, Marialis Çelo, and Rajmonda Buhajoti, ‘Assessment of the current operational security in the view of absorption of high PV generation in the Albanian Transmission Network’.
- [9] ‘Shqipëria 2030 Strategjia Kombëtare e Energjisë 2018–2030’.
- [10] ‘LIGJ Nr. 7/2017 PËR NXITJEN E PËRDORIMIT TË ENERGJISË NGA BURIMET E RINOVUESHME’.
- [11] ‘Programi-10-Vjecar-i-Zhvillimit-te-Transmetimit.pdf’.
- [12] ‘TYNDP 2024 ENTSO-E’.
- [13] ‘Regulation (EC) No 714/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on conditions for access to the network for cross-border exchanges in electricity’.
- [14] João GORENSTEIN DEDECCA, Trinomics and Mohammad ANSARIN, Trinomics, ‘Increasing Flexibility in the EU Energy System’.
- [15] Chloé Le Coq, Anna Rita Bennato, Daniel Duma, and Ewa Lazarczyk, ‘FLEXIBILITY IN THE ENERGY SECTOR’.
- [16] ‘Pershkrimi rrjetit te transmetimit OST sh.a’. [Online]. Available: <https://ost.al/sistemi-i-transmetimit/pershkrimi-i-sistemit-te-transmetimit/>
- [17] ‘Master Plani OST 2018-2033’.
- [18] T. Cutsem and C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*. in SpringerLink Bücher. Boston, MA: Springer US, 2008. doi: 10.1007/978-0-387-75536-6.
- [19] P. S. Kundur, *Power system stability and control*, Nachdr. New York: McGraw-Hill, 2000 AD.
- [20] J. Machowski, J. W. Bialek, and J. R. Bumby, ‘Power System Dynamics. Stability and Control’, Jan. 2012.
- [21] ‘PowerFactory Technical Reference Overhead Line models 2025’.
- [22] Sylvain AUPETIT (RTE-FR), Martin POKLUDA (CEPS-CZ, ‘ENTSO-E SG PROTECTION EQUIPMENT System protection behavior and settings during system disturbances REVIEW REPORT’.
- [23] ‘ENTSO-E Proposal for the Regional Coordination Centres’ task “Training and certification of staff” in accordance with Article 37(1)(g) of the Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity’.
- [24] Karsten Neuhoff, Benjamin F. Hobbs, and David Newbery, ‘Congestion Management in European Power Networks: Criteria to Assess the Available Options’.
- [25] R. Rudervall, J. Charpentier, and R. Sharma, ‘High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Systems Technology Review Paper’, *Proc Energy Week*, Jan. 2000.
- [26] S. Azad, M. M. Amiri, and M. T. Ameli, ‘Contingency ranking for timely power system security assessment using a new voltage-angle index and based on the PMU data’, *J. Energy Manag. Technol.*, vol. 4, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.22109/jemt.2019.169696.1151.

- 
- [27] CIGRE WG, ‘Protection Challenges and Practices for Interconnecting Inverter Based Resources to Utility Transmission Systems’.
  - [28] T. Ackermann, Ed., *Wind Power in Power Systems*, Repr. Chichester: Wiley, 2009.
  - [29] H. Holttinen, M. R. Milligan, and E. Ela, *Design and operation of power systems with large amounts of wind power: final report, IEA Wind Task 25, Phase One, 2006-2008*. Espoo, Finland: VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.
  - [30] G. Strbac, ‘Demand side management: Benefits and challenges’, *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4419–4426, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.enpol.2008.09.030.
  - [31] C. Fernandez del Valle and E. Taibi, *Demand-side flexibility for power sector transformation*. 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.33895.60327.
  - [32] D. Callaway and I. Hiskens, ‘Achieving Controllability of Electric Loads’, *Proc. IEEE*, vol. 99, pp. 184–199, Feb. 2011, doi: 10.1109/JPROC.2010.2081652.
  - [33] J. Mathieu, S. Koch, and D. Callaway, ‘State Estimation and Control of Electric Loads to Manage Real-Time Energy Imbalance’, *Power Syst. IEEE Trans. On*, vol. 28, pp. 430–440, Feb. 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2204074.
  - [34] M. Dreidy, H. Mokhlis, and S. Mekhilef, ‘Inertia response and frequency control techniques for renewable energy sources: A review’, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.170.
  - [35] CIGRE Technical Brochure, ‘Power system restoration accounting for a rapidly changing power system and generation mix’. Aug. 2023.
  - [36] Q. Chen and J. McCalley, ‘McCalley, J.: Identifying high risk N-k contingencies for online security assessment. IEEE Trans. Power Syst. 20(2), 823-834’, *Power Syst. IEEE Trans. On*, vol. 20, pp. 823–834, June 2005, doi: 10.1109/TPWRS.2005.846065.
  - [37] M. Panteli and P. Mancarella, ‘Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies’, *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 127, pp. 259–270, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.epsr.2015.06.012.
  - [38] International Council on Large Electric Systems, Ed., *Power system restoration accounting for a rapidly changing power system and generation mix*. in Technical brochure / CIGRE, no. 911. Paris, France: CIGRE, 2023.
  - [39] Conseil international des grands réseaux électriques, Ed., *System restoration procedure and practices*. Paris: Cigré, 2017.
  - [40] ‘Final Report System Disturbance on 4 November 2006 union for the co-ordination of transmission of electricity’.
  - [41] H. Saadat, *Power system analysis*, 3rd ed. United States: PSA Pub., 2010.
  - [42] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheblé, *Power generation, operation and control*, Third edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2014.
  - [43] ‘Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation (SOGI)’.
  - [44] Commission Regulation (EU), ‘Regulation 2016/631 Establishing a network code on requirements for grid connection of generators’. Apr. 14, 2016.
  - [45] L. Hirth and I. Ziegenhagen, ‘Balancing power and variable renewables: Three links’, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 1035–1051, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.180.
  - [46] ‘Limited frequency sensitive mode’. ENSTO-E, 2018.
  - [47] V. Ajjarapu, *Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control*. 2007. doi: 10.1007/978-0-387-32935-2.
  - [48] M. EL-Shimy, *Dynamic Security of Interconnected Electric Power Systems - Volume 2: Dynamics and stability of conventional and renewable energy systems*. 2015.
  - [49] S. A. de Graaff, ‘Power system restoration – World practices & future trends’.
-

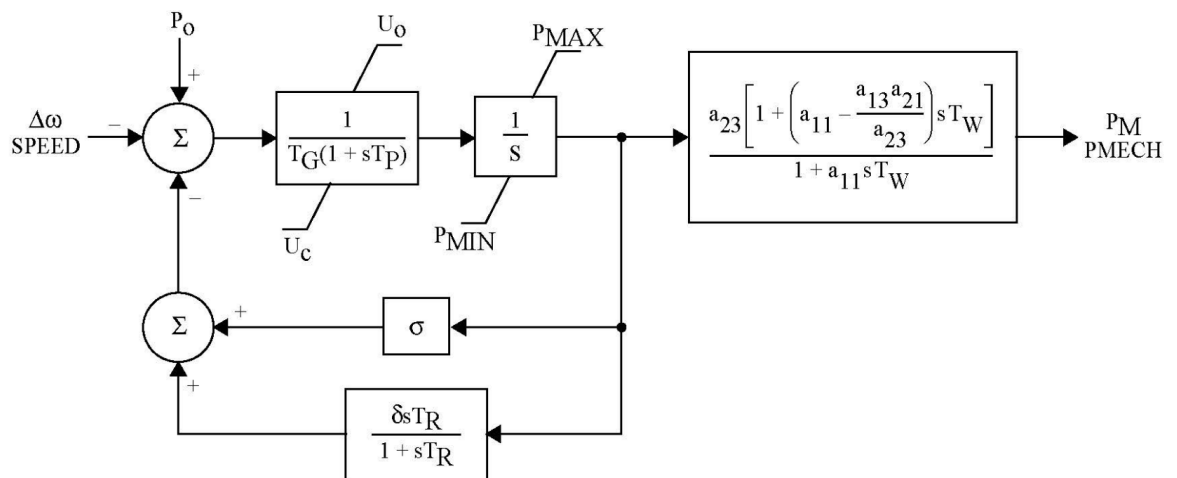
- 
- [50] N. Kadel, W. Sun, and Q. Zhou, ‘On battery storage system for load pickup in power system restoration’, in *2014 IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition*, National Harbor, MD, USA: IEEE, July 2014, pp. 1–5. doi: 10.1109/PESGM.2014.6939481.
- [51] ‘ENTSO-E Transparency Website’. [Online]. Available: <https://transparency.entsoe.eu/>
- [52] E. Voshtina, G. Dume, M. Çelo, R. Buhajoti, and D. Shaliu, ‘Optimizing Net Transfer Capacity Calculation in Albania and the shift towards coordinated approaches between Western Balkans Transmission System Operators’, *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–13, June 2024, doi: 10.13044/j.sdewes.d12.0509.



## Sistemi i eksitimit – ESST2A



## Rregullatori i shpejtësisë

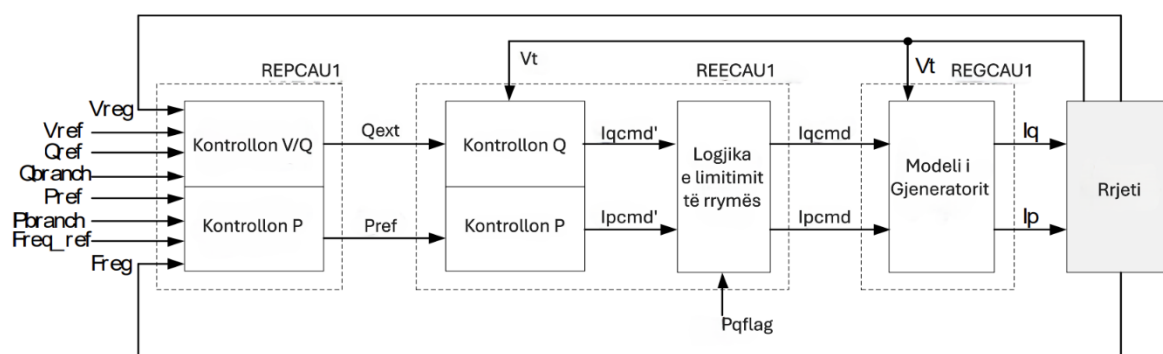


## Modelimi i impianteve fotovoltaike PV

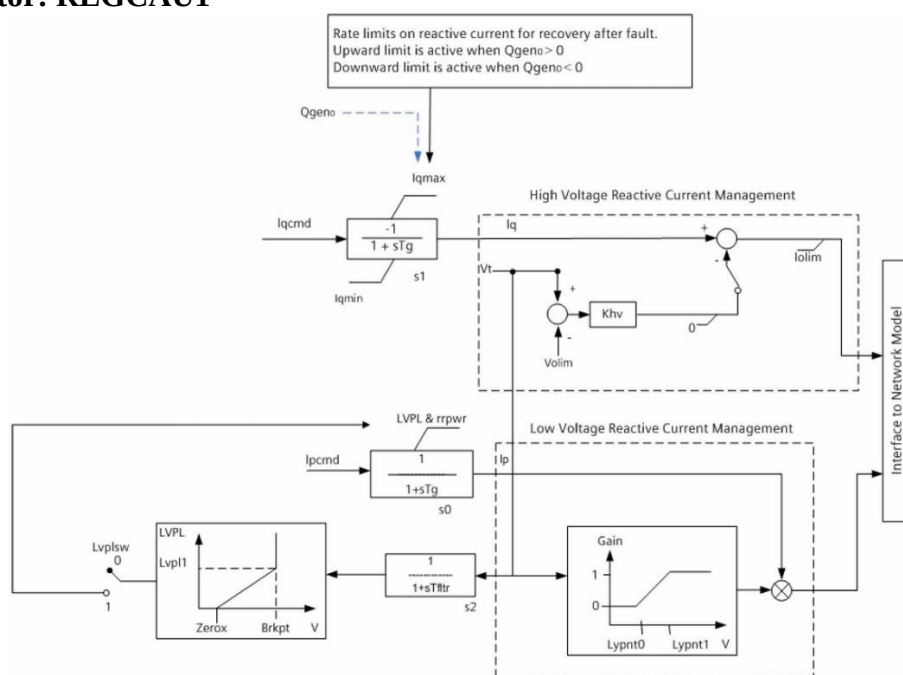
REGCAU1 përfaqëson ndërfaqen ndërmjet gjeneratorit ose inverterit dhe rrjetit elektrik. Ky modul trajton komandat për rrymën aktive dhe reaktive dhe siguron injektimin përkatës të tyre në sistemin energjetik.

REECAU1 modelon sistemin e kontrollit elektrik të inverterit. Ai merr si hyrje referencat për fuqinë aktive dhe reaktive nga REPCAUI, reagon ndaj tensionit në terminal dhe fuqisë së prodhuar nga gjeneratori, dhe jep komandat përkatëse të rrymave për modulin REGCAU1.

REPCAUI simulon funksionin e kontrolluesit në nivel impianti. Ky modul analizon tensionin dhe fuqinë reaktive për të realizuar kontrollin V/Q në shkallë impianti, si dhe përdor frekuencën dhe fuqinë aktive për të modeluar kontrollin e fuqisë aktive.

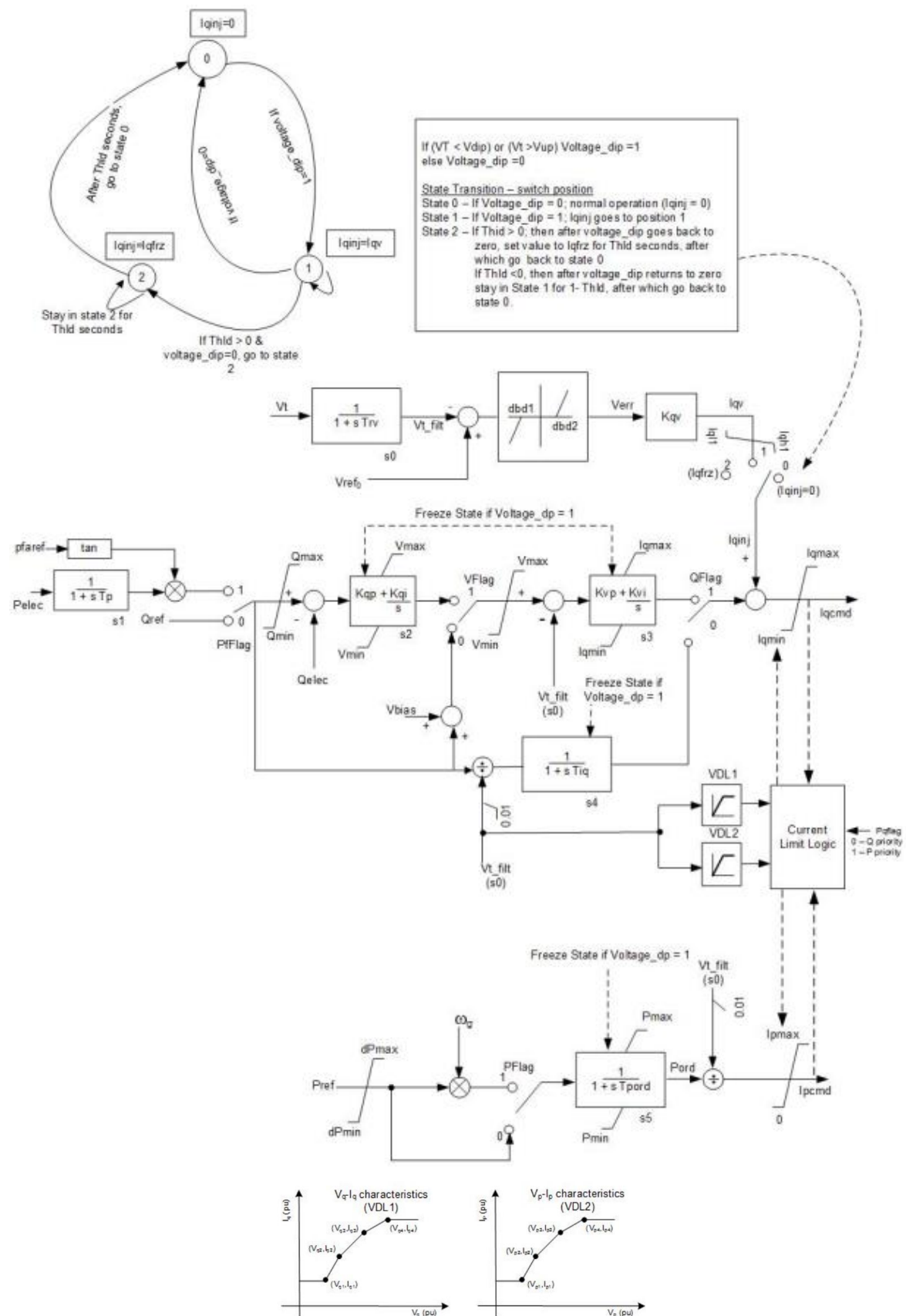


## Gjenerator: REGCAU1



|         |                                                                                                |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REGCAU1 |                                                                                                |
| CONS    |                                                                                                |
| 0.02    | Tg, Konstante kohe e konverterit, sekonda                                                      |
| 10      | <b>Rrpwr, LVPL ramp rate limit (pu/s)</b>                                                      |
| 0.9     | Brkpt, LVPL tensioni 2 (pu)                                                                    |
| 0.4     | Zerox, LVPL tensioni 1 (pu)                                                                    |
| 1.22    | <b>Lvpl1, LVPL gail (pu)</b>                                                                   |
| 1.2     | Volim, kufiri i tensionit për menaxhimin e rrymës reaktive në tension të lartë, pu             |
| 0.8     | Lvpnt1, pika e tensionit të lartë për menaxhimin e rrymës aktive në tension të ulët, pu        |
| 0.4     | Lvpnt0, pika e tensionit të lartë për menaxhimin e rrymës aktive gjatë tensioneve të ulëta, pu |
| -1.3    | Iolim, Limiti i rrymës për HVRCM, pu (< 0)                                                     |
| 0.02    | Tfltr, Konstante kohe e filtrit të tensionit për LVRCM (s)                                     |
| 0.7     | Khv, përforcimi i kompensimit të tensionit të lartë përdorur në HVRCM (>=0 dhe < 1)            |
| 999     | Iqrmax, Kufiri i sipërm për normën e ndryshimit të rrymës reaktive (pu/s)                      |
| -999    | Iqrmin, Kufiri i poshtëm për normën e ndryshimit të rrymës reaktive (pu/s)                     |
| 1       | Accel, Acc. faktori për zbutjen e llogaritjeve të tensionit dhe këndit (>0 dhe <=1)            |
|         |                                                                                                |
| ICONS   |                                                                                                |
| 1       | Çelësi LVPL, 0: LVPL nuk është prezent, 1: LVPL prezent                                        |

## Modeli i Pëgjithshëm i Kontrollit të Energjisë Rinovueshme - REECAU1



|         |                                                                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| REECAU1 |                                                                                            |
| CONS    |                                                                                            |
| -99     | Vdip (pu), Kufiri i tensionit të ulët për injektimin e rrymës reaktive                     |
| 99      | Vup (pu), Kufiri i tensionit të lartë për injektimin e rrymës reaktive                     |
| 0       | Trv (s), Konstante kohe e filtrit të tensionit                                             |
| -0.05   | dbd1 (pu), Kufiri i poshtëm i zonës së gabimit të tensionit ( $\leq 0$ )                   |
| 0.05    | dbd2 (pu), Kufiri i poshtëm i zonës së gabimit të tensionit ( $\geq 0$ )                   |
| 0       | Kqv (pu), Përforcimi i injektimit të rrymës reaktive                                       |
| 1.05    | Iqhl (pu), Kufiri i sipërm për injektimin e rrymës reaktive Iqinj                          |
| -1.05   | Iqll (pu), Kufiri i poshtëm për injektimin e rrymës reaktive Iqinj                         |
| 0       | Vref0 (pu), Referenca e përcaktuar nga përdoruesi (nëse është 0, inicializohet nga modeli) |
| 0.15    | Iqfrz (pu), Vlera në të cilën mbahet Iqinj pas një rënie të tensionit                      |
| 0       | Thld (s) ( $\geq 0$ ), Koha që Iqinj mbahet në Iqfrz pas një rënie të tensionit            |
| 0       | Thld2 (s) ( $\geq 0$ ), Koha për të cilën IPMAX mbahet në vlerën e gabimit                 |
| 0.05    | Tp (s), Konstante kohe e filtrit për fuqinë elektrike                                      |
| 0.4     | QMax (pu), kufiri për rregullatorin e fuqisë reaktive                                      |
| -0.4    | QMin (pu), kufiri minimal për rregullatorin e fuqisë reaktive                              |
| 1.1     | VMAX (pu), kufiri maksimal për kontrollin e tensionit                                      |
| 0.9     | VMIN (pu), kufiri minimal për kontrollin e tensionit                                       |
| 0       | Kqp (pu), përforcimi proporcional i rregullatorit të fuqisë reaktive                       |
| 0.1     | Kqi (pu), përforcimi integral i rregullatorit të fuqisë reaktive                           |
| 0       | Kvp (pu), përforcimi proporcional i rregullatorit të tensionit                             |
| 120     | Kvi (pu), përforcimi integral i rregullatorit të tensionit                                 |
| 0       | Vbias (pu), Vlerë shtesë e përcaktuar nga përdoruesi (zakonisht 0)                         |
| 0.02    | Tiq (s), Konstante kohe për vonesën s4                                                     |
| 99      | dPmax (pu/s) ( $> 0$ ), Shkalla maksimale e rritjes së referencës së fuqisë                |
| -99     | dPmin (pu/s) ( $< 0$ ), Shkalla minimale e rënies së referencës së fuqisë                  |
| 1       | PMAX (pu), Kufiri maksimal i fuqisë                                                        |
| 0       | PMIN (pu), Kufiri minimal i fuqisë                                                         |
| 1.7     | Imax (pu), Kufiri maksimal i lejuar i rrymës totale të konvertuesit                        |
| 0.04    | Tpord (s), Konstante kohe e filtrit të fuqisë                                              |
| 0.29    | Vq1 (pu), Pika V-I për fuqinë reaktive, tensioni                                           |
| 1.25    | Iq1 (pu), Pika V-I për fuqinë reaktive, rryma                                              |
| 1.33    | Vq2 (pu) ( $Vq2 > Vq1$ ), Pika V-I për fuqinë reaktive, tensioni                           |
| 0       | Iq2 (pu) ( $Iq2 \geq Iq1$ ), Pika V-I për fuqinë reaktive, rryma                           |
| 0       | Vq3 (pu) ( $Vq3 > Vq2$ ), Pika V-I për fuqinë reaktive, tensioni                           |
| 0       | Iq3 (pu) ( $Iq3 \geq Iq2$ ), Pika V-I për fuqinë reaktive, rryma                           |
| 0       | Vq4 (pu) ( $Vq4 > Vq3$ ), Pika V-I për fuqinë reaktive, tensioni                           |
| 0       | Iq4 (pu) ( $Iq4 \geq Iq3$ ), Pika V-I për fuqinë reaktive, rryma                           |
| 0       | Vp1 (pu), Pika V-I për fuqinë reale, tensioni                                              |
| 1.15    | Ip1 (pu), Pika V-I për fuqinë reale, rryma                                                 |
| 1.1     | Vp2 (pu) ( $Vp2 > Vp1$ ), Pika V-I për fuqinë reale, tensioni                              |



|        |                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 0      | dbd2, kufiri i sipërm për deadbandën e kontrollit të fuqisë reaktive ( $\geq 0$ ) |
| 0.436  | Qmax, Kufiri i sipërm i daljes së kontrollit V/Q (pu)                             |
| -0.436 | Qmin, Kufiri i poshtëm i daljes së kontrollit V/Q (pu)                            |
| 0.1    | Kpg, Përforcimi proporcional për kontrollin e fuqisë (pu)                         |
| 0.05   | Kig, Përforcimi integral për kontrollin e fuqisë (pu)                             |
| 0.25   | Tp, Konstante kohe e filtrit të matjes së fuqisë reale (s)                        |
| 0      | fdbd1, Deadband për kontrollin e frekuencës, kufiri i poshtëm ( $\leq 0$ )        |
| 0      | fdbd2, Deadband për kontrollin e frekuencës, kufiri i sipërm ( $\geq 0$ )         |
| 999    | femax, kufiri i sipërm i gabimit të frekuencës (pu)                               |
| -999   | femin, kufiri i poshtëm i gabimit të frekuencës (pu)                              |
| 999    | Pmax, kufiri i sipërm i referencës së fuqisë (pu)                                 |
| -999   | Pmin, kufiri i poshtëm i referencës së fuqisë (pu)                                |
| 0.1    | Tg, Konstante kohe e vonës së kontrolluesit të fuqisë (s)                         |
| 20     | Ddn, droop për kushtet e frekuencës së lartë (pu)                                 |
| 0      | Dup, droop për kushtet e frekuencës së ulët (pu)                                  |
| ICONS  |                                                                                   |
| 0      | Numri i zbarës remote ose 0 për kontrollin lokal të tensionit                     |
| 0      | Njësi e monitoruar NGA zbara                                                      |
| 0      | Njësi e monitoruar TE zbara                                                       |
| '0'    | ID e degës së monitoruar (shkruani brenda thonjëzave)                             |
| 1      | VCFlag, (0: me droop, 1: kompensimi i rënies së linjës)                           |
| 1      | RefFlag, për kontrollin e V ose Q (0: kontrolli i Q, 1: kontrolli i V)            |
| 0      | Fflag, 0: çaktivizo kontrollin e frekuencës, 1: aktivizo kontrollin e frekuencës  |