

Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea de Energetică
Departamentul Sisteme Electroenergetice



**ÎMBUNĂTĂȚIREA NIVELULUI DE TENSIUNE IN REȚELELE
ELECTRICE DE TRANSPORT IN CONDIȚIILE INTEGRARII
MASIVE A SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE**

REZUMAT TEZA DE DOCTORAT

Autor: Ing. MURTADHA SAMI RASHID

Conducător de Doctorat:
Prof. Dr. Ing. Stefan GHEORGHE

București, 2022

Abstract

Când se transmite la tensiuni ultra-înalte, puterea operațională și intervalele de putere reactivă sunt substanțial mai mari, sau controlul tensiunii și echilibrarea puterii reactive sunt mai dificil de manipulat decât la tensiuni mai mici.

Gestionarea tensiunii și corecția puterii reactive în sistemele de ultraînaltă tensiune (UHV) se bazează în mare măsură pe cooperarea între niveluri de tensiune, cum ar fi UHV, EUV și altele. O analiză aprofundată a caracteristicilor de operare ale sistemelor UHV AV, managementul tensiunii și compensarea puterii reactive au fost efectuate ca parte a contribuției acestei teze la dezvoltarea standardului aplicabil.

Securitatea și stabilitatea sistemului UHV sunt ajutate de managementul tensiunii operaționale, care urmărește menținerea tensiunii de funcționare adecvate, reglarea distribuției puterii reactive, precum și reducerea pierderilor din rețea. Există multe tipuri diferite de echipamente de compensare reactivă, inclusiv generatoare, sincrone, reactor UHV controlat OLTC, condensator shunt/reactor svc, precum și alte echipamente de compensare reactivă. Au existat unele discuții despre utilizarea unei metode de reglare automată a tensiunii, cum ar fi controlul automat al tensiunii (AVC) sau controlul tensiunii/puterii reactive (VQC).

Înainte de a adăuga centrale electrice suplimentare la o rețea, este vital să analizați suficiența rețelei pe termen lung, echilibrul sistemului și stabilitatea dinamică. Pe parcursul zilei, ne-am uitat la diferite situații de încărcare și generație. Administrarea, economia și eficiența sistemelor de energie sunt toate afectate de utilizarea surselor de energie regenerabilă, cum ar fi eolianul și solarul. Odată cu creșterea energiei eoliene și solare, combinația optimă convențională de generare a energiei poate fi modificată. Păstrarea siguranței și fiabilității operațiunilor poate necesita anumite acțiuni.

Stabilitatea tranzitorie poate fi îmbunătățită prin creșterea penetrării surselor de energie regenerabilă (SRE), am folosit AVR-uri, PSS-uri, guvernatori, precum și dispozitive SVC.

Teza tratează câteva subiecte specifice îmbunătățirii securității tensiunii pentru sistemele de transport, care au fost de mare interes încă de la începuturile sistemelor de putere interconectate. Au fost abordate metode clasice și moderne de reglare a tensiunii, iar dispozitivul SVC a fost folosit printre dispozitivele FACTS, cel mai bun răspuns la o varietate de probleme tehnice cu funcționarea sistemului de putere. Teza își propune să îmbunătățească nivelul de tensiune și stabilitatea sistemului de putere în stare staționară, situații de urgență și post-urgență. Stabilitatea tranzitorie poate fi îmbunătățită chiar și în cazurile de penetrare mare a surselor de energie regenerabilă (SRE), prin utilizarea AVR-urilor, PSS-urilor și guvernatoarelor, precum și a dispozitivului SVC.

În acest studiu, NEPLAN, DIgSILENT PowerFactory și MATPOWER ale mediului MATLAB au fost utilizate în calculele de stare staționară, iar DIgSILENT PowerFactory în simularea dinamică.

Table of contents

ACKNOWLEDGEMENTS	V
ABSTRACT	VI
TABLE OF CONTENTS	VII
LIST OF FIGURES	IX
LIST OF TABLES	XII
LIST OF ABBREVIATIONS AND ACRONYMS	XIII
CHAPTER 1: INTRODUCTION	1
1.1 OVERVIEW	1
1.2 LITERATURE REVIEWS.....	2
1.3 PROBLEM STATEMENT	7
1.4 OBJECTIVE	7
1.5 METHODOLOGY	7
CHAPTER 2: DEFINITIONS AND CHARACTERISTICS OF POWER SYSTEM	9
2.1 GENERALITIES.....	9
2.2 DEFINITION OF TRANSFER CAPACITY.....	10
2.2.1 <i>Limits to transfer capability</i>	11
2.2.2 <i>Purpose of the transmission system</i>	11
2.2.3 <i>Definition of total transfer capability</i>	12
2.2.4 <i>Transmission transfer capability margin</i>	12
2.3 POWER SYSTEM STABILITY	13
2.3.1 <i>Classification of power systems stability</i>	13
2.3.2 <i>Voltage stability</i>	13
2.3.3 <i>Voltage security</i>	15
2.3.4 <i>Voltage Collapse</i>	16
2.3.5 <i>Static Voltage Security</i>	16
2.4 GRID HIERARCHICAL VOLTAGE REGULATION	17
2.4.1 <i>Primary Voltage Regulation</i>	18
2.4.2 <i>Secondary Voltage Regulation (SVR): Architecture and Modelling</i>	20
2.4.3 <i>Tertiary Voltage Regulation</i>	21
2.5 POWER SYSTEM SECURITY.....	21
2.5.1 <i>Classification of system states and security control</i>	22
CHAPTER 3: VOLTAGE REGULATION IN TRANSMISSION NETWORKS USING CLASSIC METHODS	24
3.1 INTRODUCTION.....	24
3.2 THE RELATIONSHIP BETWEEN VOLTAGE AND ACTIVE AND REACTIVE POWERS	25
3.3 EQUIPMENTS FOR VOLTAGE AND REACTIVE POWER CONTROL	26
3.3.1 <i>Voltage and Reactive Power Continuous Control Devices</i>	27
3.4 CASE STUDY	28
3.4.1 – <i>Case 1: Network TEST 2</i>	29
3.4.2 <i>Case 2: MAYSAN Network system</i>	41
3.5 SUMMARY	47
3.6 CONCLUSIONS	47
CHAPTER 4: VOLTAGE REGULATION AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	48
4.1 INTRODUCTION.....	48
4.2 RENEWABLES (PHOTOVOLTAIC AND WIND TURBINES)	49
4.3 RENEWABLE ENERGY AND TRANSMISSION NETWORKS	52
4.4 VOLTAGE CONTROL IN TRANSMISSION GRIDS CONSIDERING UNCERTAINTIES OF RENEWABLE ENERGY SOURCES	52
4.5 THE CASE STUDY	53
4.5.1 <i>Nordic Test System</i>	54

4.5.2	Overview Nordic 32	54
4.5.3	Outline of the Case Study part	56
4.5.4	Initial case - Base case:	56
4.5.5	Incorporating Renewable Energies and doing several scenarios	58
4.6	SUMMARY	75
4.7	THE CONCLUSIONS.....	75
CHAPTER 5: VOLTAGE REGULATION FOR TRANSMISSION NETWORKS USING FACTS DEVICES [SVC].....		76
5.1	INTRODUCTION IN VOLTAGE REGULATION BY SVC.....	76
5.2	TRANSMISSION SYSTEM VOLTAGE CONTROL	78
5.3	THE STATIC VAR COMPENSATOR (SVC).....	78
5.3.1	Modelling the SVC compensator.....	79
5.4	CHOOSING THE OPTIMAL LOCATION FOR THE SVC.....	81
5.5	CONTINGENCY ANALYSIS	82
5.5.1	Determination of power system post-disturbance state.....	82
5.5.2	Contingency selection	82
5.5.3	Consideration of power system non-linearity	82
5.5.4	Contingency ranking methods for voltage stability studies.....	84
5.6	SELECTION OF CONTINGENCIES	84
5.6.1	Computation direction	84
5.7	TYPES OF CONTINGENCIES TO TAKE INTO ACCOUNT FOR N-1 SIMULATION	86
5.8	THE CASE STUDY	87
5.8.1	Initial case - Base case:	88
5.8.2	Case 1 - Incorporating Renewable Energies Sources (RES)	90
5.8.3	Case 2 – Analyze the system and adding SVC to the system	92
5.8.4	Case 3: Simple Contingencies:	99
5.9	SUMMARY	101
5.10	THE CONCLUSIONS.....	101
CHAPTER 6: TRANSIENT STABILITY ENHANCEMENT AND VOLTAGE REGULATION USING SVC WITH AVR, PSS AND GOVERNOR.....		102
6.1	INTRODUCTION.....	102
6.2	DESCRIPTION AND MODELLING OF THE EXCITATION SYSTEMS.....	102
6.2.1	Components and Performances of Excitation Control System.....	102
6.2.2	Types and Modelling of Excitation Systems.....	103
6.2.3	Automatic Voltage Regulator (AVR) and SVC in dynamic state	104
6.3	POWER SYSTEM STABILIZER	105
6.4	THE GOVERNOR	105
6.5	THE CASE STUDY	106
6.5.1	Case 0 - Base case:	108
6.5.2	Case 1 - Incorporating RES and adding SVC to the system.....	108
6.5.3	Case 2 - Addition of Exciter (AVR, PSS) and Governor to generators	108
6.5.4	Case 3 – Doing Disturbance in the power system.....	110
6.6	SUMMARY TO THIS CHAPTER	116
6.7	THE CONCLUSIONS.....	116
CHAPTER 7: CONCLUSION AND RECOMMENDATION.....		117
7.1	CONCLUSION	117
7.2	PERSONAL CONTRIBUTIONS.....	118
7.3	RECOMMENDATION FOR FUTURE WORK	120
REFERENCES.....		121
APPENDIX A1: DATA TEST 2 NETWORK.....		131
APPENDIX A2: DATA OF THE IRAQ-MAYSAN NETWORK SYSTEM.....		133
APPENDIX A3: DATA OF NORDIC 32 POWER SYSTEM		136

CAPITOLUL 1: Introducere

1.1 Generalități

Mai multe catastrofe similare de colaps de tensiune au avut loc pe tot globul în ultimele decenii, ducând la pierderi semnificative ale sistemului de putere. Dificultățile de tensiune vor deveni mai problematice pe măsură ce mai mulți factori aleatori și necunoscuți sunt introduși în rețea în viitor. Menținerea stabilității tensiunii și o bună proiectare a compensării puterii reactive sunt esențiale pentru a asigura funcționarea stabilă și sigură a sistemului de putere atunci când sunt instalate mai multe linii de transmisie UHV (Ultra High Voltage). Standardizarea managementului tensiunii și a compensării puterii în transmisia UHV AC este critică [1].

Sistemele de energie electrică includ trei părți principale: unități de producție, sarcini, precum și rețele de transport și distribuție. Unitățile generatoare furnizează energia, în timp ce încărcăturile o folosesc, și transportă energie prin rețeaua de transport și distribuție către locurile de încărcare[2]. Cererea de sarcină s-a extins rapid pe o piață electrică competitivă odată cu expansiunea rapidă a civilizației. În consecință, rețelele de transport devin supraîncărcate, punând în pericol securitatea, fiabilitatea și stabilitatea sistemului energetic, precum și făcând unele modele de generare neviabile din punct de vedere economic. Deși construirea de linii de transport suplimentare ar putea atenua situația neplăcută, este dificil să se facă acest lucru din cauza unei varietăți de constrângeri, inclusiv de mediu, drept de trecere și cheltuieli [3][4].

Renewable energy is becoming more essential in the production of power these days. Fossil fuels are not a viable future choice since they are non-Renewable Energy Sources that pollute the environment.

The availability of solar resources across the globe has made photovoltaic energy the most extensively used Renewable Energy Source (RES). Renewable energy is a reality in today's electrical landscape. The reduction of CO2 emissions and the improved efficiency for renewable technologies are two of the most important factors in their integration into energy networks.

Drept urmare, utilizarea resurselor neregenerabile trebuie redusă, energia regenerabilă jucând un rol vital în viitor [5]. Gestionarea congestionării, securitatea, capacitățile de transfer, precum și fiabilitatea pot beneficia toate de pe urma dispozitivelor FACTS [6]. De la apariția inițială a dispozitivelor FACTS, au fost efectuate cercetări și dezvoltare continue, de la idei de pionierat până la dispozitivele mature de astăzi. Beneficiile implementării dispozitivelor FACTS într-o rețea sunt deja evidente și includ o gestionare îmbunătățită a fluxului de putere și suport de tensiune, precum și o stabilitate îmbunătățită a rețelei și o amortizare a oscilațiilor [7]. Odată cu introducerea dispozitivelor cu tiristoare controlate bazate pe electronica de putere, au fost deschise noi căi pentru îmbunătățirea stabilității sistemului de putere [8].

În rețelele de energie, compensatoarele VAR statice (SVC) sunt cele mai des utilizate dispozitive shunt FACTS, deoarece prețurile lor sunt mai mici, oferind totuși beneficii considerabile ale sistemului. SVC, care a apărut pentru prima dată în urmă cu aproximativ două decenii, este folosit în principal pentru suportul de tensiune și, atunci când este construit corespunzător, poate ajuta la scăderea pierderilor de putere [9]. Suportul de putere reactivă din sistem este esențial pentru menținerea unui profil adecvat de tensiune a sistemului și pentru a ajuta la îmbunătățirea securității [6].

Stabilitatea sistemului de putere a fost un subiect critic de studiu în ultimii ani și este o preocupare critică pentru sistemele la scară largă. Stabilitatea tranzitorie a unui sistem de transmisie lungă poate fi mult îmbunătățită prin gestionarea sistemelor de excitație, care cuprinde de obicei un regulator automat de tensiune (AVR) și un stabilizator al sistemului de putere (PSS) [10]. Elec. rețelele electrice devin mai stresate și mai complexe pe măsură ce standardele de eficiență și fiabilitate cresc [11]. Sistemul energetic devine din ce în ce mai instabil și mai dificil de gestionat, pe măsură ce energia regenerabilă este încorporată progresiv în transportul de energie[12].

Abilitatea unui sistem electric de a funcționa în siguranță și fiabil este o necesitate. Analiza stabilității tranzitorii este o componentă critică a proiectării și funcționării sistemului energetic[13]. Pentru a analiza fenomenele tranzitorii ale sistemului, simularea în domeniul timpului poate fi împărțită în trei faze: pre-defecțiune, defecțiune și post-defecțiune. Înainte să apară o problemă, sistemul pre-defecțiune este într-adevăr într-o stare stabilă. Când apare o problemă, sistemul este într-adevăr în stare de defecțiune, precum și funcția de protecție a sistemului o șterge. Pentru a izola problema, întreruptoarele trebuie deschise pentru a se asigura că sistemul rămâne stabil odată ce a fost izolat. Pentru a se asigura că rețeaua electrică ar putea rezista și se poate recupera de la perturbări mari, este necesară o analiză tranzitorie[14][15].

Necesitatea și oportunitățile subiectului tezei mele provin din dezvoltarea Surselor de Energie Regenerabilă (număr și putere instalată) conectate la sistemele de energie și creșterea pătrunderii acestora în sistem datorită beneficiilor economice și de mediu ale energiilor regenerabile. Unde noua tendință este de a reduce emisiile de carbon și de a găsi alternative la combustibilii clasici.

În această condiție, trebuie să avem studiile de impact ale acestei tendințe și să dezvoltăm strategii de creștere a securității aprovizionării cu energie și de întreținere a sistemului, pentru necesități de securitate, economice și de mediu și pentru a furniza energie utilizatorului final în cadrul specificațiilor standard.

1.2 Recenzii de literatură

Deoarece problema îmbunătățirii securității tensiunii și a securității sistemului de putere este importantă, cercetătorii s-au ocupat de această problemă și au dezvoltat algoritmi pentru fluxul de energie, care includ dispozitive și controlere FACTS ieftine (AVR-PSS-Governor), pentru a oferi siguranța și încrederea. putere către clienți în conformitate cu specificațiile și fără a depăși restricțiile aplicabile ale sistemului de putere. Cercetările sunt încă în desfășurare pentru a face față provocărilor cu ajutorul dispozitivului SVC. Scopul acestei analize este de a aduna informații din literatura anterioară privind reglarea tensiunii și securitatea acesteia, efectul energiilor regenerabile asupra sistemului și îmbunătățirea stabilității tranzitorii.

1.3 Declarație problemă

Stabilitatea tensiunii poate fi determinată folosind o serie de metode diferite din literatură. Toți încearcă să-și dea seama cât de probabil este un colaps. Cu toate acestea, aceste tehnici au o serie de defecte care au fost descoperite. Este important să se mențină tensiunea în limite acceptabile conform standardului utilizat pentru sistemul de putere din cauza efectelor sale asupra sistemului. În plus, pătrunderea Energiilor Regenerabile în sistemele energetice la un nivel înalt a devenit o necesitate și o realitate, astfel încât fluxul de energie nu mai este unidirecțional. Ceea ce duce la o modificare a tensiunii în rețelele de înaltă și medie tensiune din cauza schimbării răspunsurilor de putere activă și reactivă. Modificările proprietății tensiune-putere pot afecta comportamentul sistemului, așa că vom aborda în această teză și efectul acestei pătrunderi mari a surselor de energie regenerabilă asupra sistemelor de energie și, prin urmare, identificarea problemei noastre este de a îmbunătăți siguranța tensiunii. a rețelelor de transport în sistemele de energie sub pătrunderea ridicată a energiilor regenerabile și vom aborda metodele tradiționale de îmbunătățire a nivelului de tensiune precum (Tap changer, Shunt Capacitors and Reactors, Generator Regulator) în stare staționară și metode moderne precum utilizarea a dispozitivului SVC în stare staționară și tranzitorie. De asemenea, aici în această teză luăm în considerare criteriile de securitate în scopul securității rețelei.

1.4 Obiectiv

Obiectivele lucrării din această teză sunt reglementarea și îmbunătățirea securității de tensiune a rețelelor de transport prin metode clasice și moderne cu prezența Energiilor Regenerabile și penetrarea mare a acestora. Astfel, controlul nivelurilor de tensiune în stare staționară precum și în condiții tranzitorii și menținerea securității sistemului de putere, iar acest lucru este important în ceea ce privește satisfacerea nevoilor consumatorilor și în ceea ce privește securitatea economică, reducerea costurilor de întreținere și păstrarea echipamentelor de deteriorare. Aceste obiective vor fi atinse prin:

1. Studiul metodelor de reglare a tensiunii în rețelele de transport folosind metode clasice
2. Studiul metodelor de reglare a tensiunii pentru rețelele de transport inclusiv SRE
3. Înțelegerea Reglării tensiunii pentru rețelele de transport folosind dispozitive FACTS
4. Îmbunătățirea stabilității tranzitorii, precum și controlul tensiunii în sistemul de putere prin combinarea SVC, AVR, PSS și un guvernator.

1.5 Metodologie

Pentru atingerea obiectivelor mai sus menționate, explicați pe scurt pașii pentru fiecare secțiune, începând cu primul capitol, care reprezintă introducerea și recenziile literare care ne vor oferi informații și experiențe care au fost implementate anterior, și trecând prin al doilea. capitol, care reprezintă definițiile generale ale sistemului de putere, stabilitatea sistemului de putere, securitatea sistemului de putere și cunoașterea limitelor și restricțiilor Pentru ca sistemul de putere să fie luat în considerare, de la capitolul trei până la capitolul șase, acestea prezentați soluțiile la problemele care au fost menționate în enunțul problemei.

CAPITOLUL 2: Definiții și caracteristici ale sistemului de putere

2.1 Generalități

Este posibilă împărțirea sistemului energetic în trei mari diviziuni: centrale electrice; sisteme de transport și distribuție [44]. Puterea este generată de generatoare, consumată de sarcini și furnizată de la generatoare la sarcini prin intermediul sistemului de transport. Sistemele de transport servesc ca legături de legătură între stațiile producătoare și sistemele de distribuție și oferă, de asemenea, acces la alte sisteme de energie prin interconexiuni cu alte sisteme de energie[45].

Termenul „sistem de energie de transmisie” se referă de obicei la sistemul de rețea de înaltă tensiune al liniilor de transport și transformatoarelor de putere. „Sistemul de distribuție” se referă la liniile de transport de tensiune joasă și la transformatoarele MT/JT care sunt utilizate pentru a furniza energie electrică direct consumatorilor. Un sistem de energie electrică este prezentat în Fig. 2-1, care prezintă componentele majore.

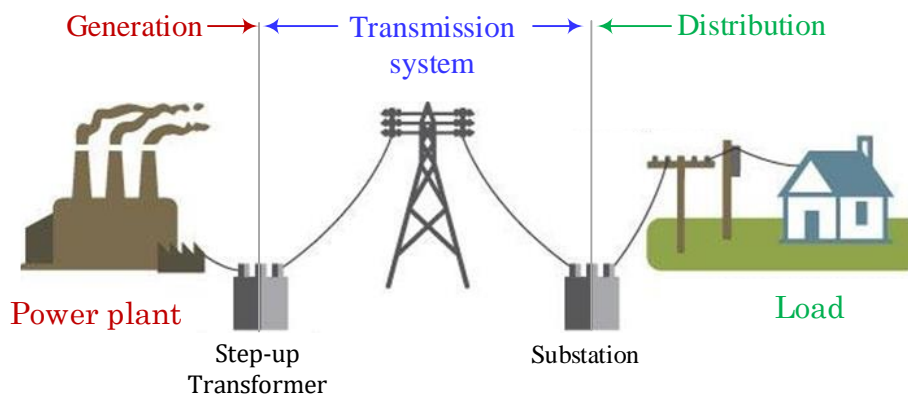


Figura 2-1. Componentele principale ale unui sistem de energie electrică[45].

Funcția principală a unui sistem de energie electrică este de a pune în comun centralele electrice și centrele de sarcină pentru a furniza puterile reale și reactive cerute de diferitele sarcini conectate la sistem la fiabilitatea și eficiența maximă necesare cu costuri mai mici.

2.2 Definiția transfer capacity

În domeniul transportului de energie electrică, capacitatea de transfer este o măsură a capacității unui sistem electric interconectat de a transmite sau transfera în mod fiabil puterea de la o locație la alta prin toate liniile de transport (sau căile) dintre acele locații în circumstanțe definite ale sistemului[47]. Unitățile de capacitate de transfer sunt măsurate în termeni de putere electrică, care este adesea exprimată în megawați [MW]. Fiecare sistem electric individual, bazin de energie, zonă de control și subregiune (sau orice combinație a acestora) este considerată a fi o „zonă”, la fel ca orice componentă a oricăreia dintre acestea. Capacitatea de a transfera informații este, de asemenea, direcționată în natură. Capacitatea de transfer din zona A la B nu este întotdeauna egală cu capacitatea de transfer din zona B la A, ceea ce este o întâmplare comună[48][49]. S-a discutat, de asemenea, definiția totalului capacității de transfer, precum și a marjei capacității de transfer de transmisie.

2.3 Stabilitatea sistemului de putere

Stabilitatea sistemului de energie electrică este capacitatea unui sistem de energie electrică, pentru o anumită condiție inițială de funcționare, de a recăpăta o stare de echilibru de funcționare după ce a fost supus unei perturbări fizice, majoritatea posibilităților practicabile ale sistemului fiind limitate astfel încât practic întregul sistem să rămână intact[61] [62].

Dorim, de asemenea, să subliniem că subiectele abordate în acest capitol au fost:

- ✓ Stabilitatea sistemului de putere și Clasificarea stabilității sistemelor de putere (Stabilitatea tensiunii și colapsul tensiunii).
- ✓ Reglarea tensiunii ierarhice a rețelei (reglarea tensiunii primare, secundare și terțiare).
- ✓ Securitatea sistemului de putere și clasificarea stărilor sistemului și controlul securității.

CAPITOLUL 3: Reglarea tensiunii în rețelele de transport folosind metode clasice

3.1 Introducere

Pentru a garanta siguranța și fiabilitatea sistemului electric, serviciile de reglare a tensiunii sunt esențiale. Trebuie să fie pornit tot timpul. Un efort continuu de identificare și monetizare a acestui serviciu auxiliar este în desfășurare [99]. Consumul de curent și tensiune trebuie gestionat pentru a menține tensiunea stabilă pentru fiabilitatea sistemului. Controlul tensiunii poate fi realizat prin controlul puterii reactive din cauza legăturii directe dintre tensiune și puterea reactivă. Tensiunea poate fi menținută constantă la o valoare nominală indiferent de cât de mult este necesar un factor de putere dacă sunt disponibile surse de alimentare reactivă adecvate. Reglarea tensiunii la un nod poate fi utilizată pentru a regla cantitatea de injecție de putere reactivă la acel nod. Acest lucru ridică întrebarea cu privire la modul în care controlul tensiunii diferă de reglarea puterii reactive, care este un aspect important. Fiecare dintre controlul procesului menționat mai sus are propriul său set de dezavantaje. Este imposibil să ajustați tensiunea folosind puterea reactivă, deoarece este restricționată de resursele de putere reactivă disponibile și de restricțiile realiste de tensiune la fiecare nod. Dacă sursele de alimentare reactivă reprezintă o problemă, este posibil să se regleze atât tensiunea, cât și puterea reactivă, dar nu în același moment.

Tensiunile trebuie menținute în limite acceptabile în condiția de funcționare tipică a echilibrării puterii reactive [100]. Când vine vorba de cantitatea de putere reactivă generată și consumată, nu există nicio diferență. În consecință, dacă producția și consumul de putere reactivă a sistemului sunt prea mari sau prea scăzute, profilul de tensiune va fi incorect. Operatorii de utilități, precum și de sisteme de transport (OST) sunt în mod clar interesați de îmbunătățirea fiabilității, securității, precum și a unei soluții eficiente, care are efecte reduse asupra investițiilor în ceea ce privește calitatea aprovizionării.

Controlul puterii reactive-tensiuni în sistemele de putere este esențial atât în funcționarea normală, cât și în caz de urgență. Transmiterea energiei electrice la calitatea de tensiune cerută și în condiții ideale atât pentru furnizori, cât și pentru clienți este asigurată în timpul funcționării normale de către acest sistem. Securitatea sistemului este îmbunătățită în caz de urgență prin creșterea marjei de siguranță în ceea ce privește limitările instabilității tensiunii, asigurând astfel funcționarea neîntreruptă și condițiile de funcționare corecte pentru cel mai mare număr de clienți. Controlul tensiunii este o componentă critică în asigurarea acestor rezultate. Atunci când se ocupă de controlul tensiunii, precum și de problemele de compensare a puterii reactive la nivel de transport și distribuție, este necesar să se utilizeze o strategie diferită. Există două moduri în care sistemul de înaltă tensiune (HV) poate utiliza suportul tensiune-putere reactivă al generatorilor mari: permițând fiecărei regiuni de distribuție să-și gestioneze propria tensiune; și permițând fiecărei zone de distribuție să își gestioneze propria tensiune[16]. Nu în ultimul rând, nivelurile de generare și distribuție sunt controlate de centre de dispecerizare distincte, care au o influență semnificativă asupra tensiunilor din regiunea de distribuție, dar nu și asupra tensiunilor din sistemul EHV [101].

Obiectivele principale de control al tensiunii pe rețeaua de energie electrică sunt următoarele[51]:

- Asigurați-vă că tensiunea este menținută la un nivel adecvat.
- Reduceți cantitatea de pierderi ale sistemului de putere.
- Creșterea marjei de stabilitate a tensiunii sistemului

A broad area voltage control and enough controlled reactive power reserves are essential to meet these goals. An operator's inability to keep track of the constantly changing operating circumstances of the energy systems has a significant impact on the voltage control issue.

Alte subiecte abordate în acest capitol sunt:

- ✓ Relația dintre tensiune și puterile active și reactive;
- ✓ Echipamente pentru controlul tensiunii și puterii reactive;
- ✓ Dispozitive de control continuu a tensiunii și puterii reactive.

3.2 Studiu de caz

În această parte (studiu de caz), studiată despre reglarea tensiunii în rețelele de transport folosind metode clasice în două cazuri, cazul I (patru scenarii) despre rețea(TEST2) [108], reprezintă un sistem mare, iar cazul II reprezintă puterea irakiană. sistem din sudul Irakului și toate calculele folosind NEPLAN și DIgSILENT.

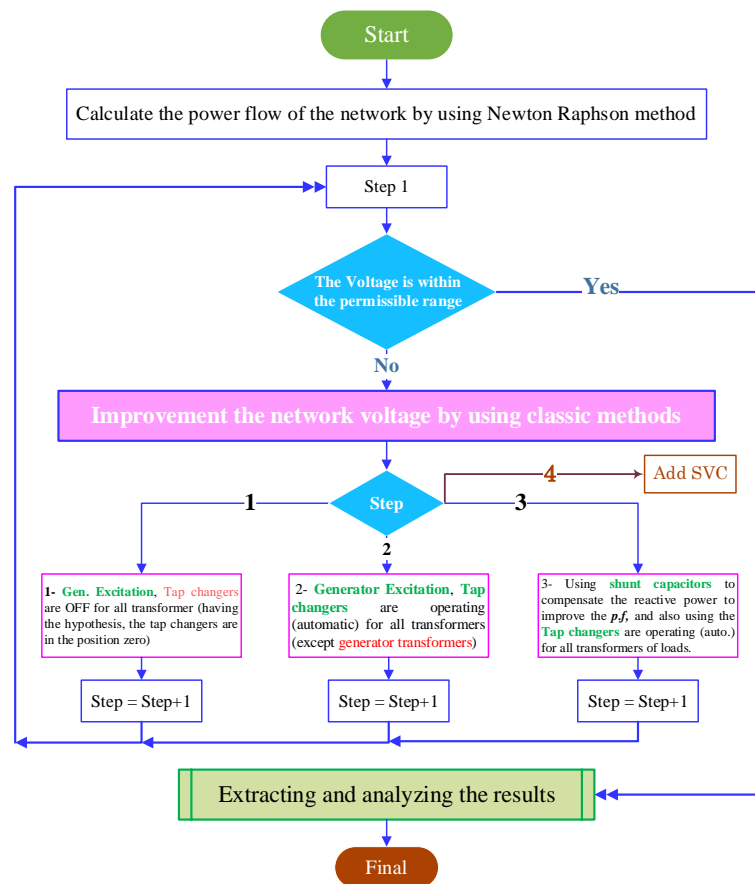


Figura 3-1. Flowchart Organigrama studiului de Metodologia

3.2.1 – Cazul 1: TEST 2 Rețeaua

3.2.1.A Primul scenariu:

Din NEPLAN și DIGSILENT, calculăm debitul de putere și pierderile de putere prin ramurile rețelei, presupunând că toate comutatoarele de prize ale transformatorului sunt OPRIT pentru toate transformatoarele (având ipoteza (schimbătoarele sunt în poziția zero (0) pentru toate transformatoarele) și nu folosim excitația generatorului.

Discuția rezultatelor S1

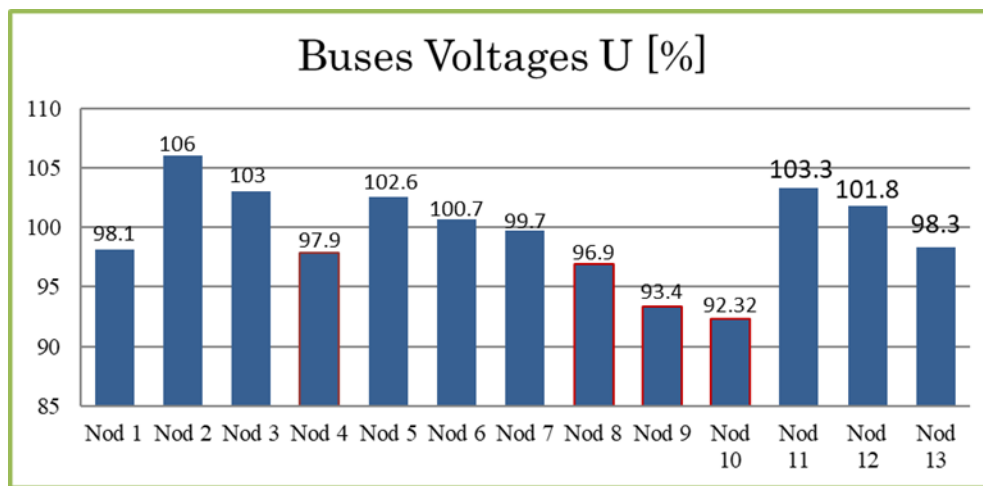


Figura 3-4. Tensiunea nodurilor (C1S1)

↳ Tensiunile sunt normale (adică în intervalul permis și recomandat) pentru nodurile generatoare și nodurile de linie, așa cum se arată în figurile 3-4 și 3-5.

- ↪ Tensiunea generatorului depinde de factorul de putere al sarcinii, tensiunea de excitație și viteza sincronă a generatorului ($\underline{E} = \underline{U} + jX_S \underline{I}$); $X_S = \omega_0 L_S$ Unde ω_0 este viteza unghiulară a generatorului.
- ↪ În figura 3-4, putem observa o scădere ușoară a tensiunilor Tensiunilor Buses (4–8–9–10–13).
- ↪ Detectăm o scădere mare la nodurile (B-C2 ; B-C5 ; B-C6 ; B-C7 ; B-C8), așa cum se arată în Fig.3-5., Tensiunile unghiului la aceste noduri sunt mari și variind între (-10,9 și -16,4)

Acest lucru se datorează impedanței crescute a liniilor acestor noduri, care este conectată la nodurile de mai sus, pe lângă trecerea curentului mare pentru a alimenta sarcinile legate de nodurile de mai sus, provocând scăderea tensiunii între nodurile emițătoare și receptoare conform la relația de mai jos:

$$\Delta V_{AB} = V_{\text{send}} - V_{\text{Receive}} = ZI \quad \dots (3.2) [51]$$

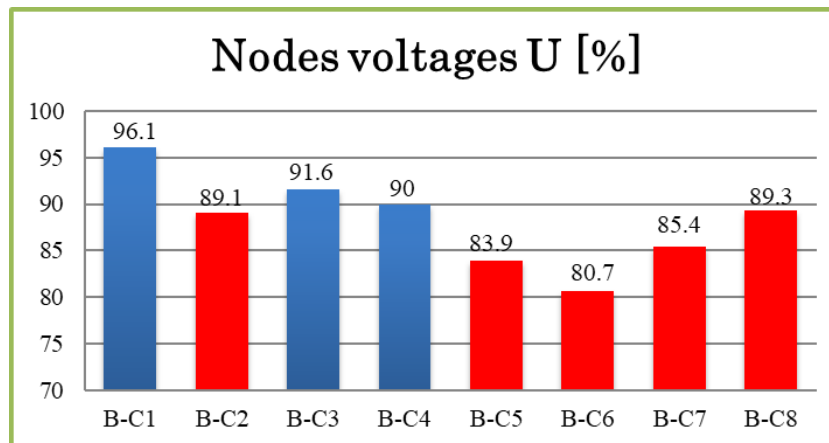


Figura 3-5. Loads Voltages

- Pierderile totale active în rețea (30 MW), adică în limitele admisibile și reprezintă proporție de 2,3% din totalul producției active.
- În timp ce pierderile Q în rețea (170 MVar), sunt mari și mai mari decât cele admisibile și reprezintă proporție de 18,8% din totalul generației reactive, deoarece există sarcini inductive în rețea, care provoacă scăderi de tensiune și, prin urmare, trecerea de curent mare, ceea ce duce să crească pierderile reactive, de asemenea MVar rezultate din transformatoare.

3.2.1.B Al doilea scenariu

Vom îmbunătăți tensiunile de rețea folosind excitația generatoarelor și comutatoarele nu funcționează pentru toate transformatoarele, având ipoteza (schimbatoarele sunt în poziția zero (0) pentru toate transformatoarele), iar din NEPLAN sau DIGSILENT, calculăm fluxul de putere și pierderile de putere prin rețea.

Discutarea rezultatelor S2

Rezultatele în cazul regimului staționar și nu funcționează comutatorul de reglaj pentru toate transformatoarele de rețea. În acest caz, tensiunea rețelei a fost reglată prin creșterea tensiunii pe partea generatoare prin excitarea generatoarelor.

- ↪ Toate nodurile, cu excepția N2–N11, au tensiuni normale (adică, în intervalele permise și recomandate), așa cum se arată în Fig. 3-9.
- ↪ Tensiunile nodurilor generatoare au aceeași valoare de excitație, unghiul tensiunilor pentru aceste noduri sunt mici;
- ↪ Toate nodurile Tensiuni in cadrul nivelului admis, dar mai mici de 100%, deoarece depinde de tipul de sarcina (inductiva sau capacitiva) cu excepția BC1, este mai mare de 100% deoarece are P.f=0,87; după cum se arată în Fig. 3-8.

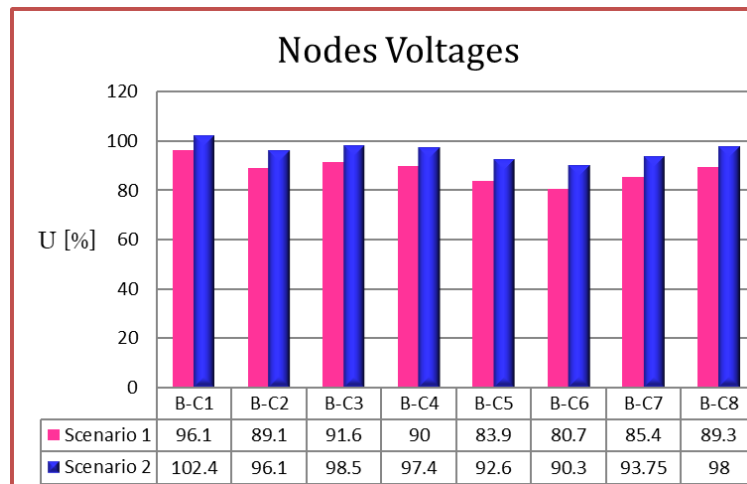


Figura 3-8. Tensiune de sarcină (C1S1)

↳ Observăm că o creștere semnificativă la nodurile (N2 – N11) peste limita permisă, asta pentru că aceste noduri sunt legate de generare, iar liniile conectate în aceste noduri nu au încărcat mai mult de jumătate din capacitate;

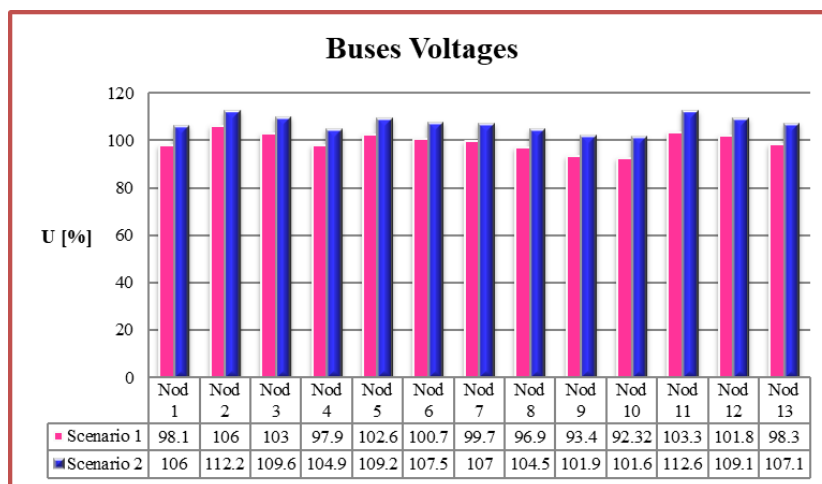


Figura 3-9. Noduri Tensiuni (C1S2)

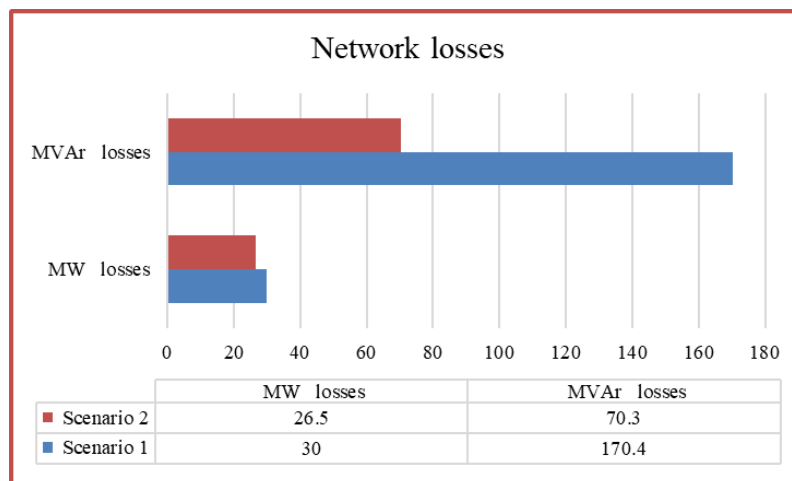


Figura 3-2. Pierderi de rețea (C1S2)

Conform fig. (3–12), pierderile active suportate în rețea (26,5 [MW]) sunt normale, adică în limite acceptabile și reprezintă 2,06% din totalul generației active.

Observăm că pierderile totale (P_{Losses}, Q_{Losses}) Mai puțin decât pierderile (P_{Losses}, Q_{Losses}) în primul scenariu și că datorită tensiunilor îmbunătățite de către generatoare prin excitație, creșterea tensiunilor duce la pierderi mai mici.

3.2.1.C Al treilea scenariu:

Vom îmbunătăți tensiunile de rețea folosind **excitația generatoarelor** și comutatoarele de prize funcționează (automat) pentru toate transformatoarele (cu excepția transformatoarelor generatoarelor, având ipoteza (comutatoarele de prize sunt în poziția zero (0)), și de la NEPLAN sau DiGSILENT, calculăm fluxul de putere și pierderile de putere prin rețea.

Discutarea rezultatelor S3

In this scenario, we will operate all the Tap changers (automatic) for all transformers (except generators transformers) and using the excitation of generators to raise the voltage in generation side.

↪ Observăm că toate tensiunile din toate nodurile sunt bine așa cum se arată în figurile (3 - 13) și 3-14;

- Toate tensiunile nodurilor generatoarelor sunt aceleași proporția excitației generatoarelor;
- Toate Tensiunile Autobuzelor sunt bune și variază între 100% și 109%;
- Tensiunile nodurilor sunt foarte excelente și toate aproximativ 100%.

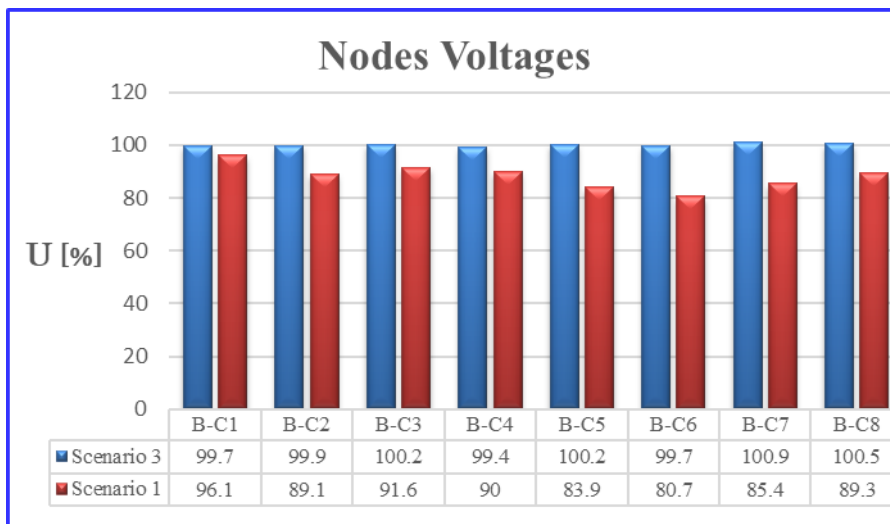


Figura 3-33. Loads Voltages (C1S3)

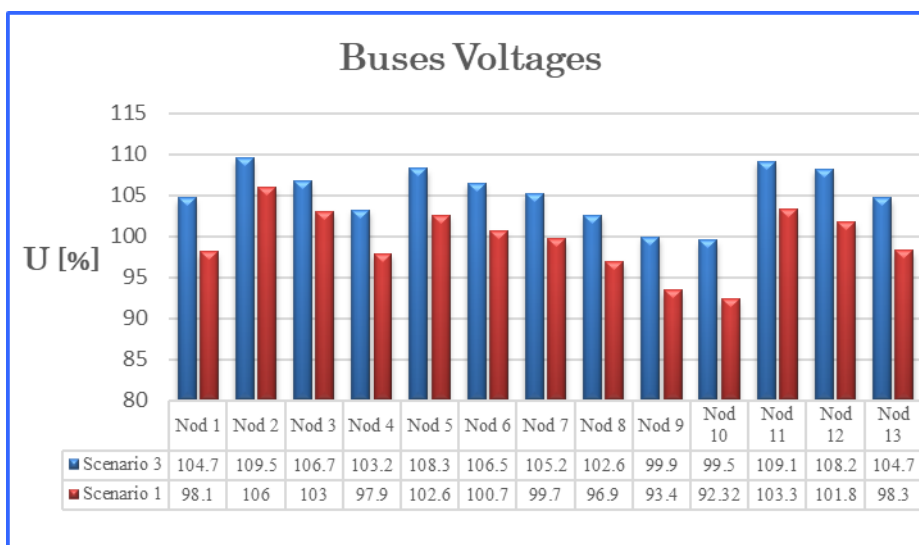


Figura 3-4. Nodes Voltages (C1S3)

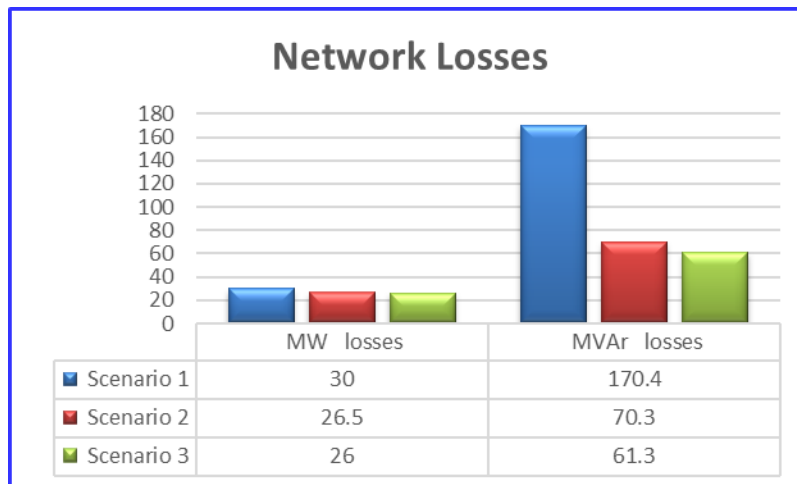


Figura 3-5. Network losses (C1S3)

- Pierderile active în rețea sunt tipice, adică în limitele permise, și reprezintă 2% din totalul generației active, așa cum se arată în Fig. 3-15.
- Pierderile reactive în rețea (61 [MVar]) sunt sub limitele acceptabile și constituie 4,7% din producția reactivă totală; aceasta este în intervalul acceptabil.
- ✓ Observăm că pierderile totale (P_{Losses}, Q_{Losses}) Mai puțin decât pierderile (P_{Losses}, Q_{Losses}) în primul scenariu și asta din cauza tensiunilor îmbunătățite. Motivul îmbunătățirii tensiunilor și regularității este excitarea generatorului și acționează comutatoarele de reglaj, deoarece generatorul generează energie cu tensiuni mai mari decât (100% din V de funcționare) pentru a compensa căderea de tensiune care are loc la linii și comutatorul de reglaj reglează tensiunile recomandate pentru sarcini.

3.2.1.D Al patrulea scenariu:

În acest scenariu, vom îmbunătăți tensiunile rețelei prin utilizarea îmbunătățirii factorului de putere pentru rețelele industriale și urbane care au factorii de putere mai mici de (0,92) prin compensarea puterii reactive prin adăugarea de condensatoare de șunt. De asemenea, folosind comutatoarele de reglaj funcționează (automat) pentru toate transformatoarele (cu excepția transformatoarelor de generatoare), și nu folosim excitația generatoarelor, iar din NEPLAN sau DIGSILENT, calculăm debitul de putere și pierderile de putere prin rețea.

Discutarea rezultatelor S4 După îmbunătățirea factorului de putere, comutatoare (automate) pentru toate transformatoarele de sarcină și nu folosesc excitații ale generatorului.

- ↪ Observăm că adăugarea de condensatoare statice în funcție de factorul de putere pentru sarcină;
- ↪ Observăm că valorile tensiunilor pentru toate tensiunile nodurilor sunt excelente la aproximativ 100%, după cum se arată în Fig. 3-16;
- ↪ Observăm că valorile tensiunilor pentru nodurile generatoarelor sunt aceleași tensiuni de generație 100%;

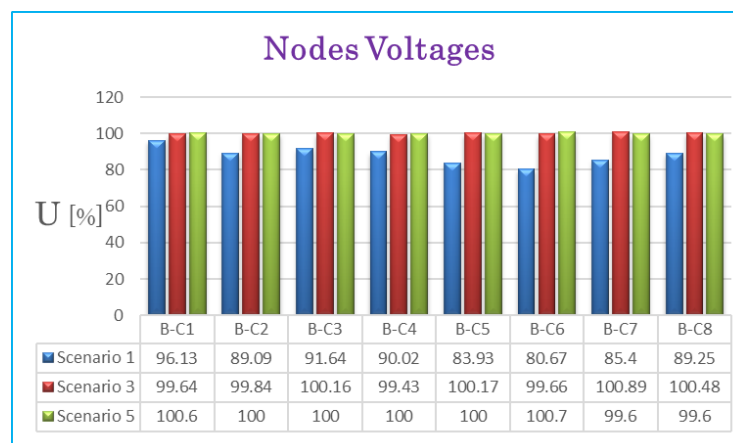


Figura 3-6. Tensiuni de sarcină (C1S4)

- Vedem că valorile tensiunii pentru tensiunile magistralei sunt toate OK și variază între (100% - 108%), așa cum se arată în Fig. 3-16.

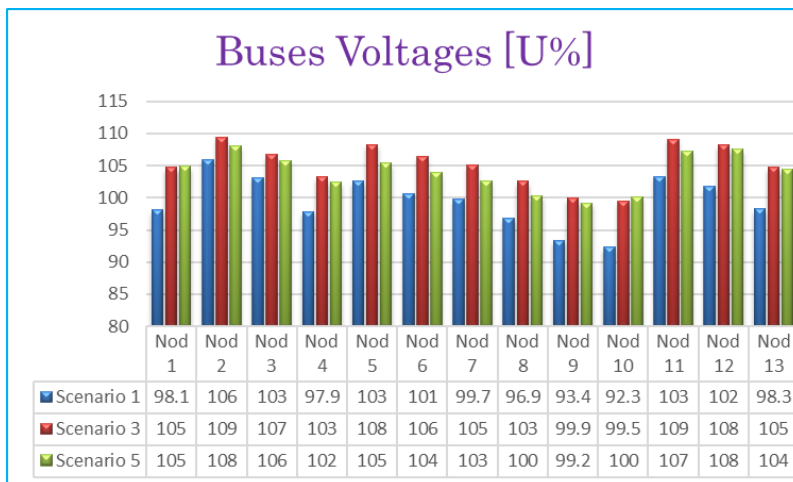


Figura 3-17. Tensiuni noduri (C1S4)

- Pierderile totale active în rețeaua 22,6 [MW], sunt mici, adică în limitele admisibile și reprezintă proporție de 1,75% din generația totală activă, așa cum se arată în Fig. 3-21;
- Pierderile totale reactive în rețeaua 18.7 [MVar], sunt normale, adică în limitele admisibile și reprezintă proporție de 2,95 % din generarea reactivă totală, așa cum se arată în Fig. 3-21;
- ✓ Observăm că toate tensiunile sunt foarte bune și pierderile totale (P_Loss ,Q_Losses) sunt cel mai mic caz pentru rețea și reprezintă cea mai bună funcționare a rețelei, iar motivul este capacitatea îmbunătățită a factorilor de putere care îmbunătățește tensiunile și astfel crește capacitățile de transport a sarcinii, pe lângă operarea comutatorului de reglaj, ceea ce îmbunătățește tensiunile cu valoarea necesară pentru sarcini,

$$\Delta P = R \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \quad \dots (3.13) [51]$$

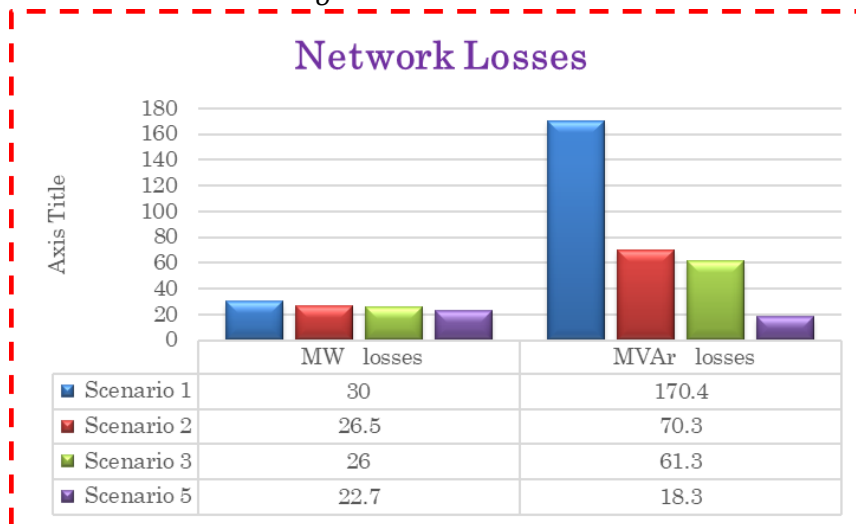


Figura 3-7. Pierderi de rețea (C1S4)

Am conectat condensatorii direct la bara, pentru a minimiza pierderile și căderile de tensiune. Condensatorii compensează local puterea reactivă (MVar) a consumatorilor și sunt distribuite în întregul sistem de putere. Caracteristicile majore ale condensatoarelor shunt sunt costul redus și flexibilitatea de instalare și funcționare.

Un factor de putere mai mic determină un flux de curent mai mare pentru o sarcină dată. Pe măsură ce curentul de linie crește, scăderea tensiunii în conductor crește, ceea ce poate duce la o tensiune mai scăzută la echipament. Cu un factor de putere îmbunătățit, căderea de tensiune în conductor este redusă, îmbunătățind tensiunea la echipament. Pierderile din conductorul sistemului sunt proporționale cu pătratul curentului și, deoarece curentul este redus direct proporțional cu îmbunătățirea factorului de putere, pierderile sunt invers proporționale cu pătratul factorului de putere.

CAPITOLUL 4: Reglarea tensiunii și surse regenerabile de energie

4.1 Introducere

Serviciul de reglare a tensiunii este o funcție auxiliară esențială pe care se bazează toți operatorii de sistem pentru a menține sistemul de putere în siguranță și fiabil. Trebuie să funcționeze mereu. Se desfășoară cercetări în curs pentru a clarifica mai bine cum să măsoarăți și să oferiți acest serviciu suplimentar. Stabilitatea tensiunii și fiabilitatea sistemului necesită reglarea utilizării atât a curentului, cât și a tensiunii [109]. Datorită legăturii strânse dintre puterea reactivă și tensiune, este fezabilă modificarea tensiunii prin modificarea puterii reactive [100].

La nivel de transport, precum și de distribuție, este necesară o abordare separată pentru a examina gestionarea tensiunii și compensarea puterii reactive. Când vine vorba de rețelele de înaltă tensiune (HV), acestea pot profita din plin de suportul de putere reactivă la tensiune oferit de marile generatoare de energie, capacitatea de a controla rețeaua generală, totuși, când vine vorba de rețelele de distribuție, controlul tensiunii este de obicei aplicat. fiecare zonă separat, fiecare dintre acestea fiind doar o parte minoră a întregului sistem de distribuție. În cele din urmă, diferite centre de dispecer și operatori reglementează nivelurile de transport și distribuție și, deși funcționarea sistemului EHV are o influență semnificativă asupra tensiunilor din zona de distribuție, invers este mai puțin.

Următoarele sunt obiectivele cheie de control al tensiunii pe rețeaua de transport:

- Reducerea pierderilor din sistemul de putere este o prioritate, la fel ca și asigurarea unui profil constant de înaltă tensiune.
- Creșterea domeniului de stabilitate a tensiunii în sisteme..

Ambele trebuie să fie disponibile la nivel de distribuție pentru a îndeplini aceste obiective.

- a) Rezerve de putere reactivă care pot fi controlate în caz de urgență.
- b) Sistem de gestionare a tensiunii pe suprafață largă, eficient și automat.

Unele măsuri de precauție pot fi necesare pentru a menține securitatea și fiabilitatea operaționale la un nivel acceptabil. Cercetarea analizează de obicei o varietate de consecințe cu rezoluții diferite la scară de timp și impacturi atât la nivel de sistem, cât și la nivel local. Preocupările privind integrarea în rețea cu generarea distribuită (DG) se concentrează pe efectele locale și regionale, mai degrabă decât pe probleme de transmisie și la nivelul întregului sistem, din cauza utilizării pe scară largă a generării DG și PV [18].

4.2 Energii regenerabile (fotovoltaice și turbine eoliene)

În era tehnologiei civilizate, dezvoltării și industrializării, creșterea rapidă și în creștere a energiei electrice este saturată de combustibili fosili [112], care sunt scumpi, care se epuizează rapid și poluează mediul (atmosfera). Reducerea emisiilor de dioxid de carbon și creșterea eficienței tehnologiilor regenerabile este unul dintre motivele pentru încorporarea acestora în sistemele de energie electrică [113]. Acest lucru duce la o trecere către surse regenerabile curate, ieftine și fără carbon [114]. care au fost, de asemenea, împărțite în surse regenerabile controlate (hidro, geotermal, biomasă) și variante de surse de energie regenerabilă (VRES), reprezentate de (turbine eoliene și fotovoltaice). Sursele de energie regenerabilă variabilă (VRES) arată o creștere în creșterea furnizării de energie electrică în ultimul deceniu, în special în Europa, SUA și China. În perioada recentă, China a devenit lider mondial în generarea de surse de energie regenerabilă, deoarece a depășit Statele Unite ale Americii și Europa și își propune să consume 35% din energie electrică până în 2030 [115]. Cu toate acestea, aceste SRE sunt semivariabile datorită dependenței lor de climă și locație. Aduce incertitudine care cauzează instabilitate a sistemului și poate duce la defecțiuni succesive [116].

Prin studii, s-a demonstrat că stabilitatea poate fi influențată semnificativ de pătrunderea fotovoltaică (PV) ridicată, luând în considerare puterea totală, căderea de tensiune, analiza defecțiunilor și stabilitatea tranzitorie [124]. Integrarea din ce în ce mai mare a SRE crește complexitatea controlului tensiunii în rețelele de transport din cauza incertitudinii în prognoza meteorologică a producerii de energie [125][126][39][127][128].

Printre efectele semnificative asupra funcționării sistemelor de energie electrică se numără și creșterea ponderii energiei regenerabile (SRE) în totalul amestecului de energie. Determinarea gradului de efecte se face prin: Puterea generatoare a surselor și caracteristicile operaționale ale acestor surse, caracteristicile rețelei de energie electrică de care sunt legate aceste surse și caracteristicile operaționale ale centralelor convenționale cu combustibil. [33].

Studiile de integrare WT/PV, pe de altă parte, necesită cunoștințe despre alte centrale electrice, sarcini și structura și caracteristicile sistemului de transport și/sau distribuție. Acești factori vor afecta concluziile unui studiu de integrare care vizează estimarea consecințelor probabile într-un an viitor al cantităților mari de energie eoliană și fotovoltaică. Va exista o gamă largă de tipuri și cantități de date necesare pentru numeroasele simulări care pot face parte dintr-un studiu. Rețeaua de transport, de exemplu, poate fi reprezentată în anumite modele de angajare și expediere unităților prin simpla capacitate de transfer netă între zonele de echilibrare care limitează fluxul de transport.

4.3 Studiu de caz

În această parte (Studiul de caz), vom studia Reglarea tensiunii în rețelele de transport, inclusiv sursele de energie regenerabilă despre (NORDIC 32-Bus) sistemul de putere reprezintă un sistem mare,

Scopul capitolului este de a studia efectul surselor regenerabile de energie (SRE) asupra sistemelor de energie în ceea ce privește planificarea, funcționarea și îmbunătățirea nivelului de tensiune al sistemului de putere NORDIC 32-Bus, care suferă de probleme la tensiunile unor autobuze. , precum și procentul mare de pierderi de putere.

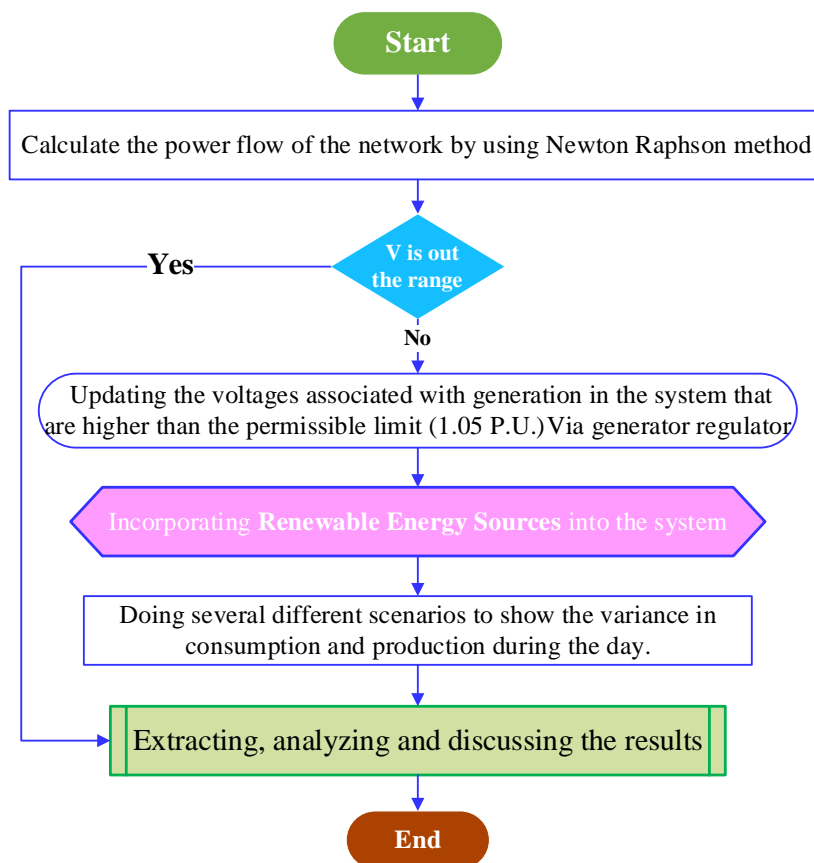


Figura 4-1. Diagramă de Metodologia studiului de caz

4.5.3 Schița parte a studiului de caz

4.5.4 Caz inițial - Caz de bază:

4.5.5 Incorporarea energiilor regenerabile (SRE) în sistemul energetic NORDIC 32-Bus, inclusiv WT și PV. și faceți mai multe scenarii care arată variația consumului și a generației pe parcursul zilei.

4.6 În cele din urmă, Prezintă concluziile

4.5.4.A Caz inițial - Caz de bază:

În acest caz, am simulat sistemul de putere Nordic32 cu programele DIgSILENT și MATLAB. Rezultatele DIgSILENT PowerFactory (15.1) și MATLAB au fost complet similare, rezultatele sunt similare din toate punctele de vedere în ceea ce privește tensiunile la toate magistralele, precum și pierderile totale.

Discuția rezultatelor:

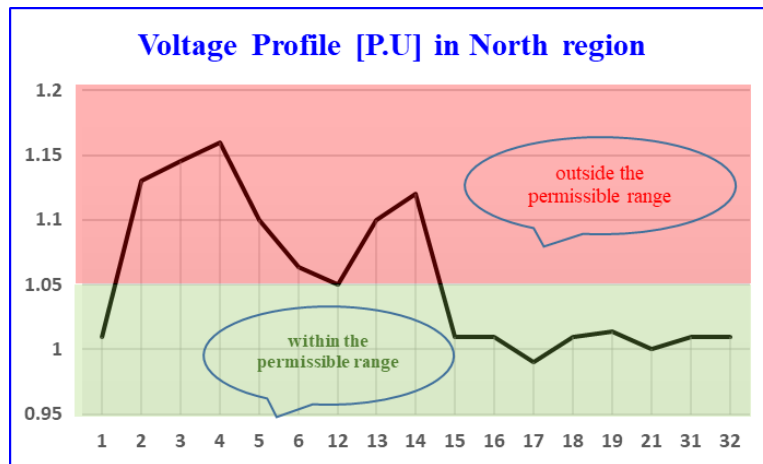


Figura 4-2. Profil de tensiune în regiunea de nord (caz de bază)

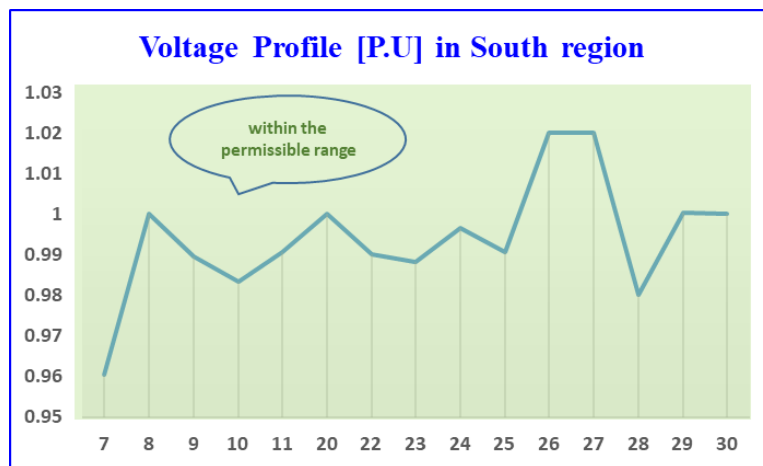


Figura 4-3. Profil de tensiune în regiunea de sud (caz de bază)

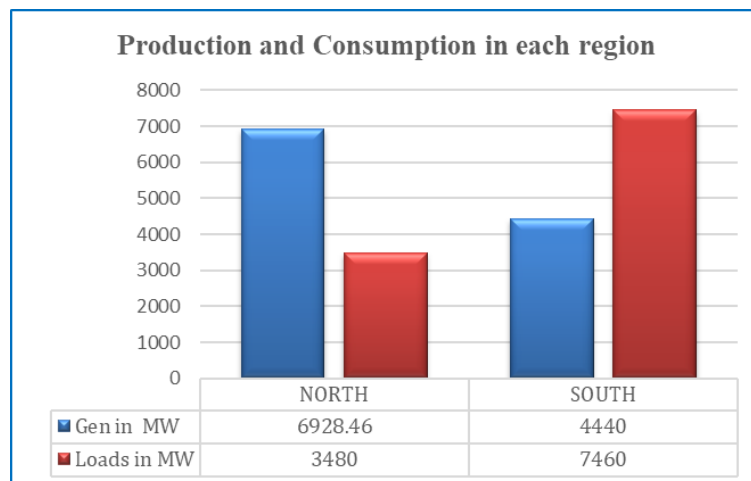


Figura 4-4. Producție și consum în fiecare regiune (caz de bază)

Results. Base case. In this case, the network operation is in its steady state.

Fig. 4-8. mai sus arată (în Regiunea de Nord) tensiunile sunt normale (adică, în intervalul permis și recomandat) pentru unele autobuze, iar celelalte autobuze au o creștere semnificativă.

În ceea ce privește Regiunea Sud, tensiunile sunt toate în limita admisă, dar unele autobuze sunt mai mici de 1 p.u, așa cum se arată în Fig.4-9.

Fig. 4-10. arată în regiunea de Nord că generația totală este mare (6928,46 MW) în timp ce consumul este mic (3480 MW). de asemenea, în regiunea de Sud, în care producția totală este scăzută (4440 MW), în timp ce sarcina totală (7460 MW) este mare, sistemul este puternic încărcat cu transferuri mari în principal din regiunea de Nord în regiunea de Sud.

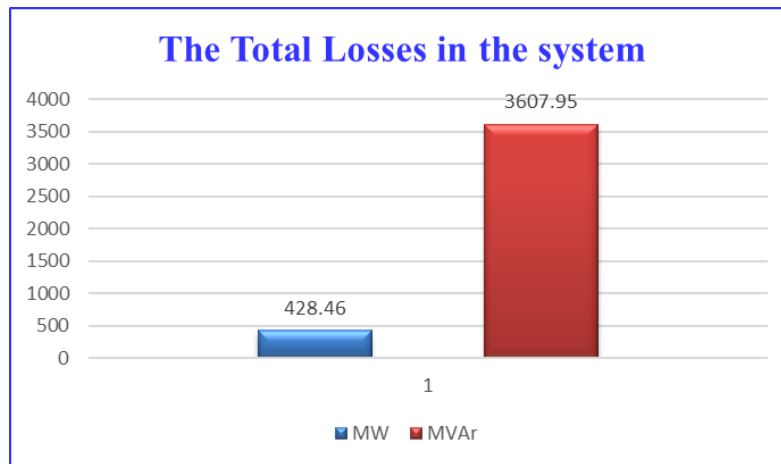


Figura 4-5. Producție și consum în fiecare regiune (caz de bază)

Pierderile totale active reprezintă 3,77% din totalul generației reale și se încadrează în limita permisă, așa cum se arată în Fig 4-11. În timp ce pierderile totale de putere reactivă în sistem sunt (3607,9 MVar), aceasta reprezintă 49,37% din generarea totală a sistemului reactiv, ceea ce este foarte mare și peste procentul admis, așa cum se arată în Fig 4-11.

Aceasta trebuie să dezvolte o soluție la problema din sistem (îmbunătățirea tensiunii și minimizarea pierderilor) prin utilizarea uneia dintre metodele de reglare a tensiunii, așa cum vedem în următoarele cazuri.

4.5.5 Încorporarea Energiilor Regenerabile și realizarea mai multor scenarii [Toc90487839](#)

În acest caz, încorporăm energiile regenerabile (SRE) în sistemul energetic NORDIC 32-Bus, inclusiv turbinele eoliene (WT) și fermele fotovoltaice (PV). și faceți mai multe scenarii care arată variația consumului și a producției în timpul zilei, așa cum se arată în tabelele de mai jos.

În toate scenariile, vom actualiza tensiunile asociate cu generarea în sistem care sunt mai mari decât limita permisă (1,05 P.U.), care este tensiunile magistralei 2, 3, 4, 5, 6 și 13 și vom face ca aceasta să fie de 1,05 P.U. de regulatorul generatorului și rezultatele de la MATPOWER de la MATLAB.

Tabelul 4-1. Scenarios in percentage

	The case	The Time	Percentage change in Loads and Generation	Generation Type	Scenarios	The Load		The Generation			
								Classical generation		Renewable Energy Sources	
						70% of Total Gen		30% of Total Gen		PV	WT
						P_L [MW]	Q_L [MVar]	Q_{gen} [MVar]	P_{gen} [MW]		
0	Basic Case					10940	3689	1458.64	7957.92	75% RES	25% RES
1	First Scenario	The Noon	90 %	Classical Gen + RES	Scenario 1.1	90 % P_L	90 % Q_L	90 % of [70% Q_{gen}]	90 % of [70% P_{gen}]	90% of [75% RES]	90 % of [25% RES]
				Classical Generation	Scenario 1.2	90 % P_L	90 % Q_L	90 % of [Q_{gen}]	90 % of [P_{gen}]	0	0
2	Second Scenario	The Evening	100%	Classical Gen + RES	Scenario 2.1	100 % P_L	100 % Q_L	100 % of [70% Q_{gen}]	100 % of [70% P_{gen}]	0	[100% WT] =30 % P_{gen}
				Classical Generation	Scenario 2.2	100 % P_L	100 % Q_L	100 % of [Q_{gen}]	100 % of [P_{gen}]	0	0
3	Third Scenario	The Night	75 %	Classical Gen + RES	Scenario 3.1	75 % P_L	75 % Q_L	75 % of [70% Q_{gen}]	75 % of [70% P_{gen}]	0	75% of [30% P_{gen}]
				Classical Generation	Scenario 3.2	75 %	75 %	75 % of [Q_{gen}]	75 % of [P_{gen}]	0	0

Discuția rezultatelor:

Rezumat pentru toate scenariile

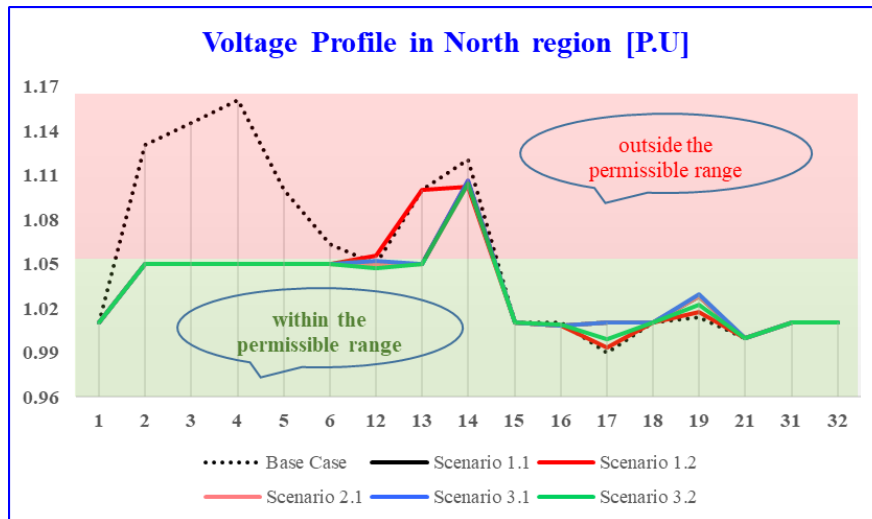


Figura 4-6. Profil de tensiune în regiunea de nord pentru toate scenariile

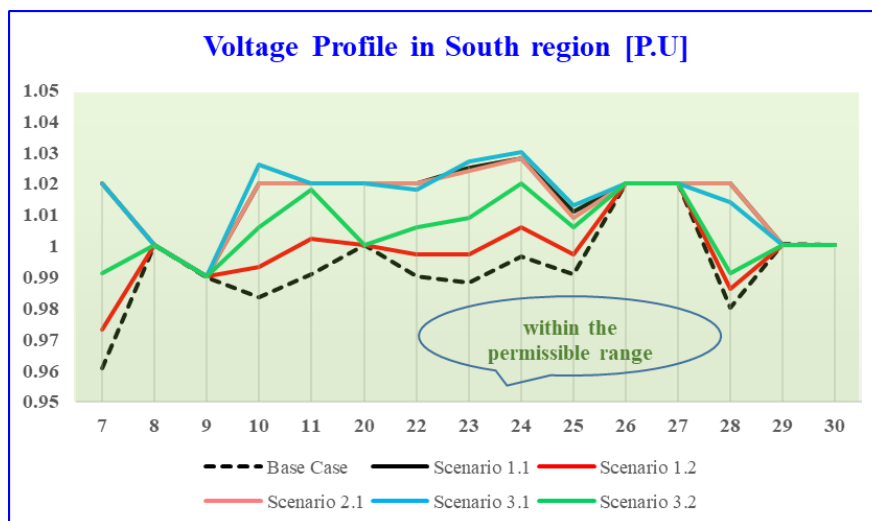


Figura 4-7. Profil de tensiune în regiunea de sud pentru toate scenariile

Dacă ne uităm la Fig. 4-36 și 4-37, putem observa că tensiunile s-au îmbunătățit în toate scenariile;

- ✚ În scenariile (**Noon S1.1**, **Evening S2.1**, and **Night S3.1**) în care au fost adăugate energii regenerabile în sistem, tensiunile s-au îmbunătățit în toate autobuzele, în special în regiunea de sud, iar acest lucru se datorează adăugării de energii regenerabile către regiunea de sud, care se caracterizează prin producție scăzută și sarcină mare.
- ✚ În scenariile (**Noon S1.2** and **Night S3.2**) pentru care nu am adăugat energii regenerabile, tensiunile s-au îmbunătățit în majoritatea autobuzelor, datorită actualizării tensiunilor pentru generație, precum și scăderii sarcinilor în sistemul.

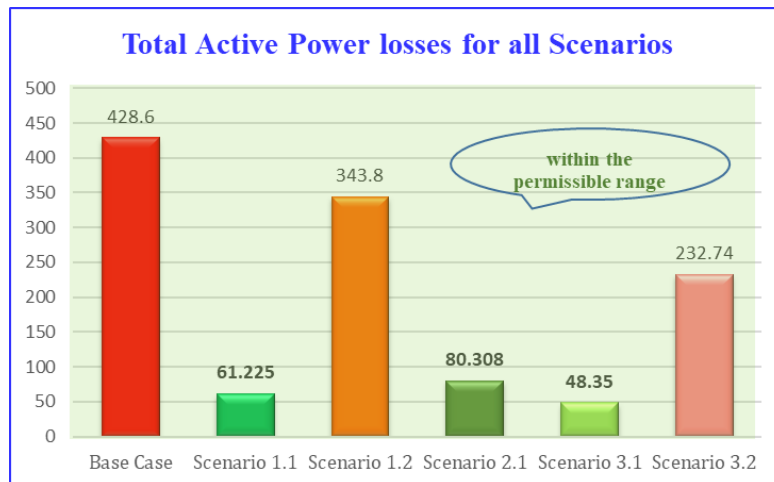


Figura 4-8. Total pierderi active în sistem pentru toate scenariile

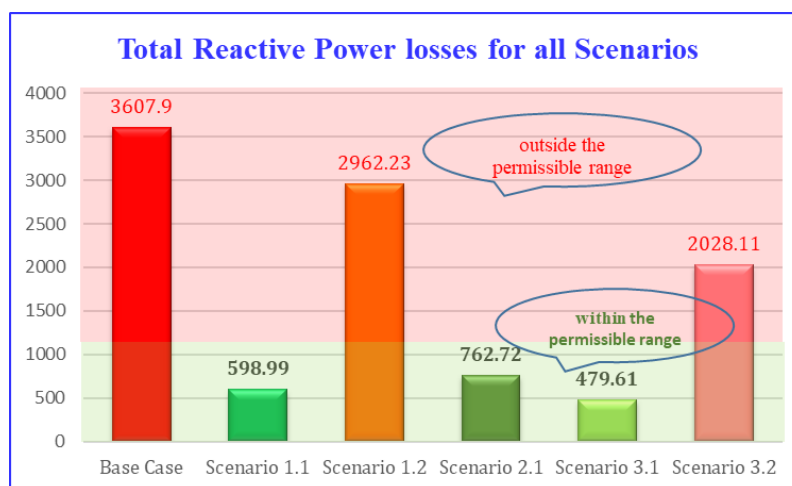


Figura 4-9. Pierderi reactive totale în sistem pentru toate scenariile

Trebuie să ne amintim că, în cazul de bază, transferurile mari, mai ales din zona de nord spre sud, au pus o povară grea asupra sistemului. Și că regiunea de nord are generație mare și încărcături reduse, iar regiunea de sud are sarcini mari și generație scăzută.

Din Fig. 4-40 și 4-41

↳ Observăm că pierderile în scenariul la **Noon** - primul s-au redus semnificativ datorită adăugării de energii regenerabile în zona de sud cu producție scăzută, tot datorită reducerii sarcinilor cu 10% din sistem, deoarece sarcinile sunt concentrate în regiunea de Sud.

În ceea ce privește scenariul Noon-al doilea, pierderile au fost, de asemenea, ușor reduse, deoarece sarcina a fost redusă cu 10%.

↳ În **Evening** - primul scenariu, pierderile au scăzut semnificativ în ciuda faptului că încărcăturile au rămas constante, deoarece am redus generația clasică cu 30%, și am înlocuit-o cu o sursă de energie regenerabilă, care este doar turbină eoliană, și s-a adăugat Turbina eoliană. spre regiunea **SUD**, care se caracterizează prin generarea redusă și încărcăturile mari, astfel că pierderile au scăzut dramatic.

↳ În **Night** - primul scenariu, pierderile au scăzut dramatic și este considerat cel mai bun dintre scenariile precum și cea mai bună stare de funcționare a sistemului și asta din două motive, primul este o scădere a consumului cu 25% a încărcăturilor sistemului și a doua este adăugarea de energii regenerabile în zona de Sud, unde în cazul precedent regiunea **SUD** era puțină producție și mult consum și generație îi vin din Nord.

În **Night** - al doilea scenariu, pierderile sunt aproape înjumătățite, datorită reducerii încărcăturilor cu 25%.

CAPITOLUL 5: Reglementarea tensiunii pentru rețelele de transport care utilizează dispozitive FACTS [SVC]

5.1 Introducere în reglarea tensiunii de către SVC

Progresele științifice și tehnologice în rețelele de transport de energie electrică îmbunătățesc gestionabilitatea, stabilitatea, precum și fiabilitatea sistemelor de energie, menținând în același timp o calitate înaltă a livrării de energie electrică. Sistemele flexibile de transmisie controlată alternativ (FACTS) cu dispozitive multifuncționale actuale pot produce cele mai bune și mai complete rezultate pentru aceste obiective, și în special, dispozitivele de control al puterii reactive – SVC. SVC este un dispozitiv static controlat configurat printr-un inverter de tensiune, pus în paralel în cadrul rețelei electrice[109]. Implementarea SVC poate fi similară cu alte dispozitive FACTS: controlate de compensarea longitudinală (TCSC), compensatorul static, precum și compensatorul static sincron în serie (SSSC) (STATCOM). Algoritmii de control ai unor astfel de convertoare trebuie să fie capabili să asigure o calitate înaltă a convertorului în condiții de regim staționar (pierderi mici, satisfacerea cerințelor standardelor de distorsiune armonică de tensiune) și, de asemenea, să asigure eficiența și performanța ridicată a SVC în situații de urgență și post. -conditii de urgenta a rețelei.

Obiectivul principal al acestui capitol este menținerea și gestionarea tensiunii la substațiile rețelei electrice în condiții normale, precum și în condiții de defecțiune, găsirea locației pentru instalarea SVC, precum și furnizarea de informații despre fluxul de energie, compensarea puterii reactive și, ulterior, reducerea daunelor prin utilizarea procesului de optimizare. pentru a descoperi dispozitivele FACTS optime sunt, de asemenea, subiectul acestei investigații, deoarece au potențialul de a îmbunătăți stabilitatea tensiunii, de a crește capacitatea liniei și de a reduce costurile de operare a sistemului de putere [149][150][151].

Înainte de a adăuga noi centrale electrice suplimentare la rețeaua electrică, trebuie evaluate adecvarea rețelei pe termen lung și efectele pe termen scurt asupra echilibrului sistemului și stabilității dinamice. Managementul sistemului de putere, economia, precum și eficiența sunt toate afectate de implementarea energiei WT/PV. La procente mai mari de energie eoliană și solară, cel mai bun mix de generare convențional se poate modifica[152].

Profilul de tensiune trebuie îmbunătățit pentru fiabilitatea sistemului de putere și pentru a furniza energie electrică de înaltă calitate. Instabilitatea tensiunii și supraîncărcarea liniei sunt două dintre problemele principale cu care se confruntă sistemul electric astăzi. Generarea, transmisia și consumul de putere reactivă contribuie toate la stabilitatea tensiunii. Instabilitatea profilului de tensiune este cauzată de puterea reactivă dezechilibrată. Ca rezultat, un dispozitiv electronic de putere numit FACTS a fost creat pentru a îmbunătăți controlabilitatea și capacitățile de transfer de putere. Necesitatea de a găsi soluții la aceste probleme și restricții a determinat ca progresul tehnologic să se concentreze asupra transmisiei AC flexibile (FACTS). Pentru o producție maximă, producția de energie, precum și transmisia este un proces complex care implică multe părți diferite ale sistemului de putere. Când vine vorba de puterea reactivă, sarcinile inductive grele sunt încă o componentă critică a sistemului. Electricitatea activă poate fi trimisă numai prin fire dacă se menține o tensiune constantă. Încărcăturile, cum ar fi motoarele, precum și alte aparate electrice necesită putere reactivă.

Beneficiile instalării FACTS sunt prezentate mai jos în Fig. 5-1 [153][154][155][156].

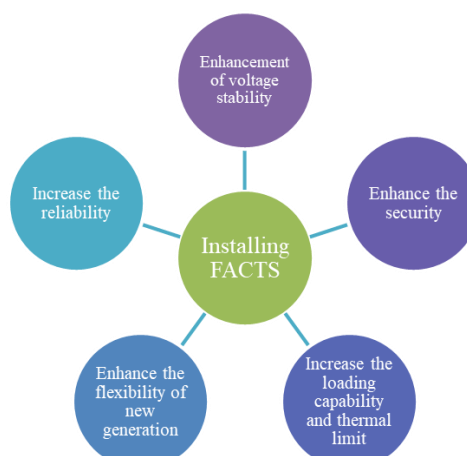


Figura 5-1. Avantajele instalării FACTS

Pot fi necesare unele măsuri de precauție pentru a menține un grad adecvat de securitate și fiabilitate operațională. Este obișnuit ca studiile să se concentreze pe o gamă largă de implicații, de la nivelul sistemului la nivel local. Problemele de integrare în rețea din partea distribuției tind să se concentreze mai mult pe repercusiunile locale și regionale ale creșterii energiei solare și eoliene decât pe transport, precum și pe preocupările la nivelul întregului sistem. Pentru a regla fluxul sistemelor energetice, inovația FACTS utilizează o colecție de numeroase controlere pentru a fi utilizate fie individual, fie împreună. Aceasta include, dar nu se limitează la, impedanța șunt și serie, tensiune și curent și, de asemenea, unghiul de fază.

Acest capitol se concentrează pe utilizarea Compensatorului Static VAr (SVC) pentru a rectifica reglarea tensiunii, precum și problemele de performanță dinamică în acest sistem.

5.8 Studiul de caz

Această parte (studiu de caz) se concentrează pe reglarea tensiunii sistemului de putere (NORDIC 32-Bus) folosind dispozitive FACTS (dispozitive SVC).

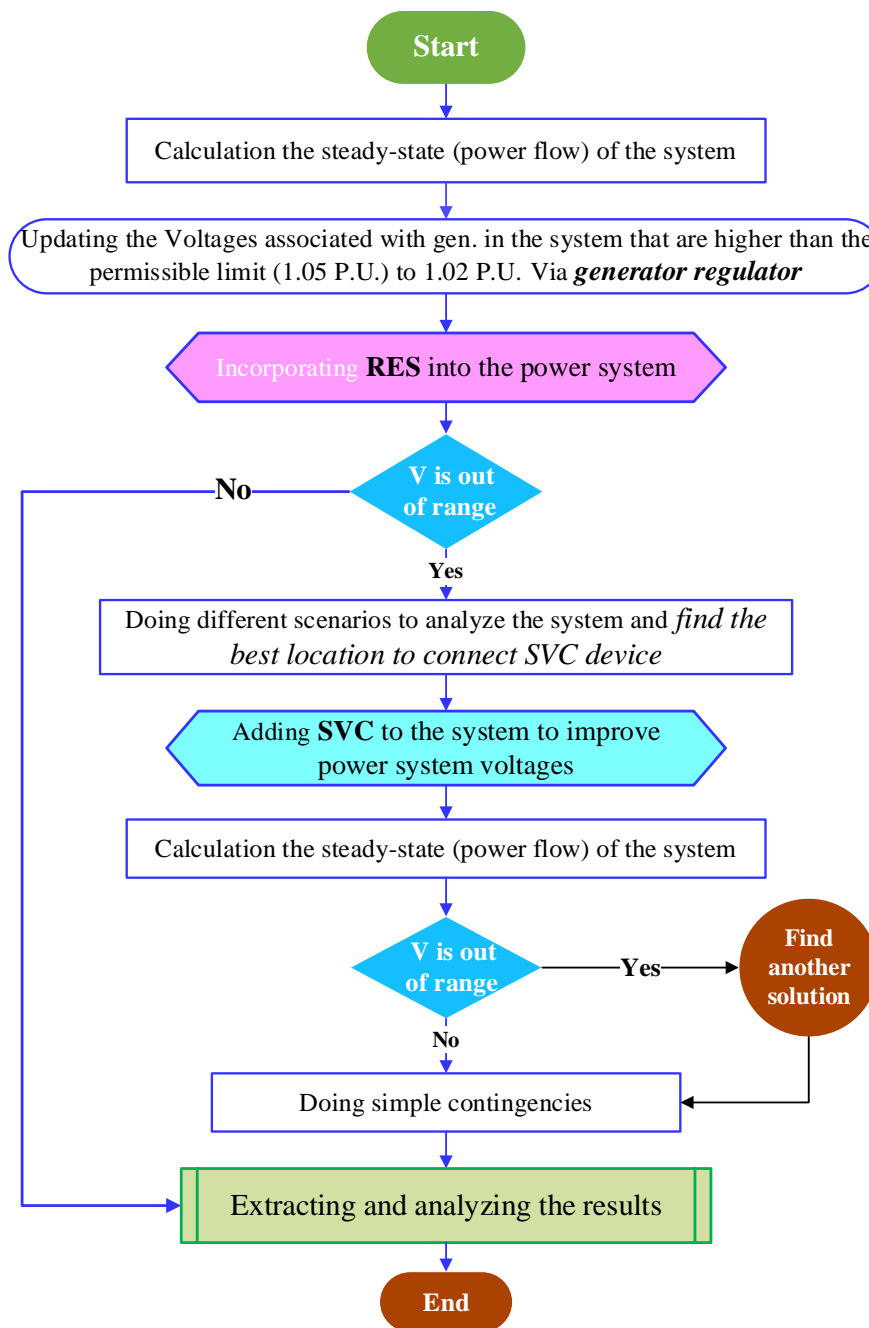
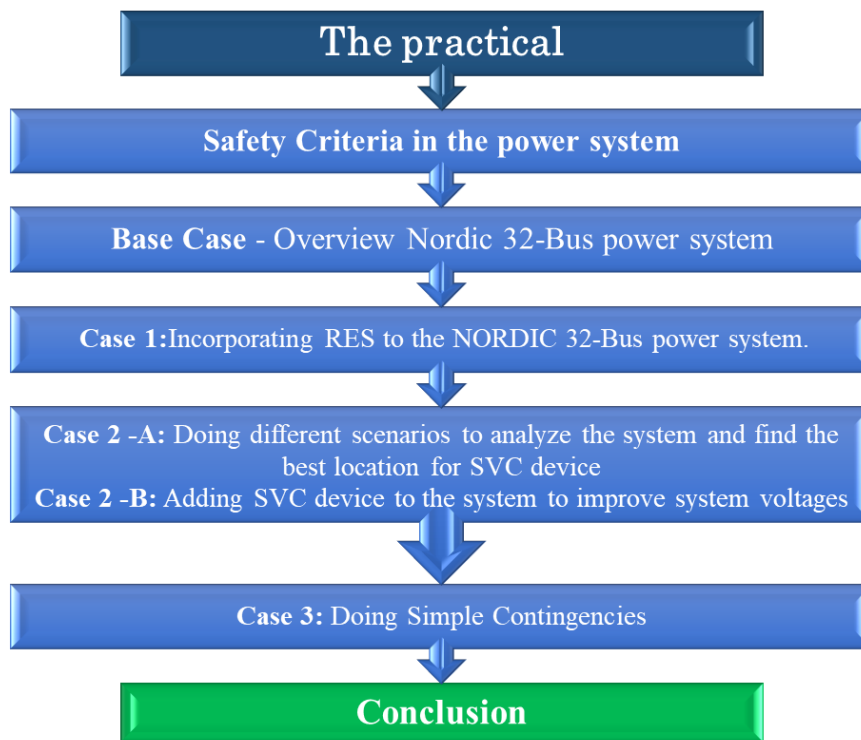


Figura 5-2. Organigrama Metodologiei Studiului de caz

Schiță a părții Studiu de caz



5.8.1 Caz inițial - Caz de bază:

Rezultatele acestui caz sunt prezentate în al treilea capitol (cazul de bază).

În acest scenariu, am folosit NEPLAN, DIgSILENT, precum și MATLAB pentru a modela sistemul de putere Nordic32.

În ceea ce privește tensiunile, precum și unghiurile la toate magistralele, precum și fluxul de putere, precum și pierderile totale, constatările sunt aceleași pentru NEPLAN (5.5.5), DIgSILENT PowerFactory (15.1) și MATLAB.

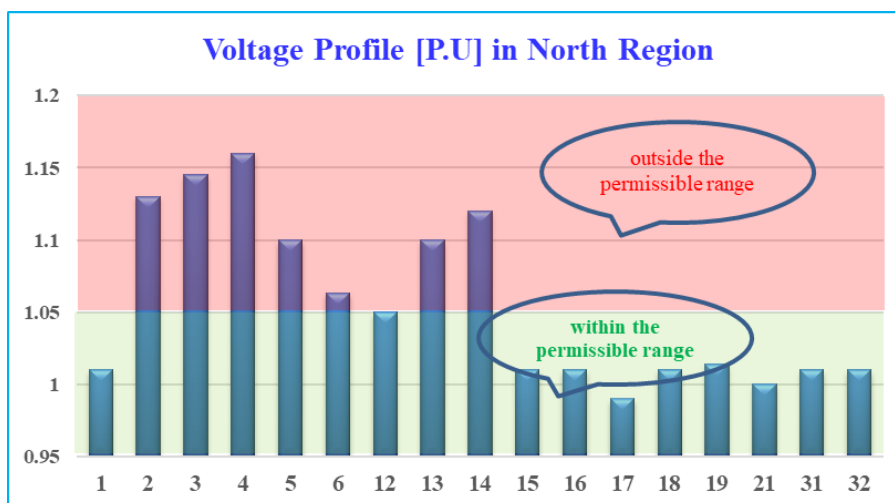


Figura 5-3. Profil de tensiune în regiunea de nord (C0)

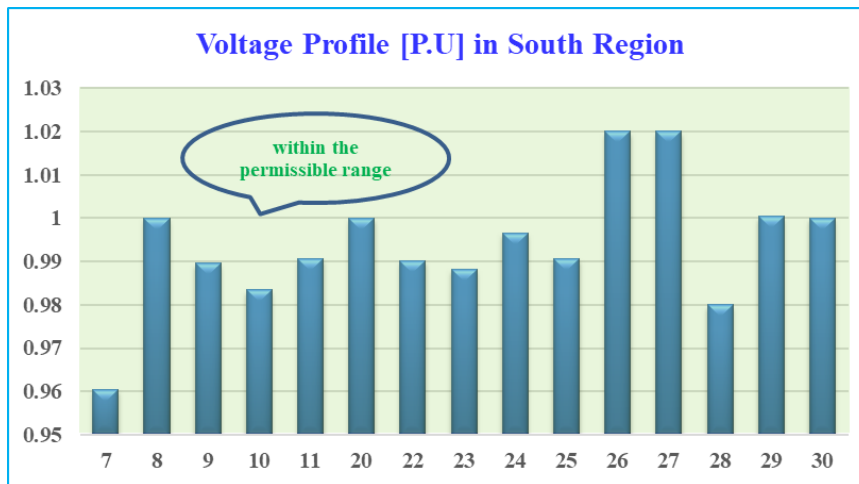


Figura 5-4. Profil de tensiune în regiunea de sud (C0)

Aici, vorbim despre starea de echilibru a funcționării rețelei, care este ceea ce vedem aici.

Fig. 5-10 arată că tensiunile sunt normale (adică, în limitele admisibile și recomandate) pentru unele autobuze și pentru celelalte autobuze având o creștere semnificativă ($U > 1,05$ p.u) (în afara limitei permise) și Fig. 5 -11 arată că tensiunile din Regiunea Sud sunt toate în limita permisă. În acest capitol vom îmbunătăți tensiunea folosind dispozitivul SVC.

5.8.2 [Toc89955322](#) Cazul 1 - Încorporarea surselor de energie regenerabilă și realizarea de scenarii

În acest caz, vom actualiza tensiunile asociate cu generarea în sistem care sunt mai mari decât limita admisă (1,05 P.U), care este tensiunea magistralei 2, 3, 4, 5, 6 și 13, și o vom face 1,02 P.U. Prin regulator generator.

Acum, reducem producția cu 15% din totalul generației din sistem și adăugăm în schimb surse de energie regenerabilă (SRE). și încorporăm surse de energie regenerabilă (SRE) în sistemul energetic NORDIC 32-Bus, inclusiv turbinele eoliene (WT) și fermele fotovoltaice (PV), așa cum se arată în tablele 5-1 de mai jos.

Tabelul 5-1. Locația și capacitatea RES C1

	Locația	Capacitatea [MW]	Tip RES	Regiunea
1	Bus 7	600	WT	South region
2	Bus 11	505.3	PV	
3	Bus 17	300	WT	North region
4	Bus 19	300	PV	
Total		1705.3	RES	

Discuția rezultatelor

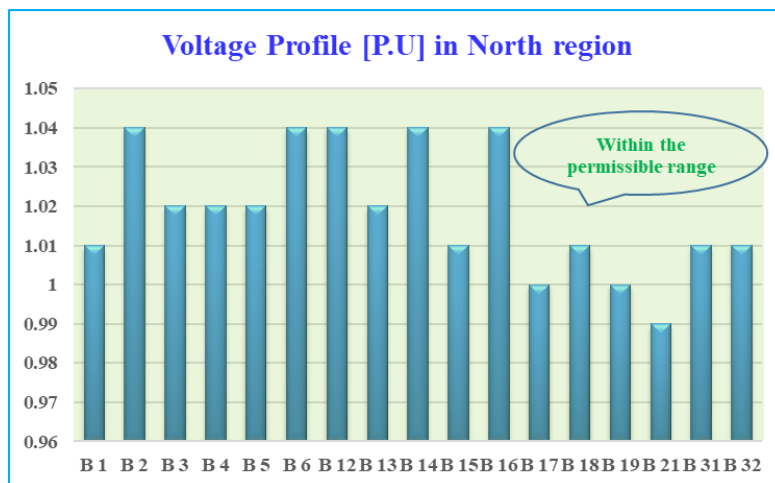
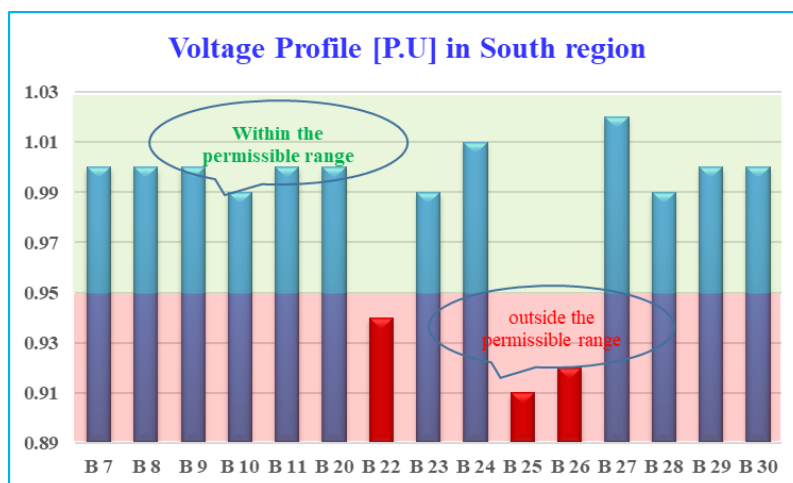


Figura 5-5. Profil de tensiune în regiunea de nord C1



Figurae 5-6. Voltage Profile [P.U] in South region C1

După actualizarea tensiunilor asociate cu generarea, care a fost mai mare de 1,05 P.U și a făcut-o 1,02 P.U Prin regulatorul generatorului și adăugarea RES la sistem, observăm că tensiunile din regiunea de Nord sunt toate în limita admisă, așa cum se arată în Fig. 5-13.

În timp ce în regiunea de sud, toate tensiunile sunt în limita permisă, cu excepția noduri 22, 25 și 26, care vor trebui reglementate, așa cum se arată în Fig. 5-14, și vom adăuga SVC. după cum vom vedea în următorii pași.

5.8.3 Cazul 2 – Analizați sistemul și adăugați SVC la sistem [Toc89955323](#)

5.8.3.A Cazul 2- A: Faceți diferite scenarii pentru ca sistemul să găsească locația potrivită pentru dispozitivul SVC

În acest caz, vom face o analiză completă a sistemului pentru a cunoaște stabilitatea sistemului, precum și zonele slabe și autobuzele slabe din sistem. Scopul acestui caz este de a găsi locația potrivită pentru dispozitivul SVC. Vom face cinci Cazuri, iar fiecare caz reprezintă zonă, în fiecare zonă, există mai multe evenimente:

- 1- Prima zonă: În Regiunea Nord-Vest a sistemului
- 2- A doua zonă: În Regiunea Nord-Est a sistemului
- 3- A treia zonă: În Regiunea Sud-Vest a sistemului
- 4- A patra zonă: În centrul regiunii de sud a sistemului
- 5- A cincea zonă A: În Regiunea Sud-Est
- 6- A șasea zonă B: În Regiunea Sud-Est

Figura 5-15 de mai jos arată regiunile din system

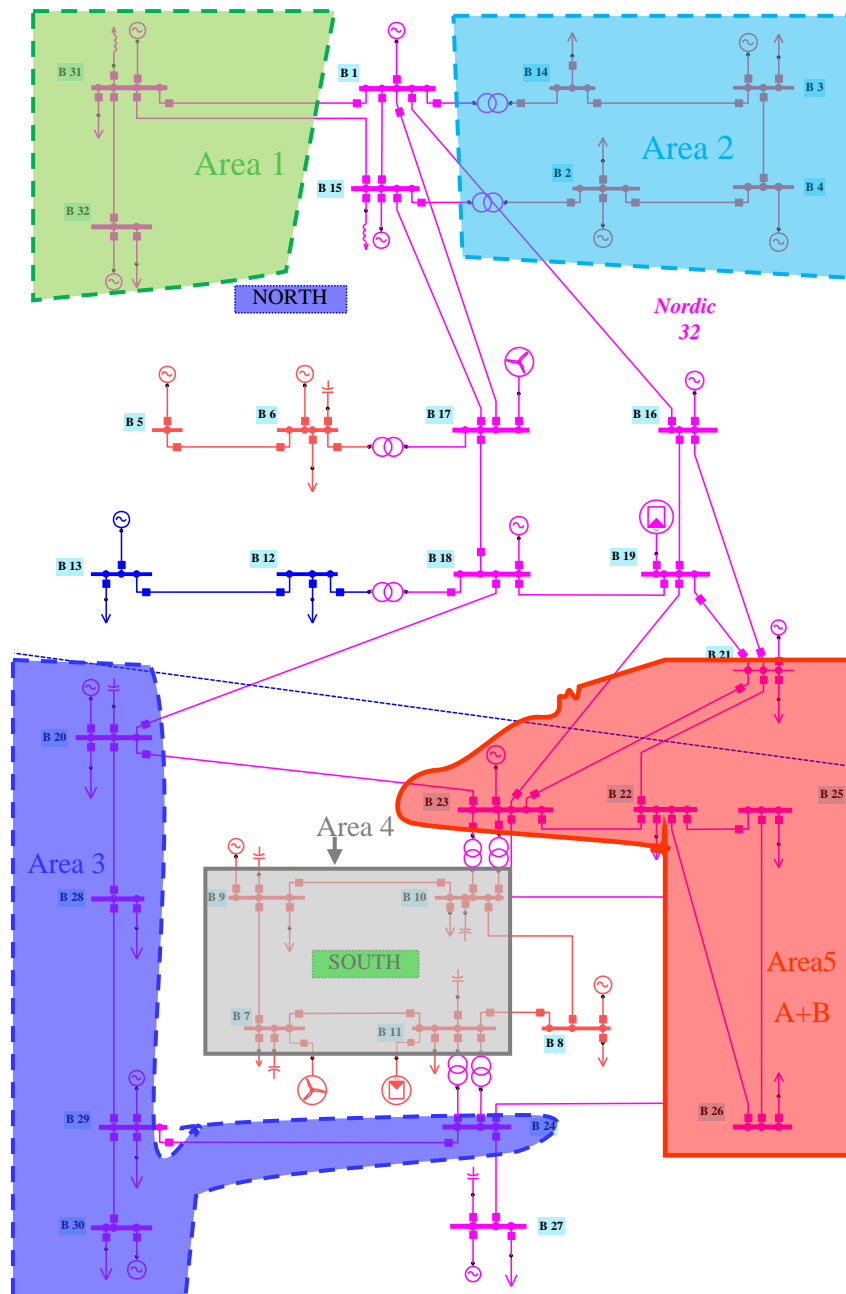


Figura 5-7. Schema cu o singură linie a sistemului de putere NORDIC 32-Bus împărțit în mai multe zone C2

Rezumatul analizei sistemului: Am făcut o analiză completă a sistemului pentru a cunoaște stabilitatea sistemului, precum și pentru a cunoaște zonele slabe și autobuzele din sistem. Am analizat sistemul în cinci regiuni:

În regiunea de nord-vest (**Zona 1**) și în regiunea de nord-est (**Zona 2**), și în regiunea de sud-vest (**Zona 3**) și în centrul regiunii de sud (**Zona 4**) ca regiune cu sarcini mari și generație scăzută. La fel și în regiunea de sud-est (**Zona 5-A și Zona 5-B**).

Am observat că sistemul rămâne stabil și tensiunile din Autobuze sunt în limita admisă. Cu excepția zonei de sud-est (**Zona 5**), care este considerată cea mai slabă zonă din sistem: Zona de sud-est, care este reprezentată de nodurile 22, 25 și 26, este o zonă care nu conține generație și are sarcini mari și este conectată la sistemul prin doar două linii de transmisie.

Prin urmare, locația adecvată pentru instalarea dispozitivului SVC este Zona de sud-est (Area5) reprezentată de noduri (22, 25 și 26).

Tabelul 5-2. Alegerea celei mai bune locații pentru SVC C2

Locația SVC	Mărimea SVC [MVar]	Tensiunea rezultă în p.u			
		V B22	V 25	V 26	V23
Bus 22	729	1.00	0.97	0.98	1
Bus 25	513.9	0.98	1.00	0.99	1
Bus 26	386.3	0.97	0.96	1.00	0.99

Din tabelul 5-9 de mai sus, 25 Bus este cea mai bună locație pentru a instala dispozitivul SVC, deoarece tensiunile sistemului vor fi aproape de 1 și dimensiunea dispozitivului este cea mai mică în comparație cu performanța.

5.8.3.B Cazul 2 - B: Sistem de putere NORDIC 32-Bus cu SVC [Toc89955325](#)

În acest caz, vom instala un dispozitiv SVC în rețeaua Nordic 32, în scopul îmbunătățirii nivelului de tensiune în sistem.

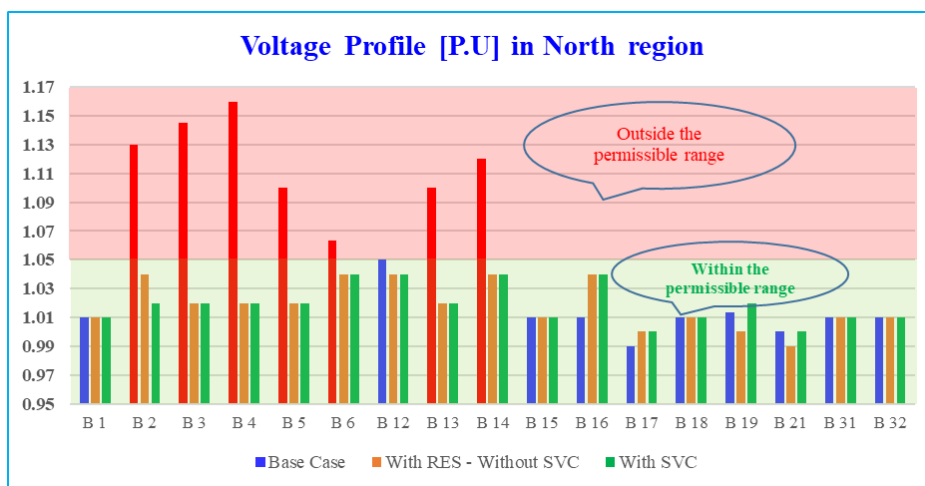


Figura 5-8. Profil de tensiune în regiunea de nord C2

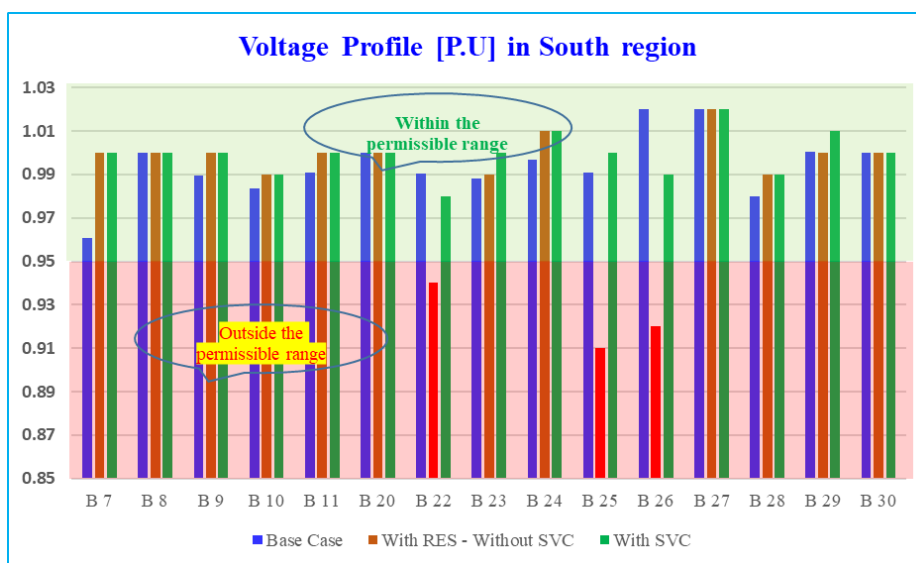


Figura 5-9. Profil de tensiune în regiunea de sud C2

Din figurile 5-16 și 5-17 de mai sus, se poate observa că după adăugarea SVC la sistem, toate tensiunile sistemului (în regiunile de nord și de sud) sunt foarte bune și în limita admisă (0,95-105) P.U și toate tensiunile sistemului variază de la 0,99 P.U la 1,04 P.U.

CAPITOLUL 6: Transient stability enhancement and voltage regulation using SVC with AVR, PSS and Governor

6.1 Introduction

Stabilitatea sistemului energetic a fost o preocupare majoră încă din anii 1920, când a fost recunoscută pentru prima dată [187][188]. Relevanța instabilității sistemului energetic a fost demonstrată de o serie de întreruperi de curent pe scară largă [189]. În trecut, instabilitatea tranzitorie este cea mai răspândită problemă de stabilitate pe majoritatea sistemelor, care a fost un obiectiv major al cercetării industriale [190]. Controlul tensiunii și stabilitatea tranzitorie au fost mai dificil de menținut în sistemele de energie în ultimele decenii din cauza cererii în creștere de energie electrică și a unei varietăți de restricții tehnologice. Stabilitatea sistemului energetic devine un subiect fierbinte în acest cadru și este una dintre cele mai dificile provocări cu care se confruntă comunitatea puterii astăzi [190][10].

Subsistemele care alcătuiesc un sistem de putere sunt toate legate între ele. Mașinile sincrone sunt adesea folosite în sistemele de putere ca sursă de energie electrică. În literatura de specialitate, există o varietate de modalități de a reglementa situația. Un regulator automat de tensiune (AVR), precum și un stabilizator al sistemului de putere (PSS) au fost instalate în mod tradițional în generatoarele sincrone integrate într-un sistem de putere [10].

De ani de zile, procesoarele flexibile ale sistemului de transmisie cu curent alternativ (FACTS) au fost bine recunoscute pentru avantajele lor, inclusiv o stabilitate dinamică mai bună și o reglare îmbunătățită a puterii. Unul dintre cele mai importante dispozitive shunt FACTS din sistemele de putere este Compensatorul Static VAR (SVC) [191][192]. Reglează tensiunea la borne într-o manieră lină, rapidă și exactă. Cu excepția cazului în care un control auxiliar este inclus în bucla de reglementare, SVC de obicei nu are niciun efect.

6.2 Studiu de caz

În această parte (Studiul de caz), vom studia îmbunătățirea stabilității tranzitorii, precum și reglarea tensiunii în sistemul de putere folosind AVR, PSS și guvernator cu SVC. Vom lucra la reglarea tensiunii pentru sistemul de putere Nordic32, vom analiza tensiunea (cazul de bază) și după aceea vom adăuga AVR, PSS și Governor și apoi vom adăuga energii regenerabile (RES) (Fotovoltaic și Turbină eoliană) la puterea Nordic32. sistem și apoi adăugăm un dispozitiv SVC la sistemul de putere Nordic32.

Schiță a părții practice despre rețeaua NORDIC 32

6.5.1 Cazul 0 - Cazul de bază:

Acest caz reprezintă calculele în regim de echilibru ale sistemului în cazul de bază, iar rezultatele au fost prezentate în capitolele al patrulea și al cincilea în rezultatele cazului de bază.

6.5.2 Cazul 1 - Încorporarea SRE și adăugarea SVC în sistem

Acest caz reprezintă calculele stării sistemului în regim de echilibru după adăugarea surselor de energii regenerabile la sistem. Rezultatele sunt prezentate în capitolul al cincilea din rezultatele Încorporarea SRE.

Analizați sistemul și adăugați SVC la sistem

După cum am studiat în capitolul anterior (capitolul al cincilea), și am știut să determinăm cea mai bună locație pentru SVC, iar Bus_25 a fost cea mai bună locație pentru SVC, precum și cunoașterea dimensiunii dispozitivului potrivit pentru sistem. Acum vom instala dispozitivul SVC în Bus 25 pentru a îmbunătăți tensiunea sistemului. Rezultatele sunt prezentate în capitolul al cincilea în rezultatele adăugării SVC.

6.5.3 Cazul 2 - Adăugarea excitatorului (AVR, PSS) și a guvernatorului la generatoare

În acest caz, vom adăuga un excitator (regulator automat de tensiune (AVR), stabilizator de sistem de putere (PSS)) și un guvernator pentru fiecare generator din rețea.

Ne vom baza pe raportul IEEE din datele AVR și PSS, iar datele guvernatorului vor fi din rapoartele IEEE și CIGRE [143][145][222].

6.5.4 Cazul 3 – A face perturbări în sistem de putere

Perturbarea de îngrijorare este un scurtcircuit trifazat pe linia de transmisie 21 (între Bus 18 și Bus 20), care durează 5 cicluri (0,10 s) și eliberat, iar localizarea defecțiunii în 50% (în mijlocul liniei), știind că linia este un circuit dublu.

Discuția rezultatelor: Prin rezultatele DiGSILENT, vom include tensiunea și puterea activă și reactivă a liniei de transport, precum și generatoarele asociate magistralelor conectate la linie ca fiind mai afectate de Perturbare, precum și viteza și unghiul rotorul pentru generatoarele G12 conectate la Bus 18 și G9 conectate la Bus 1 (Slack Bus).

Răspuns dinamic în caz de urgență

După ce am adăugat AVR, PSS și guvernator și am instalat SVC la Bus 25 pentru a îmbunătăți tensiunea sistemului, am făcut o analiză a modelului pentru sistem pentru a vedea stabilitatea sistemului.

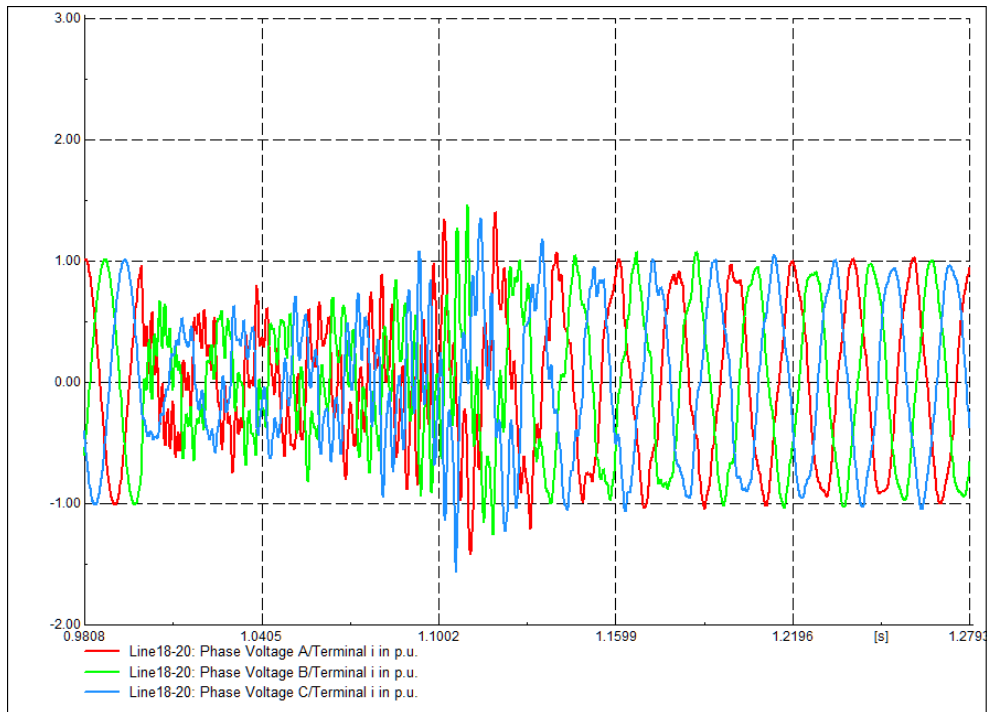


Figura 6-8. Tensiunea în linia de transport 21

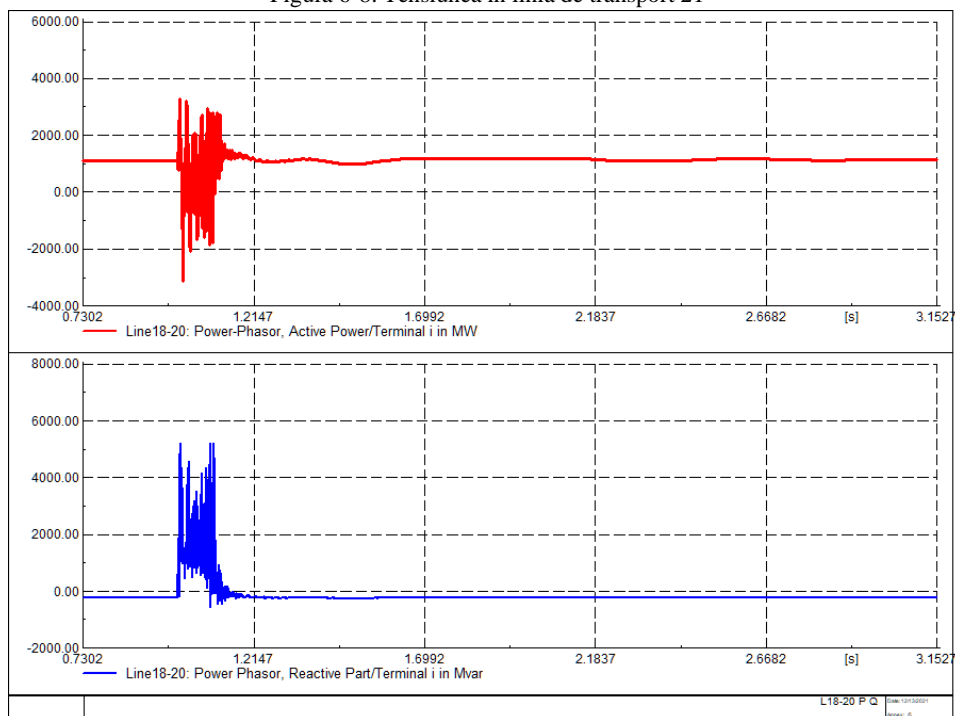


Figura 6-9. Puterea activă și reactivă în linia 21

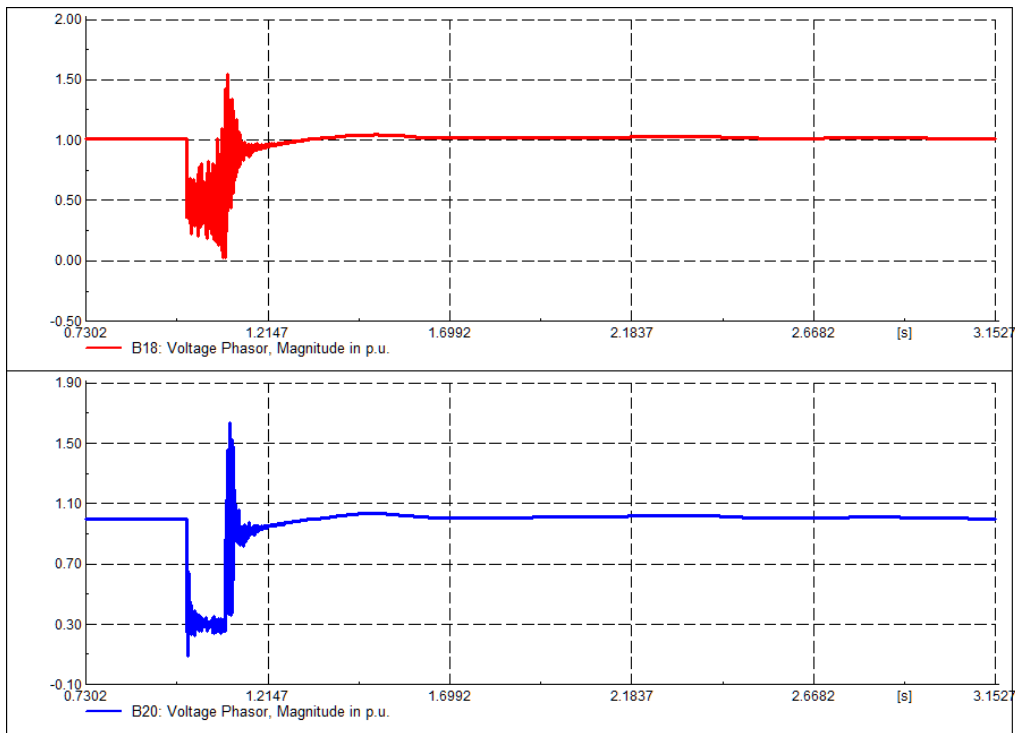


Figura 6-1. Magnitudinea tensiunii p.u în nodurile 18 și 20

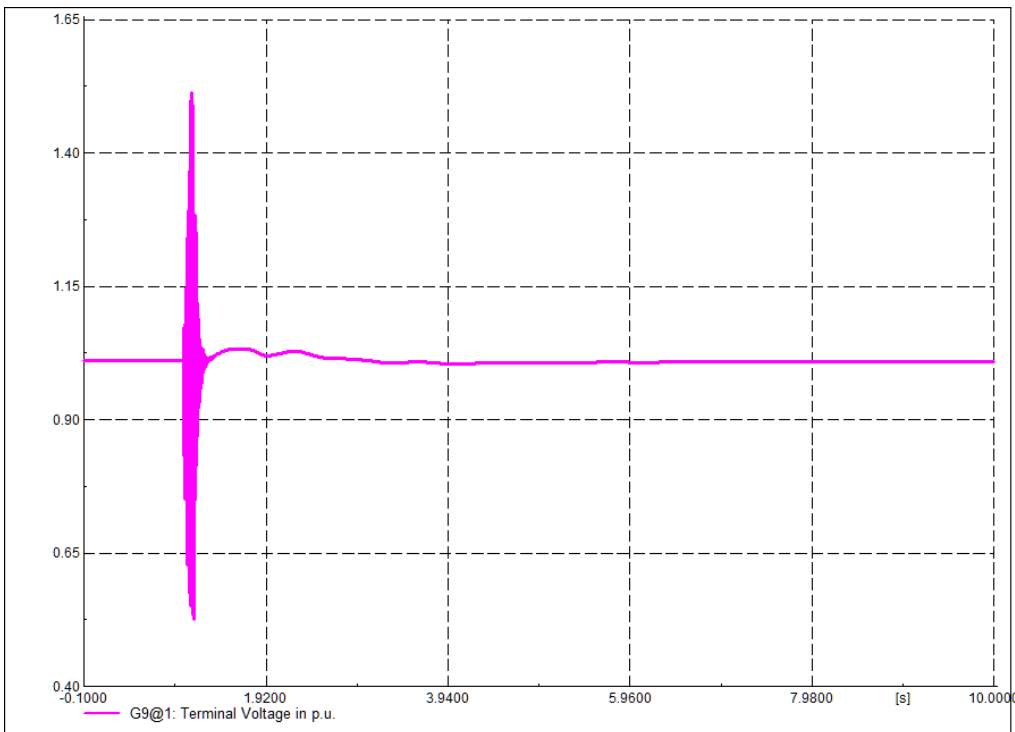


Figura 6-2. Magnitudinea tensiunii p.u în Gen. 9

În timpul perioadei de perturbare, toate părțile sistemului au suferit fluctuații, deoarece perturbarea a lovit sistemul după 1 secundă de funcționare și a durat 0,10 secunde. Acest lucru se poate observa în Fig. 6-8, se poate observa că tensiunea a suferit fluctuații în timpul perioadei de perturbare, Unde se poate observa că tensiunea a scăzut foarte mult în perioada de perturbare (perioada de la 1 sec la 1,1 sec.), dar în scurt timp sistemul a revenit la starea de stabilitate, unde se poate observa în timpul de 1,2 secunde că tensiunea s-a stabilizat ca în Fig. 6-8, Fig. 6-10 și Fig. 6-13, Unde acestea figurile reprezintă tensiunile din linia de transport 12 (între magistralele 18 și 20), nodurile 18 și 20 și generatorul9 conectat la Bus1 (Slack Bus), respectiv.

Accentul s-a pus pe rezultatele de mai sus (linia 21 (între Autobuzele 18 și 20) și generatorul 12 conectat la Autobuzul 18) printre restul rezultatelor liniilor și generatoarelor deoarece acestea sunt cele mai afectate de perturbare. În ceea ce privește generatorul 9 conectat la Bus 1, acesta reprezintă magistrala Slack.

De menționat că toate generatoarele au rămas în stare de funcționare și niciun generator nu a ieșit din funcțiune din cauza adăugării la sistem a controlerelor (AVR, PSS, Governor) și a dispozitivului SVC. Criteriile care vor fi în analiza noastră a sistemului sunt:

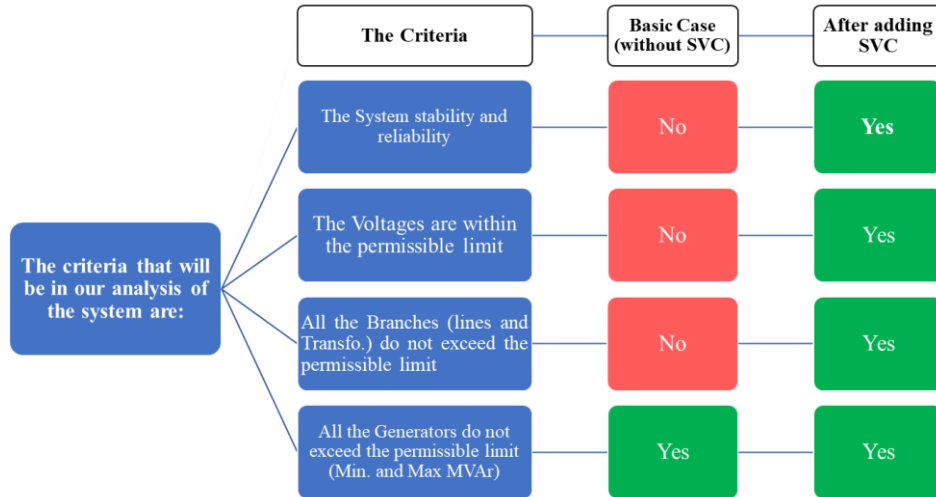


Figura 6-3. Criterii de stabilitate pentru sistemul de putere din studiul nostru

Prin urmare, sistemul este considerat stabil, fiabil și sigur, iar toate echipamentele sistemului, cum ar fi (generatoare, linii de transmisie și transformatoare de putere) nu au depășit limitele permise, așa cum se arată în Fig. 6-18 de mai sus.

CAPITOLUL 7: Concluzii și recomandare

Principalele concluzii prezentate în această disertație sunt evidențiate în acest capitol și rezumă câteva idei pentru lucrările de cercetare viitoare. Au fost incluse și contribuții personale la această lucrare.

7.1 Concluzii

Necesitatea și oportunitățile subiectului tezei mele provin din dezvoltarea Surselor de Energie Regenerabilă (număr și putere instalată) conectate la sistemele de energie și creșterea pătrunderii acestora în sistem datorită beneficiilor economice și de mediu ale energiilor regenerabile. Prin urmare, impactul acestei tendințe a fost studiat și s-au elaborat strategii pentru creșterea securității aprovizionării cu energie și menținerea sistemului pentru nevoi de securitate, economice și de mediu și pentru a furniza energie utilizatorului final în cadrul specificațiilor standard.

Această teză a fost o încercare de a aborda importanța îmbunătățirii securității tensiunii pentru rețelele de transport în sistemele de energie, în lumina integrării tot mai mari a energiilor regenerabile și a impactului acestora asupra sistemului în stare staționară și tranzitorie. Pentru reglarea nivelului de tensiune au fost utilizate metodele tradiționale și utilizarea dispozitivului SVC, s-a studiat efectul energiilor regenerabile asupra sistemului și variația producției și consumului. Îmbunătățirea securității sistemului a fost studiată și folosind controlerele, excitatorul, regulatorul și SVC, iar standardul de siguranță a fost respectat în acest studiu pentru echipamentele sistemului. Concluziile generale ale acestei teze sunt:

i) În acest studiu, am cercetat reglarea tensiunilor și metodele lor de reglare. În acest studiu, metodele clasice de reglare a tensiunii pentru două cazuri și de reglare a tensiunilor pentru fiecare caz depinde de natura rețelei și am folosit mai multe moduri, dar am ajuns la cea mai bună soluție din sistem atunci când am îmbunătățit factorul de putere. (prin folosirea condensatoarelor) și utilizarea comutatoarelor de priză pentru transformatoarele de sarcină.

ii) Am analizat mai multe scenarii pe parcursul zilei pentru a ilustra variația sarcinilor și a generației și modul în care energiile regenerabile pot fi exploatate pentru a îmbunătăți funcționarea sistemului. Înainte de a încorpora noi centrale electrice în sistemul de putere, este necesar să se evalueze adecvarea muncii pe scale de timp lungi și implicații pentru echilibrarea sistemului și stabilitatea dinamică în cele mai scurte perioade de timp. Implementarea turbinelor eoliene și a energiei fotovoltaice afectează managementul și eficiența sistemului energetic. Mixul optim de generare convențională poate fluctua cu cote mai mari de turbine eoliene și fotovoltaice. Pentru a asigura securitatea operațională și fiabilitatea la un nivel acceptabil. Am observat efectul energiilor regenerabile asupra sistemului și utilitatea acestuia asupra întregului sistem în îmbunătățirea tensiunilor și minimizarea pierderilor.

iii) Metoda propusă de utilizare a controlerelor, excitatorului și regulatorului și SVC a oferit o soluție satisfăcătoare pentru stabilitatea sistemului. Folosind o combinație a sistemului de analiză cu dispozitivul static, cum ar fi SVC, este posibil să se asigure controlul tensiunii la magistrala la care este conectat dispozitivul, precum și să se asigure stabilitatea și fiabilitatea sistemului. Dispozitivul SVC, AVR, PSS și regulatorul măresc fiabilitatea, precum și stabilitatea sistemului. Există o discuție despre cum să utilizați SVC pentru optimizare. SVC îmbunătățește calitatea energiei, precum și stabilizează utilizarea energiei. Acest efect poate fi utilizat pentru a compensa o tensiune de sarcină fluctuantă în situațiile în care acest lucru este necesar. Ar crește stabilitatea puterii, precum și ar reduce pericolul evenimentelor catastrofale care rezultă din acele surse de instabilitate.

Controlerele AVR/PSS și SVC sunt utilizate în teză pentru a îmbunătăți stabilitatea sistemului de putere. Pentru a îmbunătăți stabilitatea tranzitorie, precum și controlul tensiunii în sistemul de putere al lui Nordic32, SVC este conectat. Din cauza investigațiilor noastre în această teză. Acest lucru subliniază performanța robustă a SVC în modurile de urgență, precum și post-urgență ale sistemului electric.

7.2 Contribuții personale

(i) Documentație

- ✚ Integrarea surselor regenerabile de energie în sistemul energetic Nordic 32; După aceea, au fost implementate mai multe scenarii diferite pentru a evidenția variația consumului și producției pe parcursul zilei.
- ✚ Am identificat și clasificat în subiecte ale sistemului de putere utilitatea dispozitivelor FACTS. A fost al treilea pas al lucrării. Acestea au fost clasificate în funcție de tipul de conexiune. Mai mult, au fost prezentate beneficiile instalării FACTS pentru sistemul de putere
- ✚ Am dezvoltat metodologiile pentru a îmbunătăți securitatea tensiunii sau a spori stabilitatea pentru a obține un impact maxim prin găsirea celei mai bune locații SVC și folosind controlerele (AVR, PSS, GOVERNOR). Din această perspectivă, au fost

identificate limitele tehnice ale sistemului de putere legate de capacitățile de transfer al puterii. Legat de aspectele de securitate ale unui sistem de putere, a fost prezentată o scurtă descriere a aspectelor privind stabilitatea sistemului de putere.

✚ Criteriile privind nivelul de stabilitate a performanței sistemului de putere au fost utilizate pentru evaluarea în teza noastră.

(ii) Simulări și calcule și Dezvoltare model

- ✚ Calculul indicelui de performanță a tensiunii și al indicelui de performanță al fluxului de putere a fost efectuat pe rețelele de testare TEST 2 și Maysan și sistemul de putere Nordic32.
- ✚ Amplasarea grupului de condensatoare a fost adăugată pentru rețelele de testare TEST 2 și Maysan pentru a îmbunătăți factorii de putere pentru sarcinile industriale.
- ✚ Sursele regenerabile de energie (fotovoltaice și turbine eoliene) au fost adăugate la sistemul de energie Nordic 32 pentru a vedea variația sarcinilor și a generației și modul în care aceasta afectează sistemul.
- ✚ Au fost trasate zone de influență, folosind și reprezentare grafică, pentru sistemul de energie Nordic 32. Aceste zone arată răspândirea influenței pe care o poate avea un SVC asupra nivelului de tensiune la magistralele de rețea din jurul magistralei unde este plasat SVC.
- ✚ A fost propusă plasarea unui dispozitiv SVC pentru sistemul de putere Nordic 32.
- ✚ Calculele de stare de echilibru au fost efectuate pe sistemul de putere Nordic 32 care include un dispozitiv SVC și RES
- ✚ Simulările dinamice au fost efectuate în DIgSILENT PowerFactory pe sistemul de putere Nordic 32. S-a determinat comportamentul sistemului la întreruperea liniei de transmisie, a generatorului de întrerupere și a scurtcircuitului.
- ✚ S-au adăugat controlerile (AVR, PSS, guvernator cu dispozitiv SVC) la sistemul de putere Nordic 32 pentru a îmbunătăți stabilitatea tranzitorie.

(iii) Publications associated with this thesis

- ✚ Am publicat rezultatele cercetării mele și am publicat rezultatele lor în conferințe și reviste românești și internaționale; Am publicat o lucrare în Conferința Indexată a ISI și trei lucrări în baza de date International Cataloged (Scopus).

1- Power Flow Analysis in Power System Planning. Case Study

Publicat în: IEEE

Publisher: 2019 International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM)

Autorii: Murtadha SAMI și Stefan Gheorghe

2- Analysis of the Influence of Renewable Energy Sources on The Power System Operation

Publicat în: EMERG (www.emerg.ro)

Autorii: Murtadha SAMI, Stefan GHEORGHE și Lucian TOMA

3- Voltage Security Improvement for Transmission Network In Power Systems Using Svc Device

Publicat în: UPB Scientific Bulletin (<https://www.scientificbulletin.upb.ro>)

Autorii: Murtadha SAMI, Stefan GHEORGHE și Lucian TOMA

4- Transient Stability Improvement and Voltage Regulation In Power System Hosting Renewables By Svc

Publicat în: IEEE

Proc. of the International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET 2022). July 2022, Prague-Czech Republic

Autorii: Murtadha SAMI, Stefan GHEORGHE și Lucian TOMA

5- Cercetare științifică 2: Voltage Regulation in Transmission Networks Using Classic Methods.

Data discutiei: 2020

6- Cercetare științifică 3: Voltage Regulation for Transmission Networks, including Renewable Source of Energy.

Data discutiei: 2021

7- Cercetare științifică 4: Voltage Regulation for Transmission Networks, using FACTS Device (SVC).

Data discutiei: 2021

8- Cercetare științifică 5: Transient stability enhancement and voltage regulation in Nordic32-Bus power system using SVC, AVR, PSS and Governor.

Data discutiei: 2021

7.3 Recomandare pentru lucrări viitoare

S Deoarece există întotdeauna loc pentru mai bine, idei noi pot fi modelate pentru a îmbunătăți lucrările prezentate în disertație. Unele dintre aceste idei ar putea fi:

- ✓ Integrarea tehnicilor de inteligență artificială în metodologia de amplasare optimă a dispozitivelor FACTS;
- ✓ Selectarea celei mai bune poziții pentru dispozitivele FACTS într-un sistem de putere bazat pe multe alte funcții țintă;
- ✓ Utilizarea sistemului de stocare a energiei (ESS) în sistemul energetic pentru a minimiza dezechilibrele dintre cererea de energie și producția de energie. electing the best position for FACTS devices in a power system based on many other target functions;

Referințe selective

- [2] H. Narain, G. and L. Gyugyi., *Understanding FACTS : concepts and technology of flexible AC transmission systems*. New York, NY 10016-5997: 2000 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [3] D. R. Tobergte and S. Curtis, "FACTS: Modelling and Simulation in Power Networks," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [5] L. Hernández-Callejo, S. Gallardo-Saavedra, and V. Alonso-Gómez, "A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance," *Solar Energy*, vol. 188. Elsevier Ltd, pp. 426–440, Aug. 01, 2019. doi: 10.1016/j.solener.2019.06.017.
- [9] I. Pisiică, C. Bulac, L. Toma, and M. Eremia, "Optimal SVC placement in electric power systems using a genetic algorithms based method," *2009 IEEE Bucharest PowerTech Innov. Ideas Toward. Electr. Grid Futur.*, no. 2, pp. 7–12, 2009, doi: 10.1109/PTC.2009.5281841.
- [10] S. Keskes, N. Bouchiba, S. Sallem, L. Chrifi-Alaoui, and M. Kammoun, "Transient stability enhancement and voltage regulation in SMIB power system using SVC with PI controller," *6th Int. Conf. Syst. Control. ICSC 2017*, pp. 115–120, 2017.
- [12] C. Constantin, M. Eremia, I. C. Constantin, and L. Toma, "Improving network controllability for a secure operation of the interconnection," 2012.
- [15] C. Constantin, M. Eremia, I. C. Constantin, and L. Toma, "Application of shunt FACTS devices for a secure and efficient operation of the Romanian power system," *UPB Sci. Bull. Ser. C Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 76, no. 4, pp. 225–234, 2014.
- [18] P. Choudekar, S. K. Sinha, and A. Siddiqui, "Optimal location of SVC for improvement in voltage stability of a power system under normal and contingency condition," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 8, pp. 1312–1318, 2017.
- [30] A. A. Abdulrazzaq, M. Eremia, and L. Toma, "Power system performance improvement by using an SVC device," *2014 Int. Symp. Fundam. Electr. Eng. ISFEE 2014*, pp. 3–8, 2015, doi: 10.1109/ISFEE.2014.7050555.
- [31] C. Bulac *et al.*, "Power transfer capacity enhancement using SVC," in *2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future*, 2009, no. November 2016. doi: 10.1109/PTC.2009.5281833.
- [32] M. S. Hasan, "Reactive Power Control for Voltage Management," no. January, p. 78, 2017.
- [33] G. Balaban, G. C. Lazarioiu, V. Dumbrava, and C. A. Sima, "Analysing renewable energy source impacts on power system national network code," *Inventions*, vol. 2, no. 3, 2017, doi: 10.3390/inventions2030023.
- [35] A. S. Saidi, "Impact of large photovoltaic power penetration on the voltage regulation and dynamic performance of the Tunisian power system," *Energy Explor. Exploit.*, vol. 38, no. 5, pp. 1774–1809, 2020, doi: 10.1177/0144598720940864.
- [36] A. Erbașu, A. Berizzi, M. Eremia, and C. Bulac, "Implementation studies of secondary voltage control on the Romanian power grid," *2005 IEEE Russ. Power Tech, PowerTech*, 2005, doi: 10.1109/PTC.2005.4524450.
- [40] D. Saygin, O. B. Tör, M. E. Cebeci, S. Teimourzadeh, and P. Godron, "Increasing Turkey's power system flexibility for grid integration of 50% renewable energy share," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 34, 2021, doi: 10.1016/j.esr.2021.100625.
- [41] R. Małkowski, M. Izdebski, and P. Miller, "Adaptive algorithm of a tap-changer controller of the power transformer supplying the radial network reducing the risk of voltage collapse," *Energies*, vol. 13, no. 20, 2020, doi: 10.3390/en13205403.
- [46] M. Eremia (Editor), *Electrical Power Systems. Electric Networks, Sisteme Electroenergetice. Retele Electrice*. Romania: Publishing house of the Romanian Academy, 2005.
- [50] W. Ongsakul and D. N. Vo, *Artificial intelligence in power system optimization*. 2016. doi: 10.1201/b14906.
- [51] M. Eremia and M. Shahidehpour, *Handbook of electrical power system dynamics: modeling, stability, and control*, vol. 92. John Wiley & Sons, 2013.
- [52] G. Florea, R. Dobrescu, O. Chenaru, M. Eremia, and L. Toma, "Methodology and framework for development of smart grid control," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 640, pp. 319–327, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-30337-6_29.
- [64] P. Kundur, *Power system stability. Power system stability and control*. McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [65] L. L. Grigsby, *Power system stability and control", Third Edition*, vol. 1, no. 69. CRC Press © by Taylor & Francis Group, LLC, 2012.
- [66] N. Hosseinzadeh, A. Aziz, A. Mahmud, A. Gargoom, and M. Rabbani, "Voltage stability of power systems with renewable-energy inverter-based generators: A review," *Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–27, 2021, doi: 10.3390/electronics10020115.
- [71] Y. Lee and H. Song, "A reactive power compensation strategy for voltage stability challenges in the Korean power system with dynamic loads," *Sustain.*, vol. 11, no. 2, 2019, doi: 10.3390/su11020326.

- [73] O. A. Alimi, K. Ouahada, and A. M. Abu-Mahfouz, "A Review of Machine Learning Approaches to Power System Security and Stability," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 113512–113531, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003568.
- [74] H. H. Alhelou, M. E. Hamedani-Golshan, T. C. Njenda, and P. Siano, "A survey on power system blackout and cascading events: Research motivations and challenges," *Energies*, vol. 12, no. 4, pp. 1–28, 2019, doi: 10.3390/en12040682.
- [83] S. Corsi, M. Pozzi, C. Sabelli, and A. Serrani, "The coordinated automatic voltage control of the Italian transmission grid - Part I: Reasons of the choice and overview of the consolidated hierarchical system," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 4, pp. 1723–1732, 2004, doi: 10.1109/TPWRS.2004.836185.
- [87] E. H. Lopera-Mazo and J. Espinosa, "Secondary voltage regulation based on average voltage control," *TecnoLógicas*, vol. 21, no. 42, pp. 63–78, 2018, doi: 10.22430/22565337.779.
- [88] S. Corsi, *Voltage control and protection in electrical power systems: from system components to wide-area control*. Springer, 2015. doi: 10.1007/978-1-4471-6636-8.
- [92] O. H. Abdalla, H. H. Fayek, and A. G. M. Abdel Ghany, "Secondary and Tertiary Voltage Control of a Multi-Region Power System," *Electricity*, vol. 1, no. 1, pp. 37–59, 2020, doi: 10.3390/electricity1010003.
- [108] C. Bulac and M. Eremia, *Dinamica sistemelor electroenergetice (Power systems dynamics)*. in Romanian, 2006.
- [117] S. Impram, S. Varbak Nese, and B. Oral, "Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 31, no. September 2018, p. 100539, 2020, doi: 10.1016/j.esr.2020.100539.
- [121] X. Xu, Z. Yan, M. Shahidehpour, H. Wang, and S. Chen, "Power System Voltage Stability Evaluation Considering Renewable Energy With Correlated Variabilities," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 3236–3245, 2018.
- [124] A. S. Saidi, "Impact of large photovoltaic power penetration on the voltage regulation and dynamic performance of the Tunisian power system," *Energy Explor. Exploit.*, vol. 38, no. 5, pp. 1774–1809, 2020, doi: 10.1177/0144598720940864.
- [143] Cigre, "Long term dynamics phase ii - final report task force 38.02.08," 1995.
- [144] S. Müller, "Development of Nordic 32 system model and performance analysis based on real operation statistics," School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), 2019.
- [145] T. Van Cutsem and L. Papangelis, "Description, Modeling and Simulation Results of a Test System for Voltage Stability Analysis," University of Liege, Belgium, 2013.
- [164] Murtadha Sami R. and S. Gheorghe, "Power flow analysis in power system planning. case study," in *International conference on energy and environment (CIEM)*, 2019, pp. 142–146.
- [165] P. K. Kalita, S. Bhuyan, and J. Ahmed, "FACTS controllers' impact on Power Quality : A comparative analysis," vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [166] M. Eremia, C. C. Liu, and A. A. Edris, *Advanced solutions in power systems: HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence*. John Wiley & Sons, 2016.
- [194] M., J., Gibbard, P. Pourbeik, and D., J., Vowles, *Small-signal stability, control and dynamic performance of power systems*. 2015.
- [200] M. D. Ilic and J. Zaborszky, *Dynamics and control of large electric power systems*. Wiley New York, 2000.
- [202] IEEE Power Engineering Society, *IEEE Std 421.1 Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines*, vol. 2007, no. July. 2007.
- [209] P. Kundur, M. Klein, G. J. Rogers, and M. S. Zywno, "Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 9, no. 5, p. 61, 1989, doi: 10.1109/MPER.1989.4310703.
- [213] K. E. Bollinger and S. Z. Ao, "Pss performance as affected by its output limiter," *IEEE Trans. energy Convers.*, vol. 11, no. 1, pp. 118–124, 1996.
- [218] D. J. Wang, W. Li, and M. L. Guo, "Tuning of PIAD μ controllers based on sensitivity constraint," *J. Process Control*, vol. 23, no. 6, pp. 861–867, 2013, doi: 10.1016/j.jprocont.2013.04.003.
- [222] T. Van Cutsem, M. Glavic, R. Rosehart, W., Andrade dos Santos, J., Cañizares, C., Kanatas, M., Lima, L., Milano, F., Papangelis, L., Andrade Ramos, and B. Tamimi, "Test systems for voltage stability analysis and security assessment," *IEEE Power Energy Soc. (No. PES-TR19)*, 2015.