



REPUBLIKA E SHQIPËRISË
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I INXHINIERISË ELEKTRIKE

DISERTACION

PËR MBROJTJEN E GRADËS SHKENCORE

“DOKTOR”

MODELIMI I LINJAVE TË TRANSMETIMIT TË SISTEMIT ELEKTROENERGJETIK, LIDHUR ME QËNDRUESHMËRINË ELEKTRIKE TË TYRE

Përgatur nga:

Msc. Ing. Marjola PUKA

Udhëheqës Shkencor:

Prof. Dr. Nako HOBDARI

Tiranë, 2016

HYRJE

Objekti i studimit në këtë punim janë linjat e transmetimit, të cilat përfaqësojnë një pjesë shumë të rëndësishme të sistemeve elektroenergjetikë me praninë e tyre si hallka lidhëse në të gjithë statet: prodhim, transmetim, shpërndarje energjie dhe për të gjithë nivelet e tensioneve. Duke patur parasysh se linjat ajrore janë zgjidhja më e mirë tekniko-ekonomike për të realizuar transmetimin e energjisë në nivelet e tensionit të lartë, studimi fokusohet në këtë lloj linjash. *Kështu në gjuhën e këtij punimi, termi «linjë transmetimi», nënkupton linjat ajrore të tensionit të lartë.*

Modelimi i linjave të transmetimit, i bazuar thellësisht në analizën e teorisë së qarqeve elektrikë dhe fushës elektromagnetike është boshti teorik kryesor i punimit, i cili është trajtuar edhe nga një pikëpamje tjetër mjaft e rëndësishme për sistemet elektroenergjetikë: analiza dhe vlerësimi i qëndrueshmërisë elektrike të tyre.

Qëllimi kryesor i punimit është që bazuar në studimet teorike, rezultatet e simulimeve për linjat reale nga sistemi elektroenergjetik shqiptar dhe ballafaqimin me të dhënat reale të projektimit dhe shfrytëzimit të tyre, të sintetizohet formulimi i një pakete përfundimesh me karakter të përgjithshëm mbi analizën e qëndrueshmërisë elektrike të linjave gjatë proceseve kalimtare të frekuencave të ndryshme.

Nga studimet e deritanishme, është me rëndësi të theksohet se disa procese kalimtare, të ndeshur kryesisht në formën e mbitensioneve gjatë shkarkimeve atmosferike, janë nga më të rëndësishmit dhe luajnë rol mbizotërues me praninë dhe madhësinë e tyre në sistemet elektroenergjetikë. Që të mbash këtë efekt në një nivel të padëmshëm për stabilitetin e transmetimit të energjisë në linjë, së pari duhet ta njohësh mirë si dukuri, dhe më tej të arrish ta monitorosh me qëllim marrjen e masave të nevojshme për kufizimin e saj deri në nivelet e lejuar dhe standartet nderkombetare. Këtij qëllimi i shërben modelimi i linjave të transmetimit, testimi i tyre nëpërmjet simulimeve të dukurive jonormale (në elementët përbërës të linjave), dhe së fundmi evidentimi i mbitensioneve në vlera të palejueshme dhe të dëmshme për qëndrueshmërinë e izolimit dhe sigurinë e transmetimit të energjisë.

Struktura e punimit

Punimi është organizuar në shtatë kapituj, të cilët trajtojnë në mënyrë të plotë nga ana teorike dhe praktike qëllimin kryesor dhe objektivat e tij.

Në **kapitullin e parë** trajtohet në mënyrë të përgjithshme rëndësia e paraqitjes së saktë të komponentëve të sistemeve elektroenergjetikë, e lidhur me qëndrueshmërinë elektrike të tyre. Janë paraqitur udhëzime të përgjithshme të standarteve dhe organizmave ndërkombëtarë mbi modelimin dhe vlerësimin e saktë të parametrave të tyre në funksion të frekuencës apo brezit të frekuencave të proceseve kalimtare të natyrave të ndryshme.

Kapitulli i dytë trajton modelimin e përcjellësve, si struktura drejtuese të përhapjes së valëve elektromagnetike në linjat e transmetimit. Paraqitja e tyre bazohet në përcaktimin e vlerave të tensioneve dhe rrymave nëpërmjet ekuacioneve telegrafikë të linjës, parametrave karakteristikë gjatësorë dhe tërthorë si dhe teknikat e përdorura për zgjidhje. Zbatueshmëria e këtij modeli në softin ATP është trajtuar nëpërmjet një shembulli teorik, ku janë analizuar parametrat e linjës. Analiza e diskutimeve dhe përfundimeve të këtij kapitulli është shumë e vlefshme për trajtimin e mëtejshëm drejt qëllimit përfundimtar të punimit.

Në **kapitullin e tretë** trajtohet modeli i shtyllave, si elementi i dytë përbërës i linjave të transmetimit. Bazuar përsëri në teorinë e proceseve valore, në mënyrë të përgjithësuar paraqiten modelet më të përdorshëm të shtyllave, si dhe rekomandimet përkatëse për rezistencën valore të secilit model.

Kapitulli i katërt paraqet shkurt modelin e sistemeve të tokëzimit në linjat e transmetimit. Trajtohen në mënyrë të përgjithësuar qëllimi dhe realizimi i sistemit të tokëzimit në linja, si dhe llogaritjet e rekomanduara nga literatura për brezin e frekuencave të ulëta dhe të larta.

Në **kapitullin e pestë** trajtohet paraqitja e izolimit në linjat e transmetimit dhe studimi i tij në frekuencën e punës dhe frekuencën e shkarkimeve atmosferike. Analiza fillon me trajtim të përgjithshëm të impulseve standartë të testimit dhe nivelet e përcaktuar nga standartet ndërkombëtarë mbi qëndrueshmërinë e izolimit. Mekanizimi i dukurisë së shkarkimit është shumë i rëndësishëm për të interpretuar secilin prej modeleve të përdorur për të studiuar izolimin e linjave. Kontributi i këtij kapitulli në punim është ngritja e strukturës së studimit të qëndrueshmërisë së izolimit dhe procedurat e nevojshme për analizën e performancës së izolimit në linja, si në rastin e mbitensioneve të brendshme (të komutimeve), ashtu edhe në rastin e mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike.

Kapitulli i gjashtë është një zhvillim i mëtejshëm i qëndrueshmërisë së linjave në rastet e mbitensioneve të brendshme. Për një linjë reale, tipike të sistemit elektroenergjetik shqiptar me tension 220 kV, në softin ATP janë analizuar disa dukuri kalimtare të tilla si kyçje-çkyçje në regjim punimi pa ngarkesë, apo defekte si lidhje e shkurtër një dhe tri fazore. Duke modeluar linjën sipas tre modeleve: me qarqe të përqendruar në formë Pi, me parametra të shpërndarë konstantë dhe të ndryshueshëm nga frekuenca, paraqitet e plotë tablo e simulimeve të rrymave dhe tensioneve në linjë për secilin rast. Analiza e këtyre simulimeve dhe përfundimet e këtij kapitulli janë një element shumë i rëndësishëm në analizën e performancës së linjave të transmetimit në frekuenca të ulëta, afër ose në vlerën e frekuencës së punës.

Qëllimi i punimit konkretizohet me ***kapitullin e shtatë***, i cili trajton studimin praktik të qëndrueshmërisë së izolimit të linjave të tensionit të transmetimit për linjën 400kV “Tiranë-Podgoricë”. Linja është modeluar e plotë në softin ATP, sipas të dhënave reale në të gjithë elementët e saj: përcjellës, shtylla, sistem tokëzimi. Fillimisht janë përcaktuar parametrat karakteristikë të linjës, të llogaritur sipas metodës konvencionale dhe sipas asaj kompjuterike në softin ATP, sipas dy modeleve: me parametra të përqendruar dhe parametra të shpërndarë të ndryshueshëm nga frekuenca. Në këtë aspekt paraqitet jo vetëm krahasimi i secilit rast, por edhe ai me vlerën reale të rezistencës së linjës. Bazuar në procedurën teorike, janë analizuar mbitensionet dhe rrymat e mbulimit të izolimit në rastin e shkarkimeve atmosferike në linjë, të cilët rezultojnë brenda normave të lejuara nga standartet e projektimit dhe shfrytëzimit të linjave të tensionit të lartë. Studimi plotësohet pas ballafaqimit me situatën reale të çkyçjeve në linjë, si rezultat i shkarkimeve atmosferike, të analizuar jo vetëm për fazën e projektimit, por për gjithë periudhën e plotë të shfrytëzimit të saj deri në fund të vitit 2015.

Në fund jepen përfundimet dhe rekomandimet përkatëse, si dhe objektivat për punën e mëtejshme.

PËRMBAJTJA

HYRJE	I
Struktura e punimit	i
PËRMBAJTJA	IV
1	1
KOMPONENTËT E SISTEMIT ELEKTROENERGJETIK	1
1.1 Hyrje	1
1.2 Udhëzime nga literatura	2
1.3 Përcaktimi i parametrave	5
1.4 Standartet ndërkombëtarë	8
1.5 Disa përfundime	8
2	10
MODELIMI I PËRCJELLËSVE NË LINJAT E TRANSMETIMIT	10
2.1 Hyrje	10
2.2 Modelimi i përcjellësve	12
2.3 Ekuacionet telegrafike të linjës	13
2.4 Llogaritja e parametrave të linjës	16
2.4.1 Matrica e kapaciteteve tërthorë	16
2.4.2 Matrica e rezistencave gjatësore	17
2.5 Zgjidhja e ekuacioneve telegrafike të linjës	21
2.6 Teknikat e zgjidhjes	22
2.6.1 Teknikat modale (Modal domain)	22
2.6.2 Teknikat në zonën fazore	24
2.6.3 Teknikat alternative	26
2.7 Zbatueshmëria në softin ATP	26
2.8 Shembull linje test-1	27
	iv

2.8.1 Të dhënat e linjës	27
2.8.2 Analiza e ndjeshmërisë së parametrave të linjës	28
2.9 Disa përfundime mbi modelimin e përcjellësve	30
3	32
MODELIMI I SHTYLLAVE TË LINJAVE TË TRANSMETIMIT	32
3.1 Hyrje	32
3.2 Modelet e shtyllave si linjë vertikale pa humbje me një përcjellës	32
3.3 Modelet e shtyllave si linjë vertikale pa humbje me shumë përcjellës	36
3.4 Modeli shumëstresor	39
4	42
SISTEMI I TOKËZIMIT NË LINJAT E TRANSMETIMIT	42
4.1 Hyrje	42
4.2 Rezistenca e tokëzimit	43
4.2.1 Modelet e frekuencave të ulëta	43
4.2.2 Modelet e frekuencave të larta	44
4.2.3 Diskutime	45
4.3 Modelet e frekuencave të ulëta të sistemeve të tokëzimit	46
4.3.1 Sistemet uniforme të tokëzimit	46
4.3.2 Rezistenca e tokëzimit për toka johomogjene	47
4.4 Modelet e impianteve të tokëzimit	50
4.4.1 Modeli i tokëzimit me parametra të shpërndarë	50
4.4.2 Modeli i tokëzimit me parametra të përqendruar	52
5	54
IZOLIMI I LINJAVE TË TRANSMETIMIT	54
5.1 Hyrje	54
5.2 Impulset standartë të testimit të izolimit	55
5.3 Nivelet e izolimit për impulset standartë	56
5.4 Nivelet e izolimit Statistikor/Konvencional	56
5.5 Bazat e mekanizmit të shkarkimit	57
5.5.1 Përshkrimi i dukurisë	57
5.5.2 Modelet matematikë-fizikë	58
5.6 Qëndrueshmëria e izolimit ndaj impulsive të komutimit	62

PËRMBAJTJA	vi
5.7 Qëndrueshmëria e izolimit ndaj shkarkimeve atmosferike	65
5.7.1 Të përgjithshme	65
5.7.2 Analiza e qëndrueshmëria e izolimit ndaj impulsieve të shkarkimeve atmosferikë	65
5.7.3 Disa përfundime	68
5.8 Shembull linje test-2: Mbi studimin e qëndrueshmërisë së izolimit ndaj shkarkimeve atmosferikë	68
5.8.1 Qëllimi i studimit	68
5.8.2 Udhëzues i modelimit	69
5.8.3 Studimi i qëndrueshmërisë së izolimit në linjë ndaj shkarkimeve atmosferike	70
5.8.4 Llogaritja statistikore e mbtensioneve të shkarkimeve atmosferike	73
6	78
ANALIZA E PROCESEVE KALIMTARE NË SOFTIN ATP PËR LINJËN 220KV “RRASHBULL-FIER” TË S.E.	78
6.1 Hyrje	78
6.2 Të dhënat e nevojshme për simulim për linjën 220kV “Rrashbull-Fier”	79
6.3 Rezultatet e simulimeve për përgjigjet e tensioneve dhe rrymave në hyrje dhe dalje të linjës në situatat përkatëse:	80
6.3.1 Kycje e linjës në regjim punimi pa ngarkesë	80
6.3.2 Lidhje e shkurtër trifazore në fundin e linjës	87
6.3.3 Lidhje e shkurtër njëfazore(faza C) me tokën	94
6.3.4 Çkycje e linjës në regjim pa ngarkesë	100
6.4 Përfundime dhe rekomandime	107
7	108
MODELIMI I LINJËS 400KV “TIRANË-PODGORICË” NË SOFTIN ATP	108
7.1 Të dhëna të përgjithshme mbi linjën dhe paraqitjen e saj në ATP	108
7.2 Modelimi i përcjellësve të fazave dhe trosit	109
7.3 Modelimi i shtyllave Nr. 250-Nr.273	110
7.3.1 Pëcaktimi i parametrave	110
7.3.2 Llogaritja e rezistencës valore	110
7.3.3 Përcaktimi i rezistencës së tokëzimit duke marrë marasysh efektin e jonizimit të dheut	110
7.4 Llogaritja e parametrave të linjës bazuar në metodën klasike	113

7.5 Llogaritja e parametrave të linjës në softin ATP dhe krahasimi i rezultateve me metodën klasike dhe matjet reale të linjës	117
7.6 Studimi i qëndrueshmërisë së linjës ndaj shkarkimeve atmosferike	119
7.6.1 Modelimi i linjës	119
7.6.2 Rezultatet e simulimit në rastin e zbatimit të goditjeve rrufe në shtyllat e linjës	120
7.6.3 Ndikimi i rezistencës së tokëzimit në rrymën e mbulimit të izolimit	121
7.6.4 Analiza e qëndrueshmërisë ndaj goditjeve atmosferike për shtyllën Nr.48	121
7.6.5 Rezultatet e simulimit të mbitensioneve në linjë në rastin e shkarkimeve atmosferike	125
7.6.6 Krahasimi i rezultateve të simulimeve me situatën reale të çkyçjeve në linjë nga goditjet atmosferike.	129
7.7 Përfundime	131
PËRFUNDIME, REKOMANDIME, OBJEKTIVA PËR TË ARDHMEN	133
LITERATURA	135

KOMPONENTËT E SISTEMIT ELEKTROENERGJETIK

1.1 Hyrje

Analiza e qëndrueshmërisë së sistemeve elektroenergjetikë është e lidhur ngushtë me paraqitjen e saktë të komponentëve të tyre. Diagrama e figurës 1.1 paraqet në mënyrë skematike procedurën e plotë të paraqitjes së këtyre komponentëve, e cila mund të përmblihet në hapat e mëposhtëm [1],[2]:

- Së pari, zgjidhet modeli i përshtatshëm matematik.
- Së dyti, verifikohet nëse informacioni i përftuar është i vlefshëm për përcaktimin e vlerave të parametrave specifikë.
- Së treti, ndërmerret vendim nëse të dhënat e disponueshme janë të mjaftueshme apo jo për përcaktimin e plotë të parametrave.

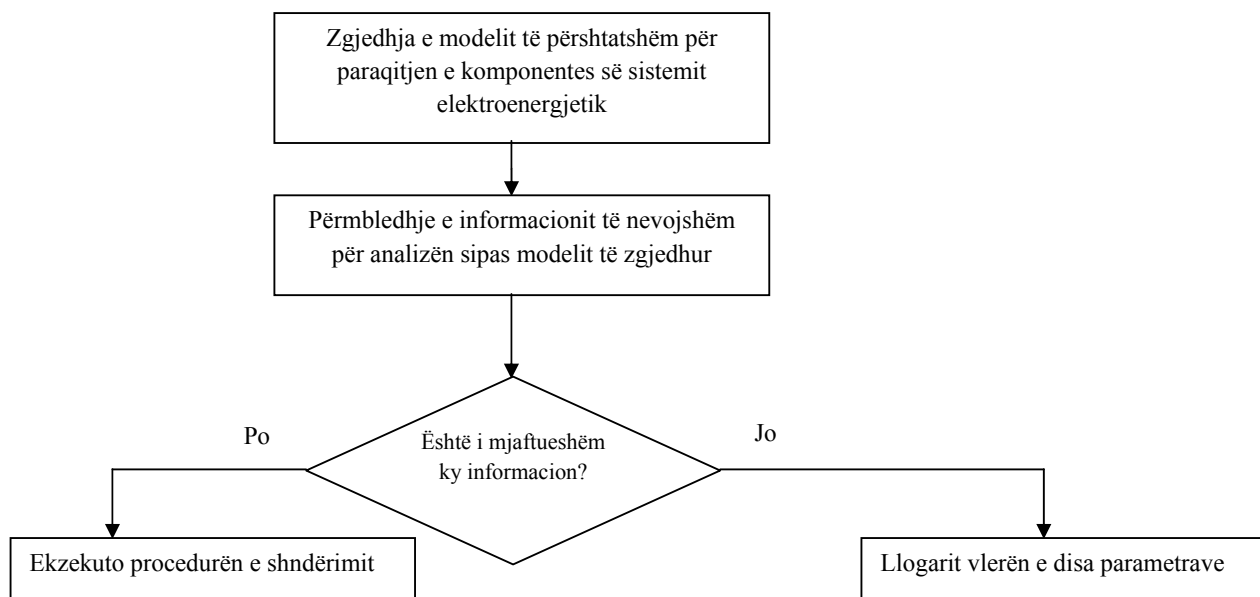


FIGURA 1.1 Procedura e paraqitjes së plotë të komponentëve të sistemit elektroenergjetik.

1.2 Udhëzime nga literatura

Paraqitja e saktë e komponentëve të sistemit elektroenergjetik është thelbësore në studimin e analizës së proceseve kalimtare në të. Simulimi i dukurive kalimtare mund të kërkojë paraqitjen e këtyre përbërësve në një brez frekuencash që ndryshon nga frekuencë zero deri në disa MHz. Edhe pse qëllimi i studimit është analiza me modele matematikë të përshtatshëm për shumë breza frekuencash, paraqitja e çdo komponenti sipas gjithë frekuencave në modelim, paraqitet e pamundur nga pikëpamja llogaritëse, ose kërkon të dhëna shumë komplekse.

Modelimi i komponentëve të sistemit elektroenergjetik, që merr në konsideratë varësinë e parametrave nga frekuenca, përftohet me mjaft saktësi nga modelet e veçantë që paraqesin në mënyrë korrekte sjelljen e këtyre komponentëve në një brez të caktuar frekuencash. Secilit brez frekuencash i korresponson një dukuri e caktuar kalimtare. Një nga klasifikimet më të pranueshme, i propozuar nga IEC (International Electrotechnical Commission) dhe CIGRÉ (Conseil International des Grand Réseaux Électriques) e klasifikon gjithë brezin e frekuencave në katër grupe: I) luhajtje të frekuencave të ulëta nga 0.1 Hz deri 3kHz, II) luhajtje me front të ngadaltë rritës nga 50/60Hz deri në 20kHz, III) luhajtje me front të shpejtë rritës nga 10kHz deri 3MHz dhe IV) luhajtje me front shumë të shpejtë nga 100kHz deri 50MHz. Siç mund të vihet re, nuk ka ndarje të saktë midis këtyre grupeve, sepse kemi të bëjmë me breza frekuencash që interferojnë nga një ndarje në tjetrën [3].

Në qoftë se një paraqitje është e vlefshme për një brez të caktuar frekuencash, modeli i zgjedhur parashikon një procedurë iterative llogaritëse që kryen procesin e simulimit gjatë regjimit kalimtar. Vlen të theksohet se brezi i frekuencave gjatë testimeve, zakonisht është i panjohur para se të kryhen simulimet. Ky proces lehtësohet mjaft duke patur parasysh situatat e përmbledhura në tabelat e mëposhtme. Tabela 1.1 paraqet një përmbledhje të shkurtër të dukurive kalimtare në sistemet elektroenergjetikë.

Një moment shumë i rëndësishëm është saktësimi i aspekteve kryesore që duhet të merren në konsideratë në paraqitjen e komponentëve të sistemit gjatë simulimit të proceseve kalimtarë. Disa prej burimeve të përfuturit të informacionit, përshkruhen në dokumentat e mëposhtme:

1. Dokumenti CIGRE WG 33-02 përfshin komponentët kryesorë të sistemeve të fuqisë dhe propozon paraqitjen e secilit prej tyre në funksion të frekuencës së dukurisë kalimtare që simulohet [3];
2. Pjesa e katërt e standartit IEC 60071 (60071-4) pëshkruan udhëzime që duhet të konsiderohen gjatë simulimeve numerike bazuar në studimin e koordinimit të izolimit, si për shembull gjatë programeve të ofruar nga EMTP [4].
3. Dokumentacioni i IEEE WG mbi modelimin dhe analizën e proceseve kalimtare të sistemeve elektroenergjetikë, paraqet udhëzime dhe procedura praktike të nevojshme mbi modelimin me softe të dixhitalizuar [5].

TABELA 1.1 Origjina dhe brezi i frekuencave i dukurive kalimtare në sistemet elektroenergjetikë [3]

Origjina:	Brezi i frekuencave:
Ferrorezonancë	0.1Hz deri 1kHz
Punim pa ngarkesë	0.1Hz deri 3kHz
Mënjanim defekti	50Hz deri 3kHz
Kyçje linje	50Hz deri 20kHz
Tensione kalimtarë të përkohshëm	50Hz deri 100kHz
Mbitensione të shkarkimeve atmosferike	10kHz deri 3MHz
GIS (Gas Insulation Switch)	100kHz deri 50MHz

Në tabelën 1.2 paraqitet një përmbledhje e udhëzimeve kryesore për paraqitjen e komponentëve të sistemit elektroenergjetik gjatë simulimit të proceseve kalimtarë, në funksion të brezit të frekuencave.

Simulimi i proceseve kalimtarë përfshin jo vetëm zgjedhjen e modelit, por edhe zgjedhjen e asaj pjese të sistemit që do të paraqitet. Disa prej rregullave që duhet të kihet parasysh gjatë këtij procesi mund të përmbledhen si më poshtë [6]:

1. Zgjidhet zona e simulimit në funksion të brezit të frekuencave të procesit kalimtar: sa më e lartë frekuenca, aq më e vogël zona ku do të zbatohet simulimi.
2. Minimizohet pjesa e sistemit që do të paraqitet në model. Rritja e numrit të komponentëve të sistemit nuk shoqërohet domosdoshmërisht me rritjen e saktësisë së simulimit; e rëndësishme është të zgjidhet modeli i duhur me parametrat e nevojshëm përkatës. Gjithashtu një paraqitje e detajuar e sistemit, do të kërkonte edhe një kohë më të gjatë simulimi.
3. Zbatohet në model një paraqitje e përshtatshme e humbjeve. Në shumë raste ato nuk merren në konsideratë, sepse ndikimi i tyre në amplitudën e tensionit dhe frekuencën e luhatjeve është i papërfillshëm. Por në disa dukuri, të tilla si ferrorezonanca apo kyçja e blloqeve kapacitivë, është shumë e rëndësishme njohja e nivelit kritik të humbjeve në përcaktimin e amplitudës së mbitensioneve.
4. Në qoftë se sistemi që do të simulohet është i ndërlikuar, veprohet duke paraqitur modelin ideal të disa prej komponentëve të tij. Kjo lehtëson mundësimin e korrigjimit të të dhënave dhe thjeshton analizën e rezultateve të simulimit.
5. Në qoftë se një ose disa parametra nuk mund të përcaktohen saktësisht, veprohet me një studim më të thellë mbi analizën e dukurive kalimtare, rezultatet e të cilit mund të verifikojnë se për cilin prej parametrave duhet të thellohet saktësimi në përcaktimin përkatës.

Në figurën 1.2 paraqiten rezultatet e simulimit për një linjë transmetimi, për dy modele të ndryshëm të paraqitjes së saj si qark me parametra të shpërndarë: modeli me parametra konstantë në rastin pa humbje (CP-Constant Parameters) dhe ai me humbje me

TABELA 1.2 Udhëzimet kryesore mbi modelimin e komponentëve të sistemit elektroenergjetik

Komponenti /frekuenca e procesit kalimtar	0.1Hz - 3kHz	50Hz - 20kHz	10kHz - 3MHz	100kHz -50MHz
Linjë e tensionit të lartë	- Modeli i linjës shumëfazore si qark me parametra konstantë të përqendruar, përfshirë edhe asimetrinë e përcjellësve. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero. - Efekti kurorë është i rëndësishëm nqs tensioni i përcjellësit të fazës është më i madh se ai i fillimit të shkarkimit kurorë.	- Modeli i linjës shumëfazore si qark me parametra të shpërndarë, përfshirë edhe asimetrinë e përcjellësve. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.	- Modeli i linjës shumëfazore si qark me parametra të shpërndarë, përfshirë edhe asimetrinë e përcjellësve dhe efektin kurorë. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.	- Modeli i linjës njëfazore si qark me parametra të shpërndarë. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.
Kabëll	- Modeli i linjës multifazë si qark me parametra konstantë të përqendruar, përfshirë edhe asimetrinë e përcjellësve. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.	- Modeli i linjës multifazë si qark me parametra të shpërndarë, përfshirë edhe asimetrinë e përcjellësve. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.	- Modeli i linjës multifazë si qark me parametra të shpërndarë, përfshirë edhe asimetrinë e përcjellësve, si dhe efektin kurorë. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.	- Modeli i linjës njëfazore si qark me parametra të shpërndarë. - Varësia e parametrave nga frekuenca është e rëndësishme gjatë përhapjes valore të renditjes zero.
Transformator	- Modeli duhet të marrë në konsideratë efektin e ngopjes, si dhe humbjet në qarkun magnetik dhe ato në përshtjella. - Modelimi i transformatorëve një dhe tri fazorë paraqet ndryshime të konsiderueshme.	- Modeli duhet të marrë në konsideratë efektin e ngopjes, si dhe humbjet në qarkun magnetik dhe ato në përshtjella. - Modelimi i transformatorëve një dhe tri fazorë paraqet ndryshime të konsiderueshme	- Modeli nuk merr parasysh efektin e ngopjes dhe humbjet në qarkun magnetik. - Çiftimi midis fazave është kryesisht kapacitiv. - Duhet të konsiderohet ndikimi i rezistencës së lidhjes së shkurtër.	- Modeli nuk merr parasysh efektin e ngopjes dhe humbjet në qarkun magnetik. - Çiftimi midis fazave është kryesisht kapacitiv. - Duhet të konsiderohet ndikimi i rezistencës së lidhjes së shkurtër.

Gjenerator sinkron	- Paraqitje e detajuar e pjesëve elektrike dhe mekanike, duke konsideruar efektin e ngopjes dhe kontrollin e qarkut të eksitimit.	- Modeli paraqet makinën si burim tensioni në seri me rezistencën mbikalimtare.	- Modeli paraqet si qark linear, përgjigja e frekuencës së të cilit është ajo që llogaritet në dalje të gjeneratorit.	- Modeli paraqet si qark linear kapacitiv pa humbje.
		- Nuk merret parasysh efekti i ngopjes, kontrolli i eksitimit dhe pjesa mekanike..		

parametra të varur nga frekuenca (FD-Frequency Dependent). Në rastin e modelit me humbje dhe parametra të varur nga frekuenca (FD) vihet re një kohë më e madhe shuarje në përhapjen valore në linjë, krahasuar me modelin ideal pa humbje dhe parametra konstantë (FC-Frequency Constant).

Siç mund të vihet re nga rezultatet e simulimit, shpejtësia e përhapjes së valës së tensionit në linjë është më e madhe në rastin e modelit me parametra të shpërndarë të varur nga frekuenca.

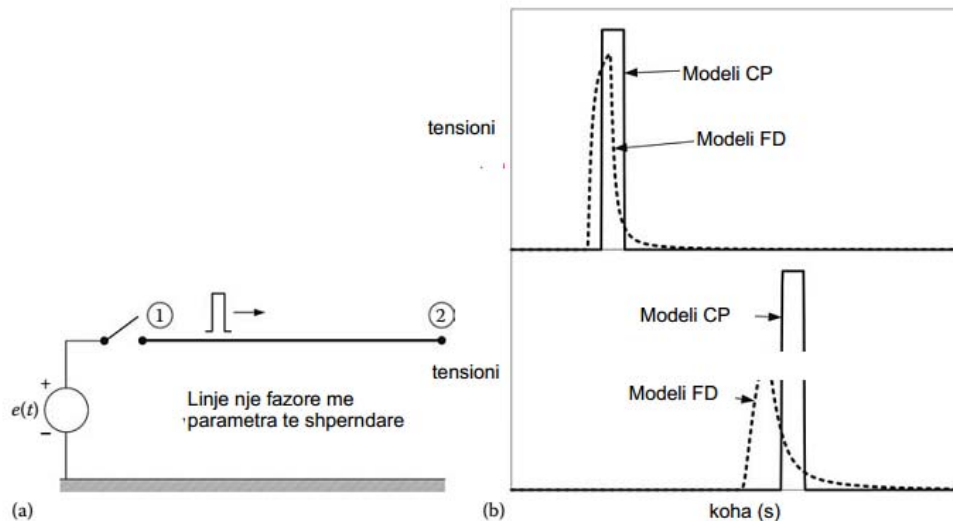


FIGURA 1.2 Krahاسimi modeleve të linjave me parametra të shpërndarë konstantë dhe të varur nga frekuenca: (a) skema e testuar dhe (b) përhapja valore në linjë [6]

1.3 Përcaktimi i parametrave

Modeli matematik i komponentëve kryesorë të sistemit elektroenergjetik (si linjë, kabëll, transformator, gjenerator sinkron, makinë rrotulluese) në analizën e dukurive kalimtare duhet të marrë në konsideratë dy aspekte shumë të rëndësishëm: ndikimet e fushës elektromagnetike dhe humbjet elektromagnetike [1],[2]:

1. *Ndikimet e fushës elektromagnetike* kanë burimin në ekuivalentimin me qarqe elektrikë: efekti i fushave magnetike përfaqësohet në modele me induktivitete vetjakë e reciprokë, ndërsa efekti i fushave elektrike me kapacitete. Në rastin kur kërkohet saktësi e lartë, si ai i linjës së transmetimit me parametra të shpërndarë,

parametrat e qarkut elektrik të ekuivalentuar nuk mund të pranohen më të përqendruar dhe modeli matematik bazohet në zgjidhjen e ekuacioneve diferencialë me matrica kuadratike.

2. *Humbjet* janë të pranishme në pështjellat, qarkun magnetik ose atë të izolimit të komponentëve të sistemit elektroenergjetik. Një rast tjetër i analizës së humbjeve është shkarkimi kurorë në linjat e tensionit të lartë ose ekranizimi në kablllo. Njëlloj si për fushat elektromagnetike, edhe efekti i humbjeve rrjedh nga ekuivalentimi i komponentëve elektroenergjetikë me qarqe elektrikë. Në shumë situata, efekti i humbjeve është i pandarë nga ai i fushës elektromagnetike: skin-efekti shkaktohet nga fushat magnetike në pështjella dhe në bërthamë; humbjet në bërthamë varen nga amplituda e fluksit magnetik dhe frekuenca e fushës magnetike; humbjet kurorë shkaktohen kur fusha elektrike tejkalon tensionin e fillimit të dukurisë “kurorë”; humbjet e izolimit shkaktohen nga fusha elektrike dhe kanë një varësi pothuajse lineare. Përafrimet e përdorur për humbjet paraqiten me rezistenca me karakteristikë lineare ose jolineare, ose me kombinime të disa elementëve të qarqeve elektrikë. Disa modele më të ndërlikuar për humbjet, mund të paraqiten me varësi nga frekuenca FD (frequency-dependent).

Parametrat që marrin në konsideratë efektet e humbjeve dhe fushave elektromagnetike, mund të përcaktohen duke përdorur teknikat e mëposhtme [1]:

- *Teknika të bazuara në gjeometri*, për shembull përfthimi i zgjidhjeve numerike të ekuacioneve të pjesshëm diferencialë të fushave elektromagnetike kundrejt një variabli duke përdorur metodën e elementëve të fundëm (FEM). Gjithashtu mund të përdoren edhe metoda më të thjeshta llogaritëse, si për shembull ajo e zgjidhjes analitike, bazuar në thjeshtimin gjeometrik dhe ndarjen e fushës elektrike nga ajo magnetike, e përdorur kryesisht në linjat ajrore dhe kabllot. Përcaktimi i parametrave të materialeve (si rezistenca, përçueshmëria dhe permeabiliteti) zakonisht përftohet nga standartet ose katalogët e prodhuesit. Në qoftë se karakteristika e një elementi është pothuajse jolineare (si në rastin e materialeve ferromagnetikë), testet e fabrikës mund të jenë të nevojshëm për njohjen e kurbës së ngopjes ose ciklin e histerezisë.
- *Testet e fabrikës* të kryer zakonisht për transformatorët ose makinat rrotulluese, mund të grupohen si më poshtë:
 - teste të gjendjes së qëndrueshme, të klasifikuar si teste me frekuencë konstante (testet e regjimit pa ngarkesë dhe ato të lidhjes së shkurtër) dhe teste me frekuencë të ndryshueshme (përgjigja e frekuencës).
 - teste të gjendjes kalimtare, si në rastin e përcaktimit të parametrave të qarkut elektrik ekuivalent të makinës sinkrone.

Në figurën 1.3 paraqitet skematikisht procedura e teknikave të nevojshme përafruese për përcaktimin e parametrave (të përshkruara si më sipër) [7]:

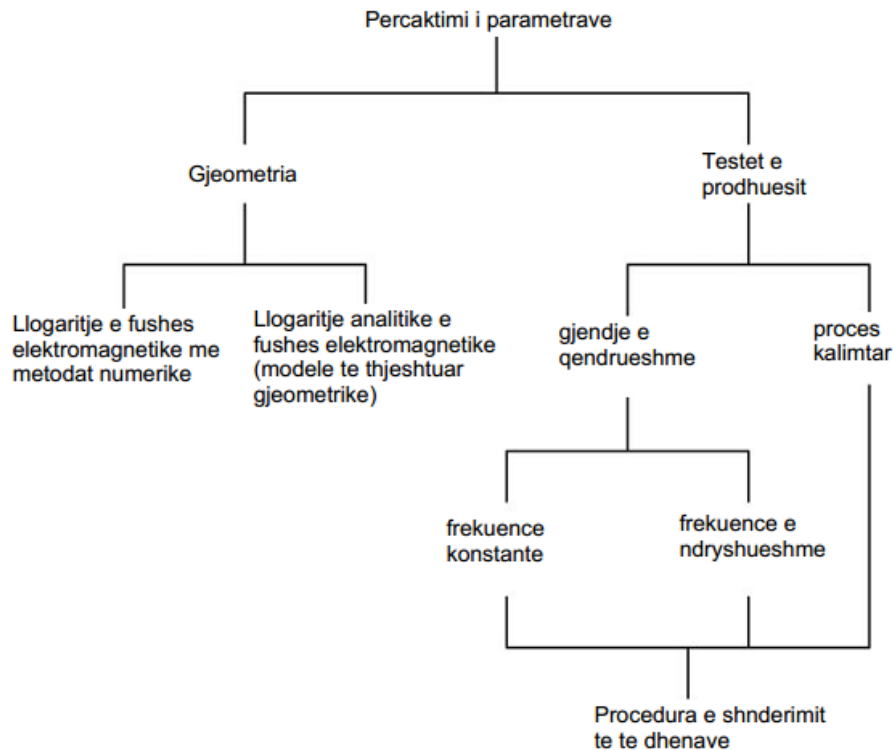


FIGURA 1.3 Paraqitje skematike e teknikave të nevojshme përafruese për përcaktimin e parametrave

Parametrat dhe/ose modelet matematikë të nevojshëm për paraqitjen e linjave të transmetimit në paketat simuluese përftohen nëpërmjet “funksioneve mbështetës”, si në shumicën e programeve të ofruar në ATP/EMTP, të njohur si “procedura rutinë e parametrave LC”. Sipas kësaj procedure, përdoruesit duhet të japin parametrat fizikë të linjës dhe kryejnë zgjedhjen e modelit të saj. Informacioni i nevojshëm që duhet të jepet ka të bëjë me karakteristikat teknike të përcjellësve dhe gjeometrinë e tyre: koordinatat (x,y) të çdo përcjellësi fazor dhe trosit, hapësirat e lidhjes, përkulshmëria e përcjellësve të fazave dhe trosit, qarku ekuivalent fazor për çdo përcjellës, zhvendosja fazore dhe transpozicionet në linjë, rezistenca nuleare për çdo përcjellës dhe rezistenca e tokëzimit e konturit të kthimit në tokë. Duhet theksuar se i gjithë informacioni i mësipërm (përveç rezistencës së përcjellësve dhe asaj të tokëzimit) rrjedh nga përmasat gjeometrike të linjës. Modelimi i linjave mund të realizohet në disa mënyra: modelim me parametra të përqendruar (i njohur ndryshe si modeli me qarqe Pi i llogaritur në frekuencë specifike); modelim me parametra të shpërndarë dhe konstantë të llogaritur për një frekuencë të caktuar; modelim me parametra të shpërndarë të llogaritur në varësi të frekuencës, i cili është i përshtatshëm për llogaritje në një brez të caktuar frekuencash (shih figurën 1.4).

Informacioni i dhënë bëhet i vlefshëm nëpërmjet krijimit të: matricës së kapaciteteve dhe përcjellshmërive tërthore të linjës; matricës së rezistencave seri; rezistencave, induktiviteteve dhe kapaciteteve për njësi gjatësie për komponenten e drejtë dhe nuleare;

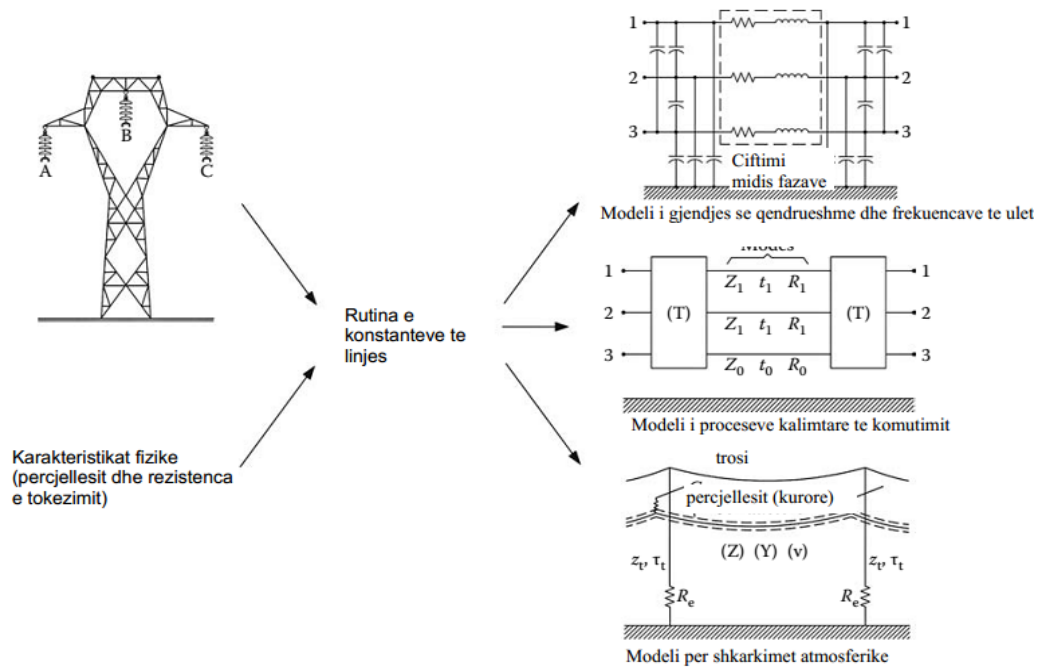


FIGURA 1.4 Zbatimi i rutinës së parametrave LC në përfitim të modeleve të linjave të tensionit të lartë [7]

koeficienti i shuarjes, shpejtësia e përhapjes dhe gjatësia e valës për komponenten e drejtë dhe nuleare; në një frekuencë të caktuar ose në një brez frekuencash. Matricat e parametrave të linjave mund të përftohen për gjithë sistemin e përcjellësve fazorë ose nëpërmjet komponenteve simetrike të përcjellësve të ekuivalentuar të fazave. Duhet theksuar se modeli i krijuar në rutinën LC përfaqëson vetëm përcjellësit e fazave; ndërsa në llogaritjen e dukurive kalimtare si në rastin e mbritësioneve atmosferike në linjat e tensionit të lartë, është e nevojshme edhe paraqitja e modelit të shtyllave, izolatorëve, konturit të tokëzimit dhe shkarkimit kurorë.

1.4 Standartet ndërkombëtarë

Duke u përqendruar në linjat e transmetimit të një sistemi elektroenergjetik, në tabelën 1.3 janë përmbledhur standartet ndërkombëtarë, ku bazohet modeli i tyre gjatë analizës së proceseve kalimtare të frekuencave të ndryshme:

1.5 Disa përfundime

- Paraqitja e saktë e komponentëve të sistemit elektroenergjetik ka si qëllim kryesor studimin e qëndrueshmërisë elektrike të tyre gjatë analizës së proceseve kalimtare, të cilët mund të zhvillohen në një frekuencë të caktuar ose brez të caktuar frekuencash.

TABELA1.3 Përmbledhje e standarteve ndërkombëtarë mbi paraqitjen e linjave të transmetimit

Standartet IEEE	Standartet IEC
IEEE Std. 738-1993, IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors (Standarti IEEE 738 për llogaritjen e rrymave në funksion të temperaturës për përcjellësit e linjave të tensionit të lartë)	IEC 61089, Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors, 1991 (Standarti IEC 61089 mbi përcjellësit me seksion rrethor të linjave të tensionit të lartë)
IEEE Std.1243-1997, IEEE Guide for Improving the Lighting Performance of Transmission Lines (Standarti IEEE 1243, Udhëzues IEEE mbi analizën e sjelljes ndaj shkarkimeve atmosferike për linjat e transmetimit)	IEC 61597, Overhead electrical conductors- Calculation methods for stranded bare conductors, 1997 (Standarti IEC 61597: Metodat llogaritëse për përcjellësit e linjave të tensionit të lartë)
IEEE Std.1410-1997, IEEE Guide for Improving the Lighting Performance of Electrical Power Overhead Distribution Lines (Standarti IEEE 1410, Udhëzues IEEE mbi analizën e sjelljes ndaj shkarkimeve atmosferike për linjat e tensionit të lartë)	

- Në funksion të dukurisë kalimtare që trajtohet, përcaktohen parametrat e modelit përkatës të komponentëve të sistemit elektroenergjetik, të cilët mund të klasifikohen në parametra konstantë apo të pavarur nga frekuenca dhe parametra të ndryshueshëm apo të varur nga frekuenca (apo brezi i frekuencave, ku zhvillohet procesi kalimtar).
- Në paraqitjen e komponentëve të sistemit elektroenergjetik (si linjë, kabëll, transformator, gjenerator sinkron, makinë rrotulluese) me modelet matematikë përkatës, duhet të merren në konsideratë dy aspekte shumë të rëndësishëm: ndikimet e fushës elektromagnetike dhe humbjet elektromagnetike.
- Në funksion të këtyre ndikimeve, përcaktohen teknikat e llogaritjes së parametrave, të cilat klasifikohen në dy grupe kryesore:
 - Teknika të bazuara në të dhëna gjeometrike dhe shfrytëzojnë për zgjidhje metodat llogaritëse të analizës numerike. Llogaritja e parametrave të linjave të transmetimit realizohet sipas këtyre teknikave.
 - *Testet e fabrikës*, të përdorur zakonisht për transformatorët ose makinat rrotulluese, të cilët grupohen në teste të gjendjes së qëndrueshme dhe teste të gjendjes kalimtare.

MODELIMI I PËRCJELLËSVE NË LINJAT E TRANSMETIMIT

2.1 Hyrje

Rezultatet e përftuar nga simulimet e dukurive kalimtare elektromagnetike janë shumë të rëndësishëm si për fazën e projektimit, ashtu edhe të shfrytëzimit të linjave të tensionit të lartë. Për analizën e proceseve kalimtarë në këtë pjesë të sistemit elektroenergjetik, është e domosdoshme zgjedhja e modelit të përshtatshëm matematik, në funksion të frekuencës dhe vlerës së tensionit.

Tensionet që duhet të kihen parasysh gjatë projektimit të linjave ajrore janë [8],[9],[10]:

1. Tensioni në frekuencën e punës ose ai i gjendjes së qëndrueshme.
2. Mbitensione të përkohshëm (në frekuenca të ulëta), në kushte defektesh, regjim punimi pa ngarkesë ose ferorezonancë
3. Mbitensione me front të ngadaltë, të shkaktuar nga veprimet e komutimit kycje-çkycje në linja.
4. Mbitensione me front të shpejtë, të shkaktuar kryesisht nga shkarkimet atmosferike.

Në funksion të specifikimeve të kërkuara, duhet të merren në konsideratë vlerat përkatëse të tensioneve në linjë. Për shembull, studimi i shkarkimeve atmosferike kërkon pozicionimin dhe numrin e përcjellësve të trosit si dhe projektimin e tokëzimit të shtyllave. Karakteristikat e shkarkuesve përcaktohen nga mbitensionet e përkohshëm në linjë, ndërsa lloji i izolatorëve përcaktohet nga kushtet e ndotjes së hapësirës ajrore në linjë.

Në përgjithësi, shkarkuesit janë shumë të rëndësishëm në nivele tensioni mbi 400kV; ndërsa për tensione më të ulët mbrojtja nga shkarkimet atmosferike mund të realizohet me mirëmbajtje (pastrim) apo gjatësi më të madhe të vargut të izolatorëve, më tepër se mbrojtje me shkarkues në linjë [10].

Është pranuar si rregull që linjat e tensionit të lartë të projektohen bazuar në vlerat e mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike. Kjo për faktin se gjatë shfrytëzimit të tyre, supozohet që linjat e tensionit të lartë ndeshen më tepër me mbitensione të shkarkimeve

atmosferike. Si rrjedhojë, niveli i izolimit të kësaj kategorie linjash duhet të jetë më i larti, sipas standarteve teknike të ofruar nga studimi i koordinimit të izolimit.

Siç u trajtua edhe në kapitullin e parë, simulimi i dukurive kalimtare mund të kërkojë një paraqitje të komponentëve të sistemeve elektroenergjetikë me breza frekuencash nga zero deri në disa MHz. Edhe pse një paraqitje e tillë për linjat e transmetimit mund të realizohet, për vetë natyrën e punës së tyre, rekomandohet që të zhvillohen modele të përshtatshëm për një brez të caktuar frekuencash. Secili brez frekuencash i korrespondon një dukurie të caktuar kalimtare (për shembull modelet e luhatjeve me frekuencë të ulët janë të përshtatshëm për llogaritjen e mbitensioneve të përkohshëm në linja).

Për linjat e tensionit të lartë janë zhvilluar dy lloj modelesh në zonën e kohës: modeli si qarqe elektrikë me parametra të përqendruar dhe ai me parametra të shpërndarë. Zgjedhja e modelit të përshtatshëm varet nga gjatësia e linjës dhe frekuenca më e lartë e procesit kalimtar që do të studiohet.

Modelet e linjave si qarqe me parametra të përqendruar përfaqësojnë sisteme transmetimi të paraqitur me elementë të përqendruar R, L, C, G, vlerat e të cilëve llogariten në një frekuencë të caktuar. Këta modele të njohur si “Modelet Pi” janë të përshtatshëm për llogaritjen e gjendjes së stabilizuar ose për procese kalimtare që zhvillohen në nivele frekuence shumë afër frekuencës së llogaritjes së parametrave të linjës. Për llogaritje më të saktë të proceseve kalimtare përdoren **modelet e qarqeve me parametra të shpërndarë**, të cilët marrin në konsideratë natyrën e shpërndarë të parametrave të linjës. Nga kjo kategori mund të veçojmë modelin me qarqe **me parametra konstantë** dhe atë **me parametra të varur nga frekuenca**.

Numri i iteracioneve për paraqitjen e linjave, si dhe kërkesat e modelit për paraqitjen e elementëve përbërës të tyre (përcjellësit, shtyllat, sistemi i tokëzimit dhe izolimi), varen nga niveli i tensionit që mbizotëron gjatë dukurisë kalimtare që simulohet. Më poshtë janë përmbledhur disa udhëzime që duhet të konsiderohen në situata të caktuara:

1. Në llogaritjet e proceseve kalimtare në frekuencën e punës ose në rastin e mbitensioneve kalimtarë, në model duhet të përfshihet gjithë gjatësia e linjës, për të cilën është e nevojshme vetëm paraqitja e përcjellësve. Një model shumëfazor me parametra konstantë që merr në konsideratë edhe asimetrinë e përcjellësve, është mëse i mjaftueshëm në këtë rast. Për procese kalimtare që zhvillohen në frekuenca mbi 1 kHz, nevojitet modelim me parametra të varur nga frekuenca, i cili merr në konsideratë edhe përhapjen e valës në tokë. Efekti kurorë duhet të konsiderohet në ato raste kur tensioni i përcjellësit të fazës tejkalon vlerën e fillimit të shkarkimit kurorë.
2. Në llogaritjet e mbitensioneve të komutimit, veprohet me modele shumëfazorë me parametra të shpërndarë për gjithë gjatësinë e linjës, duke përfshirë edhe asimetrinë në linjë. Njëlloj si në rastin e mbitensioneve të përkohshëm, paraqitja me modele me parametra të varur nga frekuenca është e rëndësishme kur merret në konsideratë përhapja valore në tokë dhe për këtë mjafton vetëm paraqitja e përcjellësve fazorë.

3. Llogaritja e mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike kërkon një modelim më të detajuar, në të cilin duhet të paraqiten shtyllat, sistemi i tokëzimit, izolimi, duke marrë në konsideratë edhe kushtet atmosferike dhe shkallën e pastërtisë së izolatorëve. Edhe pse nuk paraqitet e gjithë gjatësia e linjës në modelim, në të dy anët e saj duhet të parashikohet një rezistencë mbyllëse e qarkut të modeluar, me qëllim mënjanimin e ndikimit të interferencave në valët e mbitensioneve të studiuar. Meqenëse shkarkimi atmosferik është një dukuri kalimtare me front shumë të shpejtë, paraqitja e çdo pjese linje zhvillohet me modele me qarqe me parametra të shpërndarë, duke marrë në konsideratë asimetrinë e përcjellësve dhe efektin kurorë.

Duhet theksuar se gjatësia që shtohet në modelimin e linjave të transmetimit, varet nga dukuria kalimtare që studihet, e cila është e lidhur ngushtë edhe me brezin përkatës të frekuencave. Si rregull praktik, sa më e ulët frekuenca e procesit kalimtar, aq më e madhe është gjatësia e linjës që paraqitet në model. Për proceset kalimtare të frekuencave të ulëta dhe të mesme, në model paraqitet e gjithë gjatësia e linjës. Për procese kalimtare të shpejtë dhe shumë të shpejtë, është e mjaftueshme paraqitja e segmenteve të caktuar të linjës. Kjo ilustron qartë në figurën 2.1 dhe tabelen 1.2, ku paraqiten udhëzuesit e modelimit të propozuar nga CIGRE [11], IEC [12] dhe IEEE [8].

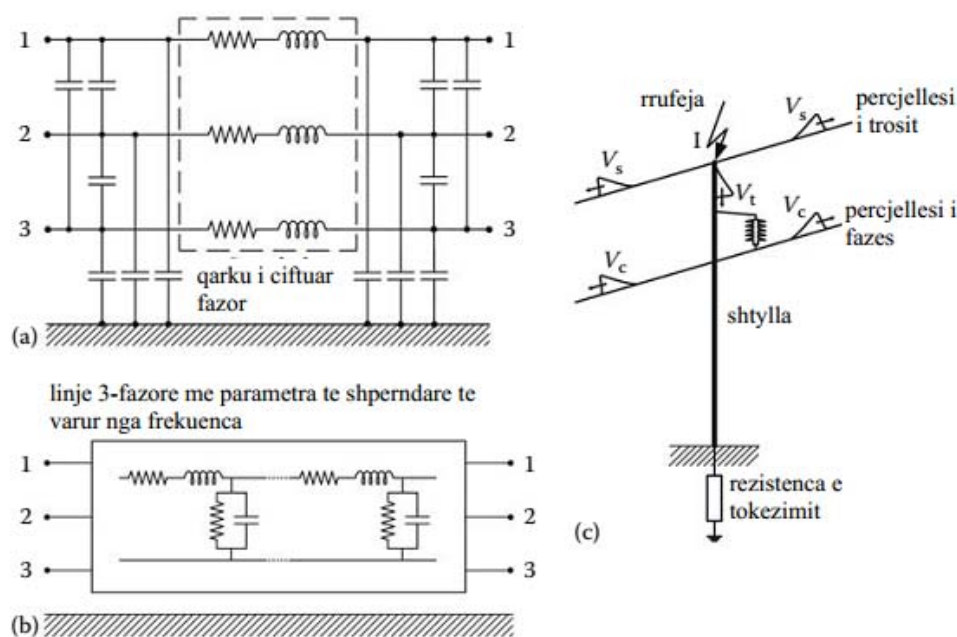


FIGURA 2.1 Modelet e linjës për breza të ndryshëm frekuencash: (a) gjendje e qëndrueshme dhe procese kalimtare të ngadaltë, (b) mbitensione me front të ngadaltë, (c) proceset kalimtare të shkarkimeve atmosferike (mbitensione me front të shpejtë)

2.2 Modelimi i përcjellësve

Parametrat e linjave të tensionit të lartë llogariten nëpërmjet praktikave rutinë në softe të

tillë si ATP/EMTP. Këta parametra varen nga lloji i linjës dhe modeli i tokëzimit të saj, por në të gjithë rastet modeli i linjës përbëhet nga rezistenca seri (të cilat përfaqësojnë efektin gjatësor të përhapjes së fushës elektromagnetike) dhe kapacitete tërthorë (që përfaqësojnë efektin tërthor të fushës elektromagnetike në linjë).

Në tabelën 2.1 është pasqyruar një përmbledhje e udhëzimeve CIGRE dhe IEEE për paraqitjen e linjave, të klasifikuara sipas proceseve kalimtare në to.

TABELA 2.1 Guidë udhëzuese modelimi për linjat e tensionit të lartë, bazuar në publikimet CIGRE, IEEE dhe IEC për analizën dhe llogaritjen kompjuterike të proceseve kalimtare në linjat e tensionit të lartë [11],[8]

Elementët e modelit:	Procese kalimtare me frekuencë të ulët	Procese kalimtare me front të ngadaltë	Procese kalimtarë me front të shpejtë	Procese kalimtare me front shumë të shpejtë
Paraqitja e linjave të transpozuar	Qarqe shumëfazorë Pi me parametra të përqendruar	Modeli i qarkut shumëfazor me parametra të shpërndarë	Modeli i qarkut shumëfazor me parametra të shpërndarë	Modeli i qarkut njëfazor me parametra të shpërndarë
Asimetri	E rëndësishme	Asimetritë kapacitive dhe induktive janë të rëndësishme, me përjashtim të rastit kur analizohen dukuri statistikore (në këto studime nuk merren në konsideratë).	Nuk merret në konsideratë vetëm në rastin e simulimeve të linjave njëfazore; në cdo situatë tjetër duhet të merren në konsideratë	Nuk merret në konsideratë
Parametra të varur nga frekuenca	Të rëndësishëm	Të rëndësishëm	Të rëndësishëm	Të rëndësishëm
Efekti kurorë	I rëndësishëm në rastin kur tensioni i fazës tejkalon vlerën e fillimit të shkarkimit kurorë	Nuk merret në konsideratë	Shumë i rëndësishëm	Nuk merret në konsideratë
Tokëzimi	Nuk është i rëndësishëm	Nuk është i rëndësishëm	Shumë i rëndësishëm	Varet nga shkaku i procesit kalimtar
Izolatorët	Në simulim përfshihet vetëm dukuria e shkarkimit			

2.3 Ekuacionet telegrafike të linjës

Figura 2.2 paraqet një seksion diferencial të linjës njëfazore të tensionit të lartë dhe qarkun elektrik ekuivalent për këtë seksion [13],[14].

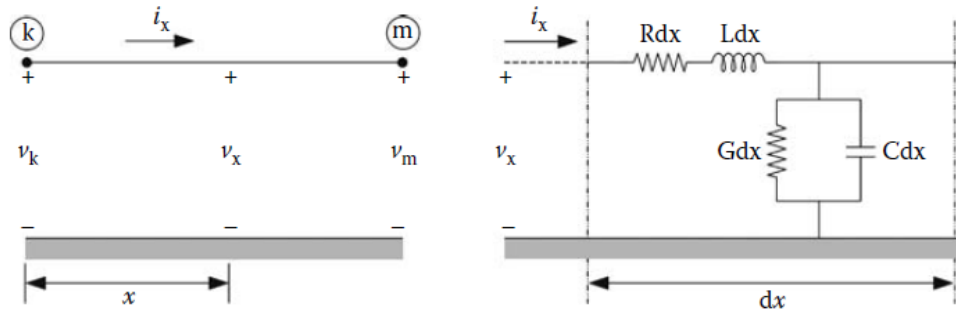


FIGURA 2.2 Linjë njëfazore e tensionit të lartë.

Duke pranuar se përcjellësit e linjës janë të pozicionuar paralel me sipërfaqen e tokës dhe të shpërndarë uniformisht, ekuacionet telegrafike të linjës në zonën e kohës mund të shprehen si më poshtë:

$$-\frac{\partial v(x,t)}{\partial x} = Ri(x,t) + L \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \quad (2.1a)$$

$$-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = Gv(x,t) + C \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} \quad (2.1b)$$

ku: $v(x,t), i(x,t)$ janë përkatësisht tensioni dhe rryma në linjë; R, L, C, G parametrat e linjës të shprehur për njësi gjatësie

Figura 2.3 përshkruan një seksion diferencial të një linje trifazore të tensionit të lartë, ku merren në konsideratë edhe çiftimet midis induktiviteteve gjatësorë të fazave si dhe kapacitetet tërthorë midis fazave dhe tokës. Ekuacionet në zonën e kohës, në këtë rast paraqiten me shprehjet [13],[14]:

$$-\frac{\partial \mathbf{v}(x,t)}{\partial x} = \mathbf{R}\mathbf{i}(x,t) + \mathbf{L} \frac{\partial \mathbf{i}(x,t)}{\partial t} \quad (2.2a)$$

$$-\frac{\partial \mathbf{i}(x,t)}{\partial x} = \mathbf{G}\mathbf{v}(x,t) + \mathbf{C} \frac{\partial \mathbf{v}(x,t)}{\partial t} \quad (2.2b)$$

ku: $\mathbf{v}(x,t), \mathbf{i}(x,t)$ janë përkatësisht vektorët e tensionit dhe rrymës në linjë; $\mathbf{R}, \mathbf{L}, \mathbf{C}, \mathbf{G}$ matricat e parametrave të linjës të shprehur për njësi gjatësie.

Për një model të saktë të linjës, parametrat e saj konsiderohen të varur nga frekuenca.

Modele më të avancuar mund të marrin në konsideratë një distancë shtesë, në varësi të parametrave të linjës (e cila do të paraqesë jouniformitetet në linjë), efektin e tensioneve të induktuar nga prania e linjave të ndriçimit apo varësinë e kapaciteteve në linjë nga tensioni (jolinearitetet në linja për shkak të efektit kurorë) [15], [16],[17].

Duke marrë në konsideratë varësinë nga frekuenca të parametrave gjatësorë, zgjidhja e ekuacioneve telegrafike të linjës, mund të studiohet në zonën e frekuencës. Sjellja e linjave me shumë përcjellës në zonën e frekuencës përshkruhet nga ekuacionet matricorë të mëposhtëm

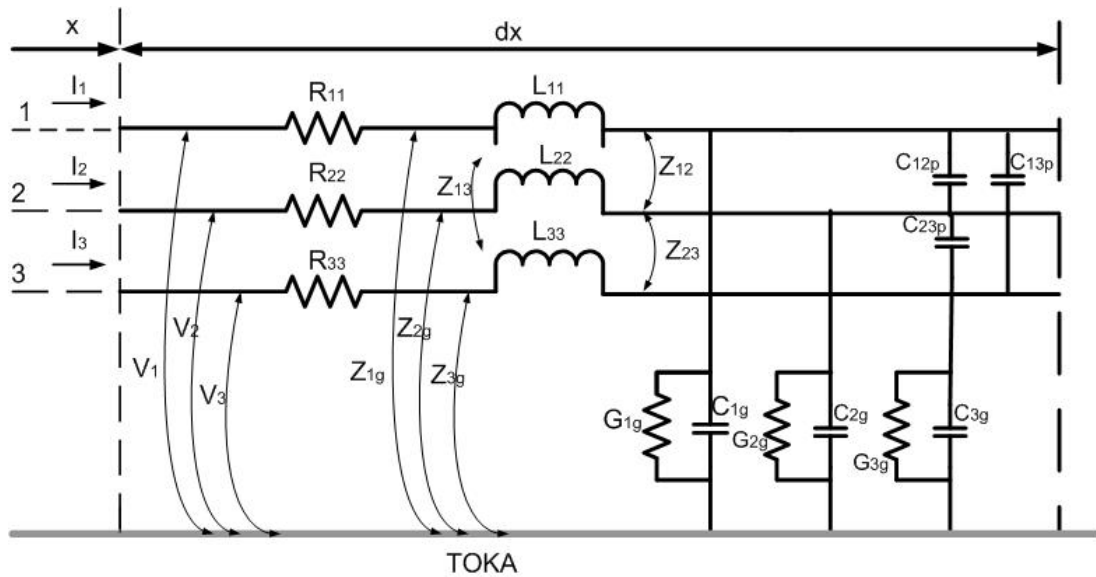


FIGURA 2.3 Seksion diferencial i linjës trifazore të tensionit të lartë.

$$-\frac{d\mathbf{V}_x(\omega)}{dx} = \mathbf{Z}(\omega)\mathbf{I}_x(\omega) \quad (2.3a)$$

$$-\frac{d\mathbf{I}_x(\omega)}{dx} = \mathbf{Y}(\omega)\mathbf{V}_x(\omega) \quad (2.3b)$$

ku: $\mathbf{Z}(\omega)$, $\mathbf{Y}(\omega)$ janë përkatësisht matricat e rezistencave gjatësore dhe përcjellshmërive tërthore për njësi gjatësie.

Matrica e rezistencave gjatësore të linjës mund të zbërthehet në dy pjesë:

$$\mathbf{Z}(\omega) = \mathbf{R}(\omega) + j\omega\mathbf{L}(\omega) \quad (2.4)$$

$\mathbf{Z}$ është një matricë komplekse simetrike me elementë të varur nga frekuenca.

Në programin ATP/EMTP llogaritja e parametrave $\mathbf{R}$, $\mathbf{L}$ zhvillohet duke marrë parasysh dukurinë e skin-efektit në përcjellësit e fazave dhe të tokës. Kjo realizohet nëpërmjet futjes së rezistencës së tokëzimit të Carson-it [18] apo formulave Schelkunoff [19] për llogaritjen e rezistencës së përcjellësve cilindrikë [20].

Në analogji me $\mathbf{Z}$, edhe matrica e përcjellshmërive tërthore në linjë [21] mund të zbërthehet në:

$$\mathbf{Y}(\omega) = \mathbf{G} + j\omega\mathbf{C} \quad (2.5)$$

Elementët e $\mathbf{G}$ lidhen me rrymat e rrjedhjes në tokë nga vargjet e izolatorëve, dukuri që shkaktohet kryesisht nga papastërtitë në izolatorë. Në shumicën e rasteve kjo dukuri nuk merret parasysh, me përjashtim të rastit të shkarkimit kurore [22].

2.4 Llogaritja e parametrave të linjës

2.4.1 Matrica e kapaciteteve tërthorë

Matrica e kapaciteteve është funksion vetëm gjeometrisë së përcjellësve. Le të trajtojmë një konfigurim të n përcjellësve arbitrare në hapësirë ajrore. Në figurën 2.4 paraqitet llogaritja e matricës së koeficientëve potencialë dhe asaj të kapaciteteve në linjë, nëpërmjet metodës së pasqyrimeve, duke pranuar sipërfaqen e tokës si përcjellës ideal.

Vektori i potencialit elektrik të përcjellësve kundrejt tokës, mund të shprehet si funksion i ngarkesës

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}\mathbf{q} \quad (2.6)$$

ku $\mathbf{v}$ është vektori i tensioneve në përcjellësit e linjës; $\mathbf{q}$ është vektori i ngarkesave elektrike që i krijojnë këta tensione; $\mathbf{P}$ është matrica e koeficientëve potencialë

$$P = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{vmatrix} \ln \frac{D_{11}}{r_1} & \dots & \ln \frac{D_{1n}}{d_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln \frac{D_{n1}}{d_{n1}} & \dots & \ln \frac{D_{nn}}{r_n} \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

ϵ_0 konstantja dielektrike e hapësirës ajrore; r_i rrezja e përcjellësit të i -të të linjës (shih figurën.2.3) dhe distancat përkatëse:

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2} \quad (2.8a)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2.8b)$$

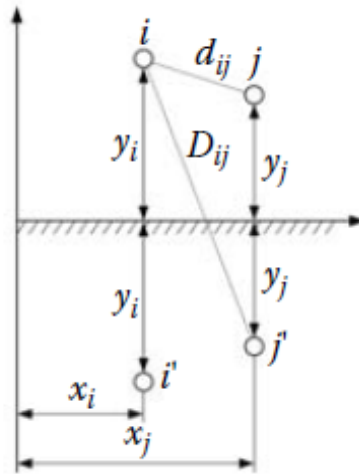


FIGURA 2.4 Zbatimi i metodës së pasqyrimeve në llogaritjen e fushës elektrike.

Kur llogariten parametrat elektrikë të linjave me grup përcjellësish (bund conductors), r_i mund të zëvendësohet me rrezen ekuivalente të grupit:

$$R_{eq,i} = \sqrt[n]{nr_i(r_b)^{n-1}} \quad (2.9)$$

ku: n numri i përcjellësve dhe r_b rrezja e përdredhjes

Matrica e kapaciteteve C llogaritet duke invertuar matricën e koeficientëve potencialë:

$$C = P^{-1} \quad (2.10)$$

2.4.2 Matrica e rezistencave gjatësore

Matrica e rezistencave seri ose rezistencave gjatësore llogaritet bazuar në karakteristikat gjeometrike dhe elektrike të linjës [18]. Në përgjithësi, ajo trajtohet e zbërthyer në dy terma [23],[24]:

$$Z = Z_{ext} + Z_{int} \quad (2.11)$$

ku: Z_{ext} dhe Z_{int} janë përkatësisht matricat e rezistencave gjatësore të jashtme dhe të brendshme.

Matrica e rezistencave të jashtme është e lidhur me ndikimin e fushave magnetike të jashtme në përcjellës dhe përfshin përhapjen e tyre në hapësirë ajrore (Z_g) dhe në tokë (Z_e).

Matrica e rezistencave të jashtme gjatësore

Ndikimi i konturit të mbylljes në tokë është një faktor shumë i rëndësishëm në llogaritjen e matricës së rezistencave të jashtme gjatësore. Zgjidhja klasike e kësaj matrice bazohet në metodën Carson, duke pranuar përcjellës shumë të hollë (me diametër elementar) mbi sipërfaqen e tokës dhe duke integruar sipas gjatësisë së linjës.

Për linjat me shumë përcjellës përdoret metoda komplekse e pasqyrimeve, e cila bazohet në zëvendësimin e tokës me humbje me një linjë përcjellëse ideale në një thellësi komplekse. Kjo llogaritje zgjerohet më tej për rastin e konturit shumëstresor [20] të tokëzimit dhe e rëndësishme është vlefshmëria e saj për brez frekuencash nga më të ulëtat (disa Hz) deri në disa MHz.

Zgjidhjet e përfutuara nga metoda e mësipërme, pranojnë linjën elektrike të trajtuar me përcjellës shumë të hollë. Praktikisht linjat konsiderohen me përcjellës shumë të hollë kur $(r/2h)\ln(2h/r) \ll 1$, ku r rrezja e përcjellësit dhe h lartësia e tij kundrejt sipërfaqes së tokës.

Në figurën 2.5 paraqitet zbatimi i metodës së pasqyrimeve komplekse për llogaritjen e koeficientëve të rezistencave të jashtme gjatësore, në rastin e një linje me humbje me n përcjellës me konfigurim çfarëdo.

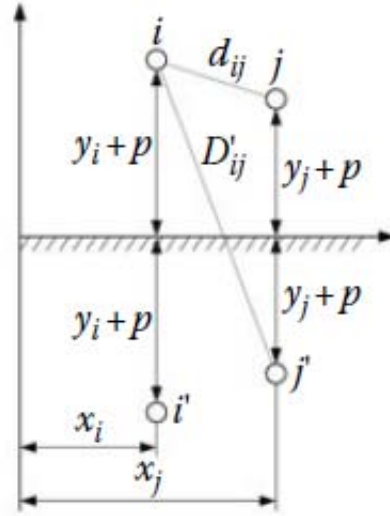


FIGURA 2.5 Paraqitja gjeometrike e metodës së pasqyrimeve komplekse

Bazuar në metodën e sapopërshtkruar, matrica e rezistencave të jashtme gjatësore mund të paraqitet me anë të shprehjes:

$$Z_{ext} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \begin{vmatrix} \ln \frac{D'_{11}}{r_1} & \dots & \ln \frac{D'_{1n}}{d_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln \frac{D'_{n1}}{d_{n1}} & \dots & \ln \frac{D'_{nn}}{r_n} \end{vmatrix} \quad (2.12)$$

ku

$$D'_{ij} = \sqrt{(y_i + y_j + 2p)^2 + (x_i - x_j)^2} \quad (2.13)$$

Thellësia komplekse llogaritet nga shprehja:

$$p = \sqrt{\frac{1}{j\omega\mu_e(\sigma_e + j\omega\epsilon_e)}} \quad (2.14)$$

σ_e , μ_e dhe ϵ_e janë përkatësisht përçueshmëria e tokës (S/m), konstantja magnetike (H/m) dhe ajo elektrike (F/m). Përcaktimi i thjeshtuar i thellësisë komplekse është sipas shprehjes:

$$p = \sqrt{\frac{1}{j\omega\mu_e\sigma_e}} \quad (2.15)$$

Përcaktimi i p sipas shprehjes (2.14) siguron një llogaritje shumë të saktë të

rezistencave të jashtme gjatësore, duke përdorur metodën e pasqyrimeve komplekse (llogaritur sipas Sunde) [25].

Duke shumëzuar çdo element të (2.12) me D_{ij}/D_{ij} , rezistenca e jashtme mund të paraqitet në termat e rezistencës së hapësirës ajrore $\mathbf{Z}_g$ dhe asaj të tokës $\mathbf{Z}_e$

$$\mathbf{Z}_{ext} = \mathbf{Z}_g + \mathbf{Z}_e \quad (2.16)$$

ku

$$\mathbf{Z}_g = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \begin{bmatrix} \ln \frac{D_{11}}{r_1} & \dots & \ln \frac{D_{1n}}{d_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln \frac{D_{n1}}{d_{n1}} & \dots & \ln \frac{D_{nn}}{r_n} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\mathbf{Z}_e = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \begin{bmatrix} \ln \frac{D'_{11}}{D_{11}} & \dots & \ln \frac{D'_{1n}}{D_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln \frac{D'_{n1}}{D_{n1}} & \dots & \ln \frac{D'_{nn}}{D_{nn}} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Rezistenca e brendshme gjatësore

Në rastin kur përcjellësit nuk janë përçues idealë, përbërësja tangjenciale e fushës nuk është zero; kështu një pjesë e fushës elektrike arrin të depërtojë në përcjellës. Kjo merret në konsideratë, duke shtuar vlerën e rezistencës së brendshme gjatësore. Rezistenca e brendshme gjatësore e një përcjellësi rrethor, llogaritet nëpërmjet vlerës së rrymës shumë në përcjellës dhe intensitetit të fushës elektrike në sipërfaqen e tij (rezistenca sipërfaqësore) [26]

$$\mathbf{Z}_{int} = \frac{E_{surf}}{I_{total}} = -\frac{Z_{cw}}{2\pi r_c} \frac{I_0(\gamma_c r_c)}{I_1(\gamma_c r_c)} \quad (2.19)$$

ku: $I_0(\cdot), I_1(\cdot)$ janë funksionet e modifikuar të Besselit; Z_{cw} rezistenca valore e përcjellësit:

$$Z_{cw} = \sqrt{\frac{j\omega\mu_c}{\sigma_c + j\omega\epsilon_c}} \quad (2.20)$$

γ_c , konstantja e përhapjes në jedis përcjellës e shprehur si

$$\gamma_c = \sqrt{j\omega\mu_c(\sigma_c + j\omega\epsilon_c)} \quad (2.21)$$

Përçueshmëria, permitiviteti, permeabiliteti dhe rrezja e përcjellësit përcaktohen

përkatësisht nga $\sigma_c, \epsilon_c, \mu_c, r_c$.

Për frekuenca të ulëta: $|\gamma_c r_c| \ll 1$; nga zbërthimi seri i funksioneve Bessel [28], rezistenca e brendshme rezulton:

$$Z_{LF} \approx R_{dc} \left[1 + \frac{1}{48} \left(\frac{r_c}{\delta} \right)^2 \right] + j \frac{\omega \mu}{8\pi} \quad (2.22)$$

Thellësia e skin-efektit në përcjellës, përcaktohet nëpërmjet shprehjes

$$\delta = \frac{2}{\omega \mu_c \sigma_c} \quad (2.23)$$

Koeficienti pranë termit të dytë në kllapa (2.22) është një korrigjim i vlerës r_c / δ , ndërsa pjesa imagjinare e shprehjes i korrespondon induktivitetit të brendshëm, për frekuenca të ulëta dhe R_{dc} është rezistenca në rrymë të vazhduar, e shprehur si:

$$R_{dc} = \frac{1}{\pi r_c^2 \sigma_c} \quad (2.24)$$

Në frekuenca shumë të larta: $|\gamma_c r_c| \gg 1$; duke përdorur shprehjen asimptotike të funksioneve Bessel, rezistenca e brendshme llogaritet me shprehjen:

$$Z_{HF} \approx \frac{1}{2\pi r_c p_c \sigma_c} \quad (2.25)$$

p_c është thellësia komplekse e depërtimit në përcjellës:

$$p_c = \sqrt{\frac{1}{j\omega \mu_c}} \quad (2.26)$$

Siç vihet re, ekuacioni (2.25) mund të interpretohet si rezistencë komplekse e një seksioni unazor të kufizuar nga perimetri i përcjellësit dhe thellësia komplekse e depërtimit në të. Duke përdorur përafrime të ndryshme për breza të ndryshëm frekuencash, paraqiten vlera të ndryshme në llogaritjen e rezistencës së brendshme. Për të shmangur këto ndryshime, përdoret një shprehje e përgjithësuar për gjithë brezin e frekuencave:

$$Z_{\text{int}} = \sqrt{R_{dc}^2 + Z_{HF}^2} \quad (2.27)$$

Në rastin e grupit të përcjellësve, Z_{int} duhet të ndahet në numrin e përcjellësve të grupit dhe për një linjë shumëpërcjellëse n -fazore, matrica e rezistencës së brendshme gjatësore rezulton:

$$\mathbf{Z}_{\text{int}} = \text{diag}(Z_{\text{int},1}, Z_{\text{int},2}, \dots, Z_{\text{int},n}) \quad (2.28)$$

2.5 Zgjidhja e ekuacioneve telegrafike të linjës

Zgjidhja e përgjithshme e ekuacioneve telegrafike të linjës në zonën e frekuencës, paraqitet si më poshtë [13],[14],

$$\mathbf{I}_x(\omega) = e^{-\Gamma(\omega)x} \mathbf{I}_f(\omega) + e^{+\Gamma(\omega)x} \mathbf{I}_b(\omega) \quad (2.29a)$$

$$\mathbf{V}_x(\omega) = \mathbf{Y}_c^{-1}(\omega) \left[e^{-\Gamma(\omega)x} \mathbf{I}_f(\omega) - e^{+\Gamma(\omega)x} \mathbf{I}_b(\omega) \right] \quad (2.29b)$$

ku $\mathbf{I}_f(\omega)$ dhe $\mathbf{I}_b(\omega)$ janë vektorët e rrymave të përhapjes së drejtë dhe të kundërt në linjë për $x = 0$; $\Gamma(\omega)$, matrica e konstanteve të përhapjes valore; $\mathbf{Y}_c(\omega)$, matrica e përcjellshmërisë karakteristike, të shprehura si:

$$\Gamma(\omega) = \sqrt{\mathbf{Y}\mathbf{Z}} \quad (2.30)$$

$$\mathbf{Y}_c(\omega) = \sqrt{(\mathbf{Y}\mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Y}} \quad (2.31)$$

$\mathbf{I}_f(\omega)$ dhe $\mathbf{I}_b(\omega)$ mund të përcaktohen nga kushtet kufitare në linjë. Për strukturën e linjës të paraqitur në figurën 2.6, zgjidhja e ekuacioneve telegrafike në ekstremet e linjës, mund të formulohet si më poshtë:

$$\mathbf{I}_k(\omega) = \mathbf{Y}_c(\omega) \mathbf{V}_k(\omega) - \mathbf{H}(\omega) \left[\mathbf{Y}_c(\omega) \mathbf{V}_m(\omega) + \mathbf{I}_m(\omega) \right] \quad (2.32a)$$

$$\mathbf{I}_m(\omega) = \mathbf{Y}_c(\omega) \mathbf{V}_m(\omega) - \mathbf{H}(\omega) \left[\mathbf{Y}_c(\omega) \mathbf{V}_k(\omega) + \mathbf{I}_k(\omega) \right] \quad (2.32b)$$

ku matrica $\mathbf{H} = \exp(-\Gamma l)$ dhe l gjatësia e linjës.

Duke shndërruar ekuacionet (2.32) në zonën e kohës, përftojme shprehjet:

$$\mathbf{i}_k(t) = \mathbf{y}_c(t) * \mathbf{v}_k(t) - \mathbf{h}(t) * \{ \mathbf{y}_c(t) * \mathbf{v}_m(t) + \mathbf{i}_m(t) \} \quad (2.33a)$$

$$\mathbf{i}_m(t) = \mathbf{y}_c(t) * \mathbf{v}_m(t) - \mathbf{h}(t) * \{ \mathbf{y}_c(t) * \mathbf{v}_k(t) + \mathbf{i}_k(t) \} \quad (2.33b)$$

ku simboli "*" është funksioni i thurrrjes dhe $\mathbf{x}(t) = F^{-1} \{ \mathbf{X}(\omega) \}$, transformimi i kundërt Furie.

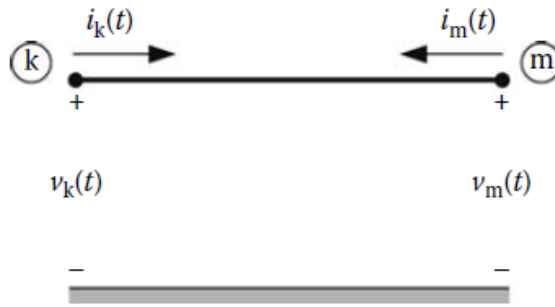


FIGURA 2.6 Struktura referuese për ekuacionet e linjës.

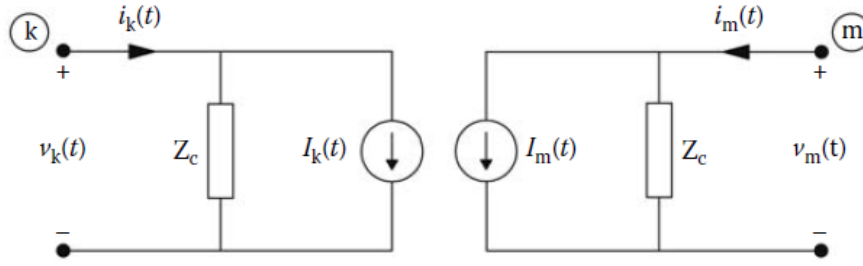


FIGURA 2.7 Qarku elektrik ekuivalent për simulimet në zonën e kohës.

Në ekuacionet e mësipërm, është pranuar që linja e tensionit të lartë mund të paraqitet në çdo skaj të saj me rezistenca në paralel me burime rryme (si në figurën 2.7). Zbatimi i qarkut ekuivalent kërkon sintezën e rrjetit elektrik me rezistenca paralele. Ndërsa vlerat e burimeve të rrymës duhet të ndryshohen në çdo hap gjatë llogaritjeve në zonën e kohës.

2.6 Teknikat e zgjidhjes

Teknikat që përdoren për zgjidhjen e ekuacioneve të linjës me shumë përcjellës, me parametra të varur nga frekuenca, mund të klasifikohen në dy grupe kryesore: teknikat në zonën modale (modal-domain) dhe teknikat në zonën fazore [27]. Më poshtë trajtohet në mënyrë të përgjithshme secila prej tyre:

2.6.1 Teknikat modale (Modal domain)

Ekuacionet e linjës së tensionit të lartë mund të zgjidhen nëpërmjet një strukture të re referimi:

$$\mathbf{V}_{ph} = \mathbf{T}_v \mathbf{V}_m \quad (2.34a)$$

$$\mathbf{I}_{ph} = \mathbf{T}_i \mathbf{I}_m \quad (2.34b)$$

ku “ ph ” dhe “ m ” i referohen madhësive origjinale fazore dhe atyre të reja të modale. Matricat $\mathbf{T}_v$ dhe $\mathbf{T}_i$ llogariten nëpërmjet vektorit të vlerave vetjake dhe problemi silltet në diagonalizimin e produkteve $\mathbf{YZ}$ dhe $\mathbf{ZY}$

$$\mathbf{T}_v^{-1} \mathbf{ZY} \mathbf{T}_v = \Lambda \quad (2.35a)$$

$$\mathbf{T}_i^{-1} \mathbf{YZ} \mathbf{T}_i = \Lambda \quad (2.35b)$$

Λ është një matricë diagonale.

Kështu, ekuacionet e linjës në madhësi modale shprehen si më poshtë:

$$-\frac{d\mathbf{V}_m}{dx} = \mathbf{T}_v^{-1} \mathbf{Z} \mathbf{T}_i \mathbf{I}_m \quad (2.36a)$$

$$-\frac{d\mathbf{I}_m}{dx} = \mathbf{T}_i^{-1} \mathbf{Y} \mathbf{T}_v \mathbf{V}_m \quad (2.36b)$$

Mund të vërtetohet që $[\mathbf{T}_v]^{-1} = [\mathbf{T}_i]^T$ (indeksi T është për transpozimin) dhe produktet $\mathbf{T}_v^{-1} \mathbf{Z} \mathbf{T}_i (= \mathbf{Z}_m)$ dhe $\mathbf{T}_i^{-1} \mathbf{Y} \mathbf{T}_v (= \mathbf{Y}_m)$ janë matrica diagonale.

Zgjidhja e ekuacioneve të linjës në madhësi modale në zonën e frekuencës, mund të shprehet në mënyrë të ngjashme me ekuacionet (2.32). Ndërsa në zonën e kohës, duke përdorur funksionin e thurres dhe transformimin e kundërt Furie, përftojmë zgjidhje të ngjashme me atë të ekuacioneve (2.33).

Duhet patur parasysh që matricat $\mathbf{T}_v$ dhe $\mathbf{T}_i$ janë funksion i frekuencës; prandaj nevojitet një funksion i ri thurresje, për të përftuar variablat e linjës në madhësi fazore

$$\mathbf{v}_{ph}(t) = \mathbf{T}_v(t) * \mathbf{v}_m(t) \quad (2.37a)$$

$$\mathbf{i}_{ph}(t) = \mathbf{T}_i(t) * \mathbf{i}_m(t) \quad (2.37b)$$

Procedura e zgjidhjes në zonën e kohës së ekuacioneve të linjës me shumë përcjellës me parametra të varur nga frekuenca për çdo hap llogaritës përfshin:

1. Shndërrimin nga zona fazore në madhësi modale të tensioneve në ekstremet e linjës.
2. Zgjidhjen e ekuacioneve të linjës duke përdorur madhësitë modale dhe llogaritjen e vlerave të burimeve të rrymës (nga iteracioni paraardhës).
3. Shndërrimin e burimeve të rrymës në zonën fazore.

Figura 2.8 paraqet një diagramë skematike të zgjidhjes së ekuacioneve të linjës me madhësi të modifikuara.

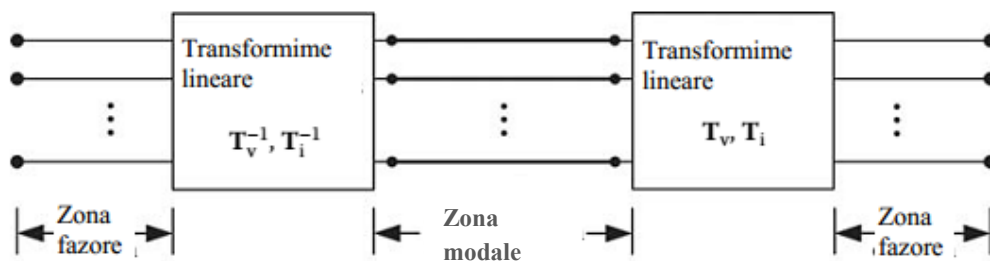


FIGURA 2.8 Transformimet midis madhësive në zonën e kohës dhe atyre të modifikuara.

Dy përafrimet e paraqitur si më sipër, janë përdorur për zgjidhjen e ekuacioneve të linjës në madhësi modale nëpërmjet: matricave transformuese me parametra konstantë dhe me parametra të varur nga frekuenca.

1. Zbërthimi në madhësi modale është realizuar nëpërmjet matricës së transformimit $\mathbf{T}$. Kjo është mënyra klasike e përafrimit dhe ka si përparësi thjeshtimin e problemit nëpërmjet kalimit nga madhësitë modale në ato fazore; gjithashtu redukton numrin e ekuacioneve të thurresjeve që duhet të llogariten në zonën e kohës, pasi $\mathbf{T}_v$ dhe $\mathbf{T}_i$ janë matrica reale dhe konstante [28]. Ndryshimi midis metodave të përdorura në

implementimin në zonën e kohës, bazuar në këtë përafrim, është në vlerën e matricës së përcjellshmërisë specifike $\mathbf{Y}_c$ dhe asaj të përhapjes $\mathbf{H}$, të cilat janë të ndryshme në paraqitje të ndryshme (parametra modale dhe fazorë) [29], [30]. Në përgjithësi funksioni i përcjellshmërisë specifike është funksion i butë dhe sintetizohet lehtësisht me qarqe RC. Për zgjidhjen e funksionit të thurres të $\mathbf{H}$, mund të përdoren disa alternativa: funksionet e ponderuar, thurra rekursive eksponenciale, thurra rekursive lineare dhe thurra rekursive modale. Një nga praktikatat më të përdorshme është ajo që përdor matricën e transformimit të Clark-ut [31] për të kaluar nga zona modale në zonën fazore dhe paraqet linjën me parametra të varur nga frekuenca si një kaskadë qarqesh dyportësh π .

2. Matrica modale e linjës me parametra të varur nga frekuenca është e rëndësishme për qarqet e linjave të patranspozura. Një zgjidhje e saktë në zonën e kohës duke përdorur teknikat e madhësive modale, kërkon shndërrime matricore me parametra të varur nga frekuenca. Matematikisht ky shndërrim realizohet nëpërmjet funksioneve racionale [32], [33].

2.6.2 Teknikat në zonën fazore

Shumë probleme që mund të shfaqen gjatë analizës së proceseve kalimtare në linja nëpërmjet shndërrimeve matricore me parametra të varur nga frekuenca, mund të shmangen duke përdorur direkt parametrat fazorë. Më poshtë po paraqesim një përmbledhje të përafrimeve të nevojshëm në këtë teknikë:

1. **Funksioni numerik i thurres në zonën fazore:** Teknikat fillestare në zonën fazore bazoheshin direkt në funksionin e thurres në zonën e kohës [34]. Ky proces simulimi kërkon kohë shumë të gjatë llogaritjeje dhe i është dhënë zgjidhje duke përdorur funksionin linear rekursiv të thurres, jo për gjithë intervalin e përgjigjes kalimtare, por duke e ndarë atë në pjesë [35].
2. **Përafrimi në zonën-Z:** Është një metodë efikase përafrimi, që bazohet në praktikën e dyanshme rekursive (TSR) [36]. Funksioni hyrje-dalje në zonën e frekuencës shprehet si më poshtë:

$$\mathbf{y}(s) = \mathbf{H}(s)\mathbf{u}(s) \quad (2.38)$$

Duke marrë në konsideratë përafrimin racional të $\mathbf{H}(s)$, ekuacioni (2.38) mund të shkruhet:

$$\mathbf{y}(s) = \mathbf{D}^{-1}(s)\mathbf{N}(s)\mathbf{u}(s) \quad (2.39)$$

$\mathbf{D}(s)$ dhe $\mathbf{N}(s)$ janë matrica polinomiale. Nga ku rrjedh që

$$\mathbf{D}(s)\mathbf{y}(s) = \mathbf{N}(s)\mathbf{u}(s) \quad (2.40)$$

Zgjidhja në zonën e kohës kryhet nëpërmjet dy funksioneve të thurres:

$$\sum_{k=0}^n D_k y_{r-k} = \sum_{k=0}^n N_k u_{r-k} \quad (2.41)$$

Përcaktimi i koeficientëve në të dy anët e ekuacionit (2.41) kryhet nëpërmjet modifikimeve në zonën e frekuencës. Modelet e ngritur mbi këtë praktikë llogaritëse njihen si ARMA (Auto-Regresive Moving Average) [36], [37].

3. **Përafrimet në Zonën-s:** Përafrimi i tretë bazohet në modifikimin në zonën e Laplasit të funksioneve racionalë dhe atyre të thurres në zonën e kohës. Dy aspektet kryesorë të kësaj praktike janë: përfitim i matricës simetrike të përcjellshmërisë $\mathbf{Y}$ dhe ndryshimi i vektorëve të burimeve të rrymës [38], [39]. Kjo realizohet nëpërmjet $\mathbf{Y}_c(\varpi)$ dhe $\mathbf{H}(\varpi)$. Elementët e $\mathbf{Y}_c(\varpi)$ janë funksione të butë dhe modifikohen lehtësisht; më i vështirë paraqitet modifikimi i $\mathbf{H}(\varpi)$, sepse elementët e tij mund të paraqesin vonesa të ndryshme në zonën e kohës. Në shumicën e rasteve, korrigjimi i $\mathbf{H}(\varpi)$ thjeshtohet duke përdorur të njëjtën kohë vonese për të gjithë elementët e saj [40].
4. **Modelet johomogjenë:** Parametrat e linjave të tensionit të lartë nën ndikimin e fushave elektromagnetike të jashtme, janë të pavarur nga frekuenca. Kështu matrica e rezistencës seri $\mathbf{Z}$ paraqitet si shumë e matricave të mëposhtme [41]:

$$\mathbf{Z}(\varpi) = \mathbf{Z}_{loss}(\varpi) + j\varpi \mathbf{L}_{ext} \quad (2.42)$$

ku

$$\mathbf{Z}_{loss} = \mathbf{R} + j\varpi \Delta \mathbf{L} \quad (2.43)$$

Elementët e $\mathbf{L}_{ext}$ janë të pavarur nga frekuenca dhe ndikimi i flukseve të jashtëm, ndërsa elementët e $\mathbf{R}$ dhe $\Delta \mathbf{L}$ janë funksione të varur si nga frekuenca, ashtu edhe nga ndikimi i flukseve të jashtëm.

E kundërta vlen për elementët e matricës së përcjellshmërisë tërthore $\mathbf{Y}(\varpi) = j\varpi \mathbf{C}$ si funksione të kapaciteteve, të cilët janë të pavarur nga frekuenca.

Duke marrë në konsideratë edhe efektin e varësisë nga frekuenca, edhe ndikimin e fushave të jashtme elektromagnetike, një segment linje johomogjene mund të paraqitet si në figurën 2.9.

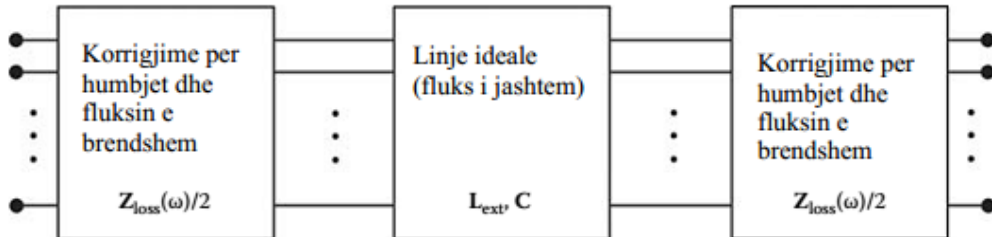


FIGURA 2.9 Modeli i një segmenti linje johomogjene.

Modelimi i Z_{loss} si qark me parametra të përqendruar ka përparësinë që elementët e saj mund të sintetizohen në madhësi fazore të limituara, pasi linja ndahet në segmente të cilët përsëritin natyrën e shpërndarë të parametrave. Në softin EMTP zbatohen modelet e përafrimit në zonën fazore.[21]

2.6.3 Teknikat alternative

1. **Modelet me diferenca të fundme:** Në këtë lloj modelimi, bashkësia e ekuacioneve të pjesshëm diferencialë, shndërrohet në bashkësi ekuivalente ekuacionesh të thjeshtë jodiferencialë, të cilët diskretizohet në funksion të variablave distancë dhe kohë; më tej zgjidhja kryhet në zonën e kohës, duke përdorur metodën e diferencave të fundme [42]. Përparësia e këtyre modeleve, ndaj atyre të përshkruar në dy paragrafët e mëparshëm është mundësia e zgjidhjes, edhe në rastet e ndikimit nga fushat e jashtme ose të efektit kurorë.
2. **Zgjidhja në zonën e frekuencës:** Zgjidhja e ekuacioneve të linjës, kryhet direkt në zonën e frekuencës dhe më tej kalohet në zonën e kohës. Kjo realizohet nëpërmjet transformimit të kundërt Furie (FFT) apo atij numerik të Laplasit [43].

2.7 Zbatueshmëria në softin ATP

Në softin ATP/EMTP përcaktimi i parametrave të linjave të transmetimit nga përdoruesit realizohet nëpërmjet një rutine të dedikuar, e quajtur “konstantet LC” [21]. Rutina të ndryshme mund të ofrohen në funksion të modelit të zgjedhur për simulim. Në këtë paragraf përshkruhen kërkesat tipike të të dhënave hyrëse të nevojshme në rutinën LC. Nëpërmjet disa shembuj simulimesh të trajtuar në paragrafin pasardhës, studiohet ndjeshmëria e parametrave R, L, C, G në linjat e tensionit të lartë.

Përdoruesit e rutinës LC, futin parametrat fizikë të linjës dhe selektojnë modelin e dëshiruar të saj për të kryer procesin e simulimeve. Parametrat e ofruar nga kjo rutinë janë:

- Qark ekuivalent me parametra të përqendruar ose qarqet nominalë π në frekuencën specifike.
- Modeli me parametra të shpërndarë konstantë në frekuencën specifike.
- Modeli me parametra të shpërndarë të varur nga frekuenca, i përshatshëm për një brez të caktuar frekuencash.

Zhvillimi i modeleve të linjës gjatë analizës së proceseve kalimtare, kërkon që në të dhënat hyrëse të specifikohen:

- Koordinatat (x,y) të çdo përcjellësi dhe trosit.
- Hapësirat dhe orientimet e lidhjeve
- Përkulja e përcjellësve të fazave dhe trosit

- Qarku ekuivalent dhe fazor për çdo përcjellës
- Zhvendosja fazore dhe strukturat e transpozimit
- Përmasat fizike për çdo përcjellës
- Rezistenca DC për çdo përcjellës dhe trosin
- Rezistenca e tokëzimit për konturin e kthimit në tokë

Përveç rezistencës së përcjellësit dhe asaj tokëzimit, i gjithë informacioni i mësipërm është i lidhur me përmasat gjeometrike të linjës. Nëpërmjet këtyre të dhënave, nga rutina LC përcaktohen gjithashtu:

- Matrica e kapaciteteve ose përcjellshmërive kapacitive
- Matrica e rezistencave gjatësore
- Rezistenca, reaktanca induktive dhe kapacitive për njësi gjatësie për renditjen e drejtë dhe nuleare, në një frekuencë ose brez të caktuar frekuencash.
- Rezistenca valore, shpejtësia e përhapjes dhe gjatësia e valës për renditjen e drejtë dhe nuleare, në një frekuencë specifike ose brez të caktuar frekuencash.

Matricat e linjës mund të ndërtohen për një sistem përcjellësish fizikë, përcjellësish të ekuivalentuar fazorë, ose përbërëset simetrike të përcjellësve ekuivalentë njëfazorë.

2.8 Shembull linje test-1

2.8.1 Të dhënat e linjës

Në figurën 2.10 paraqitet gjeometria e një linje transmetimi 400kV me përmasat e treguara në metra [45]. Të dhënat e përcjellësit të linjës janë paraqitur në tabelën 2.2.

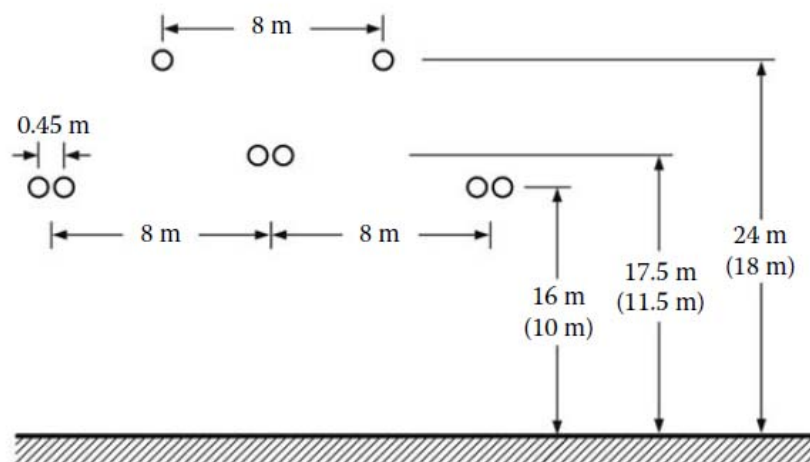


Fig.2.10 Paraqitje gjeometrike e një linje 400kV me një qark (në kllapa lartësitë e mesatarizuara)

TABELA 2.2 Karakteristikat e përcjellësve të linjës test

	Diametri (cm)	Rezistenca DC (Ω/km)
Përcjellësit e fazës	3.0	0.0664
Përcjellësi i trosit	1.0	1.4260

2.8.2 Analiza e ndjeshmërisë së parametrave të linjës

Studimi bazohet në analizën parametrike të komponenteve simetrike. Për të përfutur funksionin e varësisë nga frekuenca të rezistencës dhe induktivitetëve të përcjellësve, ata mund të konsiderohen ose solidë, ose unazorë (me zgavër boshe) dhe mund të zbatohet modifikimi i skin-efektit, i cili merr parasysh që densiteti i rrymës maksimale është në sipërfaqe të përcjellësit. Në rutinën LC, për përcjellësit unazorë, kjo kërkon specifikimin e raportit T/D , ku T është trashësia e përcjellësit dhe D diametri i tij.

Në studimin që paraqitet më poshtë është trajtuar analiza e ndjeshmërisë së parametrave të linjës në lidhje me frekuencën, rezistencën e tokëzimit, skin-efektin dhe gjeometrinë e linjës:

- Në figurën 2.11 dhe figurën 2.12 paraqiten varësitë e parametrave gjatësorë të linjës (R, L) në funksion të frekuencës dhe rezistencës së tokëzimit.

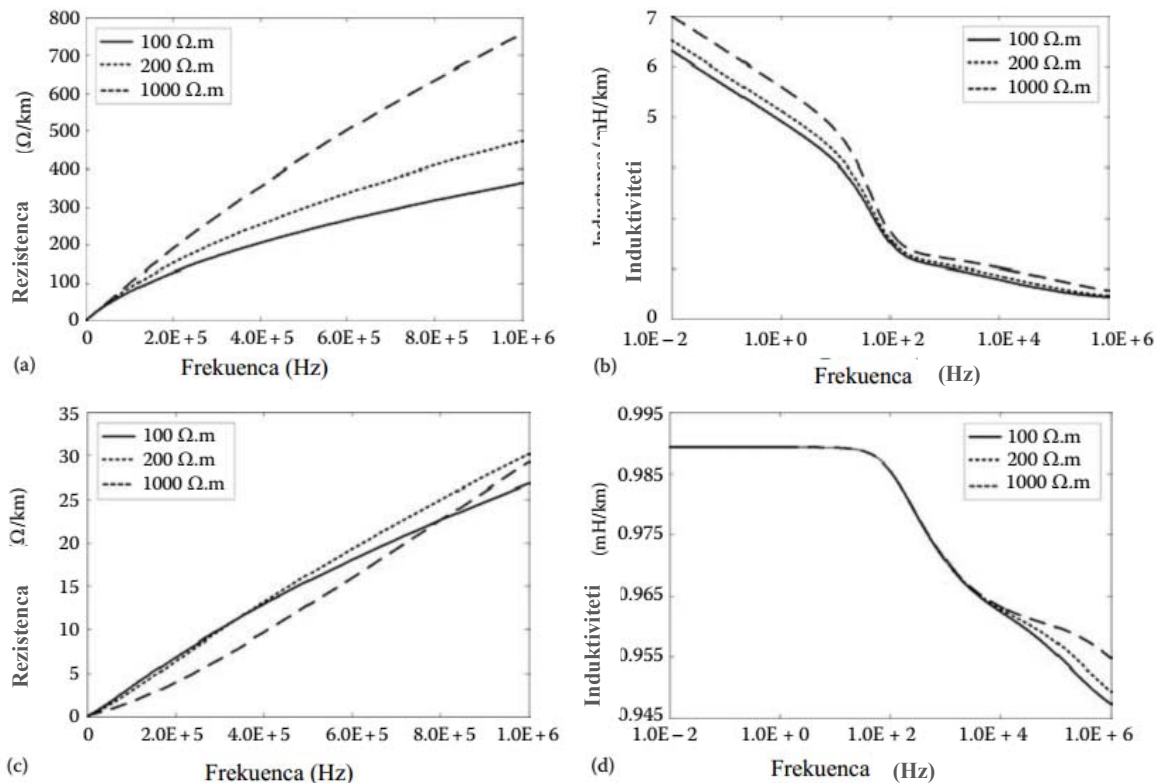


FIGURA 2.11 Marëdhënia midis parametrave të linjës dhe rezistencës së tokëzimit: (a) Rezistenca e renditjes zero (Ω/km), (b) induktiviteti i renditjes zero (mH/km), (c) Rezistenca e renditjes së drejtë (Ω/km), (d) induktiviteti i renditjes së drejtë (mH/km) [45]

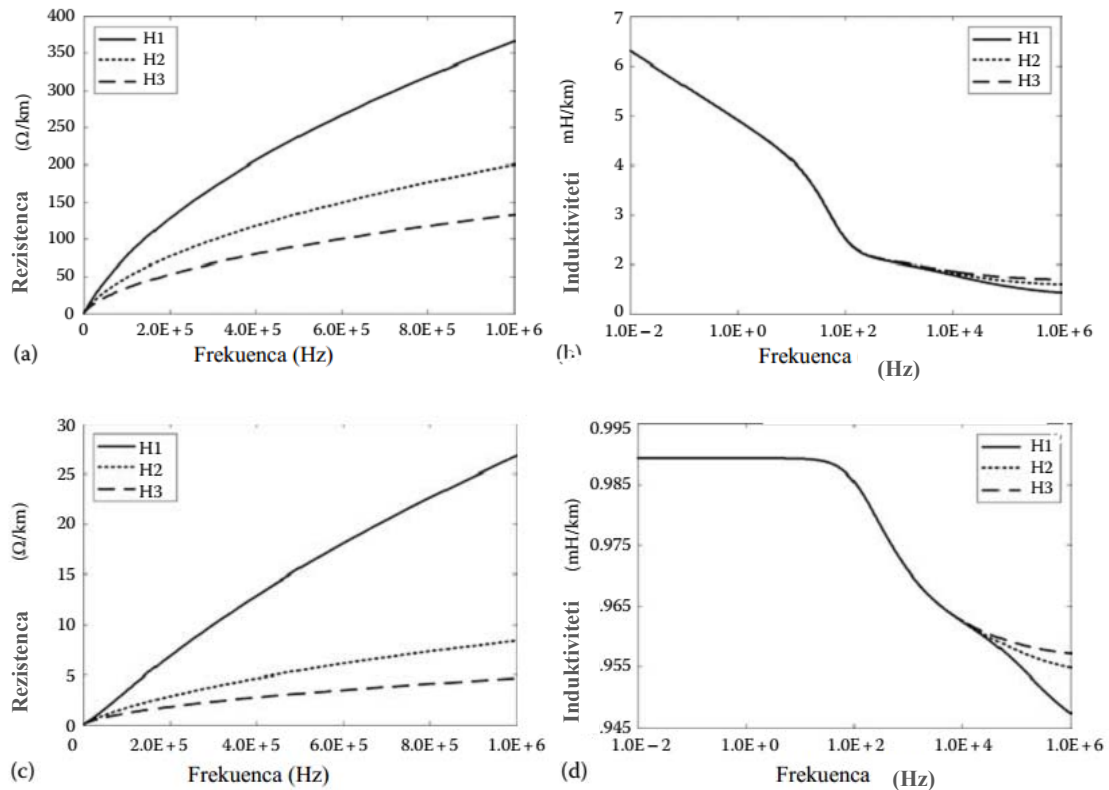


FIGURA 2.12 Marëdhënia midis parametrave të linjës dhe lartësive të përcjellësve për ($H_1 = 12$ m, $H_2 = 22$ m, $H_3 = 32$ m): (a) Rezistenca e renditjes zero (Ω/km); (b) induktiviteti i renditjes zero (mH/km); (c) Rezistenca e renditjes së drejtë (Ω/km); (d) induktiviteti i renditjes së drejtë (mH/km) [45]

- Figura 2.13 paraqet varësinë e kapaciteteve nga lartësia mesatare e përcjellësit më të ulët ndaj tokës. Meqenëse ky parametër është i pavarur nga brezi i frekuencave që po trajtohet në analizë, nuk merret në konsideratë ndjeshmëria ndaj frekuencës.
- Llogaritjet janë kryer duke pranuar transpozicion të plotë të përcjellësit të fazës.

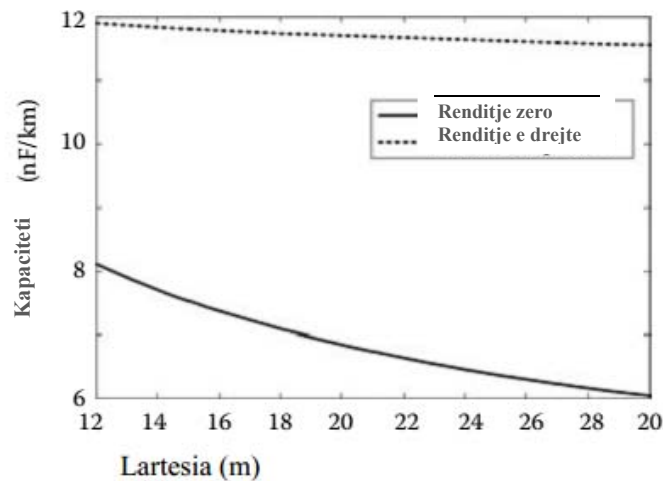


FIGURA 2.13 Marëdhënia midis kapacitetit dhe lartësisë së përcjellësve [45].

Rezultatet e simulimeve të paraqitura, mund ti përmbledhim si më poshtë.

- Varësia e rezistencës nga frekuenca është e ndjeshme dhe kjo veçanërisht për rezistencën e renditjes zero në frekuenca të larta.
- Vlerat e induktivitetit gjithashtu varen nga frekuenca, por kjo varësi është e ndryshme për vlerat e renditjes së drejtë dhe asaj zero. Induktiviteti i renditjes së drejtë nuk paraqet ndonjë ndryshim të ndjeshëm ndaj ndryshimit të brezit të frekuencave. Ndërsa përsa i përket komponentes nuleare, varësia është shumë e ndjeshme.
- Kur lartësia mesatare e përcjellësve ndryshon midis 12m dhe 32m për përcjellësin më të ulët, ndryshimi në vlerat e induktivitetit është i vogël, më pak se 2% për gjithë brezin e ndryshimit të frekuencave. Ndërsa përsa i përket rezistencës aktive, ky ndryshim duhet të merret në konsideratë, sidomos për rezistencën aktive të renditjes së drejtë, vlera e së cilës ndryshon deri në 50% në frekuenca të larta.
- Ndryshimi i kapacitetit për njësi gjatësie përgjatë hapësirës së linjës, siç paraqitet në figurën 2.13 është shumë i vogël.

Nga këto rezultate, mund të arrijmë në **përfundimet** e mëposhtme:

- *Specifikimi i gjeometrisë së linjës nuk është i nevojshëm të kryhet më saktësi shumë të madhe, sepse nuk ka ndonjë ndryshim të madh në parametrat e linjës, edhe kur ndryshojnë shumë distancat midis përcjellësve apo lartësitë e tyre nga toka.*
- *Në modelet me parametra të varur nga frekuenca gjatë simulimit në nivelet e frekuencave të ulëta dhe të mesme (nën 10 kHz), vlera e rezistencës së tokëzimit nuk arrin nivelin e saj kritik.*

Në linjat shumë të shkurtra, duhet të merret në konsideratë natyra e shpërndarë e parametrave të linjës dhe kjo kërkon më tepër saktësi në llogaritjen e rezistencës së tokëzimit, sidomos gjatë simulimit të dukurive kalimtare në frekuenca të larta.

2.9 Disa përfundime mbi modelimin e përcjellësve

- Përcjellësit janë elementët kryesorë të modelimit të linjave të transmetimit. Kjo rrjedh direkt nga përkufizimi i tyre si struktura drejtuese të përhapjes së valëve elektromagnetike në linja.
- Baza teorike e modelit matematik të linjave të transmetimit janë ekuacionet telegrafike të tensionit dhe rrymës, vlerat e të cilëve varen nga matricat e parametrave karakteristikë të linjës **R, L, C, G** të shprehur në madhësi për njësi gjatësie.
- Teknikat që përdoren për zgjidhjen e ekuacioneve të linjës me shumë përcjellës me parametra të varur nga frekuenca, mund të klasifikohen në dy grupe kryesorë: teknikat në zonën modale dhe teknikat në zonën fazore.

-
- Për analizën e proceseve kalimtare në linja, ATP është një nga software më të përdorshëm në llogaritje, aparati matematik i të cilit është programuar në zonën fazore. Në softin ATP/EMTP përcaktimi i parametrave të linjave të transmetimit nga përdoruesit realizohet nëpërmjet një rutine të dedikuar, e quajtur “konstantet LC”, e cila kërkon në hyrje një informacion të bazuar mbi të dhënat gjeometrike të përcjellësve dhe të vendosjes së tyre në linjë.

MODELIMI I SHTYLLAVE TË LINJAVE TË TRANSMETIMIT

3.1 Hyrje

Bazuar në përhapjen valore në linjë si një fenomen elektromagnetik, ashtu siç u veprua në modelimin e përcjellësve të linjave me qarqe elektrikë, e njëjta praktikë përdoret edhe për shtyllat: duke marrë në konsideratë strukturën e tyre, shtyllat paraqiten nëpërmjet assemblimit të disa seksioneve linearë dhe elementëve të qarqeve [46]. Ky përafrim ka gjetur zbatim në paketat software, që përdoren për analizën nëpërmjet simulimeve (si EMTP) dhe është shumë i kuptueshëm nga pikëpamja praktike për inxhinierët [47-53].

Duke patur parasysh dukuritë kalimtare shumë të shpejta që shoqërojnë kryesisht shkarkimet atmosferike, në shumicën e modeleve shtyllorë pranohet mbizotëruese përhapja valore plane TEM (Tranverse Electromagnetic Mode) dhe nuk merren në konsideratë mënyrat e tjera të përhapjes së valëve elektromagnetike në linjë. Me këtë thjeshtim, një shtyllë mund të paraqitet në disa mënyra: 1) si induktivitet tërthor i lidhur me tokën, 2) si linjë transmetimi me rezistencë konstante, 3) si linjë transmetimi me rezistencë të ndryshueshme ose 4) si një strukturë valore [54].

Edhe pse janë zhvilluar shumë modele për shtyllat, dy janë përafrimet kryesorë të përdorur: grupi i parë përdor përafrime të bazuar në të dhëna teorike dhe grupi i dytë përdor përafrimet e bazuar në të dhënat eksperimentale. Paraqitja më e thjeshtë e shtyllave është ajo si linjë pa humbje me parametra të shpërndarë, e karakterizuar nga një rezistencë dhe një kohë përhapjeje valore [46], [48].

Modelet e bazuar në paraqitjen me qarqe elektrikë me parametra konstantë mund të klasifikohen në tre grupe: shtylla paraqitet si një linjë vertikale me një përcjellës pa humbje, si linjë vertikale pa humbje me shumë përcjellës, ose modele të bazuar në historikun e të dhënave. Më poshtë trajtohet shkurt secili prej këtyre përafrimeve [52]:

3.2 Modelet e shtyllave si linjë vertikale pa humbje me një përcjellës

Baza teorike e këtyre modeleve është teoria e fushës elektromagnetike, duke e paraqitur shtyllën me forma gjeometrike të thjeshta (shih figurën 3.1) dhe duke supozuar një goditje

rrufeje në majën e saj. Wagner dhe Hileman përdorën *modelin cilindrik* dhe konkluduan se rezistenca valore e shtyllës ndryshon gjatë përhapjes valore nga maja e saj në drejtim të tokës [47]. Një model tjetër i modifikuar është ai *konik*, i përdorur nga Sargent dhe Darvenica [48]. Chisholm propozoi një tjetër model, të bazuar në ekuacionet e modifikuar të përhapjes valore gjatë një rryme goditëse horizontale dhe rekomandoi një model të ri për shtyllat e ngushtuara (waisted) [49][50]. Këta modele janë zbatuar në programin operativ FLASH [52] dhe sot njihen si modelet e rekomanduara nga CIGRE [53].

Shpejtësia e përhapjes valore në elementët e shtyllës është ajo e përhapjes së dritës; megjithatë gjatë kalimit në rrugët e strukturave të hekurit dhe krahët e shtyllave, shkaktohen kohë-vonesa, të cilat duhet të merren në konsideratë. *Si rrjedhojë koha e një pasqyrimi të plotë të valës nga toka është më e madhe sesa ajo e përhapjes në drejtim të kundërt: nga maja e shtyllës drejt fundit. Kjo dukuri merret në konsiderohet gjatë modelimit, nëpërmjet koeficientit të reduktimit të shpejtësisë mesatare të përhapjes valore në shtyllë.*

Meqenësë në modelet e sipërpërmendur ka ndikim faza e përcjellësit, mbitemensionet e shkaktuar midis fundeve të vargjeve të izolatorëve duhet të jenë të njëjtë. *Efeki i krahëve të shtyllave* gjatë analizës së përhapjes valore merret në konsideratë, duke i trajtuar ata si linja të shkurtra me funde të hapur [54],[55]. Studimet eksperimentale tregojnë se pasqyrimet fillestare të valëve në fundet e shtyllave ndryshojnë nga ato teorike gjatë përafrimeve të paraqitur si qarqe me parametra të përqendruar të sistemeve të tokëzimit të shtyllave. Kjo mund të justifikohet duke përfshirë në llogaritje edhe rezistencën kalimtare të tokëzimit, duke pranuar kështu *një vlerë shtesë induktiviteti në rezistencën e plotë të tokëzimit* [56-58].

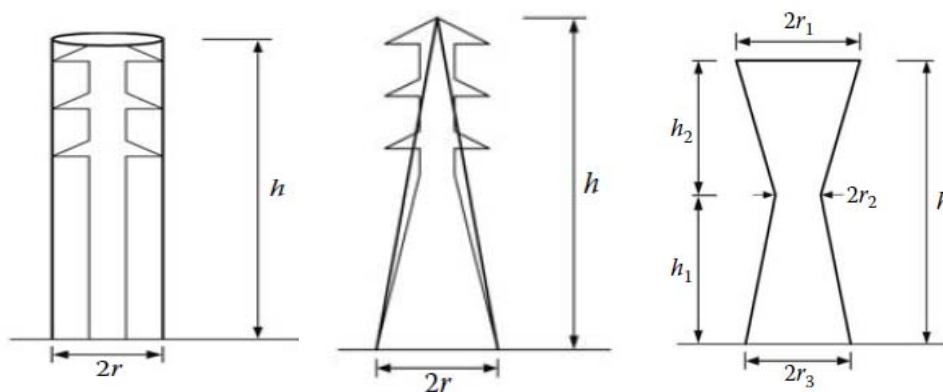


Figura 3.1 Pamje e (a) shtyllës cilindrike, (b) konike, (c) të ngushtuar në mes

Rezistenca valore e llogaritur sipas referencave të sipërpërmendura për shtyllat cilindrike, konike dhe të ngushtuara (figura 3.1), paraqitet me shprehjet:

a. Shtylla cilindrike (figura 3.1a):

$$Z = 60 \cdot \left[\ln \left(2\sqrt{2} \frac{h}{r} \right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

ku: h (m) lartësia e shtyllës; r (m) rrezja e bazamentit të saj

b. Shtylla konike (figura 3.1b):

$$Z = 60 \cdot \left(\ln \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 + 1} \right) \quad (3.2)$$

Meqenëse $h > r$, shprehja (3.2) mund të thjeshtohet:

$$Z \approx 60 \cdot \left(\ln \sqrt{2} \frac{h}{r} \right) \quad (3.3)$$

Formulat (3.1)-(3.3) i përkasin përhapjes vertikale të goditjes së rrufesë. Në rastin kur goditja e rrufesë ndodh afërsisht në mes të shtyllës, duhet të konsiderohet edhe përhapja horizontale valore. Llogaritjet e propozuara nga Chisholm për shtyllat cilindrike dhe konike paraqiten me shprehjet më poshtë [49]:

- Shtylla cilindrike:

$$Z = 60 \cdot \left(\ln \left(\cotan \frac{\theta}{2} \right) - 1 \right) \quad (3.4)$$

- Shtylla konike:

$$Z = 60 \cdot \ln \left(\cotan \frac{\theta}{2} \right) \quad (3.5)$$

ku

$$\theta = \tan^{-1} \frac{r}{h} \quad (3.6)$$

Chisholm përgjithësoi edhe llogaritjen e rezistencës së shtyllës për çdo formë gjeometrike të saj (shih figurën 3.1c), i njohur ndryshe si modeli i shtyllës së ngushtuar në mes, i cili bazohet në rrezen mesatare [50]:

$$r_{mes} = \frac{r_1 h_2 + r_2 h + r_3 h_1}{h} \quad (h = h_1 + h_2) \quad (3.7)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{r_{mes}}{h} \quad (3.8)$$

ku $h_1(m)$ -lartësia e shtyllës nga bazamenti deri tek ngushtimi i saj; $h_2(m)$ -lartësia nga ngushtimi deri në majë të shtyllës; $r_1(m)$ -rrezja e majës së shtyllës; $r_2(m)$ -rrezja e pjesës së ngushtuar; $r_3(m)$ -rrezja e bazamentit të shtyllës.

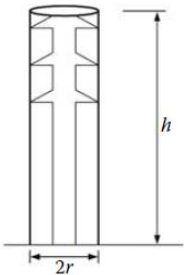
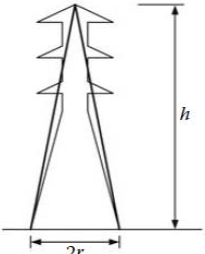
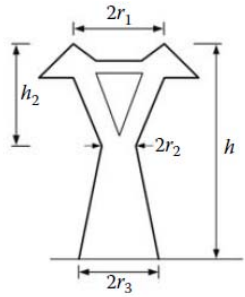
Në programin FLASH është zbatuar një përafrim i ri për modelimin e shtyllave me mes të ngushtuar [53]. Modifikimi i mëtejshëm për llogaritjen e rezistencës së shtyllës rezultoi:

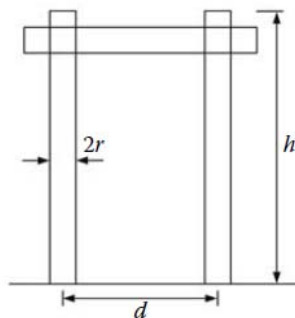
$$Z = \sqrt{\frac{\pi}{4}} 60 \cdot \left(\ln \left(\cot \frac{\theta}{2} \right) - \ln \sqrt{2} \right) \quad (3.9)$$

ku θ përftohet sipas formulave (3.6) dhe (3.8).

Në tabelën 3.1 paraqitet një përmblendhje e modeleve të shtyllave, të zbatuar në programin FLASH.

TABELA 3.1 Modelet më të përdorshëm të shtyllave si linjë vertikale pa humbje me një përcjellës

Struktura e shtyllës	Paraqitja	Rezistenca Z dhe koha e përhapjes valore t
Cilindrike		$Z = 60 \cdot \left(\ln \left(2\sqrt{2} \frac{h}{r} \right) - 1 \right)$ $t = \frac{h}{0.85 \cdot c}$
Konike		$Z = 60 \cdot \left(\ln \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{h}{r} \right)^2 + 1} \right)$ $t = \frac{h}{c}$
E ngushtuar në mes		$Z = \sqrt{\frac{\pi}{4}} 60 \cdot \left(\ln \left(\cot \frac{\theta}{2} \right) - \ln \sqrt{2} \right)$ $r_{mes} = \frac{r_1 h_2 + r_2 h + r_3 h_1}{h} \quad (h = h_1 + h_2)$ $t = \frac{h}{0.85 \cdot c}$

Strukturë Pi

$$Z_1 = 60 \cdot \ln \left(2\sqrt{2} \frac{h}{r} \right) - 60$$

$$Z_2 = \frac{d \cdot 60 \cdot \ln \left(2 \frac{h}{r} \right) + h \cdot Z_1}{h + d}$$

$$Z = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$t = \frac{1}{c \cdot Z} \frac{h \cdot Z_1 \cdot (h + d) \cdot Z_2}{h \cdot Z_1 + (h + d) \cdot Z_2}$$

3.3 Modelet e shtyllave si linjë vertikale pa humbje me shumë përcjellës

Çdo segment i shtyllës me krahë paraqitet si një linjë vertikale pa humbje me shumë përcjellës, e cila mund të ekuivalentohet në një përcjellës të vetëm. Kështu modeli i shtyllës është ai i linjës njëfazore, seksioni i së cilës rritet nga maja drejt fundit, siç paraqitet në figurën 3.2.

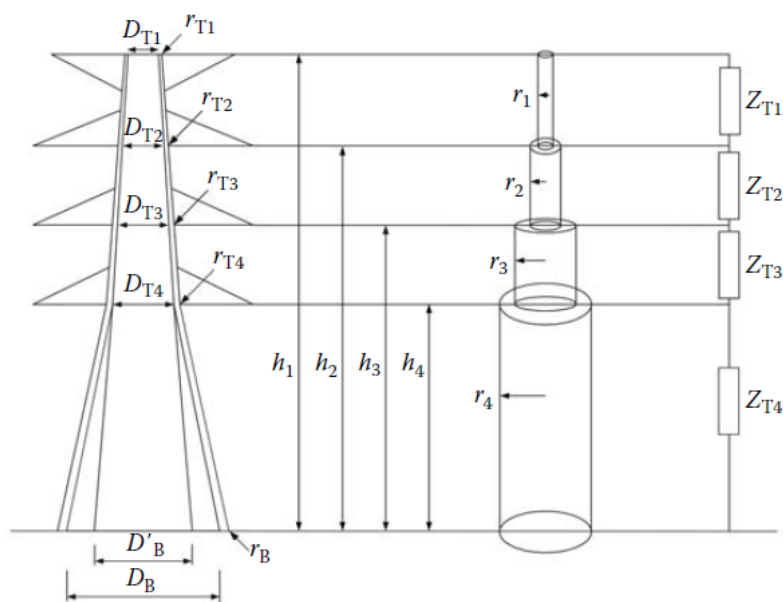


FIGURA 3.2 Modeli shtyllor si linjë vertikale pa humbje me shumë përcjellës.

Modeli i modifikuar merr në konsideratë edhe lidhjet e përcjellësve në shtyllë (të paraqitura si linja pa humbje paralel me trungun kryesor në vendet ku realizohen këto lidhje). Një shembull modelimi është ai i propozuar nga Hara dhe Yamamoto [56], i përmbledhur si më poshtë:

1. Për rezistencën cilindrike përdoret ekuacioni empirik i shprehur si:

$$Z_T = 60 \cdot \left(\ln \left(2\sqrt{2} \frac{h}{r} \right) - 2 \right) \quad (3.10)$$

ku r dhe h janë përkatësisht rrezja dhe lartësia e cilindrit. Siç mund të vihet re këto kanë vlera të ndryshme nga ato të shprehura në ekuacionin (3.1).

2. Rezistenca total e n përcjellësve paralelë cilindrikë jepet nga shprehja:

$$Z_n = \frac{1}{n} \cdot (Z_{11} + Z_{12} + \dots + Z_{1n} + Z_{21} + Z_{22} + \dots + Z_{2n} + \dots) \quad (3.11)$$

ku n -numri i përcjellësve, Z_{kk} -rezistenca vetjake e përcjellësit të k -të, Z_{km} -rezistenca reciproke midis përcjellësit të k -të dhe atij të m -të

3. Bazuar në ekuacionin (3.10), vlerat e këtyre rezistencave janë përkatësisht:

$$Z_{kk} = 60 \cdot \left(\ln \left(\sqrt{2} \frac{2h}{r} \right) - 2 \right) \quad (3.12a)$$

$$Z_{km} = 60 \cdot \left(\ln \left(\sqrt{2} \frac{2h}{d_{km}} \right) - 2 \right) \quad (3.12b)$$

ku h -lartësia e përcjellësit, r -rrezja e tij, d_{km} -distanca midis përcjellësit k dhe m

4. Rezistenca e sistemit shumëpërcjellës vertikal përmban rezistencën shumë të dy ose më shumë përcjellësve, të llogaritur me formulën:

$$Z_n = 60 \cdot \left(\ln \left(\sqrt{2} \frac{2h}{r_{eq}} \right) - 2 \right) \quad (3.13)$$

r_{eq} është rrezja ekuivalente

$$r_{eq} = \begin{cases} r^{1/2} D^{1/2} & n = 2 \\ r^{1/3} D^{2/3} & n = 3 \\ 2^{1/8} r^{1/4} D^{3/4} & n = 4 \end{cases} \quad (3.14)$$

r - rrezja e përcjellësve, D -distanca midis përcjellësve fqinjë.

5. Për gjeometri si në figurën 3.3, shprehjet e rezistencës shumë janë të vlefshme dhe ato përftohen pas zëvendësimit të vlerës së r dhe D si më poshtë:

$$r = \sqrt[3]{r_T r_B^2}, \quad D = \sqrt[3]{D_T D_B^2} \quad (3.15)$$

r_T, r_B -janë përkatësisht rrezja e përcjellësit në kulm dhe në fund; D_T, D_B -distancat midis përcjellësve fqinjë, përkatësisht në kulm dhe në fund.

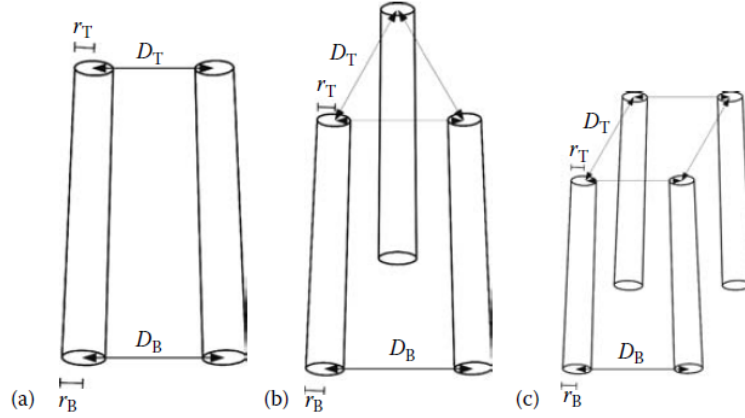


FIGURA 3.3 Konfigurime të ndryshme të sistemit shumëpërcjellës: (a) me dy përcjellës, (b) me tre përcjellës, (c) me katër përcjellës.

6. Modeli i shtyllës së paraqitur në figurën 3.3 mund të ndahet në disa seksione (katër në rastin e trajtuar) dhe rezistenca e secilit prej tyre rezulton:

$$Z_{Tk} = 60 \cdot \left(\ln \left(\sqrt{2} \frac{2h_k}{r_{ek}} \right) - 2 \right) \quad (k = 1, 2, 3, 4) \quad (3.16)$$

$$r_{ek} = 2^{1/8} \left(\sqrt[3]{r_{Tk} r_B^2} \right)^{1/4} \cdot \left(\sqrt[3]{D_{Tk} D_B^2} \right)^{3/4} \quad (k = 1, 2, 3, 4) \quad (3.17)$$

ku $h_k, r_{Tk}, D_{Tk}, r_B, D_B$ janë përmasat gjeometrike të përshkruara në figurat 3.2 dhe 3.3.

Këta ekuacione gjejnë zbatim për shtyllat e fabrikuara me komponentë tubularë. Për shtyllat e konstruktura me seksione këndorë, vlerat e r_T dhe r_B (shih figurën 3.3) zëvendësohen me gjysmën e gjatësisë së seksionit këndor.

1. Rezultatet e matjeve tregojnë se rezistenca e përcjellësve reduktohet në masën 10% duke shtuar edhe rezistencën e lidhjeve në shtyllë. Kjo modelohet duke shtuar linja paralele, të cilat përfaqësojnë çdo seksion shtylle si linjë me të njëjtën gjatësi dhe me rezistencë:

$$Z_{LK} = 9Z_{TK} \quad (3.18)$$

2. Përfundimisht, krahët e shtyllave paraqiten me seksione linje të lidhur me pikat përkatëse të bashkimit, të cilat përfaqësohen si linja me përcjellës horizontale (shih figurën 3.4) me rezistencë:

$$Z_{AK} = 60 \cdot \ln \frac{2h_{AK}}{r_{AK}} \quad (k = 1, 2, 3, 4) \quad (3.19)$$

ku h_{AK} dhe r_{AK} janë respektivisht lartësia dhe rrezja ekuivalente e krahut të k-të.

Hollësitë e plota të modelit paraqiten në figurën 3.4.

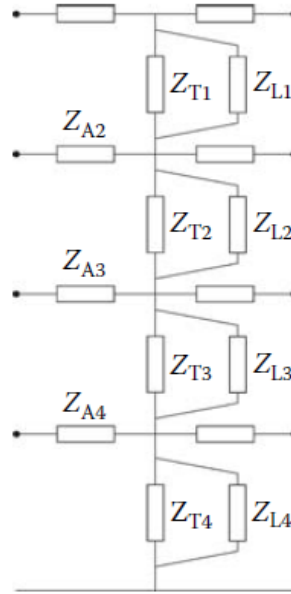


FIGURA 3.4 Modeli ekuivalent si linjë vertikale me shumë përcjellës.

3.4 Modeli shumëshresor

Është i kompozuar nga katër qarqe, që përfaqësojnë seksionet e shtyllës midis krahëve [55]. Çdo seksion paraqitet si një linjë pa humbje me qarqe seri R-L (të cilët i përkasin përhapjes valore në çdo seksion). Parametrat e këtij modeli (shih figurën 3.5) përftohen nga të dhënat eksperimentale; ndërsa vetë modeli është modifikuar shpesh gjatë viteve.

Përafrimi më original është ai i përdorur për shtyllat e linjave të tensioneve shumë të larta (UHV) [59], [60]. Rezistenca e çdo seksioni paraqitet si në modelet paraardhës, me shpejtësi përhapjeje valore sa ajo e dritës. Duke mos marrë parasysh krahët e shtyllës në modelin shumëshresor, përftohen këto shprehje për vlerat e rezistencave dhe induktiviteteve:

$$R_i = \frac{-2 \cdot Z_{T1} \cdot \ln \sqrt{\gamma}}{h_1 + h_2 + h_3} h_i \quad (3.20)$$

$$R_4 = -2 \cdot Z_{T2} \cdot \ln \sqrt{\gamma} \quad (3.21)$$

$$L_i = \alpha \cdot R_i \cdot \frac{2h}{c} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (3.22)$$

ku Z_{T1} -rezistenca e tre seksioneve të sipërm të shtyllës; Z_{T2} -rezistenca e seksionit të poshtëm të shtyllës; h_i - lartësia e cdo seksioni për $i = 1, 2, 3, 4$; γ - koeficienti i përhapjes valore, në vlerat midis 0.7 e 0.8; α koeficienti shuarës: zakonisht në llogaritje pranohet vlera 1 [60].

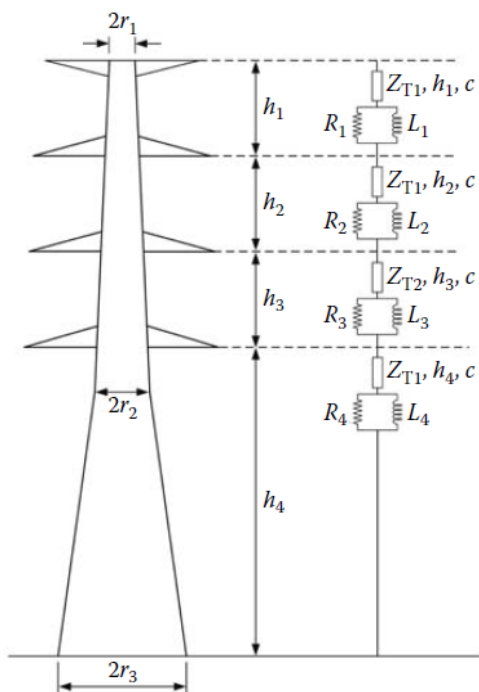


FIGURA 3.5 Modeli shumështrësor i shtyllave në linjat e transmetimit.

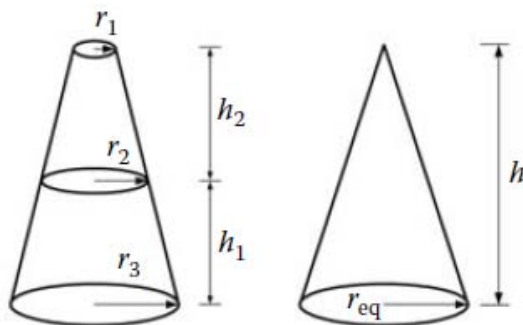


FIGURA 3.6 Paraqitja gjeometrike për llogaritjen e rrezes ekuivalente.

Një studim më i saktë eksperimental përdoret për llogaritjen e vlerës Z_{T1} dhe Z_{T2} , sipas formulës së Jordanit.

$$Z=60\left(\ln\left(\frac{h}{r_{eq}}\right)-1\right) \quad (3.23)$$

ku h -lartësia e shtyllës; r_{eq} -rrezja ekuivalente, sipas gjeometrisë së paraqitur në figurën 3.6 dhe e shprehur si

$$r_{eq} = \frac{r_1 h_2 + r_2 h + r_3 h_1}{2h} \quad (h = h_1 + h_2) \quad (3.24)$$

Shpejtësia e përhapjes valore pranohet ajo e dritës.

Modeli shumëshresor është i përshtatshëm vetëm për nivelet shumë të lartë të tensionit, ndërsa për tensione më të ulët, modeli shtyllor rezulton shumë i thjeshtë.

SISTEMI I TOKËZIMIT NË LINJAT E TRANSMETIMIT

4.1 Hyrje

Pajisjet elektrike zakonisht lidhen me tokën nëpërmjet një sistemi tokëzimi me rezistencë mjaftueshmërisht të ulët dhe rryma kapacitive në vlerë të mjaftueshme për të penguar rritjen e tensionit në nivele të dëmshme për pajisjet dhe personelin që mund të jetë pranë tyre. Tokëzimet ndikojnë në tensionet (në frekuencën e punës) të fazave të padëmtuara apo në tensionet e shkaktuar nga shkarkimet atmosferike dhe përcaktojnë kufijtë e mbrojtjes.

Bazuar në standartin EN-50341, projektimi i sistemit të tokëzimit për linjat e fuqisë duhet:

1. Të sigurojë qëndrueshmëri mekanike dhe rezistencë ndaj gërryerjeve.
2. Të sigurojë qëndrueshmëri termike ndaj rrymave maksimale të defekteve.
3. Të mënjanojë dëmtimin e pajisjeve.
4. Të garantojë sigurinë e personave ndaj mbitensioneve që mund të shfaqen në raste defektesh.
5. Të garantojë qëndrueshmërinë e punës së linjës.

Në rastet kur linjat e tensionit të lartë projektohen me dy ose më tepër nivele tensioni, të gjitha kërkesat e përmendura duhet të plotësohen për çdo nivel tensioni.

Kërkesat e sistemit të tokëzimit të linjave të tensionit të lartë varen nga lloji i sistemit të përdorur për neutrin (i izoluar, i tokëzuar, neutër me rezistencë të ulët), lloji i pajisjeve mbrojtëse (me ose pa pajisje çkyçëse ose transformatorë), materiali i përdorur për shtyllat (çelik, betonarme, druri) ose vendi i instalimit të tyre (pa apo me rrezik shpërthimi) [61].

Pajisjet mbrojtëse të linjave të tensionit të lartë duhet të tokëzohen edhe në rastin kur shtyllat e linjave shpërndarëse janë të tokëzuara; kjo me qëllim rritjen e sigurisë së punës në linjat e transmetimit. Në rastet kur nuk plotësohet kushti i rezistencës së tokëzimit, duhet të sigurohet sistem tokëzimi shtesë.

Një sistem tokëzimi zakonisht përbëhet nga një ose më tepër elektroda horizontale, vertikale ose kombinime të tyre, të vendosura nën tokë. Për shtyllat e drurit, përveç

konturit të tokëzimit rreth shtyllës, është e nevojshme edhe lidhja tek ky kontur e një përcjellësi tokëzimi, që zbret nga maja drejt fundit të shtyllës.

Elektrodat e tokëzimit për linjat e tensionit të lartë, klasifikohen në tre grupe [57]:

- Elektroda në sipërfaqe të tokës, të cilat janë zakonisht shirita përcjellës me seksion rrethor, drejtkëndësh ose unazor, ose elektroda të lidhura në kontur në thellësi deri 1m.
- Elektroda të ngulura thellë në tokë, të cilat instalohen në thellësi më të madhe se 1m dhe përshkojnë disa shtresa në tokë.
- Elektroda strukture, të cilat janë pjesë e konstruksioneve metalikë.

Në praktikë mund të jetë i nevojshëm kombinimi i elektrodave sipërfaqësore dhe atyre të thellësisë për të siguruar vlerën e rezistencës së tokëzimit dhe për të garantuar vlerën e gradientëve të tensionit.

Tensione të larta mund të gjenerohen në pjesët e tokëzuara të këmbëve të shtyllave në rastin kur një përcjellës tokëzimi apo një përcjellës fazor mund të goditet nga shkarkime atmosferike. Në qoftë se shkarkimi godet një shtyllë apo një përcjellës tokëzimi, duhet të garantohet izolimi i tij dhe siguria e punës së linjës apo personelit. Rezistenca e tokëzimit të shtyllave varet nga sipërfaqja e çelikut (apo sipërfaqja e telave përcjellës) në kontakt me tokën dhe nga rezistenca e tokës. Kjo e dyta nuk është konstante, por varet nga lloji i tokës, lagështia, temperatura, amplituda dhe forma e valëve goditëse të rrymës.

4.2 Rezistenca e tokëzimit

Shkarkimi i rrymave në tokë nëpërmjet një elektrode tokëzimi shkakton rritjen e gradientëve potencialë, si rezultat i rritjes së rrymave të përcjellshmërisë ndaj tokës. *Rezistenca e tokëzimit të linjave të fuqisë paraqitet si marrëdhënie midis rritjes së potencialit të elektrodave dhe rrymave shkarkuese në tokë. Paraqitja e saj varet nga frekuenca e rrymave shkarkuese; modelet e rezistencës së tokëzimit klasifikohen në dy grupe: modele të frekuencave të ulëta dhe modele të frekuencave të larta. Praktikisht këta modele u përkasin dy kushteve të punës së linjës: frekuenca e punës dhe ajo e shkarkimeve atmosferike. Më poshtë do të trajtohen të dy llojet e modeleve të rezistencës së tokëzimit në linjat e tensionit të lartë:*

4.2.1 Modelet e frekuencave të ulëta

Rezistenca komplekse e tokëzimit për frekuencën e punës [57], paraqitet me shprehjen:

$$Z = (R_L + R_E + R_C) + j(X_E + X_L) \quad (4.1)$$

ku R_L dhe X_L janë përkatësisht rezistenca aktive dhe induktive e sistemit të elektrodave të tokëzimit; R_C , rezistenca e kontaktit midis sipërfaqes së elektrodave dhe sipërfaqes rrethuese të tokës; R_E -rezistenca e sipërfaqes së tokës rreth elektrodave; X_E -reaktanca e

rrugës së shkarkimit të rrymave në tokë.

Rezistencat seri të përcjellësve lidhës së elektrodave janë shumë më të vogla në vlerë se R_C dhe R_E ; ndërsa reaktanca e tyre është shumë e madhe se vlera e X_E . Me këtë konsideratë, ekuacioni (4.1) mund të rishkruhet në formën:

$$Z = (R_L + R_E) + jX_L \quad (4.2)$$

Zakonisht rezistenca e kontaktit nuk merret parasysh kur elektrodave tokëzimit janë të mbuluara nga toka. Në frekuencën e punës reaktanca e përcjellësve dhe shiritit të tokëzimit gjithashtu është e pakonsiderueshme krahasuar me rezistencën e tokës R_E . Kështu mund të pranohet:

$$Z \approx R_E \quad (4.3)$$

4.2.2 Modelet e frekuencave të larta

Për proceset kalimtare të frekuencave të larta (si në rastin e shkarkimeve atmosferike), trajtimi i modelit të rezistencës së tokëzimit është i ngjashëm me atë të shtyllave dhe bazohet në amplitudën dhe formën e valëve të mbitensioneve. Modeli përfshin rezistencën valore të përcjellësve të tokëzimit (nën tokë), rezistencën valore të tokës dhe jonizimin e saj [57].

Gjatë shkarkimeve atmosferike, rezistenca e përcjellësve efektivë horizontalë të tokëzimit nuk është konstante. Duke marrë në konsideratë përhapjen e valës përgjatë këtyre përcjellësve, rekomandohet si më më poshtë:

- Rezistenca fillestare efektive është e barabartë me rezistencën valore të përcjellësve nëntokësorë dhe në pak mikrosekonda ajo reduktohet në vlerën korresponduese të rezistencës së shkarkimit.
- Ndryshimi nga vlera e rezistencës fillestare deri në atë të rezistencës së shkarkimit, shoqërohet me përhapje valësh bredhëse (në të dy drejtimet) përreth përcjellësve të tokëzimit. Meqenëse rreth përcjellësve paraqiten valë me shpejtësi të ndryshme, rekomandohet të merren në konsideratë vetëm ato që mbeten më gjatë, pra valët bredhëse të cilat janë me shpejtësi shumë të ulët (rreth 30% e shpejtësisë së dritës).
- Rezistenca valore rritet shumë shpejt në një interval shumë të shkurtër kohe të rendit 1 μ s; rezistenca e shkarkimit fillimisht paraqitet në vlera shumë të larta, por ajo zvogëlohet për shkak të pasqyrimin të valëve bredhëse rreth përcjellësve të tokëzimit dhe vlera përfundimtare stabilizohet në vlerën e rezistencës së modelit të frekuencave të ulëta. Rezistenca mbizotëruese paraqitet si rezultat i përhapjes valore të rrymës në përcjellës.

Gjatësia e kontureve të tokëzimit nuk mund të rritet përtej nivelit të 60-90m. Kështu për të zvogëluar vlerën e rezistencës valore, një mënyrë shumë efektive është lidhja në paralel e disa kontureve të shkurtër tokëzimi.

Chisholm dhe Janischcewskyj, bazuar në të dhëna eksperimentale, llogaritën një koeficient fillestar korrigjues për vlerën e rezistencës valore të shtyllës dhe asaj të tokëzimit në vlerën 0.6. Ky ndryshim që është i lidhur me një pasyrim joperfekt valor, ka të bëjë me marrjen në konsideratë të rezistencës valore të vetë tokës, duke shtuar në model një induktivitet, vlera e të cilit është funksion i lartësisë së shtyllës [62].

Një faktor tjetër që ndikon në vlerën e rezistencës valore është jonizimi i shtresave të tokës, i cili shkakton gërryerje të elektrodave gjatë shkarkimit të rrymave shumë të larta në tokë, të cilat fuqizojnë shumë fushën elektrike në tokë krahasuar me atë rreth elektrodave. Ky ndryshim i nivelit të fushës elektrike, shkakton uljen e rezistencës së tokës përreth zonës ku ndodh jonizimi. Meqenëse *jonizimi ndodh kryesisht pranë elektrodave, ai shkakton rritjen e sipërfaqes efektive të elektrodës, duke sjellë kështu një zvogëlim të rezistencës së saj.*

Dobësimi i fushës elektrike në tokë ndodh kur gradienti i jonizimit sipërfaqësor është mesatarisht 300-400kV/m. Për disa lloj toke, ky gradient është i rendit 1000kV/m, sidomos në dherat shumë të thatë ose me rezistencë shumë të madhe. *Në funksion të konfigurimit të elektrodave, jonizimi mund të ndodhë për impulse rryme mbi 1kA.*

Për vlera shumë të mëdha të rrymës, sipërfaqja e jonizuar e tokës rreth elektrodave përafrohet me forma hemisferike, shtrirja maksimale e të cilave shkon deri në 10m për impulse tipikë të shkarkimeve atmosferikë në nivelet deri 200kA. Kjo shpjegon qartë pse *jonizimi ndodh kryesisht në shtresat e sipërme të tokës.* Në termat e rezistencës së elektrodave, *jonizimi redukton rezistencën e kontaktit dhe ai është shumë i ndjeshëm në elektrodën me përmasa të vogla; ndërsa në ato të mëdha nuk merret parasysh.*

4.2.3 Diskutime

Nga analiza e mësipërme, mund të arrijmë në disa përfundime:

- *Për frekuenca të ulëta, rezistenca e tokëzimit paraqitet si rezistencë e pastër aktive me vlerë konstante, e cila mund të pranohet sa vlera e rezistencës së rrymës së vazhduar. Në frekuenca të larta, vlera e rezistencës së tokëzimit është e ndryshueshme* [61], [62].
- *Disa efekte mund të ndikojnë në sjelljen e linjave të transmetimit gjatë shkarkimeve atmosferike:* Induktivitetet mbetëse të tokëzimit ndikojnë në izolimin e linjave; ndërsa *jonizimi i tokës dhe rrymat kapacitive zvogëlojnë vlerën e rezistencës së plotë të linjave.* Induktiviteti i elektrodave rrit rezistencën e tokëzimit, ndikim ky më i ndjeshëm për linjat me rezistencë të ulët tokëzimi. Efekti jonizues është i konsiderueshëm për disa lloj toke, duke çuar në zvogëlimin e rezistencës së tokëzimit nëpërmjet rritjes së sipërfaqes efektive të elektrodave. Ndërsa rrymat kapacitive të shkarkimit janë të konsiderueshme vetëm për ato sipërfaqe ku rezistenca e tokës është e më e madhe se 10 kΩm [63].

4.3 Modelet e frekuencave të ulëta të sistemeve të tokëzimit

4.3.1 Sistemet uniformë të tokëzimit

Një nga konfigurimet më të thjeshtë të sistemeve të tokëzimit është një elektrodë gjysmësferike (si në figurën 4.1).

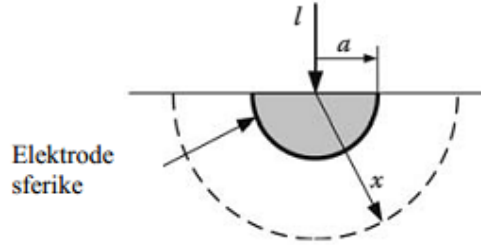


FIGURA 4.1 Elektrode sferike tokëzimi.

Duke pranuar si uniforme rezistencën e tokës, rryma rrjedhëse nga elektroda drejt tokës ka një densitet të shprehur si:

$$J = \frac{I}{2\pi x^2} \quad (4.4)$$

ku: J densiteti i rrymës, I vlera totale e rrymës, x distanca nga qendra e elektrodës

Intensiteti i fushës elektrike që prodhon vlerën e mësipërme të densitetit të rrymës në tokë është:

$$E = \rho J = \frac{\rho I}{2\pi x^2} \quad (4.5)$$

ku ρ rezistenca specifike e tokës

Tensioni në një distancë x llogaritet me:

$$V = \int_a^x E dx = \frac{\rho I}{2\pi} \int_a^x \frac{1}{x^2} dx = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{x} \right) \quad (4.6)$$

ku a është rrezja e elektrodës

Tensioni i plotë midis elektrodës dhe një pike në distancë $x \cong \infty$, rezulton:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (4.7)$$

Bazuar si më sipër, rezistenca e elektrodës llogaritet me shprehjen:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{2\pi a} \quad (4.8)$$

Kjo i korrespondon rezistencës që paraqitet ndaj rrymave rrjedhëse në gjithë sipërfaqen rreth elektrodës. Nga ekuacioni (4.6), mund të vihet re se 50% e vlerës së rezistencës totale

arrihet në distance $x \leq 2a$ dhe 90% në distancë $x \leq 10a$.

Konturet e tokëzimit kanë si element kryesor shufrat e tokëzimit të cilat janë zakonisht prej çeliku të galvanizuar me gjatësi 2.5-3m dhe vendosen vertikalisht me sipërfaqen e tokës. Kur gjatësia e konturit është shumë më e madhe se rrezja e elektrodave, për frekuenca të ulëta rezistenca e tij rezulton [64]:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{4l}{a} - 1 \right) \quad (4.9)$$

ku l gjatësia e konturit të tokëzimit (m), a rrezja e përcjellësit të përdorur, ρ rezistenca e tokës.

Rezistenca e tokëzimit zvogëlohet duke lidhur disa konture në paralel. Vlera e saj është në përpjestim të zhdrejtë me numrin e kontureve paralele, në rastin kur distanca midis tyre është shumë më e madhe se gjatësia l . Në rastin kur distanca është e vogël dhe n konture organizohen sipas një rrethi me diametër D , llogaritja e rezistencës së tokëzimit rezulton:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{4l}{r_{eq}} - 1 \right) \quad (4.10)$$

ku

$$r_{eq} = \left(na \left(\frac{D}{2} \right)^{n-1} \right)^{1/n} \quad (4.11)$$

Në rastin kur distanca midis kontureve fqinjë brenda rrethit me diametër D , është e barabartë ose më e madhe se gjatësia e tyre, rezistenca ekuivalente R_0 e n kontureve llogaritet me shprehjen [64]:

$$R_0 = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{4l}{a} - 1 + \frac{l}{D} \sum_{m=1}^{n-1} \frac{1}{\sin \frac{m\pi}{n}} \right) \quad (4.12)$$

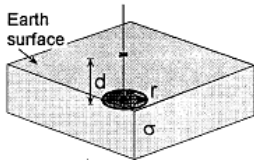
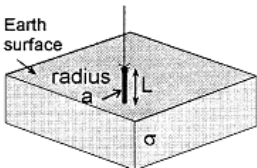
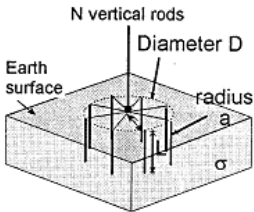
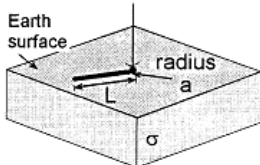
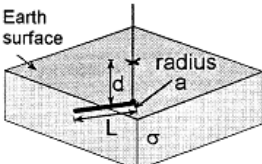
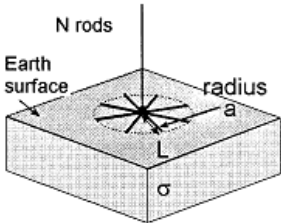
Në tabelën 4.1 janë paraqitur rezistencat e elektrodave më të përdorshme për tokëzim.

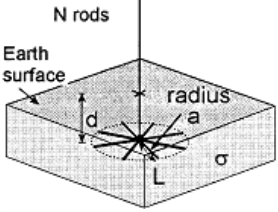
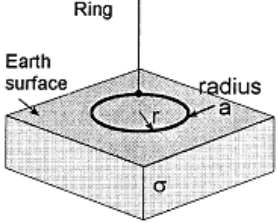
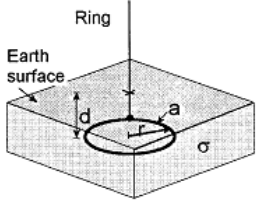
4.3.2 Rezistenca e tokëzimit për toka johomogjene

Në këtë rast për llogaritjen e rezistencës së tokëzimit, merret në konsideratë efekti i dy shtresave të tokës ku ngulen elektrodën, të cilat zgjidhen si më tipiket gjatë gjithë gjatësisë së linjës. Shtresa e parë e tokës pranohet me thellësi d dhe rezistencë ρ_1 ; ndërsa e dyta me thellësi infinit dhe rezistencë ρ_2 .

Llogaritja e rezistencës së tokëzimit varet nga lloji i elektrodave të tokëzimit dhe thellësia e shtresës së parë të tokës kundrejt gjatësisë së elektrodës [62]. Për llogaritjen e konturit të tokëzimit në shtresën e sipërme të tokës, përdoret formula e mëposhtme:

TABELA 4.1 Rezistencat e tokëzimit të elektrodave më të përdorshme [64]

Lloji i elektrodës	Paraqitje skematike	Përmasat	Rezistenca e tokëzimit
Në formë disku		r, d	$R = \frac{1}{8\sigma r} + \frac{1}{8\pi\sigma d} \quad (d > r)$ $R = \frac{1}{4\sigma r} \left[1 - \frac{4d}{\pi r} \right] \quad (d \ll r)$
Një elektrodë vertikale		a, L	$R = \frac{1}{2\pi L \sigma} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right] \quad (L \gg a)$
N elektroda vertikale		N, L, a, D	$R = \frac{1}{2\pi L \sigma} \left[\ln\left(\frac{4L}{a'}\right) - 1 \right]$ with $a' = \left[N a \left(\frac{D}{2} \right)^{N-1} \right]^{1/N}$ $(L \gg a), (D \ll L)$ $R = \frac{1}{N 2\pi \sigma L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 + F(N) \right]$ $F(N) = \frac{L}{D} \sum_{k=1}^{N-1} \ln\left(\frac{1}{\sin(k\pi / N)} \right)$ $(L \gg a), (D \gg L)$
Një përcjellës horizontal sipërfaqësor		a, L	$R = \frac{1}{\pi \sigma L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 \right] \quad (L \gg a)$
Përcjellës horizontal nën tokë		d, a, L	$R = \frac{1}{\pi \sigma L} \left[\ln\left(\frac{2L}{\sqrt{2ad}}\right) - 1 \right] \quad (d \ll L)$ $= \frac{1}{2\pi \sigma L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 + \frac{L}{4d} \right] \quad (d \gg L)$
N përcjellës radiale sipërfaqësorë		N, L, a	$R = \frac{1}{N \pi \sigma L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 + F(N) \right]$ $F(N) = \sum_{k=1}^{N-1} \ln\left(\frac{1 + \sin(k\pi / N)}{\sin(k\pi / N)} \right)$ $(L \gg a)$

N përcjellës radialë nën tokë		$N, L, a' = \sqrt{ad}$	$R = \frac{1}{N\pi\sigma L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 + F(N) \right]$ $F(N) = \sum_{k=1}^{N-1} \ln\left(\frac{1 + \sin(k\pi/N)}{\sin(k\pi/N)}\right)$ $(L \gg a)$
Elektrodë unazore sipërfaqësore		a, r	$R = \frac{1}{2\pi\sigma} \frac{1}{\pi r} \ln\left(\frac{8r}{a}\right) (a \ll r)$
Elektrodë unazore nën tokë		$r, a' = \sqrt{ad}$	$R = \frac{1}{2\pi\sigma} \frac{1}{\pi r} \ln\left(\frac{8r}{a}\right) (a \ll r)$

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi l} \left(\ln\left(\frac{4l}{a}\right) - 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Gamma^n}{2} \ln \frac{nd/l+1}{nd/l-1} \right) \quad (4.13)$$

ku

$$\Gamma = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (4.14)$$

është koeficienti i pasqyrimt. Termi i parë përfaqëson rezistencën e konturit me gjatësi l dhe rezistencë toke ρ_1 ; ndërsa i dyti rezistencën e shtuar në shtresën e dytë.

Në qoftë se konturi i tokëzimit depërton në të dy shtresat e tokës, formula (4.14) modifikohet në:

$$R = F \cdot (R_1 + R_a) = \frac{\rho_1}{2\pi l} \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma + 2\Gamma d/l} \left(\ln\left(\frac{2l}{a}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma^n \ln \frac{nd/l+1}{(2n-2)d/l-1} \right) \quad (4.15)$$

F -faktori i depërtimit shprehet

$$F = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma + 2\Gamma d/l} \quad (4.16)$$

R_1 -rezistenca e konturit në shtresën e tokës me rezistencë ρ_1 , R_a - rezistenca e shtuar në shtresën e dytë të tokës.

Një trajtim më i thjeshtuar i tokës dyshtresore për $\rho_2 \gg \rho_1$, i përket rastit kur vlera e koeficientit të pasqyrimt është afërsisht 1. Me këtë konsideratë, rezistenca e një hemisfere

të vetme me rreze a në një shtresë toke me rezistencë ρ_1 dhe thellësi d rezulton [69]:

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi a} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Gamma^n}{\sqrt{1 + (2nd/a)^2}} \right) \quad (4.17)$$

Për koeficient pasqyrimi $\Gamma = 1$, seritë në shprehjen (4.17) zbërthehen në nënsери harmonike dhe konvergjojnë shpejt. Më i përdorshmi është përafrimi i propozuar nga Loyka [63]:

$$R \approx \frac{\rho_1}{2\pi a} \left(1 + \frac{a}{d} \ln \left(\frac{50000}{\sqrt{1 + (a/2d)^2}} \right) \right) \quad (4.18)$$

Ky përafrim ka rezultuar si më i sakti në llogaritjen e rezistencës së tokëzimit të linjave të tensionit të lartë dhe dëshmon qartë se *thellësia e shtresës së sipërme të tokës ka ndikimin më të madh në vlerën e kësaj rezistence*.

4.4 Modelet e impianteve të tokëzimit

Për studimin e sjelljes së sistemit të tokëzimit në rastin e goditjeve atmosferike mbi elektrodën, janë propozuar disa modele qarqesh ekuivalentë me parametra të varur nga frekuenca [65], të cilët përmbledhen si më poshtë.

4.4.1 Modeli i tokëzimit me parametra të shpërndarë

Elektroda paraqitet me qarqe ekuivalentë seri-paralel si në figurën 4.2, ku R përfaqëson vlerën e rezistencës tërthore, L induktivitetin gjatësor dhe C kapacitetin tërthor të tokëzimit për njësi gjatësie.

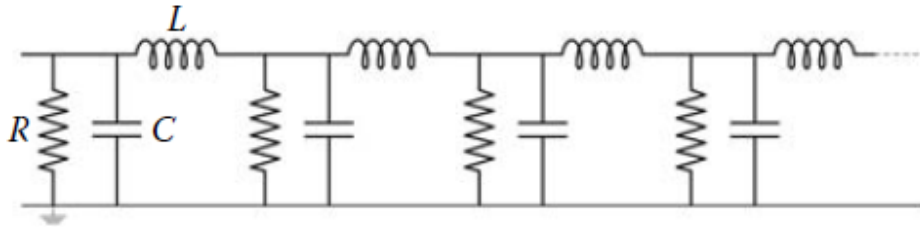


FIGURA 4.2 Qarku ekuivalent i elektrodës së tokëzimit për frekuenca të larta.

Ekuacionet e qarkut janë të ngjashëm me ekuacionet e linjave me parametra të shpërndarë [64] dhe mund të shkruhen:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V(x, s)}{\partial x} &= -sLI(x, s) \\ \frac{\partial I(x, s)}{\partial x} &= -(G + sC)V(x, s) \quad \left(G = 1/R \right) \end{aligned} \quad (4.19)$$

Jonizimi i dheut mund të merret parasysh në model nëpërmjet një rezistencë jolineare. Megjithatë kjo dukuri nuk është e menjëhershme dhe rezistenca e jonizimit zvogëlohet

me konstante kohe rreth $2\mu s$, vlerë kjo shumë e madhe krahasuar me kohën e frontit të goditjeve atmosferike. Zakonisht analiza e qarkut ekuivalent të tokëzimit për frekuenca të larta realizohet duke mos marrë në konsideratë jonizimin e dheut dhe duke pranuar parametrat për njësi gjatësie si linearë dhe konstantë në kohë [61], [65]. Shprehjet e R, L, C, G janë përkatësisht:

- Për përcjellës vertikalë:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} A_1 \quad L = \frac{\mu_0}{2\pi} A_1 \quad C = \frac{2\pi\epsilon}{A_1} \quad A_1 = \ln \frac{4l}{a} - 1 \quad (l \gg a) \quad (4.20)$$

- Për përcjellësit horizontalë:

$$R = \frac{\rho}{\pi} A_2 \quad L = \frac{\mu_0}{2\pi} A_2 \quad C = \frac{\pi\epsilon}{A_2} \quad A_2 = \ln \frac{2l}{\sqrt{2ad}} - 1 \quad (l \gg a, l \gg d) \quad (4.21)$$

ku $l(m)$ -gjatësia e përcjellësit, $a(m)$ -rrezja e përcjellësit, $d(m)$ -thellësia e vendosjes në tokë, $\rho(\Omega m)$ -rezistenca specifike e tokës e pranuar për tokë homogjene, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H / m$ konstantja magnetike në boshllëk, ϵ -konstantja dielektrike e tokës (si vlerë tipike $\epsilon = 10\epsilon_0$ $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F / m$).

Siç vihet re, *llogaritja e parametrave karakteristikë varet nga gjatësia e elektrodës.*

Në qoftë se qarku i figurës 4.2 ushqehet vetëm nga njëra anë dhe lihet i hapur nga ana tjetër, rezistenca e hyrjes $Z(j\omega)$ mund të llogaritet me shprehjen:

$$Z(\omega) = Z_c \coth \gamma l \quad (4.22)$$

ku Z_c -rezistenca valore dhe γ -konstantja e përhapjes së valës

Nga ekuacionet e mësipërm, mund të shprehim:

- Për përcjellës vertikalë:

$$Z_c = \frac{A_1}{2\pi} \sqrt{\frac{j\omega\mu_0\rho}{(1+j\omega\epsilon\rho)}} \quad \gamma = \sqrt{\frac{j\omega\mu_0}{\rho}(1+j\omega\epsilon\rho)} \quad (4.23)$$

- Për përcjellës horizontalë:

$$Z_c = \frac{A_2}{\pi} \sqrt{\frac{j\omega\mu_0\rho}{2(1+j\omega\epsilon\rho)}} \quad \gamma = \sqrt{\frac{j\omega\mu_0}{2\rho}(1+j\omega\epsilon\rho)} \quad (4.24)$$

Rezistenca e tokëzimit është komplekse dhe varet nga frekuenca. Në qoftë se njihet $Z(\omega)$ për një elektrodë tokëzimi, përgjigja e tensionit kalimtar në pikën e zbatimit të impulsit llogaritet si:

$$v(t) = L^{-1} \{ Z(\omega) L[i(t)] \} \quad (4.25)$$

ku $i(t)$ -impulsi i rrymës së ngacmimit, L dhe L^{-1} transformimi i drejtë dhe i kundërt i

Laplasit (ose Furie).

Për të përshkruar sjelljen kalimtare të elektrodave të tokëzimit, mund të përdoren disa parametra [66]. Njëri është rezistenca impulsive $z_0(t)$ e llogaritur në përqindje të vlerës së çastit të tensionit dhe rrymës në pikën e ngacmimit:

$$z_0(t) = \frac{v(t)}{i(t)} \quad (4.26)$$

Një mënyrë tjetër për të karakterizuar sjelljen kalimtare është rezistenca konvencionale Z , e përcaktuar si raport në përqindje i vlerës maksimale të tensionit dhe rrymës:

$$Z = \frac{\max[v(t)]}{\max[i(t)]} = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} \quad (4.27)$$

Një parametër tjetër është eficiensa impulsive, e përcaktuar si raport në përqindje e rezistencës konvencionale me rezistencën e frekuencave të ulëta Z/R_0

4.4.2 Modeli i tokëzimit me parametra të përqendruar

Bazuar në të dhënat eksperimentale, [67] Bewley propozoi paraqitjen e konturit ekuipotencial të tokëzimit gjatë shkarkimeve atmosferike, nëpërmjet qarqeve ekuivalentë elementarë, si në figurën 4.3.

- R_c përfaqëson rezistencën e konturit ekuipotencial
- R_s është rezistor me vlerë të tillë sa rezistenca e qarkut për frekuenca të larta, e cila i korrespondon rezistencës valore të konturit ekuipotencial (Z_c)
- L_c është induktiviteti përgjegjës për shndërrimin nga rezistenca valore në rezistencën për frekuencë të ulët; vlera e tij varet nga gjatësia e konturit ekuipotencial.

Chisholm e Janischewskyj [62] bazuar në të dhënat eksperimentale, propozuan shprehjen e mëposhtme për rezistencën e plotë Z në funksion të kohës:

$$Z = 60 \frac{h}{ct} \quad \left(t > t_i = \frac{h}{c} \right) \quad (4.28)$$

ku h -lartësia e shtyllës, c -shpejtësia e dritës ($c = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$), t_i -koha e përhapjes valore në shtyllë.

Për një shtyllë me tokëzim ideal, rezistenca fillestare mund të paraqitet me një induktivitet, vlera e të cilit është funksion i lartësisë h dhe përafrohet me shprehjen

$$L \approx 60 t_i \ln \frac{t_f}{t_i} \quad (4.29)$$

t_f -koha e frontit të valës.

Ky induktivitet ekuivalent është i vlefshëm për kushte normale kur $t_f \gg t_i$ dhe qarku i modifikuar për këtë rast rezulton si në figurën 4.4. Sa më e madhe vlera e t_f , aq më e madhe rezulton vlera e induktivitetit mesatar L_{av} , ndërsa rritja e tensionit në rezistencën R_c zvogëlohet.

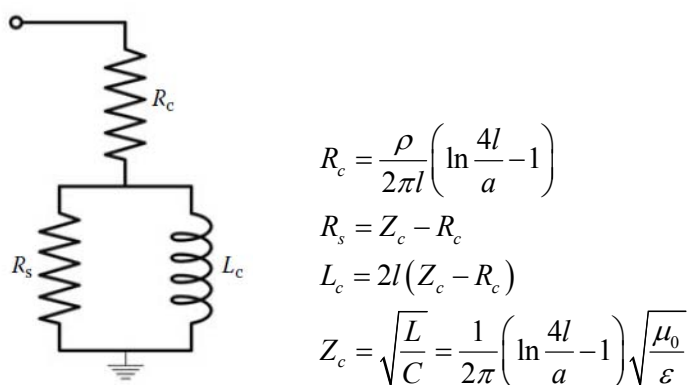


FIGURA 4.3 Qarku ekuivalent i konturit ekuipotencial.

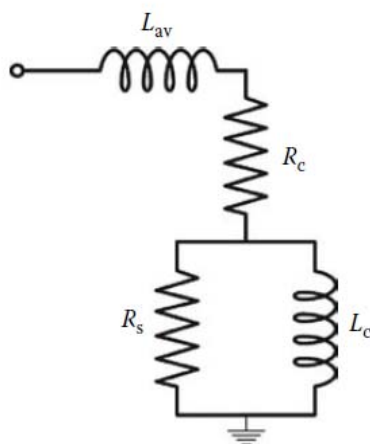


FIGURA 4.4 Qarku i modifikuar i konturit ekuipotencial.

IZOLIMI I LINJAVE TË TRANSMETIMIT

5.1 Hyrje

Elementi kryesor izolues në linjat e transmetimit është ajri; për këtë arsye izolimi i tyre paraqitet i ekspozuar ndaj kushteve atmosferike dhe i rigjenerueshëm. Studimi dhe projektimi i izolimit duhet të realizohet në dy situata: në frekuencën e punës ose afër saj (i quajtur ndryshe studim i mbitensioneve të brendshëm) dhe në kushtet e frekuencave të larta dhe shumë të larta të mbitensioneve të shkaktuar nga proceset kalimtare të këtij brezi [68].

Qëndrueshmëria e izolimit shprehet nëpërmjet tensionit të qëndrueshmërisë (ose tensioni i shpimit), i cili përcaktohet nëpërmjet testeve të kryera në kushte specifike me forma valësh specifike. I njëjti izolim mund të paraqesë qëndrueshmëri të ndryshme për forma të ndryshme valësh testuese tensioni; pra qëndrueshmëria e izolimit varet shumë nga forma dhe amplituda e valës së përdorur për testim. Në qoftë se vlera e tensionit të shpimit matet nëpërmjet testeve direkte, forma e zgjedhur për valën testuese duhet të jetë ajo e tensionit real me të cilin punon pajisja. Megjithatë kjo situatë paraqitet shumë e vështirë, sepse mbitensionet e linjave të tensionit të lartë mund të kenë forma valësh të llojeve të ndryshme. Kështu, në kushtet e përcaktimit të qëndrueshmërisë së izolimit për secilën prej formave të valëve, është më praktike të përcaktohet forma e valës test si dhe kohëzgjatja e saj gjatë mbitensioneve të natyrave të ndryshme [69].

Karakteristika e qëndrueshmërisë së izolimit ndaj llojit të valës goditëse njihet si kurba tension-kohë. Parametrat e valës goditëse janë koha e frontit të valës dhe impulsi i testimit. Kjo kurbë paraqet qëndrueshmërinë e izolimit në kushtet e ekspozimit ndaj tensioneve testues standartë në kushte laboratorike.

Izolimi i linjave të transmetimit duhet të studiohet si në kushtet e proceseve kalimtare, ashtu edhe ndaj tensioneve të frekuencës së punës, të testuar për çdo element. Qëndrueshmëria e izolimit studiohet në dy raste mbitensionesh kalimtare: të brendshëm (ku kategorizohen mbitensionet në frekuencën e punës, të njohur ndryshe si mbitensione të komutimit) dhe të jashtëm (ku zakonisht konsiderohen mbitensionet e paraqitur gjatë shkarkimeve atmosferike). Në varësi të nivelit të transmetimit të linjës, rekomandohet të

studiohet qëndrueshmëria e izolimit sipas njërës prej situatave. Zakonisht për nivele transmetimi më të ulët se 400 kV, vlerësimi i izolimit bazohet në mbitensionet e brendshëm (të komutimit); ndërsa për nivele 400 kV apo më të lartë, janë mbitensionet e jashtëm (të shkarkimeve atmosferike) ata që luajnë rolin kryesor në qëndrueshmërinë e izolimit të linjës.

Izolimi i linjave të transmetimit duhet të jetë në nivele të mjaftueshëm për të siguruar një punë të qëndrueshme të tyre. Projektimi i tij në kushtet e proceseve kalimtare paraqitet mjaft i ndërlikuar për shkak jo vetëm të tipeve të ndryshëm të mbitensioneve të shfaqur, por edhe të vetë natyrës së tij të ekspozuar ndaj kushteve atmosferike [70]. Paraqitja e proceseve kalimtare në linja mund të paraqitet me tipe të ndryshme valësh dhe me amplituda të ndryshme. Secili proces i përket një kushti të caktuar atmosferik, i cili bazohet në izolimin e paraqitur gjatë fenomenit “flashover”.

5.2 Impulset standartë të testimit të izolimit

Valët e impulseve standartë të shkarkimeve atmosferike dhe të komutimeve përcaktohen nga koha e rritjes (time to crest) dhe koha e gjysmës së vlerës, e matur në rënie të valës (time measured on the tail) [70]:

- **Vala e impulsit të shkarkimeve atmosferike:** koha e frontit të valës përcaktohet nga ekuacioni:

$$t_f = 1.67(t_{90} - t_{30}) \quad (5.1)$$

ku t_{90} është koha aktuale e arritjes së vlerës 90% të amplitudës së tensionit; t_{30} , koha aktuale e arritjes së vlerës 30% të amplitudës së tensionit. Koha rënëse e frontit të vales t_t quhet koha e nevojshme e arritjes së vlerës 50% të amplitudës gjatë rënies së impulsit goditës të rrufesë: është koha midis origjinës virtuale (pika ku vija midis t_{30} dhe t_{90} ndërpritet me vijën e tensionit zero) dhe pikës ku tensioni arrin vlerën 50% të amplitudës. Në përgjithësi vala e impulsit testues përcaktohet nga raporti t_f/t_t . Impulsi standart i goditjes atmosferike është 1.2/50μs.

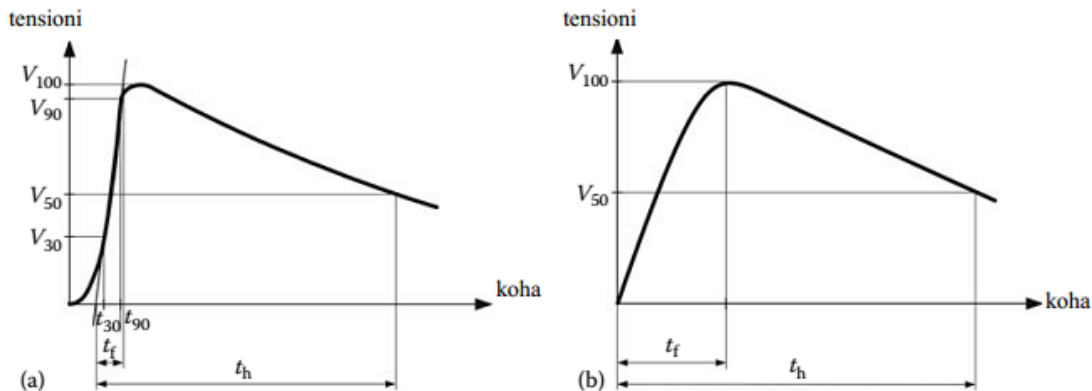


Figura 5.1 Valët e impulseve standartë të testimit: a) impulsi i mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike, b) impulsi i mbitensioneve të komutimit

- **Vala e impulsit të komutimit:** koha e frontit të valës matet nga koha aktuale e impulsit zero deri në kohën e maksimumit; ndërsa koha e rënies së valës përcaktohet si koha e gjysmës së vlerës së matur nga e njëjta kohë aktuale zero. Impulsi përcaktohet në mënyrë të ngjashme me atë të goditjes atmosferike dhe vlera standart e tij është 250/2500µs.

5.3 Nivelet e izolimit për impulset standartë

- **Niveli bazë i izolimit gjatë shkarkimeve atmosferike (BIL Basic Insulation Level):** Qëndrueshmëria elektrike e shprehur në termat e amplitudës së impulsit standart të shkarkimit atmosferik në kushte standart thatësire atmosferike [71]. BIL mund të jetë vlerë statistikore ose konvencionale. «BIL statistikor» përcaktohet si amplituda e impulsit standart të shkarkimit atmosferik, për të cilin qëndrueshmëria e izolimit paraqitet në nivelin 90%, ndërsa dështimi është 10%. “BIL konvencional” është amplituda e impulsit standart të shkarkimit atmosferik për të cilin qëndrueshmëria e izolimit nuk paraqet asnjë dështim gjatë aplikimit të një numri të caktuar impulsesh testues të këtij sinjali. BIL statistikor përdoret vetëm në rastet e izolimit të vetërregullueshëm, siç është ai i linjave; ndërsa BIL konvencional përdoret për tipin tjetër të izolimit pa vetërregullim. Në Standartin IEC 60071, BIL përcaktohet në të njëjtën mënyrë, por njihet si impulsi atmosferik i tensionit të shpimit [72].
- **Niveli bazë i izolimit gjatë impulsit të komutimit (BSL: Basic Switching Level):** Qëndrueshmëria elektrike e shprehur në termat e amplitudës së impulsit standart të komutimit në kushte standart lagështire atmosferike. Njëlloj si BIL, BSL mund të jetë statistikor ose konvencional: BIL statistikor përdoret në rastet e izolimit të vetërregullueshëm dhe BSL konvencional në rastet e izolimi pa vetërregullim. Në Standartin IEC 60071 BSL përcaktohet dhe njihet njëjloj me termin: tensioni impulsiv i komutimit [72].

5.4 Nivelet e izolimit Statistikor/Konvencional

Qëndrueshmëria karakteristike e izolimit të rregullueshëm në formë statistikore paraqitet nëpërmjet funksionit shpërndarës kumulativ të Gausit. Me këtë supozim, probabiliteti i goditjes atmosferike për një tension të caktuar V , paraqitet nëpërmjet shprehjes:

$$F(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_f} \int_{-\infty}^V e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{V-\mu}{\sigma_f}\right)^2} dV \quad (5.2)$$

ku μ vlera mesatare dhe σ_f devijimi standart.

Në formë normale, kjo shprehje mund të shkruhet:

$$F(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^V e^{-\frac{z^2}{2}} dV \quad (5.3)$$

$$Z = \frac{V - \mu}{\sigma_f} \quad (5.4)$$

Vlera mesatare e funksionit shpërndarës njihet si tensioni kritik i rrufesë ose CFO (nga IEC ai njihet si U_{50} ose si 50% e tensionit të shkarkimit rrufe) [73], [74]. Izolimi paraqet 50% probabilitet flashover kur aplikohet CFO. Këtij përcaktimi i përket vlera BIL si më poshtë:

$$BIL = CFO \left(1 - 1.28 \frac{\sigma_f}{CFO} \right) \quad (5.5)$$

ku σ për njësi CFO quhet koeficient i ndryshimit.

Duke pranuar një shpërndarje normale të funksionit të Gausit, qëndrueshmëria e izolimit mund të përcaktohet plotësisht nga vlerat e CFO dhe σ_f . Një metodë alternative është ajo e parashikimit të vlerave të CFO dhe σ_f/CFO .

5.5 Bazat e mekanizmit të shkarkimit

5.5.1 Përshkrimi i dukurisë

Sjellja e izolimit të ajrit varet nga shumë faktorë, si për shembull lloji dhe polariteti i tensionit të zbatuar, shpërndarja e fushës elektrike, gjatësia e hapësirës ajrore dhe kushtet atmosferike. Dobësimi dielektrik tek gazet karakterizohet nga formimi i ngarkesave të lira me shenja të kundërta, të cilat krijojnë molekula të jonizuara që përplasen me elektronet e lirë të përshpejtuar nga fusha elektrike. Kjo dukuri zhvillohet në mënyrë progresive.

1. *Faza e parë ose faza e kurorës*, e cila zhvillohet në zonën e fushave elektrike të larta në afërsi të elektrodave dhe përhapet vetëm në një pjesë të hapësirës ajrore.
2. *Faza e dytë ose faza drejtuese (leader)* karakterizohet nga formimi dhe zgjatja e kanalit të jonizuar. Në funksion të vlerës së tensionit të zbatuar dhe gjatësisë së hapësirës ajrore, procesi leader mund të ndërpritet ose të arrijë elektrodën tjetër.
3. *Faza e tretë* arrihet në rastet kur kurora ose leader-i arrijnë elektrodën e kundërt. Kanali drejtues zgjatet dhe rrit shpejtësinë e përhapjes së shkarkimit në gjithë gjatësinë e hapësirës ajrore. Në këtë rast kanali ka shkallën më të lartë të jonizimit dhe elektodat paraqiten si qark i shkurtër.

Faza e kurorës dhe faza leader varen nga polariteti i tensionit të zbatuar. Për gjeometritë më të përdorshme të elektrodave, tensioni i shkarkimit me polaritet pozitiv është më i vogël se ai me polaritet negativ; ndërsa tensioni minimal i shkarkimit për të njëjtën gjatësi hapësire ajrore dhe të njëjtin impuls të zbatuar, varet nga hapësira shufër-plan.

Fazat e mësipërme janë të mirëpërcaktuara për rastin e impulseve të tensionit me kohëzgjatje të lartë.

Përdorimi i këtyre kurbave ka përparësi në disa raste speciale. Metoda e thjeshtuar IEEE siguron zgjidhjen e problemit nëpërmjet përcaktimit të tensionit rënës të karakteristikave V-s, të analizuar për intervale kohe fikse $2\mu s$ [64]. Për kohë rënëse më të shkurtra se $3\mu s$, qëndrueshmëria ndaj impulseve jostandartë paraqitet 10% më e lartë se ajo ndaj impulseve standartë [75].

b. Metodat integrale

Kanë qëllim të parashikojnë sjelljen e izolimit në funksion të një ose disa parametrave të impulseve jostandartë të shkarkimit atmosferik [76], [77]. Pranimet kryesore mbi të cilët ngrihen këto metoda janë:

- Është një vlerë minimale tensioni V_0 , e cila duhet të tejkalohet para kohës së rënies së frontit të valës.
- Koha e rënies së valës është funksion si i amplitudës së tensionit goditës, ashtu edhe i kohëzgjatjes së tensionit të zbatuar me vlerë mbi V_0 .
- Për çdo konfigurim izolimi, ekziston një set unik konstantesh për llogaritjen e tensionit rënës të kurbës.

Në formulimin më të përgjithshëm, ekzistojnë konstante të ndryshme për përcaktimin e ndikimeve të amplitudës dhe kohës së tensionit goditës. Shpimi i izolimit përcaktohet nga ekuacioni i mëposhtëm:

$$D = \int_{t_0}^{t_c} [v(t) - v_0]^n dt \quad (5.6)$$

ku t_0 është koha pas së cilës $v(t)$ është më i madh se tensioni referencë V_0 dhe t_c është koha e rritjes së frontit të valës.

Konstantja D njihet si konstantja e efektit të shpimit. Propozohen vlera të ndryshme të D , V_0 dhe n në funksion të një grupi të caktuar rezultatesh. Për $n=1$, metoda njihet si ligji i sipërfaqes ekuipotenciale (shih figurën 5.3)

Këto metoda kanë përparësi për lehtësinë e përdorimit, por janë të kufizuara për një gjeometri të caktuar dhe impuls të caktuar. Më të përdorshme janë në disa konfigurime standart të hapësirës ajrore të linjave të tensionit të lartë dhe nënstacioneve; në rastin e hapësirave jouniforme nëpërmjet sipërfaqes ekuipotenciale, sigurohen rezultate analitike që nuk varen shumë nga të dhënat eksperimentale (si në rastin e karakteristikave V-s).

c. Modelet fizikë

Ndryshe nga dy llojet e tjerë, këta modele marrin në konsideratë faza të ndryshme të dukurisë së shkarkimit, si dhe varësinë e tyre nga tensioni i zbatuar dhe koha e plotë e rënies së frontit të valës [78].

Siç u theksua edhe më parë, kur tensioni i zbatuar tejkalon vlerën e tensionit të kurorës, shkarkimi përhapet në gjithë hapësirën ajrore, pas një kohe të mjaftueshme për arritjen e këtij tensioni. Përhapja e shkarkimit shoqërohet gjithashtu me rritjen e amplitudës

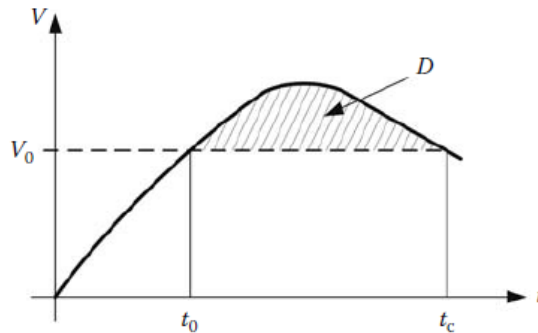


Figura 5.3 Metoda integrale.

së rrymës. Vetëm pasi përfundon faza e parë e kurorës, fillon koha e veprimit të fazës “leader”, shpejtësia e veprimit të së cilës rritet eksponencialisht. Të dy këto faza mund të zhvillohen në njërën ose në të dy elektrodën. Pasi leader-i përshkon hapësirën ajrore, ose kur ndeshen dy leader-a, ndodh procesi i shpimit (breakdown) i izolimit [79].

Shumica e studimeve e paraqesin këtë proces me anë të impulseve të dyfishtë eksponencialë. Edhe pse luhatjet e mundshme nuk arrijnë të ndikojnë në sjelljen e përgjithshme të dukurisë së shkarkimit, ato mund të ndikojnë në përhapjen e fazës “leader”, duke ulur tensionin nën vlerën e nevojshme të zhvillimit të kësaj faze.

Koha e plotë e shkarkimit mund të shprehet si shumë e tre komponenteve:

$$t = t_i + t_s + t_l \quad (5.7)$$

ku t_i koha e fazës kurorë; t_s koha e nevojshme që shkarkimi të përshkojë hapësirën ajrore ose të arrijë elektrodën tjetër; t_l koha e përhapjes së leader-it.

- *Faza e kurorës*: Dukuria kurorë ndodh në kohën t_i kur tensioni i zbatuar arrin një nivel të caktuar, që varet nga gjeometria e elektrodave, gjatësia e hapësirës ajrore dhe shkalla e rritjes së tij. Ky tension mund të llogaritet; gjithashtu edhe koha t_i në qoftë se njihet forma e impulsit të zbatuar. Në rastin e hapësirave ajrore me shpërndarje fushe jouniforme (siç është në praktikë shumica e izolimeve të linjave ajrore), tensioni i shfaqjes së kurorës është më i vogël se vlera e tensionit të shpimit; prandaj koha t_i mund të mos merret në konsideratë.
- *Faza e përhapjes*: Ndodh nga çasti i shfaqjes së kurorës, deri sa vala e shkarkimit rrufe të përshkojë plotësisht hapësirën ajrore. Koha korresponduese varet nga tensioni i zbatuar; ndërsa vlera minimale e tensionit të përhapjes është sa vlera CFO për impuls standart të rrufesë. Për këtë tension, koha që i nevojitet valës së shkarkimit të përshkojë gjithë hapësirën ajrore është maksimale dhe zvogëlohet me rritjen e vlerës së tensionit të zbatuar. Kjo kohë është e pavarur nga polariteti i elektrodave, konfigurimi i tyre dhe gjendja e hapësirës ajrore, por varet shumë nga raporti E/E_{50} , ku E është vlera mesatare e fushës në hapësirën ajrore për tensionin V dhe E_{50} është fusha mesatare e CFO. Pothuajse në të gjithë modelet e propozuar,

pranohet që faza e përhapjes përfundon kur tensioni i zbatuar arrin atë vlerë, për të cilën fusha mesatare në hapësirë ajrore është në nivelin E_{50} . Kohëzgjatja e fazës së përhapjes t_s llogaritet sipas shprehjes [69]:

$$\frac{1}{t_s} = 1.25 \frac{E}{E_{50}} - 0.95 \quad (5.8)$$

- *Faza drejtuese (leader)*: Ndodh pas fazës së përhapjes dhe gjatësia e saj në fund të t_s zë një përqindje të vogël të gjatësisë totale të hapësirës ajrore. Përhapja e leader-it, përcaktohet nëpërmjet vlerës së shpejtësisë e përkufizuar si dl/dt , e cila varet nga tensioni i zbatuar dhe gjatësia e kësaj faze. Të dhënat eksperimentale dëshmojnë se shpejtësia e përhapjes rritet në përpjestim të drejtë me gjatësinë e hapësirës ajrore ende të papërfshirë në këtë fazë, si në shprehjen e mëposhtme [76]:

$$\frac{dl}{dt} = g[v(t), d_g] \left[\frac{v(t)}{d_g - l_l} - V_0 \right] \quad (5.9)$$

ku g dhe V_0 janë funksione; d_g gjatësia e hapësirës ajrore; l_l gjatësia e leader-it dhe $v(t)$ vlera absolute aktuale e tensionit në hapësirë ajrore, e cila nuk korrespondon me vlerën teorike për rrymën referencë të shkarkimit.

Ekuacioni i propozuar për llogaritjen e shpejtësisë së leader-it, i përdorshëm për të gjithë tipet e konfigurimeve të fushave, paraqitet me shprehjen:

$$\frac{dl_l}{dt} = 170 d_g \left[\frac{v(t)}{d_g - l_l} - E_0 \right] e^{\frac{0.0015 v(t)}{d_g}} \quad (5.10)$$

Një përafrim më i thjeshtuar është ai i paraqitur nga ekuacioni:

$$\frac{dl_l}{dt} = k v(t) \left[\frac{v(t)}{d_g - l_l} - E_0 \right] \quad (5.11)$$

Vlerat e konstanteve k dhe E_0 varen nga konfigurimi i hapësirës ajrore dhe lloji i izolatorëve (shih tabelën 5.1).

- *Amplituda e rrymës goditëse*: përkufizohet si rryma më e madhe në qark gjatë fazës së tretë të përhapjes së leaderit. Është e kuptueshme që kjo rrymë është e përcaktuar, nëse njohim plotësisht parametrat e leader-it.

Modelet fizikë përdoren për lloje të ndryshëm impulseesh test si dhe për mjedis izolues të natyrave dhe gjeometrive të ndryshme. Modeli progresiv i leader-it, i paraqitur nëpërmjet ekuacionit (5.11) siguron një llogaritje të saktë për të gjithë rastet e mundshëm.

2. Modelet e impulseve të komutimit

Në rastin e analizës së impulseve të komutimit, fazat e përhapjes dhe të leader-it janë mbizotëruese në vlerësimin e qëndrueshmërisë së izolimit. Modelet më të përdorshëm bazohen mbi llogaritjen e qëndrueshmërisë kritike për konfigurime të thjeshtë izolimi në

TABELA 5.1 Vlerat e konstanteve k dhe E_0 [78]

Konfigurimi	Polariteti	k ($\text{m}^2/\text{V}^2/\text{s}$)	E_0 (kV/m)
Hapësirë ajrore, izolatorë	+	0.8×10^{-6}	520
shufrorë të gjatë	–	1.0×10^{-6}	600
Izolatorë me kapuç dhe	+	1.2×10^{-6}	520
kunja	–	1.3×10^{-6}	600

kushtet e fazës leader në hapësira të gjata ajrore dhe impulse me polaritet pozitiv. Për raste të ndryshëm paraqitjeje të impulseve komutues, rekomandohen llogaritjet përkatëse sipas udhëzimeve CIGRE [78].

5.6 Qëndrueshmëria e izolimit ndaj impulsive të komutimit

Për linjat e tensionit të lartë, qëndrueshmëria e izolimit për impulset e komutimit mund të ndikohet nga shumë faktorë, të përmbledhur si [80]:

- *Gjeometrikë*: distanca e goditjes (e përcaktuar për shembull nga pastërtia e ajrit); organizimi i vargut të izolatorëve (Varg V, Varg I ose varg i tendosur); madhësia dhe konfigurimi i shtyllës; këndi i varjes; pozicionimi i përcjellësit të fazës; numri i njësive të izolatorëve.
- *Elektrikë*: impulsi (forma dhe madhësia e valës testuese).
- *Meteorologjikë*: densiteti relativ i ajrit, lagështia (relative dhe absolute), reshjet.

Një përmbledhje e ndikimit të faktorëve të ndryshëm në qëndrueshmërinë e linjave të transmetimit ndaj impulseve të komutimit:

- **Impulset testues**: përsa i përket llojshmërisë, praktikisht këta impulse paraqiten të ndryshëm. Impulsi standart i përdorur për simulim është ai i paraqitur nëpërmjet kurbës së dyfishtë eksponenciale të figurës 5.1b, i cili karakterizohet nga koha e rritjes (time to crest) dhe koha e gjysmës së vlerës (time-to half value). Qëndrueshmëria e izolimit është funksion i këtyre parametrave. Për impulse komutimi të natyrave të ndryshme, propozohen kriteret përkatës, të cilët marrin në konsideratë ndryshimet midis tyre dhe bazohen në intervalin e kohës së quajtur si kohë aktive e frontit të vales, praktikisht koha gjatë së cilës ndodh dukuria e shkarkimit (flashover). Janë kryer teste të ndryshëm për të përcaktuar atë pjesë të valës që përkufizon qëndrueshmërinë e dielektrikut ndaj impulseve komutues. Kështu rezulton se shfaqja dhe përhapja e fazës leader ndodh për tension 60%-75% të kreshtës së impulsit, e cila i korrespondon probabilitetit 50% të ndodhjes së shkarkimit. Është vërtetuar se impulse me vlerë më të vogël se 70% e kreshtës nuk ndikojnë në vlerën e tensionit të rrufesë. *Dy valë me kohë të njëjtë aktive, praktikisht*

paraqesin rezultate të njëjtë qëndrueshmërie, edhe pse format e valëve testuese mund të jenë të ndryshme. Valët më të përdorshme të impulseve komutues, kanë kohë rritjeje nga 50 deri 2000 μs ose më tepër. Vlera “flashover” varet nga shkalla e rritjes së tensionit dhe hapësira e elektrodave. Kjo evidentohet qartë në karakteristikat $V-s$ të paraqitura në figurën 5.2. Siç mund të vihet re, tensioni flashover i studiuar si funksion i kohës së rritjes, arrin një minimum: pra *ekziston një vlerë e frontit të valës e quajtuar front kritik CWF (Critical Wave Front), që prodhon një qëndrueshmëri minimale izolimi*. Për secilën vlerë të hapësirës ajrore, paraqitet kurba përkatëse; rritja e hapësirës ajrore rrit CWF në një nivel më të lartë të kohës së rritjes (time-to-crest). Për valë më të shkurtra, shkarkimi ndodh pas kreshtës së valës dhe qëndrueshmëria e izolimit ndikohet nga koha time-to-half value (shih figurën 5.4).

- **Polariteti:** Qëndrueshmëria e izolimit ndaj impulseve të komutimit ndikohet nga polariteti i goditjes. Për konfigurimet më të përdorshëm në praktikë, elektroda e tokëzimit paraqitet si plan tokëzues, strukturë masive ose kombinim i tyre. Meqenëse përmasat e elektrodave janë të vogla, fusha elektrike në hapësirën midis tyre paraqitet jouniforme dhe me intensitet më të lartë në rastin e elektrodës me polaritet negativ. Sa më i lartë të jetë jouniformiteti i fushës, aq më i lartë është ndikimi i polaritetit të elektrodave. Edhe pse polariteti pozitiv dhe ai negativ i energjizimit të elektrodave ndodh me të njëjtën shpeshtësi dhe amplitudë, gjatë projektimit të izolimit fazë-tokë, është pranuar si më praktike zgjedhja e valëve goditëse me polaritet negative [80].
- **Gjeometria:** Për hapësirat e mëdha ajrore, procesi i shkarkimit varet ndjeshëm nga gjeometria e saj. Në qoftë se elektrodën e linjës janë të përmasave të vogla, prania e planeve të mëdhenj të tokës zvogëlon qëndrueshmërinë e linjës, duke zvogëluar

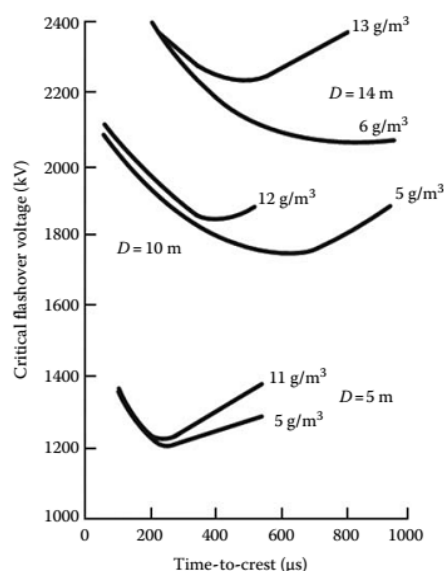


FIGURA 5.4 Impulset e tensionit për kohë të ndryshme time-to-crest të zbatuara në hapësira ajrore tip shufër-plan.

vlerën e tensionit “flashover” dhe shfaqjen e valëve goditëse me polaritet pozitiv. Për pasojë, *madhësia fizike e një shtylle ndikon negativisht në tensionin e shpimit. Konfigurimet e përcjellësit të trosit dhe lidhjeve midis përcjellësve, ndikojnë gjithashtu në zvogëlimin e vlerës “flashover” në izolatorët e linjave të transmetimit.*

- **Gjatësia e izolatorëve:** Për mot të thatë, rritja e gjatësisë së izolatorit çon në rritjen e CFO deri në barazimin e saj me distancën goditëse [81]. Në qoftë se gjatësia e izolatorit është më e vogël se distanca goditëse, dukuria flashover ndodh brenda gjatësisë së vargut të tij, duke ndikuar në zvogëlimin e qëndrueshmërisë elektrike të shtyllës. Por nëse distanca goditëse është më e vogël se gjatësia e vargut të izolatorëve, flashover do të ndodhë në hapësirë ajrore, duke limituar atë. Për mot të lagësht, pika e ngopjes arrin një nivel të tillë ku gjatësia e izolatorit është *1.05-1.1* herë më e madhe se ajo e distancës goditëse. Pra, për përfitim të vlerës maksimale të CFO në shtyllë, për distancë goditëse konstante, gjatësia e vargut të izolatorëve zgjidhet 5-10% më e madhe se ajo e vetë distancës. Në llogaritje përdoret një distancë S e përzgjedhur si më e shkurtër e tre distancave: S_I ndaj pikës më të lartë të trosit; S_2 ndaj kufirit anësor të shtyllës dhe $S_I/0.5$, ku S_I gjatësia e vargut të izolatorëve. *Gjatë llogaritjeve projektuese, gjatësia e vargut të izolatorëve përdoret si variabël kontrollues* (figura 5.5).
- **Pozicionimi i përcjellësit të fazës:** Vlera CFO e përcjellësit anësor të një vargu izolatorësh tip V është zakonisht 8% më e madhe se ajo e përcjellësit qendror.
- **Meteorologjia:** Parametrat kryesorë që ndikojnë në qëndrueshmërinë e linjave ndaj impulseve goditës të komutimit janë: dendësia relative e ajrit, lagështia absolute, reshjet dhe erërat [81]. Dy të parët (dendësia e ajrit dhe lagështia) ndikojnë në hapësirën ajrore dhe merren në konsideratë, nëpërmjet karakteristikave korrigjuese të tyre. Reshjet zvogëlojnë qëndrueshmërinë e izolatorëve ndaj impulseve goditës të komutimit, por nuk ndikojnë në karakteristikat e hapësirës ajrore. Për gjatësi standarte të vargut të izolatorëve në vlerën 1.05-1.1 të hapësirës goditëse, vlera e CFO e llogaritur për mot të lagësht është më e ulët se ajo për mot të thatë.

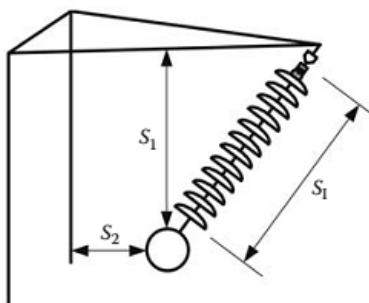


FIGURA 5.5 Distancat S_1 , S_2 , S_I

5.7 Qëndrueshmëria e izolimit ndaj shkarkimeve atmosferike

5.7.1 Të përgjithshme

Edhe për studimin e qëndrueshmërisë së izolimit të linjave ndaj impulseve të shkarkimeve atmosferike, përdoret modeli matematik i funksionit kumulativ shpërndarës të Gausit. Për qëllime praktike, për një impuls test të dhënë për një gjeometri dhe hapësirë ajrore të caktuar, është i nevojshëm informacioni i mëposhtëm:

-**CFO** (ose U_{50}) dhe **devijimi konvencional** σ_F/CFO

-**Karakteristika tension-kohë**, e cila lidh vlerën maksimale të arritur para tensionit të shpimit V_B (voltage of breakdown) me kohën T_B (shih kurbat tension-kohë, figura 5.2)

-**Ekziston një set unik konstantesh që shoqërojnë tensionin e shpimit për çdo konfigurim izolimi.**

Devijimi standart për impulset e shkarkimeve atmosferike është më i vogël se ai për impulset e komutimit; zakonisht diapazoni i tij është në nivelin 1%-3% të CFO, me përjashtim të situatave të veçanta kur mund të arrijë vlerën 3.6%. Zakonisht qëndrueshmëria e izolimit ndaj shkarkimeve atmosferike karakterizohet nga një vlerë e vetme e CFO ose BIL. Kjo do të thotë që nëse tensioni i zbatuar është nën nivelin e CFO ose BIL, ka zero probabilitet dështimi ose flashover; për vlerë tensioni mbi këtë nivel, probabiliteti i dështimit është 100%.

Në përgjithësi, varësia e CFO nga distanca goditëse është lineare dhe vlera e CFO llogaritet nga një vlerë e vetme e gradientit të tensionit të pikës kritike të flashover-it në kV/m.

5.7.2 Analiza e qëndrueshmërisë së izolimit ndaj impulsiveve të shkarkimeve atmosferike

Qëndrueshmëria e izolimit të linjave të transmetimit në kushtet e shkarkimeve atmosferike analizohet, si për rastin e zbatimit të impulseve standartë të rrufesë, ashtu edhe për ata jostandardë [82], [83]:

a. Impulset standartë të rrufesë

- **CFO:** *Vlera e CFO për konfigurim shufër-plan me polaritet pozitiv është shumë më e ulët se ajo me polaritet negativ [69]. Varësia e CFO ndaj gjatësisë së hapësirës ajrore paraqitet jolineare për rastin e polaritetit negativ të elektrodës dhe lineare në rastin e polaritetit pozitiv.*

Figura 5.6a i referohet konfigurimit shufër-plan të hapësirës ajrore dhe jep gradientin mesatar ($E_{50}=U_{50}/d$) për polaritet pozitiv dhe negativ të elektrodës, në funksion të gjatësisë së hapësirës ajrore. Për polaritet pozitiv E_{50} është rreth 525 kV/m dhe varet nga shkalla e pastërtisë së hapësirës ajrore; ndërsa për polaritet negativ vlera e E_{50} është më e madhe dhe zvogëlohet me rritjen e shkallës së pastërtisë. Figura 5.6b i referohet hapësirave ajrore me konfigurime të ndryshme dhe jep vlerën e gradientit të CFO për njësi të E_{50} së hapësirës

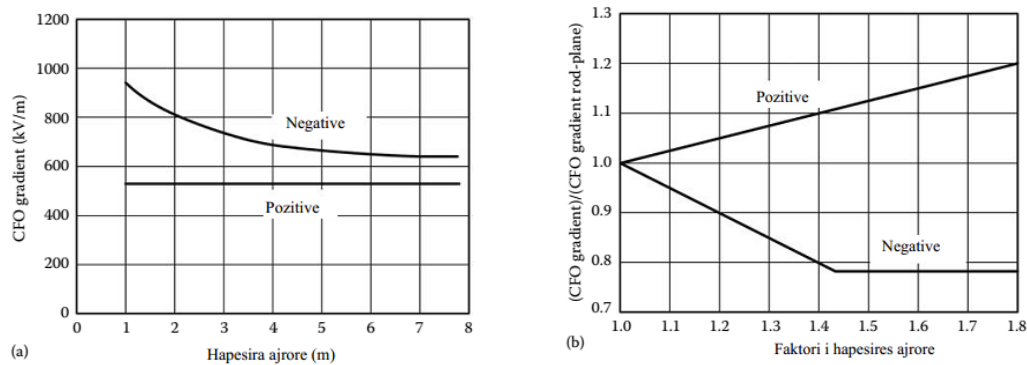


FIGURA 5.6 Gradienti mesatar i CFO në një hapësirë ajrore shufër-plan: a) si funksion i hapësirës ajrore dhe b) si funksion i faktorit të hapësirës ajrore

shufër-plan, si funksion i faktorit të hapësirës ajrore k_g dhe konfigurimit përkatës. Siç vihet re nga kjo kurbë, E_{50} e elektrodës me polaritet pozitiv tenton të rritet me rritjen e k_g , ndërsa për polaritetin negativ tendenca është e kundërt [83].

Tabela 5.2 paraqet një përmbledhje të llogaritjeve të propozuara për CFO ndaj impulseve të shkarkimeve atmosferike [84], [85].

TABELA 5.2 Llogaritja e CFO për shkarkimet atmosferike [84], [85]

Impulsi i shkarkimit atmosferik	Llogaritja e CFO
Për polaritet pozitiv:	Paris-Cortina: $CFO^+ = 383 + 147k_g$ CIGRE-TB 72: $CFO^+ = 394 + 131k_g$ IEC 60071: $CFO^+ = 530S(0.74 + 0.26k_g)$ për hapësirë mbi 10m
Për polaritet negativ:	IEC 60071: $CFO^- = 950S^{0.8}(1.5 - 0.5k_g)$ për k_g nga 1 deri 1.44 $CFO^- = 741S^{0.8}$ për k_g më të madh se 1.44

- **Devijimi standart:** Për hapësirat ajrore, ky faktor është më i lartë për impulset negativë sesa për ata pozitivë. Gjithashtu ai mund të ndikohet nga prania e izolatorëve. Shmangia standarte për polaritet pozitiv është 1% e CFO dhe rritet deri në 3.6% të CFO për polaritet negativ.
- **Karakteristikat tension-kohë:** Ato paraqiten të ndryshme për konfigurime të ndryshme të hapësirave ajrore [86]. Në rastin kur konfigurimi përafrohet me atë të një fushe elektrike uniforme, mprehtësia e karakteristikës tension-kohë zbutet. Në të kundërt, kur konfigurimi i hapësirës ajrore përafrohet me fushë elektrike jouniforme, thyerjet e karakteristikës rriten në përpjestim të zhdrejtë me intervalet e kohës. Ekuacioni i mëposhtëm mund të përdoret për përafrimin e karakteristikave tension-kohë për intervale kohe 2-11 μs :

$$V_B = \left(0.58 + \frac{1.39}{\sqrt{t}} \right) CFO$$

$$CFO_{NS} = \left(0.977 + \frac{2.82}{t_h} \right) CFO_s$$
(5.12)

TABELA 5.3 CFO e impulseve të shkarkimeve atmosferikë për konfigurimet praktike të hapësirave ajrore, llogaritur në rastet: pa izolatorë dhe me izolatorë [86]

Konfigurimi i hapësirës ajrore	Diagrama	CFO për polaritet pozitiv (kV/m)		CFO për polaritet negativ (kV/m)	
		Pa izolatorë	Me izolatorë	Pa izolatorë	Me izolatorë
Krahu i jashtëm		600	500	600	595
		625	520	625	620
Përcjellës: strukturë e sipërme		575	560	625	610
					
Përcjellës: plan i sipërm		655	500	595	585
					

ku V_B tensioni i shpimit (breakdown crest voltage), t koha e flashover ose breakdown

Vlerat e propozuara për V_B janë:

- Për izolimin e shtyllave: për $t=2 \mu s$, $V_B = 1.67$ CFO
për $t = 3 \mu s$, $V_B = 1.38$ CFO
- Për izolatorë porcelani: për $t=2 \mu s$, $V_B = (1.32-1.48)$ CFO
për $t = 3 \mu s$, $V_B = (1.22-1.31)$ CFO

Impulset jostandartë të rrufesë

Rezultatet eksperimentale dëshmojnë se V_B rritet me zvogëlimin e kohës rënëse të impulsit të rrufesë. Në qoftë se tensioni rritet deri në arritjen e shpimit të izolimit afër kreshtës, diferencat në formën e impulseve zvogëlohen dhe të gjitha kurbat V-t konvergjojnë; diferenca më të vogla shfaqen në rastin e qarqeve reciproke dhe përafrimi i tyre është i lidhur ngushtë me parametrat e frontit të valës. Për shkak të llojeve të ndryshëm të impulseve dhe konfigurimeve, këto rezultate nuk mund të përgjithësohen.

Ekuacioni i mëposhtëm shpreh ndikimin sasior të kohës t_h (time-to-half) në vlerën e CFO:

$$CFO_{NS} = \left(0.977 + \frac{2.82}{t_h} \right) CFO_S \quad (5.13)$$

ku CFO_S është vlera e CFO për impulsin standart 1.2/50μs dhe CFO_{NS} është vlera ndaj impulsit jostandard në funksion të kohës rënëse t_h .

Siç mund të vihet re nga ekuacioni (5.13), raporti CFO_{NS}/CFO_S është në përpjestim të zhdrejtë me kohën t_h . Ai është i vlefshëm për kohë fronti 0.5-5 μs dhe kohë rënëse 10-100 μs. Për standartin 50 μs, ky raport ka vlerën 1.016.

5.7.3 Disa përfundime

Për konfigurimet më të përdorshëm në praktikë, të dhënat eksperimentale në përgjithësi janë të mjaftueshme për vlerësimin e qëndrueshmërisë së izolimit ndaj impulseve standartë. Për një konfigurim dhe hapësirë ajrore të përcaktuar, mund të përftohet koeficienti përkatës i hapësirës ajrore. Llogaritja e CFO fillon me futjen e kësaj vlere (shih figurën 5.6b). Nëpërmjet rezultateve eksperimentale përftohet informacion i mjaftueshëm mbi sjelljen e kurbave V-t.

- *Në rastin e impulseve jostandardë, të dhënat eksperimentale nuk mund të përgjithësohen dhe përcaktimi i qëndrueshmërisë së izolimit realizohet nëpërmjet modeleve të propozuar për këtë qëllim.*
- *Gradientët e CFO për izolimin e shtyllave (për mot të lagësht) përcaktohen sipas rekomandimeve të tabelës 5.6.*

Shembulli në vijim paraqet një studim të plotë të qëndrueshmërisë së izolimit të linjave të transmetimit ndaj shkarkimeve atmosferike.

5.8 Shembull linje test-2: Mbi studimin e qëndrueshmërisë së izolimit ndaj shkarkimeve atmosferike

Në figurën 5.7 paraqitet pamje e shtyllës së linjës së testuar 400kV me dy përcjellës për fazë dhe dy përcjellës trosi, me karakteristika si në tabelën 5.4 [45].

5.8.1 Qëllimi i studimit është analiza e sjelljes së linjës ndaj shkarkimeve atmosferike

Ajo bazohet në krahasimin e tre paraqitjeve të ndryshme të vargut të izolatorëve: 1) vargu modelohet si çelës i hapur dhe qëllimi është përcaktimi i mbitensioneve të shkaktuar nga goditjet rrufe, 2) vargjet e izolatorëve modelohen si çelësa të hapur të kontrolluar nga tensionet e gjeneruar rreth tyre; kur tejkalohet vlera e BIL në ndonjë prej izolatorëve të vargut, ndodh fenomeni flashover, 3) vargjet e izolatorëve modelohen nëpërmjet LPM. Gjatësia mesatare e hapësirës ajrore është 400mm dhe distanca goditëse e vargut të izolatorëve është 3.212 m. Llogaritjet kryhen mbi bazën e supozimit se linja është e vendosur mbi nivelin e detit.

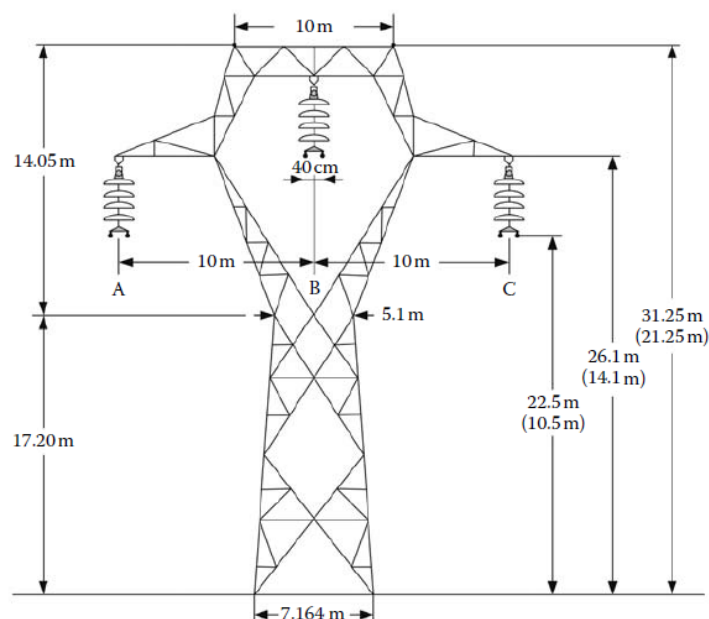


FIGURA 5.7 Pamje e shtyllës së linjës test.

TABELA 5.4 Karakteristikat e përcjellësve të fazave dhe trosit

	<i>Tipi</i>	<i>Diametri (mm)</i>	<i>Rezistenca DC (Ω/km)</i>
<i>Përcjellësit e fazave</i>	CURLEW	31.63	0.05501
<i>Përcjellësit e trosit</i>	94S	12.60	0.642

5.8.2 Udhëzues i modelimit

Gjatë modelimit të elementëve të linjës, për studimin e qëndrueshmërisë së saj ndaj shkarkimeve atmosferike, duhet të kihet parasysh [45]:

- Përcjellësit e trosit dhe fazave modelohen duke përfshirë katër hapësira ajore në të dy anët e pikës së impaktit. Secila hapësirë paraqitet si segment linje shumëfazore pa transpozim me parametra të shpërndarë konstantë ose të varur nga frekuenca. Efekti kurorë nuk merret parasysh.
- Në të dy anët e modelit të mësipërm, nevojitet një linjë fundore, me qëllim mënjanimin e reflektimeve, që mund të ndikojnë mbitensionet e simuluar rreth pikës së impaktit. Secili ekstrem paraqitet me anë të një segmenti linje të gjatë, parametrat e të cilit llogariten për secilën hapësirë ajrore.
- Një shtyllë paraqitet si linjë ideale njëfazore me parametra të shpërndarë (shih kapitullin 3). Për qarqe të tillë me gjatësi më të vogël se 50m, rekomandohet modeli CIGRE i shtyllës së ngushtuar në mes.
- Rezistenca e tokëzimit paraqitet si rezistencë jolineare, vlera e së cilës llogaritet sipas rekomandimeve të standarteve përkatës:

$$R = \frac{R_0}{\sqrt{1 + I/I_g}} \quad I_g = \frac{E_0 \rho}{2\pi R_0^2} \quad (5.14)$$

ku R_0 rezistenca e tokëzimit për rryma të vogla dhe frekuenca të ulëta; I rryma e shkarkimit përmes kësaj rezistence; I_g vlera limit e rrymës së nevojshme për jonizimin e dheut; ρ rezistenca e tokës (Ωm) dhe E_0 gradienti i jonizimit të dheut, vlera e të cilit për linjat e tensionit të lartë mbi 400kV pranohet 400kV/m [87].

- e) Mundësitë e paraqitjes së vargut të izolatorëve janë siç u trajtuan në paragrafët e mësipërm. Kur paraqitja bazohet mbi vlerën e LPM, duhet të kihet parasysh llogaritja e përhapjes së leader-it goditës me shpejtësinë:

$$\frac{dl}{dt} = k_l V(t) \left[\frac{V(t)}{g-l} - E_{l0} \right] \quad (5.15)$$

ku $V(t)$ tensioni rreth hapësirës ajrore; g gjatësia e hapësirës ajrore; l gjatësia e leader-it; E_{l0} gradienti kritik i leader-it dhe k_l koeficienti i leader-it. Në rastin e paraqitjes së vargut të izolatorëve si çelësa të hapur të kontrolluar nga tensioni, CFO për polaritet negativ llogaritet sipas rekomandimeve të propozuar nga standarti IEC 60071, të bazuar në vlerën e distancës goditëse e vargut të izolatorëve S. Sipas këtij modeli, dukuria “flashover” ndodh kur tensioni i shkarkimit atmosferik tejkalon vlerën e tensionit të shpimit të dielektrikut.

- f) Në llogaritje përfshihen vlerat e tensioneve fazorë në çastin e goditjes së linjës nga rrufeja. Për llogaritje statistikore, amplitudat e tensioneve fazorë, përcaktohen nga një kënd çfarëdo reference, duke konsideruar një shpërndarje uniforme të fushës nga 0° deri 360° .
- g) Goditja rrufe modelohet si burim ideal rryme (me rezistencë në paralel infinit). Në llogaritjet statistikore, parametrat e goditjes përcaktohen në mënyrë rastësore sipas funksioneve të rekomanduara në literaturë për densitetin e shpërndarjes [84], [85].

Modeli i krijuar sipas udhëzuesit të mësipërm, është i ngjashëm me atë të paraqitur në figurën 5.8, i cili vë theksin mbi rëndësinë e modelimit të shtyllës dhe parametrave të saj. Kur goditja rrufe ndodh në kampatën e përcjellësve midis dy shtyllave, në model nevojiten modifikime; hapësira ajrore ndërmjetëse ndahet në dy seksione dhe burimi i rrymës që paraqet goditjen e rrufesë zhvendoset në pikën e impaktit.

Studimi i këtij shembulli ndahet në dy pjesë. Në pjesën e parë përmbledhen rezultatet kryesore, që paraqesin ndikimin e parametrave të linjës në mbitensionet e shkarkimeve atmosferike. Pjesa e dytë paraqet një zbatim të metodës Monte Carlo për studimin e sjelljes së linjës gjatë shkarkimeve atmosferike.

5.8.3 Studimi i qëndrueshmërisë së izolimit në linjë gjatë shkarkimeve atmosferike

Qëllimi është *simulimi i mbitensioneve të shkaktuar nga goditjet rrufe mbi shtyllat dhe përcjellësit e linjave* si dhe përcaktimi i ndikimit që kanë disa parametra në vlerat

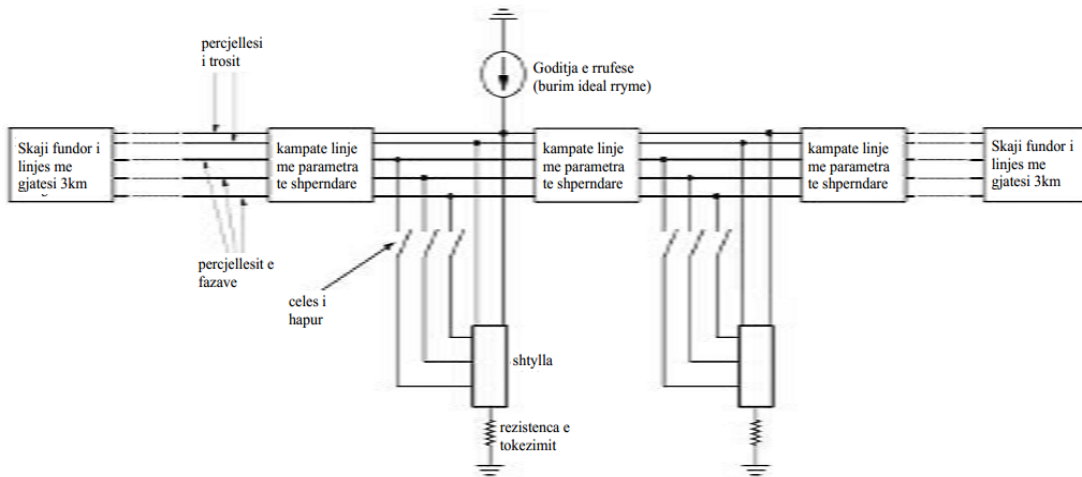


FIGURA 5.8 Modelimi i linjave për studimin e qëndrueshmërisë së izolimit ndaj shkarkimeve atmosferike [84]

maksimale të tensioneve. Në llogaritjet e këtij shembulli është pranuar paraqitja e *vargjeve të izolatorëve si çelësa të hapur* dhe *vlera e rezistencës së tokëzimit e pandryshueshme*. Ky është modeli më i përshtatshëm për analizën analitike të problemit, për shkak të përafrimit të tij pothuajse linear.

Rryma goditëse e rrufesë është pranuar negative me karakteristikë të paraqitur si në figurën 5.9. Siç vihet re, ky funksion është i vazhdueshëm dhe nuk ka pikë ndërprerje për $t=0$. Shprehja matematike, e përafruar me modelin Heidler jepet nga ekuacioni [90]:

$$i(t) = \frac{I_p}{\eta} \frac{k^n}{1+k^n} e^{-t/\tau_2} \quad (5.17)$$

ku I_p rryma e pikut; η faktor korrigjues për këtë vlerë rryme; n numri i hapave të iteracionit; $k=t/\tau_1$; τ_1 dhe τ_2 konstantet e kohës përkatësisht të rrymës rritëse dhe asaj rënëse të kurbës.

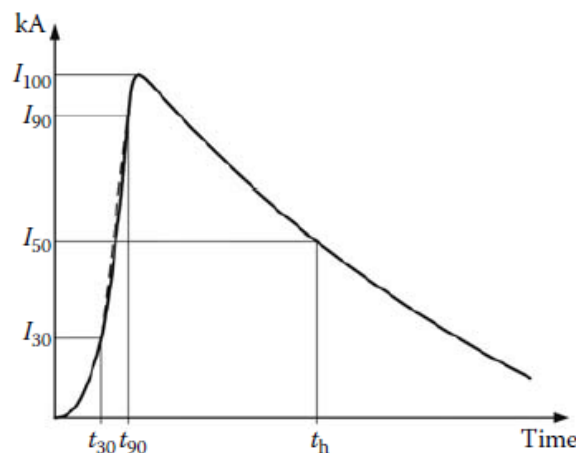


FIGURA 5.9 Forma e karakteristikës së rrymës goditëse të rrufesë.

a. Rezultatet e simulimeve për goditje direkte të rrufesë në shtyllat e linjës

Mqs modeli i përdorur në studim është linear, edhe marrëdhënia midis rrymës maksimale goditëse dhe tensionit të vargut të izolatorëve është gjithashtu lineare. Në figurën 5.10a paraqitet rezultati i simulimit për tensionin në vargun e izolatorëve të përcjellësit të jashtëm të linjës së testuar; figurat 5.10b dhe 5.10c paraqesin marrëdhënien e tensionit nga rezistenca e tokëzimit dhe koha rritëse e frontit të valës t_f . Siç mund të vihet re, të dy këta parametra kanë një ndikim shumë të madh në studimin e qëndrueshmërisë ndaj goditjes direkte të rrufesë në shtyllat e linjës: **sa më e madhe rezistenca e tokëzimit dhe sa më e vogël koha e frontit, aq më të mëdha janë mbitensionet e shkarkimeve atmosferike**. Në llogaritje nuk janë marrë në konsideratë tensionet në frekuencën e punës [91].

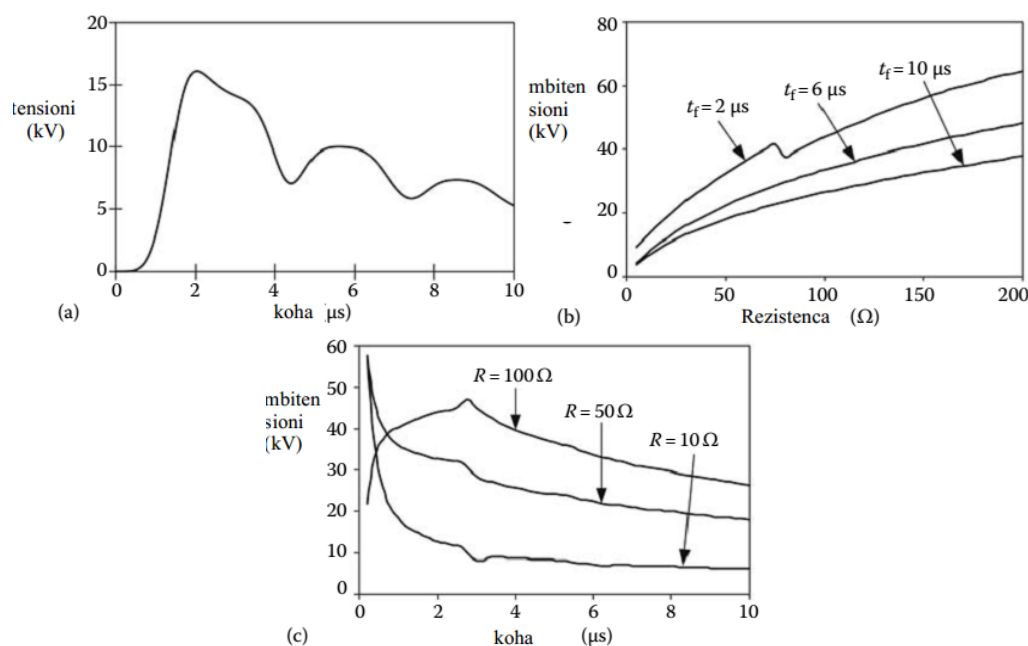


FIGURA 5.10 Mbitensionet e shkaktuar nga goditjet atmosferike direkte në shtyllat e linjës: a) Mbitensioni i vargut të izolatorëve të fazës së jashtme ($I_p = 1kA$; $R_{tower} = 20\Omega$), b) Mbitensioni i vargut të izolatorëve si funksion i rezistencës së tokëzimit ($I_p = 1kA$), c) Mbitensioni i vargut të izolatorëve si funksion i kohës së frontit të valës goditëse të rrufesë ($I_p = 1kA$) [45]

b. Rezultatet e simulimeve për goditje rrufeje mbi përcjellësit e fazës

Për të njëjtën rrymë piku të rrufesë, mbitensionet e shkaktuar nga goditjet në përcjellësit e fazës janë shumë më të mëdha se mbitensionet e shkaktuar nga goditjet në shtylla ose në përcjellësit e trosit. Figura 5.11a paraqet mbitensionet e shkaktuar nga goditja e rrufesë në përcjellësin e jashtëm të fazës, ku është përfshirë edhe tensioni në frekuencën e punës, i cili është i pranishëm në çastin e goditjes. Në këtë rast është i nevojshëm një studim i ri parametrik për përcaktimin e ndikimit nga këndi i mbitensionit, duke pranuar si kënd referencë për llogaritjet atë të fazës së jashtme A, pra të asaj faze ku kemi pikën e impaktit goditës. Në figurat 5.11b dhe 5.11c paraqiten rezultatet e simulimit të mbitensioneve për

rastin më të keq të këndit fazor dhe amplitudës së rrymës goditëse. Nga simulimi rezultojnë vlera shumë të mëdha të mbitensioneve, por praktikisht *prania e përcjellësit të trosit nuk lejon që goditjet atmosferike me amplitudë më të madhe se 20kA të arrijnë përcjellësit e jashtëm fazorë të linjave*. Në rastin e studimit të goditjes ndaj përcjellësit të fazës, nuk merret parasysh ndikimi i rezistencës së tokëzimit në vlerën e mbitensionit.

Përfundimet e nxjerrë nga simulimet e mësipërm janë shumë orientues për studimin praktik të izolimit të linjave. Mbitensionet e shkaktuar nga goditjet atmosferike në përcjellësit fazorë të linjave të tensionit të lartë rriten në përpjestim të drejtë me amplitudën e rrymës goditëse dhe varen nga këndi fazor në momentin e goditjes së përcjellësit.

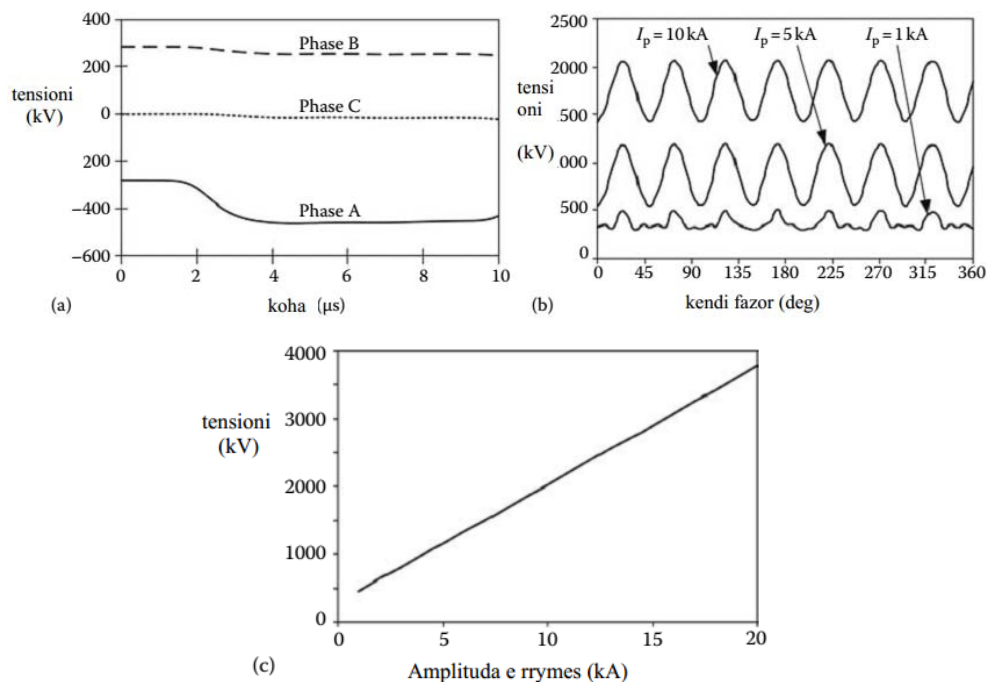


FIGURA 5.11 Mbitensionet e shkaktuar nga goditjet atmosferike në përcjellësit fazorë të linjës: a) Mbitensionet e vargut të izolatorëve të fazës së jashtme ($I_p=1 \text{ kA}$; $R_{\text{tower}}=20\Omega$), b) Mbitensioni i vargut të izolatorëve si funksion i këndit fazor referencë, c) Mbitensioni i vargut të izolatorëve në funksion të amplitudës së rrymës goditëse [45]

5.8.4 Llogaritja statistikore e mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike

a. Procedura e përgjithshme:

Aspektet më të rëndësishëm të procedurës Monte Carlo të përdorur për llogaritjen statistikore të mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike, mund të përmbledhen si më poshtë [45]:

- Vlerat e parametrave gjenerohen në mënyrë të rastësishme në çdo hap llogaritës, bazuar në funksionin shpërndarës normal probabilitar përkatës të çdo hapi. Kjo llogaritje përfshin parametrat e goditjes së rrufesë (amplitudën e rrymës goditëse, kohën e frontit të valës dhe pozicionimin e kanalit vertikal të shkarkimit), tensionet e*

përcjellësve të fazave, rezistencën e tokëzimit dhe vargun e izolatorëve.

- b) Përcaktimi i pikës së impaktit kërkon zbatimin e një metode që të arrijë të diferencojë impulse goditës të rrufesë ndaj përcjellësve të linjës dhe atyre shkarkues në tokë. Kjo realizohet nëpërmjet ndarjes së goditjeve ndaj përcjellësve të fazës dhe atyre të trosit. Llogaritja përcaktohet duke aplikuar modelin elektrojgeometrik [91] të linjës të propozuar nga Brown-Whitehead, të përmbledhur në shprehjet e mëposhtme:

$$r_c = 7.1I^{0.75} \quad (5.18a)$$

$$r_{\sigma} = 6.4I^{0.75} \quad (5.18b)$$

ku r_c distanca goditëse kur goditja drejtohet si ndaj përcjellësve të fazës, edhe atyre të trosit; r_g distanca goditëse ndaj tokës; I amplituda e rrymës së kthimit të rrufesë. Sipas këtij modeli, ***përcjellësi i trosit si pika më e lartë nga sipërfaqja e tokës është më i rrezikuari ndaj goditjeve të rrufesë; vetëm goditjet e rrufesë me amplitudë më të vogël se 20kA arrijnë përcjellësit e fazave. Kështu për vlerësimin e qëndrueshmërisë së linjës ndaj goditjeve atmosferike, është i mjaftueshëm vlerësimi në rastet e simulimit të goditjeve rrufe ndaj përcjellësit të trosit, si rasti me probabilitetin më të madh të mundshëm.***

- c) Me përcaktimin e pikës së rastësishme të impaktit të goditjes (sipas pikës b), fillon llogaritja e mbitensioneve. *Nuk merren parasysh mbitensionet e shkaktuar nga goditjet në tokë në pikat pranë pikës së impaktit.*
- d) *Tensionet në vargjet e izolatorëve monitorohen rregullisht.* Kur qëllimi i studimit është përcaktimi i nivelit flashover; sa herë që ndeshet kjo dukuri llogaritja ndalet; rritet kufiri llogaritës dhe ndryshohet niveli i ri flashover.
- e) I gjithë procesi i simulimit ndalon kur arrihet konvergjenca e nevojshme e metodës Monte Carlo ose kur është arritur numri maksimal i iteracioneve llogaritës. Kontrolli i konvergjencës kryhet duke krahasuar funksionin probabilitar të shpërndarjes të të gjithë variablave me vlerat teorike të tyre [91].

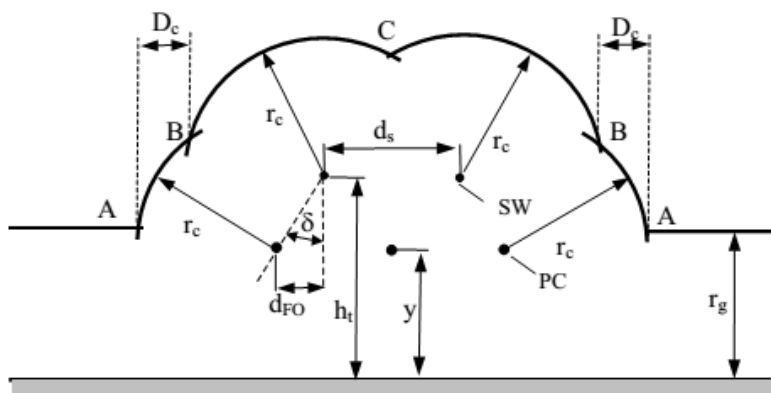


FIGURA 5.12 Modeli elektrogjeometrik për përcjellësit e fazave dhe trosit: SW-përcjellësi i trosit, PC-përcjellësi i fazës

b. Impulset goditës të shkarkimeve atmosferike dhe parametrat e tyre

- Shumica e impulseve goditës të rrufesë janë me polaritet negativ dhe përbëhen nga disa valë të mbivendosura, ku vetëm dy të parat merren në konsideratë për studimin e izolimit të linjave të transmetimit. Mundësia e impulseve goditës me polaritet pozitiv rritet gjatë stinës së dimrit: megjithatë ajo është shumë e vogël krahasuar me valët e polaritetit negativ; vlera maksimale e probabilitetit të tyre shkon deri në 10%. Përsa më sipër, *në studim do të merret në konsideratë vetëm vala e parë goditëse e rrufesë me polaritet negativ* [92].
- Forma e valës është ajo që është studiuar në paragrafin 5.8.3, referuar figurës 5.9 dhe ekuacionit (5.17). Parametrat kryesorë të përdorur në llogaritjet statistikore për përcaktimin e kurbës së rrymës goditëse të rrufesë janë amplituda I_p (ose I_{100}), koha e rritjes $t_f = 1.67(t_{90} - t_{30})$ dhe koha e rënies t_h . Meqenëse këto vlera nuk mund të përcaktohen direkt në modelin Heidler, përdoret një procedurë shndërrimi e cila bazohet në parametrat e rrufesë, të llogaritur në mënyrë rastësore.
- Variacioni statistikor i parametrave të shkarkimit atmosferik, zakonisht përafrohet me një funksion shpërndarës normal me densitet probabilitar si në shprehjen [90]:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma_{\ln x}}} \exp \left[-0.5 \left(\frac{\ln x - \ln x_m}{\sigma_{\ln x}} \right)^2 \right] \quad (5.19)$$

ku $\sigma_{\ln x}$ devijimi standart i $\ln x$ dhe x_m vlera mesatare e x .

- Një funksion i përbashkët për densitetin e dy parametrave të rrufesë $p(x,y)$, mund të merret në konsideratë nëpërmjet një koeficienti korrigjues ρ_c . Në qoftë se parametrat x dhe y kanë funksion shpërndarjeje të pavarur nga njëri-tjetri, vlera $\rho_c = 0$ dhe $p(x,y) = p(x)p(y)$.

c. Parametrat e rastësishëm

Për vlerat e secilit prej parametrave të rastësishëm, mund të merren në konsideratë shpërndarjet e mëposhtme probabilitare:

- Parametrat e vargut të izolatorëve përcaktohen sipas funksionit shpërndarës Weibull. Vlera kryesore dhe shmangia standarde e E_{10} janë përkatësisht 570kV/m dhe 5%. Vlera e koeficientit të leader-it pranohet në kufijtë $k_l = 1.3E - 6m^2 / (V^2s)$. Vlera e gradientit mesatar të CFO pranohet e njëjtë me atë kryesor E_{10}
- Parametrat e goditjes përcaktohen nëpërmjet funksioneve logaritmikë përkatës. Në tabelën 5.4 janë përmbledhur vlerat e secilit prej tyre. Këta parametra janë funksione të pavarur shpërndarës.
- Këndi reference i përcjellësit të fazës ka një shpërndarje uniforme midis vlerës 0° dhe 360° .

TABELA 5.4 Parametrat statistikorë të rrymës goditëse të rrufesë [90]

Parametri	x	$\sigma_{\ln x}$
I_{100} (kA)	34.0	0.740
t_f (μ s)	2.0	0.494
t_h (μ s)	77.5	0.577

- Rezistenca e tokëzimit paraqitet me një funksion shpërndarës normal me vlerë kryesore $R_m = 50\Omega$ dhe shmangie standarte $\sigma = 5\Omega$. Duke patur parasysh se modeli i rezistencës së tokëzimit merr në konsideratë edhe jonizimin e tokës, parametri R_m i referohet rrymave me vlerë të vogël dhe frekuencave të ulëta. Vlera e rezistencës së tokës pranohet $200\Omega\text{m}$.
- Pozicionimi i rrufesë para zbatimit të modelit elektrogjeometrik, vlerësohet duke supozuar drejtimin vertikal si orientues të leader-it dhe shpërndarje uniforme të tij në tokë.

Modeli i zbatuar në studimin e linjës test merr në konsideratë vetëm goditjet atmosferike në vargun e izolatorëve.

d. Rezultatet e simulimeve

- Për të kontrolluar konvergjencën e metodës Monte Carlo, rezultatet dhe shpërndarjet statistikore teorike krahasohen për nivelet 10%, 30%, 50%, 70% dhe 90% të çdo funksioni kumulativ shpërndarjeje. Më tepër se 10000 ekzekutime janë të nevojshme për arritjen e një rezultati llogaritës me gabim 10%. Ndërsa për kufij gabimi 5%, nevojiten mbi 30000 ekzekutime. Zakonisht rezultatet e studimeve arrihen me mesatare prej 40000 ekzekutimesh [93-95].
- Në figurën 5.13 paraqiten rezultatet e simulimeve për secilin prej skenarëve të konsideruar në këtë shembull. Siç mund të vihet re prej tyre, *brezi i amplitudave të rrymave goditëse që mund të shkaktojnë shpim izolimi (goditje në shtyllë ose në përcjellësin e trosit) janë të ndryshme nga brezi i atyre që shkaktajnë flashover (goditjet ndaj përcjellësve fazorë)*. Gjithashtu është e dukshme, se pas 40000 ekzekutimesh, funksioni shpërndarës statistikor i mbitensioneve të shkaktuar nga backflashover është mjaft mirë i përcaktuar; ndërsa për rastin e mbitensioneve të shkaktuar nga goditjet ndaj përcjellësve fazorë, për përcaktimin e saktë të funksionit shpërndarës nevojitet një numër më i madh ekzekutimesh. I njëjti përfundim është i vlefshëm për probabilitetin e ndodhjes së fenomenit flashover për secilin rast të studiuar.
- *Probabiliteti mesatar i goditjes atmosferike (flashover rate) për linjën e testuar, duke pranuar një densitet rrufeje prej $N_f = 1 \text{ goditje/km}^2$ në vit, është 0.845 goditje për 100km në rastin e modelimit të vargjeve të izolatorëve si çelësa të hapur të kontrolluar nga tensioni dhe 0.347 goditje për 100km kur ata paraqiten me anë të*

modelit LPM. Edhe pse parametrat e përdorur në të dy modelet, janë ata të rekomanduar nga IEC dhe CIGRE, diferenca në vlerat flashover rate është e konsiderueshme. Teorikisht paraqitja me anë të LPM e vargut të izolatorëve është më e saktë përse i përket përhapjes së fazës leader të shkarkimit atmosferik. Është me interes të theksohet se brezi i vlerave që shkaktajnë flashover është i ndryshëm për paraqitje të ndryshme të vargut të izolatorëve. Kur përdoret paraqitja LPM, brezi i vlerave që shkaktajnë flashover, është më i ngushtë se në rastin e paraqitjes së izolatorëve si çelësa të hapur dhe e kundërta në rastin e vlerësimit të dështimeve flashover në përcjellësin e trosit. Nga kjo analizë, mund të nxjerrim përfundimin se **modeli LPM është më i sakti në vlerësimin e izolimit të linjës në rastin e goditjeve atmosferike me amplitudë të vogël.**

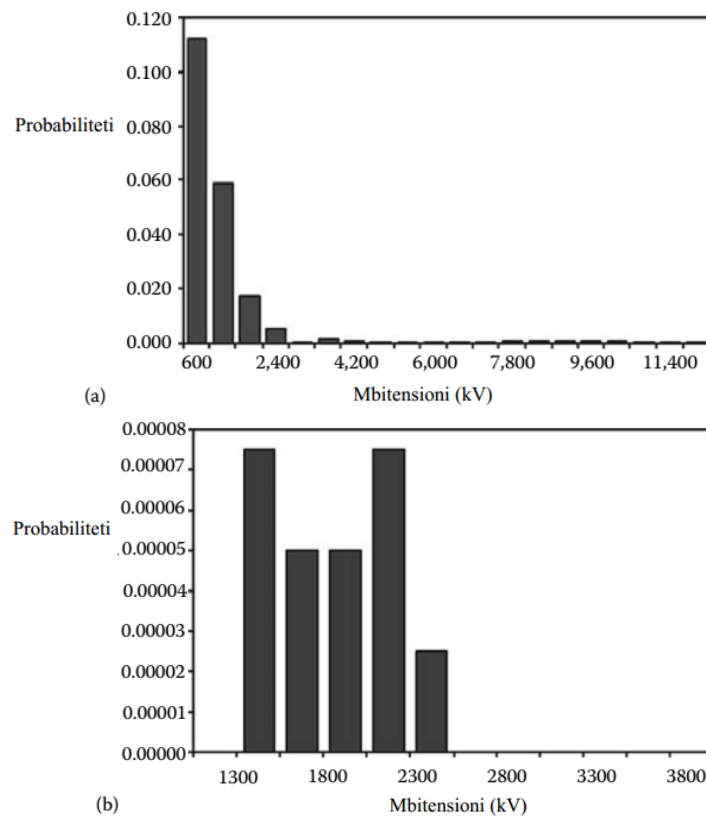


FIGURA 5.13 Shpërndarja e mbitensioneve të shkarkimeve atmosferike [45].

ANALIZA E PROCESEVE KALIMTARE NË SOFTIN ATP PËR LINJËN 220KV “RRASHBULL-FIER” TË S.E.

6.1 Hyrje

ATP (Alternative Transient Programe) është një nga software më të përdorshëm për studimin e proceseve kalimtare në linjat e transmetimit. Softi ofron modele matematikë të ndryshëm për linjat e transmetimit në funksion të saktësisë së kërkuar dhe dukurisë që simulohet. Siç është trajtuar edhe në kapitullin e dytë mbi teknikat e zgjidhjes së ekuacioneve të linjës, në ATP përdoren kryesisht teknikat fazore dhe ato alternative [21][96], [97].

Në këtë kapitull paraqiten rezultatet e simulimit në softin ATP për një linjë tipike transmetimi 220 kV të sistemit elektroenergjetik shqiptar. Për paraqitje të ndryshme të linjës, përkatësisht sipas: a) modelit me qarqe me parametra të përqendruar me qarqe Pi, b) modelit me qarqe parametra të shpërndarë konstantë ose Bergeron, dhe c) modelit me qarqe me parametra të shpërndarë të ndryshueshëm nga frekuenca ose J.Marti, janë analizuar përgjigjet rrymë-tension në linjë ndaj ngacmimeve të llojeve të ndryshme si më poshtë [98],[99]:

- 1) kyçje e linjës në regjim punimi pa ngarkesë;
- 2) qark i shkurtër trifazor;
- 3) lidhje e shkurtër njëfazore me tokën;
- 4) çkyçje e linjës në regjim punimi pa ngarkesë.

Të katër rastet e mësipërm kategorizohen në dukuri tipike komutimi në linjë (shih kapitullin e pestë), të quajtur ndryshe edhe mbitensione të brendshëm. Studimi i qëndrueshmërisë së izolimit ndaj impulseve të komutimit, siç është trajtuar edhe në kapitullin paraardhës, është shumë i rëndësishëm për vlerësimin e sjelljes së linjave të transmetimit me nivele tensioni nën 400kV, si në fazën e projektimit, ashtu edhe të shfrytëzimit të tyre.

Modelimi i linjës 220kV «Rrashbull-Fier» në ATP është realizuar sipas të dhënave reale të saj. [100].

6.2 Të dhënat e nevojshme për simulim për linjën 220kV “Rrashbull-Fier”

Të dhënat e linjës

$U_n = 220 \text{ kV}$

Gjatësia e linjës: 78.7 km

Tipi i shtyllës: NT 220-8

Përcjellësi: ASCR 300/50 mm²

Rezistenca e tokës: $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$

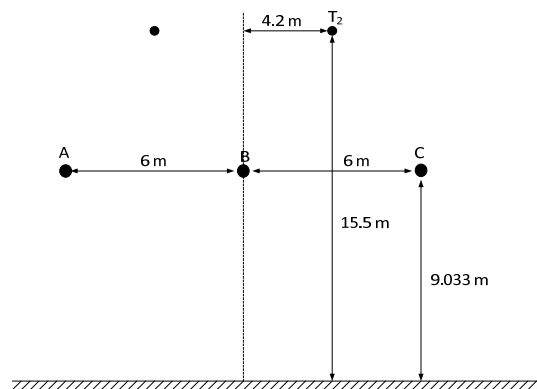


Figura 6.1 Gjeometria e përcjellësve të linjës.

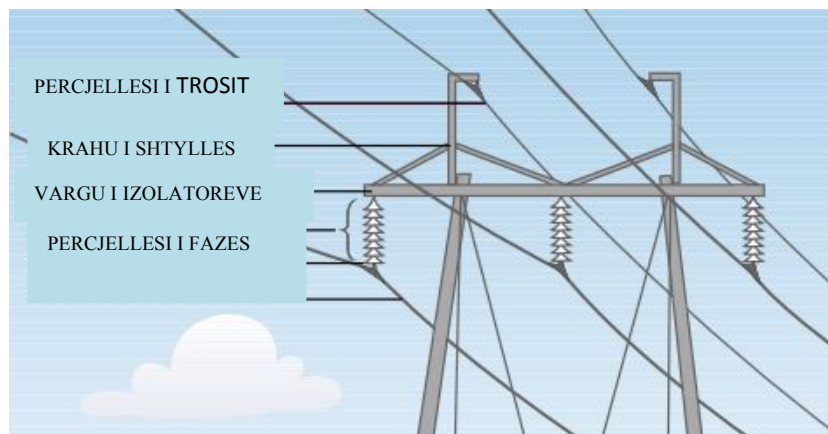


Figura 6.2 Paraqitje e vendosjes së përcjellësve në shtyllë.

TABELA 6.1 Të dhënat teknike të përcjellësve ACS

ACSR DIN														
Nominal Area		Area			Stranding & Wire Dia.				Diameter		Approximate Weight	Breaking Load	DC Resistance at 20°C	Current Rating
Aluminum	Steel	Aluminum	Steel	Total	Aluminum	Steel	Aluminum	Steel	Core	Conductor				
mm ²	m m ²	mm ²	m m ²	m m ²	No.	No.	mm	mm	mm	mm	Kg/km	KN	Ω/km	A
300	50	304.3	49.5	354	26	7	3.86	3.00	9.00	24.44	1228.2	105.09	0.0949	740
305	40	304.6	39.4	344	54	7	2.68	2.68	8.04	24.12	1150.1	99.30	0.0949	740
340	30	339.3	29.8	369	48	7	3.00	2.33	6.99	24.99	1172.0	92.56	0.0851	790
380	50	381.7	49.5	431	54	7	3.00	3.00	9.00	27.00	1443.5	120.91	0.0757	840
385	35	386.0	34.1	420	48	7	3.20	2.49	7.47	26.67	1332.6	104.31	0.0748	850
435	55	434.3	56.3	491	54	7	3.20	3.20	9.60	28.80	1642.4	136.27	0.0666	900

TABELA 6.2 Parametrat kryesorë të linjës në ATP [100]

	Ph.no.	Rin	Rout	Resis	Horiz	Vtower	Vmid
#		[cm]	[cm]	[ohm/km DC]	[m]	[m]	[m]
1	1	0.5	1.22	0.0949	-6	9.033	9.033
2	2	0.5	1.22	0.0949	0	9.033	9.033
3	3	0.5	1.22	0.0949	6	9.033	9.033
4	0	0.45	1	0.97	-4.2	15.5	15.5
5	0	0.45	1	0.97	4.2	15.5	15.5

6.3 Rezultatet e simulimeve për përgjigjet e tensioneve dhe rrymave në hyrje dhe dalje të linjës në situatat përkatëse:

6.3.1 Kycje e linjës në regjim punimi pa ngarkesë [100]

a. Rezultatet e simulimeve për Modelin PI

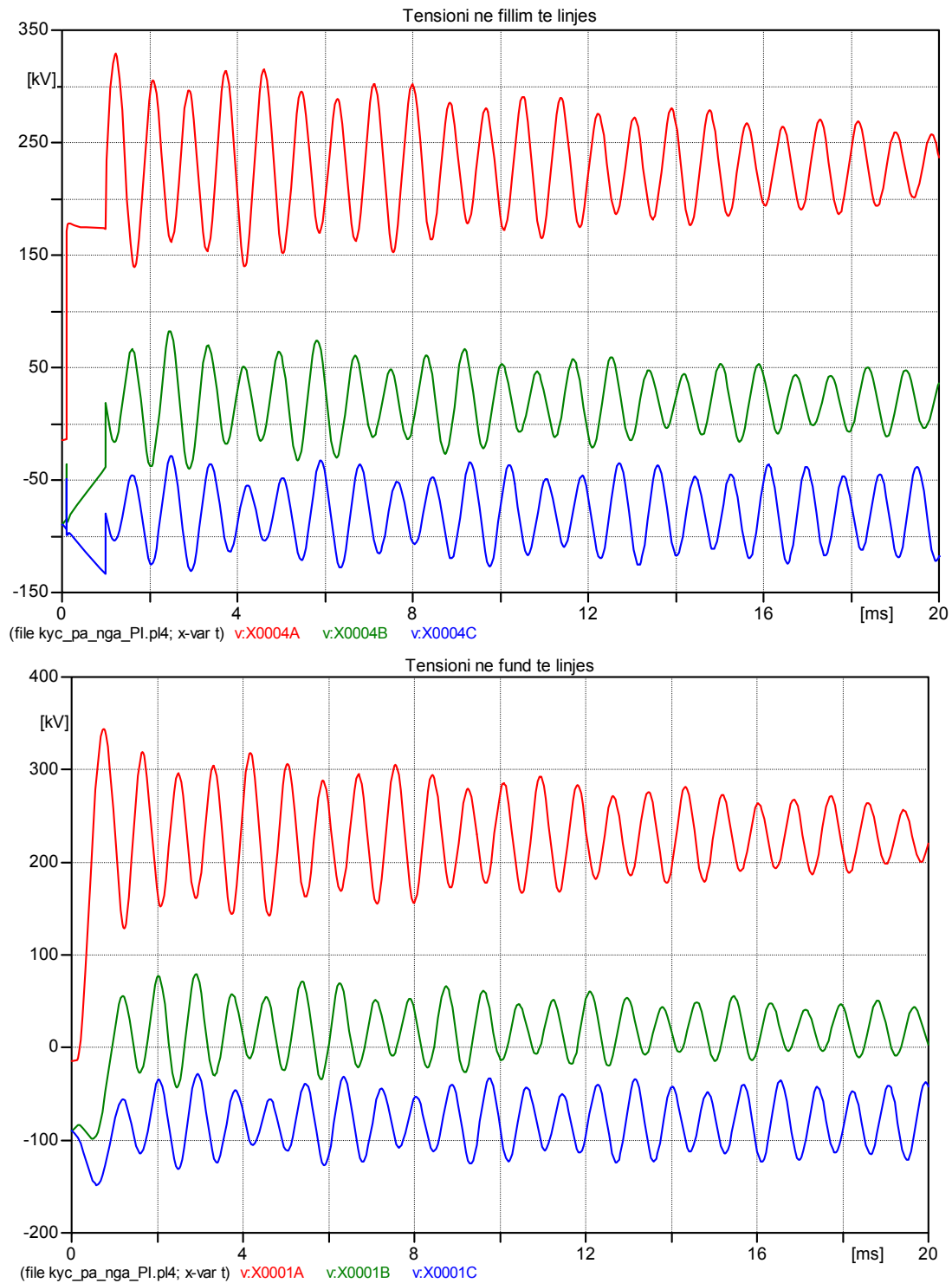


FIGURA 6.3 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Pi

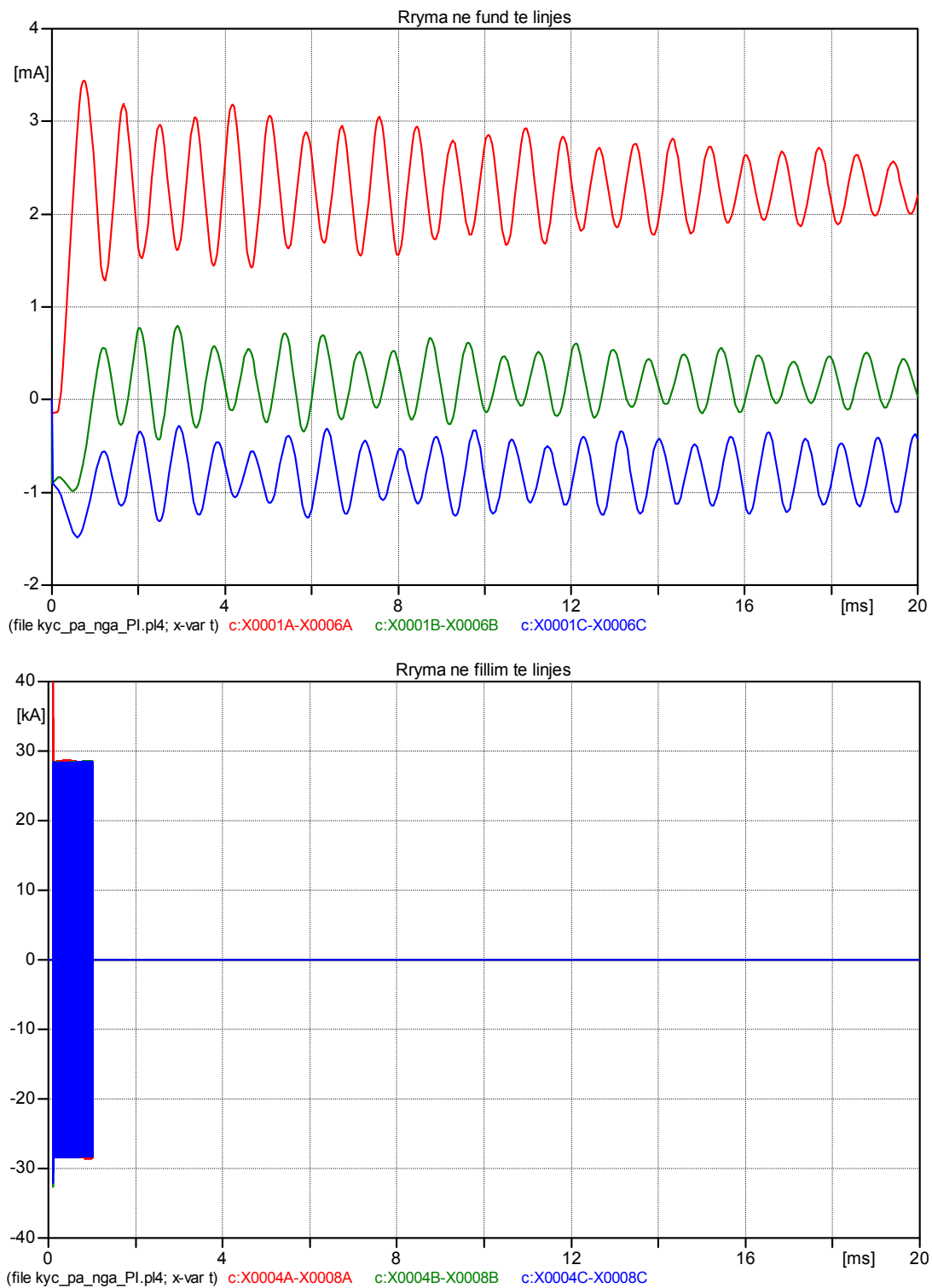


FIGURA 6.4 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Pi.

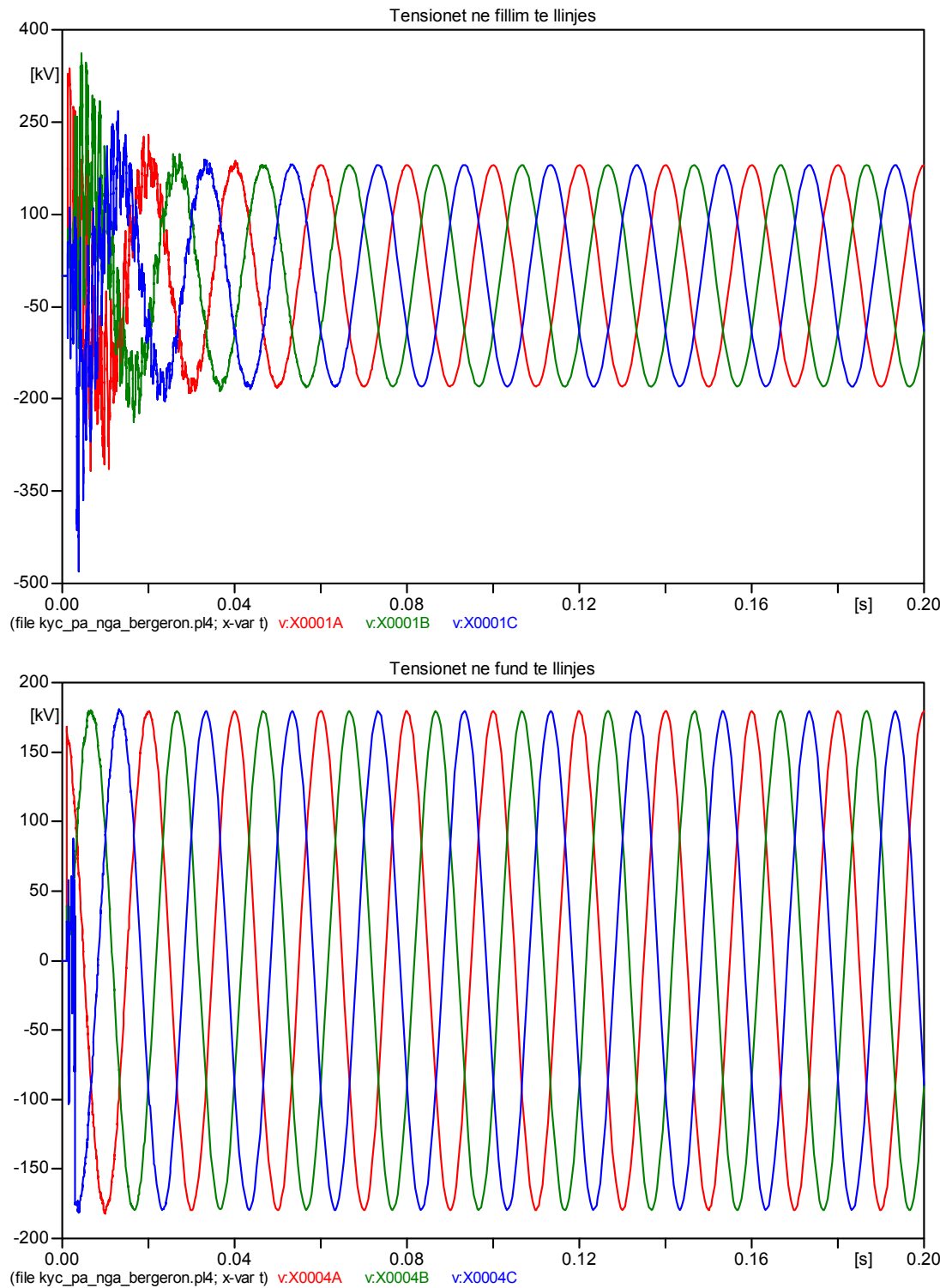
b. Rezultatet e simulimeve për Modelin Bergeron

FIGURA 6.5 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Bergeron.

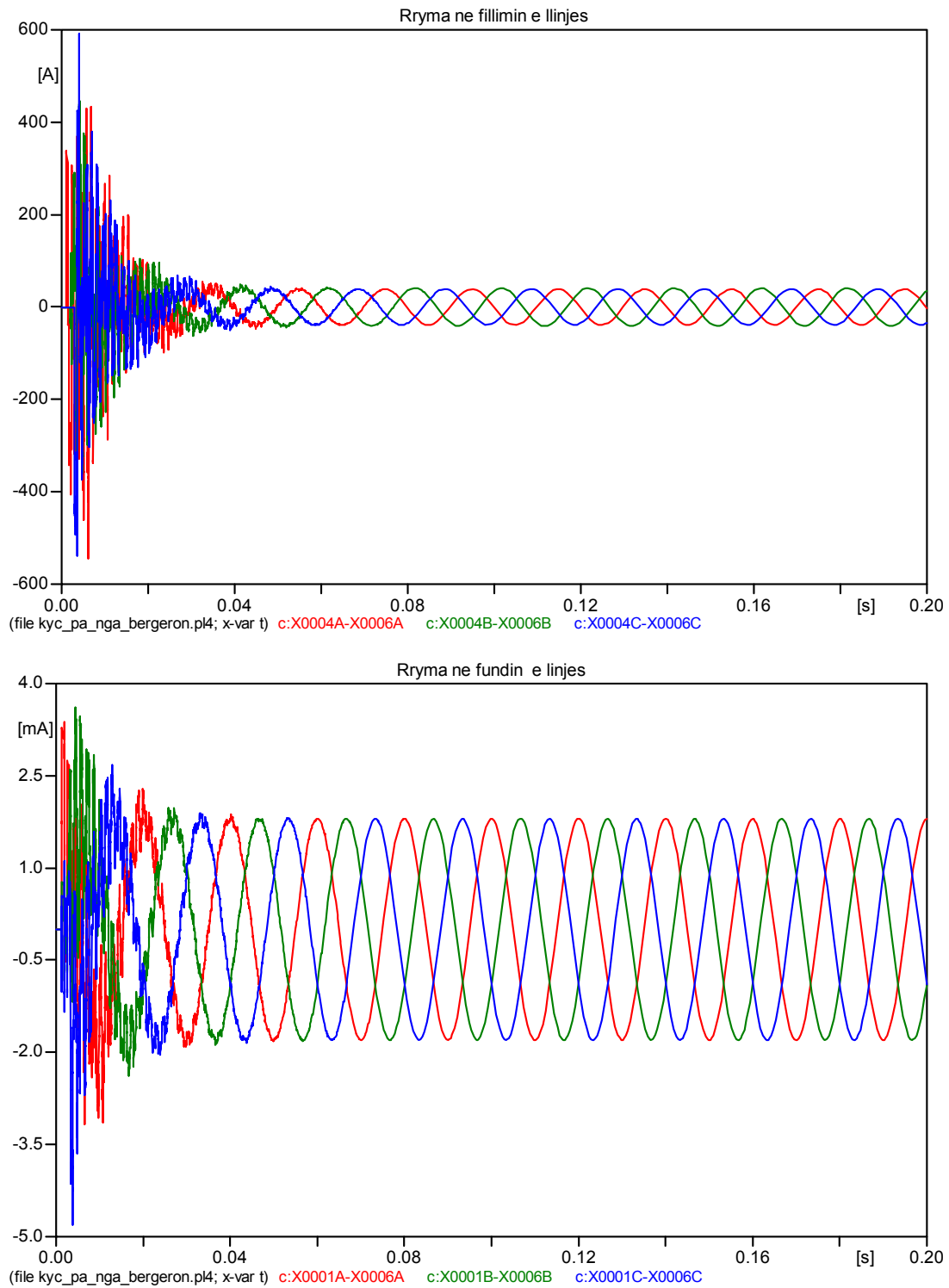


FIGURA 6.6 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Bergeron.

c. Rezultatet e simulimeve për modelin J. Marti

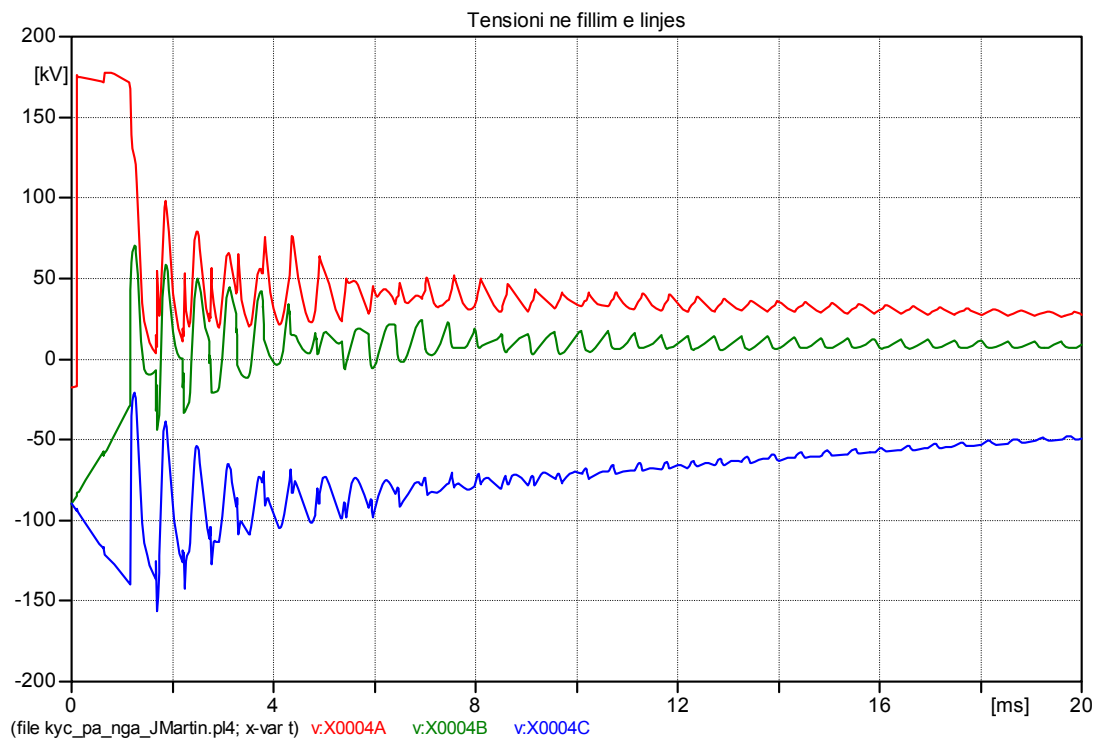
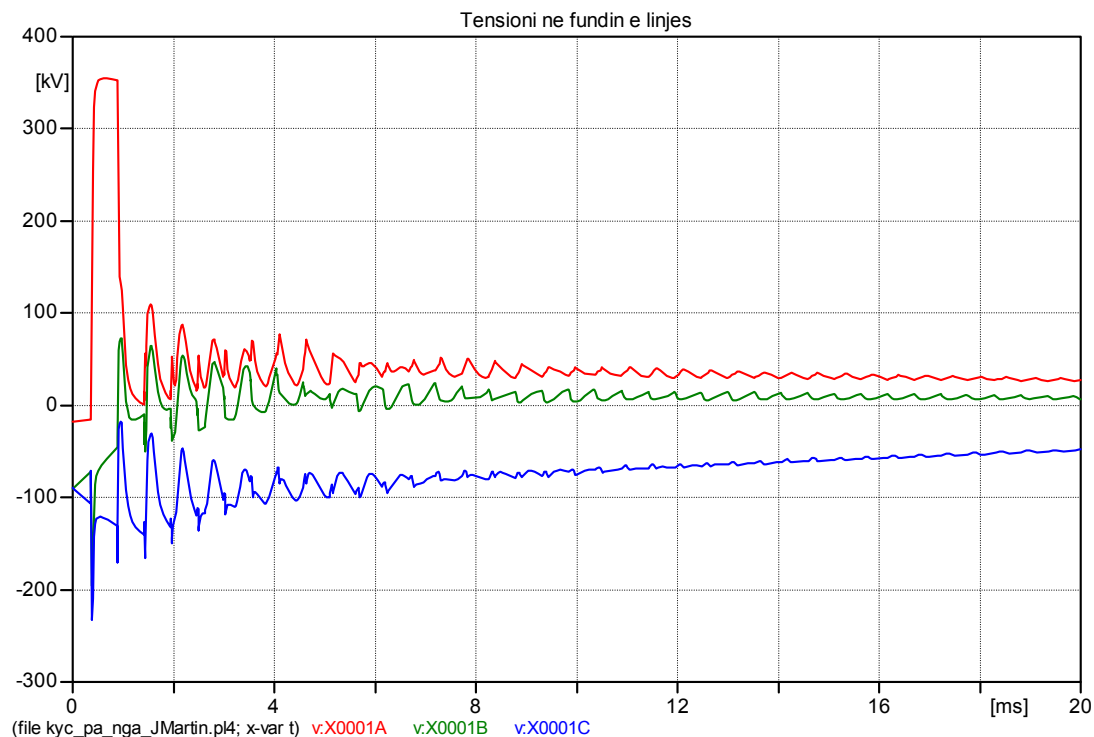


FIGURA 6.7 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit J. Marti

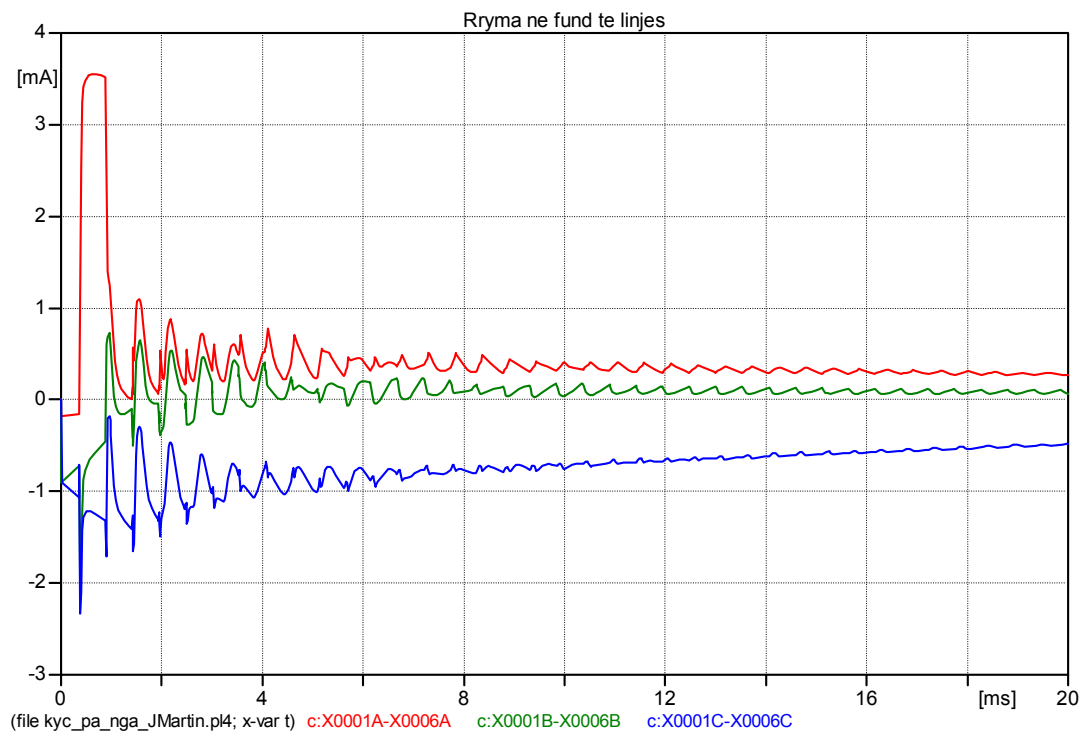
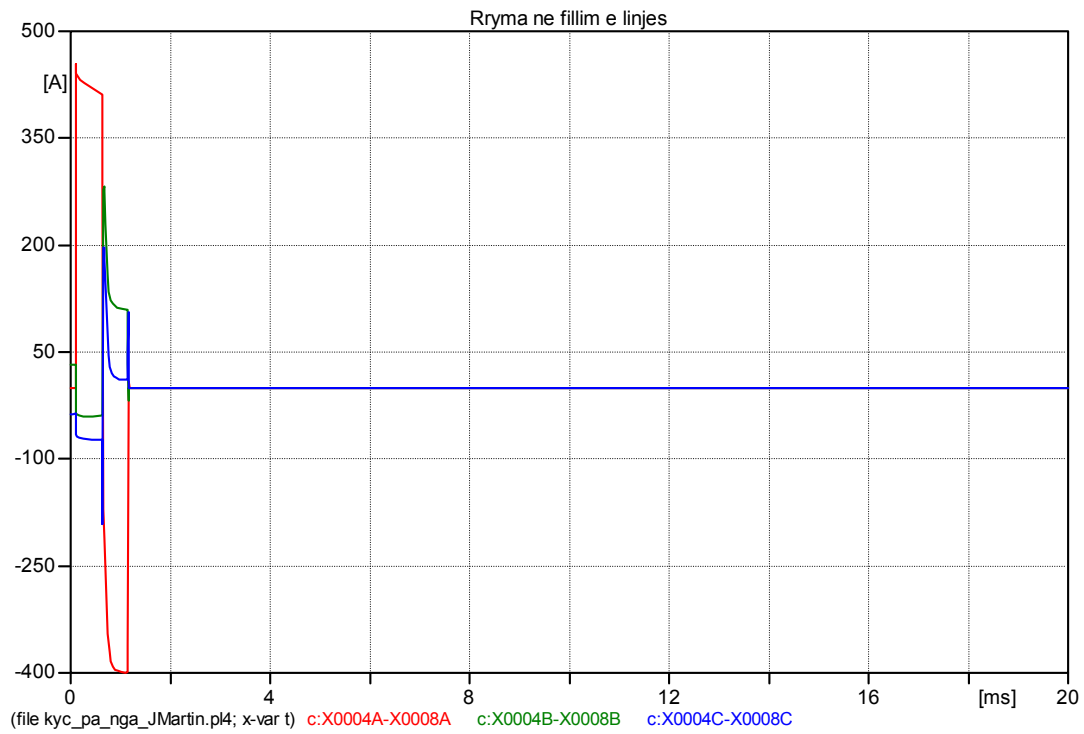
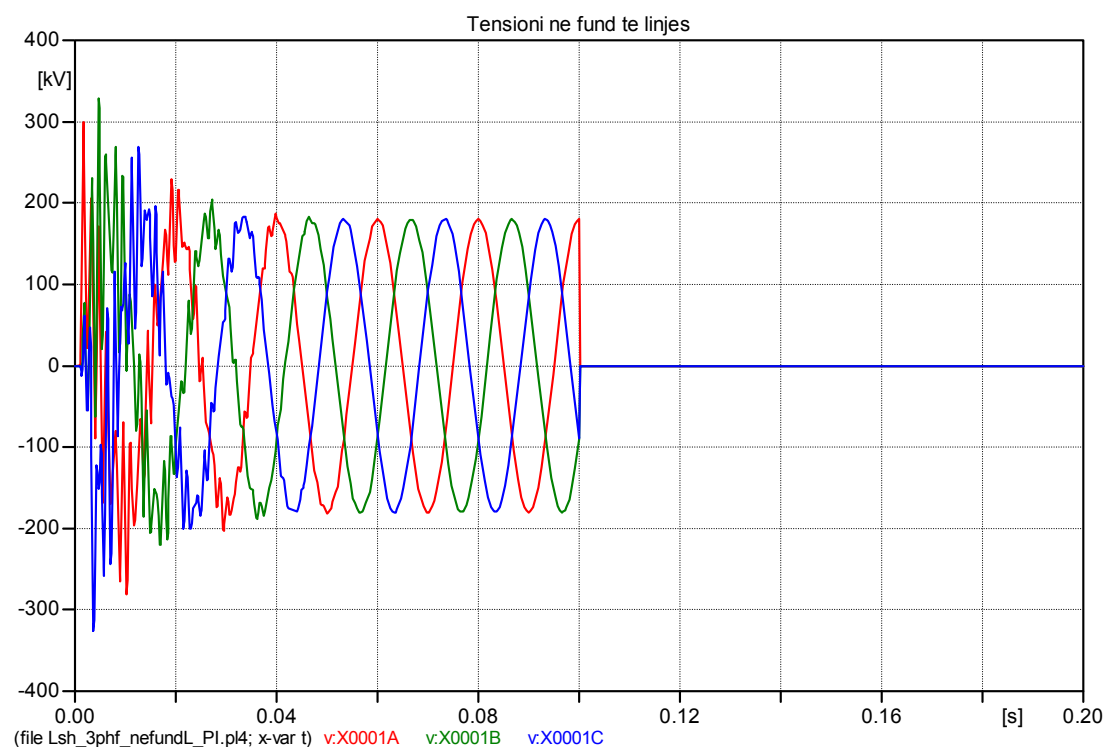


FIGURA 6.8 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit J.Marti

d. Analiza e rezultateve të simulimeve [98], [99], [100]

1. Siç mund të vihet re nga rezultatet e simulimeve për të tre modelet, në këtë situatë komutimi në linjë, më i rëndësishmi është informacioni mbi rrymën në hyrje të linjës gjatë kyçjes së saj në regjim punimi pa ngarkesë, e cila merr vlera të konsiderueshme deri në 400A (shih kurbat e rrymës në hyrje sipas modelit Bergeron dhe J.Marti).
2. Vlerat e mbritensioneve në linjë, në të tre rastet e modeleve janë të vogla (nuk e kalojnë tensionin nominal të linjës) dhe janë shumë afër gjendjes së qëndrueshme.
3. Informacioni i përftuar nga modeli Pi (si për rrymat, edhe për tensionet në linjë), është më i përshtatshëm për vlerësimin e gjendjes së qëndrueshme. Ndërsa për vlerësimin e sjelljes së linjës gjatë procesit kalimtar, më të përshtatshmit në këtë rast janë modelet Bergeron dhe J.Marti, të cilët japin pothuajse të njëjtin rezultat (nga krahasimi i vlerave të rrymave dhe tensioneve dhe kohëve të procesit kalimtar).

6.3.2 Lidhje e shkurtër trifazore në fundin e linjës**a. Rezultatet e simulimeve për modelin Pi**

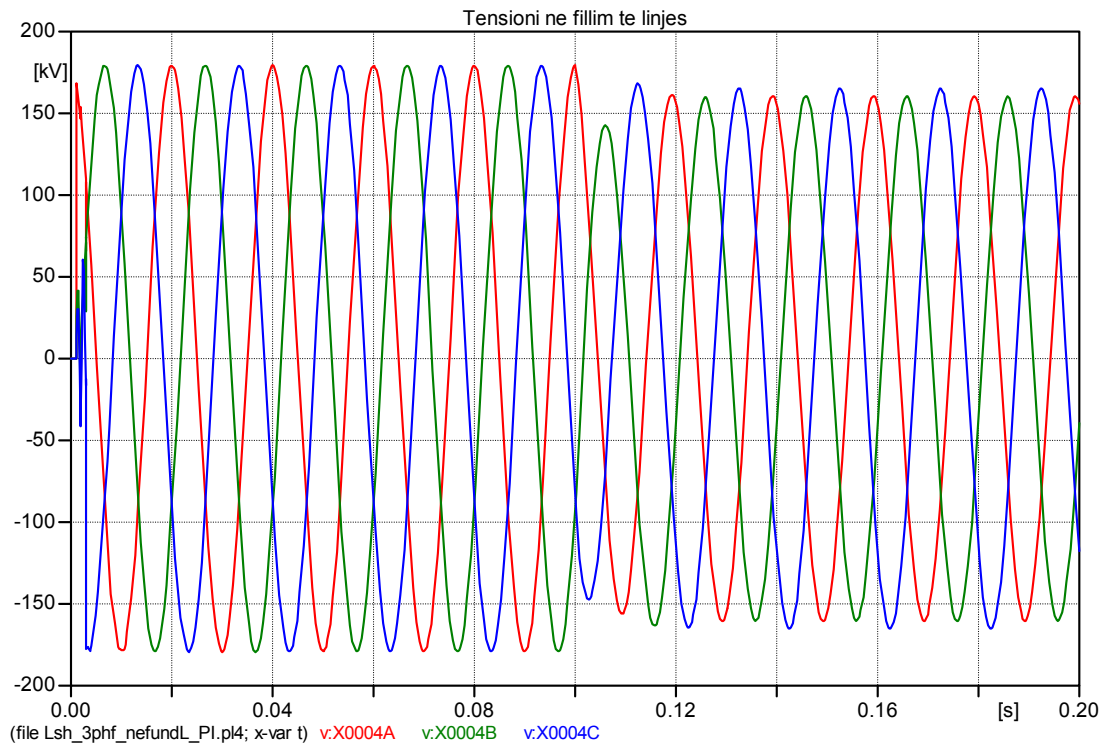
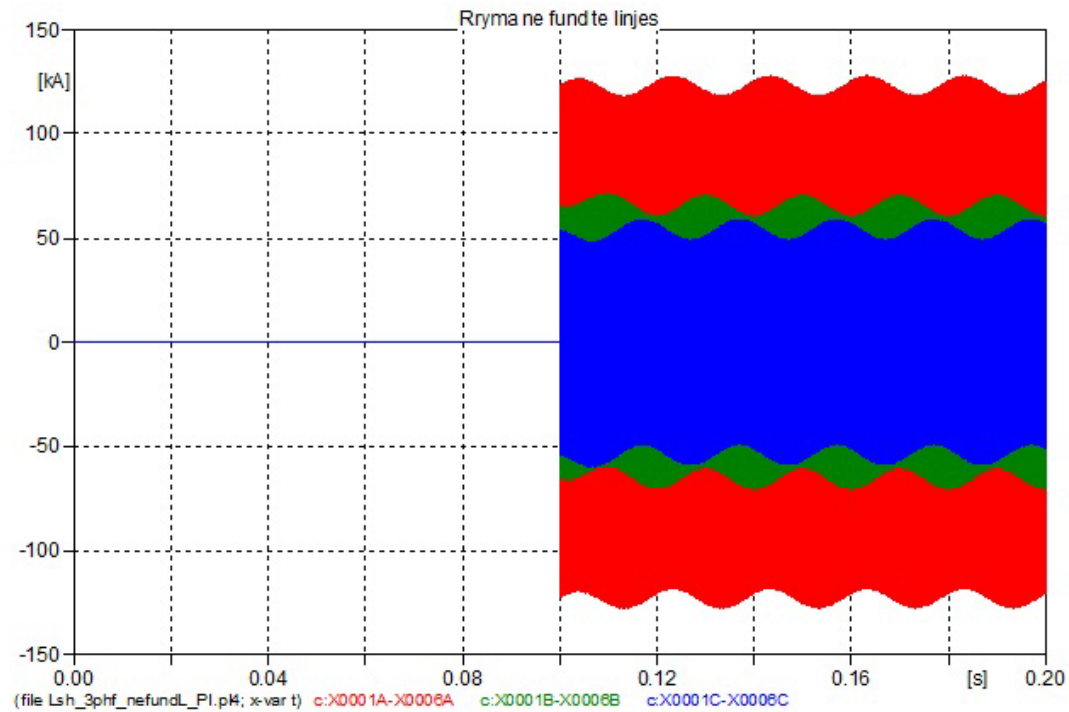


FIGURA 6.9 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër 3-fazore në rastin e modelit Pi



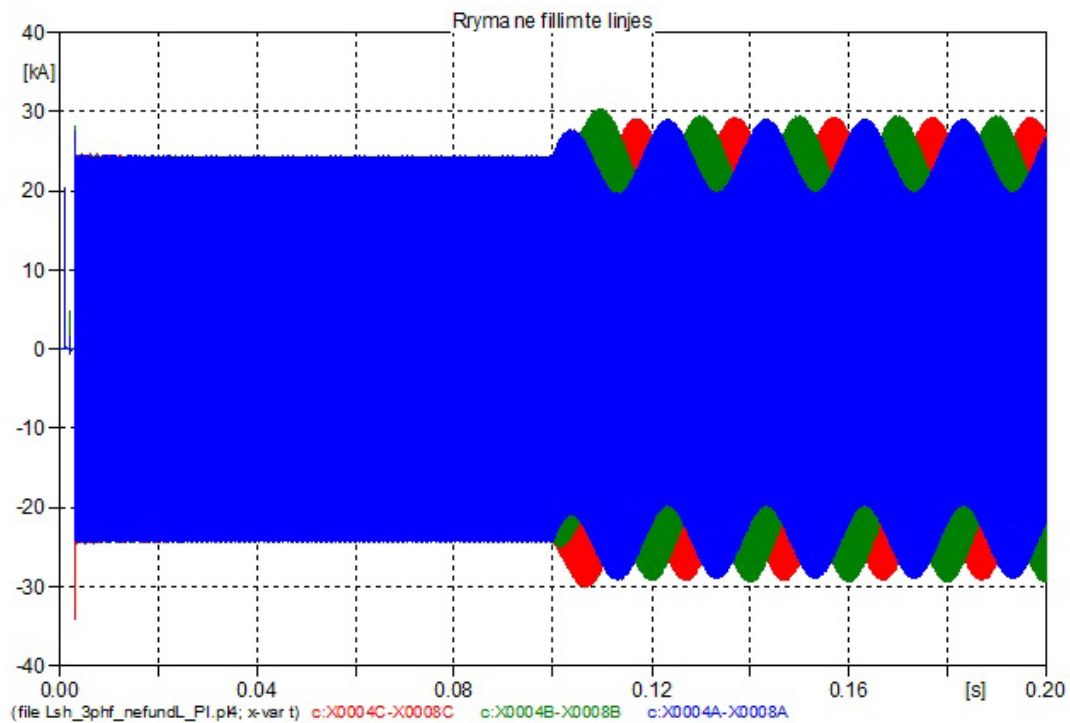
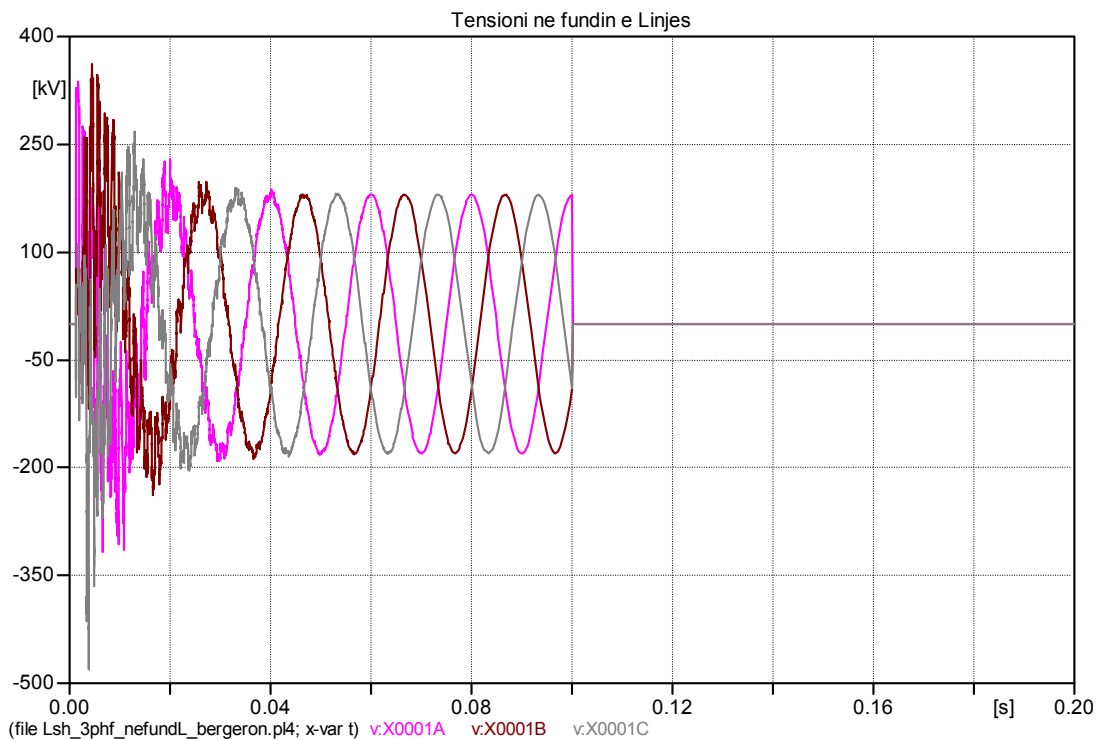


FIGURA 6.10 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër 3-fazore në rastin e modelit Pi

b. Rezultatet e simulimeve për Modelin Bergeron



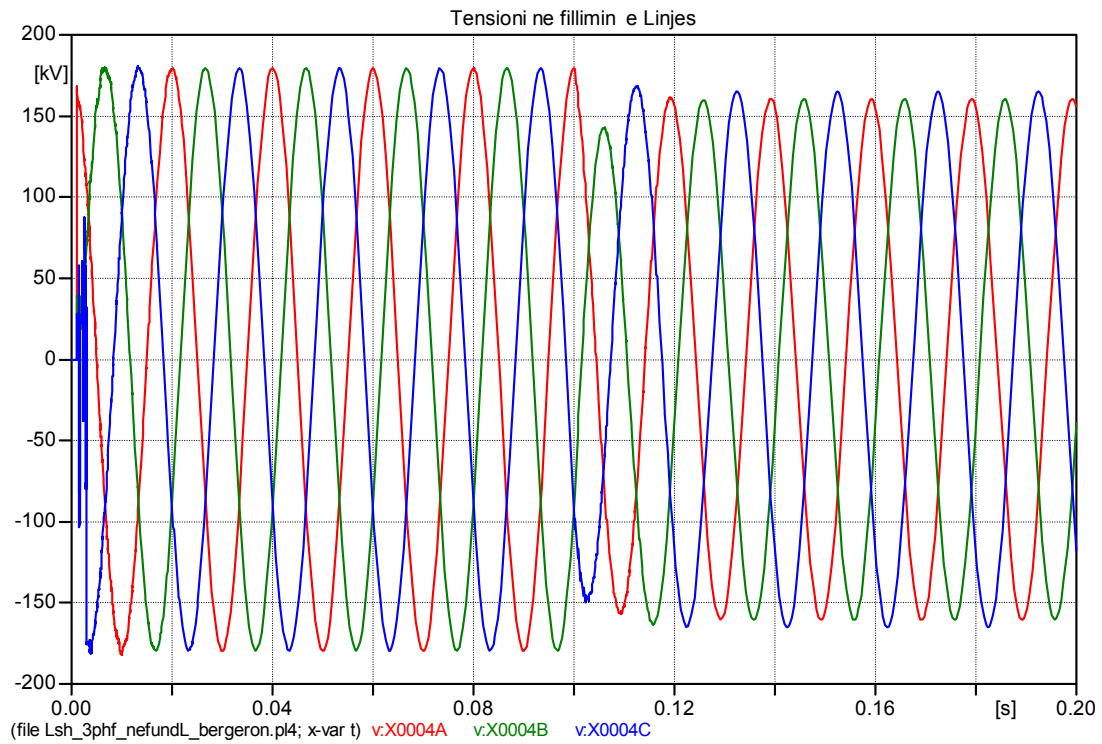
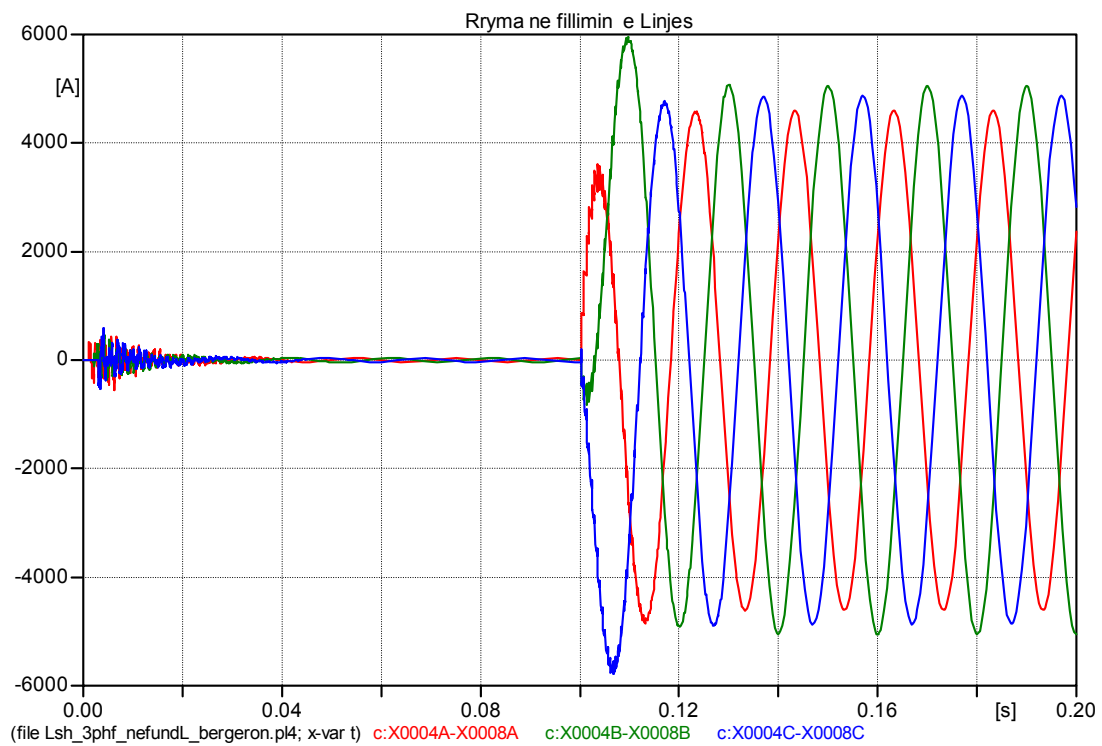


FIGURA 6.11 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër 3-fazore në rastin e modelit Bergeron



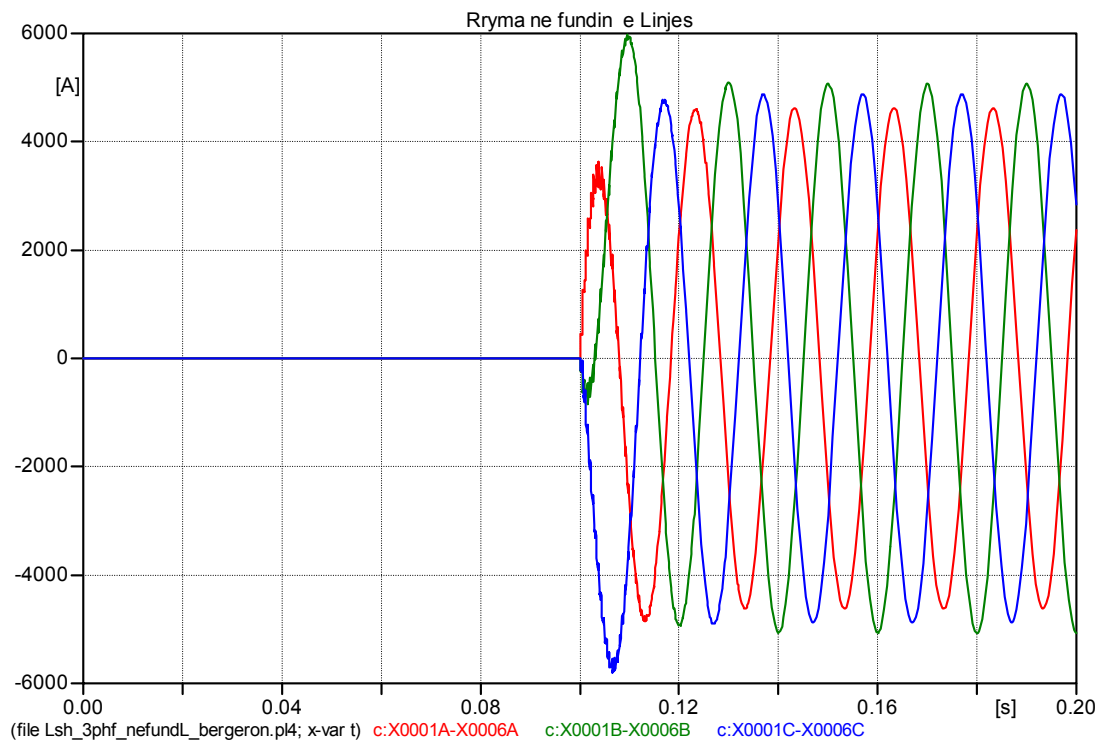


FIGURA 6.12 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër 3-fazore në rastin e modelit Bergeron

c. Rezultatet e simulimeve për modelin J. Marti

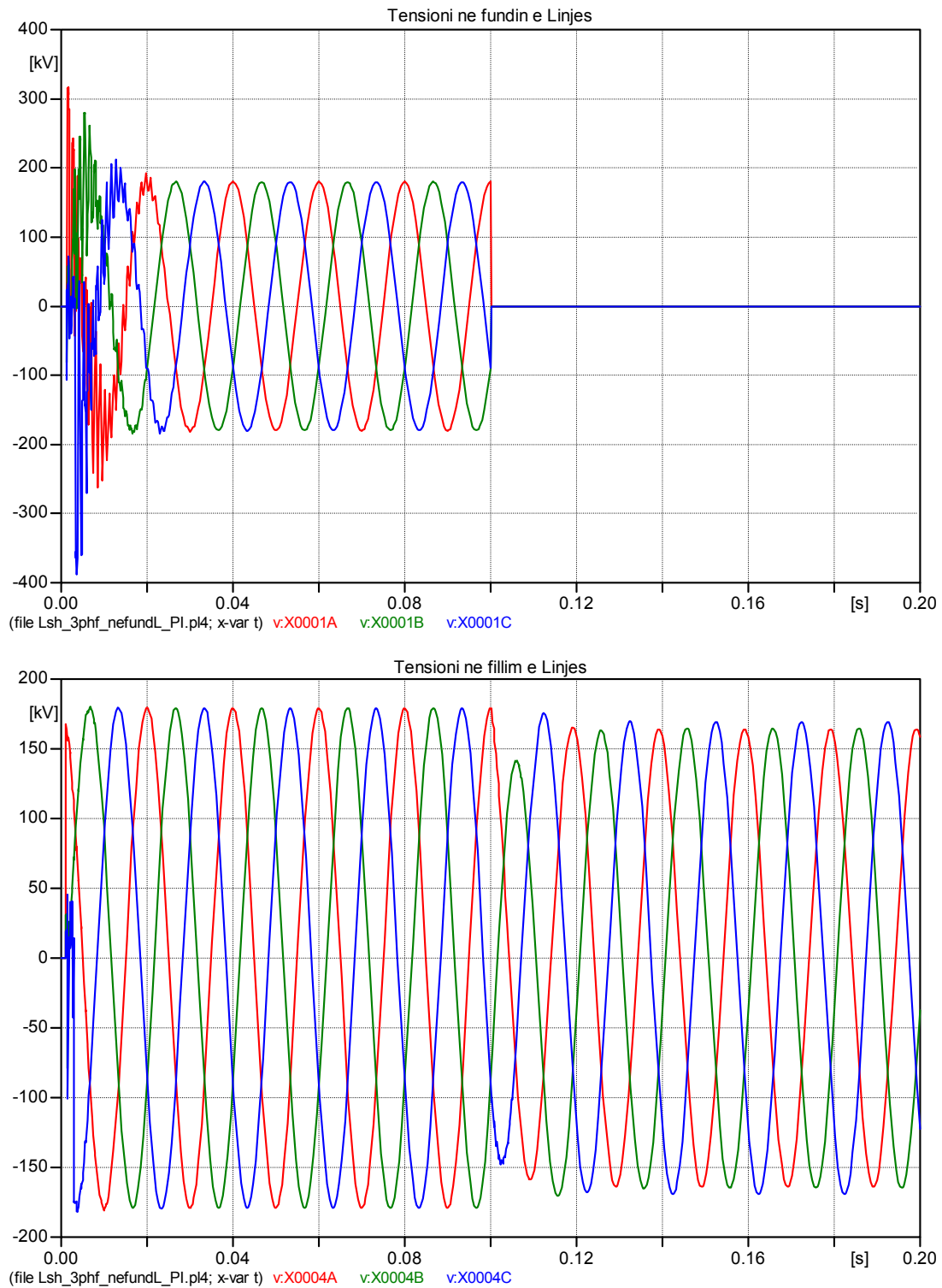


FIGURA 6.13 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër 3-fazore në rastin e modelit J. Marti

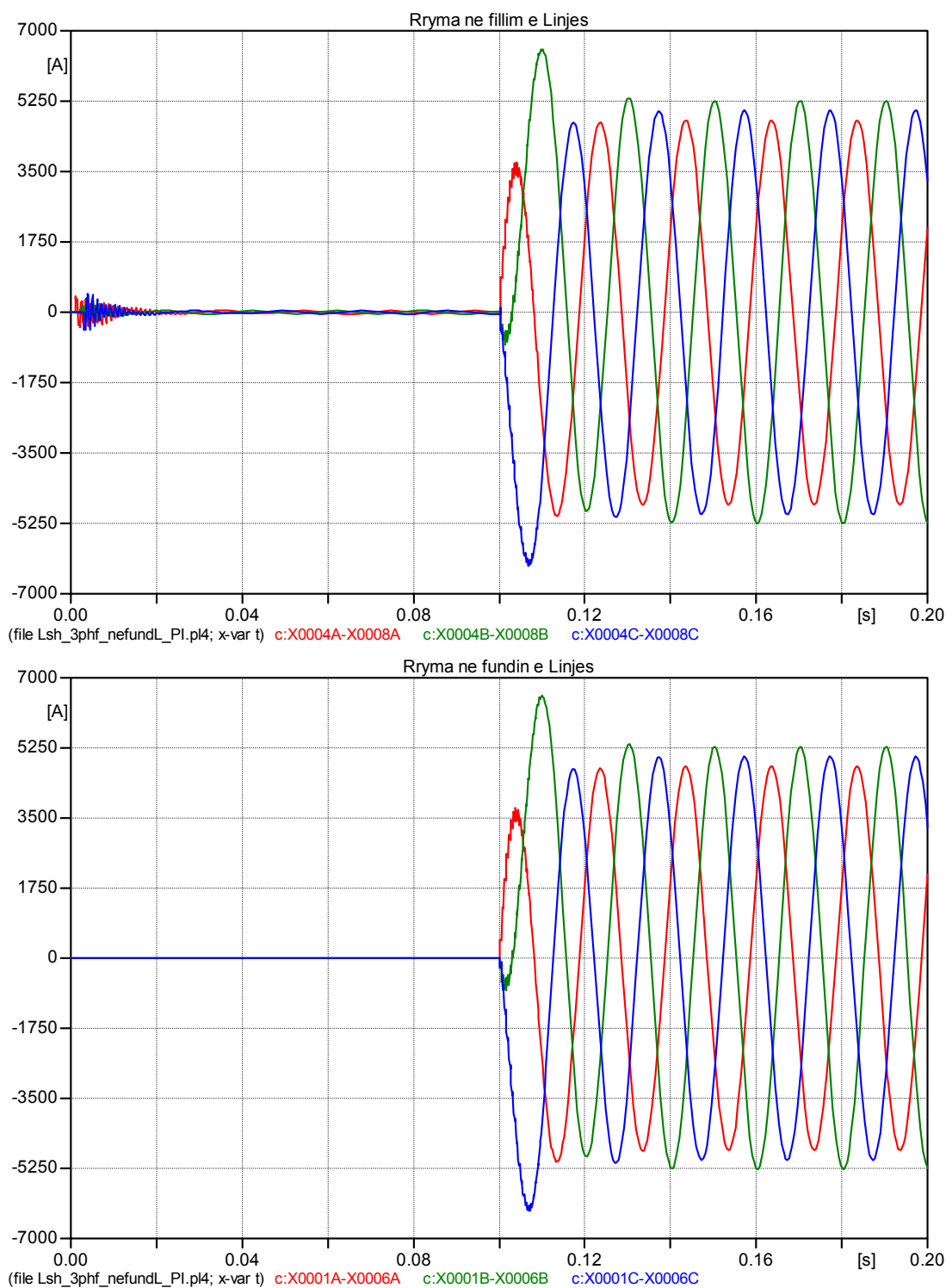


FIGURA 6.14 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër 3-fazore në rastin e modelit J.Marti

d. Analiza e rezultateve të simulimeve

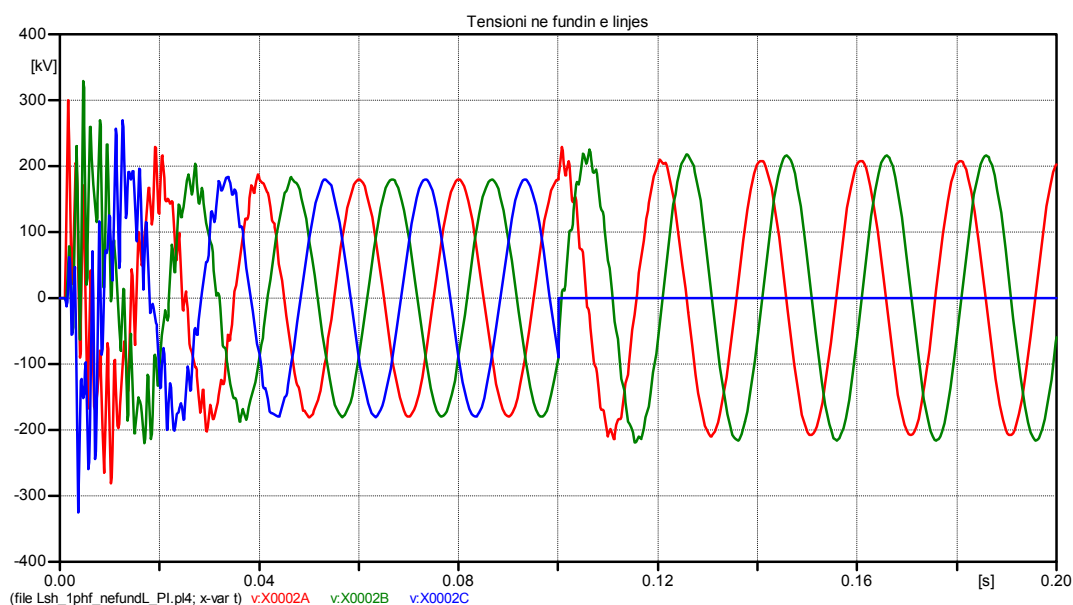
1. Duke përdorur të njëjtën analizë krahasuese si në paragrafin 6.3.2, në rastin e

simulimit të lidhjes së shkurtër trifazore në linjë, vihet re një kohë më e gjatë zhvillimi e procesit kalimtar (në të tre modelet) [99],[101].

2. I rëndësishëm për tu vlerëuar në këtë rast, është informacioni mbi rrymat në fund të linjës (atje ku ka ndodhur lidhja e shkurtër me tokën), të cilat arrijnë nivelin 6000A. Kjo vlerë është pothuajse e njëjtë si për modelin Bergeron, edhe atë J.Marti dhe duhet konsideruar për tarimin e rrymës së lidhjes së shkurtër të pajisjeve mbrojtëse në linjë.
3. Niveli i mbitensioneve në linjë, sipas informacionit të përftuar nga të tre modelet, është sipas normave të lejuara nga standarti IEC 60071 dhe nuk e kalon vlerën nominale të tensionit të linjës.

6.3.3 Lidhje e shkurtër njëfazore(faza C) me tokën [100]

a. Rezultatet e simulimeve për modelin Pi



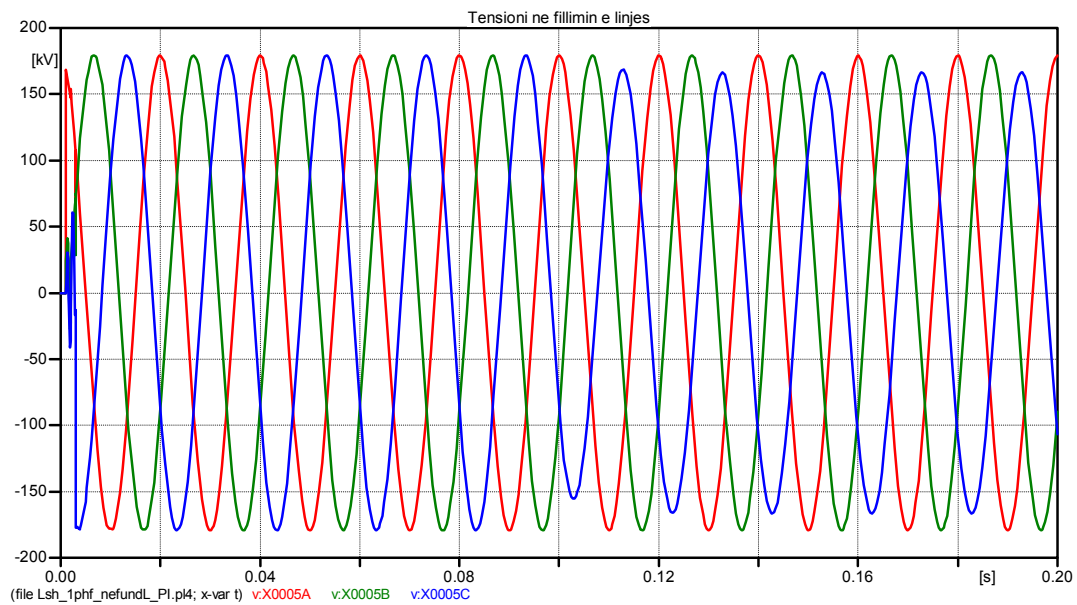
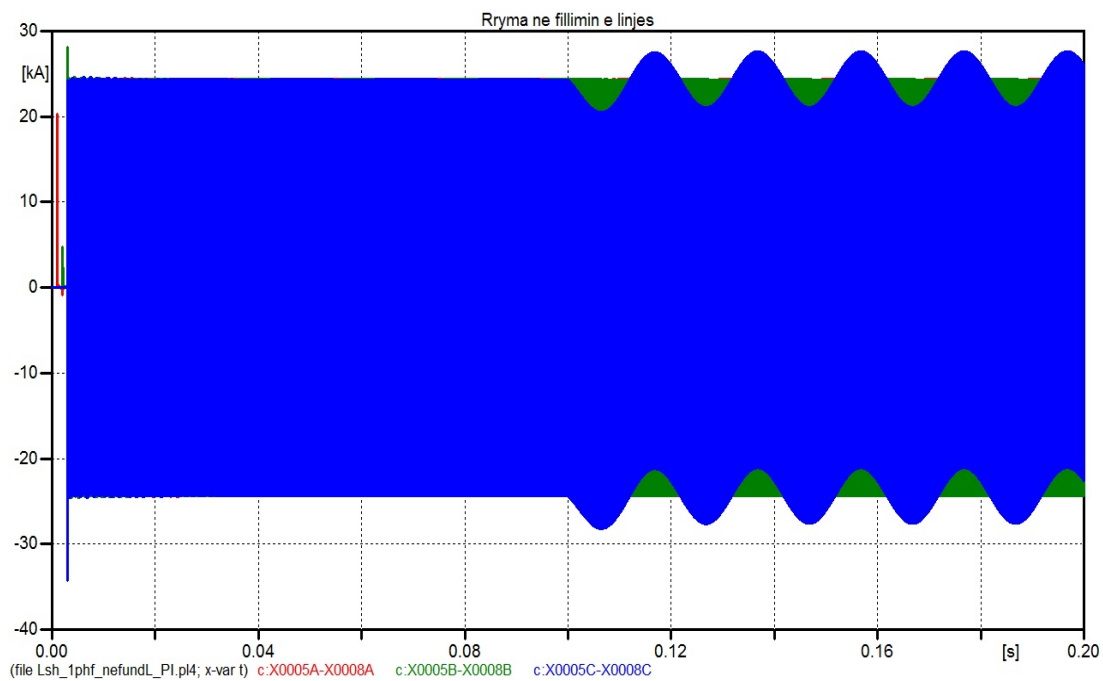


FIGURA 6.15 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër njëfazore me tokën në rastin e modelit Pi



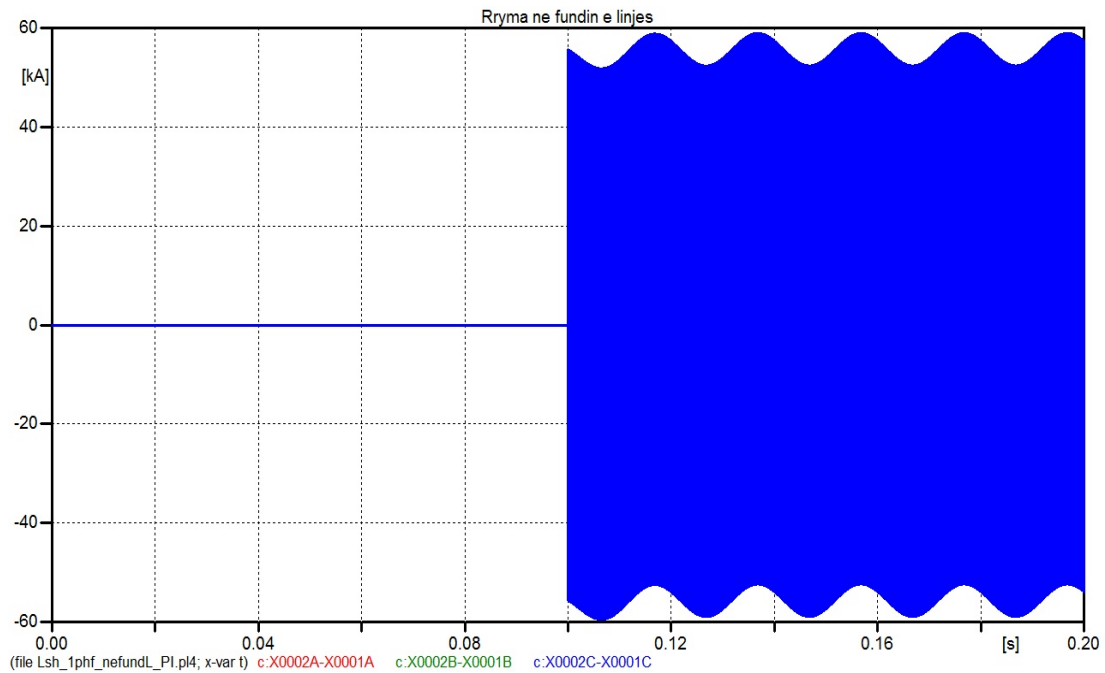
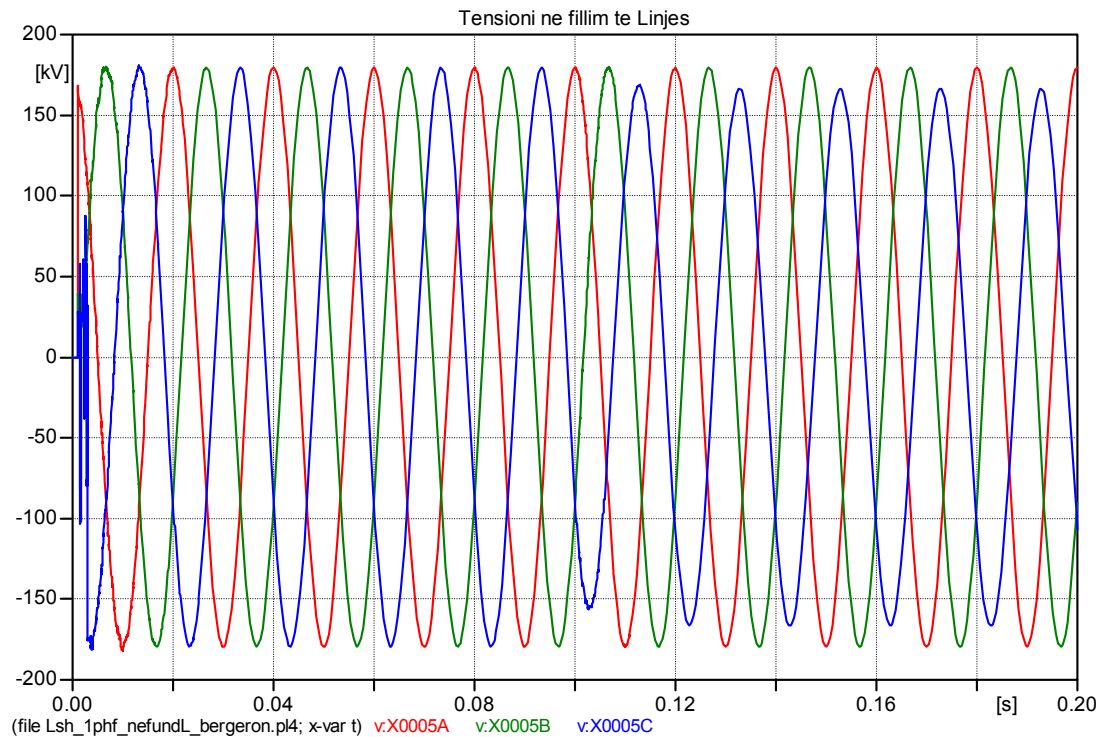


FIGURA 6.16 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër njëfazore me tokën në rastin e modelit Pi

b. Rezultatet e simulimeve për Modelin Bergeron



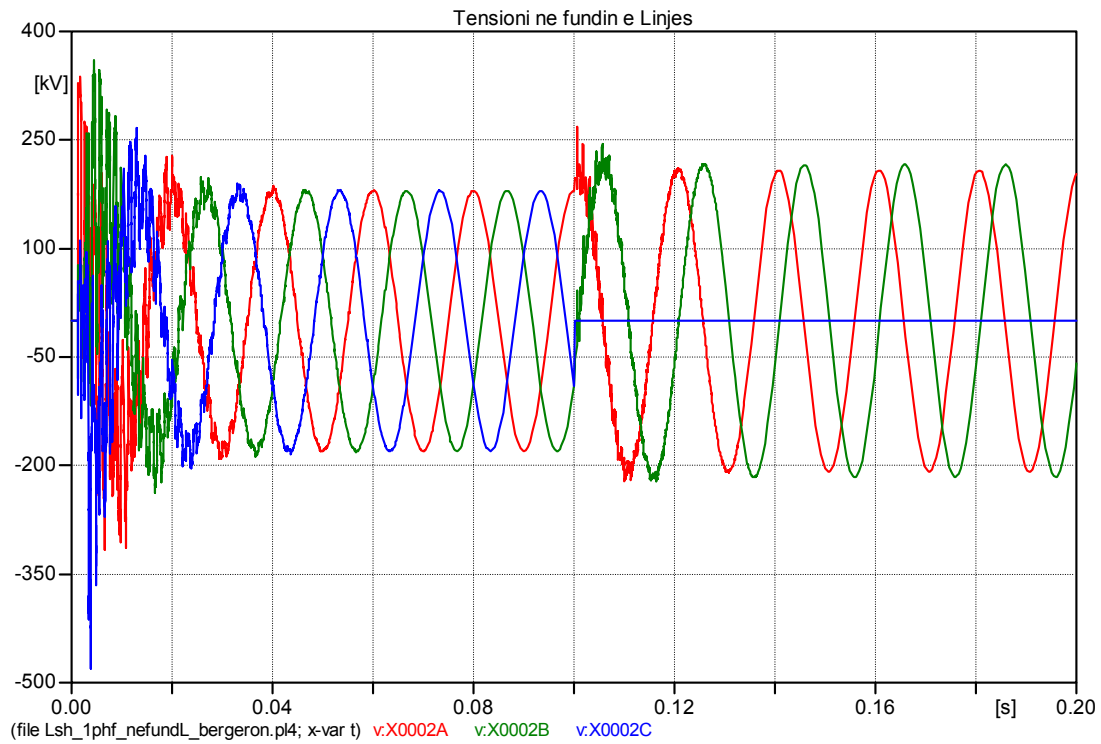
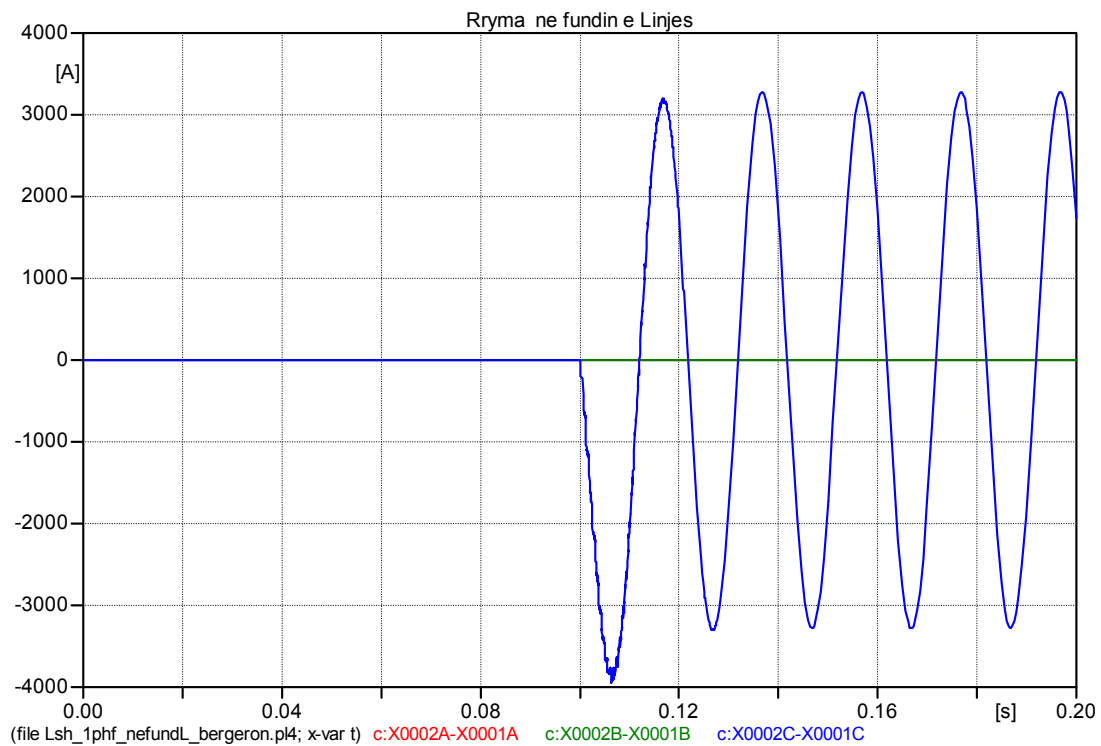


FIGURA 6.17 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër njëfazore me tokën në rastin e modelit Bergeron



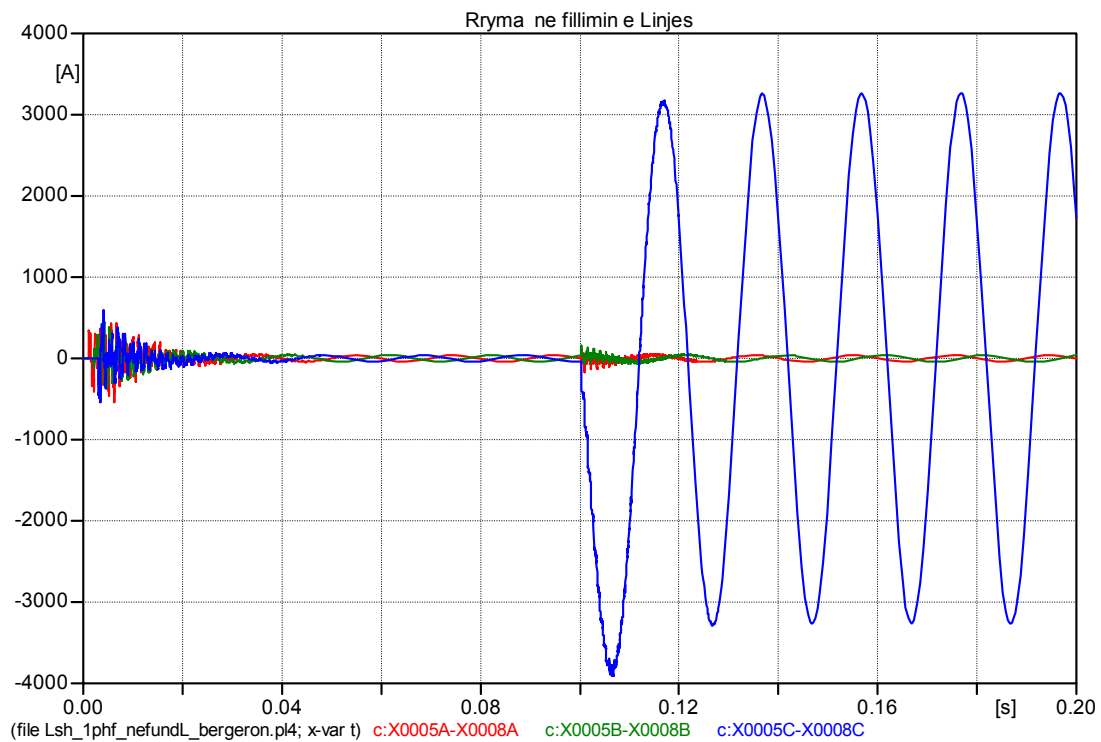
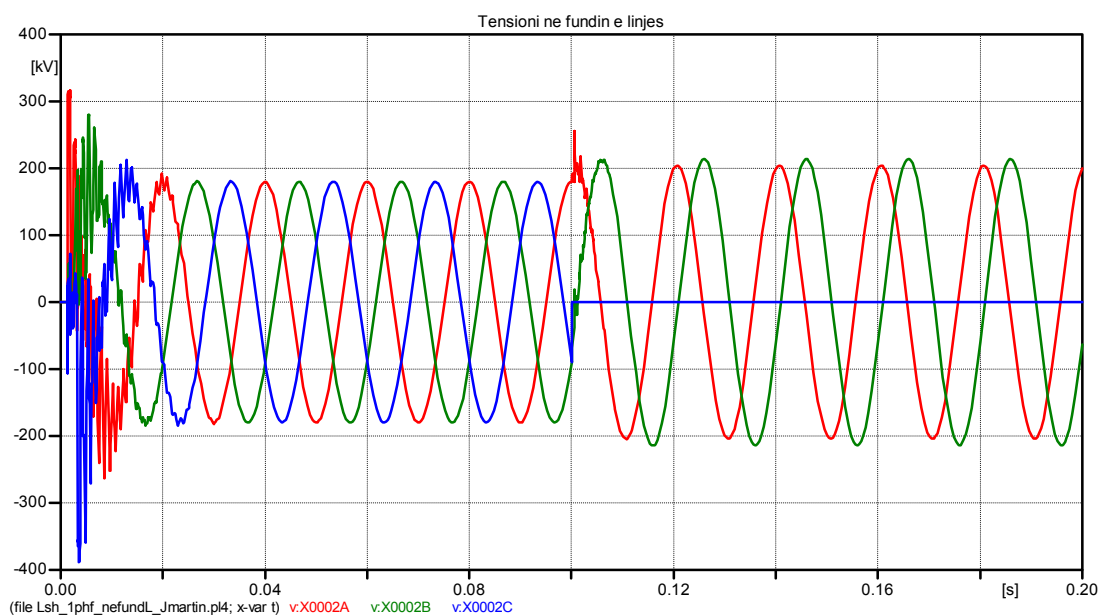


FIGURA 6.18 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër njëfazore me tokën në rastin e modelit Bergeron

c. Rezultatet e simulimeve për modelin J.Marti



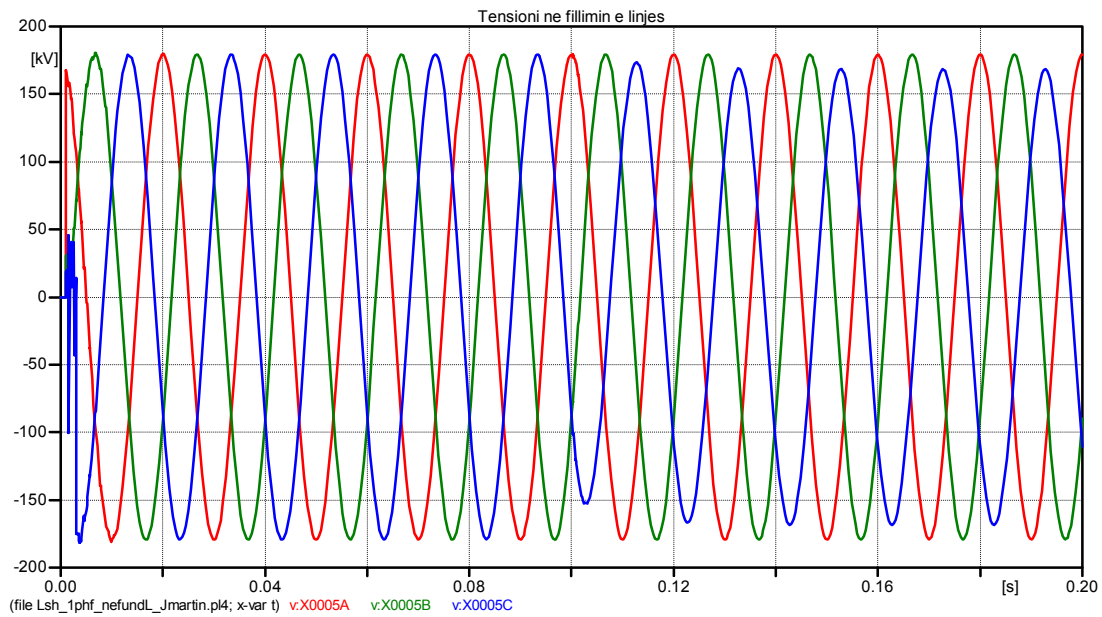
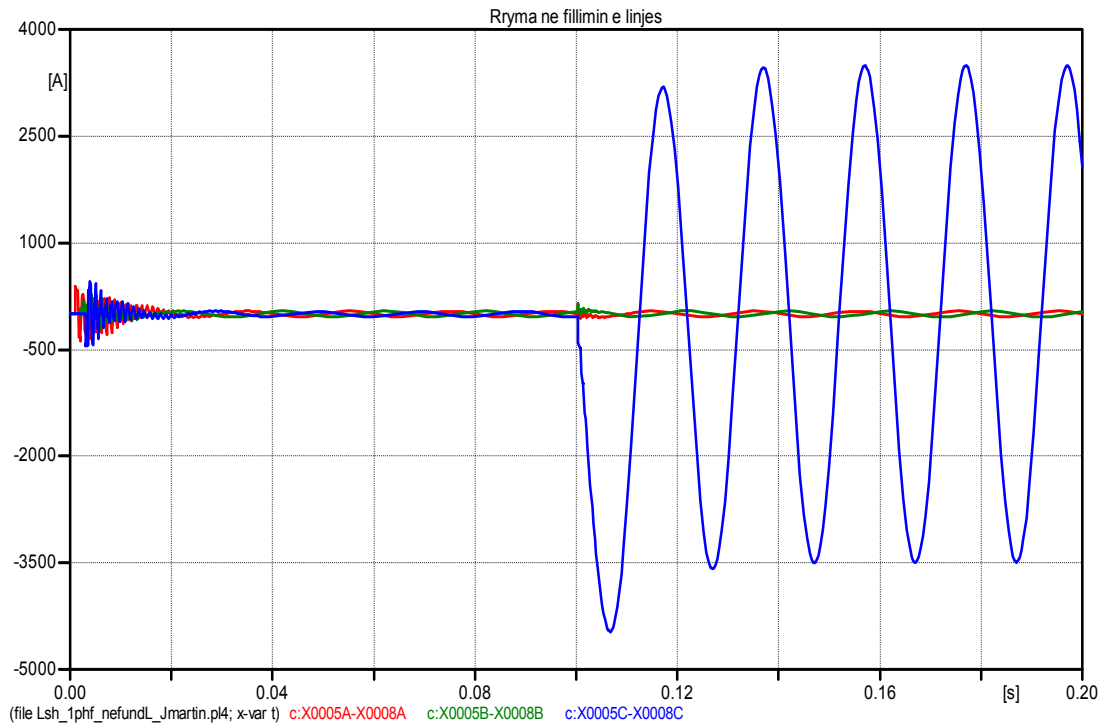


FIGURA 6.19 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër njëfazore me tokën në rastin e modelit J.Marti



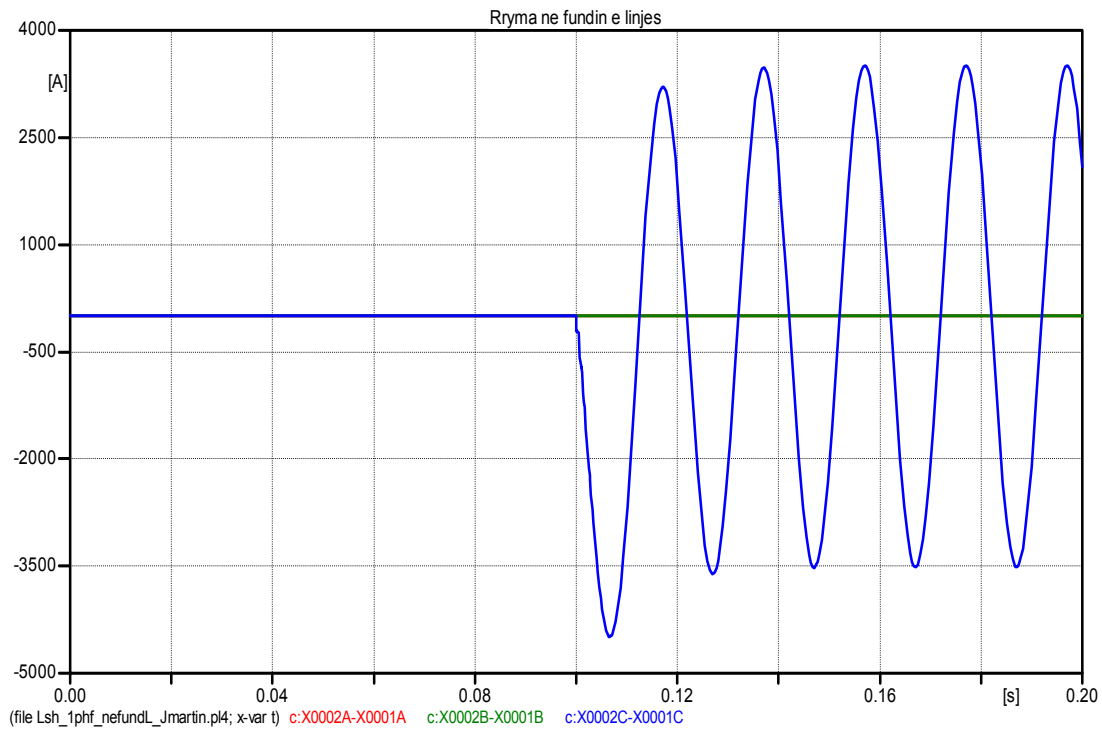


FIGURA 6.20 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për lidhje të shkurtër njëfazore me tokën në rastin e modelit J.Marti

Për këtë rast simulimi, vlen e njëjta analizë krahasuese si në paragrafin 6.3.2.

6.3.4 Çkyçje e linjës në regjim punimi pa ngarkesë [100]

a. Rezultatet e simulimeve për modelin Pi

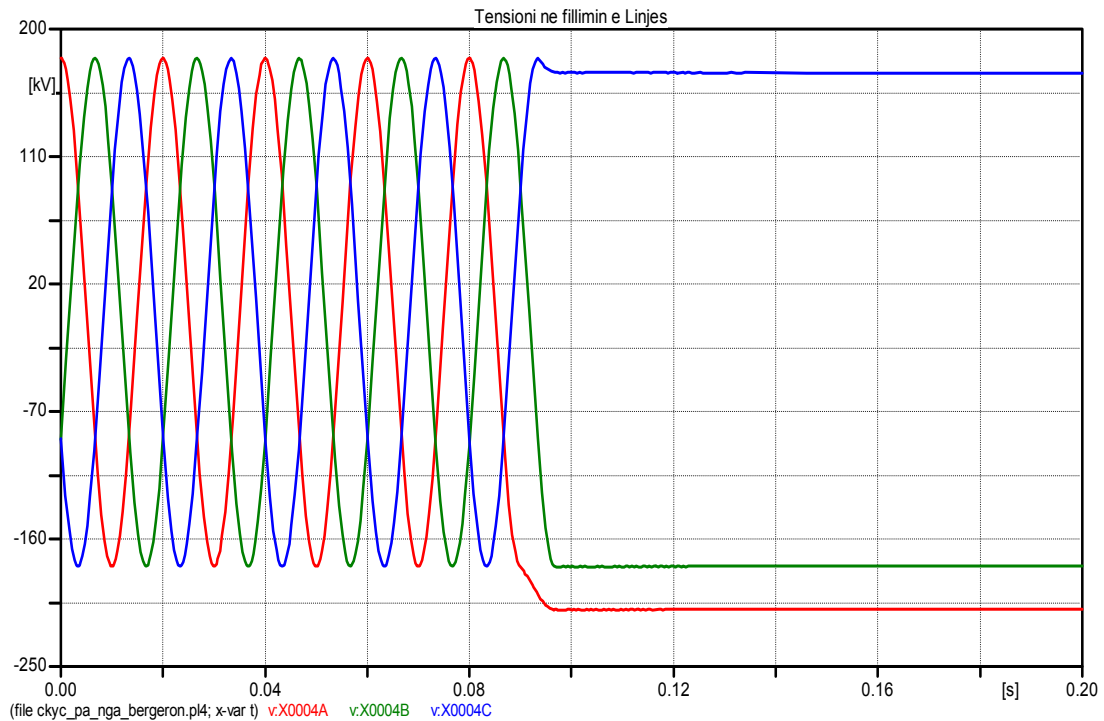
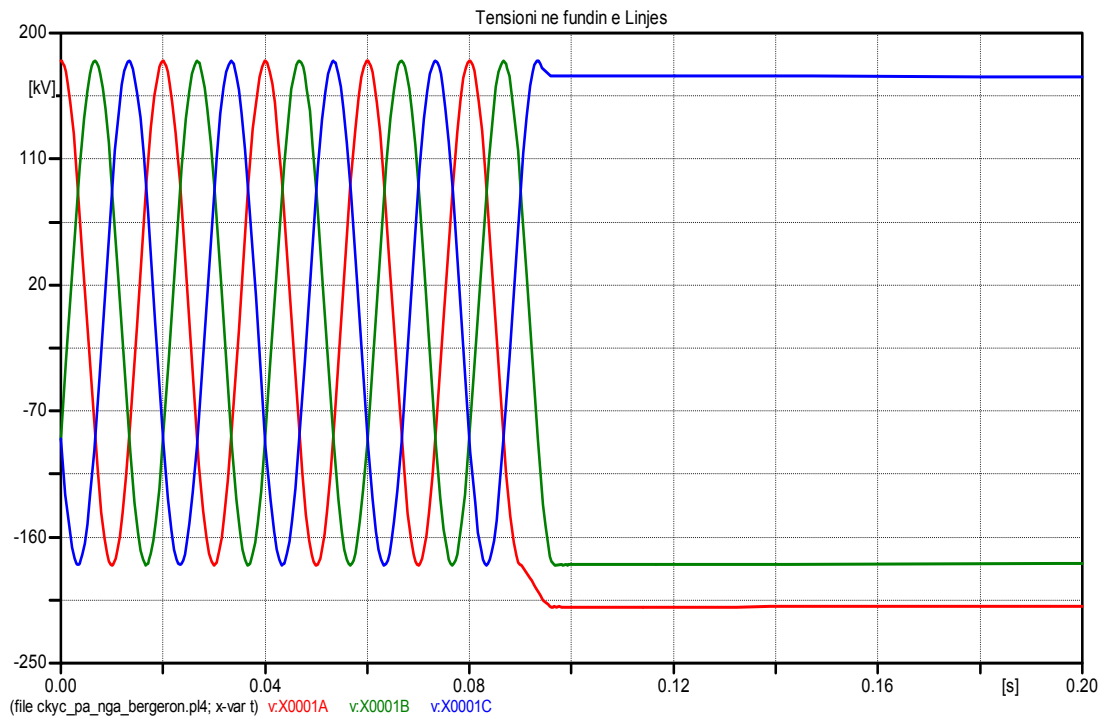


FIGURA 6.21 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për çkyçje në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Pi

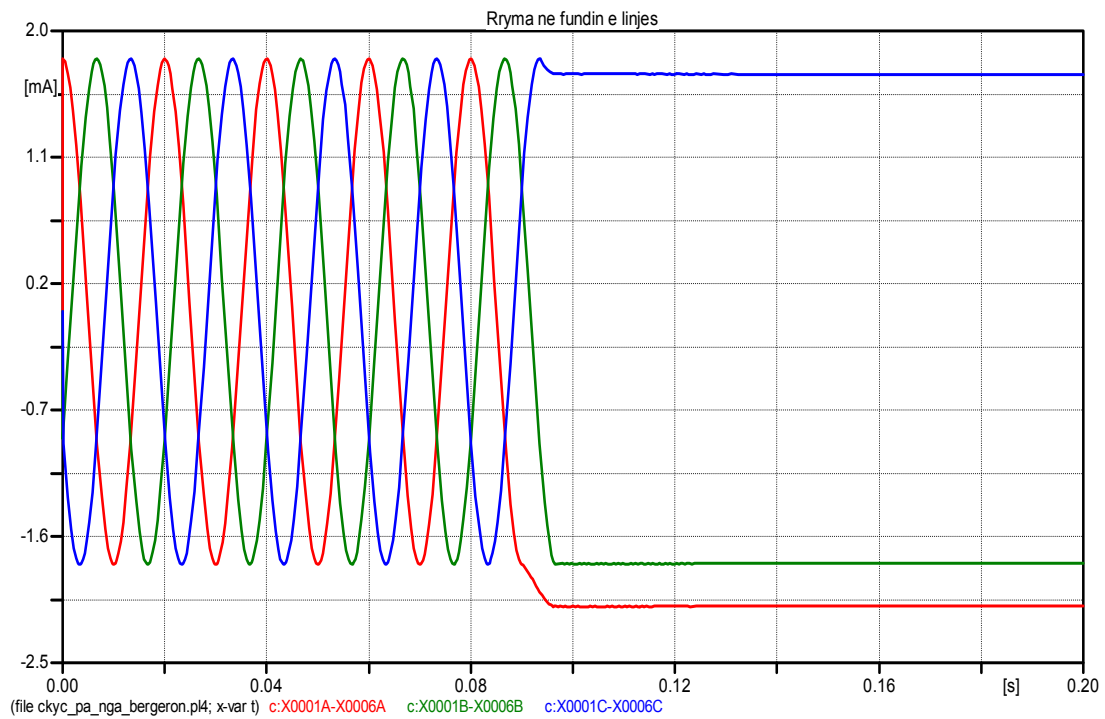
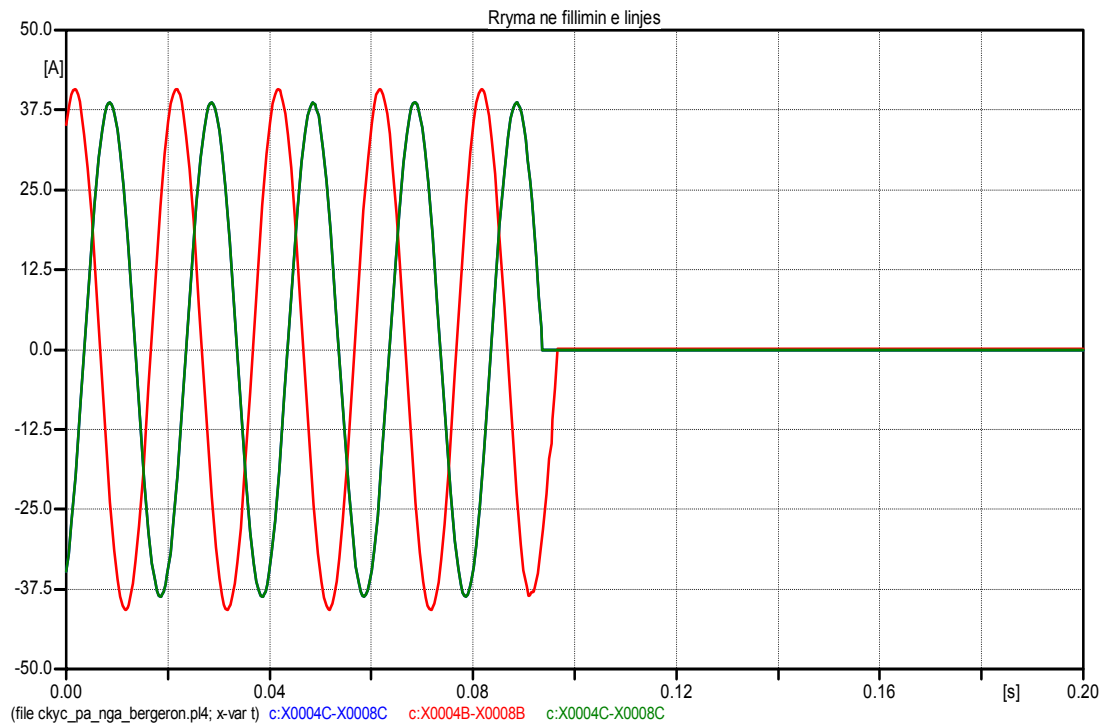


FIGURA 6.22 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për çkyçje në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Pi

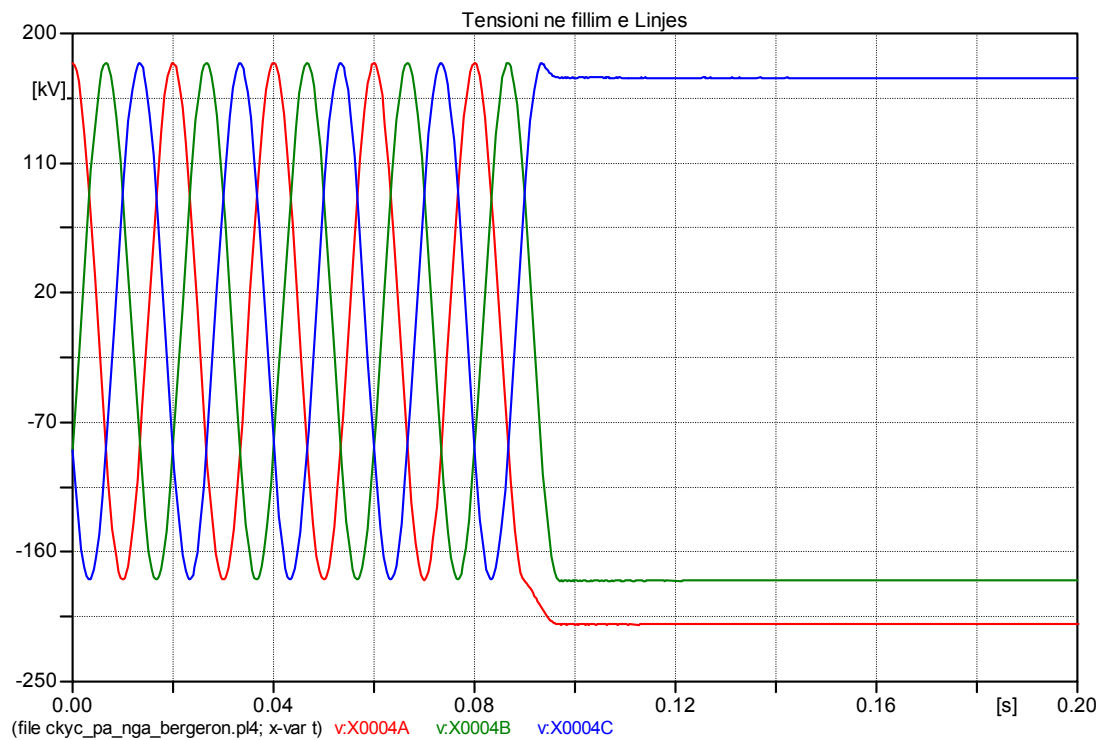
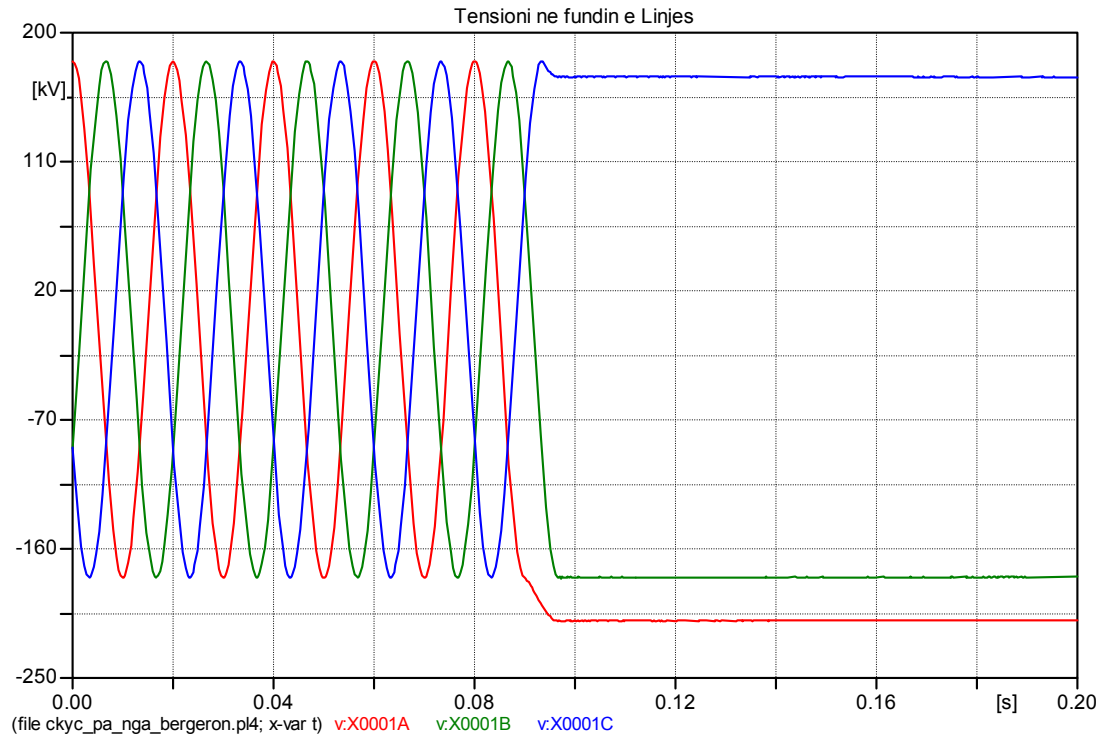
b. Rezultatet e simulimeve për Modelin Bergeron

FIGURA 6.23 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për çkyçje në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Bergeron

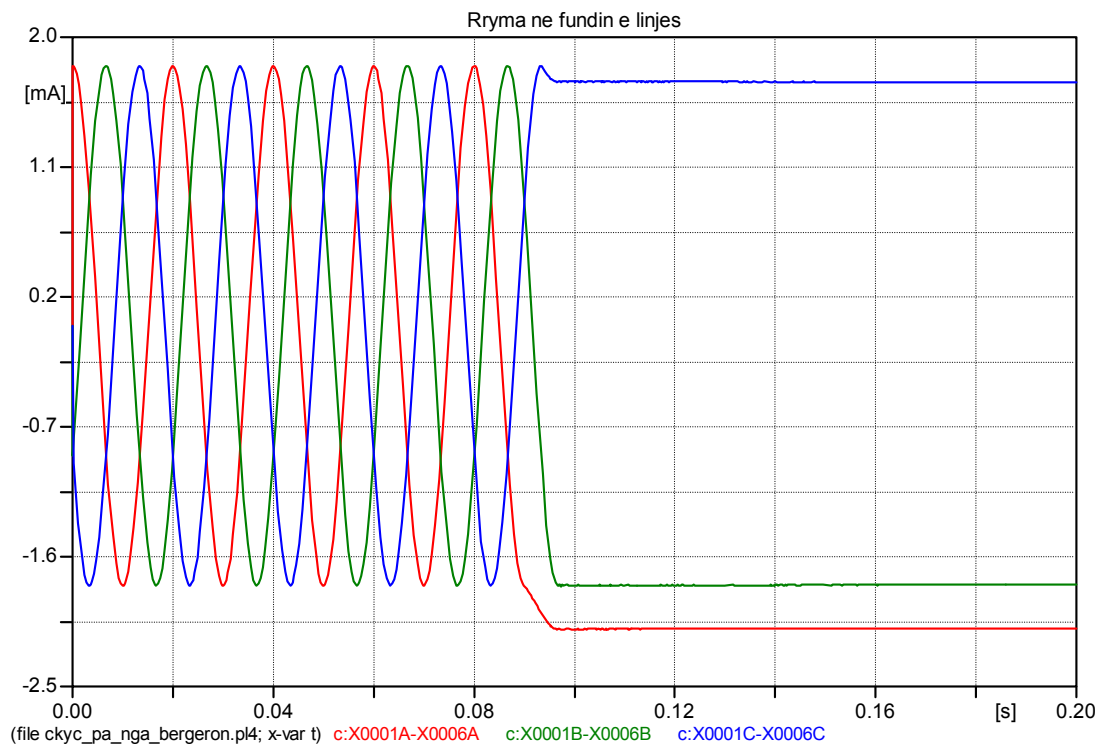
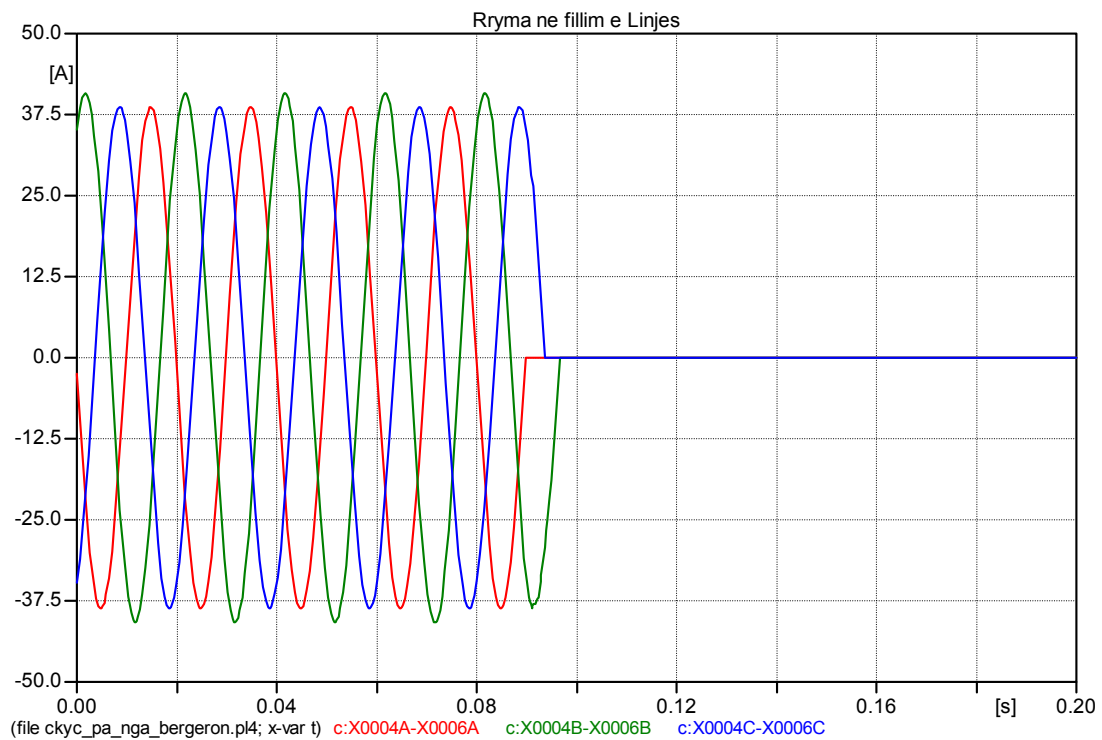


FIGURA 6.24 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për çkyçe në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit Bergeron

c. Rezultatet e simulimeve për modelin J.Marti

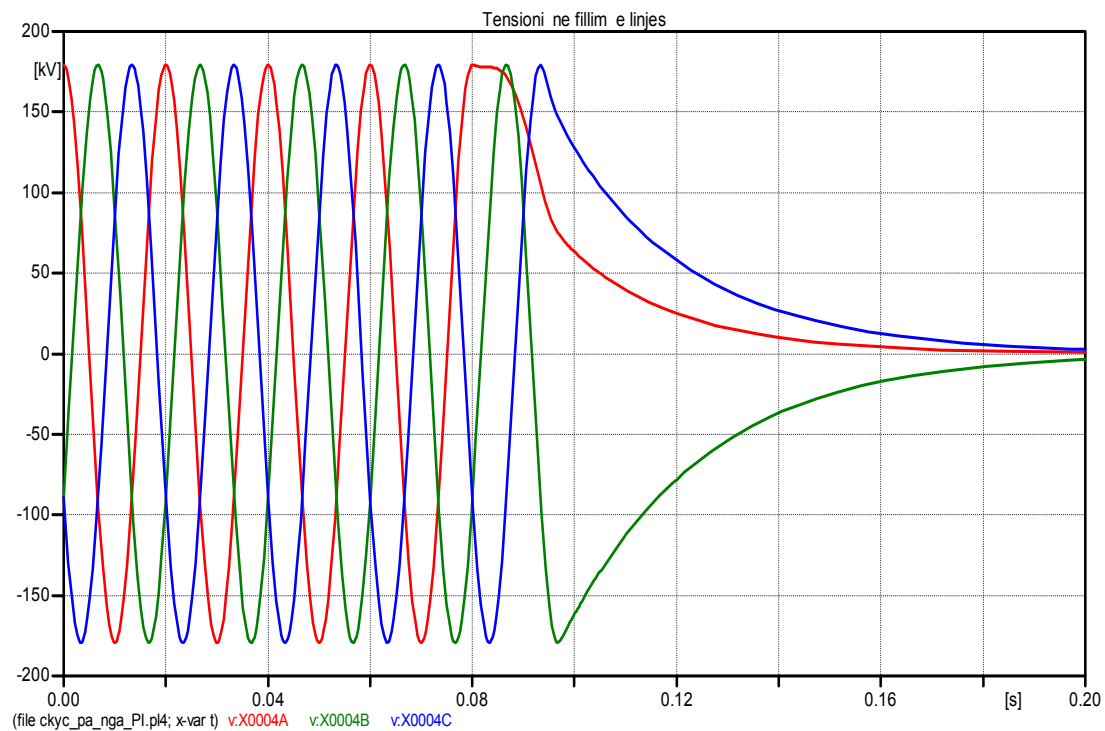
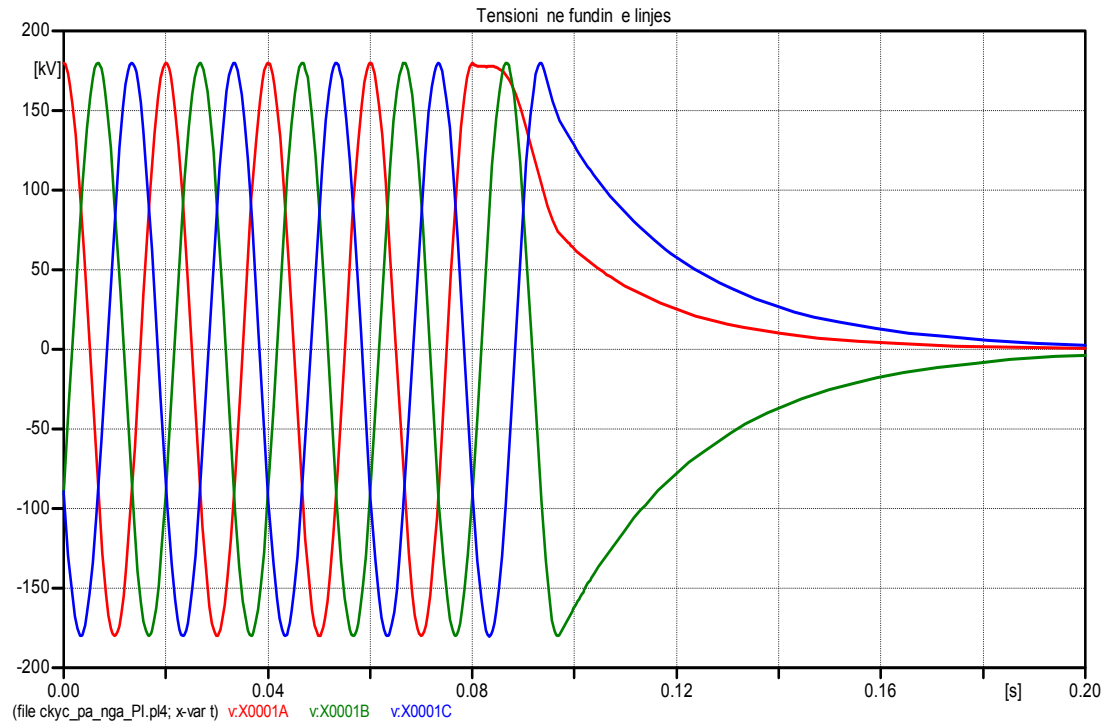


FIGURA 6.25 Tensionet në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për çkyçje në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit J.Marti.

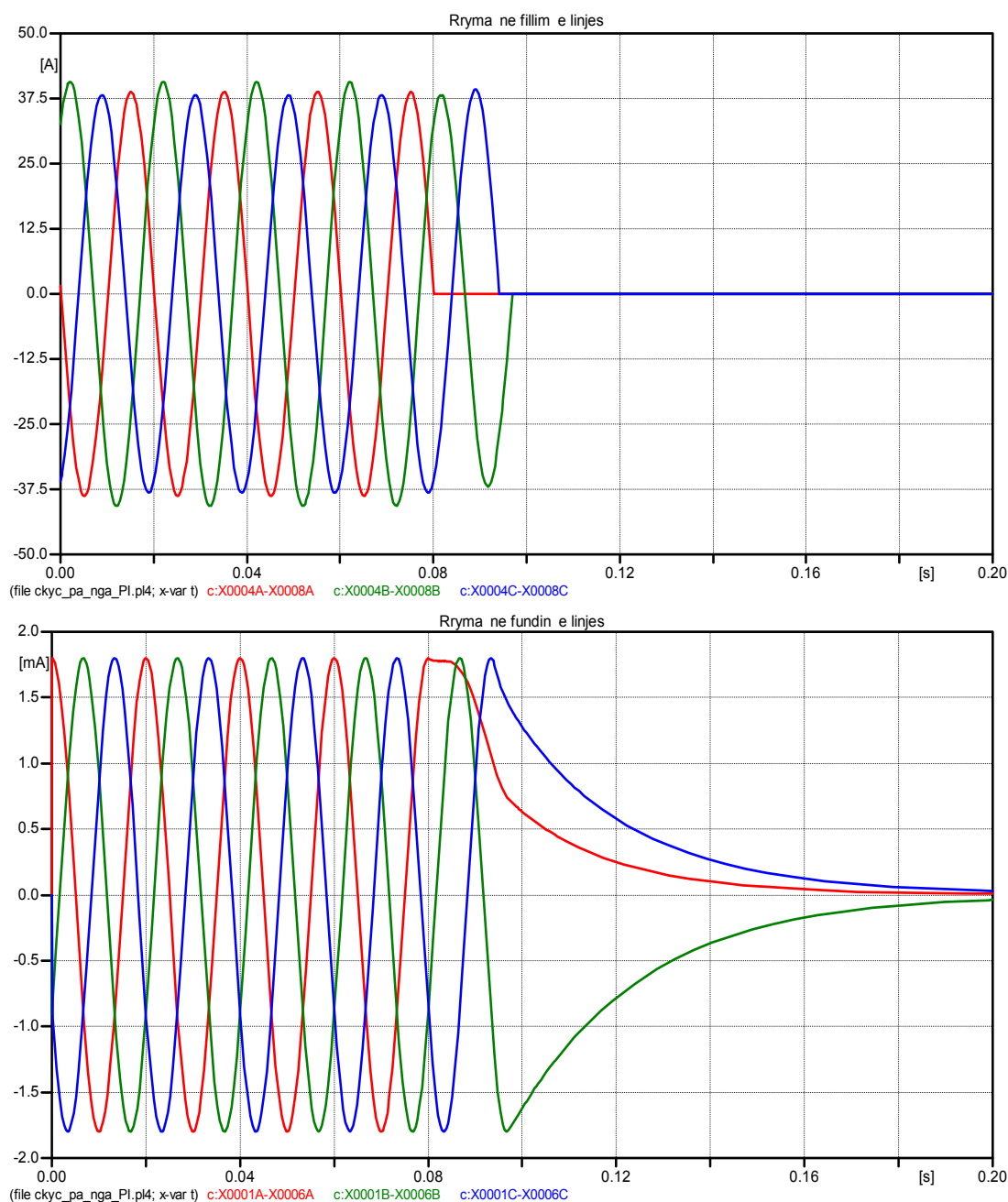


FIGURA 6.26 Rrymat në linjë (a-në fillim dhe b-në fund) për çkyçje në regjim punimi pa ngarkesë në rastin e modelit J.Marti.

d. Analiza e rezultateve të simulimeve

Nga krahasimi i përgjigjeve rrymë-tension në linjë, në rastin e simulimit të çkyçjes së saj në regjim punimi pa ngarkesë, vihet re pothuajse i njëjti informacion për të tre modelet. Kjo dëshmon faktin se ky proces kalimtar është shumë afër gjendjes së qëndrueshme. Siç mund të vihet re, ndryshimet e amplitudave të rrymave dhe tensioneve gjatë zhvillimit të procesit kalimtar janë të papërfillshme [99].

6.4 Përfundime dhe rekomandime

- Objekt simulimi në softin ATP është trajtuar një linjë tipike e sistemit elektroenergjetik shqiptar me tension 220kV dhe gjatësi mesatare [100]. Ngjarjet për të cilat janë kryer simulimet, janë dukuri tipike të ndeshura gjatë fazës së shfrytëzimit të kësaj kategorie linjash: komutime në sistem apo dëmtime, të cilat kategorizohen në procese kalimtare të frekuencave të ulëta apo mbitesione komutimi me front të ngadaltë (sipas grupimit CIGRE) [3], [99].
- Për të katër ngjarjet (dy llojet e dukurive), janë analizuar proceset kalimtare në përgjigjen tension-rrymë në linjë, kur ajo është modeluar sipas tre modeleve kryesore të ATP: Pi, Bergeron dhe J.Marti [96], [98].
- Sipas modelit Pi, linja është modeluar si tërësi qarqesh elektrike (me parametra të përqendruar me gjatësi elementare 1km) të lidhur në kaskadë me njëri-tjetrin. Siç vihet re nga përgjigjet e sinjalit tension, rrymë në fillim dhe në fund të linjës, ky model jep informacion më të saktë për regjimin e qëndrueshëm [98].
- Dy modelet e tjerë: Bergeron dhe J.Marti, siç vihet re në rastin e trajtuar japin pothuajse të njëjtin informacion mbi zhvillimin e procesit kalimtar për të katër ngjarjet e simuluar. Kjo sepse linja është pa transpozim (matrica e transformimit ka pamje të ngjashme në të dy modelet) dhe sistemi punon në të njëjtën frekuencë (që është ajo e punës 50Hz). Megjithatë, informacion më të hollësishëm për përgjigjen kalimtare, siguron modeli J.Marti, i cili trajton gjithë brezin e frekuencave [98].

Për të analizuar sa më saktë proceset kalimtare në linjat e transmetimit, në softin ATP, simulimet realizohen sipas modelit më të përshtatshëm, të zgjedhur në funksion të dukurisë që studiohet dhe saktësisë së kërkuar.

MODELIMI I LINJËS 400KV “TIRANË-PODGORICË” NË SOFTIN ATP

7.1 Të dhëna të përgjithshme mbi linjën dhe paraqitjen e saj në ATP

- a. Linja 400kV “Tiranë-Podgoricë” luan një rol shumë të rëndësishëm në sistemin elektroenergjetik, pasi është boshti kryesor transmetues në nivelin më të lartë të tensionit për pjesën veriore-qendrore të Shqipërisë. Duke qenë njëkohësisht edhe hallka lidhëse me sistemin elektroenergjetik të Malit të Zi, është e projektuar si linjë me dy qarqe dhe ka një gjatësi prej 125.46 km me shtrirje të përgjithshme si në figurën 7.1.
- b. *Modelimi i linjës* është bazuar në të dhënat reale të saj, duke marrë në konsideratë tre transpozimet faktike (të tipit ABC-BCA) të linjës në shtyllat Nr 282, 216 dhe 144 [102]. Për krijimin e modelit kryesor të linjës 400kV Tiranë-Podgoricë në softin ATP janë marrë parasysh faktorët e mëposhtëm:
 - Të gjithë kampatat midis shtyllave Nr 250 deri tek shtylla 273 janë modeluar sipas vendosjes reale të përcjellësve të fazave dhe trosit dhe varjes reale në çdo kampatë.
 - Çdo shtyllë është modeluar si linjë pa humbje me parametra konstantë të shpërndarë sipas modelit CIGRE; janë llogaritur induktivitetet dhe rezistenca për çdo pjesë të konstruksionit të shtyllës [53].
 - Në gjatësinë e sipërpërmendur rezistenca e tokëzimit, e pranuar në modelim është ajo faktike e matur (sipas proces-verbaleve të rezistencave të matura të tokëzimit) [102].
 - Rezistenca e dheut, e pranuar për modelimin e linjave është ajo faktike, e matur nga studimi gjeologjik i kryer në fazën e projektimit [102].
 - Për studimin e qëndrueshmërisë së izolimit të linjës, është pranuar tensioni i shpimit të vargut të izolatorëve në vlerën 1175kV, bazuar në përmasat reale të tyre dhe standartin IEC 60071. [101].



FIGURA 7.1 Planvendosje e përgjithshme e linjës “Tiranë-Podgoricë”.

Me qëllim ekzekutimin e këtij informacioni në ATP, disa prej kampatave janë modeluar sipas modelit PI, dhe jo atij J.Marti (në funksion të qëllimit të simulimit).

Në modelin e përgjithshëm të linjës, për studimin e qëndrueshmërisë së izolimit për goditje të ndryshme rrufeje, janë paraqitur sipas modelit J. Marti vetëm kampatat e pozicionimit të pikës së impaktit goditës, ndërsa pjesa jashtë kësaj zone është paraqitur sipas modelit Pi.

7.2 Modelimi i përcjellësve të fazave dhe trosit

Të dhënat e nevojshme për modelimin e përcjellësve janë përmbledhur më poshtë [102]:

Karakteristikat e përcjellësve të fazave tip ACSR 490/65mm²

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| • Seksioni tërthor i aluminit | 490 mm ² |
| • Seksioni tërthor i çelikut | 65 mm ² |
| • Seksioni tërthor total | 553.8 mm ² |
| • Diametri | 30.6 mm |
| • Numri i fijeve të aluminit | 54 |
| • Numri i fijeve të çelikut | 7 |

Karakteristikat e përcjellësit të trosit OPGW:

• Diametri	16.0mm
• Seksioni total rrethor	143mm ²
• Rryma maksimale në regjim lidhje të shkurtër (në 20°C)	4.7KA
• Rezistenca DC (në 20°C)	0.299Ω/Km
• Rrezja minimale e përkuljes gjatë dhe pas instalimit	240mm
• Diapazoni i temperaturës gjatë instalimit	-10÷50°C
• Diapazoni i temperaturës gjatë gjatë punës normale	-40÷80°C

7.3 Modelimi i shtyllave Nr. 250-Nr.273**7.3.1 Pëcaktimi i parametrave**

Janë shfrytëzuar të dhënat reale të përmasave të shtyllave sipas tipit përkatës të përdorur, të renditur si më poshtë:

- Shtylla ndërmjetëse tip 2NS
- Shtylla ndërmjetëse tip 2HS
- Shtylla ankerore për kend të lehtë tip 2LA
- Shtylla ankerore për kënd të mesëm tip 2MA

7.3.2 Llogaritja e rezistencës valore

Tipi i shtyllave të përdorura në linjë paraqitet si në figurën 7.2. Në funksion të të dhënave gjeometrike (shih tabelën 7.1), për çdo shtyllë janë llogaritur parametrat karakteristikë të tyre [53]. Mbi këtë informacion, në softin ATP, është llogaritur rezistenca valore e shtyllave të modeluara (e përmbledhur në tabelën e rezultateve të simulimeve, shih paragrafin 7.6.2).

7.3.3 Përcaktimi i rezistencës së tokëzimit duke marrë marasysh efektin e jonizimit të dheut

- Llogaritja bazohet në rrymën mesatare të shkarkimit atmosferik, për të cilën ndodh mbulimi i izolimit (i njohur si backflashover). Për linjën 400kV “Tiranë-Podgoricë”, kjo rrymë është pranuar 50kA (bazuar në tabelën mbi amplitudën e rrymës goditëse të rrufesë, sipas vendodhjes së linjës).
- Rezistenca e tokëzimit të shtyllave e përdorur për modelimin në ATP, është llogaritur sipas shprehjes (kapitulli 4):

$$Rf_{Sh.1} = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{I}{I_g}}}$$

ku R_0 është rezistenca e matur e tokëzimit për çdo shtyllë; I -rryma mesatare e shkarkimit atmosferik, e pranuar 50kA; I_g -rryma limit nga jonizimi i dheut, e llogaritur sipas

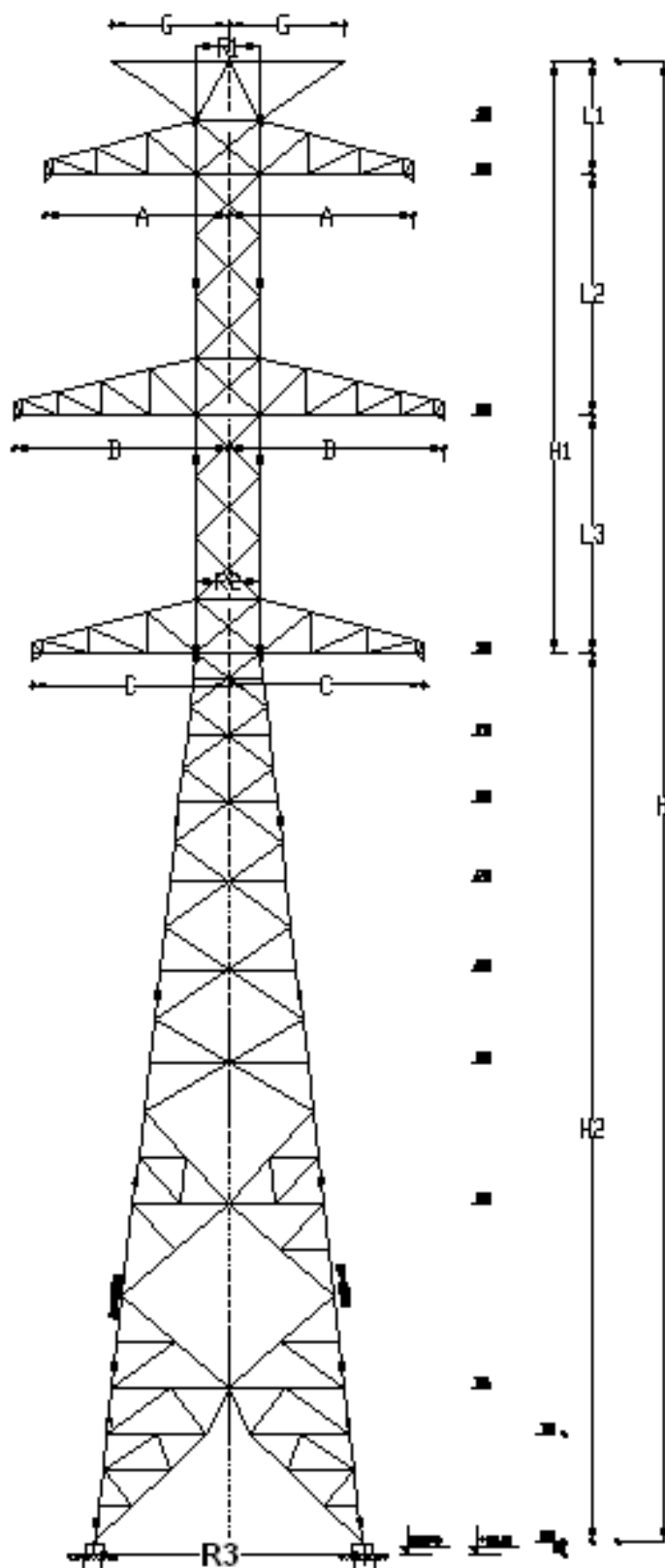


FIGURA 7.2 Paraqitje e shtyllave të linjës 400kV “Tiranë-Podgoricë”[102]

TABELA 7.1 Përmasat gjeometrike të shtyllave të modeluara [102]

Shtylla Nr.	Përmasat gjatësore të shtyllës								Rrezja e majës	Rrezja e trupit	Rrezja e fundit	Lartësitë		
	L ₁ (m)	L ₂ (m)	L ₃ (m)	L ₄ (m)	A (m)	B (m)	C (m)	G (m)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	R ₃ (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₃ (m)
250	3.7	7.8	7.8	29.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	29.3	48.6
251	3.7	7.8	7.8	23.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	23.3	42.6
252	3.7	7.8	7.8	23.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	23.3	42.6
253	6,5	7.5	7,5	19.5	6.5	7.5	6.9	4.2	1.7	3	8.45	21.5	19.5	41
254	3.7	7.8	7.8	23.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	23.3	42.6
255	3.7	7.8	7.8	23.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	23.3	42.6
256	4.7	9.9	9.9	35.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	9.87	24.5	35.6	60.1
257	4.7	9.9	9.9	34.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	9.66	24.5	34.6	59.1
258	4.7	9.9	9.9	23.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	7.9	24.5	26.6	51.1
259	4.7	9.9	9.9	26.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	7.9	24.5	23.6	51.1
260	6.5	7.5	7.5	19.5	6.5	7.5	6.9	4.2	1.7	3	10.16	21.5	25.5	41
261	3.7	7.8	7.8	29.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	29.3	48.6
262	4.7	9.9	9.9	29.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	8.56	24.5	29.6	54.1
263	4.7	9.9	9.9	28.5	7.5	8.4	7.7	5.15	2.2	2.2	11.18	21.5	28.5	50
264	4.7	9.9	9.9	26.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	7.9	24.5	23.6	51.1
265	4.7	9.9	9.9	38.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	10.52	24.5	38.6	63.1
266.a	6.5	6.5	7.5	30.5	6.5	7.5	6.9	4.2	1.7	3	11.59	21.5	30.5	52
266.b	4.7	9.9	9.9	38.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	10.52	24.5	38.6	63.1
266.c	4.7	9.9	9.9	29.6	6.4	7.2	6.8	3.8	2.2	2.2	8.56	24.5	29.6	54.1
267	6,5	7.5	7,5	19.5	6.5	7.5	6.9	4.2	1.7	3	8.45	21.5	19.5	41
268	3.7	7.8	7.8	29.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	29.3	48.6
269	3.7	7.8	7.8	32.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	9.4	19.3	32.3	51.6
270	3.7	7.8	7.8	29.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	29.3	48.6
271	3.7	7.8	7.8	26.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.03	19.3	26.3	45.6
272	3.7	7.8	7.8	23.3	6	7	6.4	3.8	2.1	2.1	8.72	19.3	23.3	42.6
273	6,5	7.5	7,5	19.5	6.5	7.5	6.9	4.2	1.7	3	8.45	21.5	19.5	41

$$I_g = \frac{E_g \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot R_0^2}$$

ku: E_g është gradienti i jonizimit të dheut afërsisht 400kV/m (shih kapitullin 5); ρ rezistenca karakteristike e tokës (Ωm), bazuar vlerën mesatare të matjeve të kryera nga firma e kontraktuar për studimin gjeologjik.

Rezultatet e llogaritjeve janë shtuar në tabelën 7.3.

TABELA 7.2 Përmbledhje e rezultateve të llogaritjes së parametrave të linjës [103]

Parametrat e linjës $\rho_e=150\Omega m$		Rezultatet e llogaritjes klasike	Rezultate nga kontrolli i kempatës me ATP (J Marti)	Rezultate nga kontrolli i kempatës me ATP (model PI)
Z vetjake	Rezistenca e renditjes së drejtë	0.01072+j0.1135 Ω	0.012+j0.1134 Ω	0.0107+j0.1125 Ω
	Rezistenca e trosit për renditjen nuleare	0.0722+j0.4194 Ω	0.0438+j0.3374 Ω	0.1086+j 0.601 Ω
	Rezistenca e renditjes nuleare	0.05112+j0.38076 Ω	0.0344+j0.3817 Ω	0.0107+j0.7528 Ω
Z reciproke	Rezistenca reciproke midis troseve dhe linjës	0.01791+j0.1029 Ω	0.011+j0.1471 Ω	3.6E-6+j0.4046 Ω

7.4 Llogaritja e parametrave të linjës bazuar në metodën klasike

a. Llogaritja e rezistencës karakteristike të renditjes së drejtë (kampata midis shtyllave 251-252) [103], [101]

- Sipas të dhënave të prodhuesit, rezistenca elektrike e përcjellësit për rrymë të vazhduar në 20°C është:

$$R'_{DC} = \frac{\rho}{A} = \frac{\rho \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = 0.2376 \Omega / Km$$

$$R'_{DC} = R'_{20^\circ C} [1 + \alpha(T - 20^\circ C)]$$

α për përcjellës ACSR me raport të fijeve alumin dhe çelik 26 me 7 rezulton:

$$\alpha = 0.004 \Omega / ^\circ C \Rightarrow R'_{DC} = R'_{20^\circ C} [1 + \alpha(t - 20^\circ C)] = 0.0590 [1 + 0.0036(t - 20^\circ C)]$$

- Rezistenca induktive e linjës (bazuar në llogaritjen e linjës me dy qarqe) llogaritet sipas shprehjes:

$$X_1 = \omega \cdot L_1 = \frac{\omega \mu_0 a}{2\pi} \left(\ln \frac{D_M}{r_B} + \frac{1}{4n_2} \right)$$

ku D_M , distanca mesatare gjeometrike midis përcjellësve midis fazave; μ_0 është konstantja magnetike $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, L induktiviteti i renditjes së drejtë në H/m ; a gjatësia e linjës ose kampatës në m ; r_b rrezja ekuivalente e grupit të përcjellësve në rastin e një përcjellësi të vetëm e pranuar sa ajo e vetë përcjellësit; n_2 numri i grupit të përcjellësve që përbëjnë përcjellësin e çarë: në rastin tonë $n_2=2$ (figura 7.3)

Bazuar në sa më sipër, pranojmë:

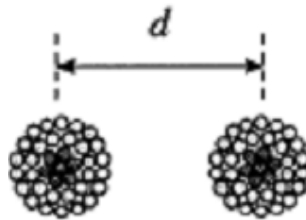
$$r_b = \sqrt{rS}, r_0 = S/2, n_2 = 2, K_1 = 1$$

- Nga vizatimet e morsetërisë se telit, vihet re se distanca e hapësirës ajrore për vargun e izolatorëve është $S = 400\text{mm}$ (figura 7.4). Nga vizatimi i përmasave të shtyllës, distanca mesatare gjeometrike midis fazave është:

$$D_{AB} = 7.923\text{m}, D_{AC} = 15.805\text{m}, D_{BC} = 7.963\text{m}$$

$$D_M = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} = 9.9905\text{m}$$

$$X_1 = \omega \cdot L_1 = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{D_M \cdot D_{M2}}{r_B \cdot D_{M1}} + \frac{1}{4n_2} \right) = 0.3124\Omega / \text{Km}$$



Rrezja ekuivalente e grupit të përcjellësve			
n_2	Rrezja e grupit të përcjellësve r_0	Rrezja ekuivalente e grupit të përcjellësve r_b	K_1
1	—	r	1
2	$S/2$	$\sqrt{r \cdot S}$	1
3	$S/\sqrt{3}$	$\sqrt[3]{r \cdot S^2}$	1
4	$S/\sqrt{2}$	$\sqrt[4]{r \cdot S^3 \cdot \sqrt{2}}$	1.12
5	0.851 S	$\sqrt[5]{2.618 \cdot r S^4}$	1.272
6	S	$\sqrt[6]{6 \cdot r S^5}$	1.43

FIGURA 7.3 Vendosja gjeometrike e përcjellësve në hapësirë.

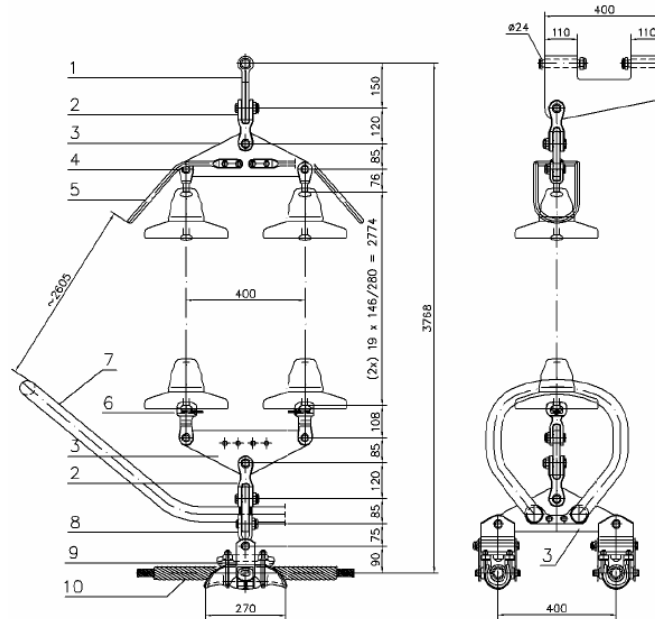


FIGURA 7.4 Vizatimi i morseterisë së izolatorëve të linjës “Tiranë-Podgoricë”, $S=400mm$

$$L_1 = \frac{X_1}{2\omega} = 0.0906mH / Km$$

$$Z = R + jX = 0.0295 + j0.3124\Omega / Km$$

Sipas gjatësisë reale të kampionit $L = 0.3633km$, rezulton

$$Z_t = R + jX = 0.01072 + j0.1135\Omega$$

b. Llogaritja e rezistencës karakteristike të renditjes nuleare (kampata midis shtyllave 251-252) [101], [103]

- Llogaritja e rezistencës karakteristike të renditjes nuleare vetjake të linjës me një qark pa tros:

$$Z'_{os} = R'_o + jX'_o = \frac{R'_l}{n_2} + \frac{3}{4}\pi f\mu_0 + j \cdot f\mu_0 \left(3 \ln \frac{\delta}{\sqrt{r_b \cdot D_M^2}} + \frac{\mu_T}{4 \cdot n_2} \right)$$

ku R'_o është rezistenca e përcjellësit për njësi gjatësie në $20^\circ C$; μ_T përshkueshmëria magnetike e përcjellësit të fazës (për përcjellësit ACSR pranohet 1); D_M distanca mesatare gjeometrike midis përcjellësve fazorë dhe trosit; δ thellësia e rrugës së kthimit të rrymave në tokë, e llogaritur nga :

$$\delta = \frac{1.85}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \frac{\mu_0}{\delta e}}}$$

δe është përcjellshmëria e tokës.

Për kampatën e parë:

$$\delta = \frac{1.85}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \frac{\mu_0}{\delta e}}} = \frac{1.85}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{1 \cdot 10^{-7}}{148}}} = 1133.3m$$

$$Z'_{OS} = R'_o + jX'_0 = \frac{R'_1}{n_2} + \frac{3}{4} \pi f \mu_0 + j \cdot f \mu_0 \left(3 \ln \frac{\delta}{\sqrt{r_b \cdot D_M^2}} + \frac{\mu_T}{4 \cdot n_2} \right)$$

$$Z'_{OS} = 0.1774 + j1.2038 \Omega / Km$$

- Llogaritja e rezistencës reciproke të renditjes nuleare të linjës me dy trose

Rezistenca nuleare:

$$Z'_{OS2E} = Z'_{OS} - 3 \frac{(Z'_{CE})^2}{Z'_{E_1 E_2}}$$

Rezistenca reciproke midis përcjellësve dhe trosit jepet nga formula:

$$Z'_{CE} = f \cdot \mu_0 \cdot \frac{\pi}{4} + j \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \ln \left(\frac{\delta}{D_{ME}} \right)$$

$$Z'_{CE} = 0.0493 + j0.2833 \Omega / Km$$

Distanca mesatare midis përcjellësve të fazave dhe troseve është

$$D_{ME} = D_{M2E} = \sqrt[6]{D_{AE1} \cdot D_{BE1} \cdot D_{CE1} \cdot D_{AE2} \cdot D_{BE2} \cdot D_{CE2}}$$

$$D_{ME} = D_{M2E} = \sqrt[6]{19.67 \cdot 12.033 \cdot 4.3046 \cdot 22 \cdot 15.85 \cdot 10.475} = 12.4486m$$

Rezistenca nuleare vetjake e trosit Z_{EE} llogaritet:

$$Z'_{E_1 E_2} = \frac{R'_E}{2} + f \cdot \mu_0 \cdot \frac{\pi}{4} + j \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \ln \left(\frac{\delta}{\sqrt{r_e \cdot D_{E_1 E_2}}} + \frac{\mu_E}{8} \right)$$

$$= 0.1988 + j1.1546 \Omega / Km$$

ku μ_E përshkueshmëria magnetike e përcjellësit të trosit, e pranuar 5 për aliazhe çeliku dhe alumini dhe 10 për tros çeliku (në rastin tonë OPGW është 5) dhe r_e rrezja e OPGW-së.

Rezistenca e plotë karakteristike e linjës në kampatën midis shtyllave 251-252 është:

$$Z'_{OS2E} = Z'_{OS} - 3 \frac{(Z'_{CE})^2}{Z'_{E_1 E_2}} = 0.14072 + j1.0481 \Omega / Km$$

Për gjatësinë e kampatës $L=0.3633km$, rezulton:

$$Z'_{OS2E} = 0.05112 + j0.38075 \Omega$$

7.5 Llogaritja e parametrave të linjës në softin ATP dhe krahasimi i rezultateve me metodën klasike dhe matjet reale të linjës

- Në softin ATP është realizuar llogaritja e parametrave karakteristikë të linjës së modeluar sipas modelit me parametra të përqendruar Pi dhe modelit me parametra të shpërndarë të varur nga frekuenca J Marti (figura 7.5a.dhe 7.5b) [53], [103]. Rezultatet e llogaritjeve janë përmbledhur në tabelën 7.2.

- Përfundime mbi llogaritjet**

Modeli i kempatës si linjë me parametra të shpërndarë të varur nga frekuenca (modeli J.Marti në ATP), për përcaktimin e rezistencës së renditjes së drejtë, jep pothuajse të njëjtin rezultat me atë të llogaritjes me metodën klasike.

Përsa i përket rezistencës karakteristike të renditjes nuleare, për pjesën e rezistencës aktive ka një shmangie të vogël të rezulttit të marrë nga komanda Line Check me anë të softit ATP, kundrejt atij të llogaritur me metodën klasike, për shkak të rritjes së rezistencës aktive nga skin efekti [68]. Kjo dukuri në formulat e llogaritjeve sipas metodës klasike merret parasysh vetëm për frekuencën 50Hz, ndërsa në llogaritjet e softit ATP sipas modelit J Marti, merret në konsideratë për një brez të gjerë frekuencash [53].

- Krahasimi i rezultateve të llogaritjeve me matjet reale të rezistencave të linjës**

Rezistenca e linjës, e kontrolluar me komandën Line Check në softin ATP, rezulton si më poshtë [103]

$$Z_a = 10.2289 + j38.9724\Omega$$

$$Z_b = 4.2339 + j36.8469\Omega$$

$$Z_c = 0.9880 + j42.5473\Omega$$

Nga ku, rezistenca e plotë e linjës rezulton në vlerën

$$Z = 5.09 + j39.603\Omega$$

Vlera faktike e matur e rezistencës së plotë të linjës është [102]:

$$Z = 3.6963 + j38.9056\Omega$$

Kjo vlerë është bazuar në dokumentacionin teknik të kolaudimit të linjës.

Siç mund të vihet re, vlerat e matura dhe ato reale të rezistencës së linjës janë pothuajse të njëjta; ndryshim paraqet vetëm pjesa aktive e rezistencës, e cila shpjegohet me marrjen në konsideratë të skin-efektit gjatë llogaritjeve në ATP.

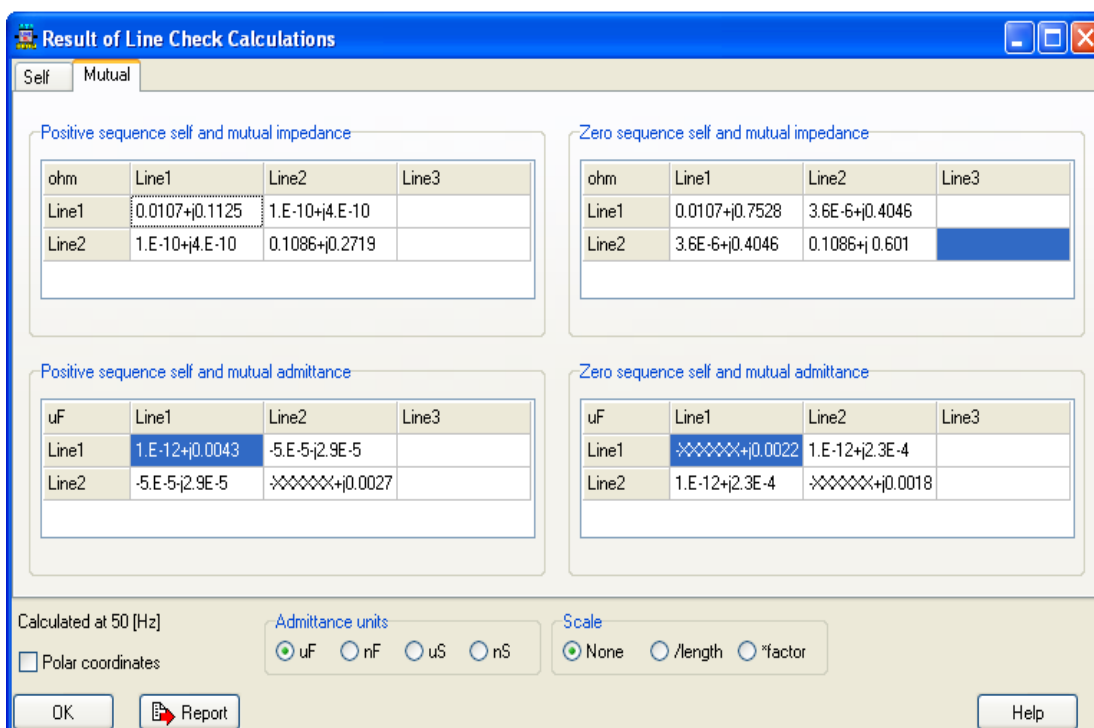
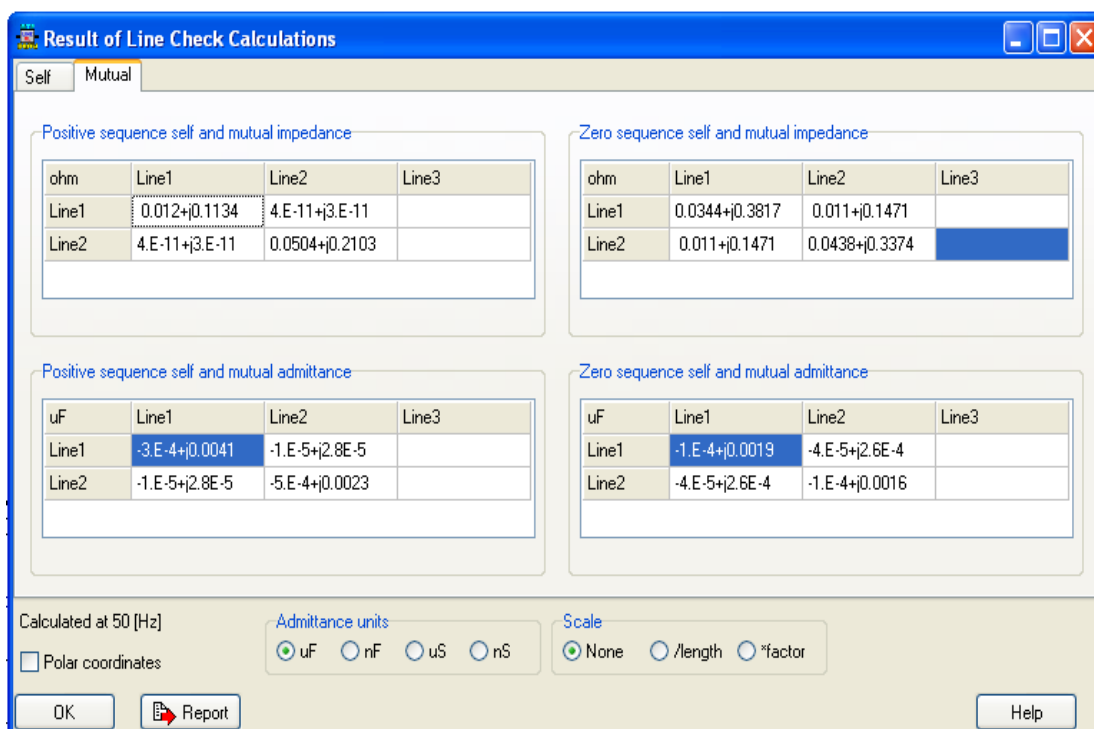


FIGURA 7.5 Ndërfaqja e komandës Line-Check në ATP për rastin e modelit Pi dhe modelit J.Marti [102].

7.6 Studimi i qëndrueshmërisë së linjës ndaj shkarkimeve atmosferike

7.6.1 Modelimi i linjës [104]

- Për studimin e qëndrueshmërisë së izolimit të linjës ndaj shkarkimeve atmosferike, është vepruar sipas udhëzuesit të kapitullit 5, ku merren në konsideratë modelimi i përcjellësve, shtyllave, izolatorëve dhe rezistenca e tokëzimit. Të gjitha të dhënat, siç u përmend në paragrafin 7.1 janë sipas situatës reale të linjës [102].
- Me anë të llogaritjeve të mësipërme, është realizuar modelimi i detajuar i shtyllave nr 250 deri tek shtylla 273 si linja me parametra konstantë të shpërndarë (referoju kapitullit 3 dhe 5).
- Izolatorët janë modeluar sipas programit FLASH të ofruar nga ATP si çelësa të hapur, të kontrolluar nga tensioni (figura 7.6) me karakteristika si në figurën 7.7.
- Programimi i vlerës kritike të tensionit të shpimit të izolatorëve (tensioni i kyçjes së çelësit), është përcaktuar sipas standartit IEC 60071-1, i cili është standarti referues për Operatorin Shqiptar të Sistemit të Transmetimit (shih figurën 7.8 dhe tabelën 7.3) [101].
- Në gjatësinë e linjës, ku është modeluar çdo shtyllë (shih modelin e figurës 7.9), është studiuar brezi i amplitudave të shkarkimeve atmosferike, të afta të shkaktojnë çkyçjen e linjës. Ky studim bazohet në simulimin e goditjeve të rrufeve me amplituda të ndryshme në pika të ndryshme të gjatësisë të linjës. Për çdo simulim të kryer, është studiuar amplituda e rrymës goditëse të rrufesë, tensioni i zbatuar dhe rryma që kalon në vargun e izolatorëve (tabela 7.4).

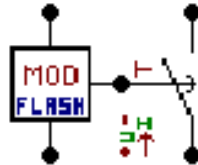
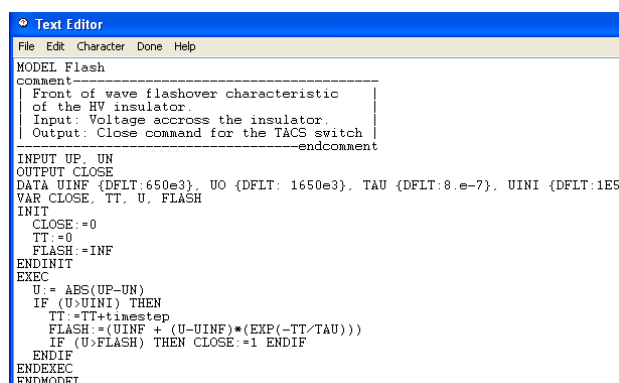


FIGURA 7.6 Ndërfaqje e modelit të izolatorëve në ATP.

DATA	UNIT	VALUE
UINF		1175000
U0		2982692.31
TAU		8E-7
UINI		76375

NODE	PHASE	NAME
UP	B	
UN	1	
CLOSE	A	

FIGURA 7.7 Të dhënat e modelit të izolatorëve në ATP.



```

Text Editor
File Edit Character Done Help
MODEL Flash
comment-----
| Front of wave flashover characteristic
| of the HV insulator.
| Input: Voltage accross the insulator.
| Output: Close command for the TACS switch
|-----endcomment
INPUT UP, UN
OUTPUT CLOSE
DATA UINF {DFLT:650e3}, UO {DFLT: 1650e3}, TAU {DFLT:8.e-7}, UINI {DFLT:1E5}
VAR CLOSE, TT, U, FLASH
INIT
CLOSE:=0
TT:=0
FLASH:=INF
ENDINIT
EXEC
U:=ABS(UP-UN)
IF (U>UINI) THEN
TT:=TT+timstep
FLASH:=(UINF + (U-UINF)*(EXP(-TT/TAU)))
IF (U>FLASH) THEN CLOSE:=1 ENDIF
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL

```

FIGURA 7.8 Programimi i izolatorit si çelës i hapur në ATP (bazuar në standartin IEC 60071-1).

TABELA 7.3 Vlerat e CWF, sipas nivelit të tensionit transmetues për linjat e tensionit të lartë (në nivele tensioni deri 420kV) të përcaktuara nga standarti IEC 60071-1 [101]

Vlera e tensionit më të lartë të pajisjes	Qëndrueshmëria e izolimit ndaj impulseve standartë të komutimit			Qëndrueshmëria e izolimit ndaj impulseve standartë të shkarkimit atmosferik
	Amplituda e tensionit linear	Amplituda e tensionit fazë- tokë	Raporti i tensionit fazë-fazë ndaj atij fazë-tokë	
Un (kV)	kV	kV		CFO (kV)
300	750	750	1.5	850 950
	750	850	1.5	950 1050
362	850	850	1.5	950 1050
	850	950	1.5	1060 1175
420	850	850	1.6	1060 1175
	950	950	1.5	1175 1300

7.6.2 Rezultatet e simulimit në rastin e zbatimit të goditjeve rrufe në shtyllat e linjës

Për çdo shtyllë të modeluar, është përcaktuar amplituda e rrymës goditëse të rrufesë, për të cilën ndosh backflashover. Kjo është realizuar nëpërmjet testimit të të gjithë izolatorëve për shtyllat Nr.250-273 dhe amplituda e rrymës së mbulimit të izolimit është përcaktuar në çastin e ndryshimit të gjendjes së çelësit nga i hapur në të mbyllur (çasti kur tejkalohet vlera e CWF sipas standartit IEC 60071-1). Në tabelën 7.4, janë përmbledhur vlerat e këtyre rrymave dhe rezistenca valore, si dhe rezistenca e tokëzimit për të gjithë shtyllat e modeluara.

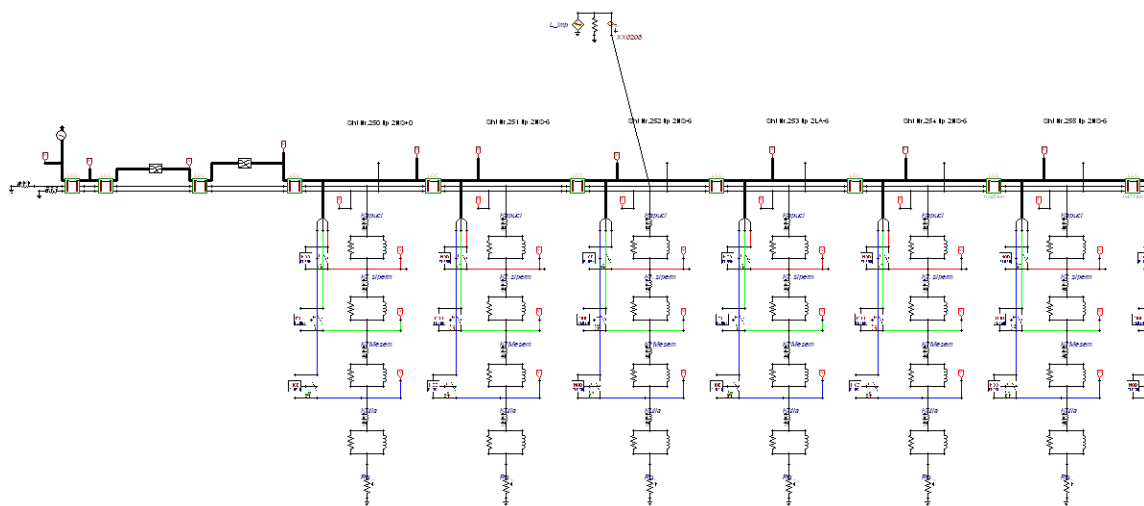


FIGURA 7.9 Modelimi i linjës në softin ATP gjatë simulimit të goditjeve të rrufeve [104]

Siç mund të vihet re nga rezultatet e tabelës, *mbulimi i izolimit të linjës ndodh më lehtë për shtyllat që kanë rezistencë valore më të madhe. Kësaj karakteristike i përgjigjen shtyllat që kanë lartësi të madhe dhe perimetër të hollë të bazamentit, si dhe vlerën më të madhe të rezistencës së tokëzimit.* [104], [105].

Kjo dukuri vihet re më qartë në grafikët e figurës 7.10, ku është paraqitur rryma minimale e ndodhjes së fenomenit Back Flash Over, si dhe rezistenca valore dhe ajo e tokëzimit për të gjithë shtyllat e modeluara.

7.6.3 Ndikimi i rezistencës së tokëzimit në rrymën e mbulimit të izolimit

Bazuar në rezultatet e simulimeve të paragrafit 6.7.2, një përfundim i dytë që mund të përftohet është se ***mbulimi i izolimit ndodh më lehtë në shtyllat që kanë rezistencë më të madhe tokëzimi.***

Për të zgjeruar më tej studimin, janë marrë për krahasim katër shtylla të të njëjtit lloj me rezistencë valore të njëjtë, por me rezistenca të ndryshme tokëzimi. Në figurën 7.11 paraqiten rrymat për të cilat ndodh shpimi i vargut së izolatorëve për secilën prej shtyllave, në funksion të rezistencave përkatëse të tokëzimit.

Siç vihet re, *rryma e mbulimit të izolimit merr vlerën më të vogël në rastin e shtyllave me rezistencë më të madhe tokëzimi; pra për të njëjtën rezistencë valore, qëndrueshmëria e izolimit paraqitet më e ulët në rastin e shtyllave me rezistencë tokëzimi të madhe* [105].

7.6.4 Analiza e qëndrueshmërisë ndaj goditjeve atmosferike për shtyllën Nr.48

Një përjashtim nga normat e projektimit të linjave të tensionit të lartë paraqet rasti i shtyllës Nr 48, rezistenca e tokëzimit të së cilës për shkak të terrenit të theksuar shkëmbor nuk është sipas standarteve të projektimit dhe zbatimit të punimeve të linjave të tensionit të lartë [101], [102] (të dhënat janë marrë nga protokoli i tokëzimit të linjës). Kjo vlerë rezulton 58Ω.

TABELA 7.4 Tabelë përmblledhëse e vlerave të rezistencës valore, rezistencës së tokëzimit dhe amplitudës së rrymës së mbulimit të izolimit për shtyllat e modeluara në ATP [104]

Tipi i shtyllës	Amplituda e rymës Back Flash Over (kA)	Numri i Shtyllës	Rezistenca valore Z (Ω)	Rezistenca tokëzimit (Ω)
2NS+0	50	250	159.6	10.4
2NS-6	38.37	251	154	10.61
2NS-6	38.23	252	154	8.95
2LA-6	56	253	138.47	9.63
2NS-6	39.34	254	154	10.47
2NS-6	37.56	255	154	9.1
2HS+6	40	256	166.46	4.52
2HS+3+2	39	257	165.76	3.64
2HS-6	45	258	157.75	7.35
2HS-3	44	259	160	5.77
2LA+0	56	260	144.2	9.66
2NS+0	41	261	159.63	10.48
2HS+0	38	262	162.2	10.64
2MA+3	46	263	145	4.18
2HS-3	38	264	160	10.1
2HS+9	37	265	168.54	10.83
2LA+6-1	47	266a	148.66	7.8
2HS+9	36	266b	168.54	5.54
2HS+0	38	266c	162.2	4.54
2NS+3	39	266d	162.3	5.18
2LA-6	50	267	138.47	5.51
2NS+0	42	268	159.63	4.69
2NS+3	39	269	162.3	0.89
2NS+0	44	270	146.2	2.89
2NS-3	41	271	156.9	1.72
2NS-6	43	272	150.36	3.93
2LA-6	53	273	138.47	4.47

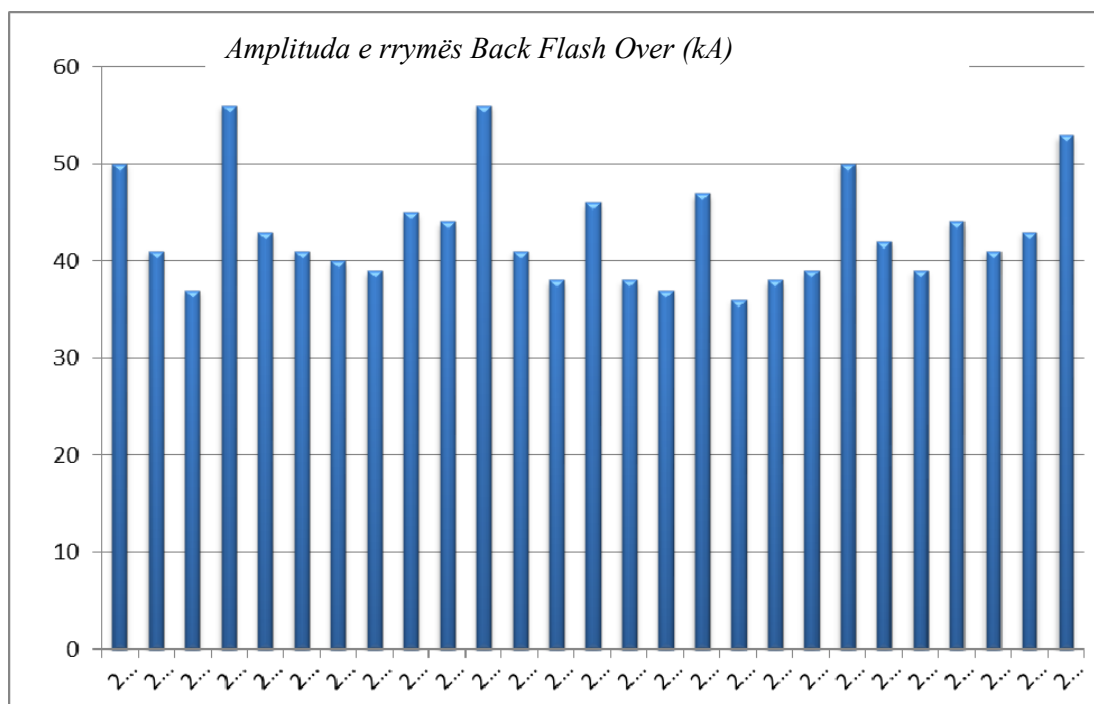
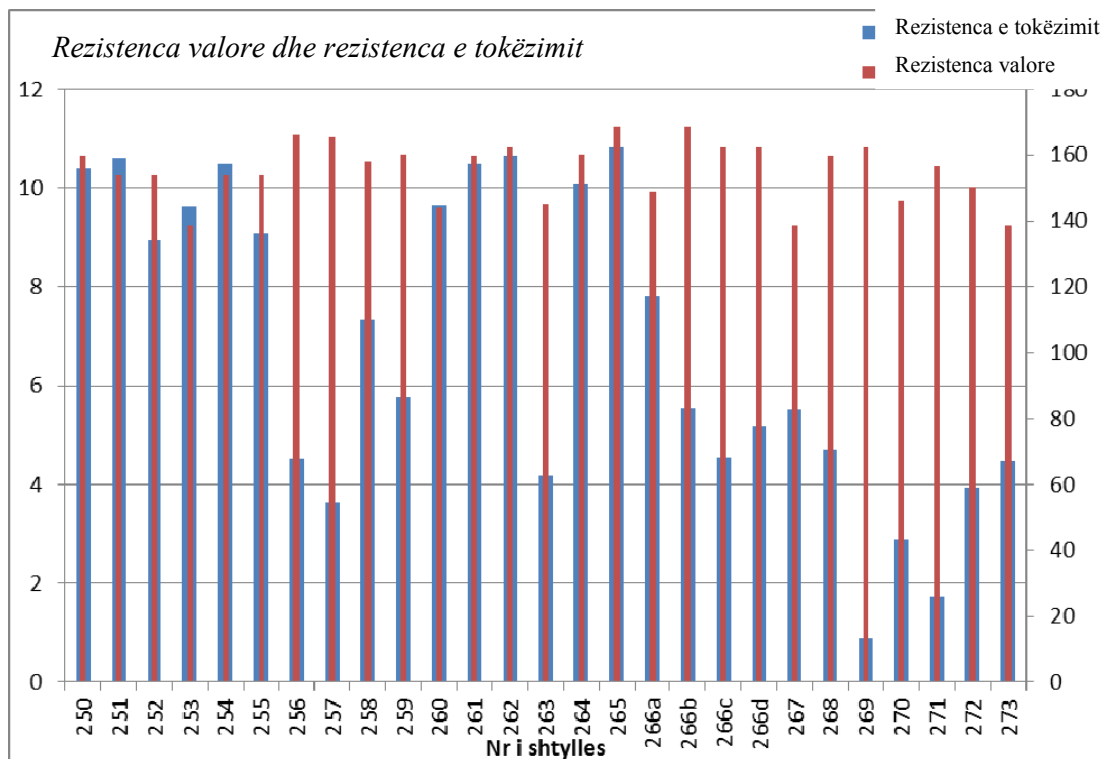


FIGURA 7.10 Paraqitje grafike e (a) rezistencës valore dhe asaj të tokëzimit si dhe (b) rrymës së mbulimit të vargut të izolatorëve për shtyllat e modeluara [104]

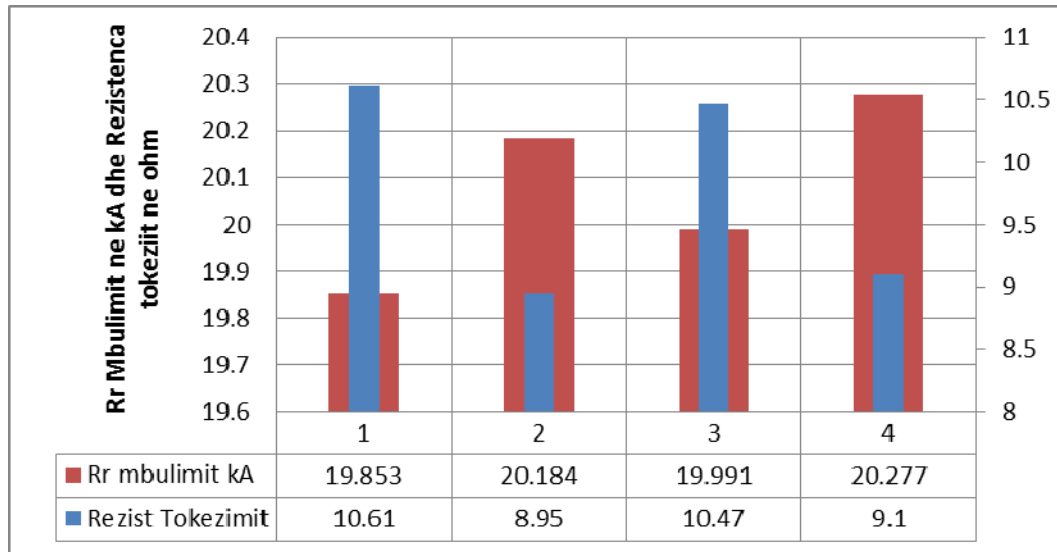


FIGURA 7.11 Varësia e rrymave të mbulimit të izolimit nga rezistenca e tokëzimit për katër shtylla me rezistencë valore të njëjtë

Për të verifikuar situatën e qëndrueshmërisë së kësaj pike impakti, janë simuluar goditje rrufeje direkt në izolatorët e kësaj shtylle ose mbi përcjellësin e saj të trosit.

Sipas simulimeve në ATP në shtyllën Nr 48, mbulimi i vargut të izolatorëve ndodh për një rryme goditjeje me amplitudë 22kA. Kjo vlerë është më e vogël se për të gjithë shtyllat e tjera të linjës, të cilat i rezistojnë goditjeve me amplitudë 37kA, 40kA etj (shih tabelën 7.4).

Pra, shtylla Nr.48 për shkak të rezistencës së tokëzimit të linjës paraqitet si pika më e dobët e linjës e cila mund të ndikojë negativisht në numrin e çkyçjeve të linjës gjatë një viti.

a. Modelimi i shtyllës Nr.48

Si fillim janë llogaritur parametrat e shtyllës Nr.48 tip 1HS-6 e cila modelohet për të realizuar situatën e simulimit të goditjeve atmosferike në softin ATP.

Parametrat karakteristikë:

$$Z_i = 60 \ln \left[\sqrt{2} \left(\frac{2 \cdot 32.4}{3.5} \right) \right] = 201.3 \Omega$$

$$r_i = -\frac{2Z \ln(0.837)}{h} = 2.21, \quad R_1 = r_i l_1 = 7.54, \quad R_2 = r_i l_2 = 63.31$$

$$t = \frac{2h}{300 \times 10^6} = 2.16 \times 10^{-7}, \quad L_1 = R_1 t = 16.23 \times 10^{-6}, \quad L_2 = R_2 t = 136.76 \times 10^{-6}$$

TABELA 7.5 Përmasat e shtyllës Nr. 48

Përmasat e shtyllës	L ₁ m	L ₂ m	H m	2r m
	3.75	28.65	32.4	3.5

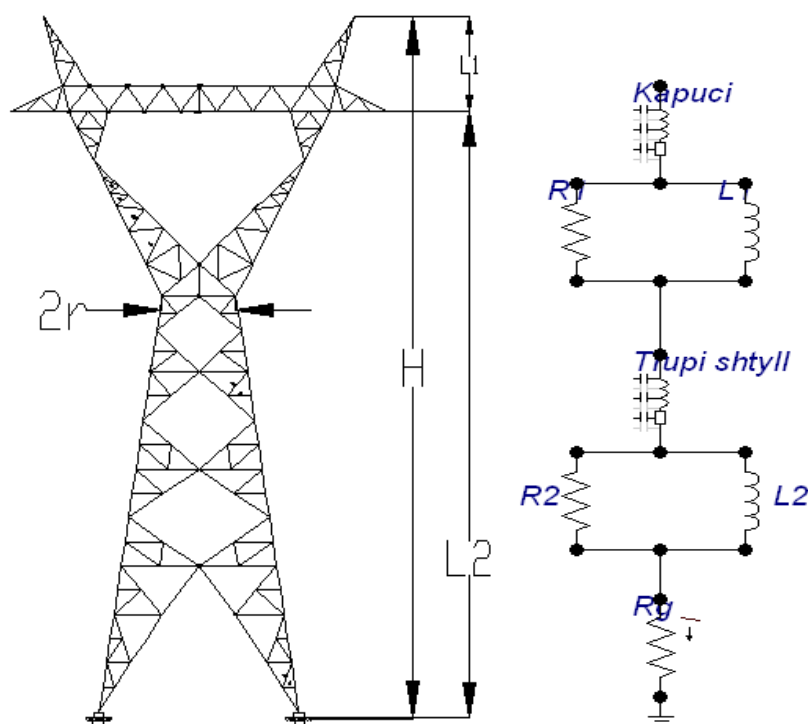


FIGURA 7.12 Paraqitje gjeometrike shtyllës tip 1HS dhe modelimi i saj në ATP.

b. Rezultatet e simulimit të goditjeve atmosferike në shtyllën Nr.48

Në figurën 7.13a dhe 7.13b paraqitet sjellja e izolimit të linjës për goditje rrufeje me amplitudë 22kA në shtyllën Nr 48.

7.6.5 Rezultatet e simulimit të mbitensioneve në linjë në rastin e shkarkimeve atmosferike

- Impulsi goditës i rrufesë është pranuar ai standart i shkarkimeve atmosferike (shih kapitullin 5), i modeluar me amplitudë 38kA, e zgjedhur kjo sipas rrymës mesatare të mbulimit të izolimit për zonën ku kalon linja [101] (shih tabelën dhe fig.7.14).
- Rezultatet e simulimit për valët e mbitensioneve në linjë gjatë goditjeve rrufe janë përmbledhur në figurat 7.16 dhe 7.17.

Disa përfundime mbi analizën e mbitensioneve në linjë:

- Siç vihet re nga rezultatet e simulimit të mbitensioneve në segmentin e katër kampatave rreth pikës së impaktit goditës, fenomeni flashover ndodh për tension më të lartë se 1175kV (vlera kritike e CFO); dëshmi kjo e mbulimit të plotë të izolimit të linjës [101].
- Përsa i përket mbitensioneve në fillim të linjës, vlerat e tyre janë brenda vlerave të lejuara të standartit IEC-60071 për amplitudën e tensionit fazor (<850kV) [101].

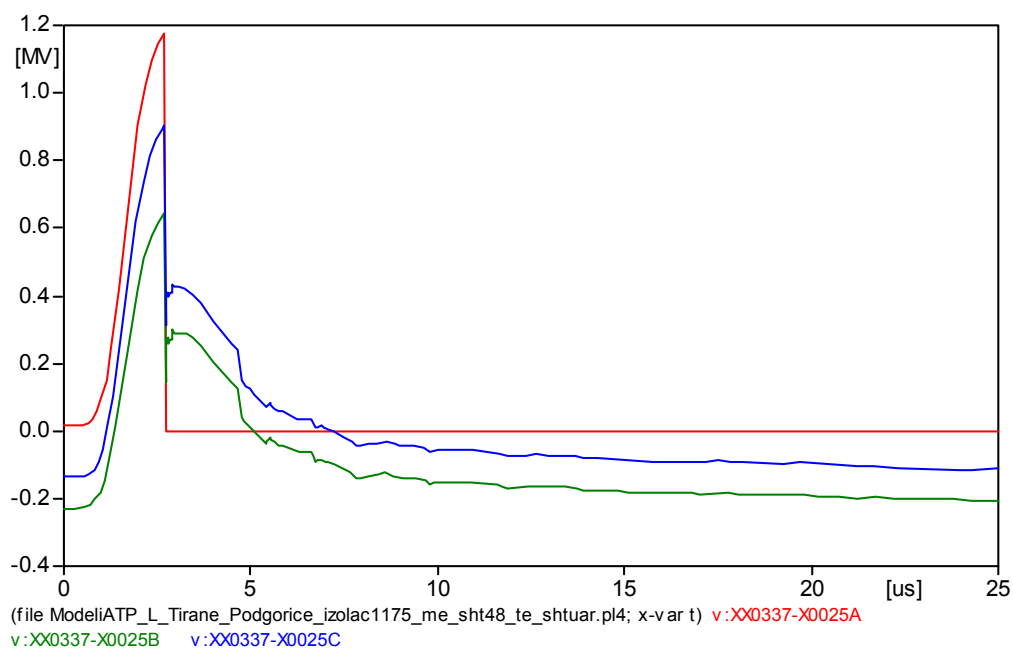


FIGURA 7.13a Tensioni i vargut të izolatorëve të shtyllës Nr.48.

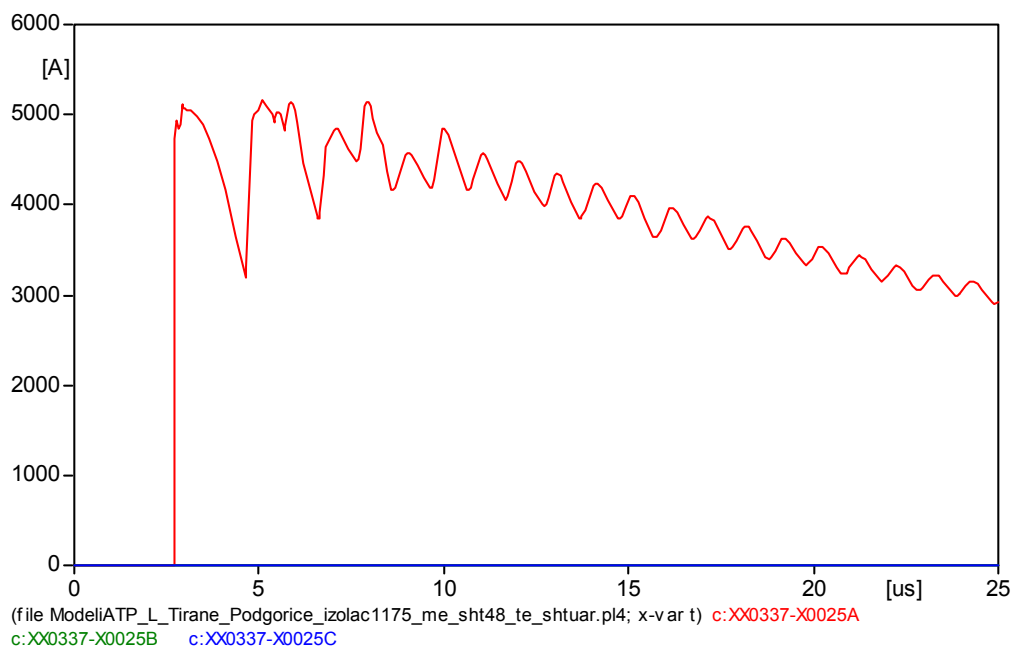


FIGURA 7.13b Rryma e harkut që mbulon izolatorët e fazës B të shtyllës Nr 48 (Vlera maksimale e rrymës së harkut 5150A)

Table 4.1: Statistical measured data of lightning strokes

Curve	Source	Average value kA	Coefficient of variation %	Number of measurements	Measuring device	Measuring place
1	CEMIG Brazil	46	21	150	magnetic charts	tower top
2	ERIKSSON South Afrika	41	22	11	osillo- graph	measuring mast
3	BERGER Swiss	30	42	101	osillo- graph	measuring mast
4	POPOLANSKY Czech Republic	28	—	618	osillo- graph	measuring mast
5	LEWIS USA	28	50	110	magnetic charts	tower top
6	SZPOR Poland	30	40	104	magnetic charts	Tower top
7	ANDERSON Rhodesia	40	19	140	magnetic charts	—

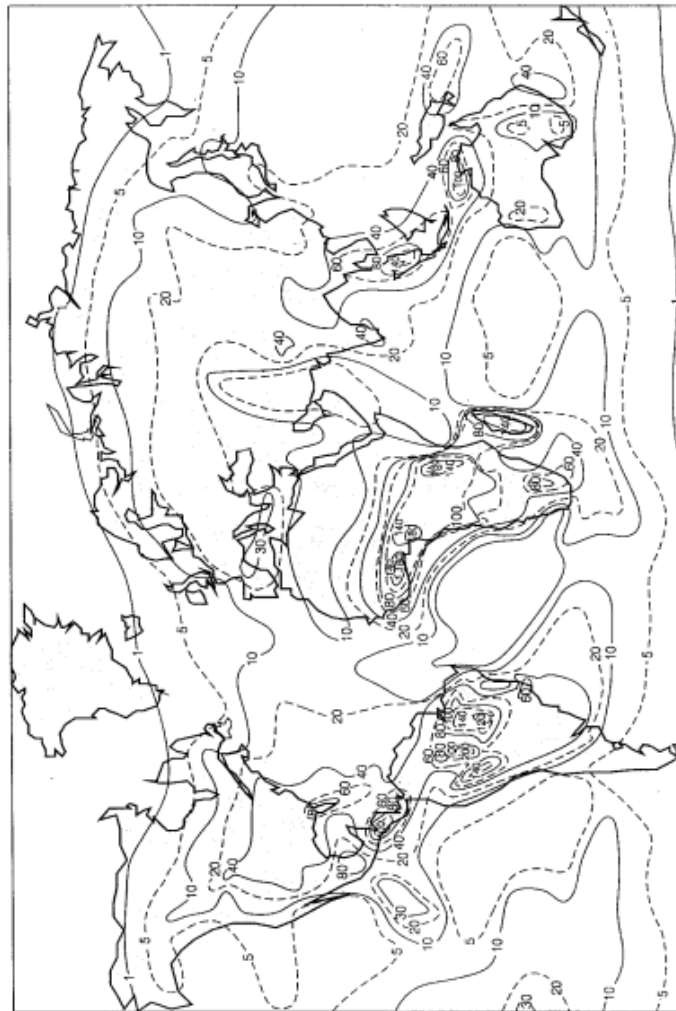


FIGURA 7.14 Nivelet keraunike të pozicionimeve dhe amplitudave të rrymave të rrufeve [101].

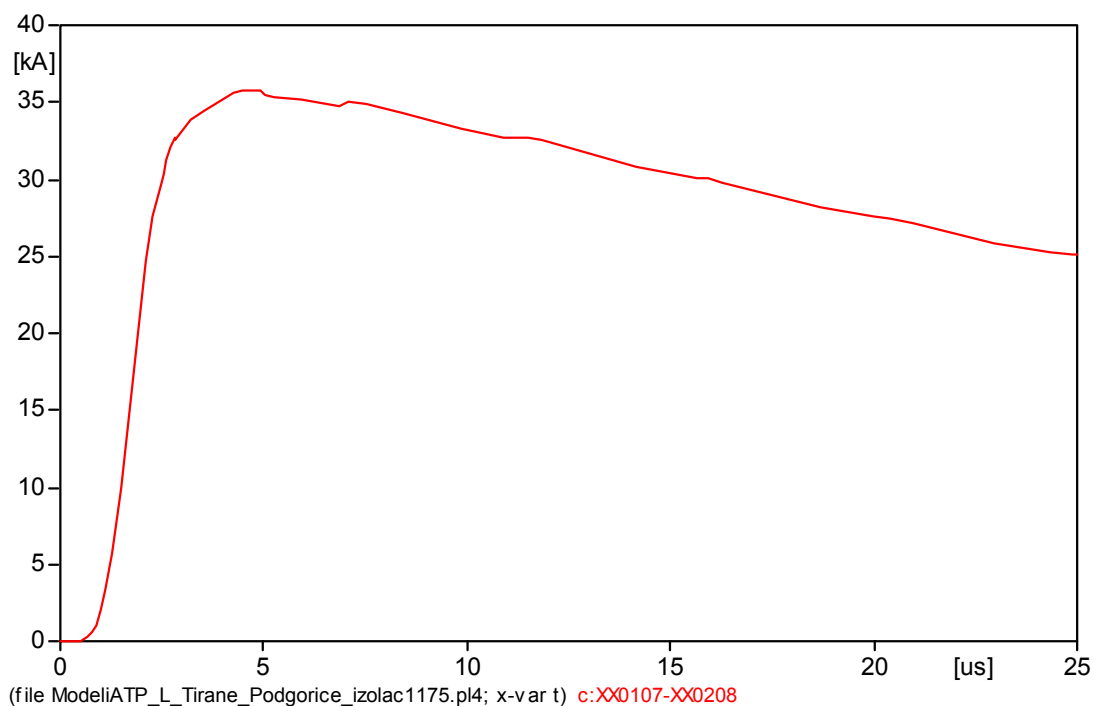


FIGURA 7.15 Impulsi goditës i rrufesë i zbatuar në trosin e linjës në segmentin midis shtyllave Nr.250-Nr.273

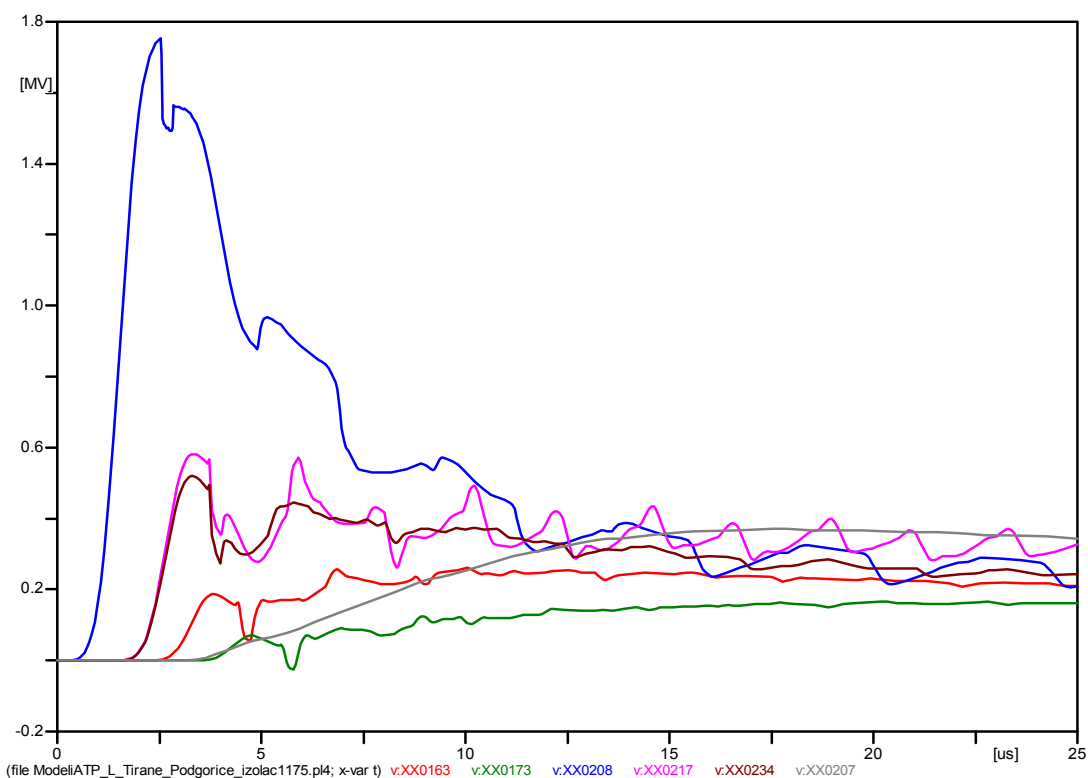


FIGURA 7.16 Mbitensionet në segmentin e linjës midis shtyllave Nr.250-258 në rastin e goditjes rrufe në përcjellësin e trosit

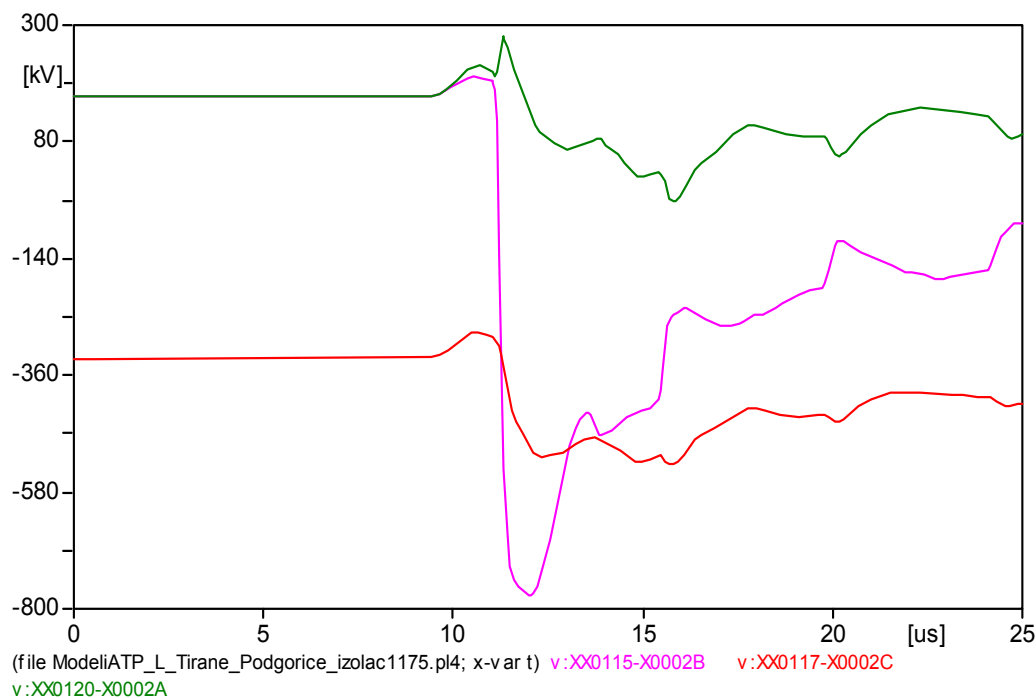


FIGURA 7.17 Mbitensionet në fillim të linjës në rastin e goditjes rrufe në përcjellësin e trisit.

7.6.6 Krahassimi i rezultateve të simulimeve me situatën reale të çkyçjeve në linjë nga goditjet atmosferike.

Norma e çkyçjeve të lejuara në vit për linjën “Tiranë-Podgoricë” në rastin e studimit të izolimit të saj ndaj shkarkimeve atmosferike, vërtetohet edhe nga të dhënat e softit Nexstorm Astrogenic, sipas studimit të vitit 2010 të realizuar në Departamenti i Sistemeve. Elektrike të Fuqisë të Fakultetit të Inxhinierisë Elektrike, Universiteti Politeknik i Tiranës [106].

Nga të dhënat e hartave të paraqitura në figurën 7.18, mbi densitetin e shkarkimeve atmosferike në territorin e Shqipërisë, duket qartë se linja është e pozicionuar plotësisht në territor me densitet mesatar ose të lartë shkarkimesh atmosferike, të cilat ndryshojnë nga 1.5 deri 5 goditje për km^2 .

Sipas udhëzimeve të projektimit për një linjë 400kV me dy trose, nëse rezistenca e tokëzimit të shtyllave është më e vogël se 20Ω , numri maksimal i çkyçjeve të lejuara për 1 vit për 100Km është 1.5.[101]

Duke përfshirë në gjatësinë e përgjithshme të linjës edhe zgjatimin “Tiranë-Elbasan”, ajo rezulton afërsisht 200km; nga ku mund të pranohen maksimalisht 3 çkyçje të lejuara për 1vit si rezultat i shkarkimeve atmosferike.

Bazuar në regjistrin e komutimeve të OST për periudhën 2011-2015 (koha e plotë e shfrytëzimit të linjës), janë analizuar të gjithë çkyçjet e ndodhura si rezultat i shkarkimeve atmosferike.

Rezultati real i çkyçjeve për shkak të shkarkimeve atmosferike është përmbledhur në tabelën e mëposhtme [107]:

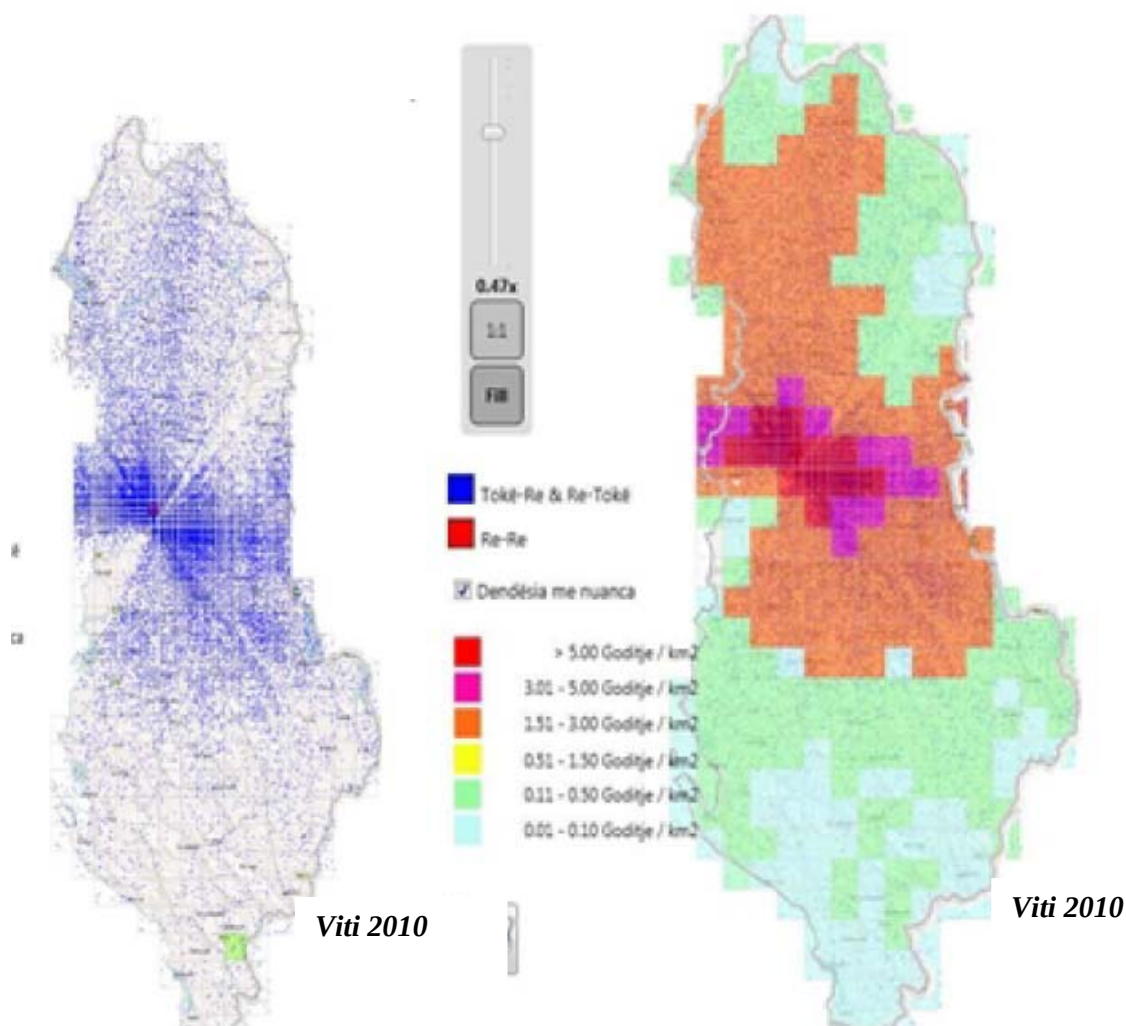


FIGURA 7.18 Harta e densitetit të shkarkimeve atmosferike për territorin e Shqipërisë [106].

TABELA 7.6 Numri. i çkyçjeve në linjën “Tiranë-Podgoricë” si rezultat i shkarkimeve atmosferike për periudhën 2011-2015 [107]

Viti	2011	2012	2013	2014	2015
Nr. çkyçjeve	1	2	1	2	1

Pra siç mund të vihet re: *Linja ka punuar qëndrueshëm ndaj shkarkimeve atmosferike gjatë gjithë kohës së shfrytëzimit. Kjo dëshmon saktësinë e studimit dhe projektimit të izolimit të saj.*

7.7 Përfundime:

- **Mbi parametrat e modelimit të shtyllave:**

Nga përcaktimi i parametrave gjatë modelimit, vihet re se shtyllat që kanë perimetër të ngushtë të bazamentit dhe lartësi të madhe, kanë një rezistencë karakteristike më të madhe. Kjo i përgjigjet kryesisht shtyllave ndërmjetëse të larta të tipit 2HS+6, 2HS+3, 2NS+6 dhe 2NS+3.

Rezistencë karakteristike me vlerë më të vogël paraqesin shtyllat ankerore me perimetër më të gjerë të bazamentit dhe lartësi të vogël (tipet 2MA-6, 2MA-3, 2LA-6, 2LA-3).

- **Mbi parametrat e modelimit të përcjellësve:**

Modeli i kampatës së përcjellësve me metodën J Marti për përcaktimin e rezistencës karakteristike të renditjes së drejtë paraqet rezultat pothuajse të njëjtë me atë të llogaritjes sipas metodës klasike.

Përsa i përket rezistencës karakteristike të renditjes nuleare, vihet re një ndryshim i vogël në vlerën e rezistencës aktive në rastin e llogaritjes në softin ATP, krahasuar me llogaritjen sipas metodës konvencionale; kjo për shkak të rritjes së rezistencës aktive nga dukuria e skin-efektit. Në llogaritjet në softin ATP sipas modelit J.Marti, kjo dukuri është marrë në konsideratë, sepse modeli përshin një brez shumë më të madh frekuencash, sesa modeli Pi dhe llogaritja klasike.

Kjo shpjegon këtë ndryshim të vogël në formulat e llogaritjeve konvencionale kundrejt atyre të *Rule BOOK210* të softit ATP.

- **Mbi simulimet e kryera me goditje direkte të rrufeve në shtyllat e linjës:**

Rrymat minimale për të cilat ndodh mbulimi i izolimit:

Nga rezultatet e simulimeve vëmë re që mbulimi i izolimit të linjës ndodh më lehtë për shtyllat që kanë rezistencë karakteristike më të madhe. Kësaj karakteristike i përgjigjen shtyllat që kanë lartësi më të madhe dhe perimetër më të hollë të bazamentit dhe një rezistence tokëzimi në vlerë më të madhe.

Rryma minimale për të cilën shfaqet efekti Back Flash Over është $\geq 37\text{kA}$, në varësi të tipit të shtyllës ku mund të godasë rrufeja dhe arrin deri në 50 ose 53kA për shtyllat ankerore të shkurtra.

Ndikimi i rezistencës së tokëzimit në efektin “Back Flash Over”:

Për të vënë në dukje ndikimin e rezistencës së tokëzimit në rrymën e mbulimit të izolimit, u zbatuan impulse rryme të ndryshme në katër shtylla të të njëtit tip (2NS-6), të cilat paraqesin rezistencë të njëjtë valore, por vlerë të ndryshme të rezistencës së tokëzimit. Simulimi u realizua duke i shkëputur këto shtylla nga pjesa tjetër e linjës gjatë zbatimit të goditjeve rrufe.

Nga simulimet e kryera u vu re se shtyllat me rezistencë tokëzimi me të vogël durojnë goditje rrufeje me amplitudë rrymash më të mëdha se shtyllat që kanë rezistencë më të madhe të tokëzimit.

Rasti i shtyllës Nr 48 me rezistencë tokëzimi 58 Ω :

Shtylla nr 48 përbën një përjashtim nga shtyllat e tjera të linjës pasi për shkak të vendodhjes së saj në terren shkëmbor, rezistenca e saj e tokëzimit ka vlerën 58 Ω (nuk respekton standartet teknike për tokëzimin e linjave të tensionit të lartë 400kV).

Amplituda minimale e rrymës për të cilën shfaqet efekti i mbulimit të izolimit është 22kA.

Pra kjo paraqitet *si pika më e dobët e linjës ndaj goditjeve të rrufeve*.

Nga vrojtimi i goditjeve të rrufeve të regjistruara dhe regjistrin real të çkyçjeve të linjës nuk është evidentuar ndonjë goditje rrufe mbi zonën ku shtrihet linja me amplitudë të mjaftueshme për të çkyçur linjën. Gjithashtu nga analiza e siutatës reale të çkyçjeve në linjë për shkak të shkarkimeve atmosferike gjatë periudhës së viteve 2011-2015, vihet re se numri i çkyçjeve është sipas normave të lejuara të projektimit dhe shfrytëzimit të linjave të transmetimit në nivel tensioni 400kV.

PËRFUNDIME, REKOMANDIME, OBJEKTIVA PËR TË ARDHMEN

- Linjat e transmetimit janë një pjesë shumë e rëndësishme e sistemeve elektroenergjetikë, sepse ato përfaqësojnë hallkën lidhëse të të gjithë komponentëve të tjerë si të një sistemi, ashtu edhe midis dy ose më shumë sistemeve.
- Njëlloj si për të gjithë komponentët e një sistemi elektroenergjetik, modelimi i linjave të transmetimit është i lidhur ngushtë me përcaktimin e saktë të parametrave të tyre në një frekuencë ose brez të caktuar frekuencash. Këto situata përshkruajnë procese kalimtare të caktuar, analiza e saktë e të cilëve është e lidhur ngushtë me qëndrueshmërinë elektrike të çdo komponenti, dhe rrjedhimisht të vetë sistemit.
- Elementët përbërës të paraqitjes së linjave në modelim janë: përcjellësit, shtyllat, sistemi i tokëzimit dhe ai i izolimit.
- Baza teorike e modelit matematik të përcjellësve të linjave të transmetimit, janë ekuacionet telegrafiketë valëve të tensionit dhe rrymës, vlerat e të cilëve varen nga matricat e parametrave karakteristike të linjës R, L, C, G të shprehur në madhësi për njësi gjatësie.
- ATP është software më i saktë dhe më i përdorshëm për analizën e proceseve kalimtare në linja. Në soft ofrohen disa modele paraqitjeje të linjave të transmetimit, të kategorizuar në tre grupe kryesorë: modeli klasik me qarqe Π me parametra të përqendruar, modeli me qarqe me parametra të shpërndarë konstantë (më i përdorshmi në këtë grup është modeli Bergeron) dhe modeli me qarqe me parametra të shpërndarë të ndryshueshëm të varur nga frekuenca (J. Marti është modeli më i përdorshëm në këtë grup). Simulimi i proceseve kalimtare në ATP realizohet sipas

modelit më të përshtatshëm, të zgjedhur në funksion të gjatësisë së linjës, dukurisë që studiohet dhe saktësisë së kërkuar.

- Një aspekt shumë i rëndësishëm në punim është studimi i qëndrueshmërisë së izolimit në linjat e transmetimit, i cili është realizuar si nga ana teorike, ashtu edhe praktikisht për dy nivelet kryesore të tensionit të transmetimit në sistemin elektroenergjetik shqiptar: 220kV dhe 400kV. Bazuar në standartet teknike të projektimit dhe shfrytëzimit të linjave të tensionit të lartë dhe normat ndërkombëtare, është trajtuar studimi i qëndrueshmërisë së izolimit të tyre si në rastin e mbtensioneve të brendshëm (në nivelet deri 220kV), ashtu edhe në rastin e shkarkimeve atmosferike (në nivelet mbi 400kV). Vlen të theksohet se studimi i këtij të fundit, i realizuar praktikisht për linjën 400kV "Tiranë-Podgoricë", përbën edhe një kontribut të punimit mbi trajtimin e modelimit të linjave të transmetimit në funksion të qëndrueshmërisë elektrike të tyre.
- Nga punimi mund të formulohen paketa përfundimesh dhe rekomandimesh të grupuara në: *I- teorike, të shfrytëzueshme në mësimdhënie për programet mësimore të studentëve të inxhinierisë elektrike, dhe II- procedura praktike mbi vlerësimin e qëndrueshmërisë së izolimit të linjave, të cilat kërkojnë një bashkëpunim të ngushtë me personelin projektues dhe shfrytëzues të sistemit elektroenergjetik.*
- Duke e konsideruar këtë studim vetëm një fillim në punën time shkencore në këtë fushë, mund të përshkruaj **disa objektiva** mbi vazhdimin e mëtejshëm në:
- Studimin e disa aspekteve të tjerë mbi qëndrueshmërinë e linjave të transmetimit, të lidhur ngushtë me modelimin e tyre.
- Studimin e modelimit dhe qëndrueshmërisë së linjave kablllore.
- Modelimin dhe studimin e dukurive karakteristike lidhur me qëndrueshmërinë e linjave të tensionit të ulët (niveli i shpërndarjes).

LITERATURA

- [1] J.A. Martinez, J. Mahseredjian, and R.A. Walling, Parameter determination for modeling system transients, IEEE Power Energy Magazine, 3(5), 16–28, September/October 2005.
- [2] A.Dedei, R.Çako, Proceset kalimtare në sistemin elektroenergjetik, Pjesa e parë, 11-24, SHBLU, Tiranë 2006
- [3] CIGRE WG 33.02, Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients, CIGRE Brochure 39, 1990.
- [4] IEC TR 60071-4, Insulation Coordination—Part 4: Computational Guide to Insulation Co-ordination and Modeling of Electrical Networks, IEC, 2004.
- [5] A. Gole, J.A. Martinez-Velasco, and A. Keri, Modeling and Analysis of Power System Transients Using Digital Programs, IEEE Special Publication TP-133–0, IEEE Catalog No. 99 TP133-0, 1999.
- [6] J.A. Martinez, Parameter determination for power systems transients, IEEE PES General Meeting, Tampa, June 24–28, 2007.
- [7] J.A. Martinez, B. Gustavsen, and D. Durbak, Parameter determination for modeling systems transients. Part I: Overhead lines, IEEE Transactions on Power Delivery, 20(3), 2038–2044, July 2005.
- [8] IEEE Std 1313.2-1999, IEEE Guide for the Application of Insulation Coordination.
- [9] IEC 60071-2, Insulation Coordination, Part 2: Application Guide, 1996.
- [10] A.R. Hileman, Insulation Coordination for Power Systems, New York: Marcel Dekker, 1999.
- [11] CIGRE WG 33.02, Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients, CIGRE Brochure no. 39, 1990.
- [12] IEC TR 60071-4, Insulation coordination—Part 4: Computational guide to insulation coordination and modeling of electrical networks, 2004
- [13] B.Golemi, Bazat Teorike të Elektroteknikës, Vëllimi 2, 321-363, SHBLU Tiranë, 1999
- [14] C. Paul, Analysis of Multiconductor Transmission Lines, Second Edition 2007
- [15] A.I. Ramirez, A. Semlyen, and R. Iravani, Modeling nonuniform transmission lines for time domain simulation of electromagnetic transients, IEEE Transactions on Power Delivery, 18(3), 968–974, July 2003.
- [16] A. Ramirez, J.L. Naredo, and P. Moreno, Full frequency dependent line model for electromagnetic transient simulation including lumped and distributed

- sources, IEEE Transactions on Power Delivery, 20(1), 292–299, January 2005.
- [17] P.S. Maruvada, D.H. Nguyen, and H. Hamadani-Zadeh, Studies on modeling corona attenuation of dynamic overvoltages, IEEE Transactions on Power Delivery, 4(2), 1441–1449, April 1989.
 - [18] J.R. Carson, Wave propagation in overhead wires with ground return, Bell System Technical Journal, 5, 539–554, October 1926.
 - [19] S.A. Schelkunoff, The electromagnetic theory of coaxial transmission lines and cylindrical shields, Bell System Technical Journal, 13, 532–579, 1934.
 - [20] A. Deri, G. Tevan, A. Semlyen, and A. Castanheira, The complex ground return plane. A simplified model for homogeneous and multi-layer earth return, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 100(8), 3686–3693, August 1981.
 - [21] H.W. Dommel, EMTP Theory Book, Portland, Oregon: Bonneville Power Administration, 1996.
 - [22] R.H. Galloway, W.B. Shorrock, and L.M. Wedepohl, Calculation of electrical parameters for short and long polyphase transmission lines, Proceedings of the IEE, 111(12), 2051–2059, December 1964.
 - [23] H.W. Dommel, Discussion of Electromagnetic effects of overhead transmission lines practical problems, safeguards and methods of calculation, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 93(3), 900–901, May/June 1974.
 - [24] L.M. Wedepohl and A.E. Efthymiadis, Wave propagation in transmission lines over lossy ground: A new, complete field solution, Proceedings of the IEE, 125(6), 505–510, June 1978.
 - [25] E.D. Sunde, Earth Conduction Effects in Transmission Waves in Communication Electronics, 3rd edition, New York: Wiley, 1994.
 - [26] J.A. Martinez-Velasco and B. Gustavsen, Overview of overhead line models and their representation in digital simulations, 4th *IPST*, Rio de Janeiro, Brazil, June 24–28, 2001.
 - [27] W. Scott Meyer and H.W. Dommel, Numerical modeling of frequency dependent transmission line parameters in an electromagnetic transients program, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 93(5), 1401–1409, September/October 1974.
 - [28] A. Semlyen, Contributions to the theory of calculation of electromagnetic transients on transmission lines with frequency dependent parameters, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 100(2), 848–856, February 1981.
 - [29] J. R. Marti, Accurate modeling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulations, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 101(1), 147–155, January 1982.
 - [30] M.C. Tavares, J. Pissolato, and C.M. Portela, Mode domain multiphase transmission line model—Use in transients analysis, IEEE Transactions on Power Delivery, 14 (4), 1533–1544, October 1999.
 - [31] L. M. Wedepohl, H.V. Nguyen, and G.D. Irwin, Frequency-dependent transformation matrices for untransposed transmission lines using Newton-Raphson method, IEEE Transactions on Power Systems, 11 (3), 1538–1546, August 1996.
 - [32] B. Gustavsen and A. Semlyen, Simulation of transmission line transients using

- vector fitting and modal decomposition, IEEE Transactions on Power Delivery, 13(2), 605–614, April 1998.
- [33] H. Nakanishi and A. Ametani, Transient calculation of a transmission line using superposition law, IEE Proceedings, 133, Pt. C, no. 5, 263–269, July 1986.
- [34] R. Mahmutcehajic, S. Babic, R. Garcanovic, and S. Carsimamovic, Digital simulation of electromagnetic wave propagation in a multiconductor transmission system using the superposition principle and Hartley transform, IEEE Transactions on Power Delivery, 8(3), 1377–1385, July 1993.
- [35] G. Angelidis and A. Semlyen, Direct phase-domain calculation of transmission line transients using two-sided recursions, IEEE Transactions on Power Delivery, 10(2), 941–949, April 1995.
- [36] T. Noda, N. Nagaoka, and A. Ametani, Phase domain modeling of frequency-dependent transmission lines by means of an ARMA model, IEEE Transactions on Power Delivery, 11(1), 401–411, January 1996.
- [37] T. Noda, N. Nagaoka, and A. Ametani, Further improvements to a phase-domain ARMA line model in terms of convolution, steady-state initialization, and stability, IEEE Transactions on Power Delivery, 12(3), 1327–1334, July 1997.
- [38] B. Gustavsen and A. Semlyen, Combined phase and modal domain calculation of transmission line transients based on vector fitting, IEEE Transactions on Power Delivery, 13(2), 596–604, April 1998.
- [39] B. Gustavsen and A. Semlyen, Calculation of transmission line transients using polar decomposition, IEEE Transactions on Power Delivery, 13(3), 855–862, July 1998.
- [40] F. Castellanos, J.R. Martí, and F. Marcano, Phase-domain multiphase transmission line models, Electrical Power and Energy Systems, 19(4), 241–248, May 1997.
- [41] J.L. Naredo, A.C. Soudack, and J.R. Martí, Simulation of transients on transmission lines with corona via the method of characteristics, IEE Proceedings. Generation, Transmission and Distribution, 142(1), 81–87, January 1995.
- [42] P. Moreno and A. Ramirez, Implementation of the numerical Laplace transform: A review, IEEE Transactions on Power Delivery, 23(4), 2599–2609, October 2008.
- [43] M. Puka, M. Qemali, G. Dume, P. Cipo, Analiza e ndjeshmërisë së parametrave të linjave të transmetimit me metodën e transformimit numerik të Laplasit, Konferenca Kombëtare: “Teknologjitë e Avancuara-Rruga Jonë e Zhvillimit”, Universiteti Politeknik Tiranë, 31 Tetor 2011
- [44] P. Cipo, N. Hobdari, I. Palikuqi, Electromagnetic Transients Analysis of Multiconductor Transmission Lines with Losses, using Numerical Inversion of Laplace transformation, Medpower Conference, Athens-Greece, 2006
- [45] J.A. Martinez-Velasco, Power System Transients-Parameter, Determination, CRC-Press, N.York, 2010
- [46] L. Grcev and F. Rachidi, On tower impedance for transient analysis, IEEE Transactions on Power Delivery, 19(3), 1238–1244, July 2004.
- [47] C.F. Wagner and A.R. Hileman, A new approach to the calculation of the lightning performance of transmission lines—Part III, AIEE Transactions Part III,

- 79(3), 589–603, October 1960.
- [48] M.A. Sargent and M. Darveniza, Tower surge impedance, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 88(3), 680–687, May 1969.
 - [49] W.A. Chisholm, Y.L. Chow, and K.D. Srivastava, Lightning surge response of transmission towers, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 102(9), 3232–3242, September 1983.
 - [50] W.A. Chisholm, Y.L. Chow, and K.D. Srivastava, Travel time of transmission towers, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 104(10), 2922–2928, October 1985.
 - [51] M. Ishii, T. Kawamura, T. Kouno, E. Ohsaki, K. Shiokawa, K. Murotani, and T. Higuchi, Multistory transmission tower model for lightning surge analysis, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 6(3), 1327–1335, July 1991.
 - [52] A. Ametani, Y. Kasai, J. Sawada, A. Mochizuki, and T. Yamada, Frequency-dependent impedance of vertical conductors and a multi-conductor tower model, *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 141(4), 339–345, July 1994.
 - [53] CIGRE WG 33-01, Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines, CIGRE Brochure no. 63, 1991.
 - [54] Y. Baba and M. Ishii, Numerical electromagnetic field analysis on measuring methods of tower surge response, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(2), 630–635, April 1999.
 - [55] IEEE Std 1243-1997, IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines, 1997.
 - [56] IEEE WG on Lightning Performance of Transmission Lines, Estimating lightning performance of transmission lines II: Updates to analytical models, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8(3), 1254–1267, July 1993.
 - [57] Guide for Transmission Line Grounding: A Roadmap for Design, Testing and Remediation: Part I—Theory Book, EPRI Report 1013594, Palo Alto, CA, November 2006.
 - [58] IEEE WG on Lightning Performance of Transmission Lines, A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 104(4), 919–932, April 1985.
 - [59] T. Yamada, A. Mochizuki, J. Sawada, E. Zaima, T. Kawamura, A. Ametani, M. Ishii, and S. Kato, Experimental evaluation of a UHV tower model for lightning surge analysis, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 10(1), 393–402, January 1995.
 - [60] F. Kiesling, P. Nefzger, J.F. Nolasco, and U. Kaintzyk, *Overhead Power Lines*, Berlin, Germany: Springer, 2003.
 - [61] CIGRE WG C4.4.02, Protection of MV and LV Networks Against Lightning—Part I Common Topics, CIGRE Brochure no. 287, February 2006.
 - [62] W.A. Chisholm, Transmission line transients—Grounding, in *Power Systems*, Chapter 12, L.L. Grigsby (Ed.), Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
 - [63] S.L. Loyka, A simple formula for the ground resistance calculation, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 41(2), 152–154, May 1999.

-
- [64] F. M. Tesche, M. V. Ianoz, T. Karlsson, *EMC Analysis Methods and Computational Models*, 1997
 - [65] S. Viscaro, A comprehensive approach to the grounding response to lightning currents, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(1), 381–386, January 2007.
 - [66] H. Weck, Remarks to the current dependence of tower footing resistances, *CIGRE Session*, Paris, France, Paper 33–85, 1988.
 - [67] *Transmission Line Reference Book. 345 kV and Above*, 2nd Edition, EPRI, Palo Alto, CA, 1982. CIGRE WG 33.01, Guide for the Evaluation of the Dielectric Strength of External Insulation, Technical Brochure no. 72, 1992.
 - [68] J. Krasniqi, G. Latifi, *Teknika e tensioneve të larta*, Universiteti i Prishtinës, Prishtinë, 1996
 - [69] N.L. Allen, Fundamental aspects of air breakdown, in *High Voltage Engineering and Testing*, Chapter 20, H.M. Ryan (Ed.), London: The Institution of Electrical Engineers, 2001.
 - [70] IEEE Std 1313.1-1996, IEEE Standard for Insulation Coordination—Definitions, Principles and Rules.
 - [71] IEC 60071-1, Insulation Coordination, Part 1: Definitions, principles and rules, 2006.
 - [72] IEC 60060-1, 1989, High-voltage test techniques—Part 1: General definitions and test requirements.
 - [73] A. Greenwood, *Electrical Transient in Power Systems*, Second Edition 1970
 - [74] R.O. Caldwell and M. Darveniza, Experimental and analytical studies of the effect of non-standard waveshapes on the impulse strength of external insulation, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 92(4), 1420–1428, July/August 1973.
 - [75] T. Suzuki and K. Miyake, Experimental study of the breakdown voltage time characteristics of large air-gaps with lightning impulses, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 6(1), 227–233, January/February 1977.
 - [76] K. Alstad, J. Huse, H.M. Paulsen, A. Schei, H. Wold, T. Henriksen, and A. Rein, Lightning impulse flashover criterion for overhead line insulation, *Proc. ISH*, Milan, Italy, Paper 42.19, 1979.
 - [77] M. Darveniza and A.E. Vlastos, The generalized integration method for predicting impulse volt-time characteristics for non-standard wave shapes—A theoretical basis, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 23(3), 373–381, June 1988.
 - [78] G. Baldo, B. Hutzler, A. Pignini, and E. Garbagnati, Dielectric strength under fast front overvoltages in reference ambient conditions, in CIGRE WG 33.01, Guide for the Evaluation of the Dielectric Strength of External Insulation, Chapter 5, CIGRE Technical Brochure no. 72, 1992.
 - [79] K.J. Lloyd and L.E. Zaffanella, *Insulation for Switching Impulses*, Chapter 11, 2nd edition, EPRI, 1982.
 - [80] W. Büsch, Air humidity, an important factor of UHV design, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 97(6), 2086–2093, November/December 1978.
 - [81] L. Paris and R. Cortina, Switching and lightning impulse characteristics of large air gaps and long insulator strings, *IEEE Transactions on Power Apparatus and*

- Systems, 87(4), 947–957, April 1968.
- [82] L. Paris., A. Taschini, K. H. Schneider, and K. H. Week, Phase-to-ground and phase-to-phase air clearances in substations, *Electra*, no. 29, 29–44, July 1973.
 - [83] A. Pigni, G. Rizzi, and R. Brambilla, Switching impulse strength of very large air gaps, 3rd ISH, Milan, Italy, 1979.
 - [84] B. Hutzler, E. Garbagnati, E. Lemke, and A. Pigni, Strength under switching overvoltages in reference ambient conditions, in CIGRE WG 33.01, Guide for the Evaluation of the Dielectric Strength of External Insulation, Chapter 4, CIGRE Technical Brochure no. 72, 1992.
 - [85] CIGRE Work Group, Phase-to-phase insulation coordination, *Electra*, no. 64, 137–236, May 1979.
 - [86] G.N. Aleksandrov, Y.A. Gerasimov, and P.V. Gorbunov, The electric strength of long insulator strings by lightning impulses, 7th ISH, Dresden, Germany, 1991.
 - [87] A.M. Mousa, The soil ionization gradient associated with discharge of high currents into concentrated electrodes, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9(3), 1669–1677, July 1994.
 - [88] V.A. Rakov and M.A. Uman, *Lightning: Physics and Effects*, New York: Cambridge University Press, 2003.
 - [89] IEEE TF on Parameters of Lightning Strokes, Parameters of lightning strokes: A review, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(1), 346–358, January 2005.
 - [90] J.A. Martinez and F. Castro-Aranda, Lightning performance analysis of overhead transmission lines using the EMTP, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(3), 2200–2210, July 2005.
 - [91] A. Asakawa, K. Miyake, S. Yokoyama, T. Shindo, T. Yokota, T. Sakai, and M. Ishii, The types of lightning discharge to a high stack on the coast of the of Japan in winter, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(3), 1222–1231, July 1997.
 - [92] K.J. Lloyd and H.M. Schneider, *Insulation for Power Frequency Voltage*, Chapter 10, EPRI, 2nd edition, 1982.
 - [93] A. Pigni, L. Thione, and F. Rizk, Dielectric strength under AC and DC voltages, in CIGRE WG 33.01, Guide for the Evaluation of the Dielectric Strength of External Insulation, Chapter 6, CIGRE Technical Brochure no. 72, 1992.
 - [94] A.R. Hileman, Weather and its effect on air insulation specifications, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 103(10), 3104–3116, October 1984.
 - [95] T. Kawamura and K. Naito, Influence of ice and snow, in CIGRE WG 33.01, Guide for the Evaluation of the Dielectric Strength of External Insulation, Chapter 10, CIGRE Technical Brochure no. 72, 1992.
 - [96] O.Hevia, Alternative Transients Program-Comparison of Transmission Line Models
 - [97] A.Gole, U. Annakagge, “Electromagnetic Transients Simulations Tools for Power System Education”, University of Manitoba, 2005
 - [98] M.Kizilcay, “Power System Transients
 - [99] R.Bualoti, A. Dedei, Proceset kalimtare në sistemin elektroenergjetik, Pjesa 2, SHBLU, Tiranë, 2005

-
- [100] M.Puka, Xh.Pejtamalli, L.Londo, Modelet matematikë të linjave të transmetimit për studimin e proceseve kalimtarë në softin ATP, Takimi IX Vjetor Ndërkombëtar i Institutit Alb-Shkenca, Prishtinë 29-31 gusht 2014
- [101] F.Kiessling, P.Nefzger, J.F. Nolasco, U. Kaintzyk, Overhead Power Lines: (Planning, Design, Construction),
- [102] Dosja e dokumentacionit “As-Build” te linjes 400kV Tirane-Podgorice, Arshiva OST 2011
- [103] M. Puka, N. Hobdari, R. Zyfi, Llogaritja e parametrave të linjave të transmetimit në softin ATP, Buletini Shkencor Universiteti “Ismail Qemali”- Vlorë, Volume 3/2015, 84-94
- [104] M. Puka, N. Hobdari, The Lightning Study of Overhead Transmission Lines, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN:2320-3331, Volume 10, Issue 5 Ver.II (Sep-Oct 2015), 69-75
- [105] M. Kizilcay, C. Neumann, Back flashover Analysis for 110-kV Lines at Multi-Circuit Overhead Line Towers, International Conference on Power Systems Transients (IPST’07), Lyon, France on June 4-7, 2007
- [106] N.Hobdari, L.Labenishti, A.Bauta, E.Voshtina, Një algoritëm për ndërtimin e hartës së shkarkimeve atmosferike, Konferenca Kombëtare “ Teknologjitë e Avancuara-Rruga Jonë drejt Zhvillimit”, 31 Tetor 2011, UPT, Tiranë
- [107] Regjistri i komutimeve në linjen 400kV Tiranë-Podgoricë gjate periudhës 2011-2015, Arshiva OST 2015