

INDUSTRIA TEKNOLOGIAREN INGENIARITZAKO GRADUA
GRADU AMAIERAKO LANA

FASE HAUTAGAILUA URRUTIKO BABESERAKO

Ikaslea: Dávila Peña, Asier

Zuzendaria: Uriondo Arrue, Felipe

Ikasturtea: 2018-2019

Data: Bilbon, 2019ko Irailaren 3a

Gaien Aurkibidea

Laburpen hirueleduna	III
Irudien zerrenda	IV
Taulen zerrenda	VI
Laburdurak	VII
1. Sarrera	1
2. Testuingurua	2
3. Helburuak eta irispena	3
4. Proiektuaren onurak	4
4.1. Onura teknikoak	4
4.2. Onura ekonomikoak	4
4.3. Onura sozialak	5
5. Artearen egoera	6
5.1. ZLV (ZIV)	7
5.2. D60 LINE DISTANCE PROTECTION SYSTEM (GE)	8
5.3. REL670 (ABB)	9
5.4. INGEPAC EF-ZT (INGETEAM)	12
5.4.1. Falta trifasikoa	12
5.4.2. Falta bifasikoa	13
5.4.3. Falta monofasikoa edo bifasikoa lurrera	14
5.4.4. Falta indeterminatua	15
5.5. SEL-421 RELAY (SEL)	15
5.6. MICOMHO P443 AND P445 (AREVA)	17
6. Alternatiben analisia	18
7. Arriskuen analisia	19
7.1. Falta bat linean ematea eta ez desarratzea	19
7.2. Falta bat lineatik kanpo ematea eta desarratzea	20
7.3. Ekipoen hondaketa	20
7.4. Arriskuen analisisen laburpena	20
8. Soluzioaren azalpena	22
8.1. Falta monofasikoa	26
8.1.1. Azalpen orokorra	26
8.1.2. Hautagailuaren aukeratze modua	27
8.2. Falta bifasikoa	29

8.2.1. Azalpen orokorra	29
8.2.2. Hautagailuaren aukeratze modua	30
8.3. Falta trifasikoa	31
8.3.1. Azalpen orokorra	31
8.4. Falta bifasikoa lurrera	32
8.4.1. Azalpen orokorra	32
8.4.2. Hautagailuaren aukeratze modua	34
9. Metodologia	36
9.1. Fase hautagailua	37
9.2. Simulazioen emaitzen azterketa	41
10.Lanaren deskribapena	45
10.1. Lanaren garapenerako atalak	45
11.Aurrekontua	48
11.1. Barne orduak	48
11.2. Amortizazioak	48
11.3. Gastuak	48
11.4. Kostu ez zuzenak	49
12.Ondorioak	50
Erreferentziak	51
Eranskinak I	53
Eranskinak II	59
Eranskinak III	70

Laburpen hirueleduna

Ikaslea: Asier Dávila Peña.

Zuzendaria: Felipe Uriondo Arrue.

Saila: Ingenieritza Elektrikoa.

Izenburua: Fase hautagailua urrutiko babeserako.

Laburpena: Lan honen helburua irakurleari fase hautagailu bat zer den, nola funtzionatzen duen eta oinarritzen diren printzipioen azalpen bat ematea da. Ulermen on bat burutzeko, fase hautagailu erreal baten simulazioak gehitu dira, aurrerago azaldutako kontzeptu teorikoen ulermenerako lagungarriak izango direnak.

Hitz-gakoak: Fase hautagailua, linea elektrikoa, falta, sekuentzia-sareak, babesgailuak.

Resumen: El propósito de este trabajo es proporcionar al lector de este los conocimientos sobre qué es un selector de fases, los principios de funcionamiento que tiene y en que fundamentos teóricos se basa. Para una correcta comprensión, se han añadido simulaciones de un selector de fase real que servirán para afianzar los conceptos teóricos previamente explicados.

Palabras clave: Selector de faltas, línea eléctrica, falta, redes de secuencia, protecciones.

Abstract: The aim of this paper is to provide the reader knowledge about what a phase selector is, which are the operating principles and the theoretical foundations on which it is based. For a proper understanding of the theory, some simulations of a real phase selector were added, which may help to bolster the concepts previously explained.

Keywords: Phase selector, power line, fault, sequence network, protections.

Irudien Zerrenda

5.1. Angelu diagrama falta bifasikoentzat [1].	8
5.2. Angelu diagrama falta monofasiko eta bifasiko-lurrera [1].	8
5.3. Fase aukeraketaren printzipioa [2].	9
5.4. Falta bifasikoaren aukeraketa U_2 eta U_1 -ren arabera [3].	10
5.5. Falta bifasiko-lur edo fase lur (1) [3].	11
5.6. Falta bifasiko-lur edo fase lur (2) [3].	11
5.7. Falta bifasikoaren aukeraketa (5.7) -ren arabera [4].	14
5.8. Falta monofasiko edo bifasiko-lur aukeraketa (5.7) -ren arabera [4].	15
5.9. Falta motaren aukeraketa angeluaren arabera [5].	16
5.10. Falta motaren aukeraketa angeluaren arabera (2) [5].	16
5.11. Falta monofasikoa C fasean [6].	17
6.1. Alternatiben analisia	18
7.1. Linea baten babeserako eremuak [7].	19
7.2. Probabilitate-eragin matrizea.	21
8.1. Intentsitate sistema orekatua p.u.-etan adierazita [8].	22
8.2. Falta trifasikoa [9].	23
8.3. Falta monofasikoa [9].	23
8.4. Falta bifasikoa [9].	23
8.5. Falta bifasikoa lurrera [9].	23
8.6. Zero sekuentzia.	24
8.7. Sekuentzia positiboa.	25
8.8. Sekuentzia negatiboa.	25
8.9. Sare zuzena, alderantzizkoa eta homopolarra falta monofasikoan [10].	27
8.10. Falta motaren bereizketa Angelua-ren arabera [4].	28
8.11. Sare zuzena eta alderantzizkoa falta bifasikoetan [10].	30
8.12. Falta motaren bereizketa Angelua-ren arabera falta bifasikoentzat [4].	30
8.13. Sekuentzia positibo, negatibo eta zero sekuentziak BCG falta baten [10].	33
9.1. Linea mapan adierazita.	36
9.2. Linearen Simulink eredua.	37
9.3. Fase hautagailuaren eredua.	38
9.4. Intentsitateen balioak lortzeko azpisistema.	40
9.5. Algoritmoaren eskema.	41
9.6. AG falta motan baldintzen balioak eta Angelua-ren balioa.	42
9.7. BCG falta motan baldintzen balioak eta Angelua-ren balioa.	42
9.8. Falta mota-ren balioa denboran zehar AG faltan.	43
9.9. Falta mota-ren balioa denboran zehar BCG faltan.	44
10.1. Proiektuaren Gantt diagrama.	47
12.1. AG falta mota.	59
12.2. BG falta mota.	59
12.3. CG falta mota.	59
12.4. Falta mota-ren balioa denboran zehar AG faltan.	60
12.5. Falta mota-ren balioa denboran zehar BG faltan.	61

12.6. Falta mota-ren balioa denboran zehar CG faltan.	61
12.7. ABG falta mota.	62
12.8. BCG falta mota.	62
12.9. CAG falta mota.	62
12.10 Falta mota-ren balioa denboran zehar ABG faltan.	63
12.11 Falta mota-ren balioa denboran zehar BCG faltan.	63
12.12 Falta mota-ren balioa denboran zehar CAG faltan.	64
12.13 AB falta mota.	64
12.14 BC falta mota.	64
12.15 CA falta mota.	64
12.16 Falta mota-ren balioa denboran zehar AB faltan.	65
12.17 Falta mota-ren balioa denboran zehar BC faltan.	66
12.18 Falta mota-ren balioa denboran zehar CA faltan.	66
12.19 Falta mota-ren balioa denboran zehar falta trifasikoan.	67
12.20 ABC falta mota.	68
12.21 Falta gabeko egoera.	69
12.1. Falta sortzailea.	70
12.2. Iturri trifasikoa.	70
12.3. Iturri trifasikoa 2.	71
12.4. Lagin sortzailea.	71
12.5. Lineako inpedantzia 1.	72
12.6. Lineako inpedantzia 2.	72
12.7. Lineako inpedantzia 3.	73
12.8. Lineako intentsitate eta tentsioak lortzeko gailua.	73
12.9. Lurrerako erresistentziak.	74
12.10 Lineako PI eredu 1.	75
12.11 Lineako PI eredu 2.	76
12.12 Sequence analyzer blokea.	76
12.13 Lineako intentsitateak lortzeko sistema.	77
12.14 Modulua eta angelua batzeko blokea.	77
12.15 ZOH-ren parametroak.	78

Taulen Zerrenda

9.1. Gatica-Henani lineako parametroak.	36
9.2. Irteerako zenbakia falta motaren arabera.	40
11.3. Barne orduak.	49
11.4. Amortizazioak.	49
11.5. Gastuak.	49
11.6. Kostu totalak.	49

Laburdurak

- **GT:** Goi tentsio.
- **GRAL:** Gradu amaierako lana.
- **I:** Intentsitatea.
- **V:** Tentsioa.
- **f:** Frekuentzia.
- **Z:** Inpedantzia.
- **AG:** Falta monofasikoa A fasean.
- **BG:** Falta monofasikoa B fasean.
- **CG:** Falta monofasikoa C fasean.
- **AB:** Falta bifasikoa A eta B faseetan.
- **BC:** Falta bifasikoa B eta C faseetan.
- **CA:** Falta bifasikoa C eta A faseetan.
- **ABG:** Falta bifasikoa lurrera A, B fase eta lurraren artean.
- **BCG:** Falta bifasikoa lurrera B, C fase eta lurraren artean.
- **CAG:** Falta bifasikoa lurrera C, A fase eta lurraren artean.
- **ABC:** Falta trifasikoa.

1. Sarrera

Lan honen helburua fase hautagailu baten funtzionamendu printzipioak eta erabilerak aztertzen dituen gida bat sortzea da, gaur egun duten garrantzia eta funtzionatzeko era ikusis. Horretarako, Industri Ingenieritzako graduan zehar ikasitako ingenieritza elektrikoko kontzeptuak erabili dira.

Lanaren egiturari dagokionez, lehendabizi inguratzen gaituen testuingurua aurkeztuko da, irakurleak fase hautagailuak zer diren eta zergaitik erabiltzen diren ohartzeko, gaur egungo sistema elektrikoa fidagarriagoa izateko beharrezko elementuak izanik.

Behin testuinguruan murgildu eta gero, proiektu honen helburuak azalduko dira. Helburuak azalduta, proiektuak ekarriko dituen onurak aztertuko dira, batez ere eremu teorikoan emango direnak, egun dagoen fase hautagailu baten funtzionamendu algoritmoa garatuz.

Jarraian, artearen egoera azaldu beharra dago, merkatuan dauden fase hautagailu ezberdinak aztertuz, erabiltzen duten fase aukeratze modu ezberdinak azalduz eta haien artean dauden desberdintasunak zehaztuz. Alternatibak ikusi eta gero, fase hautagailuetako bat aukeratu eta simulatuko da. Segidan, fase hautagailu baten erabilera edota funtzionamendu txar batek sortu ditzakeen arriskuak azalduko dira.

Ondoren, lanaren mamian sartuz, aukeratutako fase hautagailuaren funtzionamendu printzipioetan sakondu eta teorikoki frogatu egingo dira. Behin alde teorikoa-ekin bukatuta, praktikara salto egin eta lortutako emaitzen egiaztapena burutzeko, egindako simulazioak aurkeztuko dira.

GRAL hau egiteko jarraitu izan den prozedura azalduko da Gantt diagrama baten bidez baliaturik, baita proiektua egiteko beharrezkoa izan den aurrekontua eta erabilitako baliabideak.

Bukatzeko, lanean zehar lortutako ondorio nagusiak azalduko dira eta eranskine-tan lana garatzeko beharrezkoa izan den informazio gehigarri guztia atxikitu da.

2. Testuingurua

Energia elektrikoak garrantzi handia izan du gizartearen garapenerako, gaur egun energia elektriko barik bizitzea ezinezkoa izango bailitzateke (edo ez behintzat ohi-tuta gauden modura). Horregatik, izugarrizko premia du energia hau ondo ustiatzea eta egoki kontsumitzea, beste energia iturriekin alderatuta, ezin delako modu iraunkor batean metatu. Izan ere, uneoro kontsumitzen dena momentuan sortua izan behar da, sorkuntza zentraletatik, kontsumitzaileak dauden puntuetara garraiatuz. Betebehar hau asetzeko garraio sarea dago.

Energia elektrikoa uneoro bermatzeko helburuarekin, normalena kargak hainbat bidetik elikatzea da, bide batek huts egiten badu, bigarren edo hirugarren bide batetik hornitu ahaliko litzatekelako, garraio sistema seguruago bat lortuz. Azken urtean energia elektrikoaren garraioa % 99.99 fidagarritasuna izanik [1]. Nahiz eta portzentaia altua iruditu, geratzen den portzentaia garrantzi handia du, batez ere elektrizitate barik geratzen diren gunek zonalde industrialak edo ospitaleak badira. Horregatik, % 100 -ean fidagarria den garraioa izatea ezinezkoa denez, bai faktore atmosferiko, giza faktore edo beste edozein faktoreengatik, enpresa banatzaileen helburua ahalik eta modu seguruenean garraiatzea izan beharko litzateke, eta behin falta izanez gero ahalik eta azkarren konpontzea kontsumitzaileengan duen eragina murrizteko.

Gainera, gizartea gero eta gehiago bideratzen da honen elektrifikazio batera eta beraz, ez da harrigarria berrikuntzak etengabe azalratzea; esan bezala, bere helburu nagusietako bat kontsumitzaileei energia elektrikoa ahalik eta modu eraginkor eta fidagarrienean hornitzea delako. Garraio lineatan falta bat gertatzen denean, intentsitatearen balioa izugarrizko gorakada jasango du momentuan. Babesen helburua, intentsitate balio handi horietara heldu baino lehenago deskonexioa gauzatzea izango da, intentsitate balio handi horiek sor ditzaketen kalteak ekiditzeko. Hasiera batean instalatu ziren lehengo babesak fusibleak izan ziren. Fusible hauek nahiz eta babesean izugarrizko aurrerakada supusatu, arazo nagusi bat zuten: behin falta gertatuta hornidura ebakita geratzen zen, fusible berri bat jartzen zuten arte, elektrizitate eten luzeegiak sorraraziz. Gaur egunean babeserako erabiltzen ditugun elementuek ahalik eta birkonexio azkarrena bermatu behar dute.

Atal honetan fase hautagailuak jokoan sartzen dira, garraio lineatan gertatzen diren falta motak identifikatuz, kaltetuak izan diren faseak aukeratuz eta arazoa lehen bai lehen konpontzeko aukerak bermatuz. Eguneko GT linea elektrikoetan ohikoa da fase hautagailuak aurkitzea, distantziako babesa ahalbidetuz.

3. Helburuak eta irispena

GRAL honen izenburuan adierazten den moduan, lan honen helburuak distantzia babeserako fase hautagailu batek eskaintzen dituen abantailak aurkeztea, fase hautagailuen funtzionamenduan sakontzea eta dituzten aplikazio praktikoak ikustea da. Behin proiektua burututa, fase hautagailuen inguruko gida bat lortuko da, fase hautagailuek nola funtzionatzen duten, erabiltzen dituzten algoritmoak nolakoak diren eta falta mota desberdinen aurrean garraio lineetan ematen diren baldintzei buruz gehiago jakin nahi duten pertsonentzat bideratuta egongo dena.

Aipatu beharra dago kostu ekonomiko eta baliabide mugatuak direla eta, lanaren aspektu teorikoak praktikara eramateko orduan simulazioak erabili direla, Matlab programa eta bere Simulink paketea erabiliz aurrerago ikusiko denez. Simulazioen bidez lortu nahi izan dena, hasiera batean planteatzen diren teoriak, praktikan horrela direla eta errealitatean emango liratekeen kasuen aurrean sistemak nola erantzungo lukeen ikustea da.

Laburbilduz, lan honen helburu nagusiak honako hauek dira:

- Fase hautagailuak zer diren jakitea eta babes elementu modura duten garrantziaz ohartzea.
- Hauen funtzionamenduaren inguruan sakontzea.
- Teorian emango liratekeen kasuak, simulazio bidez aztertzea.
- Gida baten sorrera fase hautagailuen inguruan gehiago jakin nahi dutenentzat.

4. Proiektuaren onurak

Garraio lineatan babes elementuek duten garrantzia nabaria da, eta fase hautagailuak babes elementuak izanik, hauen barnean eginkizun garrantzitsua izango dute, falta zein motakoa den aztertuz eta beraz desarra egokia bermatuz, gerta daitezkeen kalteak murriztuz.

Hurrengo atalean fase hautagailuen erabilpenari esker eskuratzen diren onura nagusiak adieraziko dira.

4.1. Onura teknikoak

Garraio linea baten falta gertatzerako orduan, sare guztia ireki beharrean kontsumitzaileak energia elektriko barik utziz (edo beste bide batetik hornitzera behartuz), kaltetua izan den fasea irekitzea bakarrik ahalbidetuko lukete. Horrela ahalik eta kontsumitzaile kantitate handiago bati zerbitzu arrunta bermatuz.

Azpimarratzekoa da falta monofasikoa egonez gero, dagokion fasea hautatua izango dela bere deskonexioa burutzeko, baina falta bifasiko, falta bifasikoa lurrera eta trifasikoan hiru faseak batera hautatuko dira. Azkenengo hauek gertatzekotan ez baitu zentzu handirik fase bakar batekin energiaren transmisioa burutzea. Falta monofasikoaren kasuan ordea, fase bakarra irekiz gero, beste bi faseen bitartez posiblea izango bailitzateke energiaren kantitate nahikoaren garraioa bermatzea.

4.2. Onura ekonomikoak

Nahiz eta lan honek onura ekonomiko zuzenak ez izan, fase hautagailuak erabil-tzeak hainbat onura ekonomiko ekarri ditzaketela esan daiteke, edo hobeto esanda, onura ekonomikoak ekartzea baino, kalte ekonomikoak ekiditzeko funtzioa betetzen dutela esan daiteke. Kaltetuak izan diren faseak hautatu eta zabaltzeko agindua ahalik eta azkarren ematen dutelako, intentsitate altuak galaraziz. Falta intentsitate handi hauek, inolako babesik gabe, ekipu elektrikoaren hondaketa eragin ditzakete eta hauek konpontzea edo ordezkatzeta oso garestia izan daiteke.

4.3. Onura sozialak

Onura sozialei dagokienez, azpimarratzekoa da falta bat ematekotan azken kontsumitzaileak nabarituko dituen eraginen murrizketa. Faltan kaltetua izan den fasea bakarrik irekiz eta besteak funtzionamendu egoera arruntean utziz, birkonekzio azkarrak bermatuz eta hornidurarik gabe emandako denbora murriztuz.

5. Artearen egoera

Atal honetan, fase hautagailuei buruzko artearen egoera aztertuko da. Horretarako, fase hautagailuen inguruan dauden artikuluko zientifikoak bilatu dira, azken urteetan egin diren aurrerapenak zeintzuk diren jakiteko. Artikulu hauek bilatzeko erabili den bilatzailea *IEEE Xplore Digital Library* izan da. Bertan, hainbat artikuluko aztertu dira, hauen artean [12], [13], [14] eta [15] aukeratuz, lantzen ari den gaiarekin erlazio gehiago izateagatik. Hauekin batera, SEL eskaintako [7] eta ABB eskaintako [16] artikuluko ere aztertu dira falta mota desberdinen inguruan gehiago sakontzeko.

Honez gain, egun merkatuan aurkitu daitezkeen distantziarako kontrol eta babeserako gailuak aztertu dira, hauen barnean tentsio lineak babesteko funtzioetako bat fase hautatzailea izanik.

Informazio guztia batuz eta aztertuz, falta bat gertatzerakoan, hautagailuak zein fasetan eragina izan duen jakiteko bi modu nagusi daudela ondorioztatu da. Alde batetik, sekuentzia desberdinen, (sekuentzia positibo, sekuentzia negatibo eta zero sekuentziaren) intentsitateen edo tentsioen arteko angeluak kontuan izanda, falta mota aukeratzeko dituzten fase hautagailuak daude. Beste alde batetik, intentsitateen moduluen gehikuntzan oinarritzen diren fase hautagailuak daude. Lehenengo metodoa fase hautagailu gehienak erabiltzen duten metodoa izanik, lan honetan gehien sakonduko den atala izango da, nahiz eta gehikuntzan oinarrituko den fase hautagailu bat aztertuko den, MiCOMho P443 and P445 (AREVA) hain zuzen ere.

- Jarraian ikertu diren urrutirako babes ekipoetan erabiltzen duten fase hautagailuen funtzionamendua aztertuko da¹.

¹Hemendik aurrera sinplifikatzearen I_1 erabiliko da sekuentzia positiboko intentsitateei buruz hitz egiteko. Modu berean, I_2 erabiliko da sekuentzia negatiboei buruz hitz egiteko eta I_0 zero sekuentziari buruz hitz egiteko. Prozedura berdina erabiliko da behar izatekotan tentsioentzat U_1 , U_2 eta U_0 erabiliz.

5.1. ZLV (ZIV)

Fase hautatzaile honen funtzionamendua bi algoritmotan oinarrituko da batez ere. Lehenengoa falta trifasiko bat dagoen ala ez adierazteko baliagarria izanik, horretarako hurrengo bi baldintzak bete beharko dira aldi berean.

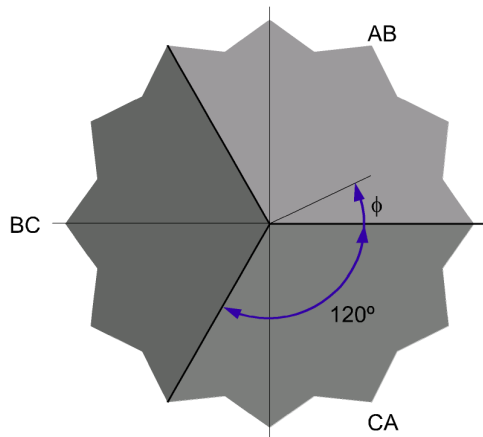
- Sekuentzia negatiboko intentsitatea oso baxua izatea. $0,05In$ baino txikiagoa izatea eta I_2/I_1 erlazioa % 8 baino txikiagoa izatea.
- Zero sekuentziako intentsitatea oso baxua izatea. $0,05In$ baino txikiagoa izatea eta I_0/I_1 erlazioa % 8 baino txikiagoa izatea.

Falta trifasikoa izateko baldintzak betetzen ez badira, bigarren algoritmoa mar-txan jarriko da. Bigarren algoritmo hau sekuentzia positibo eta negatiboen arteko argumentuen alderaketan oinarritzen da.

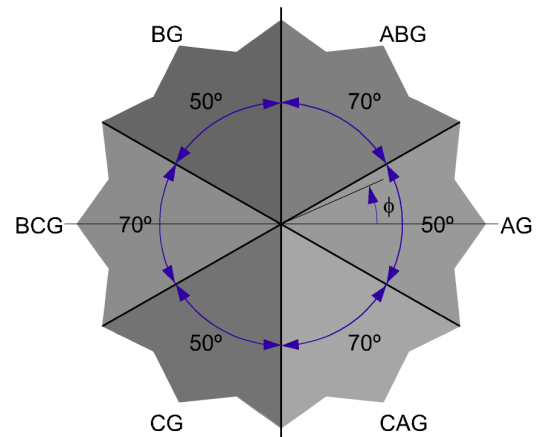
Falta trifasikoa ez bada eta falta trifasikoen bigarren baldintza betetzen bada, falta ez da lurrera izango eta hortaz falta bifasikoa izango da. Goian aipatutako bigarren baldintza betetzen bada ordea, falta lurrera izango da eta beraz, falta monofasikoa edo bifasikoa lurrera izango da. [5.1](#) Irudian eta [5.2](#) Irudian ikusiko da zein erlazio bete behar duten intentsitateek haien artean faltan eragiten duten faseak zeintzuk diren jakin ahal izateko.

$$\phi = \arg(I_{A2}) - \arg(I_{A1_f}) \quad (5.1)$$

Non I_{A2} sekuentzia negatiboko intentsitatea A faseari adierazita den eta I_{A1_f} sekuentzia positiboko intentsitatea faltan A faseari adierazita kargako konponentea ezabatuta.



5.1 Irudia: Angelu diagrama falta bifasikoentzat [1].



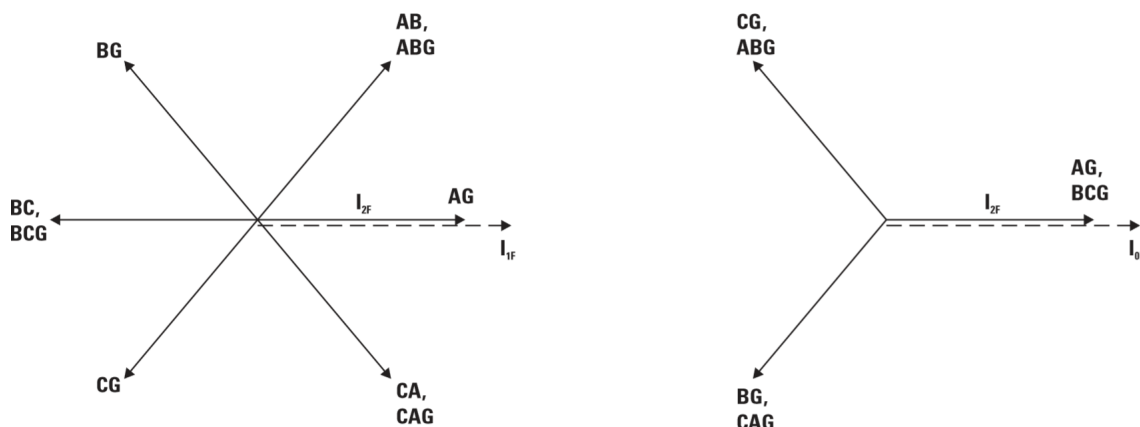
5.2 Irudia: Angelu diagrama falta monofasiko eta bifasiko-lurrera [1].

Hala ere, kontuan izan behar da fase hautatzailea ez dela erabiltzeko gai egongo hurrengo bi baldintzak aldi berean betetzen badira:

- Sekuentzia positiboko intentsitatea $0,02In$ baino txikiagoa bada.
- Zero sekuentziadun intentsitatea $0,05In$ baino txikiagoa bada.

5.2. D60 LINE DISTANCE PROTECTION SYSTEM (GE)

Fase hautatzaile honen funtzionamendua hurrengoan datza: lehenengo eta behin, hautagailuak I_1 , I_2 eta I_0 nahikoa dagoen ikusiko du, intentsitate nahikoa ez badago ezin baititu erabili fasea hautatzeko. Behin intentsitate nahikoa dagoela baieztatuta hurrengo algoritmoa erabiliko du, falta monofasiko, bifasiko eta bifasikoa lurrera bada.



5.3 Irudia: Fase aukeraketaren printzipioa [2]

I_2 eta I_1 -en angeluak erabiltzen ditu baina aldi berean I_2 eta I_0 -renak baita, [5.3] Irudian ikusi daitezenez. Modu honetan, konparaketa bikoitzari esker, algoritmoa oso segurua eta azkarra dela esan daiteke eta beraz, falta gertatzerakoan zein fasetan dagoen modu zehatz batean lortu daiteke. Gainera, algoritmoa zehatzagoa izateko, prefalta balioak ezabatu egiten dira.

Falta monofasikoa gertatzen bada, dagokion fasea ireki egingo da baina beste kasu guztietan, hiru faseak irekiko dira, lehen azaldu den bezala.

Intentsitateekin ezinezkoa bada falta mota aukeratzea hautagailuak dagokion tentsioak erabiliko ditu (U_1 , U_2 eta U_0), falta zein fasetan dagoen jakiteko algoritmo berdina erabiliz.

5.3. REL670 (ABB)

Falta hautatzaile honen algoritmoa aurrekoen oso antzekoa izango da, baina kasu honetan intentsitateak erabiltzeaz gain, tentsioak ere erabiliko ditu fase hautaketa burutzeko. Lortutako erantzunak fidagarriak izateko, hartutako datuak balio minimo batzuetara heldu beharko dira.

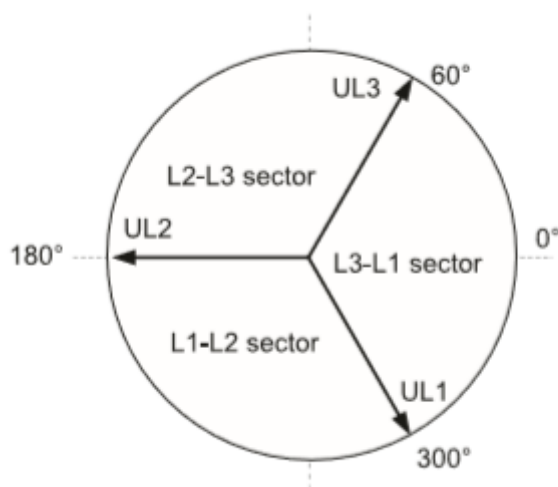
Faseen hautaketa eta falta mota jakiteko hurrengo lau atalak desberdindu daitezke:

- Lehenengo atalean falta lurrera den jakiteko bete beharko den baldintza hurrengoa litzateke: $|3I_0| > \max I_{ph} INRePE$.

Non $\max I_{ph}$ faseko intentsitate maximoa den eta $INRePE$ intentsitate maximo eta $3I_0$ artean ezartzen den parametro bat izanik. Beraz, goiko baldintza

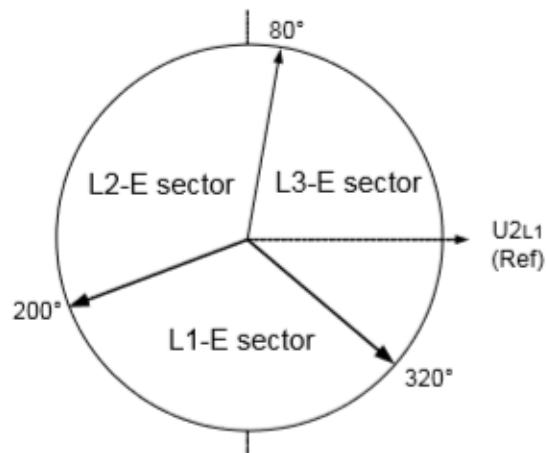
betetzean, falta lurrera dela ondoriozta daiteke, baina datu honekin bakarrik ezin da jakin zein fase edo faseetan dagoen falta.

- Bigarren atalak falta bifasikoa dagoenean bi faseetatik zeinetan ematen den jakitea ahalbidetuko du. Horretarako U_2 eta U_1 -en artean sortzen duten angelua begiratuko da. 5.4 Irudian ikusi daitekenez, hiru aukera posible egongo dira, lortzen den angeluaren arabera, eta hiru aukera horietako bakoitzean bi faseak adierazita egongo dira.



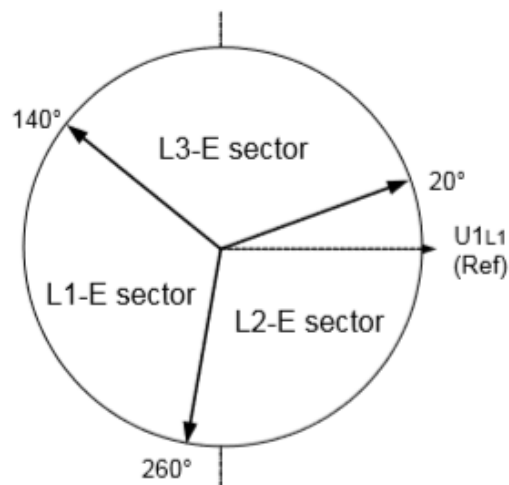
5.4 Irudia: Falta bifasikoen aukeraketa U_2 eta U_1 -ren arabera [3].

- Hirugarren atalak falta bifasikoa lurrera edo monofasiko motak bereizteko balioko du. Kasu honetan bi baldintza egongo dira eta baldintzetan lortzen den erantzunaren arabera lortuko da falta mota zein den bereiztea eta zein faseetan ematen den jakitea. Lehenengo baldintzak U_2 eta I_0 arteko angelua neurtzen du. Baldintza hau falta monofasikotzat definitzen du, 5.5 Irudian ikusten den arabera.



5.5 Irudia: Falta bifasiko-lur edo fase lur (1) [3].

Bigarren baldintzak U_2 eta U_1 -en artean sortzen den angelua neurtzen du. Kasu honetan baita falta monofasikotzat definituko da [5.6] Irudian ikusten den moduan.



5.6 Irudia: Falta bifasiko-lur edo fase lur (2) [3].

Bi baldintzak betetzen badira eta dagokion falta mota aukeratuta, bi aukera daude: bi baldintzetan lorturiko faseak berdinak badira, falta monofasikoa izango izango da lortutako fase eta lurraren artean izanik. Bi baldintzetan lorturiko faseak desberdinak badira ordea, falta mota bifasikoa lurrera izango da. Azken kasu honetan inplikaturiko faseak zeintzuk diren jakiteko, lehenengo baldintzan lorturiko fasearekin geratuz eta bigarren baldintzan lortutako

fasearen aurkakoa aukeratuko da. Funtzionamendua hobeto ulertzeko helburuarekin, hurrengo adibidea aurkeztuko da: lehen baldintzan L2-E (B fasea) lortu bada eta bigarren baldintzan L1-E (A fasea) lortu bada, falta mota L2-L3-E (BCG) izango litzateke.

- Azken atalean falta monofasikoa edo bifasikoa ez bada, fase hautatzaileak falta trifasiko modura definituko du falta beti ere hurrengo baldintzak betetzen direlarik:

$$|U_1| < U_1Level \quad eta \quad |I_1| > I_1LowLevel \quad (5.2)$$

edo

$$|I_1| < IMaxLoad \quad (5.3)$$

5.4. INGEPAC EF-ZT (INGETEAM)

Falta batean zein faseek eragina duten aztertze hurrengo modura egiten da. Lehenik, bi baldintza ezarriko dira, falta motaren aukeraketarako baliagarriak izango direnak.

$$(3I_0 > \%5I_{nominalfase}) \quad \& \quad (3I_0 > \%10I_1) \quad (5.4)$$

$$(3I_2 > \%5I_{nominalfase}) \quad \& \quad (I_2 > \%10I_1) \quad (5.5)$$

Falta mota ezberdinak hautatzeko hurrengo kriterioa erabiliko da:

5.4.1. Falta trifasikoa

Fase hautatzaileak falta mota trifasikoa dela aukeratuko du hurrengoko baldintzetako bat gutxienez betetzen bada:

- (5.4) eta (5.5) baldintzak betetzen ez badira.

- Intentsitate konposatuen balioak aztertuko dira falta aurretik zuten balioekin alderatuz. Intentsitate konposatuen artean, maximoa zein den aukeratuko da eta hirurek intentsitate maximoaren % 70 gainditu behar dute. Azken baldintza hau falta trifasikoa gertatzen denean bakarrik beteko da. Ondorioz, faltarik ez dagoela jakiteko erabilgarria izango denez, (5.4) eta (5.5) baldintzekin batera, hirugarren baldintza modura erabilia izango da.

$$(|\Delta I_{AB}| > 0.7I_{max}) \& (|\Delta I_{BC}| > 0.7I_{max}) \& (|\Delta I_{CA}| > 0.7I_{max}) \quad (5.6)$$

Non ΔI_{AB} , ΔI_{BC} eta ΔI_{CA} faltan dagoen intentsitate konposatua ken falta baino lehen izandako intentsitate konposatua den. Falta baino lehenago zegoen balioa falta detektoreak lortuko du, honek falta gertatu baino aurreko 2 zikloen intentsitateen balioak gordetzen baititu.

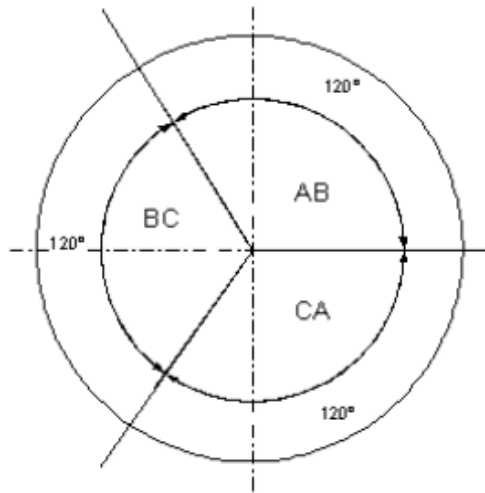
5.4.2. Falta bifasikoa

(5.5) baldintza bakarrik betetzen bada falta bifasikoa izango da. Kasu honetan, bi aukera egongo dira. Lehengoa falta detektorea desgaituta badago, bifasiko guztiak armatuko dira. Falta detektorea aktibatuta badago ordea, intentsitateen angeluen arteko erlazioa erabiliko da falta zein faseetan dagoen jakiteko.

$$Angelua = Arg(I_2) - Arg(\Delta I_1) \quad (5.7)$$

Non ΔI_1 faltan dagoen intentsitatea ken falta baino aurretik izandako intentsitatea den.

Faseen hautaketa hurrengoko irudiaren arabera burutuko da:



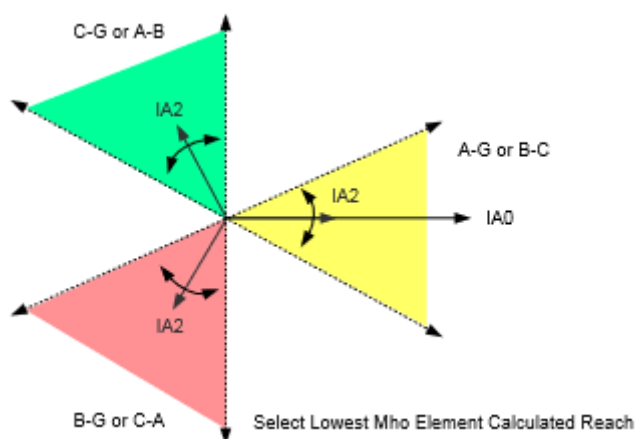
5.7 Irudia: Falta bifasikoen aukeraketa (5.7) -ren arabera [4].

5.4.3. Falta monofasikoa edo bifasikoa lurrera

Aurrean ikusitako (5.4) eta (5.5) baldintzak betetzen badira falta lurrera izango delaren seinalea izango da eta monofasikoa edo bifasikoa lurrera den desberdintzeko, angelu bidezko hautatzailearen bidez erabakiko da.

$\text{Ang}(I_0) - \text{Ang}(I_2)$ erabiliko da fase ezberdinak hautatzeko (5.8) Irudian ikusten den bezala.

Falta detektatzean inplikaturik dauden faseak bakarrik armatuko dira. Adibidez: CN/ABN falta detektatzen bada, CN eta AB unitateak armatuko dira, ondoren distantzia babesari falta zein fasetan bilatu behar duen zuzenduz. Behin falta zein fasetan dagoen eta zein distantziara dagoen aukeratuta, deskonexioa burutuko da.

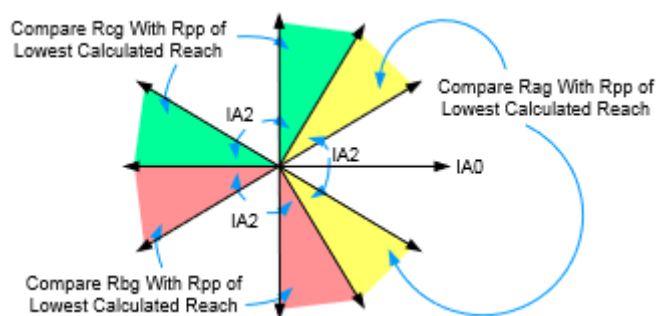


5.9 Irudia: Falta motaren aukeraketa angeluaren arabera [5].

Adibide moduan I_{A0} eta I_{A2} -ren arteko angelua 0° bada, falta mota AG edo BC izan daiteke. Beti ere 30° -ko (gora edo behera) segurtasun tarte bat izanik. Bi aukera posibleetatik zein den jakiteko $|Z_{ag}|$ eta $|Z_{bc}|$ begiratuko da eta balio txikiena duenak izango du falta.

Angeluaren balioa [5.9] Irudian agertzen diren hiru eremuetatik kanpo badago ordea, hautagailuak hurrengoa egingo du:

- Z_{ab} , Z_{bc} eta Z_{ca} artean balio txikiena duena hautatuko du falta mota modura.
- Angeluaren arabera (ikusi [5.10] Irudia) Z_{ag} , Z_{bg} edo Z_{cg} -rekin alderatuko du. Inpedantzia monofasikoa txikiagoa bada, falta mota monofasikoa dela ondorioztatuko du, bestela falta mota bifasiko modura jarraituko du.



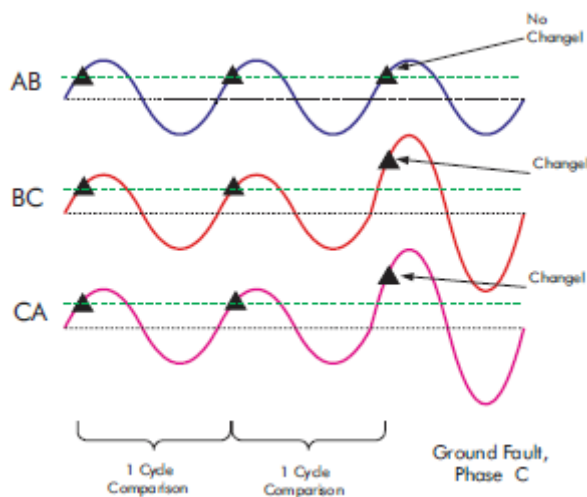
5.10 Irudia: Falta motaren aukeraketa angeluaren arabera (2) [5]

Falta monofasikoa gertatzen ez den beste kasu guztietan, hiru faseak batera irekiko dira kasu honetan ere.

5.6. MICOMHO P443 AND P445 (AREVA)

Fase hautagailu honen funtzionamendua kapituluaren hasieran esan bezala, aurrekoen desberdina da, intentsitateen moduluen balioen gehikuntzan oinarrituz.

Lineako intentsitate konposatuak erabiliz (I_{AB} , I_{BC} eta I_{CA}), fase hautaketa hiru intentsitateen konparaketan oinarrituko da. Aurreko balioetaz baliaturik, aldaketa nabarmenak sumatzean teorikoki izan beharko luketen balioekin alderatuta, falta dagoela ondorioztatuko du hautagailuak. Horrela, falta monofasiko batek hiru intentsitateetik bitan eragina izango du eta hirugarrenean ez du eraginik izango. Adibidez: beheko irudian falta C fasean ematen bada, I_{AB} intentsitatea hasieran zegoen moduan jarraitzen du beste bien balioak asko handitzen direlarik.



5.11 Irudia: Falta monofasikoa C fasean [6].

Falta beste faseetan ematekotan, prozedura berdina erabiliz zein falta mota dagoen jakin daiteke. Falta bifasiko edo bifasikoa lurrera gertatzean, faltan eragina duten bi faseen intentsitate konposatuan bakarrik sortuko litzateke intentsitatearen gehikuntza. Azkenik, falta trifasikoa ematekotan, hiru intentsitateek batera egingo lukete gora.

Intentsitate konposatu bat fase aukeraketan hautatua izateko intentsitate konposatu handiena baino % 80 handiagoa izatea beharrezkoa da. Fase hautaketa ordea edozein intentsitate parekatuen balioa intentsitate nominalaren % 4 altuagoa denean bakarrik egin daiteke.

6. Alternatiben analisia

Fase hautagailuaren funtzioa, falta dagoen jakitea eta kaltetuak izan diren faseen aukeraketa egokia burutzea da, ahalik eta modurik azkarrenean; beti ere lortutako emaitzak fidagarriak izanik. Beraz, aukeratua izango den gailuak hurrengo baldintzak bete beharko ditu:

- Azkartasuna.
- Faseen desberdintze egokia.
- Fidagarritasuna.

Behin merkatuan dauden fase hautagailu desberdinak aztertuta, bi alternatiba posibleen artean (angeluen bidezko konparaketa eta intentsitateen moduluen gehikuntza) lehenengokoa aukeratuko da, gehien erabiltzen den prozedura delako eta informazio gehiago dagoelako eskuragarri. Behin sekuentzia intentsitateen arteko angelua erabiltzen duten fase hautagailu bat erabiliko dela erabaki eta gero, hauek eskaintzen duten abantaila eta desabantailak ikusiko dira. Lortutako ondorio nagusia guztiek funtzionamendu printzipio oso antzekoak dituztela da. Hori dela eta, ez dago desberdintasun nabaririk ekipoen artean, lortutako emaitzak berdintsuak izanda.

FASE HAUTAGAILUA	Angelu bidezko konparaketa	Falta monofasikoak	Falta bifasikoak	Falta bifasikoak lurrera	Falta trifasikoak
MICOMHO P443 AND P445	EZ	BAI	BAI	BAI	BAI
ZLV	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI
D60	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI
REL670	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI
INGEPAC EF-ZT	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI
SEL-421 Relay	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI

6.1 Irudia: Alternatiben analisia

Ondorio hauetara ailegaturik, aukera guztien artean merkeena dena aukeratuko da aztergai: INGEPAK EF-ZT. Beraz, fase hautagailu honen funtzionatzeko moduan sakonduko da lanean zehar.

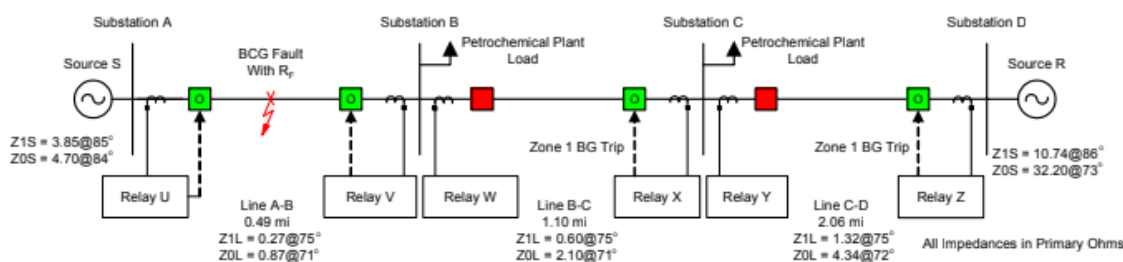
7. Arriskuen analisia

Atal honetan falta egoeran gertatu ahal diren arriskuen analisia egingo da. Gerta daitezkeen hiru arrisku garrantzitsuenak hobeto ulertzeko, lehenengo linea elektriko baten babes era aztertuko da.

Linea bat irudikatuz [7.1] Irudian ikusi daitezkeen modura, garraio linea baten hasieran eta bukaeran babes elementuak kokatuko dira. Falta bat gertatzerakoan linea horren babesgailuak desarratu beharko dute, kaltetua izan den linea isolatzeko, beste lineatan dauden babesgailuak ordea ez dute desarratu behar. Horrela, horniketa beste bide batetik bermatuko da eta ahalik eta kalte gutxien eragingo zaie kontsumitzaileei.

Azalpena argiago izateko helburuarekin, [7.1] Irudia erabiliko da, industria petrokimiko baten elikadura lineak adierazten dituen [7]. Planta B eta C azpiestazioetatik hornitzen dela ikusi daiteke eta sorkuntza eremutik datozen lineak irudikatuta ikusi daitezke. Kasu horretan falta A-B linean gertatu denez, U eta V babesgailuak desarra beharko dute, beste guztiek normal funtzionatzen jarraitzen duten bitartean. Horrela B azpiestazioa hornidura izaten jarraituko du R iturritik.

Funtzionamendu desegoki baten kasuan, hiru arrisku garrantzitsu antzeman daitezke. Alde batetik, falta linea barnean gertatzea eta linea horrek dituen babesgailuak ez desarratzea. Beste alde batetik, falta ondoko linean ematea eta desarra gertatzea. Azkenik fase hautagailua hondatzea, linea babes barik utziz.



7.1 Irudia: Linea baten babeserako eremuak [7].

7.1. Falta bat linean ematea eta ez desarratzea

Aurreko adibidearekin jarraituz, hurrengo egoera emango litzateke: Falta bat A-B linean ematea eta U eta V babesak desarra ez egitea. Falta linea barnean eman

denez eta desarra ez dutenez, A eta B azpiestazioetan dauden ekipoak kaltetuko dira. Egoera hau arriskutsua izango da, ekipoetan kalte handiak sortu ahal direlako tresneria intentsitate handia jasatean denbora luzeegian zehar.

7.2. Falta bat lineatik kanpo ematea eta desarratzea

Falta batek ondoko lineatan eragina izan dezake eta ondorioz fase hautagailua zehatza ez bada, falta beste linea barnean eman dela suposa dezake. Honek ez du arrisku handirik suposatuko lineako ekipoentzat, baina kalteak eragin ditzake kontsumitzailea hornidura barik uztean. Adibidera bueltatuz, U eta V desarra egitea baina baita W, X, Y, edo Z ere desarratzen duten kasua izango litzateke. Ondorioz planta hornidura barik geratuko da, bai S iturritik (U eta V eragiteagatik) eta bai R iturritik (beste edozein babesek) deskonektatua izan delako.

7.3. Ekipoen hondaketa

Azken kasu honetan, fase hautagailuaren hondaketa batek, linea falta baten aurrean babes barik utziko luke, kalteturiko faseak identifikatu gabe utziz eta fase guztiak zabaltzera behartuz kontsumitzailei energia elektrikoaren hornidura moztuz.

7.4. Arriskuen analisisien laburpena

Jarraian gerta daitezkeen arrisku nagusiak sailkatuko dira, gertatzeko aukera eta gertatzekotan izango luketen eraginen funtzioan. Horrela, arrisku garrantzitsuenak zeintzuk diren jakin ahalko da modu erraz batean.

Gerta daitezkeen arrisku posibleak zerrendatuz:

- **A:** Falta bat linean ematea eta ez desarratzea.
- **B:** Falta bat lineatik kanpo ematea eta desarratzea.
- **C:** Ekipoen hondaketa.

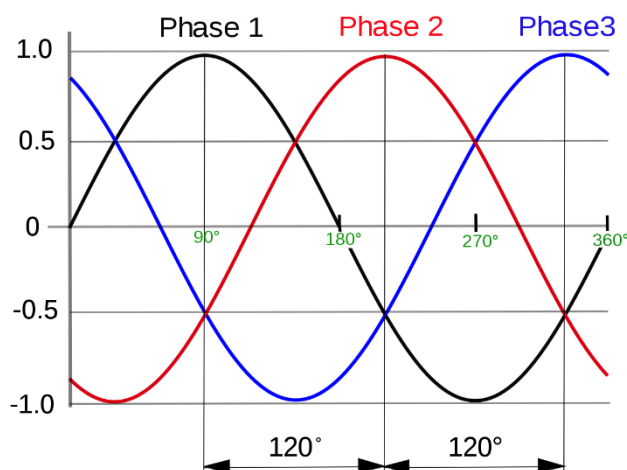
		Gertatzeko aukera				
		Arraroa (0,05)	Txikia (0,1)	Handia (0,2)	Oso handia (0,4)	la siurra (0,8)
Eragina	Arbuiagarria (0,1)					
	Txikia (0,3)		B (0,03)			
	Ertaina (0,5)					
	Handia (0,7)		A (0,07)			
	Larria (0,9)	C (0,045)				

7.2 Irudia: Probabilitate-eragin matrizea.

Matrizean ikusi daitekenez, gerta daitekeen arriskurik larriena ekipoaren hondaketa izango da, baina gertatzeko aukera oso arraroa denez, arrisku ertain modura kontsideratuko da. Beste alde batetik, falta bat lineatik kanpo ematea eta desarratzea dago. Honen arriskua txikia izanda eta eragindako kalteak txikiak izanik, arrisku txiki modura sailkatuko da. Azkenik, falta bat linean ematea eta ez desarratzea dago. Aurreko kasuaren antzera, gertatzeko aukera txikia izango da baina eragina ordea handia izango da, beraz arrisku ertain modura kontsideratuko da.

8. Soluzioaren azalpena

Garraio linea trifasikoetan funtzionamendu baldintza arruntetan dagoen intentsitate egoera orekatua izango da, eta beraz, tentsio guztien eta intentsitate guztien moduluak berdinak izango dira; haien artean 120° -ko desfasea egonik.



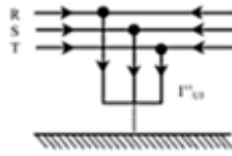
8.1 Irudia: Intentsitate sistema orekatua p.u.-etan adierazita [8].

Falta bat linea elektrikoaren barruan desiragarria ez den operazioa izango da. Agertzeko arrazoiak ugariak izan daitezke: faseen artean kontaktua ematea, zuhaitz bat linea gainean erortzea etb. Bi motatakoak izan daitezke: alde batetik, zirkuitulabur batek eragindakoak eta bestetik, akats serie batek eragindakoak. Lan honetan ordea, zirkuitulaburretan jarriko da arreta, bai lurrera doazen zirkuitulaburretan bai bi edo hiru faseen artean ematen diren zirkuitulaburretan.

Nahiz eta zirkuitulaburrak oso ohikoak ez izan eta haien iraupena oso txikia den arren, dakartzaten ondorioak oso larriak izan daitezke. Horregatik premiazkoa izango da gertatzen direnean ahalik eta azkarren konpontzea.

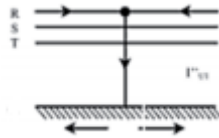
Lineatan aurkitu daitezkeen zirkuitulaburrak bitan desberdinduko dira, alde batetik, simetrikoak eta bestetik, asimetrikoak. Lehenengoak akats trifasikoak izango dira eta asimetrikoen barnean ordea beste falta guztiak sartuko lirateke, akats monofasiko, bifasiko eta lurrerako akats bifasikoak hain zuzen ere.

- **Akats trifasikoa:** Hiru faseen artean ematen den zirkuitulaburra da. Akats ezohikoena izango da, ematen diren akats guztien % 5 izanda [9], hala eta guztiz ere, ondorio larrienak sortzen dituzten falta motak dira, intentsitate handienak sortzen baitituzte.



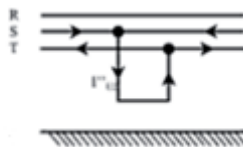
8.2 Irudia: Falta trifasikoa [9].

- **Akats monofasikoa:** Fase baten eta lurraren artean ematen den zirkuitulaburra da. Akats arruntena izango da, ematen diren falten % 70 izanda. Hiru kasu posible egongo dira: AG, BG eta CG hain zuzen ere.



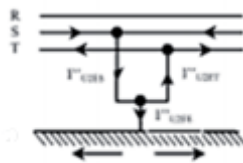
8.3 Irudia: Falta monofasikoa [9].

- **Akats bifasikoa:** Bi faseen artean ematen den zirkuitulaburra da. Akatsen % 15 suposatuko du. Aurreko kasuan gertatzen den bezala, hiru kasu posible izango dira: AB, BC eta CA zehazki.



8.4 Irudia: Falta bifasikoa [9].

- **Lurrerako akats bifasikoa:** Bi fase eta lurraren artean gertatzen den zirkuitulaburra da. Akatsen % 10 izango suposatuko du. Berrito ere, hiru kasu posible izanda: ABG, BCG eta CAG kasuak.



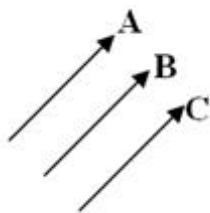
8.5 Irudia: Falta bifasikoa lurrera [9].

Akats asimetriko bat gertatzen denean, intentsitateek sistema desorekatu bat sortuko dute. Honek sistema modu konbentzionaletan ebazteko arazoak ekarriko ditu. Hala eta guztiz ere, Fortescueren teorema sistema polifasiko asimetriko bat, n fase dituen, n sistema orekatuen batuketara modura adierazi daitekeela esaten du. Lan honetan aztertzen den kasuan, sistema trifasikoak direnez, $n = 3$ balioa hartuko luke. Beraz, hiru sistema orekatuen batuketara modura adierazi daitezke linea trifasiko asimetrikoak (sistema simetrikoak ere modu berean adieraztea posible izango litzateke). Fortescueren teoreman oinarritzen den kasu berezi hau *Osagai Simetrikoen Metodo* modura ezagutzen da, sistema honek duen abantaila garrantzitsuena sistemen ebazpena zirkuitu monofasiko baliokidearekin egin daitekeela izango da, sistema orekatuak lortzen direlako. Sistema bakoitzak izango duen desfasea hurrengo modura kalkulatu da, desfasea radianetan adierazita egonik:

$$Desfasea = ordena \cdot \frac{2\pi}{n} \quad (8.1)$$

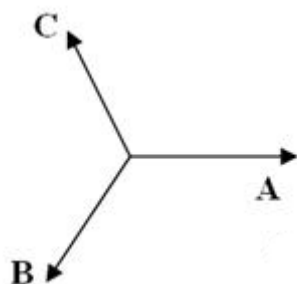
Hiru sistema direnez, ordena 0,1 eta 2 balioak izango ditu. Beraz, lehenengo kasuan, sistemak izango duen desfasea 0° -takoa izango da, intentsitate homopolarrak hain zuzen ere. Bigarren kasuan, 120° -ko desfasea egongo da intentsitateen artean, sekuentzia zuzenekoa izango dena. Modu berean, 2. ordeneko kasuan lortzen den desfasea 240° -takoa izango da, sekuentzia alderantzizkoa izango dena. Metodo honetan parte hartuko duten hiru intentsitate sistema orekatuak hurrengoak izanik:

- **Zero sekuentzia edo homopolarra:** Lehen adierazi den moduan, intentsitate hauen desfasea 0° -takoa izango da eta sistema orekatua denez gero, modulu berdina izango dute hiru intentsitateek.



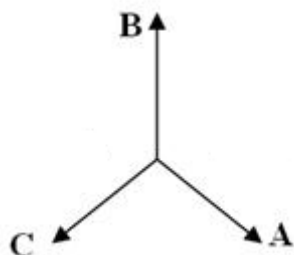
8.6 Irudia: Zero sekuentzia.

- **Sekuentzia positibo edo zuzenekoa:** Hiru magnitude berdinetako fasoreek osatuko dute sekuentzia hau, haien artean 120° -ko desfasea osatuz, modulu berdina izanik hiru intentsitateek.



8.7 Irudia: Sekuentzia positiboa.

- **Sekuentzia negatibo edo alderantzizkoa:** Berririo magnitude berdineko fasoreak osatuko dute baina kasu honetan desfasea 240° -takoa denez, faseen sekuentzia hasierako sistemaren alderantzizkoa izango da, berriro ere, modulu berdina izanik hiru intentsitateek.



8.8 Irudia: Sekuentzia negatiboa.

Erreferentzia fase bat erabiliko da oinarri modura, eta beste guztiak oinarri horren menpe adieraziko dira. Kasu honetan, A fasea erabiliko da, baina modu berean beste bi faseekin lan egin daiteke emaitza berdintsuetara helduz. "a" parametroa $a = 1 \angle 120^\circ$ modura definituko da, parametro honen helburua fasore bat biderkatuz, honetan 120° -ko biraketa ematea, fase aldaketa bermatuz hasierako modulua konstante utziz.

Fase bakoitzaren intentsitateak sekuentzia homopolar, positibo eta negatiboen menpean jarrita hurrengoa lortuko litzateke:

$$I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2} \quad (8.2)$$

$$I_B = I_{B0} + I_{B1} + I_{B2} \quad (8.3)$$

$$I_C = I_{C0} + I_{C1} + I_{C2} \quad (8.4)$$

Intentsitate guztiak A fasean oinarrituta ordea, hurrengo lortuko litzateke:

$$I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2} \quad (8.5)$$

$$I_B = I_{A0} + a^2 I_{A1} + a I_{A2} \quad (8.6)$$

$$I_C = I_{A0} + a I_{A1} + a^2 I_{A2} \quad (8.7)$$

Aurreko ekuazioak modu matrizial batean adierazten badira, hurrengo adierazpena lortuko litzateke:

$$\begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{pmatrix} \quad (8.8)$$

Y konexioko sistema trifasiko batean, neutroko I_n korronea lineako korroneen batura $I_n = I_A + I_B + I_C$ da, beraz: $I_n = 3I_{A0}$ lortuz.

$$I_n = 3I_{A0} + \underbrace{(1 + a + a^2)}_0 I_{A1} + \underbrace{(1 + a + a^2)}_0 I_{A2} \quad (8.9)$$

Modu berean tentsioen azterketa egitea posiblea izango litzateke, hurrengo balioak lortuz. Modu matrizialean idatziz:

$$\begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{pmatrix} \quad (8.10)$$

8.1. Falta monofasikoa

8.1.1. Azalpen orokorra

Falta monofasikoa gertatzen denean, A fasean zirkuitulaburra dagoela suposatuz, ematen diren baldintzak hurrengoak izango liratekez: $I_B = 0$, $I_C = 0$ eta $V_A = Z_F \cdot I_A$ izango dira. (8.6) eta (8.7) ekuazioak erabiltzen badira hurrengo ondorioztatu daiteke:

$$0 = I_{A0} + a^2 I_{A1} + a I_{A2} \quad (8.11)$$

$$0 = I_{A0} + a I_{A1} + a^2 I_{A2} \quad (8.12)$$

(8.11) eta (8.12) ekuazioak berdinduz hurrengoa lortu daiteke:

$$\cancel{I_{A0}} + a^2 I_{A1} + a I_{A2} = \cancel{I_{A0}} + a I_{A1} + a^2 I_{A2} \quad (8.13)$$

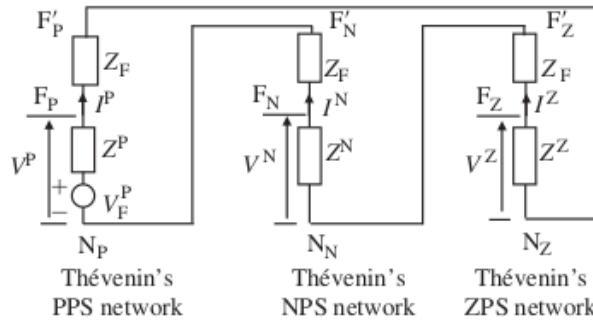
(8.13) berrantolatuz

$$(\cancel{a^2 - a}) I_{A1} = (\cancel{a^2 - a}) I_{A2} \quad (8.14)$$

Ondorioz, $I_{A1} = I_{A2}$ dela ikusi daiteke eta berriro (8.11) ekuazioan sartuz $I_{A1} = I_{A0}$ ere dela ondorioztatu daiteke. Beraz, A fasearen zirkuitulaburra dagoenean hurrengoa lortuko da:

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A0} \quad (8.15)$$

Laburtuz, falta monofasikoak gertatzen direnean hiru sareak (zuzena, alderantzizkoa eta homopolarra) agertzen direla eta gainera, seriean konektatzen direla ikusi daiteke, intentsitateak berdinak bai dira hiru sareetan.



8.9 Irudia: Sare zuzena, alderantzizkoa eta homopolarra falta monofasikoan [10].

Modu berean, ondoriozta daiteke B eta C faseetan zirkuitulaburra ematen bada hurrengoa lortzen dela:

$$I_{B1} = I_{B2} = I_{B0} \quad (8.16)$$

$$I_{C1} = I_{C2} = I_{C0} \quad (8.17)$$

8.1.2. Hautagailuaren aukeratze modua

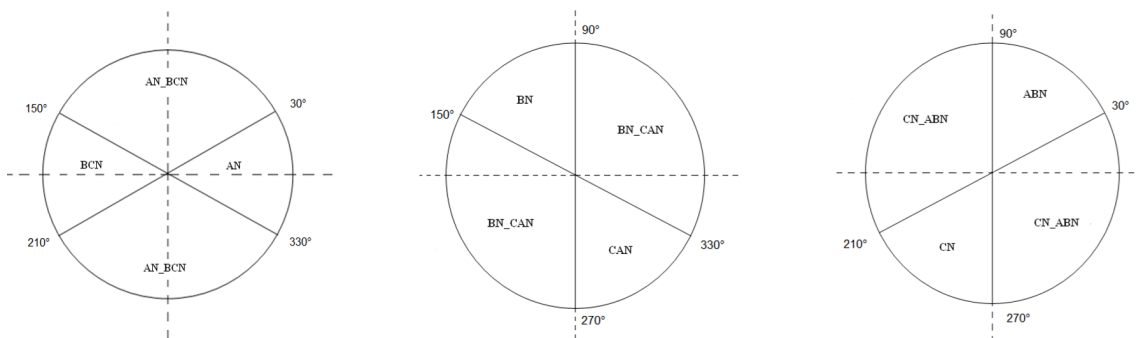
Behin falta monofasiko baten aurrean gertatzen dena azalduta, Ingeteam-en IN-GEPAC EF-ZT hautagailuak falta bereizteko erabiltzen duen algoritmoa azalduko

da segidan.

Hasteko, hautagailu honek falta mota zein den jakiteko erabiltzen dituen baldintzak (5.4), (5.5) eta (5.6) izango dira. Aztertzen den kasua falta monofasikoa denez, lehenengoko bi baldintzak bete egingo dira. Hala eta guztiz ere, falta bifasikoa lurrera ematen denean egoera berdina lortuko da. Hortaz, bi falta mota hauek desberdintzeko eta zein fase (edo faseetan) den (edo diren) kaltetua (edo kaltetuak) jakiteko hurrengo baldintza erabiliko da:

$$\text{Angelua} = \text{Arg}(I_2) - \text{Arg}(\Delta I_1) \quad (8.18)$$

Non ΔI_1 faltan dagoen intentsitatea ken falta baino aurretik (bi ziklo) izandako intentsitatea den. Beti ere intentsitate guztiak A fasean oinarrituta daudelarik, Angelua-k zein balio duen arabera falta mota bereizteko aukera emango du, hurrengo irudian ikusi daitekeen modura:



8.10 Irudia: Falta motaren bereizketa Angelua-ren arabera [4].

- **Frogapena:** (8.18) baldintzan erabiltzen den ΔI_1 balioak hasiera baten prefalta intentsitatea 0 egitearen helburua izango du, lortutako angeluan eragin handirik ez izateko. Eragiketa hau egiten ez bada, lortutako Angelua-ren balioa asko aldatu daiteke eta beraz hautagailua behar ez bezala funtzionatzea eragingo luke. Behin prefaltaren balioa 0 dela suposatuz, ΔI_1 adierazpena I_{A1} moduan jarri daiteke, azken hau izanda frogapenetan erabiliko dena.

Falta mota AG dela suposatuz, $I_{A1} = I_{A2} = I_{A0}$ egoera emango da. Angelua-ren kenketa fasorialki adierazi nahi bada, fasoreen zatiketaren bidez lor daiteke. Beraz Angelua-ren balioa kasu honetan hurrengoko balioa hartuko luke. I balioak I_{A2} eta I_{A1} moduluen zatiketa adierazten duelarik. Kasu zehatz honetan $I=1$ balioa hartuko du.

$$\frac{I_{A2}}{I_{A1}} = I\angle 0 \quad (8.19)$$

Suposatuz oraingoan BG falta mota ematen dela, kasu honetan agertzen den egoera $I_{B1} = I_{B2} = I_{B0}$ izango da. Berriro Angelua-ren baldintza erabilia baina kontuan izanda baldintza hori A fasean oinarrituta dagoela, hurrengo baiezta daiteke, $I_{B2}=I_{A2} \cdot 1\angle 240$ eta $I_{B1}=I_{A1} \cdot 1\angle 120$.

$$\frac{I_{B2}}{I_{B1}} = \frac{I_{A2} \cdot 1\angle 240}{I_{A1} \cdot 1\angle 120} = I\angle 120 \quad (8.20)$$

Azkenik, suposatuz CG falta dagoela, lortuko den egoera $I_{C1} = I_{C2} = I_{C0}$ izango da. $I_{C2} = I_{A2} \cdot 1\angle 120$ eta $I_{C1} = I_{A1} \cdot 1\angle 240$ denez.

$$\frac{I_{C2}}{I_{C1}} = \frac{I_{A2} \cdot 1\angle 120}{I_{A1} \cdot 1\angle 240} = I\angle -120 \quad (8.21)$$

8.10 Irudian ikusi daitekenez, 0° -ko balioak AG falta mota adierazten du. Modu berdinean, 120° -ko balioak BG falta mota eta -120° -ko balioak CG falta mota adierazten du. Angelua-ren balioa 5° gora edo behera egin dezakenez, 30° -tako tartea dago kasu bakoitzean, falta motaren bereizketa zuzena izan dela bermatzeko.

8.2. Falta bifasikoa

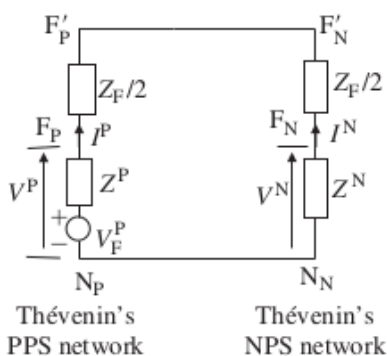
8.2.1. Azalpen orokorra

Falta mota bifasiko bat hiru faseetako bik elkarrekin kontaktua egiten dutenean gertatuko da. Kasu honen azterketa egiteko, zirkuitulaburra BC faseetan ematen dela suposatuko da. Bigarren kasu honetan ematen diren baldintzak hurrengoak izanik: $I_A = 0$, $I_B = -I_C$, eta $V_B - V_C = Z_F \cdot I_B$. **(8.6)** eta **(8.7)** ekuazioak erabiltzen badira hurrengo adierazpena lortuko da:

$$\underbrace{(a^2 + a)}_{-1} I_{A1} + \underbrace{(a^2 + a)}_{-1} I_{A2} + 2I_{A0} = 0 \quad (8.22)$$

(8.22) eta **(8.2)** erabiliz, $I_{A1} = -I_{A2}$ dela ondorioztatu daiteke. Modu berean $I_{A0} = 0$ dela ikusi daiteke.

Lortutako emaitzak ikusita, sare zuzena eta alderantzizkoa bakarrik agertzen dira ondorioztatu daiteke, sare homopolarra desagertuz. Gainera, fase zuzena eta alderantzizkoa paraleloan konektatuta egongo dira, intentsitateak kontrakoak izanda eta tentsio berdinerara konektatuta egonik.



8.11 Irudia: Sare zuzena eta alderantzizkoa falta bifasikoetan [10].

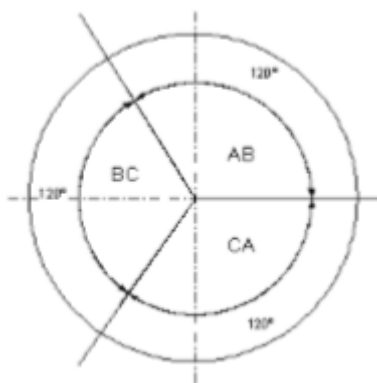
Modu berean ondoriozta dezakegu AB eta CA faltak ematen direnean hurrengoak lortzen dela:

$$I_{C1} = -I_{C2} \quad (8.23)$$

$$I_{B1} = -I_{B2} \quad (8.24)$$

8.2.2. Hautagailuaren aukeratze modua

(5.5) bete egiten den kasua baina (5.4) betetzen ez den kasua, falta bifasikoa izango dela ondoriozta daiteke. Behin hautagailua falta bifasikoa dela jakinda, zein faseetan eman den jakiteko (8.18) baldintza berdina erabiliko da.



8.12 Irudia: Falta motaren bereizketa Angelua-ren arabera falta bifasikoentzat [4].

- Frogapena:** Aurreko kasuan izandako baldintza berdina denez, azaldutako kontzeptu berdina erabiliz, faltak zein faseetan eragina duen jakiteko, kontuan izan beharko dena hurrengoa izango litzateke: falta bifasikoen kasuan, ez da existitzen sekuentzia homopolarra, beraz, $I_{A0}=0$, $I_{B0}=0$ eta $I_{C0}=0$ izango dira. Suposatuz falta mota BC dela, goian ikusi denez beteko den baldintza $I_{A1}=-I_{A2}$ izango da. Beraz (8.18) baldintzan balioak sartuz hurrengoa lortzen da:

$$\frac{I_{A2}}{-I_{A1}} = I\angle 180 \quad (8.25)$$

Kasu honetan berriro ere $I=1$ balioa hartuko luke.

AB falta bifasikoarentzako, kontuan izan behar da beteko den baldintza $I_{C1} = -I_{C2}$ dela eta falta monofasikoetan egin den lez I_{C1} eta I_{C2} A fasean oinarritzen badira eta Angelua-ren baldintzan sartzen badira, hurrengoa lortzen da:

$$\frac{I_{C2}}{-I_{C1}} = \frac{I_{A2} \cdot 1\angle 120}{-I_{A1} \cdot 1\angle 240} = I\angle 180 \cdot 1\angle -120 = I\angle 60 \quad (8.26)$$

Azkenik, CA falta bifasikoarentzako ematen den baldintza $I_{B1} = -I_{B2}$ izango da. I_{B1} eta I_{B2} A fasean oinarritzen badira eta Angelua-ren baldintzan sartzen badira hurrengoa lortzen da:

$$\frac{I_{B2}}{-I_{B1}} = \frac{I_{A2} \cdot 1\angle 240}{-I_{A1} \cdot 1\angle 120} = I\angle 180 \cdot 1\angle 120 = I\angle -60 \quad (8.27)$$

8.12 Irudian ikusi daitekenez, 180° balioa BC falta mota adierazten duela ikusi daiteke. Modu berean 60° balioa AB falta mota eta -60° balioa CA motarentzako. Berriro, angeluen balioa gradu batzuk gora edo behera egin dezakenez, kasu honetan 60° -tako tartea dago falta motaren bereizketa egokia dela bermatzeko.

8.3. Falta trifasikoa

8.3.1. Azalpen orokorra

Falta trifasikoa gertatzen denean sistema orekatu bat lortuko da, hiru faseen arteko kontaktua ematean gertatzen dena. Argi ikusi daiteke kasu honetan izango

diren baldintzak hurrengoak izango direla: $V_A = V_B = V_C$ eta intentsitateen kasuan $I_A + I_B + I_C = 0$ dela. Sistema orekatua izanda, logikoa da agertzen den sare bakarra zuzena izatea.

8.4. Falta bifasikoa lurrera

8.4.1. Azalpen orokorra

Mota honetako falta, falta bifasikoa lurrera konektatzen denean gertatuko da. Kasu hau aztertzeko BCG faseetan emandako falta suposatuko da kalkuluak sinplifikatzearen. Azken kasu honetan emango diren baldintzak hurrengoak izango dira: $I_A = 0$, $V_B = Z_F \cdot I_B$ eta $V_C = Z_F \cdot I_C$

Ikusiko denez, sekuentzia positiboa, sekuentzia negatiboa eta zero sekuentzia batera agertzen dira kasu honetan. Gainera, intentsitatea bakarrik B eta C faseetatik lurrera doala ere argi ikusten da. (8.2) erabiliz, hurrengoa lortuko litzateke:

$$0 = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2} \quad \text{edo} \quad I_{A0} = -I_{A1} - I_{A2} \quad (8.28)$$

Tentsioak aztertuz, V_B eta V_C deskonposatuz, hurrengoa lortuko litzateke:

$$V_B = a^2 V_{A1} + a V_{A2} + V_{A0} = Z_F I_B = Z_F (I_{A0} + a^2 I_{A1} + a I_{A2}) \quad (8.29)$$

$$V_C = a V_{A1} + a^2 V_{A2} + V_{A0} = Z_F I_C = Z_F (I_{A0} + a I_{A1} + a^2 I_{A2}) \quad (8.30)$$

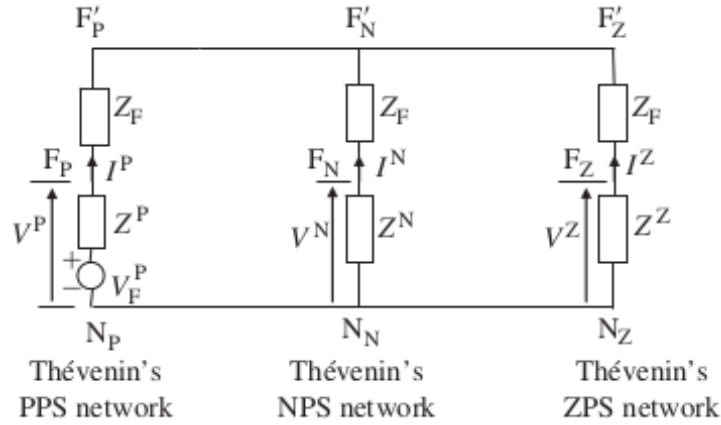
(8.29) - (8.30) egiten bada lortzen den adierazpena.

$$(a^2 - a)V_{A1} + (a - a^2)V_{A2} = Z_F [(a^2 - a)I_{A1} + (a - a^2)I_{A2}] \quad (8.31)$$

Kontuan hartuta $(a - a^2) = \sqrt{3}j$ dela eta $(a^2 - a) = -\sqrt{3}j$ dela, (8.31) ekuazioa sinplifikatu daiteke hurrengo ekuaziora.

$$V_{A1} - Z_F I_{A1} = V_{A2} - Z_F I_{A2} \quad (8.32)$$

$V_{A1} = V_F - Z_1 I_{A1}$ denez, $V_{A2} = -Z_2 I_{A2}$ denez eta $V_{A0} = -Z_0 I_{A0}$ (Z_1 sekuentzia positiboko inpedantzia izanik, Z_2 sekuentzia negatiboko inpedantzia izanik eta Z_0 zero sekuentziako inpedantzia izanik).



8.13 Irudia: Sekuentzia positibo, negatibo eta zero sekuentziak BCG falta baten [10].

Orain (8.29) + (8.30) egiten bada lortzen den adierazpena:

$$(a^2 + a)V_{A1} + (a + a^2)V_{A2} + 2V_{A0} = Z_F[(a^2 + a)I_{A1} + (a + a^2)I_{A2} + 2I_{A0}] \quad (8.33)$$

Kontuan hartuta $(a + a^2) = -1$ dela aurreko ekuazioak sinplifikatzen baditugu hurrengo lortuko litzateke:

$$-(Z_0 + Z_F)I_{A0} = -(Z_2 + Z_F)I_{A2} = V_F - (Z_1 + Z_F)I_{A1} \quad (8.34)$$

Argi ikusi daiteke nola (8.34) eta (8.28) ekuazioak, 8.13 Irudian adierazten den zirkuitua errepresentatzen duela. Hau da, sekuentzia positibo, sekuentzia negatibo eta zero sekuentzia paraleloan konektatuta egotea hain zuzen ere.

I_{A0} , I_{A1} eta I_{A2} balioak inpedantzien menpe adierazten badira, argi ikusi daiteke nola (8.28) betetzen dela.

$$I_{A1} = \frac{[(Z_2 + Z_F) + (Z_0 + Z_F)]V_F}{(Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_1 + Z_F)(Z_0 + Z_F)} \quad (8.35)$$

$$I_{A2} = \frac{-(Z_0 + Z_F)V_F}{(Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_1 + Z_F)(Z_0 + Z_F)} \quad (8.36)$$

$$I_{A0} = \frac{-(Z_2 + Z_F)V_F}{(Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_1 + Z_F)(Z_0 + Z_F)} \quad (8.37)$$

8.4.2. Hautagailuaren aukeratze modua

Falta mota hau determinatzeko (5.4) eta (5.5) bi baldintzak bete egingo dira, falta monofasikoaren berdinak izango direnak. Falta monofasikotik bereizteko eta kaltetua (edo kaltetuak) izan den (edo diren) fasea (edo faseak), (8.10) Irudian ikusi ahal diren angeluak erabiliko dira (8.18) baldintza aplikatuz Angelua-ren balioa lortzeko.

- **Frogapena:** Falta monofasikoan ikusitako kontzeptu berdinak erabiliz, falta zein faseetan dagoen jakin daiteke. Horretarako, kontuan hartu behar dena: hiru sekuentziak agertuko dira faltan (ikusi (8.13) Irudia).

Suposatuz falta BCG dela, lortzen den baldintza $I_A = 0$ izango da, beraz $I_{A2} = -(I_{A1} + I_{A0})$. Jakinda I_{A1} -ren balioa (8.35) dela, I_{A2} -ren balioa (8.36) dela eta I_{A0} -ren balioa (8.37) dela. (8.18) erabiltzen bada Angelua-ren balioa jakiteko hurrengo adierazpena lortuko da:

$$\frac{I_{A2}}{I_{A1}} = \frac{\frac{-(Z_0 + Z_F)V_F}{(Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_1 + Z_F)(Z_0 + Z_F)}}{\frac{[(Z_2 + Z_F) + (Z_0 + Z_F)]V_F}{(Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_2 + Z_F)(Z_0 + Z_F) + (Z_1 + Z_F)(Z_0 + Z_F)}} \quad (8.38)$$

Simplifikatuz hurrengoa lortuko litzateke:

$$\frac{I_{A2}}{I_{A1}} = \frac{-(Z_0 + Z_F)}{(Z_2 + Z_F) + (Z_0 + Z_F)} = I \angle 180 \quad (8.39)$$

Inpedantziek argumentu ia berdina izango dutenez, 180° -ak – zeinuak emango dizkio, non I konstante bat den. Frogatu daiteke nola (8.13) Irudian horrela dela.

Suposatuz orain falta mota ABG dela. Baldintza kasu honetan $I_C = 0$ izango litzateke. Beraz, $I_{C2} = -(I_{C1} + I_{C0})$. Dena A fasean adierazten bada, $I_{C1} = I_{A1} \cdot 1 \angle 240$, $I_{C2} = I_{A2} \cdot 1 \angle 120$ eta $I_{C0} = I_{A0}$ dela jakinda hurrengo adierazpena lortzen da Angelua-ren ekuazioan sartuta.

$$\frac{I_{C2}}{I_{C1}} = \frac{I_{A2} \cdot 1 \angle 120}{I_{A1} \cdot 1 \angle 240} = I \angle 180 \cdot 1 \angle -120 = I \angle 60 \quad (8.40)$$

Azkenik, suposatuz falta mota CAG mota dela, ematen den baldintza $I_B = 0$ izango litzateke. Aurreko prozedura berdina erabilia hurrengoa lortuko litzateke Angelua-ren ekuazioan balioak ordezkatur.

$$\frac{I_{B2}}{I_{B1}} = \frac{I_{A2} \cdot 1 \angle 240}{I_{A1} \cdot 1 \angle 120} = I \angle 180 \cdot 1 \angle 120 = I \angle -60 \quad (8.41)$$

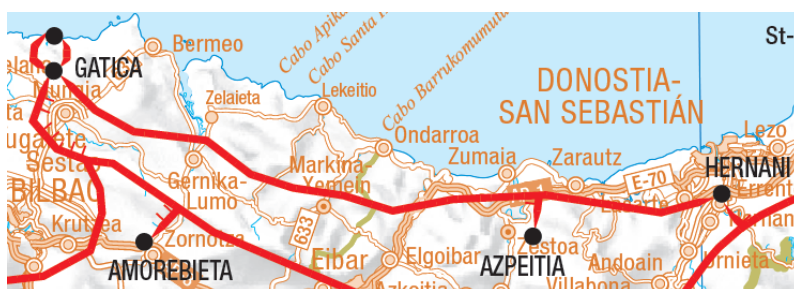
Falta monofasikoarekin gertatzen zen bezala, nahiz eta Angelua 180° -tako balioa BCG falta adierazi, 60° balioa ABG eta -60° balioa CAG; Angelua-ren balioa 5° inguruko gorabeherak izan ditzakenez, 30° tartea dago kasu bakoitzean, falta motaren bereizketa zuzena izan dela bermatzeko.

9. Metodologia

Behin kontzeptu teorikoak azalduta, praktikara pasa daiteke, fase hautagailua-ren simulazioarekin. Simulazioak aurrera eramateko Matlab programaren Simulink aplikazioa erabili da. Lehenengo, linea bat aukeratu egin da eta linea horretako parametroak lortu dira. Kasu honetan, aukeratu den linea "Gatica-Hernani" izan da, 78.1 Km-ko linea. Lineako parametroak hurrengokoak izanik²:

Lineako parametroak	Balioak
Unom	380000 V
Long	78.110 Km
YL1	i229.8e-6 S
YL0	i215.5e-6 S
ZL1	2.448 + i25.55 Ω
ZL0	22.56 + i67.02 Ω
ZSA1	2.464 + i28.46 Ω
ZSA0	4.864 + i31.90 Ω
ZSB1	2.480 + i26.44 Ω
ZSB0	3.120 + i28.06 Ω
ZEQ1	2.736 + i26.40 Ω
ZEQ0	59.21 + i153.1 Ω

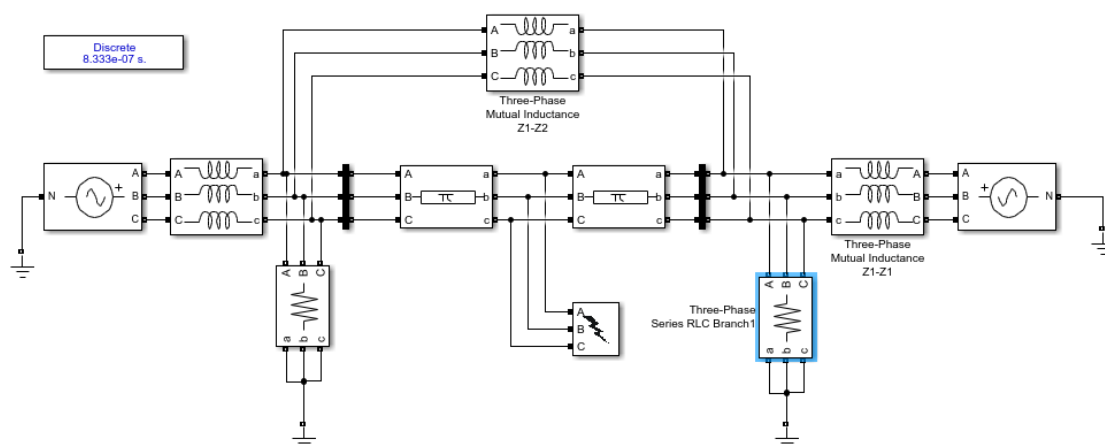
9.1 Taula: Gatica-Henani lineako parametroak.



9.1 Irudia: Linea mapan adierazita.

Behin parametro guztiak lortuta, Simulink-en bidez linearen erdua muntatu da. Fase hautagailuak beharko dituen datuak linearen intentsitateaz baliaturik lortu dira azpisistema batean eta ondoren, Matlab-eko funtzio batera bidali dira, non Ingeteam-eko INGEPAC EF-ZT duen fase hautagailuaren algoritmoa garatu den hain zuzen ere.

²Lineako parametro guztiak, REE-ri eskatuak izan dira, simulazioak ahalik eta errealagoak izateko helburuarekin.



9.2 Irudia: Linearen Simulink eredu.

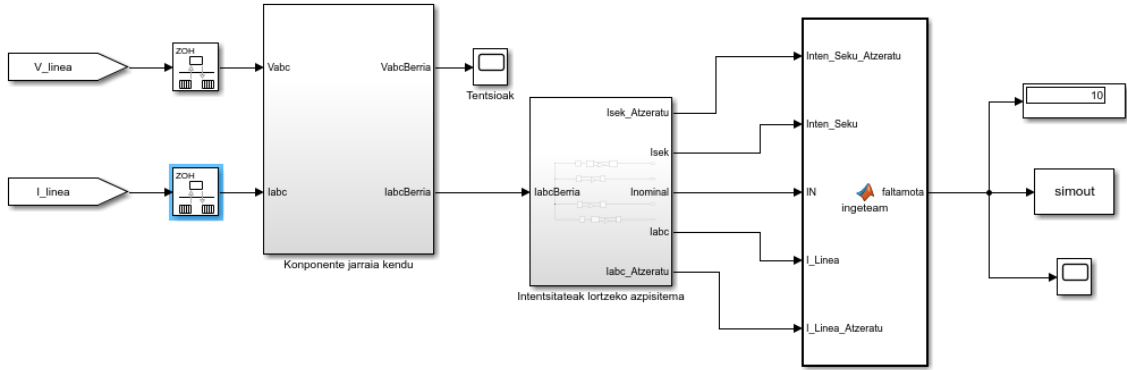
9.2 Irudian ikusi daitekeen modura ereduaren atalak hurrengoak izanik³:

- **Bi iturri trifasiko:** $U_n=380$ kV eta 50 Hz-ko linea simulatzeko.
- **Hiru inpedantzia trifasikoak:** Sare elektrikoa simulatzeko balioko dutenak.
- **Erresistentzia trifasikoak:** Erresistentzia hauek, falta gertatzerako unean sortzen den zarata murriztuko dute, faltaren aukeraketa zehatz bat bermatuz.
- **Bi II linea eredu:** Aukeratu den linearen parametroak definitu ahal izateko.
- **Falta trifasikoak simulatzeko blokea:** Edozein falta mota simulatu ahal izateko.
- **Lineako intentsitate eta tentsioak neurtzeko gailuak:** Gailu hauei esker lineako intentsitateak uneoro duen balioa lortuko da. Kasu honetan, intentsitateekin bakarrik lan egiten denez, ez da beharrezkoa izango tentsioen balioak jakitea.

9.1. Fase hautagailua

Atal honetan eraikitako fase hautatzailearen funtzionamendua azalduko da. Aipatu beharra dago ereduak ez duela era jarraian lan egingo, beraz, balio guztiak diskretizatu behar izan dira. Hautagailua zehatza izateko helburuarekin, ziklo bakoitzeko 24 lagin hartu dira, $8.333e-04$ segundoro lagin bat lortuz. Simulazio osoaren iraupena 0.15 segundotakoa izango da, falta 0.11 segundotan gertatuz.

³Aldagai guztien balioak Eranskinetan eskuragarri egongo dira.



9.3 Irudia: Fase hautagailuaren eredia.

9.3 Irudian ikusi daitekenez, fase hautagailuak ez du lineako intentsitateekin jarraian lan egingo. Intentsitate hauetatik abiatuz, behar izango diren intentsitateen balioak lortuko dira bi azpisistemetan.

Falta gertatzerako unean, hasiera baten intentsitate periodikoarekin batera, intentsitate jarrai bat agertuko da. Lehenengo azpisistemaren helburua, sortzen den intentsitate jarraia ezabatzea izango da, Mimik filtro bat erabiliz, fase hautaketa modu egoki baten burutzeko.

Fenomeno hau hobeto ulertzeko helburuarekin hurrengo eredia erabiliko da: suposatuz RL zirkuitu bat, tentsio iturri ideal batekin elikatua, tentsioaren balioa $e(t) = \sqrt{2}E\sin(\omega t + \phi)$ izango da. Zirkuituan Kirchhoff-en 2º legea aplikatuta, hurrengo adierazpena lortzen delarik:

$$e(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (9.1)$$

Goiko ekuaziotik $i(t)$ askatuz, lortzen den emaitza hurrengoa izanik:

$$i(t) = \sqrt{2}I[\sin(\omega t + \phi - \theta) - \sin(\phi - \theta)e^{-\frac{R}{L}t}] \quad (9.2)$$

Non $I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$ den, $\theta = \arctan(\frac{L\omega}{R})$ den eta ϕ tentsioak duen angelua izanik.

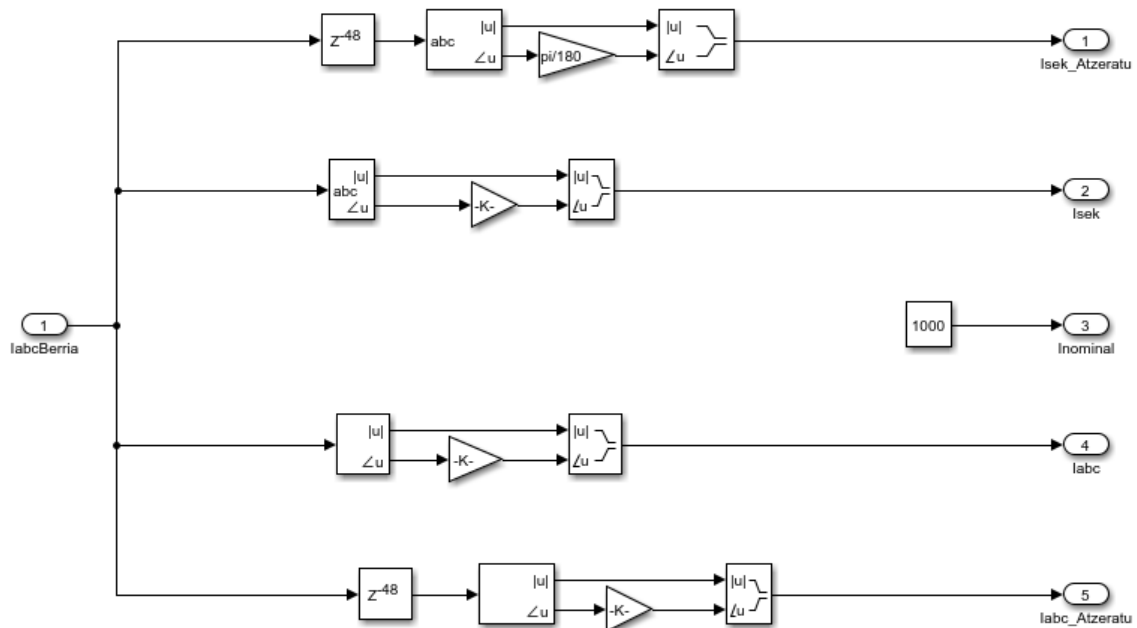
Argi ikusten da nola $\sin(\phi - \theta)e^{-\frac{R}{L}t}$ terminoa zati iragankorra den, filtroak kendu egingo duena hain zuzen ere. Kentzeko, tentsioaren adierazpena inpedantziagatik zatitzen, intentsitate berria lortuko litzateke.

$$i_{berria}(t) = \frac{e(t)}{\sqrt{R^2 + (L2\pi f)^2}} \quad (9.3)$$

Behin intentsitatearen zati jarraia kenduta, beharrezkoa izango da algoritmoak beharko dituen Input balioak lortzea. Horretarako, bigarren azpisistema erabiliko

da. Artearen egoeran ikusi daitekenez, INGEPAC EF-ZT fase hautagailuak beharko dituen balioak hurrengoak izango dira:

- **Lineako intentsitateen balioak (I_A , I_B eta I_C):** Hauen balioak zuzenean bigarren azpisisteman sartzen direnak izango dira. Hala ere, fase hautagailuaren algoritmoa fasoreekin lan egiten duenez, fasore domeinura igaro beharko da. Horretarako, *Magnitude-Angle to complex* blokea erabiliko da.
- **Lineako intentsitateen balioak bi ziklo atzeratuta:** Balio hauek lortzeko, ziklo bakoitzeko 24 lagin erabiltzen dituzenez, 48 lagineko atzerapena sartuko da. Behin seinalea atzeratua izanda, hautagailuaren algoritmoa fasoreekin lan egiten duenez, denbora domeinutik fasore domeinura pasa beharko dira intentsitateak. Horretarako, berriro ere, *Magnitude-Angle to complex* blokea erabiliko da.
- **Lineako intentsitate nominala:** Konstante baten bidez sartuko da, kasu honetan, balioa 1000 A-takoa erabili da.
- **Sekuentzia positibo, sekuentzia negatibo eta sekuentzia homopolarraren balioak:** Intentsitate hauek lortzeko, *Sequence Analyzer* blokea erabili da, bertan sekuentzia positibo, negatibo eta homopolarrak hautatuz. Lineako intentsitateen antzera, fasore domeinura pasa dira hautagailura sartu baino lehen.
- **Sekuentzia positibo, sekuentzia negatibo eta sekuentzia homopolarraren balioak bi ziklo atzeratuta:** Lineako intentsitate atzeratuekin egindako prozedura berdina aplikatu ondoren, *Sequence Analyzer* erabilia lortu dira. Azkenik, fasoreen domeinura igaroz.



9.4 Irudia: Intentsitateen balioak lortzeko azpisistema.

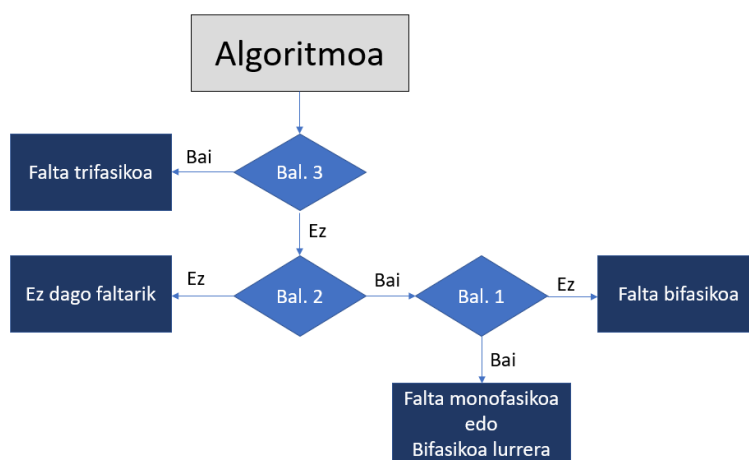
9.3 Irudian ikusi daitekeen modura behin parametro guztiak sartuta, algoritmoak zein falta mota den kalkulatu egingo du eta *Falta mota* irteeran zenbaki bat agertuko da. Zenbaki bakoitzaren balioa **9.2** Taulan adierazitakoa izanik.

Falta mota	Irteerako balioa
Ez dago faltarik	0
Monofasikoa: AG	1
Monofasikoa: BG	2
Monofasikoa: CG	3
Bifasikoa lurrera: ABG	4
Bifasikoa lurrera: BCG	5
Bifasikoa lurrera: CAG	6
Bifasikoa: AB	7
Bifasikoa: BC	8
Bifasikoa: CA	9
Trifasikoa: ABC	10
Falta indeterminatua	11

9.2 Taula: Irteerako zenbakia falta motaren arabera.

9.2. Simulazioen emaitzen azterketa

Behin ereduak dagokion moduan programatu eta gero, teoriarik garatutako emaitzak lortzen diren aztertu beharra dago. Horretarako, hurrengo eskema betetzen dela konprobatuko da. Eskema hau fase hautagailuak erabiltzen duen logikan oinarrituta egonik, honen funtzionamendua egokia dela ondorioztatzeko baliagarria izango da. Gogoratu eskeman agertzen diren baldintzak (5.4), (5.5) eta (5.6) baldintzak direla hain zuzen ere.

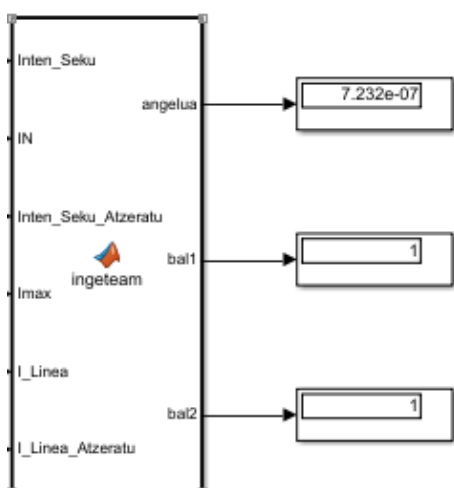


9.5 Irudia: Algoritmoaren eskema.

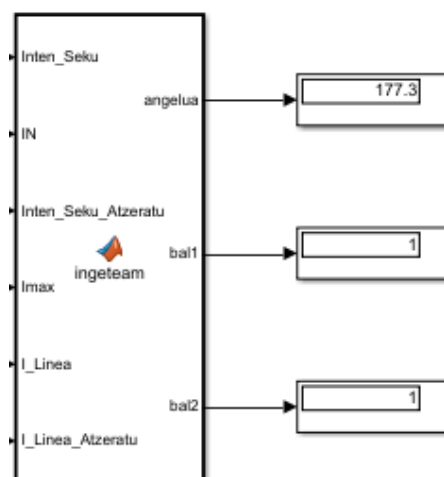
Adibide modura, falta monofasiko bat eta falta bifasiko bat lurrera aztertuko dira⁴. Faltak aztertzeko Matlab-eko funtzioa eraldatu egin da, (5.4), (5.5) baldintzak eta Angelua-ren balioa ikusgai izateko, falta motaren azterketa errazago bat burutzeko asmoarekin.

Falta monofasikoaren kasuan, AG falta monofasikoa aztertu da eta falta bifasikoaren kasuan ordea, BCG falta mota. Matlab-eko funtzio eraldatuarekin lorturiko balioak hurrengoak izango litzatekez:

⁴Kasu guztiak Eranskinetan aztertuak izango dira.



9.6 Irudia: AG falta motan baldintzen balioak eta Angelua-ren balioa.



9.7 Irudia: BCG falta motan baldintzen balioak eta Angelua-ren balioa.

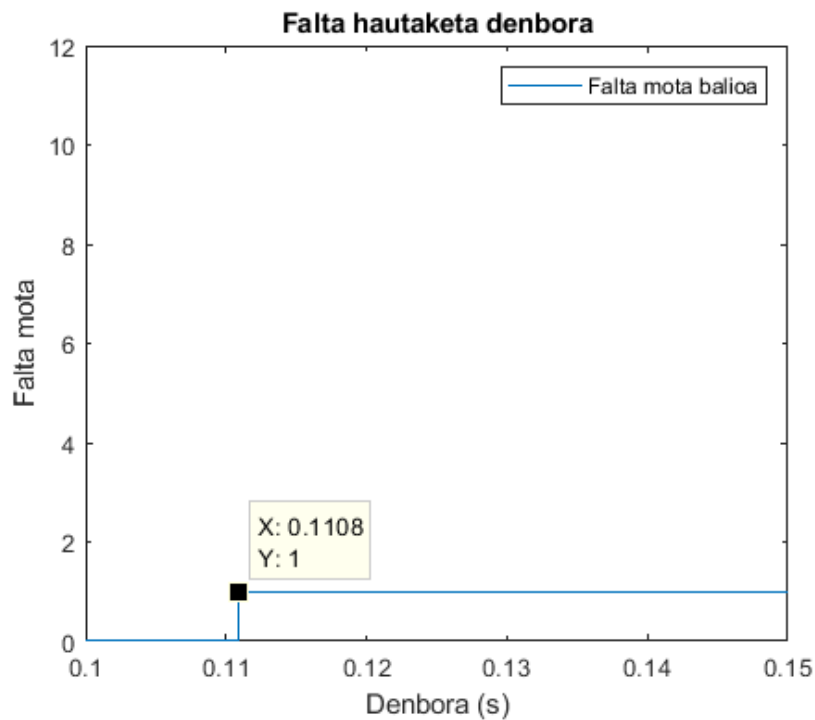
Ikusten denez, (5.4) eta (5.5) betetzen dira, beraz eskema jarraituz, falta monofasiko edo bifasikoa lurrera dela ondoriozta daiteke.

Behin falta mota posibleak aukeratuta, Angelua-ren azterketa burutuko da, monofasiko edo bifasikoa lurrera den jakiteko eta falta zein faseetan den jakiteko. Aurreko ataletan ikusi den bezala, aztertzen ari diren kasuetan $Angelua = Arg(I_2) - Arg(\Delta I_1) = 0^\circ$ eman beharko luke falta monofasikoarentzat eta $Angelua = Arg(I_2) - Arg(\Delta I_1) = 180^\circ$ eman beharko luke bifasikoa lurrerarentzat. 9.6 eta 9.7 Irudietan ikusi daitekenez, lorturiko angeluak $7.232e-07^\circ$ eta 177.3° dira. Monofasikoaren kasuan Angelua-ren balioa 0° dela esan daiteke eta beraz hautaketa ondo egin duela ondorioztatzen da. Bifasikoa lurrerako kasuan ordea 180° hurbil dagoen balioa lotu da, baina lanean zehar azaldu denez gero, 5° edo 10° tarteko aldaketak agertu ahal direnez, fase aukeraketa ere ondo egin dela ondorioztatu daiteke.

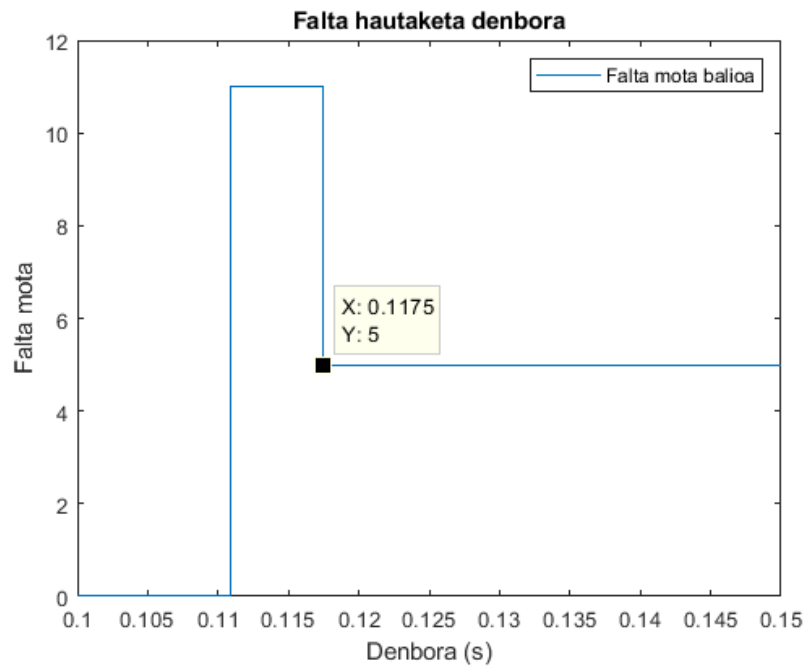
Jarraian falta mota aldagaiaren balioa denboran zehar irudikatuko da, 9.8 eta 9.9 Irudietan ikusi daitekeen modura. Aldagai honek hartzen dituen balioen esanahia 9.2 Taulan adierazita daude. Falta monofasikoaren kasuan, jarraian dagokion falta motara igaro egiten da, lortutako balioa 1 izanda. Taulan begiratzuz, balio egokia hartu duela ikusi daiteke, behar izandako denbora 0.0008 segundotakoa izanik; hau da lehenengo laginarekin nahikoa izango du. Kasu honetan, hautaketa modu azkar eta egoki batean ematen dela ikusi daiteke. Falta motaren hautaketa egokia burutzeko, desarra agindua emango da 6 milisegundo igaro ondoren falta mota berdina izaten jarraitzen badu. Beste kasuetan ikusi daitekeen modura, batzuetan beste falta mota egoeretatik pasatzen delako azkenean egokia lortzen duen arte.

Falta bifasikoa lurrera den kasuan, hasiera batean falta mota indeterminatutik pasa egiten da 11 balioa lortuz. Hala eta guztiz ere, 0.0075 segundo behar ditu dagokion falta mota aukeratzeko; hau da, 9 lagin. Berriro ere, desarratzeko agindua emango du 6 milisegundo ondoren falta mota berdina izaten jarraitzen badu. BCG kasuan, falta mota indeterminatu modura hartuko luke hasiera batean, geroago falta mota ondo definituz. Ez da lortu jakitea zergaitik kasu konkretu honetan hainbesteko denbora ematen duen hautagailuak falta mota egokia hautatzeko.

Prozedura berdina aplikatu da, beste falta mota guztiak aztertzeko.



9.8 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar AG faltan.



9.9 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar BCG faltan.

10. Lanaren deskribapena

Jarraian GRAL hau aurrera eramateko jarraitu den lan programa azalduko da. Aipatu beharra dago proiektuko lantaldea hurrengoak izan dela:

- Ikaslea: Asier Dávila Peña
- Zuzendaria: Felipe Uriondo Arrue

10.1. Lanaren garapenerako atalak

Lanean zehar jarraitutako programa jarraian agertzen den Gantt diagraman ikusi daiteke, ataza garrantzitsuenak hurrengoak izanik:

- 1. Ataza: Proiektuaren aukeraketa zuzendariarekin.
Iraupena: 1 egun.
Hasiera data: 2018/11/30.
- 2. Ataza: Proiektua aurrera eramateko kontzeptuen azalpena.
Iraupena: 10 egun.
Hasiera data: 2018/12/03.
- 3. Ataza: Informazioaren bilketa. Informazioa batu, aztertu eta interpretatu.
Iraupena: 20 egun.
Hasiera data: 2018/12/17.
- 4. Ataza: Kalkuluen garapena. Beharrezkoak diren kalkuluak garatzea.
Iraupena: 25 egun.
Hasiera data: 2019/01/14.
- 5. Ataza: Matlab-Simulink. Fase hautagailuaren algoritmoa garatzea eta simulazioak burutzea.
Iraupena: 25 egun.
Hasiera data: 2019/01/18.
- 6. Ataza: Memoria idaztea.
Iraupena: 55 egun.
Hasiera data: 2019/03/26.

- 7. Ataza: Memoriaren zuzenketa.
Iraupena: 5 egun.
Hasiera data: 2019/06/12.
- 8. Ataza: Zuzenketen implementazioa.
Iraupena: 10 egun.
Hasiera data: 2019/06/19.
- 9. Ataza: Entregatzeko prest
Iraupena: 1 egun.
Hasiera data: 2019/07/4.



10.1 Irudia: Proiektuaren Gantt diagrama.

11. Aurrekontua

Atal honetan, proiektua aurrera eramateko beharrezkoak izan diren gastuen aitorpena egingo da. Gastuak lau atal nagusietan banandu dira: barne orduak, amortizazioak, gastuak eta kostu ez zuzenak. Jarraian atal bakoitzaren deskribapen txiki bat egingo da eta hurrengo orrialdean atal bakoitzari dagokion taula azalduko da.

11.1. Barne orduak

Zati honetan proiektua aurrera eramateko erabili diren ordu kopurua agertuko da. Bai ikasleak eta bai zuzendariak sartu dituen ordu kopurua bananduta agertuko dira [11.3](#) Taulan ikusi daitekeen modura. Ordu kopuruarekin batera, orduko soldata eta honek guztiak izandako kostua agertuko da.

11.2. Amortizazioak

Atal honetan proiektua garatzeko beharrezkoak izan diren elementuen amortizazioak agertuko dira. [11.4](#) Taulan ikusi daitekeen moduan ordenagailu bat erabili da proiektu osoan zehar, bai informazioa bilatzeko, bai kalkuluak eta simulazioak egiteko beharrezkoa izan dena. Gainera simulazioak egiteko Matlab lizentzia eta lana idazteko beharrezkoa izan den Microsoft Office lizentzia (Word eta Excel) erabili dira ere. Kalkuluak egiteko urte batek 250 lan egun dituela eta egunean 8 h lan egiten direla suposatu da. Amaitzeko, ordenagailuaren bizitza erabilgarria 5 urtekoa izanik eta erabilitako lizentzien erabilgarritasuna urte bakarrekoa dela suposatu da.

11.3. Gastuak

Gastuen barnean, bulegoko materiala gehitu da, proiektua aurrera eramateko beharrezkoa izan dena, [11.5](#) Taulan ikusi daitekeen modura.

11.4. Kostu ez zuzenak

Kostu ez zuzenen barruan, proiektuaren atal bati egotzi ezin daitezkeen gastuei egiten die erreferentzia. Kostu zuzenen % 5 aurreikusi dira 11.6 Taulan ikusi daitezkeen modura.

Barne orduak	Orduko soldata (€/h)	Ordu kopurua (h)	Guztizkoa (€)
Zuzendaria	80	50	4000
Ikaslea	25	225	5625
Guztia			9625 €

11.3 Taula: Barne orduak.

Amortizazioak	Kostua (€)	Bizi iraupena (h)	Erabilitako ordu kopurua (h)	Amortizazioa (€)
Ordenagailua	1000	10000	200	20
Matlab lizentzia	70	2000	20	0.7
Office lizentzia	135	2000	180	12.15
Guztia				32.85 €

11.4 Taula: Amortizazioak.

Gastuak	Guztira (€)
Bul. materiala	20
Guztia	20 €

11.5 Taula: Gastuak.

Laburpena	Guztira (€)
Barne orduak	9625
Amortizazioak	32.85
Gastuak	20
Azpitotala	9677.85
Kostu ez zuzenak (% 5)	483.89
Guztia	10161.74 €

11.6 Taula: Kostu totalak.

12. Ondorioak

GRAL hau burutu ondoren, garatzerako orduan hurrengo ondorioak atera dira:

- Fase hautagailuek garraio lineetan garrantzia handia dutela esan daiteke. Beharrezko babes elementu moduan, falta bat gertatzerakoan, honek eragindako kalteen murrizketa baimentzen dituztelako.
- Kaltetuak izan diren faseak aztertzeke hainbat metodo desberdin daudela, metodo zabalduena sekuentzia intentsitateen arteko angeluena izanik, lan honetan aztertu dena hain zuzen ere.
- Fase hautagailu erreal batek duen algoritmoa nola funtzionatzen duen ikasi da. Funtzionamendu printzipioak ikusi eta gero, Matlab-ean algoritmoaren garapena eginez.
- Teorikoki lortutako emaitzak, praktikara eramaterakoan bete egiten direla baieztatu dira Simulink-en garatu den modeloari esker.

Erreferentziak

- [1] *ZLV Protección de Distancia Manual de Instrucciones*, ZIV, Parque Tecnológico, 210, 48170 Zamudio, Bizkaia, 2011.
- [2] *D60 Line Distance Protection System*, GE, 215 Anderson Avenue, Markham, Ontario, Canada, 2007.
- [3] *Line distance protection REL670 2.1 IEC Technical manual*, ABB, SE-721 59 Västerås, Sweden, 2016.
- [4] *Protección distancia INGEPAC EF-ZT Manual de usuario*, Ingeteam, Parque Tecnológico Zamudio, 108, 48170 Zamudio, Bizkaia, 2018.
- [5] *SEL-421 Relay Protection and Automation System Reference Manual*, SEL, 2350 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163 - USA, 2006.
- [6] *MiCOMho P443 and P445 Distance Relay Technical Manual*, AREVA, St. Leonards Avenue, Stafford, ST14 4LX, England, 2006.
- [7] D. Costello and K. Zimmerman, “Distance element improvements - a case study,” in *2008 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers*, April 2008, pp. 232–246.
- [8] CEAC. (2013) El sistema trifásico en electricidad. [Online]. Available: <https://www.ceac.es/blog/el-sistema-trifasico-en-electricidad>
- [9] A. E. eta Z. Larrabe, *Teknologia Elektrikoa*. UPV/EHU, 2012.
- [10] N. Tleis, *Power Systems Modelling and Fault Analysis: Theory and Practice*. Elsevier Science, 2008.
- [11] REE. (2018) Datos red de transporte. [Online]. Available: <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>
- [12] W. Li, T. Bi, and Q. Yang, “Study on sequence component based fault phase selector during power swings,” in *2010 5th International Conference on Critical Infrastructure (CRIS)*, Sep. 2010, pp. 1–5.
- [13] W. Lu, X. Lin, and Gao Yan, “A novel adaptive phase selector based on fault component,” in *2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering*, April 2011, pp. 1071–1075.
- [14] T. Huang and Y. Lu, “Improved superimposed current phase selector of wind farm with crowbar system,” in *2014 IEEE PES General Meeting / Conference Exposition*, July 2014, pp. 1–5.

- [15] L. Wei, W. Xingguo, L. Zhongqing, and D. Dingxiang, “A combined phase selector element based on the superimposed sequence components for parallel lines on the same tower,” in *2013 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Dec 2013, pp. 1–6.
- [16] E. Price and T. Einarsson, “The performance of faulted phase selectors used in transmission line distance applications,” in *2008 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers*, April 2008, pp. 484–490.

Eranskinak I

Matlab kodea

Jarraian fase hautagailuak falta mota identifikatzeko garatutako kodea aurkeztu-ko da.

```

1 function faltamota =ingeteam(Inten_Seku_Atzeratu , Inten_Seku , IN , I_Linea ,
   I_Linea_Atzeratu)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %   INTENTSITATEAK ETA INTENTSITATE ATZERATUAK LORTU
4 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
5 faltamota=0;
6
7 I_1=Inten_Seku(1);
8 I_2=Inten_Seku(2);
9 I_0=Inten_Seku(3);
10 I_1prima=Inten_Seku_Atzeratu(1);           %bi ziklo atzeratu 40e-03
11 I_ab=I_Linea(2)-I_Linea(1);
12 I_bc=I_Linea(3)-I_Linea(2);
13 I_ca=I_Linea(1)-I_Linea(3);
14 I_ab_Atzeratu=I_Linea_Atzeratu(2)-I_Linea_Atzeratu(1);
15 I_bc_Atzeratu=I_Linea_Atzeratu(3)-I_Linea_Atzeratu(2);
16 I_ca_Atzeratu=I_Linea_Atzeratu(1)-I_Linea_Atzeratu(3);
17
18 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
19 %           BALDINTZAK
20 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
21
22 %baldintza1
23 if ((3*abs(I_0) > 0.05*IN) && (3*abs(I_0) > 0.1*abs(I_1)))
24     ball=true;
25 else
26     ball=false;
27 end%if
28
29 %baldintza2
30 if ((3*abs(I_2) > 0.05*IN) && (abs(I_2) > 0.1*abs(I_1)))
31     bal2=true;
32 else
33     bal2=false;
34 end%if

```

```

35
36
37 % Imax aukeratu
38
39 Ihandiena=[abs(I_ab) abs(I_bc) abs(I_ca)];
40 Imax=max(max(Ihandiena));
41
42 %baldintza3
43 if ((abs((abs(I_ab_Atzeratu)-abs(I_ab)))>0.7*Imax)&&(abs((abs(
    I_bc_Atzeratu)-abs(I_bc)))>0.7*Imax)&&(abs((abs(I_ca_Atzeratu)-abs(
    I_ca)))>0.7*Imax))
44     bal3=true;
45 else
46     bal3=false;
47 end%if
48
49
50 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
51 %                FALTA MONOFASIKOA EDO BIFASIKOA LURRERA
52 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
53
54
55 if((bal1) && (bal2))
56     %falta monofasikoa edo bifasikoa behar den angelua
57     angelua=angle(I_0)-angle(I_2);
58     angelua=angelua*180/pi;           %graduetara pasa
59     if (angelua<0)
60         angelua=360+angelua;         %angelu positiboak bakarrik izateko
61     end%if
62
63     if (angelua>0)&&(angelua<50)
64         faltamota=21;                 % AN o BCN
65
66     %%%%%%%%%%% FALTA MOTA BEREIZTEKO %%%%%%%%%%%
67
68     delta=I_1-I_1prima;               %falta angelua - prefalta
69     angelua=angle(I_2)-angle(delta);
70     angelua2=angelua*180/pi;          %graduetara pasa
71     if (angelua2<0)
72         angelua2=360+angelua2;        %angelu positiboak bakarrik
73         izateko
74     end%if

```

```

75     if ((angelua2>0)&&(angelua2 <30)) || ((angelua2 >330)&&(angelua2
76         <360))
77         faltamota=1;           %%%%%% AN FALTA MOTA %%%%%%%%%%
78     end%if
79
80     if ((angelua2 >150)&&(angelua2 <210))
81         faltamota=5;           %%%%%% BCN FALTA MOTA %%%%%%%%%%
82     end%if
83
84     if ((angelua2 >30)&&(angelua2 <150)) || ((angelua2 >210)&&(angelua2
85         <330))
86         faltamota=11;    % sera AN o BCN beraz indeterminatua
87     end%if
88
89     end%if
90
91     if (angelua >310)&&(angelua <360)
92         faltamota=21;           % AN o BCN
93
94         %%%%%%%%%% FALTA MOTA BEREIZTEKO %%%%%%%%%%
95
96         delta=I_1-I_1prima;           %falta angelua - prefalta
97         angelua
98         angelua3=angle(I_2)-angle(delta);
99         angelua3=angelua3*180/pi;           %graduetara pasa
100        if (angelua3 <0)
101            angelua3=360+angelua3;           %angelu positiboak bakarrik
102            izateko
103        end%if
104
105        if ((angelua3 >0)&&(angelua3 <30)) || ((angelua3 >330)&&(angelua3
106            <360))
107            faltamota=1;           %%%%%% AN FALTA MOTA %%%%%%%%%%
108        end%if
109
110        if ((angelua3 >150)&&(angelua3 <210))
111            faltamota=5;           %%%%%% BCN FALTA MOTA %%%%%%%%%%
112        end%if
113
114        if ((angelua3 >30)&&(angelua3 <150)) || ((angelua3 <330)&&(angelua3
115            >210))
116            faltamota=11;    % AN o BCN beraz indeterminatua
117        end%if

```

```

113     end%if
114
115
116     if (angelua > 70) && (angelua < 170)
117         faltamota = 21;           % BN o CAN
118
119         %%%%%%%%%%% FALTA MOTA BEREIZTEKO %%%%%%%%%%%
120
121         delta = I_1 - I_1prima;    % falta angelua - prefalta
122         angelua = angle(I_2) - angle(delta);
123         angelua4 = angelua * 180 / pi;    % graduetara pasa
124         if (angelua4 < 0)
125             angelua4 = 360 + angelua4;    % angelu positiboak bakarrik
126             izateko
127         end%if
128
129         if ((angelua4 > 90) && (angelua4 < 150))
130             faltamota = 2;           %%%%%%%%%%% BN FALTA MOTA %%%%%%%%%%%
131         end%if
132
133         if ((angelua4 > 270) && (angelua4 < 330))
134             faltamota = 6;           %%%%%%%%%%% CAN FALTA MOTA %%%%%%%%%%%
135         end%if
136         if ((angelua4 > 0) && (angelua4 < 90)) || ((angelua4 < 270) && (angelua4 > 150))
137             || ((angelua4 < 360) && (angelua4 > 330))
138                 faltamota = 11;       % BN o CAN beraz indeterminatua
139         end%if
140
141     end%if
142
143     if (angelua > 190) && (angelua < 290)
144         faltamota = 23;           % CN o ABN
145
146         %%%%%%%%%%% FALTA MOTA BEREIZTEKO %%%%%%%%%%%
147
148         delta = I_1 - I_1prima;    % falta angelua - prefalta
149         angelua = angle(I_2) - angle(delta);
150         angelua5 = angelua * 180 / pi;    % graduetara pasa
151         if (angelua5 < 0)
152             angelua5 = 360 + angelua5;    % angelu positiboak bakarrik

```



```

153         izateko
154     end%if
155     if ((angelua5 > 30) && (angelua5 < 90))
156         faltamota = 4;           %%%%%% ABN FALTA MOTA %%%%%%%%%%%
157     end%if
158
159     if ((angelua5 > 210) && (angelua5 < 270))
160         faltamota = 3;           %%%%%% CN FALTA MOTA %%%%%%%%%%%
161     end%if
162
163     if ((angelua5 > 90) && (angelua5 < 210)) || ((angelua5 < 360) && (angelua5
164         > 270)) || ((angelua5 < 30) && (angelua5 > 0))
165         faltamota = 11;          % CN o ABN beraz indeterminatua
166     end%if
167 end%if
168
169     if (((angelua > 50) && (angelua < 70)) || ((angelua > 170) && (angelua < 190))
170         || ((angelua > 290) && (angelua < 310)))
171         faltamota = 11;          % ez bada aurrerko falta mota bat beraz
172         indeterminatua
173     end%if
174
175
176
177 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
178 %                          FALTA BIFASIKOA
179 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
180
181
182     if (ba12) && (not(ba11))
183
184         delta = I_1 - I_1prima;           %falta angelua - prefalta
185         angelua = angle(I_2) - angle(delta);
186         angelua1 = angelua * 180 / pi;     %graduetara pasa
187     if (angelua1 < 0)
188         angelua1 = 360 + angelua1;        %angelu positiboak bakarrik
189         izateko
190     end%if

```

FASE HAUTAGAILUA URRUTIKO BABESERAKO

```
191     if (angelua1>0)&&(angelua1 <120)
192         faltamota=7;                %%%%%% AB FALTA MOTA %%%%%%
193     end%if
194
195     if (angelua1 >120)&&(angelua1 <240)
196         faltamota=8;                %%%%%% BC FALTA MOTA %%%%%%
197     end%if
198
199     if (angelua1 >240)&&(angelua1 <360)
200         faltamota=9;                %%%%%% CA FALTA MOTA %%%%%%
201     end%if
202
203     end%if
204
205     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
206     %                FALTA TRIFASIKOA
207     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
208
209     if (not (bal1))&&(not (bal2))&&(bal3)
210         faltamota=10;
211     end%if
212
213     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
214     %                Ez dago faltarik
215     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
216
217     if (not (bal1))&&(not (bal2))&&(not (bal3))
218         faltamota=0;
219     end%if
220
221
222     end%function
```

Eranskinak II

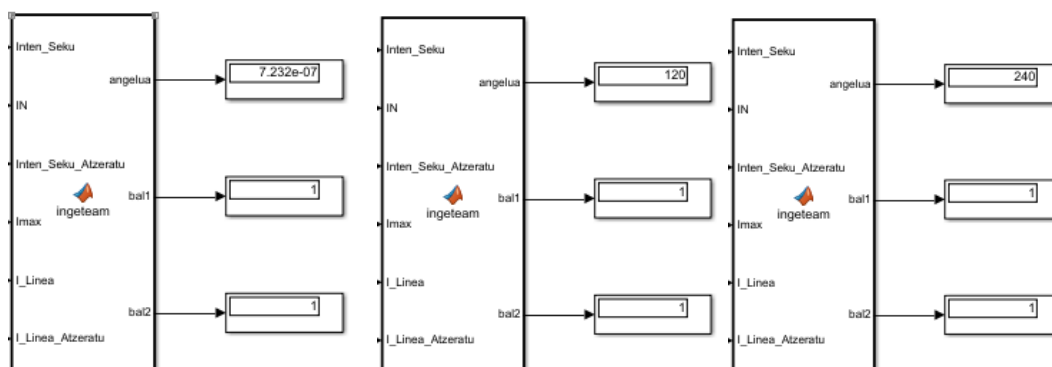
Simulazioen emaitzen azterketa

Jarraian agertuko diren irudiek fase hautagailuaren funtzionamendua egokia dela ondorioztatzeko balioko dute. Horretarako (5.4), (5.5) eta (5.6) aztertuko dira falta mota bereizteko. Ondoren, Angelua-ren balioa aztertuko da fase kaltetuak aztertzeko eta falta hautatzeko behar duen denbora aztertuko da.

Gogoratu simulazioan falta 0.11 segundoan emango dela eta ziklo bakoitzeko 24 lagin hartu direla eredu diskretuan.

Falta monofasikoak

Falta monofasikoetan (5.4) eta (5.5) bete behar dira. Beheko irudietan ikusi daitekeen modura, BC eta CG kasuetan angeluaren balioa zehatza izan da, teorian eman behar duenarekin. AG kasuan teorikoki 0° eman beharko luke eta 7.232e-07 ematen du, beraz 0 modura tratatu daitekeenez, fase hautagailuaren funtzionamendua egokia dela esan daiteke.



12.1 Irudia: AG falta mota.

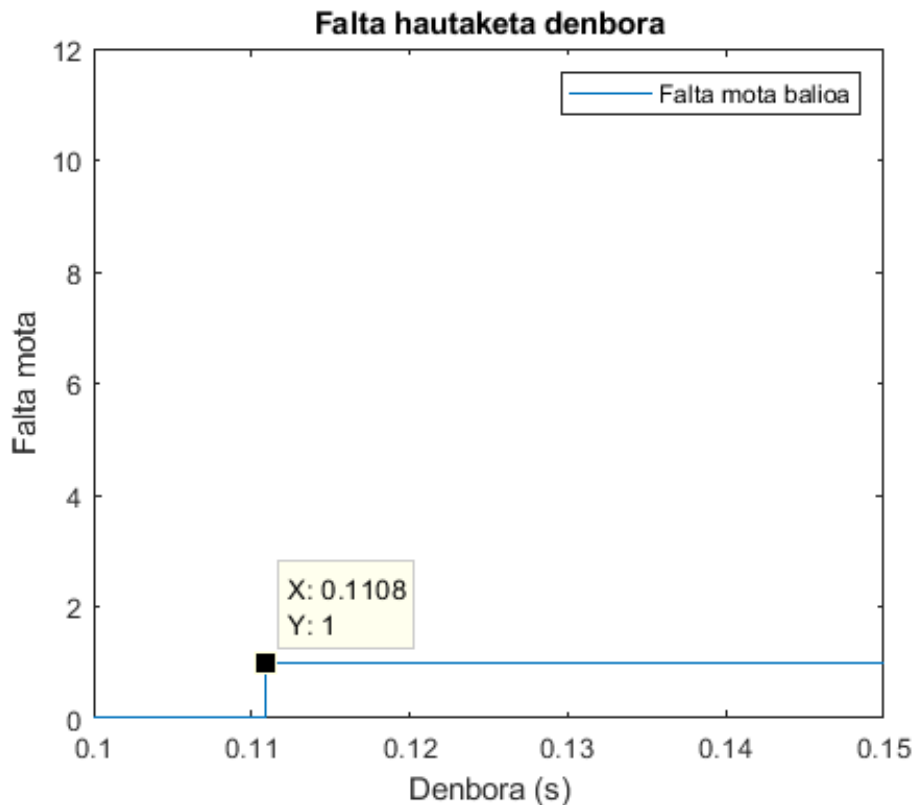
12.2 Irudia: BG falta mota.

12.3 Irudia: CG falta mota.

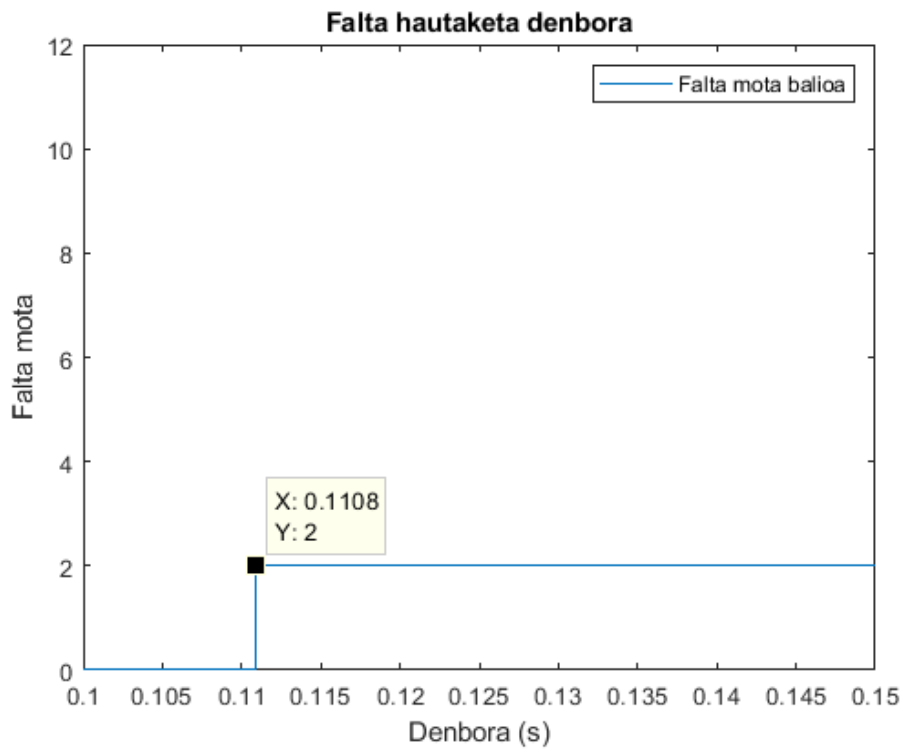
AG falta monofasikoaren kasuan (12.4) Irudian ikusi daitekeen modura, falta mota: 1 ikusi daiteke. (9.2) Taulan begiratzuz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Behar izandako denbora aztertuz, falta 0.11 segundoan izan dela kontuan izanda, 0.008 segundo behar izan dituela ondoriozta daiteke. Hau da, lehen laginarekin nahikoa izan du falta mota aukeratzeko.

BG falta monofasikoaren kasuan [12.5](#) Irudian ikusi daitekeen modura, falta mota: 2 ikusi daiteke. [9.2](#) Taulan begiratzuz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Behar izandako denbora aztertuz aurreko kasuan bezala, falta 0.11 segundoan izan dela kontuan izanda, 0.008 segundo behar izan dituela ondoriozta daiteke. Hau da, lehen laginarekin nahikoa izan du falta mota aukeratzeko.

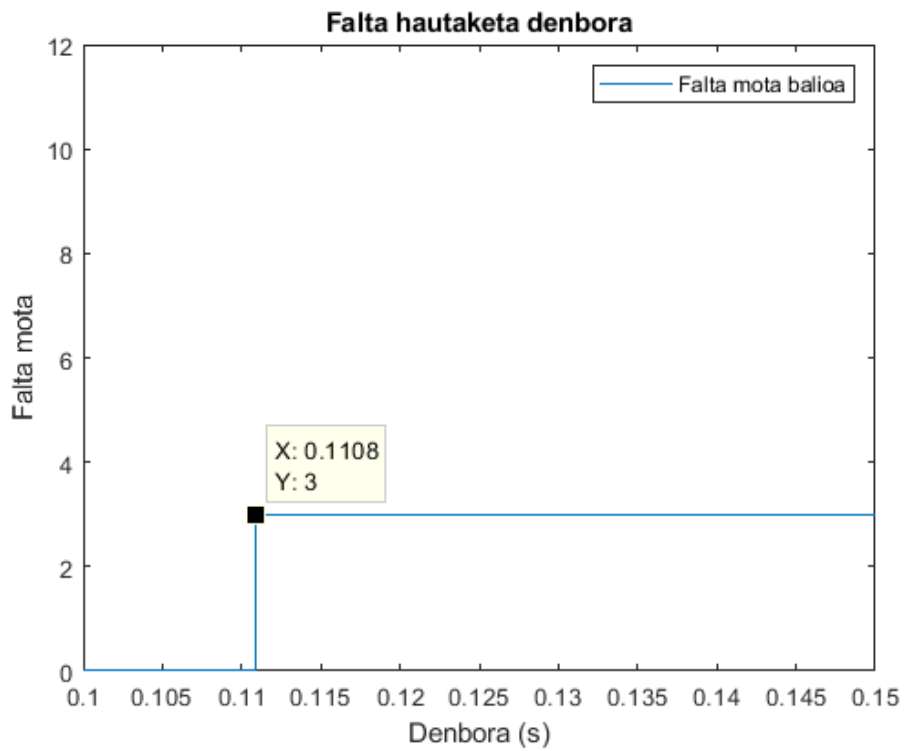
CG falta monofasikoaren kasuan [12.6](#) Irudian ikusi daitekeen modura, falta mota: 3 ikusi daiteke. [9.2](#) Taulan begiratzuz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Behar izandako denbora aztertuz, aurreko kasuan bezala, falta 0.11 segundoan izan dela kontuan izanda, 0.008 segundo behar izan dituela ondoriozta daiteke. Hau da, lehen laginarekin nahikoa izan du falta mota aukeratzeko.



12.4 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar AG faltan.



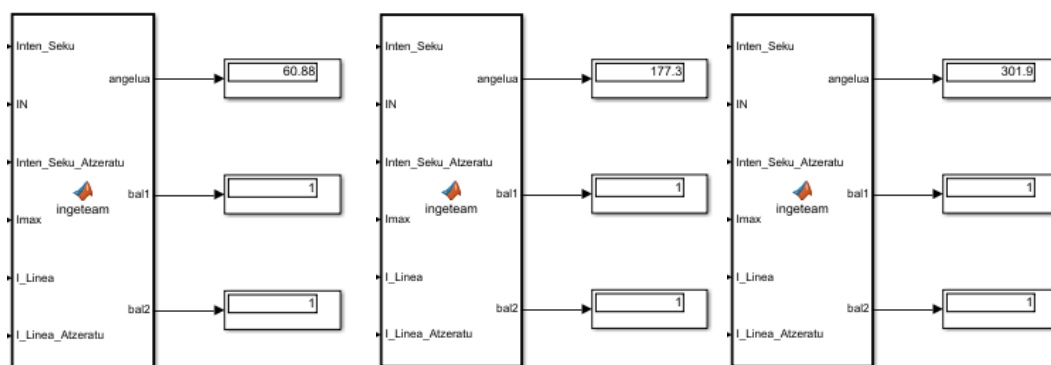
12.5 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar BG faltan.



12.6 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar CG faltan.

Falta bifasikoa lurrera

Falta monofasikoen antzera (5.4) eta (5.5) bete behar dira. Beheko irudietan ikusi daiteken modura, kasu honetan aukera guztietan angelu teorikoren oso balio antzekoak lortu dira, beraz fase hautagailuaren funtzionamendua egokia dela ondorioztatu daiteke.



12.7 Irudia: ABG falta mota.

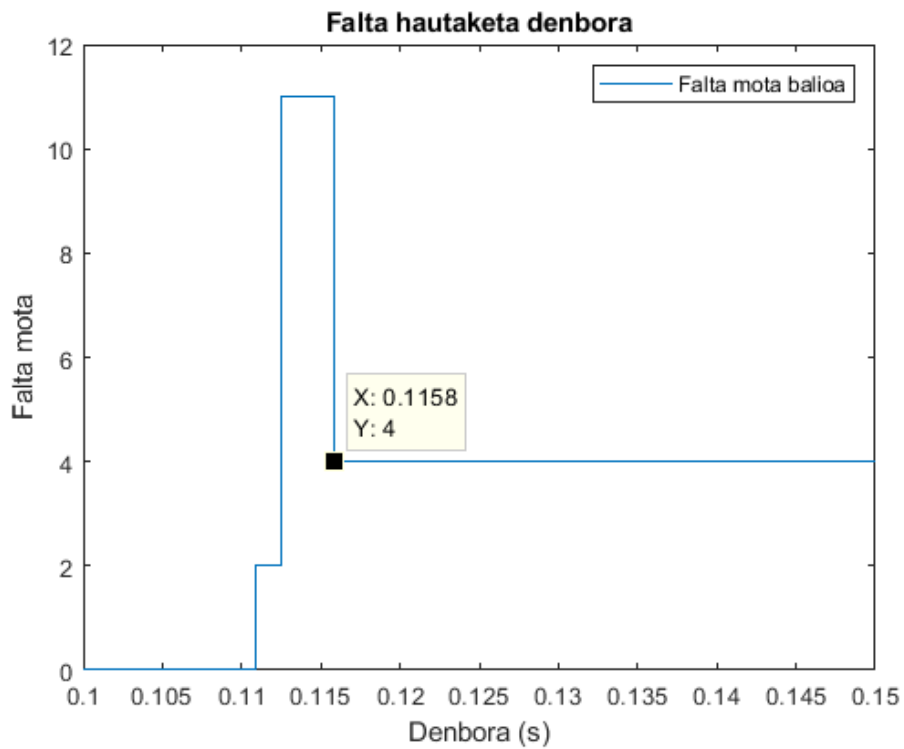
12.8 Irudia: BCG falta mota.

12.9 Irudia: CAG falta mota.

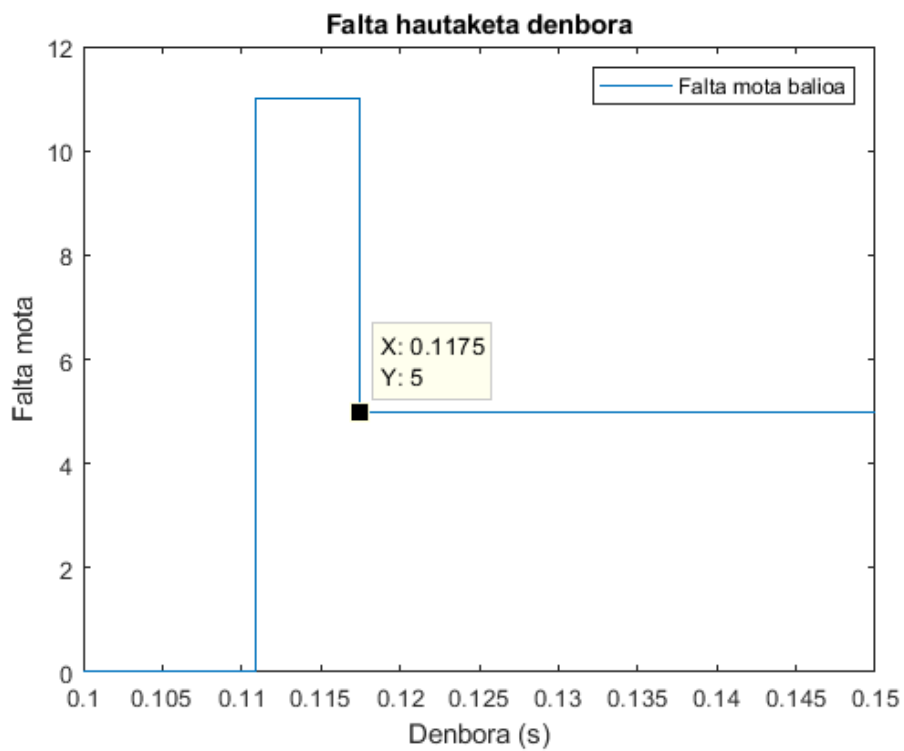
ABG faltan (12.10) Irudian ikusi daiteken modura falta mota: 4 adierazten du. (9.2) Taulan begiratu, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Hala eta guztiz ere, adierazgarria da nola falta monofasikoak baino denbora gehiago behar izan duela, hasiera baten beste falta mota batzuetatik igaroz azkenean benetan eman den falta motara iritsi arte. Denbora totala kasu honetan 0.0058 segundotakoa izan da, 7 lagin behar izan ditu kasu honetan.

BCG faltan (12.11) Irudian ikusi daiteken modura falta mota: 5 adierazten du. (9.2) Taulan begiratu, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Berrito ere, adierazgarria da nola falta monofasikoak baino denbora gehiago behar izan duela, hasiera baten beste falta mota batzuetatik igaroz azkenean benetan eman den falta motara iritsi arte. Denbora totala aurreko kasua baino handiagoa izanik 0.0075 segundotakoa izan da, 9 lagin behar izan ditu kasu honetan.

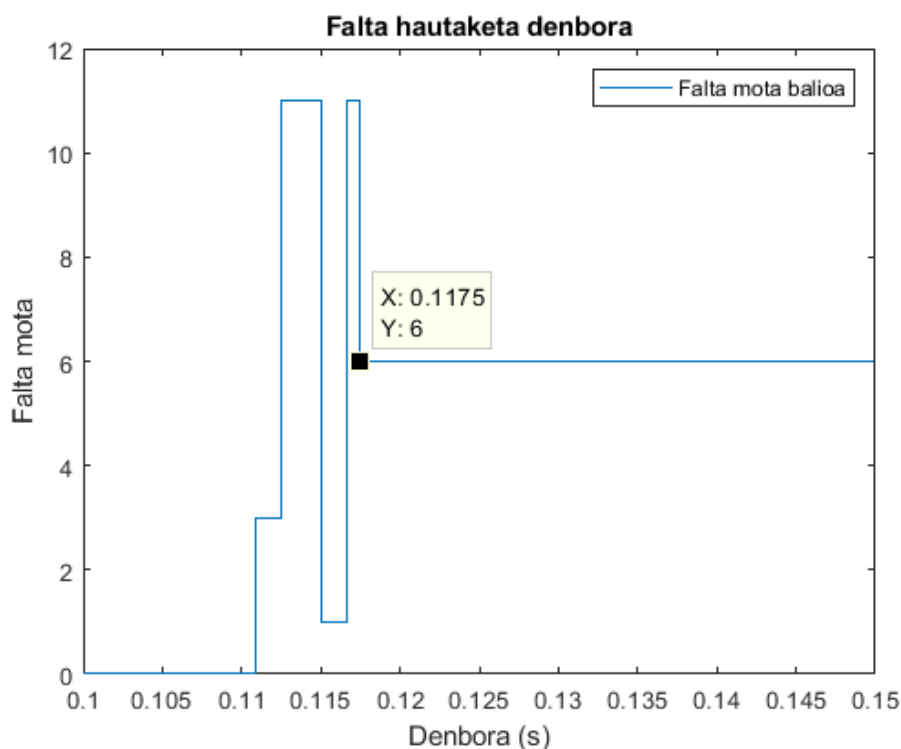
CAG faltan (12.12) Irudian ikusi daiteken modura falta mota: 6 adierazten du. (9.2) Taulan begiratu, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Aurreko kasuetan bezala, hasiera baten beste falta mota batzuetatik igaroz azkenean benetan eman den falta motara iritsi arte. Denbora totala aurreko kasuen berdina izanik 0.0075 segundotakoa izan da, 9 lagin.



12.10 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar ABG faltan.



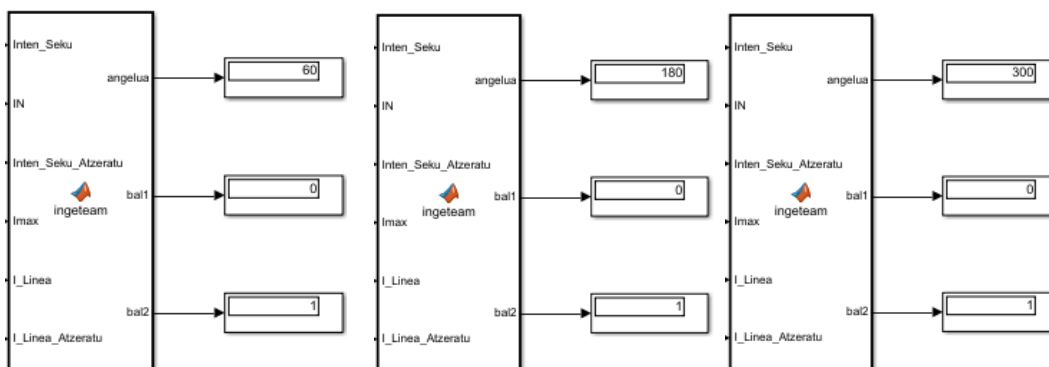
12.11 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar BCG faltan.



12.12 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar CAG faltan.

Falta bifasikoa

Falta bifasikoetan bakarrik (5.5) bete behar da. Beheko irudietan ikusten den modura, kasu guztietan teorikoki lortu beharko litzatekeen balio berdinak lortu dira. Berriko ere fase hautagailua ondo funtzionatu duela esan daiteke.



12.13 Irudia: AB falta mota.

12.14 Irudia: BC falta mota.

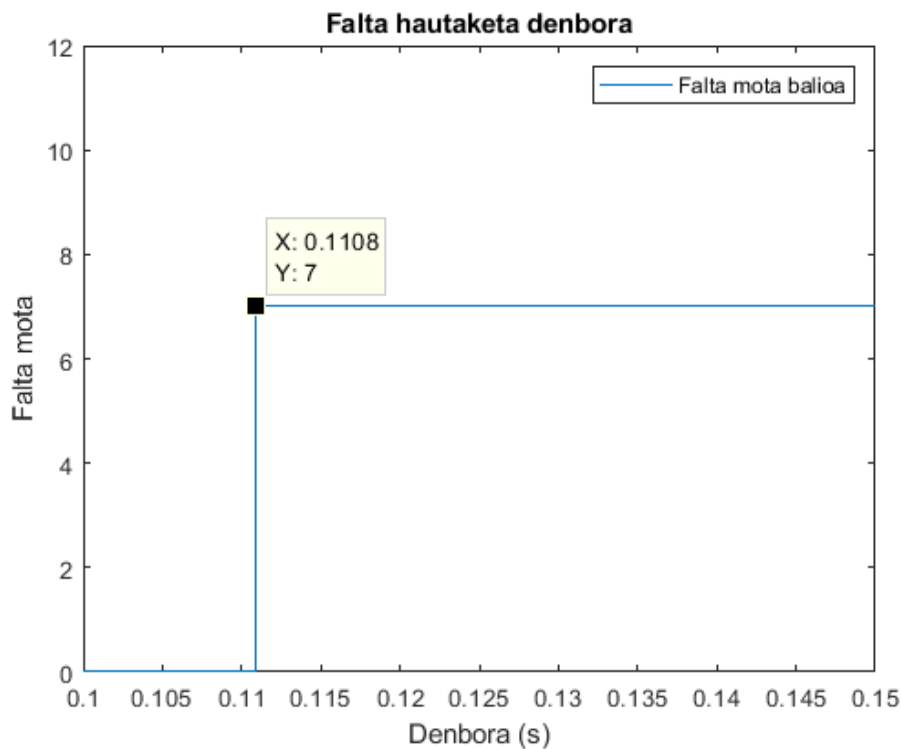
12.15 Irudia: CA falta mota.

AB falta bifasikoan (12.16) Irudian ikusten denez, adierazitako falta mota 7 da.

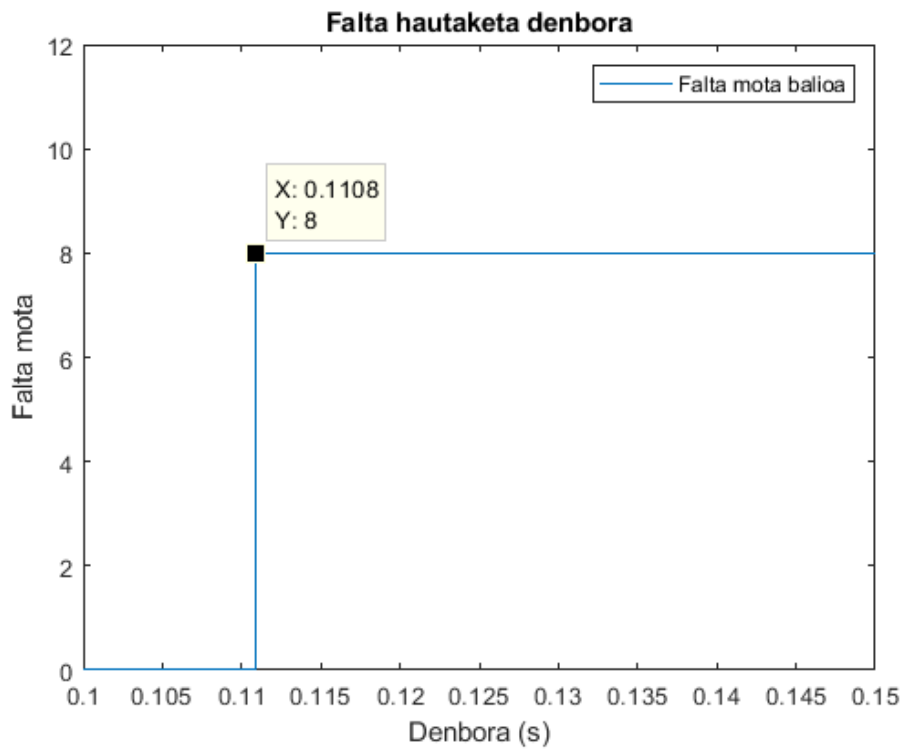
9.2 Taulan begiratzuz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Beharrezko denbora totala aztertuz, falta monofasikoen antzera, 0.0008 segundo behar ditu, hau da, lehen laginarekin nahikoa du falta mota aukeratzeko.

BC falta bifasikoan 12.17 Irudian ikusten denez, adierazitako falta mota 8 da. 9.2 Taulan begiratzuz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Aurreko kasuan bezala, beharrezko denbora totala aztertuz, 0.0008 segundo behar ditu, berriro ere lehen laginarekin nahikoa izanik falta mota aukeratzeko.

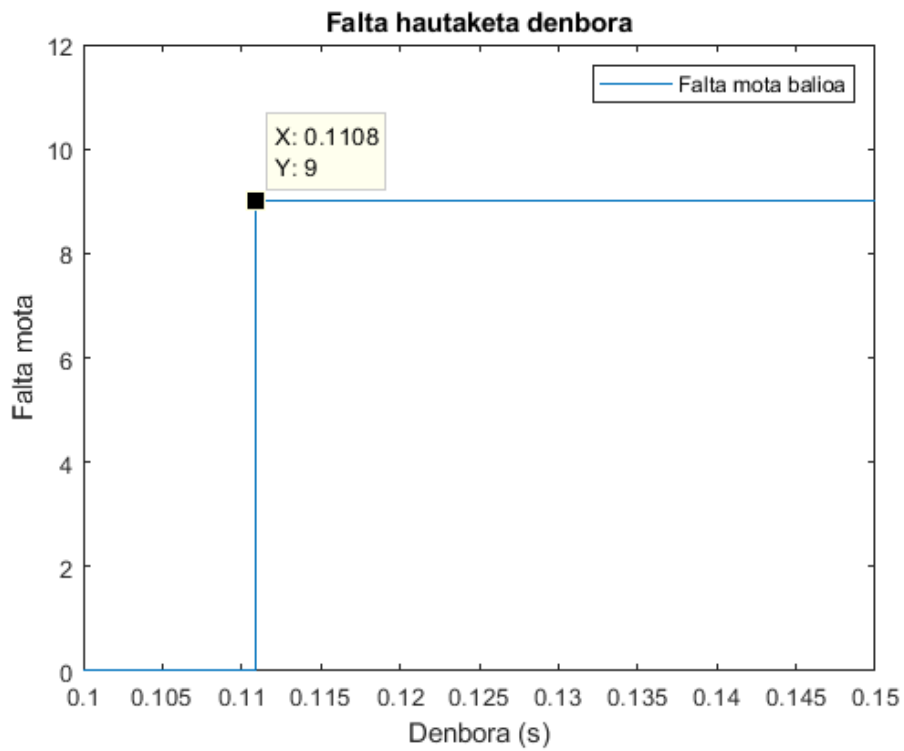
CA falta bifasikoan 12.18 Irudian ikusten denez, adierazitako falta mota 9 da. 9.2 Taulan begiratzuz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Aurreko kasuan bezala, beharrezko denbora totala aztertuz, 0.0008 segundo behar ditu, berriro ere lehen laginarekin nahikoa izanik falta mota aukeratzeko.



12.16 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar AB faltan.



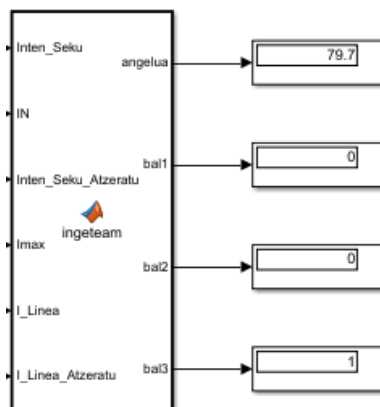
12.17 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar BC faltan.



12.18 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar CA faltan.

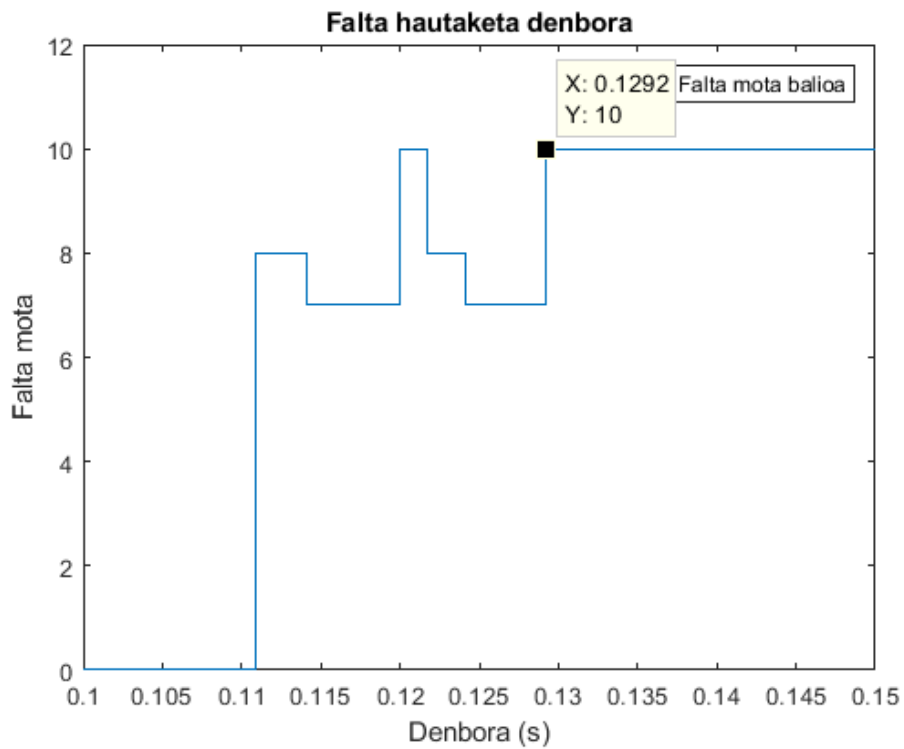
Falta trifasikoa

Falta trifasikoen kasuan, (5.4) eta (5.5) ez dira bete behar edo (5.6) betetzen bada gertatuko da. Beheko irudian ikusi daitekenez bi kasuak batera beteko dira. Alde batetik, lehen bi baldintzak nuluak izanik eta gainera hirugarren baldintza betez.



12.19 Irudia: Falta mota-ren balioa denboran zehar falta trifasikoan.

Falta trifasikoaren kasuan (12.20) Irudian ikusi daitekeen modura, falta mota 10 da. (9.2) Taulan begiraturaz, falta ondo aukeratua izan dela ondorioztatzen da. Hala eta guztiz ere, kasu honetan denbora gehiago beharko du falta mota zein den ondorioztatzeko. Zehazki 0.0192 segundo, 23 lagin hain zuzen ere. Beraz ia ziklo oso bat beharko duela ondoriozta daiteke. Beste falta motekin alderatuta denboraren gehikuntza handi honen arrazoia ez dago argi zerk eragiten duen.



12.20 Irudia: ABC falta mota.

Falta gabeko egoera

Faltarik ez dagoenean, ez da baldintzarik beteko eta Angelua-ren balioa edozein izan daiteke. Falta gabeko egoeran, fase hautagailuak ez du lanik egingo eta falta mota 0 izango da simulazio osoan zehar 12.21 Irudian ikusi daiteken modura.

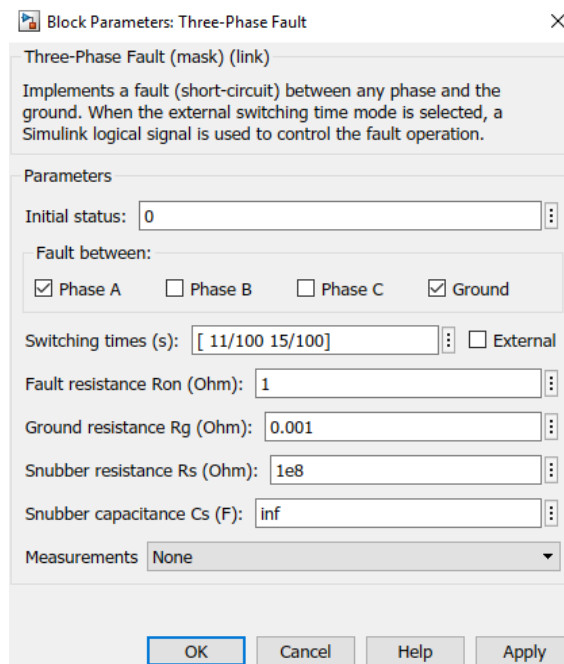


12.21 Irudia: Falta gabeko egoera.

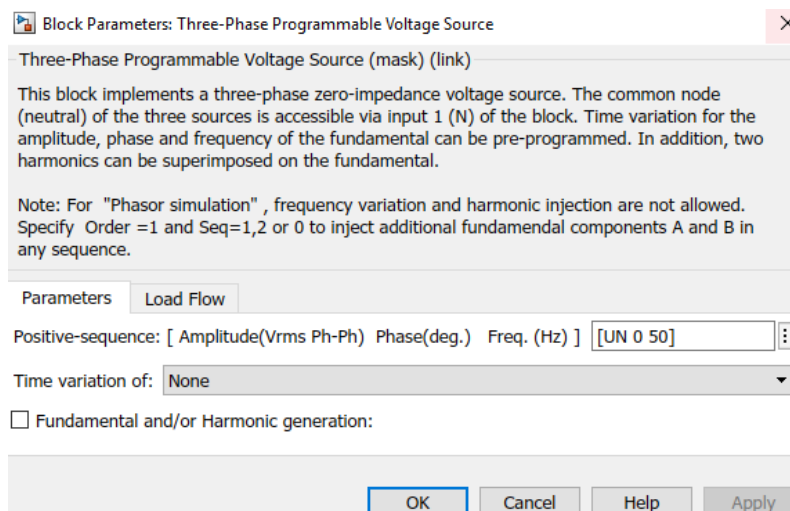
Eranskinak III

Lineako parametroen balioak

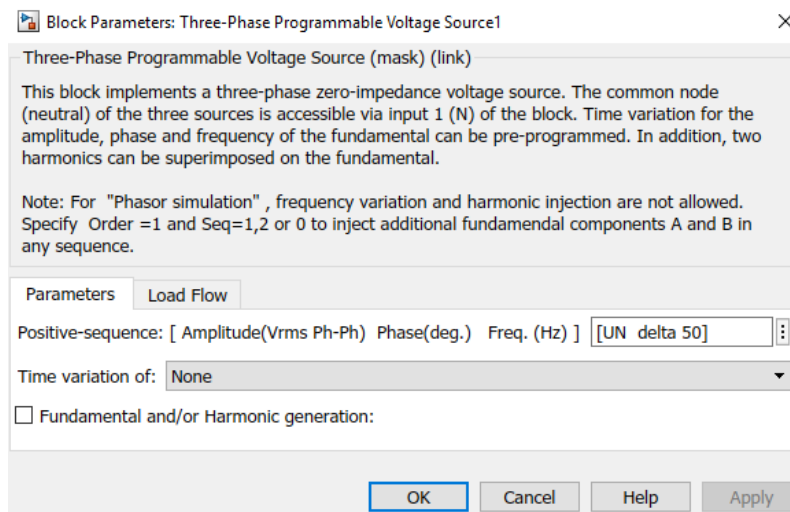
Jarraian, linearen simulazioan erabilitako bloke eta parametroen balioak adieraziko dira:



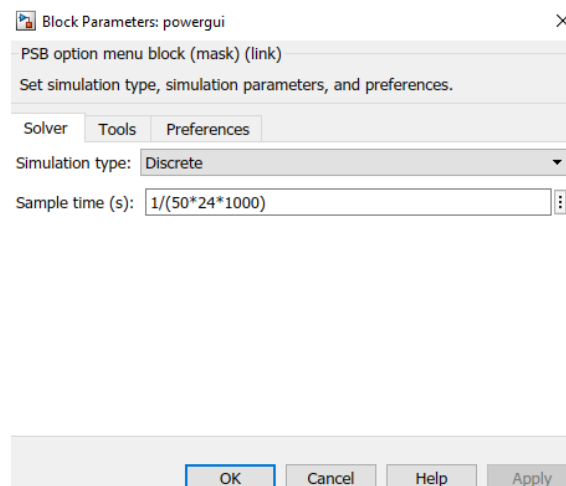
12.1 Irudia: Falta sortzailea.



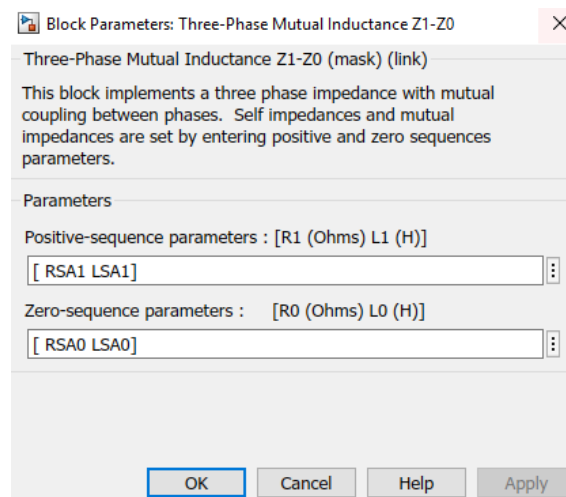
12.2 Irudia: Iturri trifasikoa.



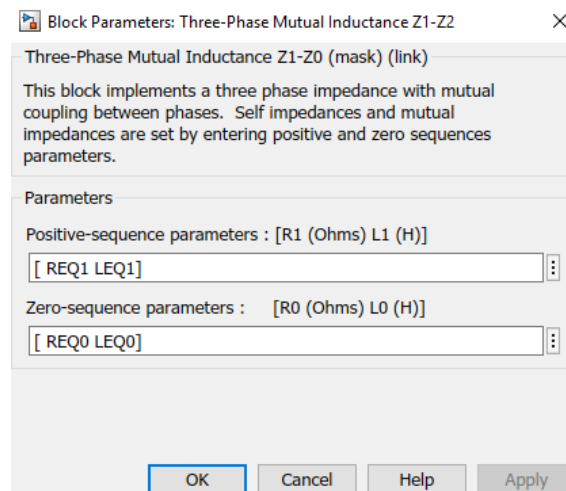
12.3 Irudia: Iturri trifasikoa 2.



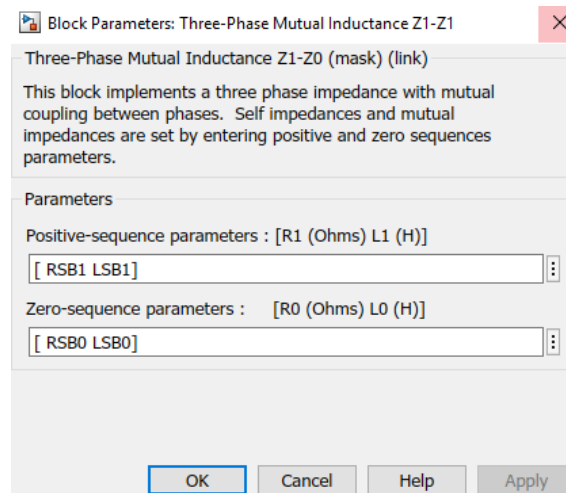
12.4 Irudia: Lagin sortzailea.



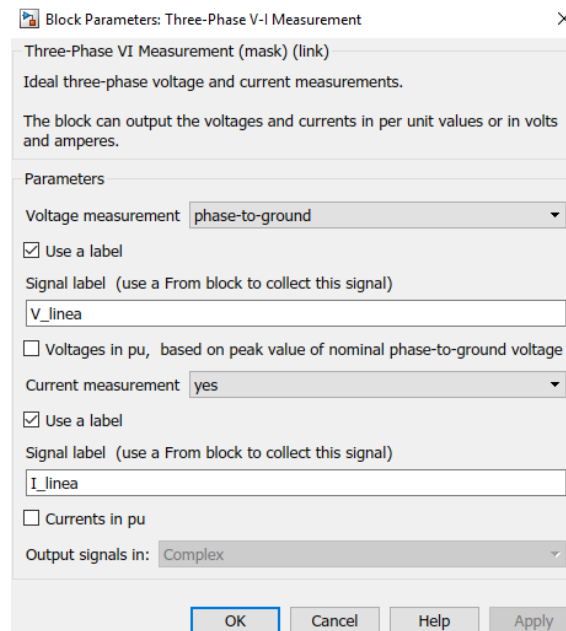
12.5 Irudia: Lineako inpedantzia 1.



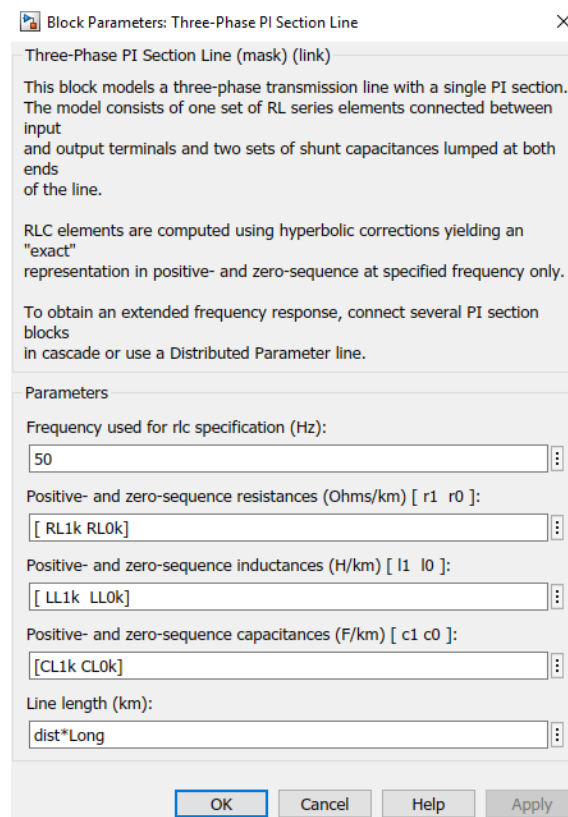
12.6 Irudia: Lineako inpedantzia 2.



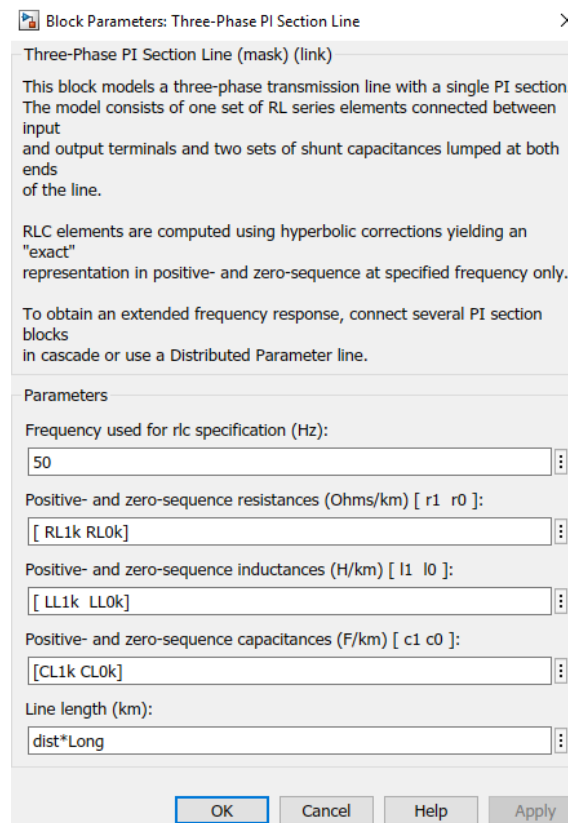
12.7 Irudia: Lineako inpedantzia 3.



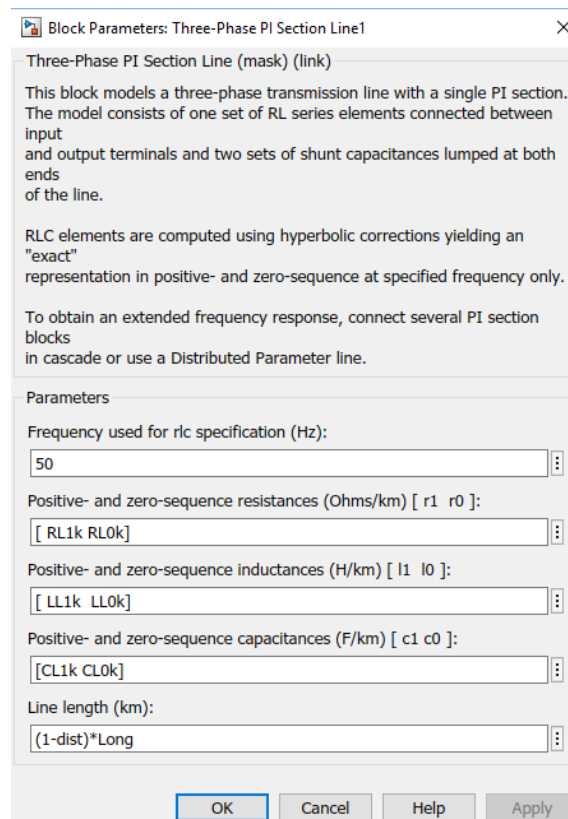
12.8 Irudia: Lineako intentsitate eta tentsioak lortzeko gailua.



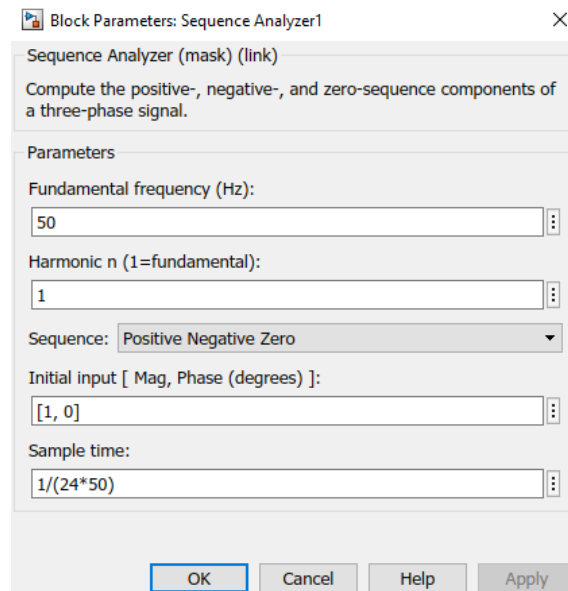
12.9 Irudia: Lurrerako erresistentziak.



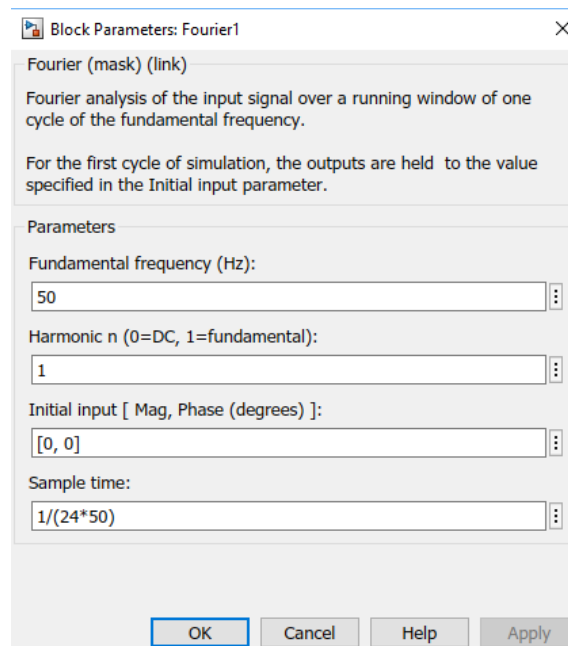
12.10 Irudia: Lineako PI erdua 1.



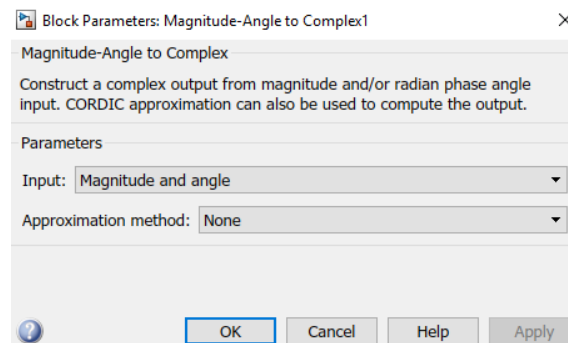
12.11 Irudia: Lineako PI erdua 2.



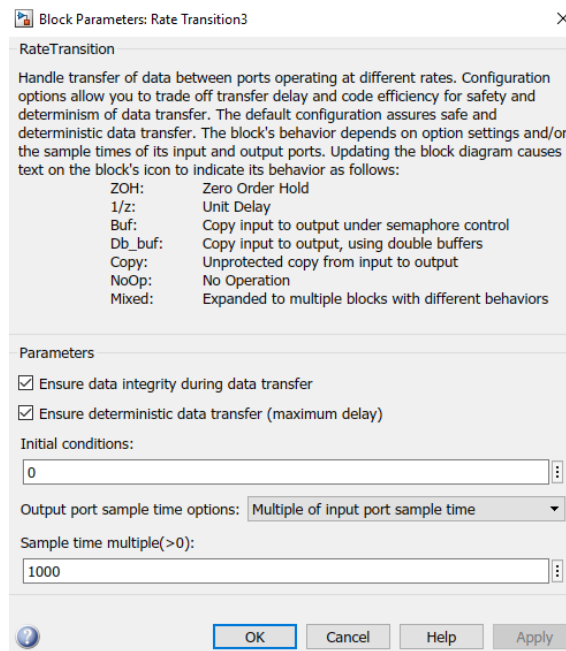
12.12 Irudia: Sequence analyzer blokea.



12.13 Irudia: Lineako intentsitateak lortzeko subsistema.



12.14 Irudia: Modulua eta angelua batzeko blokea.



12.15 Irudia: ZOH-ren parametroak.