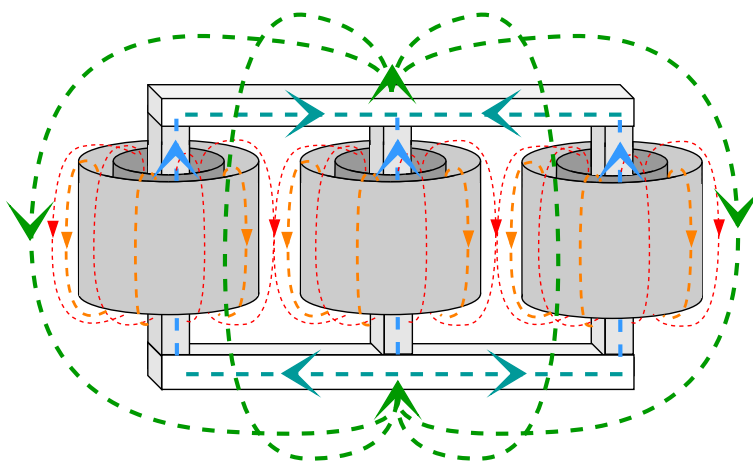


INDUSTRIA INGENIARITZAKO UNIBERTSITATE MASTERRA

MASTER AMAIERAKOLANA

Hiru zutabeko transformadore baten modelizazio xehatua saiakuntza esperimentalen bidez



Ikaslea: Garcia Romera, Unai

Zuzendaria: Planas Fullaondo, Estefanía

Ikasturtea: 2023-2024

Data: Bilbon, 2024ko Ekainaren 6an

Laburpen hirueleduna

Izenburua: Hiru zutabeko transformadore baten modelizazio xehatua saiakuntza esperimentalen bidez

Laburpena: Master Amaierako Lan (MAL) honek hiru zutabeko transformadore baten modelizazio xehatua garatzen du saiakuntza esperimentalen bidez. Helburua plataforma esperimental bateko transformadore baten eredu digitala sortzea eta ezaugarritzea da. Proiektuan ereduaren garapena, saiakuntzetan oinarritutako emaitzen azterketa eta balidazioa barneratzen dira. Lan honek, transformadorearen portaera ulertzea eta banaketa-sareetan aplikazio berriak garatzea bilatzen du.

Gako-hitzak: Potentzia-transformadorea, inpedantzia homopolarra, saiakuntzak, simulazioa.

Título: Modelización detallada de un transformador de tres columnas mediante ensayos experimentales

Resumen: Este Trabajo de Fin de Máster desarrolla una modelización detallada de un transformador de tres columnas a través de pruebas experimentales. El objetivo es crear y caracterizar un modelo digital de un transformador en una plataforma experimental. El proyecto incluye el desarrollo, análisis de los resultados basados en ensayos y validación del modelo. Este trabajo busca comprender el comportamiento del transformador y desarrollar nuevas aplicaciones en redes de distribución.

Palabras clave: Transformador de potencia, inpedancia homopolar, ensayos, simulación.

Title: Detailed modeling of a three-column transformer through experimental tests

Abstract: This Master's Final Project develops a detailed model of a three-column transformer through experimental testing. The goal is to create and characterize a digital model of a transformer on an experimental platform. The project includes the development, analysis of the model's results based on tests and validation. This work aims to understand transformer performance and develop new applications in distribution grids.

Key words: Power transformer, zero sequence impedance, tests, simulation.

Aurkibidea

Lapurpen hirueleduna	I
Akronimoen zerrenda	VI
Notazioa	VII
Taulen zerrenda	X
Irudien zerrenda	XI
Grafikoen zerrenda	XIII
1 Memoria	1
1.1 Sarrera	1
1.2 Testuingurua	2
1.2.1 Global Smart Grids Innovation Hub	2
1.2.2 APERT	3
1.2.3 Flexible Power Link	3
1.2.4 Plataforma esperimentalak	5
1.2.5 Funtzionamendua akats egoeran	6
1.3 Helburuak eta irismena	7
1.3.1 Helburuak	7
1.3.2 Garapen Jasangarriko Helburuak	8
1.3.3 Irismena	9
1.4 Proiektuaren onurak	10
1.4.1 Onura teknikoak	10
1.4.2 Onura sozialak	10
1.4.3 Onura ekonomikoak	11
1.5 Artearen egoera	12
1.5.1 Transformadorea	12
1.5.2 Harmonikoen eragina	13

1.5.3	Tentsio desoreken eragina	14
1.5.4	Nukleo-egiturak	16
1.5.5	Konexio mota	20
2	Metodologia	22
2.1	Aukeren analisia	22
2.1.1	Transformadorea	22
2.1.2	Simulazio-programak	23
2.1.3	Transformadorea ezaugarritzeko metodoa	25
2.2	Proposatutako irtenbidearen aukeraketa	27
2.2.1	Transformadorearen eredu elektrikoa	27
2.2.2	Induktantzia ez-linealak modelizatzeko azpisistema	35
2.2.3	Transformadorea parametrizatzeko saiakuntzak: Oinarri teorikoak	36
2.2.4	Transformadorea parametrizatzeko saiakuntzak: Hardwarea	46
2.2.5	Transformadorea parametrizatzeko saiakuntzak: Emitza esperimentalak	48
2.2.6	Transformadorearen ereduaren balidazioa	60
2.3	Planifikazioa	69
2.4	Gantt-en diagrama	72
3	Alderdi ekonomikoak	73
3.1	Barne orduak	73
3.2	Amortizazioak	74
3.3	Gastuak	75
3.4	Kostu totala	75
4	Ondorioak	76
4.1	Etorkizuneko lan-ildoak	77
	Bibliografia	78
	I. Eranskina	81
	II. Eranskina	92

III. Eranskina

94

Akronimoen zerrenda

AC Korrante Alterno.

Aenor Asociación Española de Certificación y Normalización.

APERT Applied Electronics Research Team.

ATP Alternative Transients Program.

DC Korrante Zuzen.

EMTP Electromagnetic Transients Program.

FPL Flexible Power Link.

GJH Garapen Jasagarriko Helburuak.

GSGIH Global Smart Grid Innovation Hub.

GST Grounded Specimen Test.

GSTg Grounded Specimen Test with guard.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

MAL Master Amaierako Lan.

UPV/EHU Euskal Herriko Unibertsitatea.

UST Ungrounded Specimen Test.

Notazioa

- \mathcal{F}_{prim_A} A faseko harilkatu primarioaren indar magnetoeragilea.
- \mathcal{F}_{prim_B} B faseko harilkatu primarioaren indar magnetoeragilea.
- \mathcal{F}_{prim_C} C faseko harilkatu primarioaren indar magnetoeragilea.
- \mathcal{F}_{sek_A} A faseko harilkatu sekundarioaren indar magnetoeragilea.
- \mathcal{F}_{sek_B} B faseko harilkatu sekundarioaren indar magnetoeragilea.
- \mathcal{F}_{sek_C} C faseko harilkatu sekundarioaren indar magnetoeragilea.
- μ Iragazkortasun magnetikoa.
- ϕ_0 Fluxu magnetiko homopolarra.
- ϕ_1 Zutabe eta barneko harilkatuen arteko fluxu magnetikoa.
- ϕ_{ihes} Barne eta kanpoko harilkatuen arteko fluxu magnetikoa.
- ϕ_y Uztarri bakoitza zeharkatzen duen fluxu magnetikoa.
- ϕ_z Zutabe bakoitza zeharkatzen duen fluxu magnetikoa.
- \mathfrak{R}_0 Fluxu homopolar magnetikoaren erreluktantzia.
- \mathfrak{R}_1 Zutabe eta barneko harilkatuen arteko fluxu magnetikoaren erreluktantzia.
- \mathfrak{R}_{ihes} Ihes-fluxu magnetikoaren erreluktantzia.
- \mathfrak{R}_y Harilkaturik gabeko nukleo zati horizontaleko (uztarriko) erreluktantzia.
- \mathfrak{R}_z Zutabe bakoitzeko erreluktantzia.
- B Eremu magnetikoa.
- e Indar elektroeragilea.
- I Korrontea.

- i Karga indizea.
- L Luzera.
- L_0 Induktantzia homopolarra.
- L_{1A} A faseko zutabe eta barneko harilkatuen arteko induktantzia.
- L_{1B} B faseko zutabe eta barneko harilkatuen arteko induktantzia.
- L_{1C} C faseko zutabe eta barneko harilkatuen arteko induktantzia.
- L_{ihesA} A faseko barne eta kanpoko harilkatuen arteko induktantzia.
- L_{ihesB} B faseko barne eta kanpoko harilkatuen arteko induktantzia.
- L_{ihesC} C faseko barne eta kanpoko harilkatuen arteko induktantzia.
- L_m Magnetizazio induktantzia.
- L_y Harilkaturik gabeko nukleo zati horizontalaren (uztarriaren) induktantzia.
- N Espira kopurua.
- R_0 Erresistentzia homopolarra.
- R_m Magnetizazio erresistentzia.
- R_{primA} A faseko harilkatu primarioaren erresistentzia.
- R_{primB} B faseko harilkatu primarioaren erresistentzia.
- R_{primC} C faseko harilkatu primarioaren erresistentzia.
- R_{sekA} A faseko harilkatu sekundarioaren erresistentzia.
- R_{sekB} B faseko harilkatu sekundarioaren erresistentzia.
- R_{sekC} C faseko harilkatu sekundarioaren erresistentzia.
- R_y Harilkaturik gabeko nukleo zati horizontalaren (uztarriaren) erresistentzia.
- R_Z Zutabe bakoitzaren erresistentzia.
- S Sekzioa.

U_{AB} A eta B faseen arteko tentsio konposatua.

U_{BC} B eta C faseen arteko tentsio konposatua.

U_{CA} C eta A faseen arteko tentsio konposatua.

V_A A faseko tentsio sinplea.

V_B B faseko tentsio sinplea.

V_C C faseko tentsio sinplea.

V_n Neutroaren tentsio desplazamendua (Tentsio homopolarra).

Taulen Zerrenda

1.1	Transformadoreen konexio motak.	21
2.1	Transformadorearen geometria alternatibak.	23
2.2	Transformadorea ezaugarritzeko metodoen alternatibak.	26
2.3	Transformazio duala.	30
2.4	Transformadorearen inpedantzia baliokideak lortzeko saiakuntzak	36
2.5	Transformadorearen kapazitantzia baliokideak lortzeko multi-testa	45
2.6	Transformadorearen kapazitantzia baliokideak lortzeko saiakuntzak	45
2.7	Zirkuitulaburreko saiakuntzetatik lortutako parametroen balioak.	50
2.8	Osagai homopolarren doitutako parametroak.	53
2.9	Nukleoko erresistentzien doitutako parametroak.	59
2.10	Nukleoko erreaktantzien kurba karakteristikoen parametroak.	59
3.1	Barne orduak.	73
3.2	Amortizazioak.	74
3.3	Gastuak.	75
3.4	Kostu totala.	75

Irudien Zerrenda

1.1	APERT eta GSGIH-en logotipoak.	2
1.2	FPL-aren eskema orokorra.	4
1.3	Plataforma experimentalaren argazkia.	5
1.4	Tentsio-desoreka akats monofasikoarekin.	6
1.5	Fortescueren teorema.	15
1.6	Hiru transformadore monofasikoko transformadore trifasikoa.	17
1.7	Hiru zutabeko transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.	17
1.8	Bost zutabeko transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.	18
1.9	Lau zutabeko transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.	19
1.10	<i>Shell</i> motako transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.	19
1.11	Konexio motak.	21
2.1	Proposatutako irtenbidea.	27
2.2	Transformadorearen eredu monofasiko sinplifikatua.	28
2.3	Hiru zutabeko transformadorearen fluxu magnetikoak.	29
2.4	Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu magnetiko baliokidea.	30
2.5	Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu magnetiko baliokidea nodo eta maiekin.	31
2.6	Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu elektriko dual ideala.	31
2.7	Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu elektriko duala.	32
2.8	Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu elektriko dual osoa.	33
2.9	MAL-ean erabiliko den transformadorearen zirkuitu elektriko baliokidea.	34
2.10	Induktantzia ez linealaren azpisistema.	35
2.11	A faseko zirkuitulaburreko saiakuntzaren diagrama.	37
2.12	Zero-sekuentziako saiakuntzaren diagrama.	38
2.13	Zutabeko inpedantzia lortzeko saiakuntza.	40
2.14	Uztarriko inpedantzia lortzeko saiakuntza.	41
2.15	Hutseko saiakuntzako zirkuitu sinplifikatua.	42
2.16	Hutseko saiakuntzaren diagrama.	43

2.17 CINERGIA GE & EL+15 vAC/DC.	47
2.18 Tecno-traforen TT 10 KVA TRAF0 III IP-23.	47
2.19 YOKOGAWA DL850EV Osziloskopioa.	48
2.20 Zirkuitulaburreko saiakuntza egiteko montaketa.	48
2.21 Zero-sekuentziako saiakuntza egiteko montaketa.	51
2.22 Hutseko saiakuntzak egiteko montaketak.	54
2.23 Hutseko saiakuntzetan osziloskopioak neurtutako uhinak.	54
2.24 Hutseko saiakuntzeetako uhinen Fourier transformatua.	55
2.25 Zero-sekuentziako saiakuntza 21,87 V-eko elikadurarekin.	60
2.26 A faseko zirkuitulaburreko saiakuntzaren simulazioa.	60
2.27 Zero-sekuentziako saiakuntzaren simulazioa.	62
2.28 Zamatutako transformadorearen simulazioa.	63
2.29 Zamatutako transformadorearen saiakuntza egiteko montaketa.	66
2.30 MAL-aren Gantt diagrama.	72

Grafikoen zerrenda

2.1	Harilkatuetako erresistentziak (R_{prim} eta R_{sek}).	49
2.2	Ihes induktantziak (L_{ihes}).	50
2.3	Erresistentzia homopolarra (R_0).	52
2.4	Induktantzia homopolarra (L_0).	53
2.5	Zutabeko erresistentzia (R_z).	56
2.6	Zutabeko induktantzia (L_z).	57
2.7	Uztarriko erresistentzia (R_y).	58
2.8	Uztarriko induktantzia (L_y).	59
2.9	Zirkuitulaburreko saiakuntzaren simulazio-emaitzak.	61
2.10	Zero-sekuentziako saiakuntzaren simulazio-emaitzak.	62
2.11	Tentsio orekatuekin elikatutako transformadorearen simulazio-emaitzak.	63
2.12	Tentsio desorekatuekin elikatutako transformadorearen simulazio-emaitzak.	64
2.13	1 V-eko desorekarekin elikatutako transformadorearen simulazio-emaitzak.	65
2.14	Tentsio orekatuekin elikatutako transformadorearen saiakuntza-emaitzak.	66
2.15	Tentsio orekatuekin elikatutako transformadorearen simulazio eta saiakuntza-emaitzak.	67
2.16	Tentsio desorekatuekin elikatutako transformadorearen saiakuntza-emaitzak.	68

Memoria

1.1 Sarrera

Hiru zutabeko transformadore baten modelizazio xehatua saiakuntza esperimentalen bidez izeneko Master Amaierako Lan (MAL) honek plataforma esperimental bateko transformadore baten eredu digitala garatzea eta ezaugarritzea du helburu. Eredua garatu eta balidatzeko metodo esperimentalak erabiliko dira, garatutako ereduaren funtzionamendua bermatuz.

Dokumentua lau atal nagusitan dago banatuta: Memoria, Metodologia, Alderdi ekonomikoak eta Ondorioak. Lehenengoan, proiektuaren testuinguru orokorra azalduko da, ostean MAL-aren helburu eta irismena definituko dira, honek dakartzan onurekin jarraitzeko. Behin lanaren testuinguru orokorra azalduta, teknologien artearen egoera aztertuko da.

Metodologiako atalean, artearen egoeran ikusitako alternatiba ezberdinen analisia gauzatuko da eta aukeraketa egin ostean, proposatutako irtenbidea aurkeztuko da. Bertan ereduaren garapena ikusiko da eta eredu digitalaren parametroak lortzeko egin beharrezko saiakuntzak ere azalduko dira. Honekin batera lortutako emaitzak aztertu eta balidatu egingo dira saiakuntzen eta simulazioen bidez. Metodologiarekin bukatzeko, lana garatzeko egin beharrezkoen deskribapena dokumentatu da. Ondoren proiektuari lotutako alderdi ekonomikoak aipatu dira, kostu ezberdinen desglosea eginez. Bukatzeko lan honetatik ateratako ondorioak azaldu dira, etorkizuneko lan-ildo ezberdinak proposatuz.

1.2 Testuingurua

Dokumentu honetan, *Global Smart Grid Innovation Hub* (GSGIH) eta Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) *Applied Electronics Research Team* (APERT), elektronikan oinarritutako ikerkuntza taldearen arteko elkarlanetik sortutako proiektu baten oinarritzen den MAL aurkezten da.

GSGIH-ak Potentzia-Elektronika bidez Kontrolatutako Sarea izenpean aurkeztu zuen proiektua, dagoeneko existitzen diren sareen ustiapena eta kapazitatea optimizatzeko asmoz, beti ere potentzia-elektronikak eskaintzen dituen erremintez baliatuz.

Proiektuaren helburua, hain zuzen ere, *Flexible Power Link* (FPL) bat garatzea da, honek dituen gailu eta osagai guztien diseinua eta saiakuntzak eginez. Proiektuan behar izango diren gailuak aztertzeko eta probak egin ahal izateko, behe tentsioko plataforma esperimental bat eraiki da. Dokumentu hau plataforma esperimentalean dagoen transformadorearen azterketara bideratu da.



1.1 Irudia: APERT eta GSGIH-en logotipoak.

1.2.1 Global Smart Grids Innovation Hub

Lankidetzaren publiko-pribatuko gunea da, Bilbon kokatua, sare elektriko adimendunetan berrikuntza eta I+G+b bizkortzeko helburuarekin sortua. Honen eragile nagusia Iberdrola taldea da Bizkaiko Foru Aldundiarekin batera, baina 2021 urtean proiektuari hasiera eman zitzaienetik dagoeneko ehunka talderekin elkarlanean aritzen dira; enpresa, *start-up* eta unibertsitate [1].

Ekimenak 200 profesional baino gehiagoren potentzial berritzailea biltzen du etorkizuneko sare elektrikoaren erronkekin lotutako I+G+b proiektuen garapenean. Proiektu hauen helburu nagusiak digitalizazioa, datuen tratamendua eta sare elektrikoak

kontsumo-eredu berriei (mugikortasun elektrikoari eta autokontsumoari besteak beste) sendotasuna eta malgutasuna ematen dien erantzunak bilatzea dira.

1.2.2 APERT

Bilboko Ingeniaritza Eskolako Elektronikan Oinarritutako Ikerketa Taldea da APERT. Eskolako teknologia elektronikoko eta ingeniaritza elektrikoko irakasle eta ikertzaileek osatzen dute taldea, bi ikerkuntza-ildo nagusitan banatuta:

- **Zirkuitu birkonfiguragarriak eta Systems On-chip**

Ikerketa-lerro honetan ahalmen handiko FPGAak erabiltzen dira sistema digitalak zirkuitu integratu bakar batean integratzeko eta gailu horiek birkonfiguratzeko duten gaitasuna aprobeitzatzeko.

Taldea hainbat gai ikertzen ari da, hala nola; sintesirako diseinua, *core*-ak elkarrekin lotzeko arkitekturak eta akatsekiko tolerantzia teknikak.

- **Energia-bihurgailuetarako potentzia- eta kontrol-zirkuituak**

Ikerketa-lerro honetan, energia elektrikoa sortzeko, eraldatzeko, garraiatzeko eta biltegitratzeko erabiltzen diren potentzia-sistema elektronikoen portaera aztertu eta diseinatu egiten da.

Talde honek urte askotan zehar erabili izan diren bihurgailuen alternatiba aurreratuak aztertzen ditu.

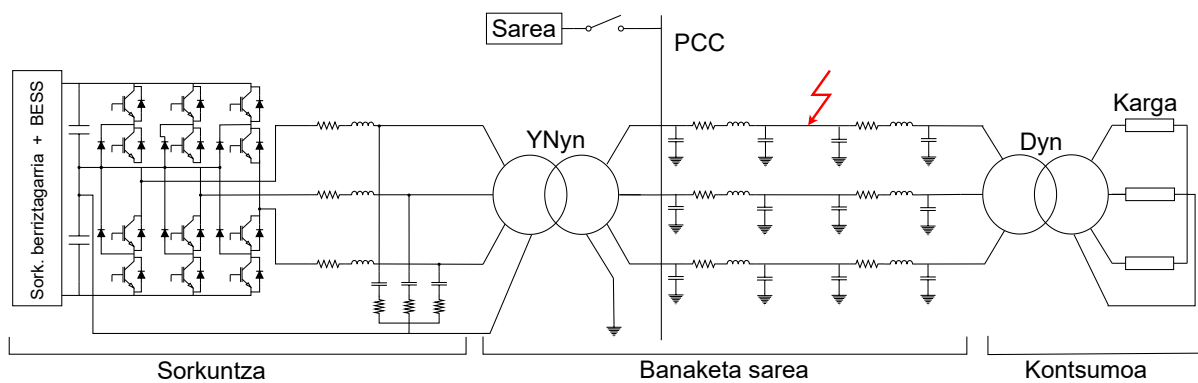
MAL hau bigarren ikerketa-lerroan dago kokatuta, energia-bihurgailuetarako potentzia eta kontrol zirkuituen lerroan.

1.2.3 Flexible Power Link

Sistema elektrikoen malgutasuna sorkuntza zentralen esku egon da tradizionalki, eskariak egindako aldaketei moldatzera beharturik. Izan ere, beharrezkoa da sorkuntza eta eskariaren arteko egokitzea sistemaren maiztasuna eta tentsioak konstante mantentzeko. Hala ere, sistema elektrikoak aldaketa handia pairatzen ari da azkeneko urteetan, aldizka funtzionatzen duten eta sisteman zehar sakabanututa dauden energia berriztagarri zentral berriak gehituz [2].

Egoera berri honek malgutasun-mekanismo berriak dakartza, eta hauekin batera sistemarentzat onuragarriak diren zenbait egoera, hala nola: kontsumitzaileek energiagatik ordaindutako prezioen murrizpena, karbono dioxido isurien txikitzea (sorkuntza berriagarriaren txertaketari esker) eta hornikuntzaren kalitate eta segurtasun maila hobek. Hauengatik guztiengatik, anitzak dira gaur egun sistema elektrikoan txertatutako malgutasun-mekanismoak: Tentsioaren kontrolagailuak, kongestioen arintzea, orekatze sistemak, irla moduan funtzionatzeko sistemak, eta abar [3].

Testuinguru honetan garatu da MAL honetan aipatutako FPL-a (1.2 irudia), potentzia-elektronikako bihurgailu bat. Gailua *back to back* bihurgailu bat da Korrante Alterno (AC) bi etapa ezberdinekin Korrante Zuzen (DC) bus batez lotua.



1.2 Irudia: FPL-aren eskema orokorra.

FPL honek potentzia aktiboaren kontrola ahalbidetzen du bi noranzkoetan, gailuaren alde batetik bestera, eta baita potentzia errektiboaren sorkuntza-kontsumo independentearen kontrola gailuaren alde bakoitzean. Honi esker, banaketa-sareko area ezberdinak konektatu daitezke, beste era batera ezinezkoa litzatekeena AC sistemetan. Beraz, FPL-arekin sistemaren malgutasuna handitu egiten da potentzia-fluxuei norabiderik aproposena ezarriz une oro [4].

Aurreko abantailez gain, funtzionatzeko era desberdinak ahalbidetzen ditu bihurgailuak, bai korrante-iturri, zein tentsio-iturri gisa. Banaketa-sarean arazorik ez badago FPL-a korrante-iturri gisa egingo du lan, lotzen dituen zona ezberdinen arteko potentzia trukatzea kontrolatuz.

Sare elektrikoan kontingentziaren bat gertatzen denean aldiz, sistemak akats bat jasaten duenean adibidez, babesgailuek matxura isolatu ostean FPL-ak matxuratutako zona elikatuko du. Bihurgailua hortaz, saretik deskonektatu beharko da eta tentsio-iturri moduan funtzionatzen hasi, akatsa deuseztatu eta hornikuntza mantenduz dokumentuan aurrerago azalduko den bezala.

FPL-a beraz, oso gailu baliagarria izan daiteke malgutasuna behar den gunetan; sarearen puntu ahuletan edo akatsak oso ohikoak diren sareko konexio puntuetan, non horniketa-sistema osagarriak behar diren.

1.2.4 Plataforma experimentalala

Proiektuan egindako aurrera pausoak konprobatu eta balidatzeko asmoz plataforma experimental bat prestatu da unibertsitatean (1.3 irudia).

Bertan FPL-an egongo diren osagaiak daude, behe tentsiora egokituak; bihurgailua, harmoniko iragazkia, transformadorea, π linea baliokidea eta karga erresistiboak. Hauetaz gain, froga ezberdinak egin ahal izateko tentsio-iturri programagarri bat ere badago.

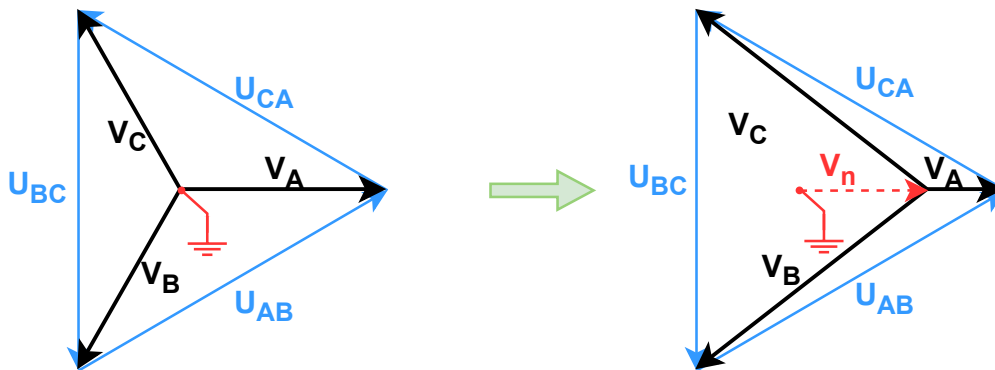


1.3 Irudia: Plataforma experimentalaren argazkia.

1.2.5 Funtzionamendua akats egoeran

Proiektuaren oinarritzko ideia, akats monofasiko egoerako funtzionamendua da, hauek baitira sarean aurkitu daitezkeen akatsik ohikoenak [5]. Sistemari mota honetako akats bat detektatzen denean FPL-ak hornidura mantentzeko estrategia bat jarraituko du.

Akatsa duen faseko tentsioa txikitu egingo da (idealki 0 V-era helduz) eta gainerako faseen tentsioa aldiz handitu egingo da. Horretarako, tentsio homopolarra injektatuko da neutroan, neutroaren erreferentzia tentsioa mugituz (1.4 irudia), beti ere tentsio konposatuak orekan mantenduta.



1.4 Irudia: Tentsio-desoreka akats monofasikoarekin.

Estrategia hau aplikatuta, akatseko korrontea txikitu egingo da (akatseko fase eta neutro arteko tentsioa minimizatuz), eta tentsio konposatuen triangelua konstante mantenduko da. Hortaz, hornikuntza aurretik Dyn motako transformadore bat erabilita, hornikuntzak ez luke akatsa nabarituko. Elikadura beraz bermatuta egongo litzateke sistemak akats monofasiko bat pairatzen duen bitartean.

1.3 Helburuak eta irismena

Atal honetan proiektu honen garapenak dituen helburuak azalduko dira, baita proiektuarekin lotuta dauden Garapen Jasangarriko Helburuak (GJH) aipatu ere. Horiekin batera, proiektuaren irismena definituko da.

1.3.1 Helburuak

MAL honen helburu nagusia **unibertsitateko plataforma esperimentalean dagoen transformadorearen eredu digital xehatua lortzea** da, gailuaren portaera ondo aurreikusiko duena.

Helburu nagusia lortzeko, jarraian azaltzen diren azpihelburuak proposatu dira:

- **Transformadorearen zero-sekuentziako inpedantzia definitzeko metodologia garatu.** Transformadorearen efektu elektromagnetiko gehienak ezaugarritzeko beharrezkoak diren saiakuntzak oso ezagunak izaten dira, inpedantzia homopolarra berriz, ez da horren ezaugarri ohikoa. Proiektuan ezinbestekoa da zero-sekuentziako inpedantzia ondo ezaugarritzen jakitea eta beste transformadore batzuei aplikagarria izan daitekeen metodologia on bat bilatzea.
- **Ikerkuntza-lanetan jarraitu beharreko pausoak eta metodologian sakontzea.** Industria mundua produktuetara dago zuzenduta gehienetan, eta ikerkuntzan berriz, jakintza eta berrikuntza bilatzen dira. Honek lan egiteko era ere ezberdina izatea dakar.
- **Laborategian saiakuntzak egiten trebatu eta bertako material eta tresneria erabiltzen ikasi.** Ikasketa urteetan zehar oinarri teoriko sendoak lortzen badira ere, laborategi lanetan gabeziak nabariak dira. Proiektua aukera ezin hobea da gaitasun hauek garatzeko.
- **MATLAB eta Simulink tresnak erabiltzen ohitu.** Dagoeneko ikasketetan tresna hauek erabiltzen ikasi den arren, hauekin trebetasuna lortzea ezinbestekoa da simulazio, kalkulu zein datuen azterketarako.

1.3.2 Garapen Jasangarriko Helburuak

Nazio Batuen Erakundeak 2015 urtean hartu zituen bere gain 17 GJH-ak. Hauen xede nagusiak mundu mailan pobrezia-rekin bukatzea, planeta zaintzea eta 2030 urterako munduko pertsona guztiek bakean eta oparotasunez biziko zirela bermatzea direlarik [6].

Hauekin batera UPV/EHU-k hizkuntza eta kultura aniztasunarekiko konpromisoa gehitu du 17+1 edo 18 GJH-aren bidez [7]. Helburu honekin euskararen presentzia bermatu nahi da unibertsitateko gradu eta gradu-ondokoetan, euskarazko klaseak eskainiz eta hizkuntza honetan egindako lan akademikoak sustatuz.

Proiektu honek, ondoren azaltzen diren GJH-ak betetzen laguntzen du:

- **7. GJH: Energia irisgarria eta ez-kutsatzailea**

Proiektuak bat egiten du 7. GJH-arekin, izan ere, garatzen ari den FPL-ak bezeroen hornikuntza kalitatea eta fidagarritasuna hobetzea du helburu. Gainera, banaketa-sarean energia sorgailu berriztagarriak txertatzea ere errazten du, energia-iturri ez-kutsakorak sustatuz.

- **11. GJH: Hiri eta komunitate jasangarriak**

MAL honetan azaltzen den proiektua lotura ere badu 11. GJH-arekin, *smart grid*-ak ezinbesteko bilakatu baitira hiriak jasangarriagoak bilakatzeko. Aurkeztutako garapenari esker, energiaren kudeaketa hobea lortu daiteke, energia berriztagarriak txertatzea ahalbidetuz, eta beraz, hiriek duten karbono aztarna txikituz.

- **18. GJH: Hizkuntza eta kultura aniztasuna**

MAL-a 18. GJH-arekin bat egiten du, dokumentua bere osotasunean euskaraz idatzita baitago. Hizkuntza hau erabiltzea erabaki izanak unibertsitatearen hizkuntza aniztasuna indartzen du, gradu ondoko lanetan euskararen presentzia bermatuz.

1.3.3 Irismena

Proiektua aurrera joan ahala, honen irismenaren edukia ere zehaztuz joan da, proiektua bukatzerakoan ondorengo puntuak barneratzen dituelarik:

- GSGIH-ak luzatutako banaketa-sarearen ereduaren eta bertan dagoen transformadorearen beharrianak aztertu.
- Transformadore trifasikoen konexio mota eta geometria ezberdinen artearen egoera aztertu.
- Hiru zutabeko transformadore ereduaren topologia garatu. Saturazio-fenomenoa eta galerak modelizatuko dira, histeresi-zikloa eta efektu kapazitiboak berriz ez dira kontuan hartuko.
- Eredua parametrizatu ahal izateko plataforma esperimentaleko transformadoreari beharrezko saiakuntzak gauzatu.
- Transformadorearen eredu digitalaren balidazioa, simulazio ezberdinen bidez.

1.4 Proiektuaren onurak

Transformadorearen eredu digital baten garapenak hainbat onura eskaintzen ditu, alor tekniko, ekonomiko eta sozialak barne hartuta. Eredu honek transformadorearen analisi zehatz eta sakonagoa egitea ahalbidetzen du, diseinuaren eta mantentze-lanen optimizazioa erraztuz, kostuen murrizketan eta eraginkortasun operatiboaren hobekuntzan lagunduz. Gainera, bere ezarpenak eragin positiboa du jasangarritasunaren bidean.

Jarraian, arlo horietako onura espezifikokoak zehazten dira. Aipagarria da, MAL-aren onurak GSGIH-ak proposatutako proiektuaren onurekin daudela lotuta.

1.4.1 Onura teknikoak

- **Banaketa sarearen ustiapenaren optimizazioa.**

GSGIH-ak proposatutako bihurtgailuari esker, FPL-a zeharkatzen duten potentzia-fluxuak moldatu ahal izango dira sareen operazio puntua optimizatzuz.

- **Hornikuntza-etenaldiak gutxitzea.**

Proiektuan azaldutako akats-egoerak funtzionamendua aplikatuta, hornikuntza bermatu egiten da akats monofasikoak gertatzen direnean ere.

- **Zehaztasun handiko simulazioak.**

Modelizazio xehatuari esker zehaztasun handiko simulazioak egin daitezke, transformadorea elikatzen duten tentsioak desorekatuak badira ere.

- **Transformadorearen diseinu eta mantentze-lanen optimizazioa.**

Gailuaren eredu zehatzagoa izateak honen portaera hobeto aurreikusiko du, transformadoreari hobekuntzak bilatzen lagunduz.

1.4.2 Onura sozialak

- **Hornikuntza-etenak murriztea.**

Onura teknikoetan azaldu den bezala, proiektu honen garapenari esker, kontsumitzaileek pairatzen dituzten hornikuntzak-etenak gutxitu daitezke, zerbitzuaren kalitatea hobetuz.

- **Karbono aztarna txikitzea.**

Sistema optimizatzen duten gailuak erabilia, energia elektrikoaren sektoreak duen karbono aztarna txikitu egiten da, GJH-ekin bat eginez.

1.4.3 Onura ekonomikoak

- **Gastu operazionalak txikitzea.**

Akats monofasikoak daudenean hornikuntzarekin jarraitu eta akatsa ezabatzeko gai den sistema bat erabiltzeak, fenomeno hauei lotuta doazen gastuak murriztea ahalbidetzen du.

- **Banaketa-sarearen optimizazioa.**

Proiektuan proposatzen den FPL-ari esker sare elektrikoaren funtzionamendua optimizatuko da, honek dituen gastuak txikituz.

- **Transformadorearen bizitza erabilgarria luzatzea.**

Eredu xehatuari esker, desoreka ezberdinekiko transformadoreak izango duen portaera aurreikusi daiteke eta gailuarentzat kaltegarriak izan daitezkeen egoerak saihestu.

1.5 Artearen egoera

Dokumentuaren atal honetan, potentzia-transformadoreen artearen egoera aztertu da. Konexio mota desberdinen propietateak sailkatuko dira, eta gaur egun erabiltzen diren transformadoreen teknologia eta topologia ezberdinak aztertu dira, makinak eskaintzen dituen aldaera ezberdinak landuz.

1.5.1 Transformadorea

Transformadoreak potentziako AC zirkuitu elektrikoaren tentsio maila aldatzeko erabiltzen dira normalean, baina badituzte beste abantaila eta erabilera batzuk. Izan ere, zirkuitu elektrikoak isolatu egiten dituzte, hau da, primario eta sekundarioaren arteko lotura fisikoa desagertarazten dute.

Honetaz gain, transformadoreen harilkatuek iragazi lana ere egiten dute harmonikoei dagokienez. Primario eta sekundarioaren arteko tentsioak desfasatzeko ere erabili daitezke gailua, edota sekuentzia simetrikoen analisia egiterakoan, zero-sekuentziako tentsioaren bidea kentzeko ere erabili daitezke.

Transformadoreek dituzten aldaera eta konfigurazioak ondo ulertzeko ezinbestekoa da makinaren oinarriko printzipioak ondo ulertzea. Transformadoreek 2 osagai nagusi dituzte; nukleoa eta harilkatuak. Lehenengoa burdinez egiten da eroale ferromagnetiko bikaina baita eta bigarrena kobrez, oso eroale elektriko aproposa izateagatik. Gailuaren funtzionamendu orokorra, bi lege fisikoren bidez azaldu daitezke:

Solenoida batetik korrontea igarotzen denean bere barnean eremu magnetiko bat eratzen da **Amperen legearen arabera**. Eremu magnetikoa korrontearikiko proportzionala da, eta hortaz korrontea sinusoidala bada, eremu magnetikoa ere sinusoidala izango da. Ampereren ekuazioa honako forma hau hartzen du solenoideen kasuan:

$$B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{L} \quad (1.1)$$

Non B eremu magnetikoa den, μ solenoidearen barneko materialaren iragazkortasun magnetikoa, I korrontea, N espira kopurua eta L luzera.

Askotan, Amperen legea beharrez, **Hopkinsonen legearen** bidez justifikatzen da lehen fenomeno hori biak baliokideak badira ere. Hopkinsonen legea Ohmen legearen antzekoa da, baina eremu magnetikoan lan eginda. honako forma hau du legeak:

$$\mathcal{F} = \mathfrak{R} \cdot \Phi \quad (1.2)$$

Kontuan hartuta, indar magnetoeragilea ($\mathcal{F} = N \cdot I$) dela, erreluktantzia magnetikoa ($\mathfrak{R} = \frac{L}{\mu \cdot S}$), non S sekzioa den eta fluxu magnetikoa ($\Phi = B \cdot S$). Erraz ikus daiteke bi ekuazioen arteko baliokidetasuna.

Transformadorearen funtzionamendua ulertzeko beharrezko beste legea **Faraday-Lenzena** da. Honen arabera, fluxu magnetikoaren aldaketak honi oposatzen zaion indar elektroeragile bat sortuko du zirkuitu elektrikoan:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.3)$$

Horrela beraz, primarioa tentsio sinusoidal batekin elikatuta, korrante sinusoidal bat ere agertuko da primarioko harilkatuan. Korranteak fluxu sinusoidal bat sortuko du nukleoan zehar, eta honek era berean tentsio sinusoidal bat sortuko du sekundarioan.

Behin hau ondo ulertuta, makinak dituen aldaera eta funtzionalitate ezberdinak aurkeztu dira jarraian:

1.5.2 Harmonikoen eragina

Sarera konektatutako bihurtailuak kalitate irizpide batzuk bete behar dituzte bai harmoniko zein uhin formari dagokienez, eta beraz, alderantzgailuaren konmutazio maiztasunaren eragina txikitu edo desagertarazteko ezinbestekoa da bihurtailuaren irteeran iragazki bat txertatzea.

Aplikazio hauetan iragazkirik ohikoenak L, LC eta LCL-ak dira [8]-ren arabera, hala ere badaude LLCL bezalako filtro konplexuagoak erabiltzearen abantailak [9]. Iragazkiaren ordena handitzen doan heinean, harmonikoen maila gailuaren irteeran txikituz doaz, baina era berean, erresonantzia arazoak indar handiagoa hartuz doaz.

Proiektu honetan LC iragazki bat erabiltzea erabaki da transformadorearen harilkatuek bigarren inдукtantzia bat bezala lan egiten dutelarik, horrela [10]-n proposatzen den bezala, LC + transformadorea izango da sistemaren iragazkia.

Transformadorea iragazkiaren parte izanda harmonikodun tentsioak izango ditu bere sarreran eta beraz, ezinbestekoa da harmonikoek transformadorearen funtzionamenduan izango duten eragin aztertzea.

Ikerketa ezberdinak egin dira honen inguruan korrante [11] eta tentsio [12] harmonikoak aztertuz eta guztien ondorioak nahiko antzekoak dira. Harmonikoek transformadorearen galerak (bai nukleo zein harilkatuenak) handitu egiten dituzte makinaren errendimendua txikituz. Honetaz gain badaude harmonikoak transformadorearen bizi erabilgarria laburtu dezaketela baieztatzen dituzten artikulua ere [13], transformadoreak pairatzen dituen tenperatu igoera gehigarri horiek direla eta.

Galeren handitzea zenbatezteko asmoz, [11]-k saiakuntza bat egiten du, transformadore bat ordena desberdineko harmonikoekin elikatuz. Kalkulu horietan, galeren %66,37-a harmonikoak zituzten iturri, makina osoaren errendimendua %0,68 txikituz.

Nukleo material ezberdinak aztertu dituzten artikulua ere badaude [14], M 330 50-A materiala barne. Honetan argi ikusten da uhin formaren perfekzioak duen garrantzia eta saturazio-egoeran harmonikoen fenomenoaren areagotu egiten dela arazoa larriago bihurtuz.

1.5.3 Tentsio desoreken eragina

Sistemaren funtzionalitatea dela eta, aplikazio honek tentsio desorekatuekin lan egitea eskatzen dio sistemari (akats monofasikoak gertatzen direnean), eta hortaz transformadoreari ere. Transformadoreak tentsio desoreka handiekin (fase baten 0V eta gainerakoetan tentsio konposatuak) portaera ona izan behar du.

Desorekak aztertzeko **Fortescue-ren teorema** erabili ohi da, desorekatua den sistema bat, hiru sistema simetrikotan bihurtzeko (1.5 irudia). Hauei konponente simetrikoak deritze eta honako hauek dira:

- **Sekuentzia zuzeneko edo positiboko konponentea**

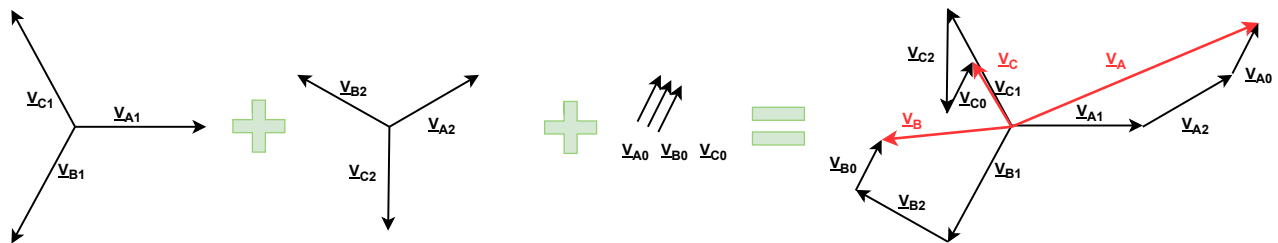
3 modulu berdineko fasoreak dira, 120° -ko desfasearekin haien artean (sistema orekatua) eta jatorrizko sistemaren fase-sekuentzia berdina duena (normalean A-B-C).

- **Sekuentzia alderantzizko edo negatiboko konponentea**

3 modulu berdineko fasoreak dira, 120° -ko desfasearekin haien artean (sistema orekatua) baina jatorrizko sistemaren alderantzizko fase-sekuentzia duena (normalean A-C-B).

- **Zero sekuentziako edo sekuentzia homopolarreko konponentea**

3 modulu berdineko fasoreak dira, haien artean 0° -ko desfasea dutena.



1.5 Irudia: Fortescueren teorema.

Zuzeneko eta alderantzizko sekuentziak agertzen direnean bakarrik, tentsio guztien batura 0 izaten jarraitzen du, bi sistema hauek independenteki orekatuak direlako. Sekuentzia homopolarra agertzen denean aldiz, hauen batura sekuentzia homopolarreko tentsioa izango da hiru aldiz, hain zuzen ere. Homopolarra beraz, *offset* bezalako bat balitz bezala ulertu daiteke, fasoreen sistema osoa desplazatzen duena.

Orokorrena bihurtzeko egiteko ondorengo ekuazio matrizialak erabiltzen dira, non $a = 1 \angle 120^\circ$ den:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \\ \underline{V}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{V}_{A0} \\ \underline{V}_{A1} \\ \underline{V}_{A2} \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_{A0} \\ \underline{V}_{A1} \\ \underline{V}_{A2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \\ \underline{V}_C \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

Fortescueren teorema aplikatuta, sisteman egongo den desoreka konponente simetrikoe-tan banatu da (unitateko balioetan), honako forma hartuta:

$$\begin{pmatrix} \underline{V_{A0}} \\ \underline{V_{A1}} \\ \underline{V_{A2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \angle 180^\circ \\ 1 \angle 0^\circ \\ 0 \angle 0^\circ \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

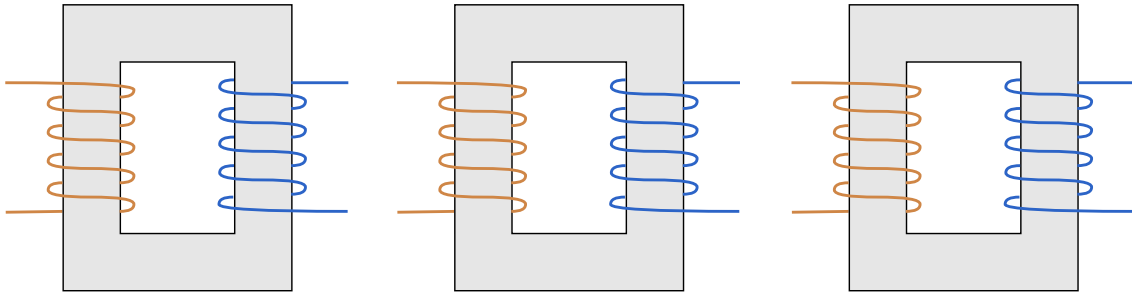
Sisteman egongo diren konponente simetrikoak zuzena eta homopolarra izango dira ba-tik bat, beraz, konponente homopolarreko desorekak izango dira sisteman protagonistak. Honek sentzu handia du, sistemaren funtzionalitate bat tentsio homopolarrak injektatzea dela kontuan hartuta.

Konponente homopolarreko desorekek, korrante homopolar handiak sor dezakete pri-mario eta sekundarioko neutroetan, eta honekin batera fluxu magnetiko homopolar handiak (transformadorearen inpedantzia homopolarra txikia bada) [15]. Honek transfor-madorearen gainberoketa eragin dezake. Gainera, nukleoan desoreka bat izateak, fluxu magnetikoaren dentsitatea handitzen du, eta, beraz, nukleoko fluxua asimetrikoagoa bihurtzen da, harilkatuen eta nukleoko galerak handituz [16].

1.5.4 Nukleo-egiturak

Transformadoreak tentsio desorekatuekiko duen portaera, transformadorearen nu-kleoaren egiturarekin estuki lotuta dago. Izan ere nukleo geometria ezberdinak aurkitu daitezke transformadore trifasikoen artean; transformadore monofasiko bana fase bakoit-zeko, hiru zutabedun transformadorea, lau zutabekoa, bost zutabekoa eta *shell* motako transformadorea.

Hauetatik sinpleena **transformadore bankua** da, fase bakoitzeko transformadore mo-nofasiko independente bat erabiltzen duena (1.6 irudia). Modelo honetan hiru nukleoak elkarren independenteak dira eta hortaz, tentsioa desorekatuek ez dute inolako arazorik ekarriko, beti ere, transformadorearen isolamendua eta diseinua orokorrean akats egoe-rako tentsioen moduluak jasateko prest baldin badago.

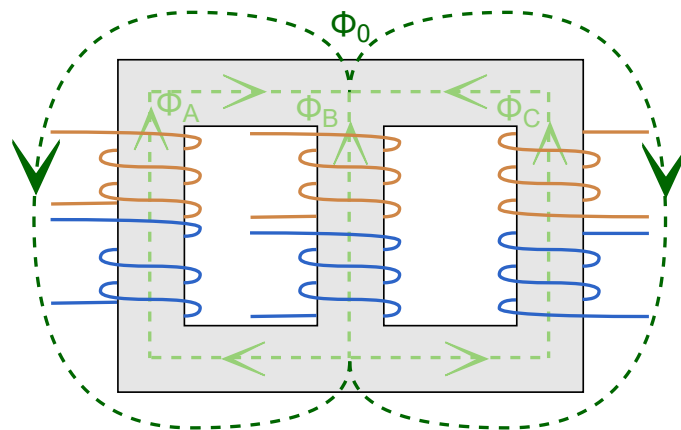


1.6 Irudia: Hiru transformadore monofasikoko transformadore trifasikoa.

Transformadore trifasikorik ohikoena **hiru zutabekoa** da, honek duen tamaina eta material kantitate txikia dela eta. Egitura honetako transformadoreetan, fase bakoitzeko primario eta sekundarioa harilkatzen dira zutabe bakoitzean (1.7 irudia).

Egitura honek arazo larriak izan dezake desorekekin, izan ere, tentsio desorekek fluxu magnetiko desorekatu bat sortuko dute, eta hortaz fluxu magnetiko horrek konponente zuzen, alderantzizkoa eta homopolarra izan ditzake.

Sekuentzia zuzeneko osagaiak batzerakoan 0 perfektu bat lortzen da, eta beraz egoera orekatu baten, hiru faseetako fluxu magnetikoak goiko uztarrira heltzen direnean elkar deuseztatu egiten dute. Alderantzizko sekuentziako konponentea izanda ere, fluxuak elkar anulatzen jarraituko dute, eta beraz transformadorea egokia izan daiteke mota honetako desorekak agertzen direnean.



1.7 Irudia: Hiru zutabeko transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.

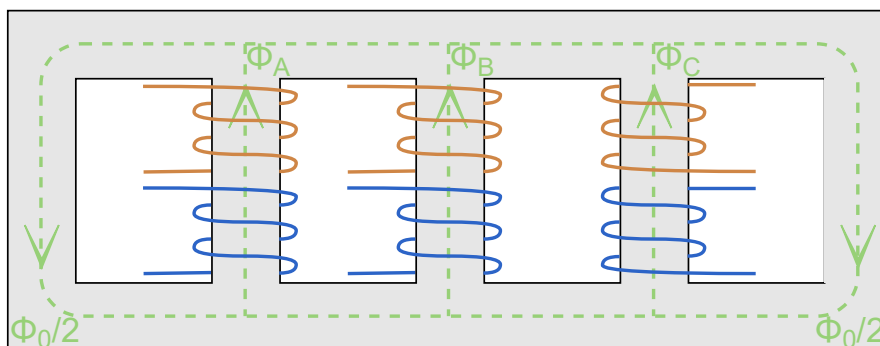
Arazoa sekuentzia homopolarreko konponentea agertzen denean dago. Homopolarra egonez gero, hiru fluxuen batura hiru aldiz fase bakoitzeko sekuentzia homopolarreko fluxua izango da, baina fluxu honek ez du ibilbidea ixteko biderik aurkituko nukleoan eta

beraz, airetik eta transformadorearen karkasatik (egotekotan) itxiko du bidea (1.7 irudia). Fluxu homopolarrak ikusiko duen bidea hortaz erreluktantzia handikoa izango da (material ez ferromagnetikoak zeharkatu beharko baititu) honek dakarren bero galerekin. Nukleo egitura honek beraz, ez du portaera egokiena izango konponente homopolarra dakarren desorekak daudenean.

Lau eta bost zutabedun transformadoreak egituraz hiru zutabeko nukleoaren antzekoak dira; erdiko hiru zutabeak harilkatuak jartzeko erabiltzen dira gainerakoak libre geratzen direlarik (1.8 eta 1.9 irudiak)

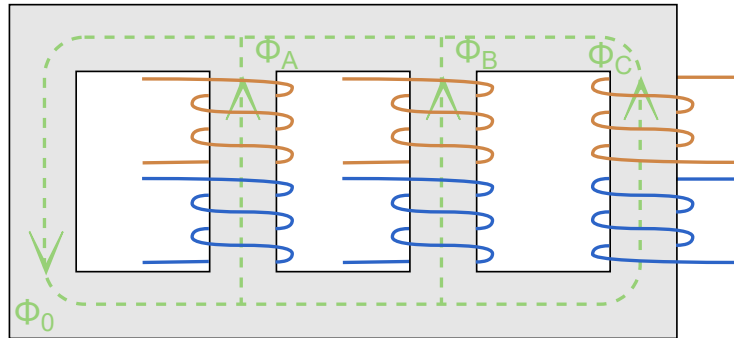
Fluxu homopolarrari bueltatzeko bidea eskaintzeko daude diseinatuta nukleo hauek, erreluktantzia txikiko bide bat eskaintzen baitiote fluxu homopolarrari, hiru zutabeko transformadoreak zituen arazoak ekidinez. Nukleo hauen portaera beraz, transformadore banku trifasikoaren antzekoagoa izango da baina kasu honetan faseen arteko elkar ekintza edo dependentzia egongo da, hirurek zirkuitu magnetiko berdina partekatzen baitute.

Lau eta bost adarreko transformadoreen arteko aldea bistakoa da, baina matematikoki oso antzekoak dira. Bost zutabeko nukleoak fluxuak era simetrikoago baten banatzen ditu, eta ez fluxuak bakarrik, masa zentroa ere simetrikoa da, honen manipulazioa sinplifikatuz.



1.8 Irudia: Bost zutabeko transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.

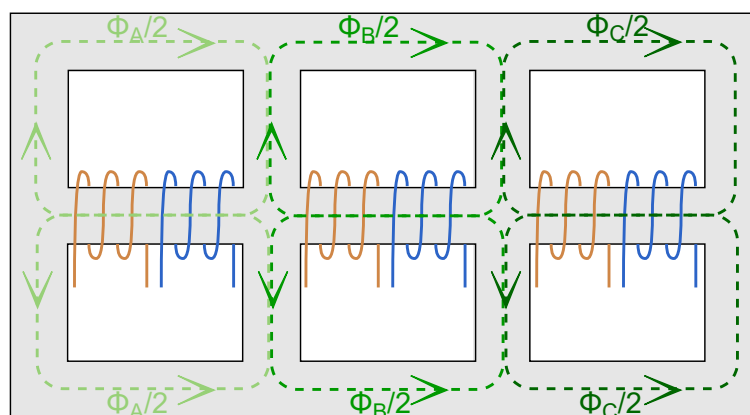
Lau zutabekoa nukleoak aldiz fluxu homopolar osoa zutabe berdinetik bideratzen du (zutabe hau beraz, bost zutabeko nukleoak dituen zutabe gehigarri horiek baino sekzio handiagoa izan beharko du), eta transformadorearen masa zentroa harilkatuen pisuaren menpe egongo da.



1.9 Irudia: Lau zutabeko transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.

Azkenik **shell motako nukleoa** (gaztelera, "acorazado") ere topa daiteke. Honen egiturak aurrekoak baino askoz burdin gehiago du, eta beraz pisutsuagoa eta garestiagoa da, hala ere funtzionamendua ulertzeko sinplea da eta transformadore bankuaren antzeko portaera du. Nukleo topologia honek harilkatu guztiak ditu zutabe zentrolean, baina honetaz gain beste bi zutabe handi ditu laburragoak diren habetxo lotuta (1.10 irudia).

Fase bakoitzak sortutako fluxua bide ezberdina du, zenbait puntutan gainerako faseen fluxuekin batzen den arren, baina inoiz ez dira hiru fluxuak puntu berdinean batzen. Fluxuak beraz elkarren independenteak ez badira ere, haien arteko elkar eragina minimoa dela baieztatu daiteke, hortaz desorekekin lan egiteko nukleo egitura interesgarria izan daiteke.



1.10 Irudia: *Shell* motako transformadore trifasikoa fluxu magnetikoekin.

1.5.5 Konexio mota

Makinaren portaeran eragin handia duen beste faktore bat, honek duen konexio elektriko mota litzateke, bai primario zein sekundarioaren aldetik. Transformadoreak konektatzeko hiru metodo baino ez daude:

- **Izarrean (Y)**

Konexio mota honetan fase bakoitzaren bukaera gainerako fase bukaerekin batzen da, puntu neutro bat eskuratuz (1.11 irudia, Y). Izar konexioan beraz, neutroa eskuratu daiteke nahi izanez gero. Neutroa lurrera konektatuta izatekotan (YN konexioa), tentsio eta korrante homopolarrentzako bidea eskaintzen du sekuentzia positibo eta negatibokoek duten inpedantzia berdinarekin (edo antzekoa behintzat).

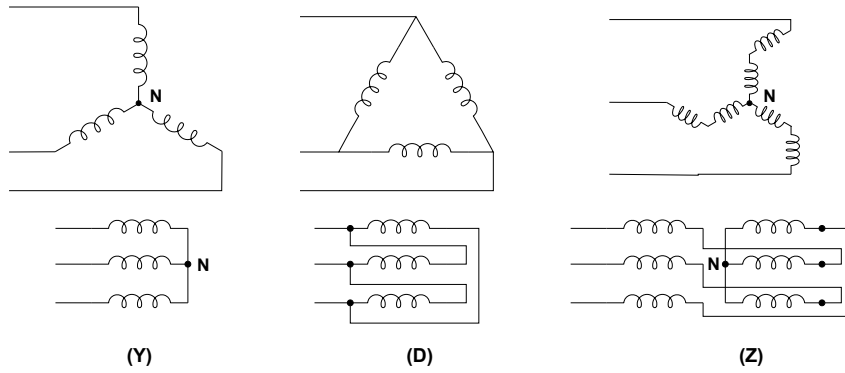
- **Triangeluan (Δ)**

Delta izenarekin eta D/d letrarekin ere bada ezaguna konexio hau. Muntaketa honetan, fase bakoitzaren bukaera, beste faseetako baten hasierarekin konektatzen da, triangelu forma duen konfigurazio bat eskuratuz (1.11 irudia, D). Konexio mota honetan ezinezkoa da neutroa eskuratzea eta beraz, zero-sekuentziako tentsio eta korranteak ezin izango dute transformadorea zeharkatu.

- **Zigi-Zagan (Z)**

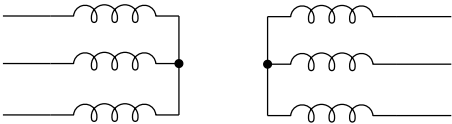
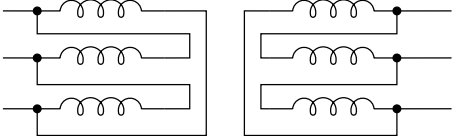
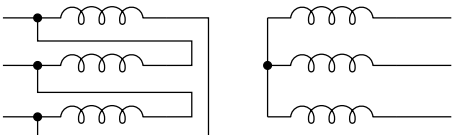
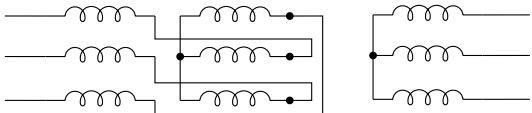
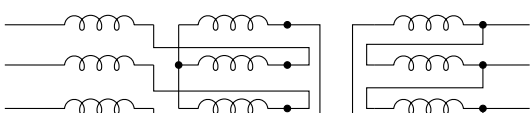
Konexio mota berezia da hau, lurreko konexio transformadoreetan erabiltzen dena gehien bat. Zigi-Zaga konexioa egin ahal izateko debanatu bi zati berdinetan banatuta egon behar da. Lehenik eta behin fase bakoitzeko lehen debanatu erdia izarrean baleude bezala konektatzen dira, baina hauen bukaera, ondoko faseko debanatueta konektatzen da alderantzizko norabidean, azken debanatu erdiaren bukaerak puntu neutro baten konektatzen direlarik (1.11 irudia, Z).

Horrela, konexio mota honek ere neutroa du eskuragarri. Izar konekzioarekin gertatzen den bezala, neutroa lurrera konektatzen bada (ZN konexioa) sekuentzia homopolarreko tentsio eta korranteek aurrera egiteko bidea izango dute, baina sekuentzia positibo eta negatibokoek dutena baino inpedantzia txikiagoarekin [17].



1.11 Irudia: Konexio motak.

Hiru konexio mota hauen arteko nahasketak eginda 1.1 taulan agertzen diren konfigurazioak lortu daitezke, hauen artean ohikoena Dy konexioa delarik [18]. Nabarmentzekoa da bai izar zein zigi-zaga konexioetan neutroa lurrera konektatu daitekeela, konfigurazio barietatea handituz, baina kasu hauek ez dira 1.1 taulan adierazi.

Konexio mota	Eskema
Yy	
Dd	
Dy - Yd	
Zy - Yz	
Zd - Dz	

1.1 Taula: Transformadoreen konexio motak.

Metodologia

2.1 Aukeren analisisia

Atal honetan MAL-a garatzeko aukeren arteko alternatiba ezberdinen analisisia gauzatu da, hauen artean egokiena hautatuz. Lehenik, transformadorearen analisisian sakontzeko transformadorearen egitura zehaztu da. Ondoren simulazioak garatzeko erabiliko den erreminta aurkeztu eta azkenik transformadorearen eredua parametrizatzeko erabiliko den metodoa eztabaidatu.

2.1.1 Transformadorea

Lehenik transformadorearen konexio mota ikertu da. 1.1 taulako konexio konfigurazioen zero-sekuentziako zirkuitua aztertuta, argi dago triangeluan konektatutako debanatu bat duten transformadoreek zirkuitua irekita dutela, eta hortaz transformadore hauek ez dute korrante homopolarrrik pasatzen utziko.

Homopolarrak bidea izateko bi konfigurazio baino ez dira posible; $YNyn$ edo $ZNyn$. Hala ere alde handia egongo da hauen artean, izan ere zigi-zaga konexioak inpedantzia txikiko bidea bihurtuko du transformadorea zero sekuentziako korranteentzat.

Beraz argi dago korrante eta tentsio homopolarrak 'hoberen' pasatzen utziko duen konfigurazioa $YNyn$ dela. Proiektuaren aplikazioagatik, ezinbestekoa da tentsio homopolarra transformadorearen alde batetik bestera igaro ahal izatea eta hortaz, **$YNyn$** konfigurazioa da kasu honetan egokiena.

Geometriari dagokionez, alternatiba ezberdinak aurkitu daitezke merkatuan. $i-DEK$ bilatzen duen aplikaziorako aukera teknikorik egokiena bost zutabeko transformadorea litzateke, honek tentsio homopolarra igarotzea ahalbidetzen baitu transformadorearen mutur batetik bestera. Hala ere, alternatiba hau beste batzuk baino garestiagoa izan daiteke.

Diruari erreparatuz, lau zutabeko transformadorea aurrekoa baino merkeagoa da, funtzio teknikoak ere ondo betetzen dituelarik. *Shell* motako transformadorea aurrekoak baino garestiagoa da, pisutxuagoa eta teknikoki erantzun berdina du, beraz mota honetako transformadorea ez dirudi alternatiba bideragarri bat.

Hiru zutabeko transformadorea transformadore mota guztien artean erabiliena eta merkeena da, baina tentsio homopolarrekin arazo larriak izan ditzake karkasaren gainberoketarik. Hala ere, transformadore honek duen abantailarik nagusia eskuragarritasuna da, izan ere horren ohikoa da, potentzia-transformadoreak egiten dituzten enpresek eskaintzen duten produktu bat izaten dela. Beste geometria batzuetako gailuak aldiz, enkargu bidez baino ez dira fabrikatzen entrega epeak luzatuz eta kostua handituz.

2.1 Taula: Transformadorearen geometria alternatibak.

Geometria	Teknikoki	Prezioa	Eskuragarritasuna
Hiru zutabe	~	★	★
Lau zutabe	✓✓✓	✓✓	✓
Bost zutabe	★	✓	✓
<i>Shell</i> motakoa	✓✓✓	~	~

Eskuragarritasun eta ohituragatik GSGIH-ak **hiru zutabeko transformadoreekin** lan egitea nahiago du eta beraz honen analisia izango da aurrera eramango dena. Gainera, hau da plataforma esperimentalean dagoen transformadorearen egitura eta beraz saiakuntza eta probak egiteko aukera bakarra hiru zutabeko transformadorea erabiltzea da. Tentsio homopolarrak jasateko egokiena ez bada ere, transformadore honekin lortu daitekeen lan-eremua zehaztuko da.

2.1.2 Simulazio-programak

Transformadoreen portaera simulatzeko programa desberdinak erabiltzen dira bibliografian eta bakoitzak baditu bere abantaila eta indarguneak. Orokorrean hauek dira arlo honetan programa informatiko erabilienak:

- **MATLAB / Simulink**

MATLAB programazio eta kalkulu plataforma bat da ingeniariaritzan oso erabilia dena; datuak aztertu, algoritmoak garatu eta modeloak sortzeko. Plataforma honen barnean dago *Simulink*, bloke eta diagrama ingurune bat, koderik programatu gabe modeloak diseinatu eta hardwarean inplementatu aurretik simulazioak egin ahal izateko.

Jakintza arlo anitzeko programa bada ere, badu sistema elektrikoak simulatzeko pakete espezializatua (*Simscape Electrical*), gailu eta konponente elektriko ezberdinen modeloak barneratzen dituen, haien artean geometria ezberdinetako transformadoreak ere.

Osagai anitzeko sistemak simulatzeko eta egoera egonkorreko analisiak egiteko programarik erabilienetakoa da, hala ere, ez dago egoera iragankorreko analisiak egiteko espezializatua eta beraz, bere liburutegian eskaintzen diren osagaiak ere, sinplegiak izan daitezke zenbait egoera simulatzeko.

- **ATP/EMTP**

Alternative Transients Program (ATP) / Electromagnetic Transients Program (EMTP), potentzia-sistema elektrikoaren egoera iragankorreko fenomeno elektromagnetiko eta elektromekanikoen analisiak egitera bideratuta dagoen simulazio programa informatiko unibertsala da. Honek, sistema elektriko konplexu eta kontrol sistemen simulazioa ahalbidetzen du.

Programak denbora errealeko analisia ahalbidetzen du, seinaleen neurketa eta sistemak pairatutako faltekin eragindako trantsitorioen analisi sakona ere bai. Emaitzak era grafikoan adierazi daitezke analisirako erreminta anitzak dituelarik, esaterako, potentzia eta energia aztertu daitezke simulazioan zeharreko edozein unetan edota seinaleen balio izendatuak kontrolatu.

Simulink bezala, ATP/EMTP-ak ere hainbat osagai elektrikoaren modelo konplexuak ditu bere liburutegian (transformadorearen modelo ezberdinak barne). Hauen abantaila, egoera trantsitorioak simulatzeko diseinatuak daudela da, eta beraz, liburutegi honetan agertzen diren transformadoreen egitura konplexuagoak dituzte.

- **COMSOL Multiphysics**

COMSOL Multiphysics elementu finituko analisia eta simulazioak egiteko diseinatuta dagoen programa da. Ingeniaritzako jakintza arlo desberdinetan lan egiteko gai bada ere, ez zaio fenomeno elektromagnetikoak aztertzeke pakete espezializatua falta.

Elementu finituetako azterketa egiteak, gainerako programak egin ezin dituzten neurketak eta grafikoak erakustea ahalbidetzen dio. Esaterako, transformadorearen nukleoan doan fluxu magnetikoa ikusi daiteke nukleoaren puntu bakoitzean, edota puntu horietako bakoitzak duen tenperatura neurtu.

Mota honetako programa bat erabiltzeak ere badu beste abantaila bat, osagai elektriko baten (transformadorea adibidez) datu geometrikoak izanda, oso eredu errealista sortu daiteke, inpedantzia eta erresistentzia elektriko baliokideak erabiltzea saihestuz.

Guzti hau kontuan hartuta, MAL-a garatzeko **MATLAB** eta **Simulink** erremintak erabiltzea erabaki da. Hala ere, hauek eskaintzen dituzten transformadore ereduak egoera desorekatuak aztertzeke desegokiak izan daitezkeenez, transformadorearen eredu propioa garatzea erabaki da.

2.1.3 Transformadorea ezaugarritzeko metodoa

- **Metodo analitikoa**

Metodo analitikoa transformadorearen egitura, hau da, geometria hartzen du oinarritzat kalkulu guztiak egiteko. Makina osatzen duten osagai ezberdinen materiala eta propietate elektromagnetikoak kontuan hartzen dira, transformadorearen eredu digitaleko osagaien parametrizazioa lortuz.

Metodo hau guztiz orokorra da eta hortaz, edozein transformadore ezaugarritzeko erabili daiteke, transformadorea fisikoki izan gabe, beti ere honen datu zehatzak eskuragarri izanda. Honekin batera, edozein tamaina edo potentziako transforma-

doreak ezaugarritzeko aplikatu daiteke kalkuluak guztiz teorikoak baitira. Kalkuluak guztiz teorikoak izateak abantailak badituen arren, desabantailak ere baditu ezin baita emaitzen kalitatea egiaztatu saiakuntzarik egin gabe.

Azkenik, metodo honek beste desabantaila nabari bat du, ezin baitira modelo digital baten beharrezkoak diren parametro guztiak analisi teoriko baten bidez lortu.

• **Metodo esperimental**

Metodo esperimental saiakuntzetan oinarritzen da transformadorearen ezaugarritzea egiteko. Makinari saiakuntza ezberdinak aplikatuta eredu sinplifikatu baten parametro ezberdinak ezaugarritzea lortu daiteke, fabrikatzaileek produktua saldu aurretik egiten duten bezala.

Metodo honek baldintza garrantzitsua du; transformadorea eskuragarri izatea eta honi saiakuntza ezberdinak egiteko aproposa den laborategi bat ere. Baldintza hau betetzeko zaila izan daiteke potentzia handiko transformadoreentzat. Saiakuntza bidezko ezaugarritzea, emaitzak egiaztatzeko metodo fidagarriena da, makinaren portaera zuzenean ikusi daitekeelako. Gainera, zenbait propietate ezaugarritzeko erabili daitekeen metodo bakarra da inpedantzia homopolarraren kasuan bezala.

Hala ere, metodo honek ere baditu zenbait desabantaila, saiakuntzetatik lortutako emaitzek errore esperimentalak baitute. Eredu digitaleko parametroek beraz, saiakuntzetan zehar egindako neurketa bakoitzaren neurketa errorea barneratuko dute.

2.2 Taula: Transformadorea ezaugarritzeko metodoen alternatibak.

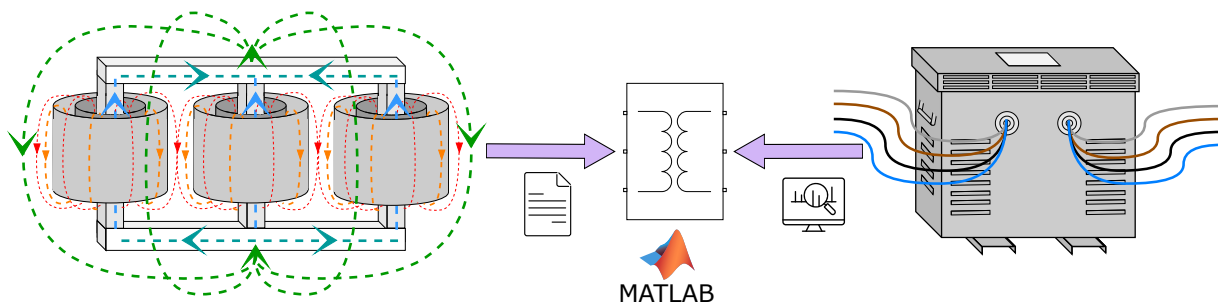
Metodoa	Zehatza	Moldakorra	Egiaztapena	Eskuragarria
Analitikoa	~	★	~	★
Esperimental	★	~	★	★

Aurretik aipatutako guztia kontuan hartuta, MAL honetan transformadorea ezaugarritzeko **metodo esperimental** erabiltzea erabaki da. Plataformako transformadorea bere osotasunean eta era zehatz baten ezaugarritzeko metodorik egokiena baita.

2.2 Proposatutako irtenbidearen aukeraketa

Hiru zutabeko transformadorea GSGIH-ek proposatutako aplikaziorako aproposa dela ziurtatzeko, plataforma esperimentalean dagoen transformadorearen eredu bat garatuko da, hau *MATLAB* eta *Simulink* kalkulu eta simulazio erremintetan inplementatzeko.

Modelo digitala parametrizatzeko zenbait saiakuntza egingo zaizkio transformadoreari. Azkenik lortutako modeloa balioztatzeko, plataforma esperimentaleko transformadorea kargapean eta tentsio homopolarrarekin elikatuko da eta lortutako emaitzak modeloan egindako simulazioekin alderatuko dira.



2.1 Irudia: Proposatutako irtenbidea.

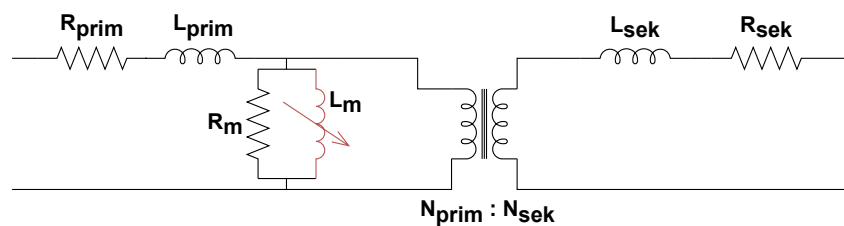
2.2.1 Transformadorearen eredu elektrikoa

Transformadoreen eredu elektrikoak zirkuitu elektrikoak dira, makinetan gertatzen diren benetako fenomeno magnetikoen portaera simulatzen dutena. Eredu hauek beraz, transformadoreen portaera aztertzeke erabili daitezke, kitzikapen eta konexio egoera zehatz batzuetan.

Potentzia-transformadoreak potentzia elektrikoa transferitzeko daude diseinatuta, hauei tentsio eta maiztasun izendatuak aplikatuta. Orokorrean transformadoreei fase bakarreko edo fase anitzeko diseinua izan dezakete, hauek izango dituzten beharrianen arabera. Ohikoena, egoera egonkorreko tentsio eta korrante orekatuak aztertzea da, kasu hauetan hiru faseetan dauden parametroak berdinak izango dira, hortaz, transformadoreen diseinu eta analisi ohikoenak ere monofasikoak dira.

2.2 irudian transformadorearen eredu monofasiko baliokidea ikusi daiteke. Bertan bi debanatu agertzen dira; primarioa eta sekundarioa, bira ratioa inplementatua duen transformazio-erlazio ideal batez isolatuta ($N_{prim} : N_{sek}$). Zirkuituak honako osagaiak ditu:

- **Harilkatuen erresistentzia (R_{prim} eta R_{sek})**, Harilkatuen kobrezko galerak ordezkatzan dituztenak.
- **Magnetizazio-erresistentzia (R_m)**, nukleoko burdinezko galerak ordezkatzan dituena.
- **Magnetizazio-induktantzia (L_m)**, Induktantzia ez lineala da, nukleoaren fluxu magnetikoa ordezkatzan duena.
- **Ihes-induktantziak (L_{prim} eta L_{sek})**, Harilek dituzten ihes fluxu magnetikoak ordezkatzan dituztenak.

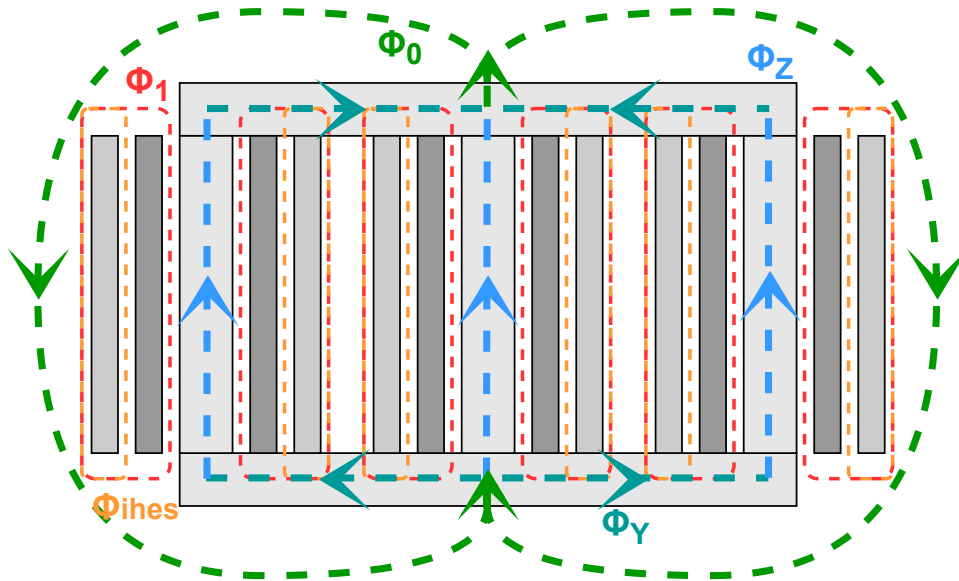


2.2 Irudia: Transformadorearen eredu monofasiko sinplifikatua.

Aztergai dagoen aplikazioan aldiz, transformadoreak tentsio-desorekak jasango ditu, eta ez edonolako desorekak, linean akats monofasiko bat gertatzen denean, arazorik gabeko faseei tentsio konposatuak ezarriko zaizkie eta besteari aldiz 0 V. Hortaz, hiru faseetako parametroak ez dira berdinak izango eta transformadorearen portaera eredutzeko erabiliko den zirkuituak hiru faseak hartu beharko ditu kontuan era independentean.

Transformadorea eredutzeko transformazio duala erabiltzen duen metodoa aplikatzea erabaki da, modelo honek desorekekin lan egiteko duen gaitasuna dela eta [19]. Ondoren, transformadorearen eredua lortzeko aplikatu diren pausoak azalduko dira banan-banan.

Ereduaren garapena hiru zutabeko nukleoa duen transformadorearen topologia ezarrita hasten da. Honi harilkatuek sortutako fluxu magnetikoak adierazi behar zaizkio. Fase bakoitzean fluxu magnetiko ezberdinak agertuko dira 2.3 irudian ikus daitekeen bezala, eta fluxu guztiak batzean, bidea ixteko fluxu homopolarra ere adierazi da.



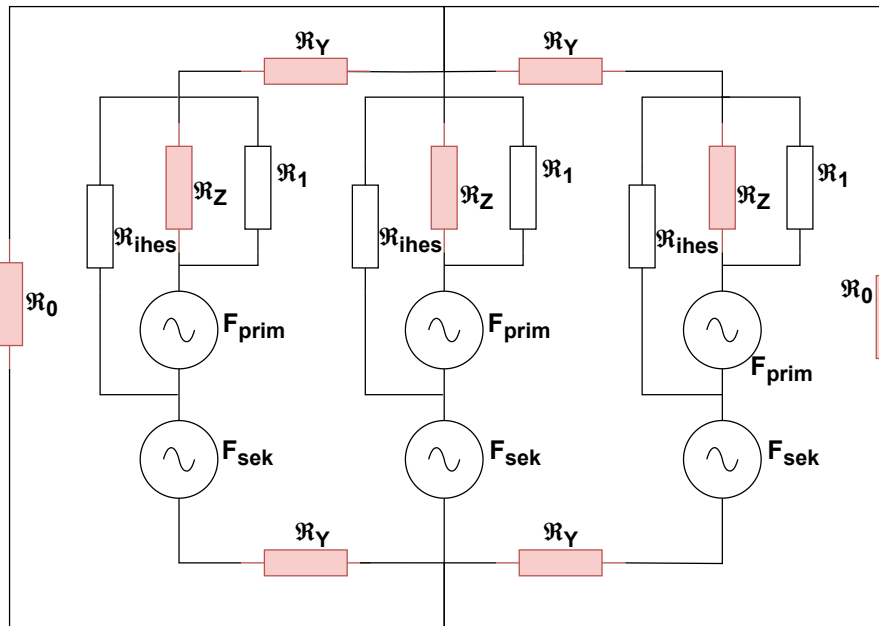
2.3 Irudia: Hiru zutabeko transformadorearen fluxu magnetikoak.

non:

- Φ_Z Nukleoaren **zutabeetan** zehar doan fluxua.
- Φ_Y Nukleoaren **uztarrietan** zehar doan fluxua.
- Φ_0 Harilkatuetatik kanpo doan fluxua (**Fluxu homopolarra**).
- Φ_1 Nukleoaren zutabe eta barneko harilkatuen arteko fluxua.
- Φ_{ihes} Barne eta kanpoko harilkatuen arteko fluxua (**Ihes-fluxua**).

Aurreko iruditik abiatuta, transformadorearen zirkuitu magnetiko baliokidea lortu daiteke (2.4 irudia), non fluxuak (Φ) dagokien erreluktantzien (\mathfrak{R}) bidez adierazi daitezkeen eta iturri elektrikoak indar magnetoeragileengatik (\mathcal{F}) ordezkatzeko diren.

Garrantzitsua da nukleoko sekzioetan (zutabe eta uztarrietan) erreluktantziak ez-linealak direla argitzea (2.4 irudian gorri), izan ere, material magnetiko saturagarriak modelizatzen dituzten erreluktantziak baitira.



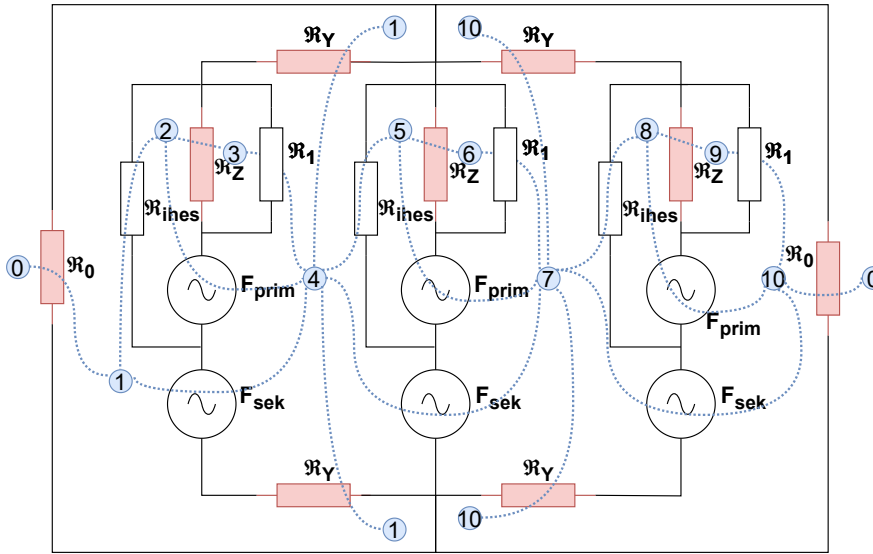
2.4 Irudia: Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu magnetiko baliokidea.

Behin zirkuitu magnetikoa definituta izan, 2.3 taulan agertzen den transformazio duala aplikatu behar da zirkuitu elektriko duala lortzeko. Transformazioa egin aurretik ezinbestekoa da zirkuitu magnetikoaren nodo eta maiak markatzea.

2.3 Taula: Transformazio duala.

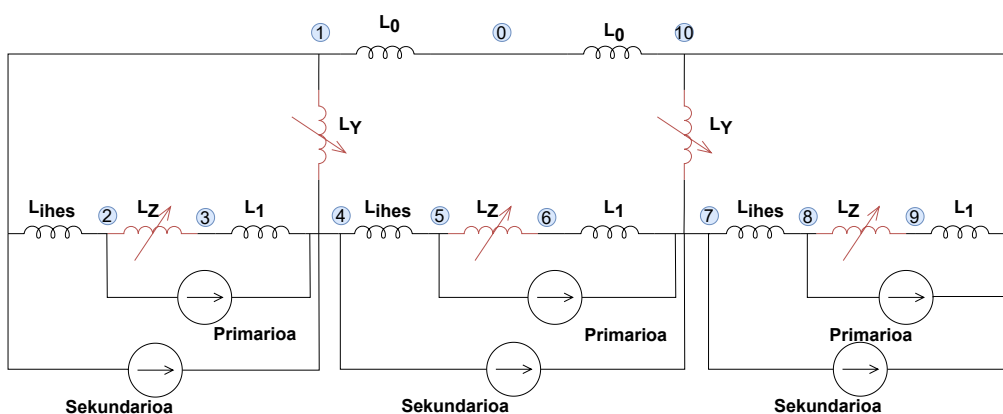
Zirkuitu magnetikoa	Zirkuitu elektriko baliokidea
Indar magnetoeragilea ($\mathcal{F} = N \cdot I$), [A·bira]	Tentsioa (V), [V]
Fluxua (Φ), [Wb]	Korrentea (I), [A]
Erreluktantzia (\mathcal{R}), [H^{-1}]	Induktantzia (L), [H]
Sareak	Nodoak
Nodoak	Sareak

2.5 irudian nodo eta maiak agertzen dira adierazita non, nodoak espazioko puntu bezala definitzen diren zirkuitu itxi baten barnean edo kanpoan eta maiak berriz, nodoak lotzen dituzten lerro bezala definitzen dira, zeinek zirkuituko osagaiak (erreluktantziak edo indar magnetoeragileak) zeharkatzen dituzten.



2.5 Irudia: Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu magnetiko baliokidea nodo eta maiekin.

Zirkuitu elektriko duala lortzeko 2.3 taulan aipatutako eraldaketak aplikatzen dira: Indar-magnetoeragileak, ihes-erreluktantzia linealak, sekuentzia homopolarreko bideak eta zirkuitu magnetikoko sekzioen erreluktantzia ez-lineal saturagarriak, ordezkatu egiten dira, tentsio-iturri eta inдукtancia/inpedantzia lineal eta ez-linealengatik hurrenez-hurren. Maia eta nodoak ere elkar trukutzen dira, hortaz, serie/paraleloan dauden zirkuitu magnetikoak, paralelo/seriean dauden zirkuitu dual elektrikoetan eraldatzen dira.

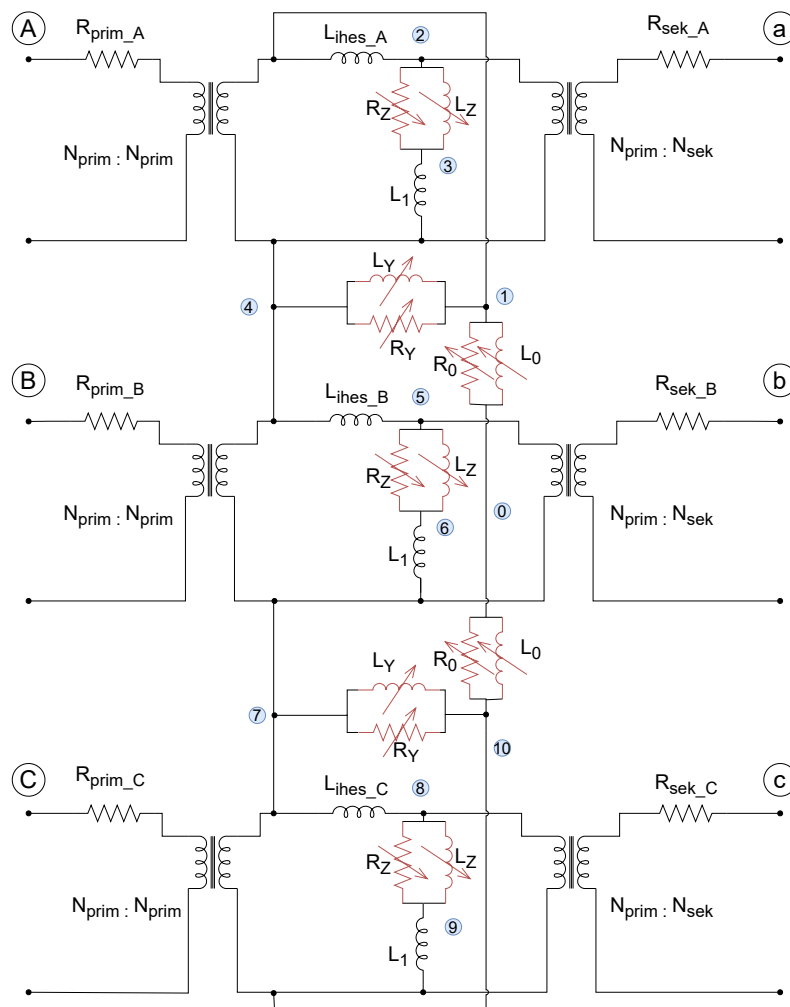


2.6 Irudia: Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu elektriko dual ideala.

2.5 irudiko zirkuitu magnetikoaren zirkuitu elektriko duala adierazi da 2.6 irudian, non L_Y parametroaren barne goiko eta beheko uztarrietako balioak sartu diren (transformazioa eginda paraleloan zeuden bi inдукtancia baitziren).

Ondoren eredu idealari portaera erreala emateko, transformadore idealak gehitu zaizkio zirkuituari, primarioaren eta sekundarioaren arteko isolamendu elektriko-magnetikoa bermatu eta bira erlazioa ezartzeko. Honetaz gain, harilkatuen galera errealak kontuan hartzeko erresistentzia elektrikoak ezarri dira primario eta sekundarioan (R_{prim} eta R_{sek}).

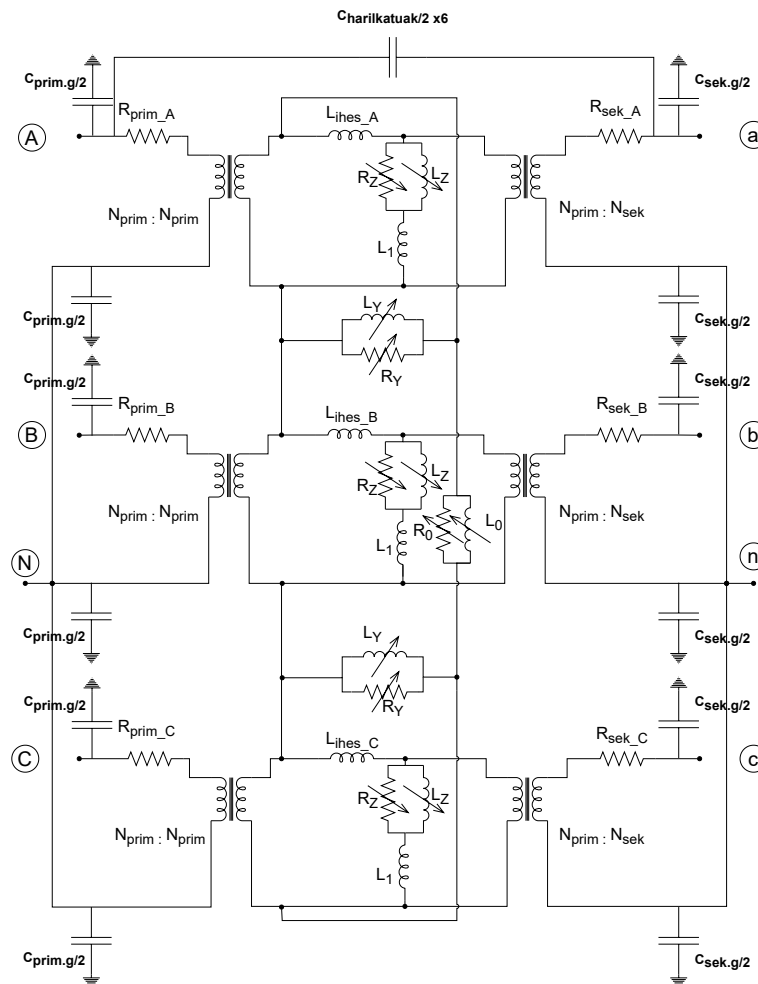
Harilkatuetan egin den bezala, nukleo magnetikoan eta baita bide homopolarrean egongo diren bero-galerak zenbatezteko, R_Z , R_Y eta R_0 gehitu dira hurrenez-hurren, osagai bakoitzaren inductantziarekin paraleloan. Adieraztekoa da 2.7 irudian agertzen den zirkuitua, edozein konexio konfiguraziorako (izar, triangelu edota zigi-zaga) dela baliagarria.



2.7 Irudia: Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu elektriko duala.

Azken eredu lortzeko harilkatuen konexioa eta ordu indizeak hartu behar dira kontuan eta baita harilkatuen eta karkasaren arteko efektu kapazitiboak ere.

Efektu kapazitiboek dagokienez, harilkatu-lurra alde batetik, eta primario eta sekundarioen arteko kapazitantziak bestetik hartu dira kontuan. Faseen arteko kapazitatea arbuigarria da gainerakoekin konparatuta, gainera entseguen bidez lortu ezin diren balioak dira. Era berean, seriezko kapazitantziaren (fase eta neutroaren artekoa) balioa lortzea ezinezkoa denez, efektu hau ere sinplifikatu egin da. Gainera, homopolarraren adarrean bi inpedantzia berdin geratu direnez seriean, hauek inpedantzia bakar baten bateratu dira (R_0 eta L_0).



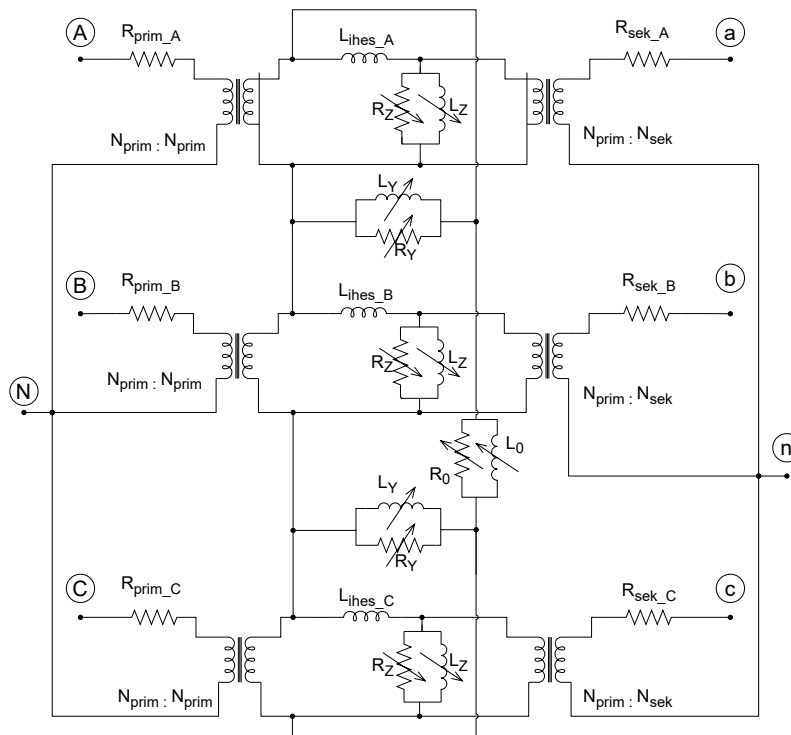
2.8 Irudia: Hiru zutabeko transformadorearen zirkuitu elektriko dual osoa.

2.8 irudian $C_{harilkatuak/2}$ parametroa behin baino ez dagoen arren, primario eta sekundario guztien arteko kapazitantziak daude eremuan, baina irudiaren argitasunagatik ez dira denak adierazi.

2.8 irudian ageri den zirkuitua YNyn0 konfiguraziodun transformadore bati dagokio, zeinetan bi harilkatuak izarrean konektatuta dauden neutroa eskuragarri dutelarik. Transformadorearen eredu elektriko osoa 2.8 irudian agertzen dena bada ere, MAL honen garapenerako sinplifikazio batzuk egingo dira:

- **Zutabe eta barneko harilkatuaren arteko ihes fluxua** (2.8 irudiko L_1 osagaia) mespretxatu egingo da. Fluxu magnetiko hau oso txikia da zutabeko fluxuarekin konparatuta [20]. Zutabearen materiala ferromagnetikoa da eta airea berriz paramagnetikoa, gainera, zutabe eta harilaren arteko distantzia minimoa da, honek L_1 oso txikia izatea eragiten du L_Z -rekin alderatuta.
- Transformadoreak izango dituen **efektu kapazitibo guztiak** mespretxatu dira. Efectu hauek oso garrantzitsuak dira transformadorea maiztasun izendatua ez den beste maiztasun batzuekin elikatzen denean, edota sistemak jasan dezakeen transitorietan zehar [21]. Aztergai dagoen egoeran maiztasuna beti izango da izendatua eta hortaz, efektu kapazitiboen eragina minimoa izango dela onartu daiteke.

Sinplifikazioak eginda 2.9 irudian adierazita dagoen transformadorearen eredu definitiboa lortu da.

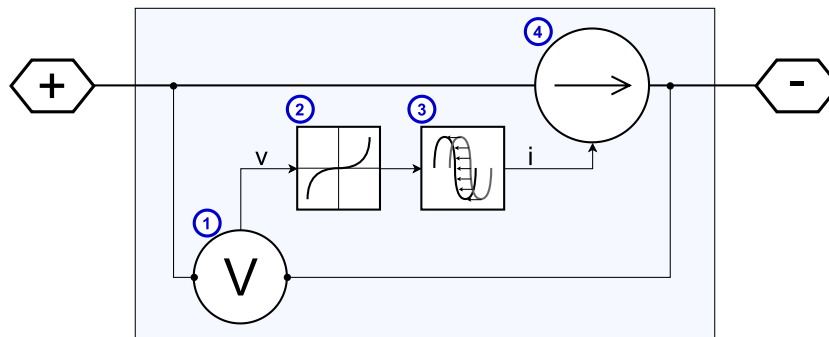


2.9 Irudia: MAL-ean erabiliko den transformadorearen zirkuitu elektriko baliokidea.

2.2.2 Induktantzia ez-linealak modelizatzeko azpisistema

Induktantzia ez-linealen eredua lortzeko modelo propio simple bat garatu da, *Simulink*-ek eskaintzen duen blokeek dituzten arazoak ekidinez, izan ere, programaren liburutegian dagoen induktantzia ez linealaren modeloak fluxu magnetikoa eta korrontea ditu sarre-rako datu, eta saiakuntzetatik lortutakoa berriz tentsio korronte kurba da.

Azpisistema honen helburua osagaiak ikusten duen tentsioaren araberako inpedantzia zehatz bat ezartzean datza. Horretarako 2.10 irudian azaltzen den topologia erabili da:



2.10 Irudia: Induktantzia ez linealaren azpisistema.

Azpisistemak honako osagai hauek ditu:

1. Tentsio-neurgailua

Honen bidez, azpisistemak ikusten duen tentsioa neurtzen da (induktantzia aldakorak ikusiko lukeena).

2. Tentsio eta korrontea erlazionatzen dituen V-I kurba

Bloke honetan, osagaiaren tentsio eta korrontearen arteko erlazioa (inpedantzia) inplementatzen da, induktantziaren saturazio-karakteristika modelatuz.

3. Seinale atzerapena

Ondoren korrontearen seinalea 5ms atzeratzen da korrontea tentsioarekiko 90° defasatuz. Pauso hau ezinbestekoa da induktantzia ezaugarritzeko, bloke hau jarri ezean bloke osoa erresistentzia aldakor baten portaera izango lukeelako.

4. Kontrolatutako korronte-iturria

Azkenik tentsioaren araberako korronte bat injektatzen da, inpedantziaren aldaketa simulatzen duena.

2.2.3 Transformadorea parametrizatzeko saiakuntzak: Oinarri teorikoak

2.8 irudian agertzen diren parametro guzti horien balioak lortzea nahikoa konplexua izan daiteke. Atal honetan, saiakuntzen bidezko parametrizazio osoa egiteko bide bat deskribatzen da.

Balio batzuk saiakuntza tradizioaletatik lortu daitezke, harilkatuen erresistentziak eta ihes-induktantziak adibidez, beste batzuk lortzeko aldiz, saiakuntza berriagoak behar dira. 2.4 taulan parametro bakoitza lortzeko behar den saiakuntza adierazi da.

2.4 Taula: Transformadorearen inpedantzia baliokideak lortzeko saiakuntzak

Parametroa	Saiakuntza
$R_{prim} + R_{sek}$ L_{ihes}	Zirkuitulaburreko saiakuntzak
$R_0 + L_0$	Zero-sekuentziako saiakuntza
$R_Z + L_Z$ $R_Y + L_Y$	Hutseko saiakuntzak
C_{PG}, C_{SG} eta C_{PS}	Kapazitantzia multitesta

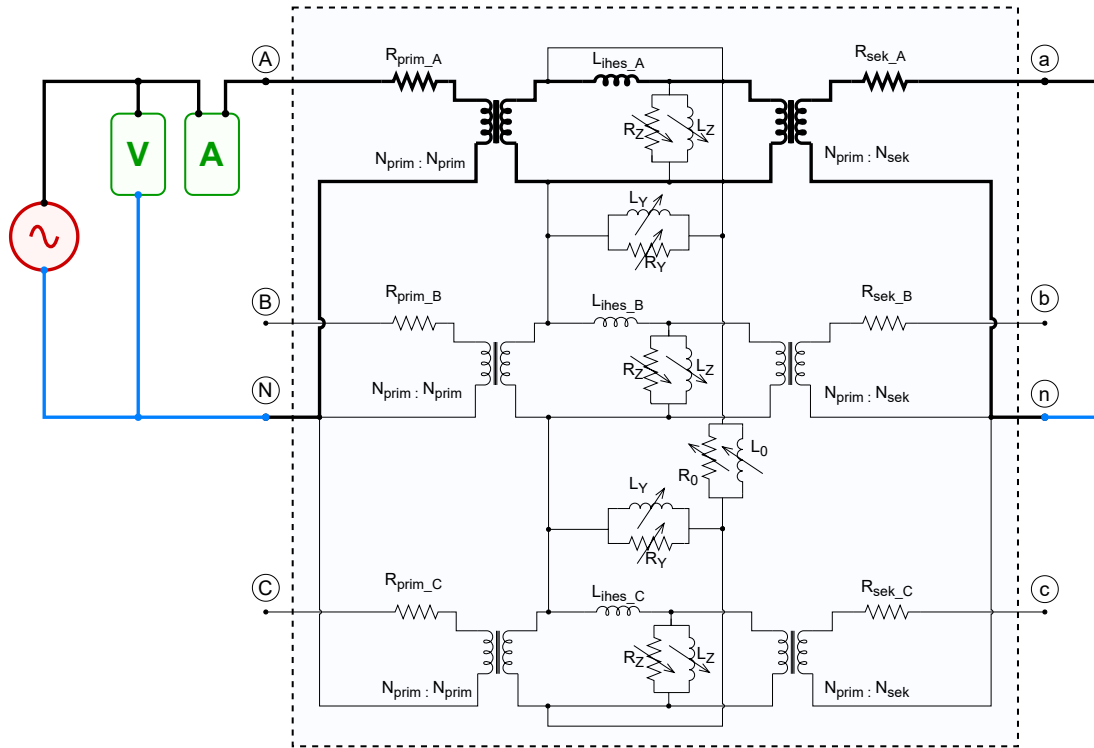
Ondoren, saiakuntza bakoitza era sakon baten deskribatu da:

Zirkuitulaburreko saiakuntzak

Saiakuntzekin hasteko, lehenik eta behin, fase bakoitzeko zirkuitulaburreko saiakuntzak gauzatu eta aztertu behar dira. Neurketa hauen bidez transformadorearen fase bakoitzeko harilkatuen erresistentziak (R_{prim} eta R_{sek}) eta ihes-induktantzia (L_{ihes}) lortu daitezke, test hauek independenteak baitira beraien artean.

Fase bakoitzeko zirkuitulaburreko saiakuntza oso saiakuntza tradizionala da, non fase bakoitzarekin banan-banan lan eginda. Saiakuntza gauzatzeko, harilkatu bat (primarioa edo sekundarioa) elikatu behar da, eta elikatu ez dena zirkuitulaburtu.

Garrantzitsua da gogoratzea, zirkuitu laburreko saiakuntzetan oso tentsio txikiekin elikatu behar direla harilkatuak (tentsio izendatuaren %5-a inguru), korrante izendatua lan egitea baita helburua.



2.11 Irudia: A faseko zirkuitulaburreko saiakuntzaren diagrama.

2.11 irudian, saiakuntza egiteko egin beharreko montaketaren eskema ageri da, zeinetan voltmetro eta anperimetro bana behar diren. Horretaz gain, korronteak izango duen bide nagusia ere markatu da, bide homopolarraren korrontea nulua izango dela suposatuz.

Behin saiakuntza bukatuta, fase bakoitzeko (R_{prim} , R_{sek} eta L_2) lortu daitezke hurrengo ekuazioak aplikatuz:

$$Z_{zl} = \frac{V_{voltmetro}}{I_{anperimetro}} \quad (2.1)$$

$$R_{zl} = Real(Z_{zl} - R_{kableak}) \quad (2.2)$$

$$X_{zl} = Imag(Z_{zl}) \quad (2.3)$$

$$R_{prim}^* = R_{sek}^* = \frac{R_{zl}}{2} \quad (2.4)$$

$$L_2 = \frac{X_{zl}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (2.5)$$

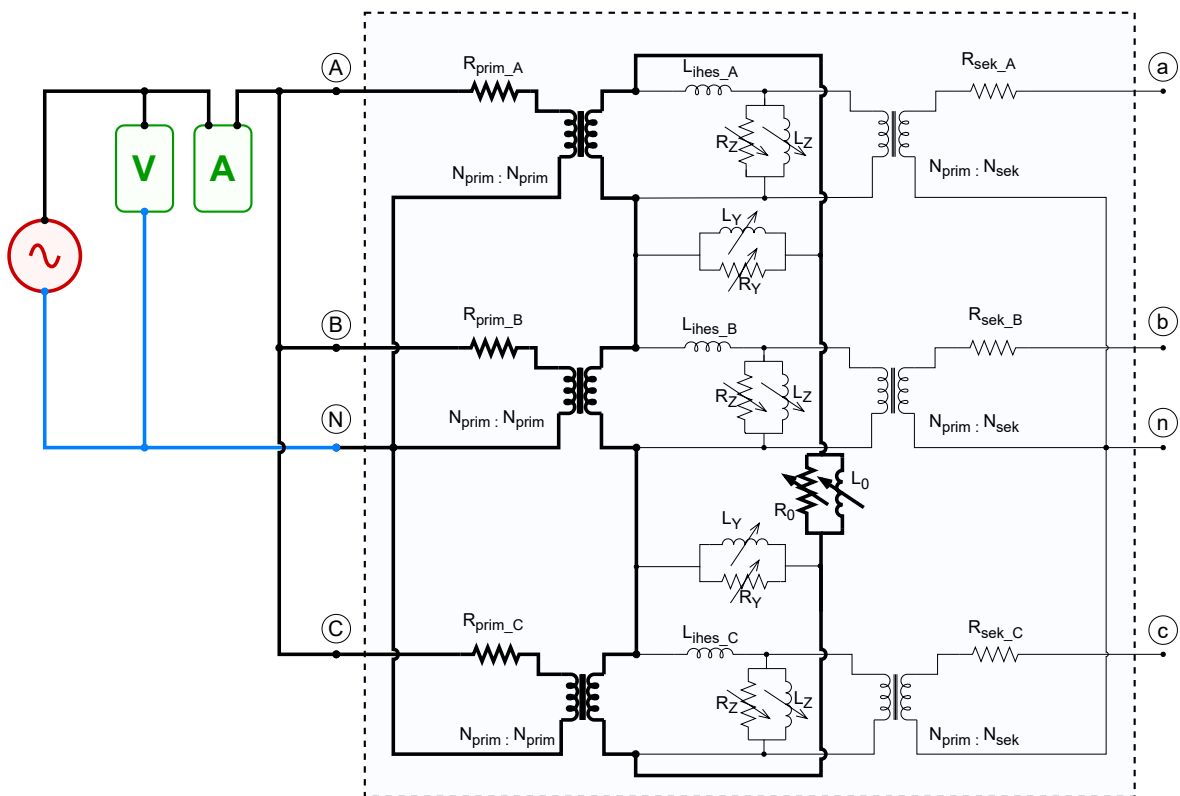
* Primario eta sekundarioko harilkatuetako erresistentzia berdina izango dela suposatuta.

Zero-sekuentziako saiakuntza

Saiakuntza honen bidez transformadorearen zero-sekuentziako inpedantzia (inpedantzia homopolarra) (R_0 eta L_0) lortu daiteke.

Saiakuntza egiteko transformadorea tentsio homopolarrekin elikatu behar da, egoera hau hiru faseak tentsio-iturri berdinarekin elikatuz lortu daiteke 2.12 irudian azaltzen den bezala. Elikatzen ez den aldea aldiz, zirkuitu irekian mantendu behar da.

Aurreko saiakuntzan bezala, honetan ere voltmetro eta anperimetro bana behar izango dira. Kasu honetan ere korrontearen bide nagusia markatu da 2.12 irudian, inpedantzia homopolar txikieneko bidea, bide homopolarra izango dela aintzat hartuta.



2.12 Irudia: Zero-sekuentziako saiakuntzaren diagrama.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)-ren potentzia-transformadore sikuen normari erreparaturaz [22], izar-izar konexiodun transformadoreetan zero-sekuentziako saiakuntza gauzatzeko aplikatutako tentsioak ezin du faseko tentsio izendatuaren %30-a gainditu, era berean, ezin izango da fase bakoitzeko korronte

izendatua gainditu. Honen bidez tankearen gehiegizko beroketa saihestu egiten da, saiakuntzaren segurtasuna bermatuz.

Asociación Española de Certificación y Normalización (Aenor)-en potentzia-transformadoreen normak [23] aldiz, faseko-neutroko tentsio izendatua ez gainditzera baino ez du behartzen. Hala ere, neutroko korronea eta saiakuntzaren iraupena mugatu behar direla adierazten du, transformadorearen parte metalikoen gainberoketa saihestuz, baina inolako argibide zehatzik gabe.

Saiakuntzako neurketak erabiliz eta hurrengo ekuazioak aplikatuz, (R_0 eta L_0) lortu daitezke:

$$V_0 = 3 \cdot V_{voltmetro} - \frac{I_{anperimetro}}{3} \cdot (R_{prim_A} + R_{prim_B} + R_{prim_C} + 3 \cdot R_{kablea}) \quad (2.6)$$

$$Z_h = 3 \cdot \frac{V_0}{I_{anperimetro}} \quad (2.7)$$

$$R_h = Real(Z_h) \quad (2.8)$$

$$R_h = Imag(Z_h) \quad (2.9)$$

$$Y_h = \frac{1}{R_h + X_h \cdot j} \quad (2.10)$$

$$R_0 = Real\left(\frac{1}{Z_h}\right) \quad (2.11)$$

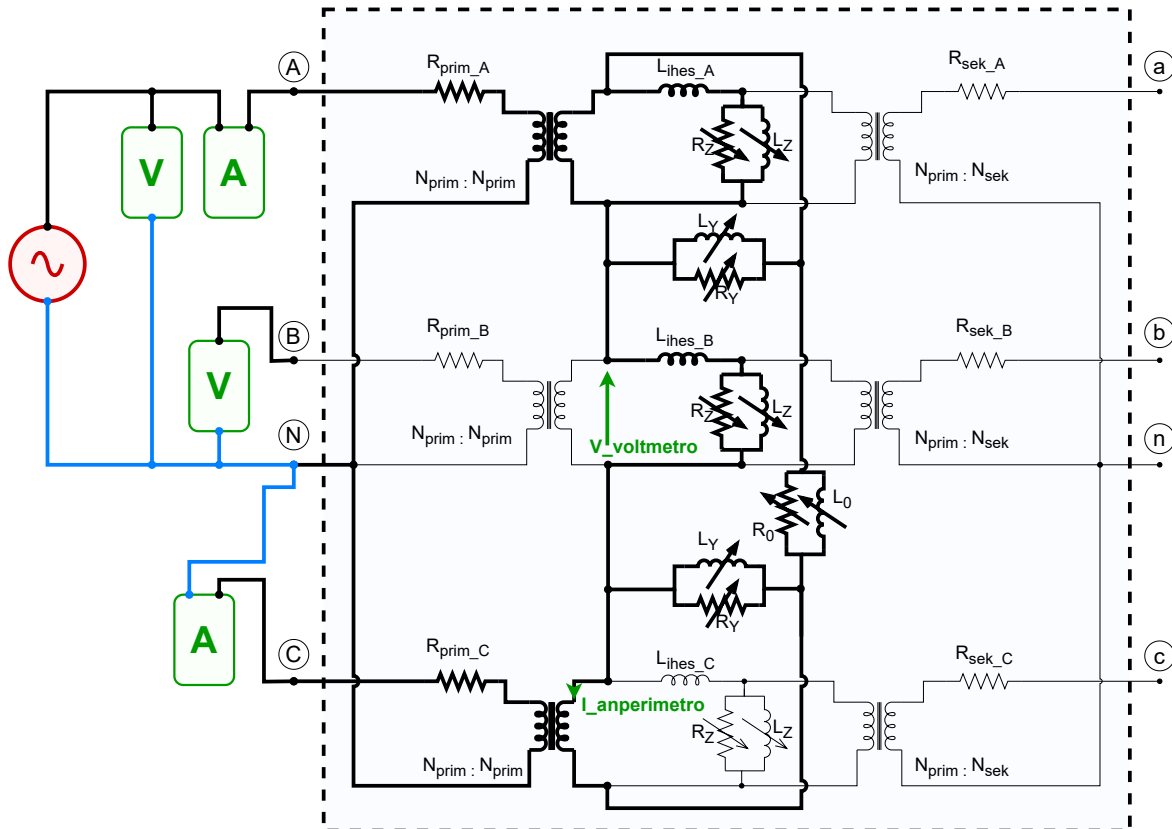
$$X_0 = Imag\left(\frac{1}{Z_h}\right) \quad (2.12)$$

$$L_0 = \frac{X_0}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (2.13)$$

Hutseko saiakuntzak

Ondoren, transformadorearen zutabe eta uztarrietako inpedantzien balioak lortzeko (Z_Z eta Z_Y) hutseko saiakuntza desberdinak gauzatu behar dira. Gainera, inpedantzia hauek ez-linealak direnez, konfigurazio bakoitzeko neurketa ezberdinak egin beharko dira, induktantzien saturazio kurba lortuz.

Hutseko saiakuntza tradizionalarekin alderatuta zenbait aldaketa dakar test mota honen. Transformadorearen alde bat (sekundarioa adibidez) hutsean mantendu behar da, primarioan aldiz, fase bakoitzari konexio ezberdin bat egin behar zaio, 2.13 eta 2.14 irudietan ikus daitekeen bezala. Bi kasuetan elikatutako fasea A da, lehenengo kasuan, B fasea zirkuitu irekian mantentzen da, bertan voltmetro bat konektatuz eta C fasea zirkuitulaburtu egiten da, bertan anperimetro bat konektatuz.



2.13 Irudia: Zutabeeko inpedantzia lortzeko saiakuntza.

Konfigurazio honi eske, zutabeetako inpedantziaren balioa lortu daiteke; izan ere, voltmetroa zutabeeko inpedantzian jauzitako tentsioa neurtzen ari da (L_2 -n jauzten den tentsio txikiarekin batera), anperimetroak inpedantzia horretatik igarotako korrontea neurtzen duen bitartean.

$$V_{jauzkera} = (X_{ihes_B} \cdot j) \cdot I_{zutabe} \quad (2.14)$$

$$V_{zutabe} = V_{osoa} - V_{jauzkera} \quad (2.15)$$

Konfigurazio honetan sakonduz, 2.15 irudiko zirkuitu sinplifikatua lortu daiteke. Anperimetro eta voltmetroetako neurriak erabilia, eta kontuan hartuta aurreko konfiguraziotik (2.13 irudia) Z_{zutabe} ezaguna dela, $Z_{uztarri}$ hurrengo ekuazioen bidez kalkulatu daiteke:

$$I_{zutabe} = \frac{V_{voltmetro}}{(X_{ihesc} \cdot j) + Z_{zutabe}} \quad (2.20)$$

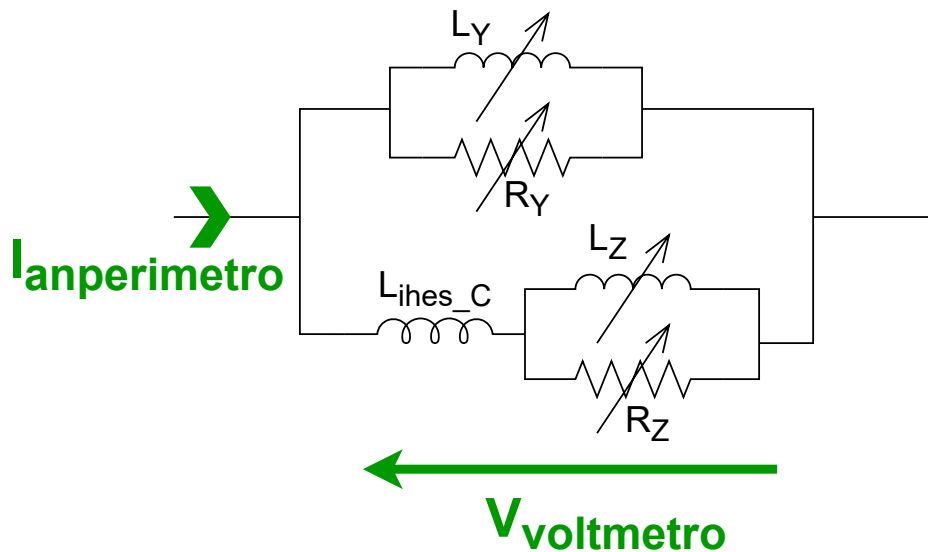
$$I_{uztarri} = I_{anperimetro} - I_{zutabe} \quad (2.21)$$

$$Z_{uztarri} = \frac{V_{voltmetro}}{I_{uztarri}} \quad (2.22)$$

$$R_{uztarri} = \text{Real}(Z_{uztarri}) \quad (2.23)$$

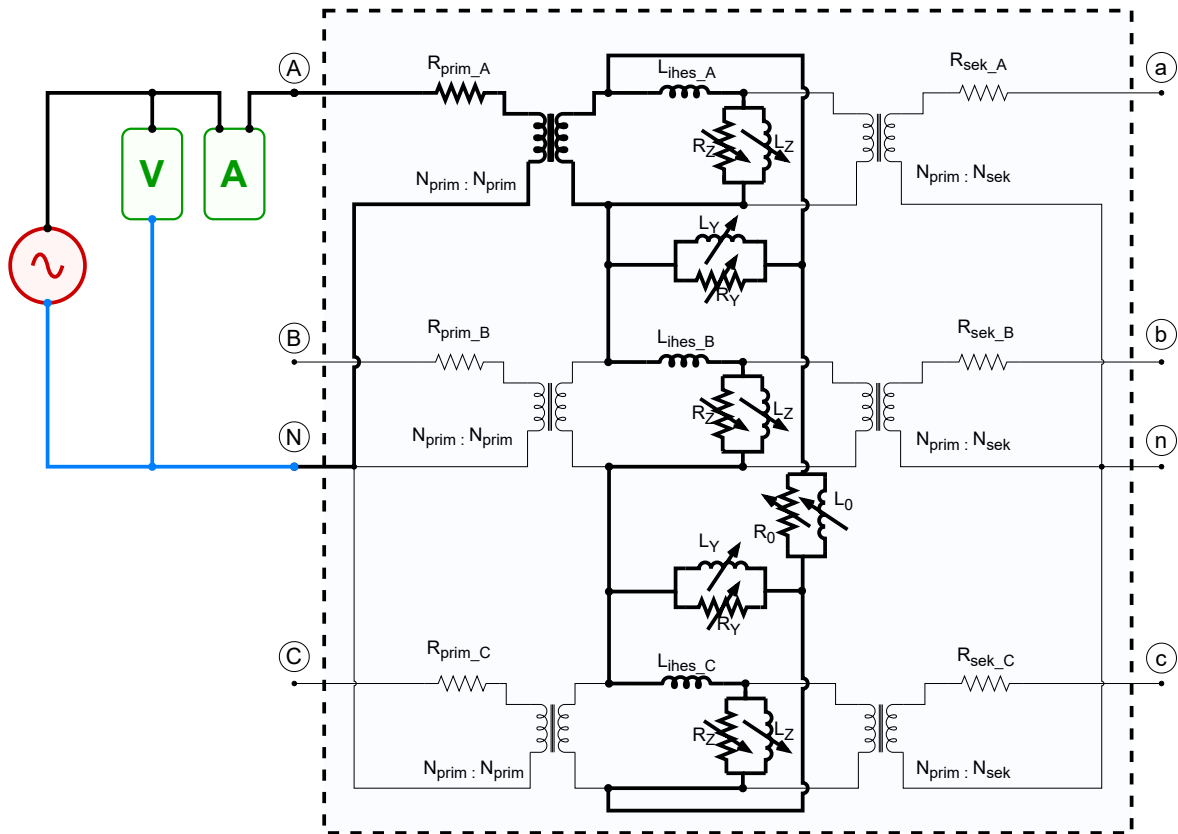
$$X_{uztarri} = \text{Imag}(Z_{uztarri}) \quad (2.24)$$

$$L_{uztarri} = \frac{X_{uztarri}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (2.25)$$



2.15 Irudia: Hutseko saiakuntzako zirkuitu sinplifikatua.

Aurreko bietaz gain, badago A fasea elikatuta muntatu daitekeen beste konfigurazio bat; gainerako faseak zirkuitu irekian mantenduta 2.16 irudian bezala. Saiakuntza hau, aurreko bietan lortutako emaitzak konprobatzeko erabili daiteke, edota aurreko bietako bat ordezkatzeko ere.



2.16 Irudia: Hutseko saiakuntzaren diagrama.

Kontuan hartuta, B eta C faseak ere elikatu daitezkeela, guztira 9 konfigurazio ezberdin lortu daitezke. Hala ere, A fasea elikatuta gertatzen zen bezala, gainerakoetan ere posible diren 3 saiakuntzetatik 2 egitea nahikoa litzateke parametro guztiak ezaugarritzeko. Ez hori bakarrik, elementu bakoitza ezaugarritzeko saiakuntza bat egitea (3 zutabeentzat eta 2 uztarrientzat) baino ez da beharrezkoa. Bost saiakuntzak eginda beraz, zutabe eta uztarri bakoitzaren kurba karakteristikoa lortu daiteke era independentean.

Saiakuntzetan zehar neurketetan sartutako erroreak ekiditeko, eta emaitzen zehaztasuna handitzeko [24]-k konfigurazio guztietako neurriak erabiltzea gomendatzen du, konfigurazioa hauetako bakoitzarekin, inpedantzia baliokide ezberdin bat ikusiko baitu elikadurak.

Kapazitantzia multitesta

Transformadoreak izango dituen efektu kapazitiboak aztertu eta kuantifikatzea ($C_{prim.g/2}$, $C_{harilkatuak/2}$ eta $C_{sek.g/2}$) 2.7 irudian, (laburtzearren C_{PG} , C_{PS} eta C_{SG} hurrenez hurren) du helburu azkeneko multitest honek.

Saiakuntza hauetan, kapazitantzien balioak lortzeko, ez da nahikoa anperimetro, voltmetro eta wattmetroekin, sare aztertzaileak behar dira, edo antzeko funtzioak dituzten gailuak. Teknologia hau ez dago eskuragarri laborategian eta hortaz, MAL honetan ezin izango dira kapazitantzia multitestak gauzatu.

Aipatzekoa da gainera, efektu kapazitiboen eragina maiztasunen eremuan duela garrantzia gehien bat [21], eta aztergai dagoen aplikazioan maiztasun industrialean egingo da lan une oro. Honengatik eta saiakuntzak egiteko zailtasunak ikusita, efektu kapazitiboen eragina ez da kontuan hartuko transformadorearen modeloa egiteko orduan.

Hala ere, saiakuntzen nondik norakoak azalduko dira jarraian. Kapazitantzia mota ezberdin 2 neurtu behar dira (fase-lurra artekoak eta primario-sekundario artekoak), horretarako, konfigurazio ezberdinekin saiatu behar da transformadorea. Efektu kapazitiboen eragina neurtzeko 2 metodo desberdin topatu dira bibliografian:

1. Grounded Specimen Test with guard (GSTg), Grounded Specimen Test (GST) eta Ungrounded Specimen Test (UST) metodoak aplikatzen dituzten saiakuntzen bidezkoa:
 - **GSTg.** Lurra eta lurrera konektatuta ez dagoen terminalen arteko kapazitantzia neurtzeko erabiltzen da test mota hau. Terminal bat lurrera konektatzen da eta bestea primario edo sekundarioko debanatueta. Honela fase-lur arteko kapazitantzia lortu daiteke.
 - **GST.** Lurrera konektatuta ez dauden terminalen lurrarekiko kapazitantzia neurtzeko erabiltzen da test hau. Kasu honetan primario edo sekundarioa lurrera konektatzen da Neurketarako terminal bat lurrean jartzen da eta beste berriz, inora konektatuta ez dagoen debanatura. Saiakuntza honekin primario eta sekundarioko fase-lur kapazitantzien batura neurtuko da.

- **UST.** Lurrera konektatuta ez dauden bi terminalen arteko kapazitantzia neurtzeko balio du test honek. Terminal bakoitza debanatu bakoitzean jartzen da neurketa hau egiteko.

Guztira 5 konfigurazio ezberdin muntatu daitezke metodo hau aplikatuta (2.5 taula).

2.5 Taula: Transformadorearen kapazitantzia baliokideak lortzeko multi-testa

Znbk.	Test mota	Elikatu	Guard	UST	Lurrera	Neurtutakoa
1	GSTg	Primarioa	Sek.			C_{PG}
2	GSTg	Sekundarioa	Prim.			C_{SG}
3	UST	Primarioa		Sek.		C_{PS}
4	UST	Sekundarioa		Prim.		C_{PS} (i)
5	GST	Primarioa			Sek.	$C_{PG} + C_{PS}$ (ii)

i. laugarren test-a hirugarrenaren alternatiba bat da C_{PS} neurtzeko.

ii. Bostgarren testa lehenengoaren eta hirugarrenaren konprobaketa egiteko balio du.

2. Lurreko konexio eta elikatutako aldearen arabera, lau konfigurazio ezberdin muntatu daitezke transformadorean eta guzti horietatik 4 kapazitantzia balio lortu daitezke (2.6 taula) [24].

2.6 Taula: Transformadorearen kapazitantzia baliokideak lortzeko saiakuntzak

Konfigurazioa			Kapazitantzia baliokidea
Elikatu	Zirkuitulaburtu	Lurrera	
Prim.	Sek.		$C_1 = C_{PG} // (C_{PS} + C_{SG})$
Prim.	Sek.	Sek.	$C_2 = C_{PG} // C_{PS}$
Sek.	Prim.		$C_3 = C_{SG} // (C_{PS} + C_{PG})$
Sek.	Prim.	Prim.	$C_4 = C_{SG} // C_{PS}$

Aurreko neurketatik transformadorearen kapazitantzia baliokideak kalkulatu daitezke hurrengo ekuazioak aplikatuz:

$$C_{PS} = \frac{C_{PS_1} + C_{PS_2}}{2} \equiv \frac{\sqrt{C_2 \cdot (C_4 - C_3)} + \sqrt{C_4 \cdot (C_2 - C_1)}}{2} \quad (2.26)$$

$$C_{PG} = C_2 - C_{PS} \quad (2.27)$$

$$C_{SG} = C_4 - C_{PS} \quad (2.28)$$

C_{PS} lortzeko, C_{PS_1} eta C_{PS_2} -ren arteko bataz bestekoa kalkulatu da. Izan ere, 2.6 taulan 4 ekuazio daude baina 3 parametro baino ez. Kalkulatutako balioa beraz, egokia izango da C_{PS_1} eta C_{PS_2} -ren arteko aldea txikia denean.

2.2.4 Transformadorea parametrizatzeko saiakuntzak: Hardwarea

Saiakuntzak egin ahal izateko CINERGIA GE & EL+15 vAC/DC tentsio-iturri programagarria erabili da (2.17 irudia), hau transformadorera konektatu da zuzenean (2.18 irudia). Neurketak egiteko YOKOGAWA DL850EV osziloskopioa (2.19 irudia) erabili da uhinen forma guztia eskuratuz.

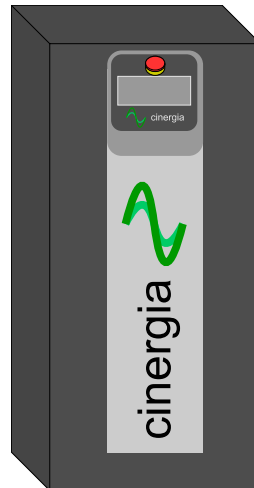
Erabilitako kableen erresistibitatea neurtzeko eta transformadorearen elikatutako tentsioa ikuskatzeko multmetro bat erabili da. Azkenik une oro saiakuntzetan zehar transformadoreak xurgatutako korrontea izendatuaren azpitik dagoela konprobatzeko pintza anperimetriko bat erabili da.

Tentsio-iturria

Transformadoreari saiakuntza guztiak egiteko **CINERGIA GE & EL+15 vAC/DC** tentsio-iturri programagarria erabili da (2.17 irudia). Operazio modu ezberdinetan lan egin dezake (Tentsio-iturri programagarria, GE Grid Emulator moduan, edo karga, El Electronic Load moduan). Tentsio-iturri honek *back to back* motako topologia du, AC eta DC tentsioak sortzea ahalbidetzen diona. Honetaz gain harmoniko ezberdinen anplitudearen kontrola ere eskaintzen du, gailuaren irteerako tentsio uhinaren forma aldatuz.

Plataformako modeloak 15 kVA-ko potentzia izendatua du eta tentsio mailak ($750 V_{DC}$ eta $277 V_{RMS}$ F-N, $10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}$ -eko maiztasun tartean). Korrontearen aldetik, 60 A elikatu ditzake DC moduan eta fase bakoitzeko 22 A AC moduan lanean (Informazio gehiago I. Eranskinean).

Ezaugarri hauekin guztiekin, CINERGIA GE & EL+15 vAC/DC tentsio-iturria plataforma esperimentalak izan ditzakeen beharrianak gainditzen ditu, saiakuntza egiteko edota beste proiektu batzuetan baliagarria izan daitekeen marjina bat utziz.

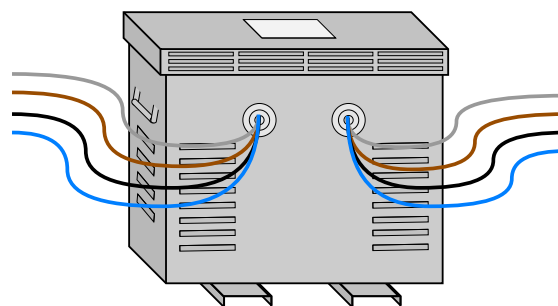


2.17 Irudia: CINERGIA GE & EL+15 vAC/DC.

Transformadorea

Plataformako transformadorea **Tecnotraforen TT 10 KVA TRAF0 III IP-23** transformadorea da (2.18 irudia). Gailuak 10 KVA-ko potentzia izendatua du eta 400 V/400 \pm 5% V-eko tentsio izendatua, eta beraz tentsioan aldaketarik eman gabe isolamendu elektrikoa eskaintzen du primario eta sekundario artean.

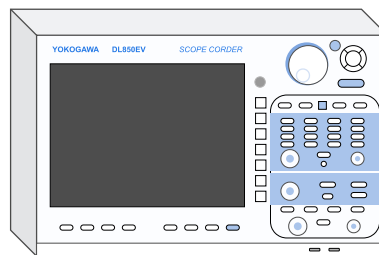
Transformadorearen konexio mota YNyn0 da korrante eta tentsio homopolarrei bidea ahalbidetuz. Geometrikoki 70x70 mm^2 -ko 3 zutabe ditu eta karkasaren materiala ferromagnetikoa izanda (M330-50A), fluxu magnetiko homopolarri nolabaiteko itzulera bidea eskaintzen dio (Informazio gehiago II. Eranskinean).



2.18 Irudia: Tecnotraforen TT 10 KVA TRAF0 III IP-23.

Osziloskopioa

Saiakuntza guztietako neurketak egiteko YOKOGAWA DL850EV osziloskopioak (2.19 irudia) dakartzan tentsio neurgailu eta pintza anperimetrikoak erabili dira. Hauek oszilopiora konektatu dira zuzenean neurtutako seinaleak bistaratzuz. Saiakuntza bakoitzean 0,1 segunduko seinaleak gorde dira $5 \cdot 10^5$ -eko laginketa maiztasunarekin. Informazio guzti hau, USB bat erabilita ordenagailura bidali da zeinetan *MATLAB* bidez, saiakuntzetako datu guztiak landu eta kalkuluak egiteko erabili diren (Informazio gehiago III. Eranskinean).

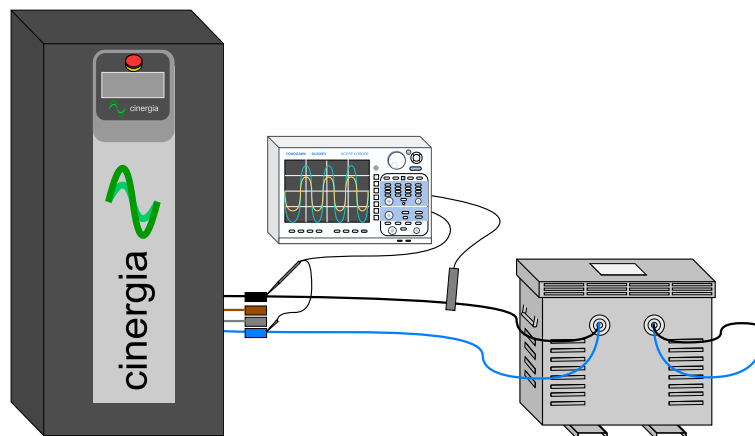


2.19 Irudia: YOKOGAWA DL850EV Osziloskopioa.

2.2.5 Transformadorea parametrizatzeko saiakuntzak: Emaita esperimentalak

Zirkuitulaburreko saiakuntza

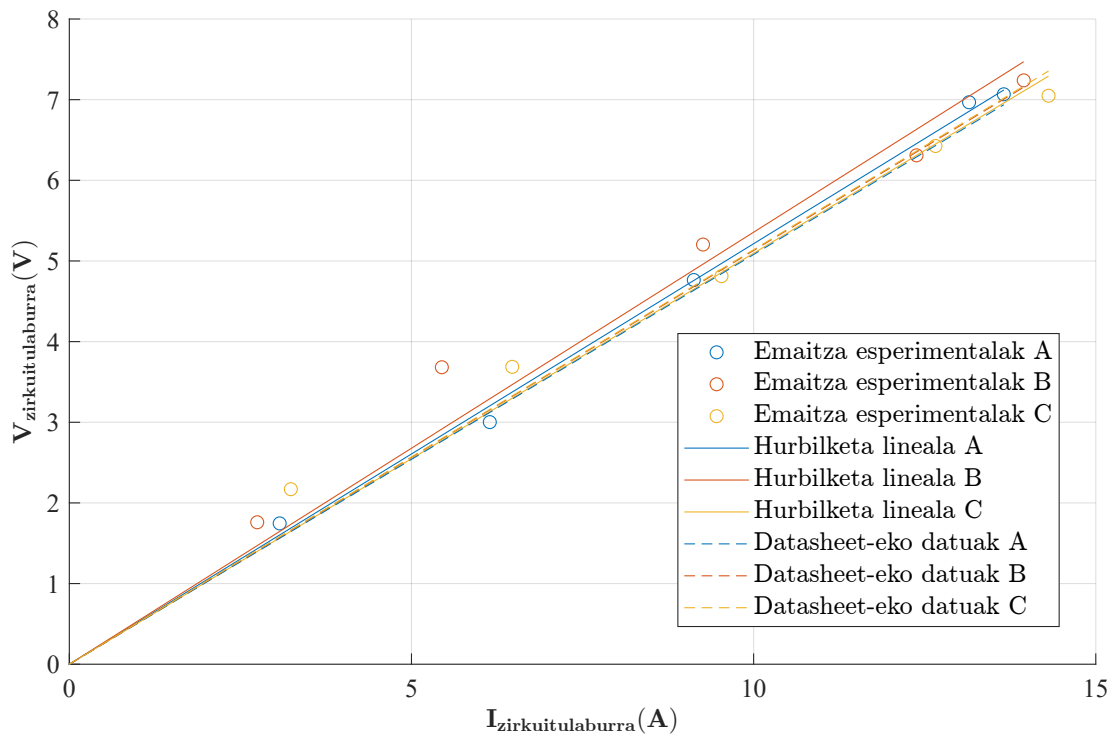
Zirkuitulaburreko saiakuntzak gauzatu ostean (2.20 irudia) transformadorearen harilkatuetako erresistentzia eta ihes inductantzien balioak lortu dira 2.1-2.5 ekuazioak aplikatuta. Parametro bakoitza ondo ezaugarritzeko saiakuntza fase bakoitzean egin da, bakoitzean tentsio ezberdinak aplikatuta. 2.1 eta 2.2 grafikoetan lortutako emaitza esperimentalak ikus daitezke tentsio -korrante grafiko baten irudikatuta.



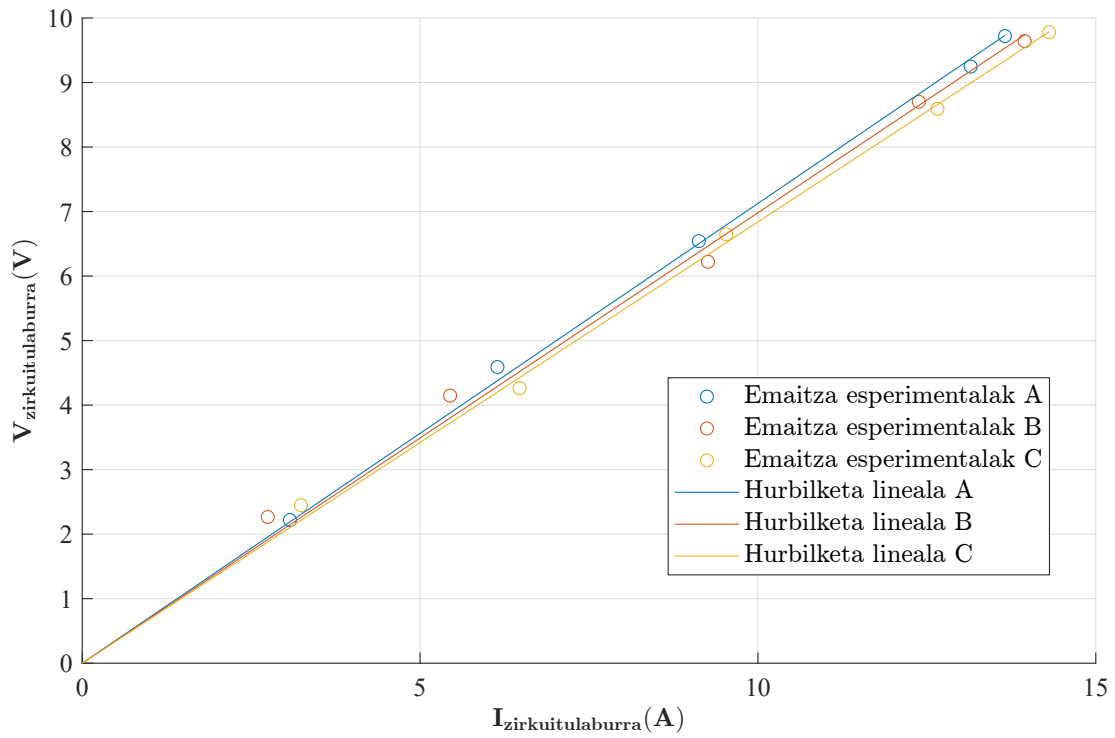
2.20 Irudia: Zirkuitulaburreko saiakuntza egiteko montaketa.

Parametro hauen balio definitiboa lortzeko tentsio maila ezberdinetan egindako sai-kuntzen arteko datuen doiketa lineal bat egin da MATLAB-ek duen *lsqcurvefit* funtzioa erabilita (2.1 eta 2.2 grafikoak). Doiketa lineala izatea erabaki da, bai erresistentzia zein induktantzien kasuan. Erresistentziek harilkatuaren erresistentzia elektrikoa eredutzen dute eta beraz, hauen balioa konstantea izan behar baita. Induktantzien kasuan, hauek, ihes fluxu magnetikoak eredutzen dituzte transformadorearen barnean eta fluxu hauek airetik itxiko direnez, induktantzia honen balioa ere konstantea izan behar du.

Azkenik, erresistentziekin egindako doiketak, transformadorearen datasheet-eko datuekin konparatu dira, hauen arteko aldea ikusteko (2.1 grafikoa).



2.1 Grafikoa: Harilkatuetak erresistentziak (R_{prim} eta R_{sek}).



2.2 Grafikoa: Ihes induktantziak (L_{ihes}).

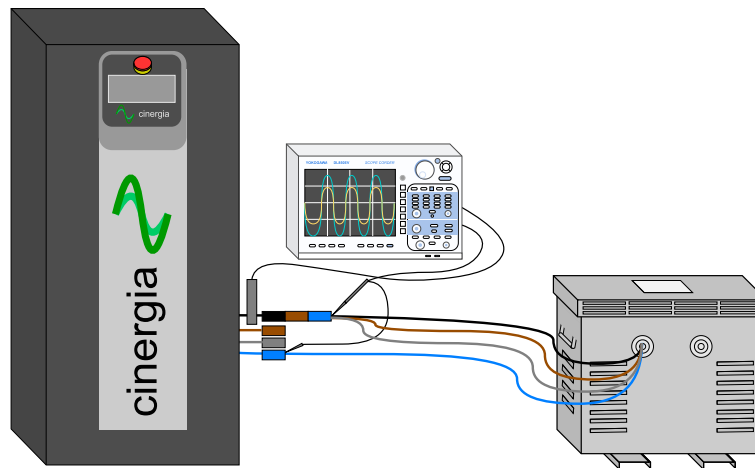
Aurreko grafikoetako doiketen emaitzak laburbildu dira jarraian (2.7 taula).

2.7 Taula: Zirkuitulaburreko saiakuntzetatik lortutako parametroen balioak.

Fasea	$R_{prim}(\Omega)$	$R_{sek}(\Omega)$	$L_{ihes}(H)$
A	0.326	0.195	$2.268 \cdot 10^{-3}$
B	0.335	0.200	$2.222 \cdot 10^{-3}$
C	0.319	0.190	$2.177 \cdot 10^{-3}$

Zero-sekuentziako saiakuntza

Behin zero-sekuentziako saiakuntza gauzatu (2.21 irudia), 2.6-2.13 ekuazioak aplikatu dira transformadorearen erresistentzia eta inдукtancia homopolarren baliokideak lortzeko. Kasu honetan ere, saiakuntza tentsio ezberdinekin egin da (korrante izendatutik oso gertu geratu arte), inpedantzia homopolarren portaera transformadorearen funtzionamendu gunean ondo ezaugarritzeko.



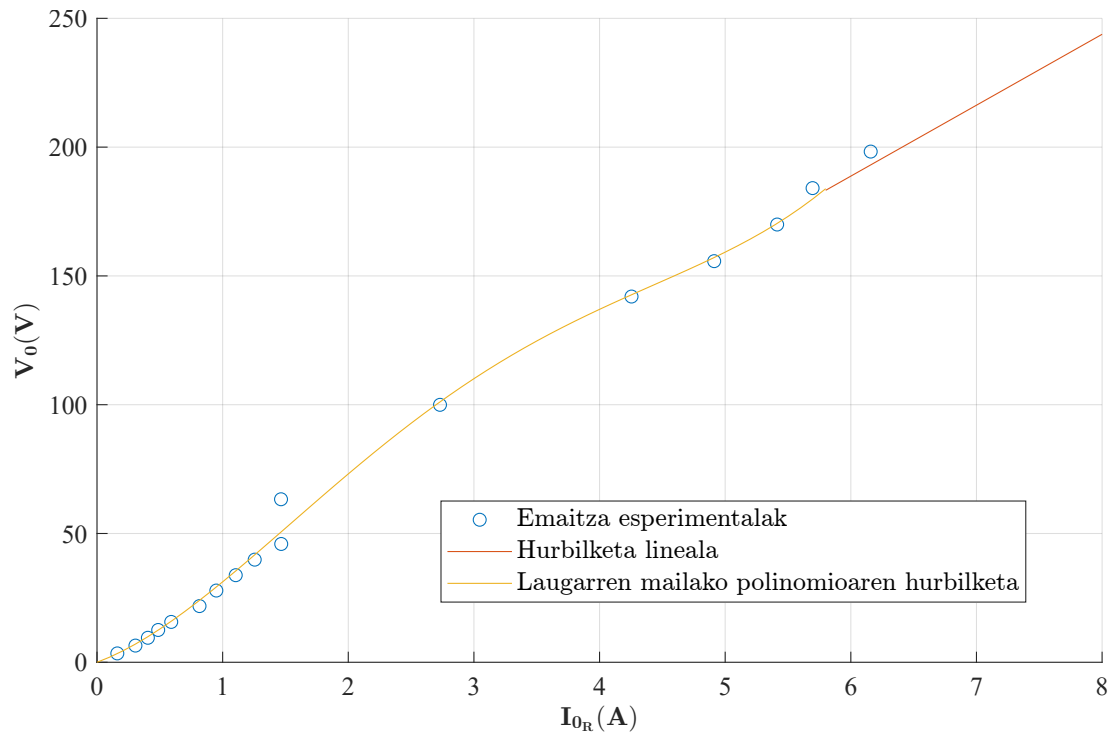
2.21 Irudia: Zero-sekuentziako saiakuntza egiteko montaketa.

Zirkuitulaburreko saiakuntzaren kasuan bezala, honetan ere emaitza esperimentalak tentsio - korrante grafiko baten irudikatu dira. Puntu esperimentalak *lsqcurvefit* funtzioaren bidez doitu dira.

Erresistentzia homopolar baliokideak joera lineala du, hala ere, saiakuntzak egin diren tentsioetan erresistentziaren balioa 4. mailako polinomio batera hurbiltzea egokiagoa da. Kurba 4. mailako polinomio batera doitzeak desabantaila argia du, izan ere, datu esperimentaletatik gertu dauden tentsio eta korrante balioentzat hurbilketa oso ona den arren, datu hauetatik urrun dauden guneetan (tentsio homopolar altuekin) polinomioaren formak joera lineala galtzen du eta beraz, hurbilketa oso txarra da gune horietan.

Arazo hau ekiditeko erresistentzia doitzeko bi funtzio erabili dira (2.3 grafikoa), saiakuntzak egin diren gunean 4. mailako polinomioaren doiketa erabili da (benetan transformadorea erabiliko den eremua baita) eta saiakuntzarik egin izan ez den guneentzat 1. mailako polinomio batera doitu da kurba (simulazioak egin ahal izateko).

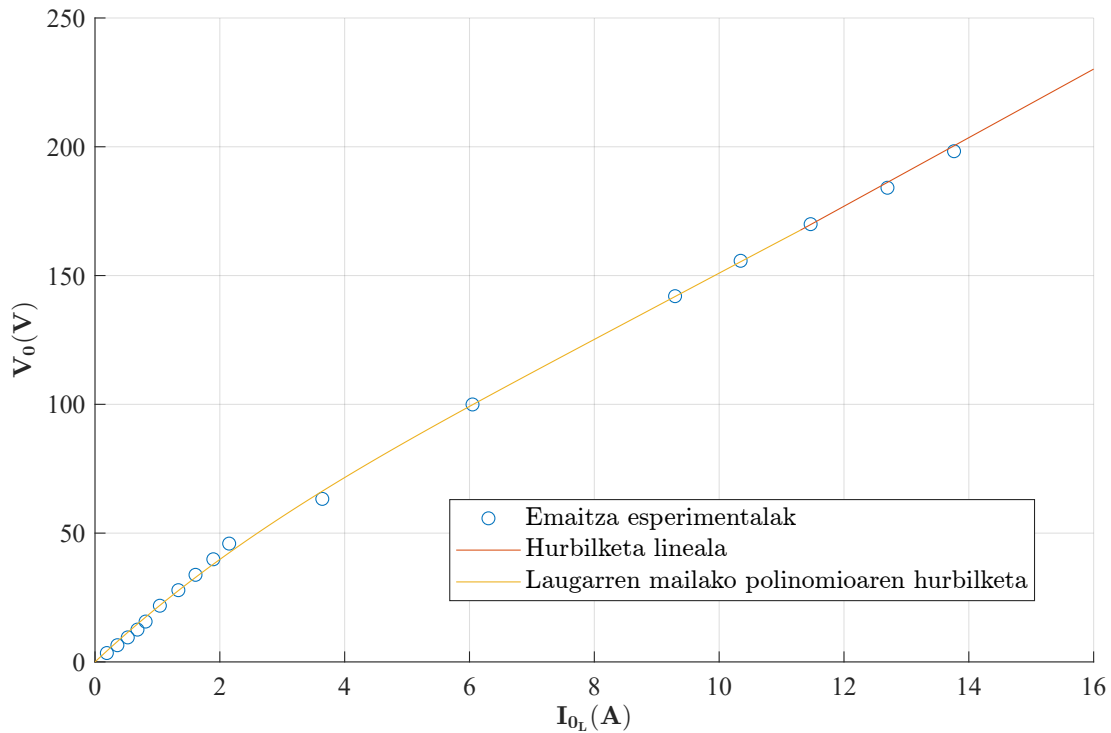
$$V_{homopolarra} = \begin{cases} A \cdot I_{homop.} + B \cdot I_{homop.}^2 + C \cdot I_{homop.}^3 + D \cdot I_{homop.}^4, & , I_{homop.} < I_{krit.} \\ E + F \cdot I_{homop.} & , I_{homop.} \geq I_{krit.} \end{cases}$$



2.3 Grafikoa: Erresistentzia homopolarra (R_0).

Induktantziak ere, nahiko joera lineala du, izan ere, induktantzia honek airetik eta transformadorearen karkasatik dabilen fluxu magnetikoa eredutzen ditu. Karkasaren materiala ferromagnetikoa bada ere, airea berriz paramagnetikoa eta beraz, aireak markatuko du induktantziaren joera nagusia.

Hala ere, karkasa ferromagnetikoa izanda, hau saturatu egin daiteke eta hortaz tenstio homopolarrak gora egiten duenean induktantzia homopolarraren balioa ere aldatuz joango da. Honengatik guztiatik, erresistentziaren kasuan bezala, induktantzia homopolarra 4. mailako polinomio batera doitu da saiakuntzen eremuaren inguruan eta 1. mailako polinomio batera gune honetatik kanpo(2.4 grafikoa),(2.29 ekuazioa).



2.4 Grafikoa: Induktantzia homopolarra (L_0).

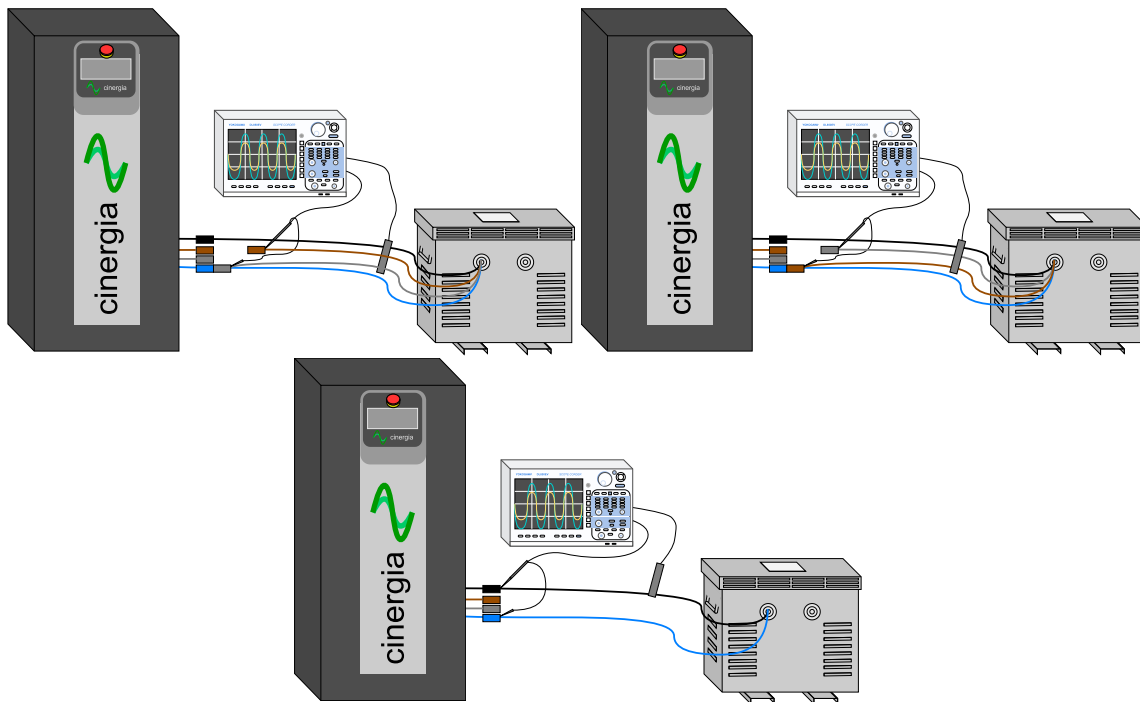
Kurba hauen alde negatiboa ezaugarritzeko, alde positiboaren simetriko negatiboa sortu da. Inpedantzia homopolarra beraz, erresistentzia eta induktantzia funtzioak izango dira (2.8 taula).

2.8 Taula: Osagai homopolarren doitutako parametroak.

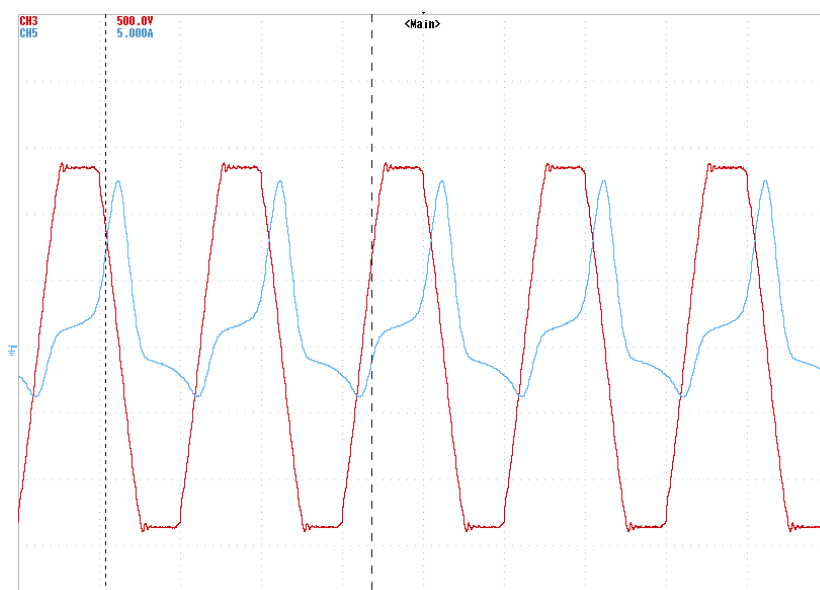
Parametroa	A	B	C	D	E	F
R_0	18,084	17,924	-5,214	0,436	23,538	27,534
X_0	22,683	-1,620	0,119	-0,003	17,152	13,313

Hutseko saiakuntzak

Hutseko saiakuntzetako (2.22 irudia) datuak aztertuta, argi dago seinaleen harmonikoen maila oso altua dela, osziloskopioan neurtutako korrante eta tentsioak transformadorearen fluxu magnetikoen proportzionalak baitira (2.23 irudia).

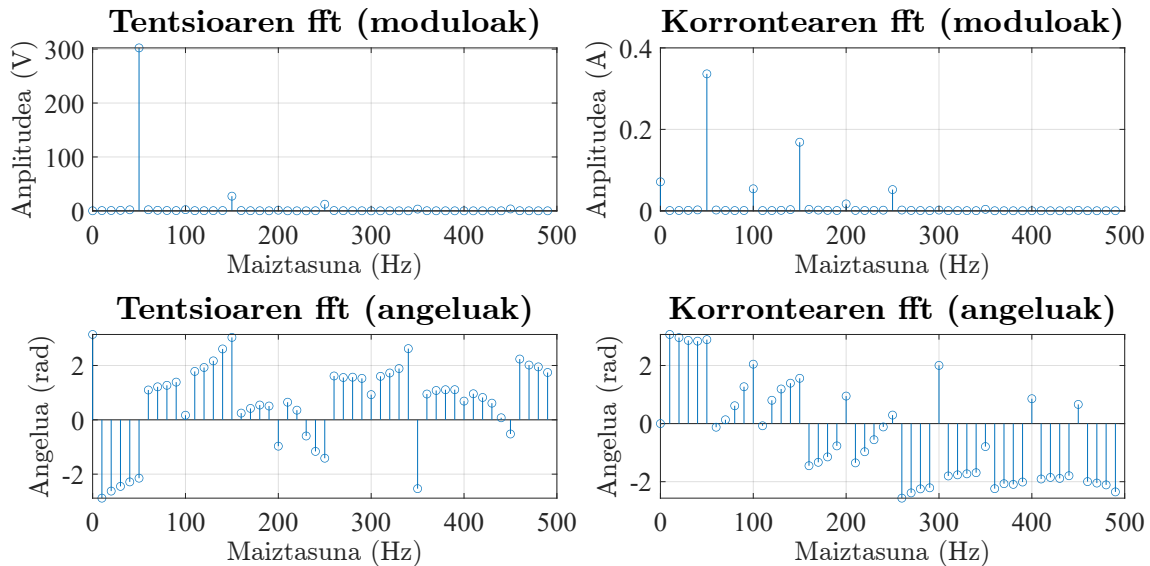


2.22 Irudia: Hutseko saiakuntzak egiteko montaketak.



2.23 Irudia: Hutseko saiakuntzetan osziloskopioak neurtutako uhinak.

Egoera ikusita ezinbestekoa da seinaleei Fourierren transformatua aplikatzea, transformatu honi esker seinaleak dituen harmoniko bakoitzaren anplitude eta fasea deskonposa daiteke (2.24 irudia).



2.24 Irudia: Hutseko saiakuntzeetako uhinen Fourier transformatua.

Seinaleen deskonposaketa ezinbestekoa da emaitzen zehaztasuna bermatzeko, izan ere, zutabe eta uztarrietako inpedantzia baliokideen balioak, erreaktantziak hain zuzen ere, maiztasunaren menpekoak baitira:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \tag{2.29}$$

Kalkuluak egiterako orduan beraz, zenbait aldaketa egin dira, rms balioak ez baitira horren zehatzak izango inpedantziak kalkulatzeko orduan.

Zutabeko inpedantziaren balioa lortzeko (lehen saiakuntza), honako prozedura jarraitu da:

1. Ihes induktantzian jausitako tentsioa kalkulatzeko, Fourierren transformatua aplikatu zaio korronte seinleari MATLAB-en *fft* funtzioaren bidez eta ondoren induktantzien definizioa aplikatuta, tentsioaren jauskera lortu da, eta honekin beraz, zutabearen aplikatuta dagoen tentsioa.

$$v_{jauskera}(t) = L_{ihes} \cdot \frac{di_{osoa}}{dt} \tag{2.30}$$

$$v_{zutabe}(t) = v_{osoa}(t) - v_{jauskera}(t) \tag{2.31}$$

2. Behin zutabeko adarrean korrante eta tentsioak ezagututa, potentzia aktiboaren kalkulua erabili da erresistentziaren balioa lortzeko, eta ostean korrante erresistibo eta erreaktiboak banatzeko:

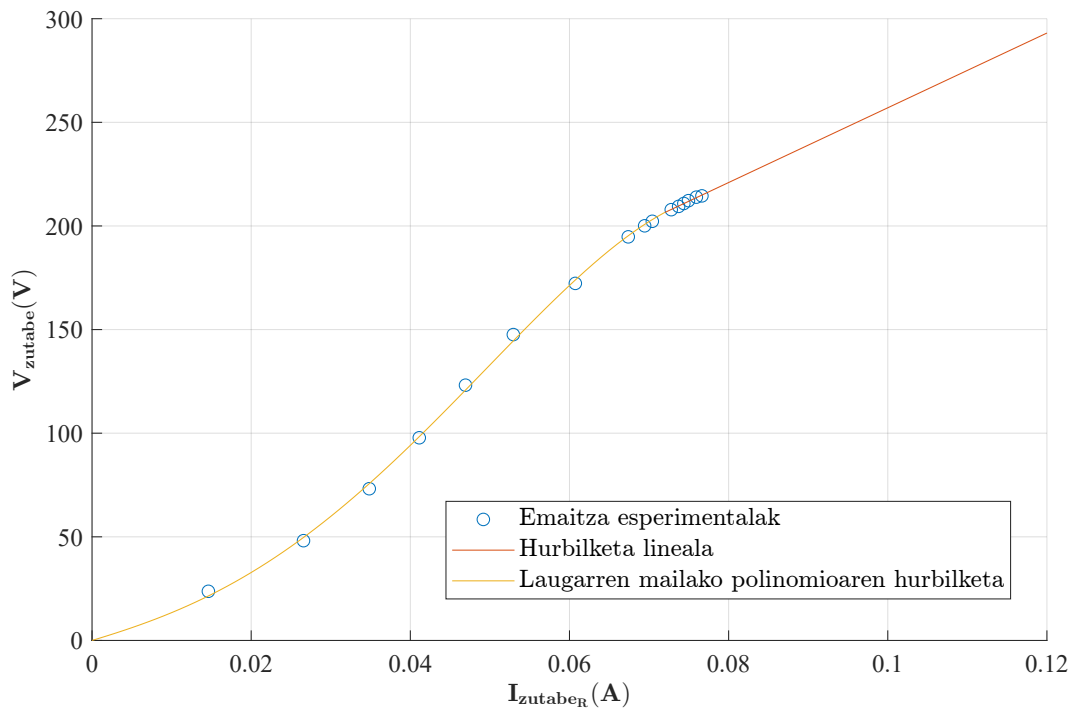
$$p(t) = V_{zutabe}(t) \cdot i_{zutabe}(t) \quad (2.32)$$

$$R_{zutabe} = \frac{rms(v_{zutabe})^2}{mean(p_t)} \quad (2.33)$$

$$i_R(t) = \frac{v_{zutabe}(t)}{R_{zutabe}} \quad (2.34)$$

$$i_L(t) = i_{zutabe}(t) - i_R(t) \quad (2.35)$$

Erresistentziaren balioa lortzeko, aurreko kasuetan bezala, 4. mailako polinomio batera doitu da saiakuntza datuak dauden gunean eta doiketa lineala egin da datuak ez dauden guneean, emaitza esperimentalen joera hori baita (2.5 grafikoa).

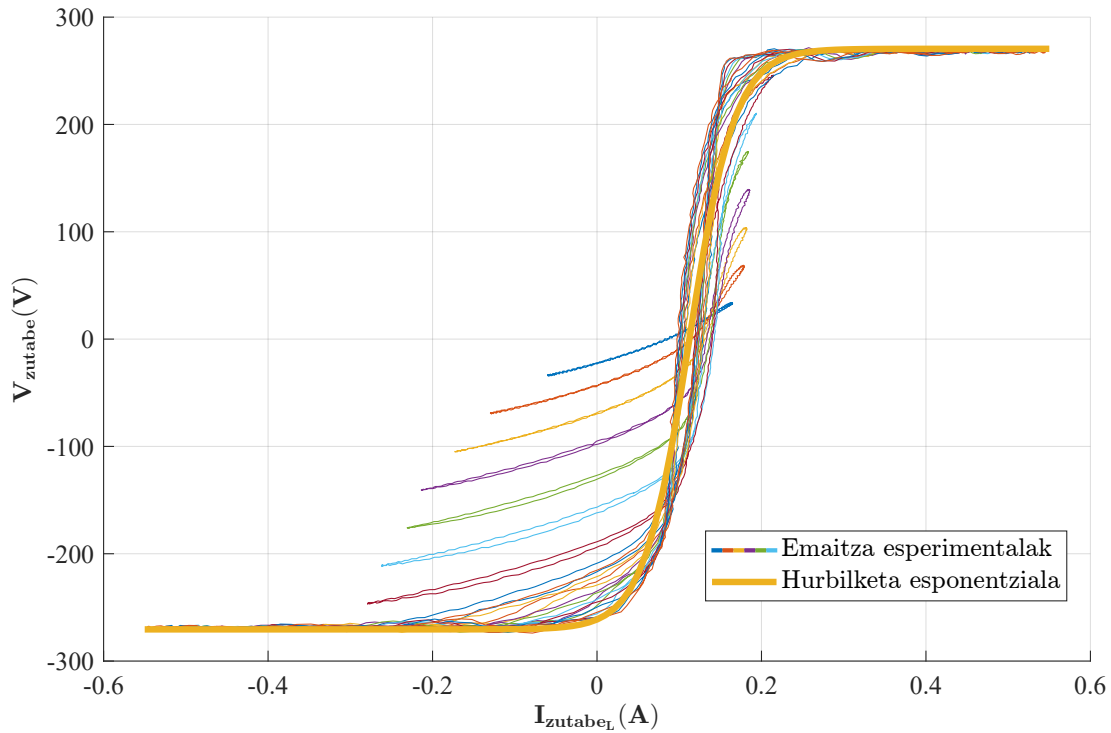


2.5 Grafikoa: Zutabeko erresistentzia (R_z).

Induktantziaren korrante eta tentsio datuak izanda, hauen arteko grafikoa eskuratu da (2.6 grafikoa), zutabeko erreaktantzia ereduaren duena. Tentsio maila ezberdinetan lortutako datuetaz baliatuta, kurbaren parametro ezberdinak doitu dira berriz ere MATLABeko *lsqcurvefit* funtzioa aplikatuta. Kasu honetan datu esperimentalen joera ikusita, kurba esponentzial batera doitzea erabaki da, 2.36 ekuazioko forma duena:

$$V_{zutabe} = \frac{A}{1 + e^{-B \cdot (I_{zutabe} - C)}} + 100 \cdot I_{zutabe} - \frac{A}{2} \quad (2.36)$$

Kasu honetan saiakuntza bakoitzeko ziklo oso bat irudikatu da V-I grafikan, tentsio maila bakoitzean zutabeak egiten duen zikloa bistaratzuz. Horien guztien gainetik egindako hurbilpena grafikatu da.



2.6 Grafikoa: Zutabeko inдукtancia (L_z).

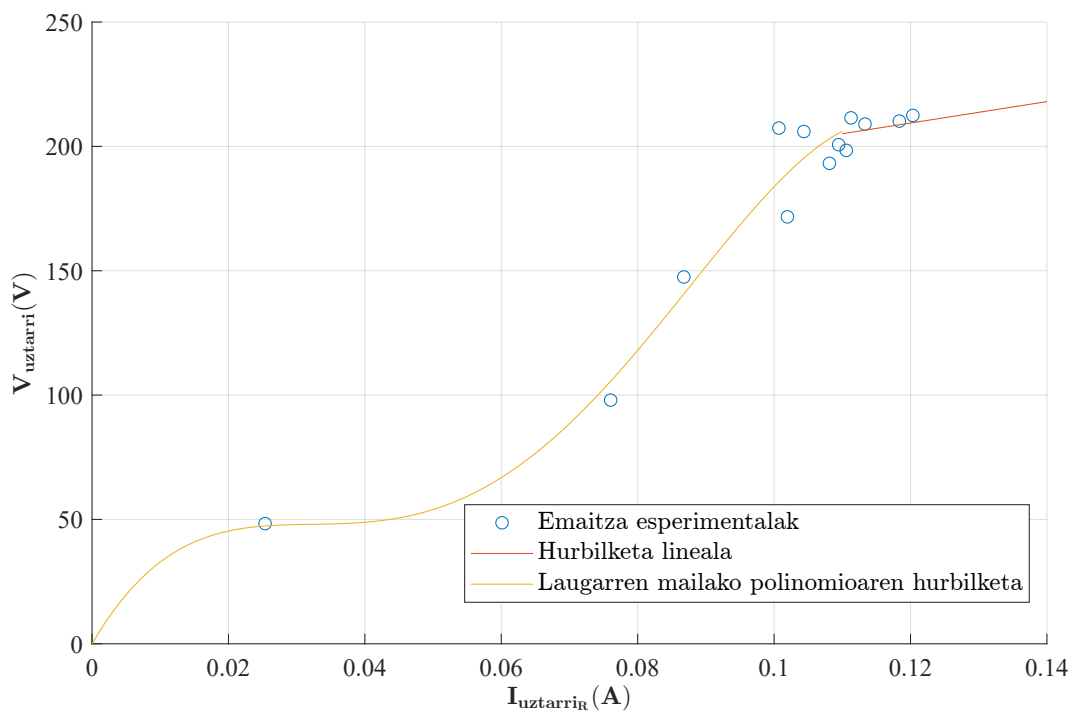
Lortutako kurbak, saturagarria den inдукtancia baten ohiko forma du, zeinen histeresi zikloaren zabalera oso estua den. Aipatzekoa da kurba ez dagoela (0,0) jatorri puntuan zentratuta eta beraz aurretiazko imantazio-hondar bat dagoela onartu daiteke.

Bestetik, teorikoki kurba guztiak histeresi-zikloaren barnean egotea espero zen, baina aipatutako kurbaren desplazamenduak kurba esperimental batzuk (saturatu gabe daudenak) besteetatik aldentuta geratzea eragin du.

Horretaz gain azpimarratzekoa da egindako doiketan ez dela histeresi-zikloaren hurbilketa bat lortzen saiatu, kurba simple bat baizik (2.6 grafikoko hurbilketa esponentziala), eta beraz, honek errore bat gehituko dio errore esperimentalari.

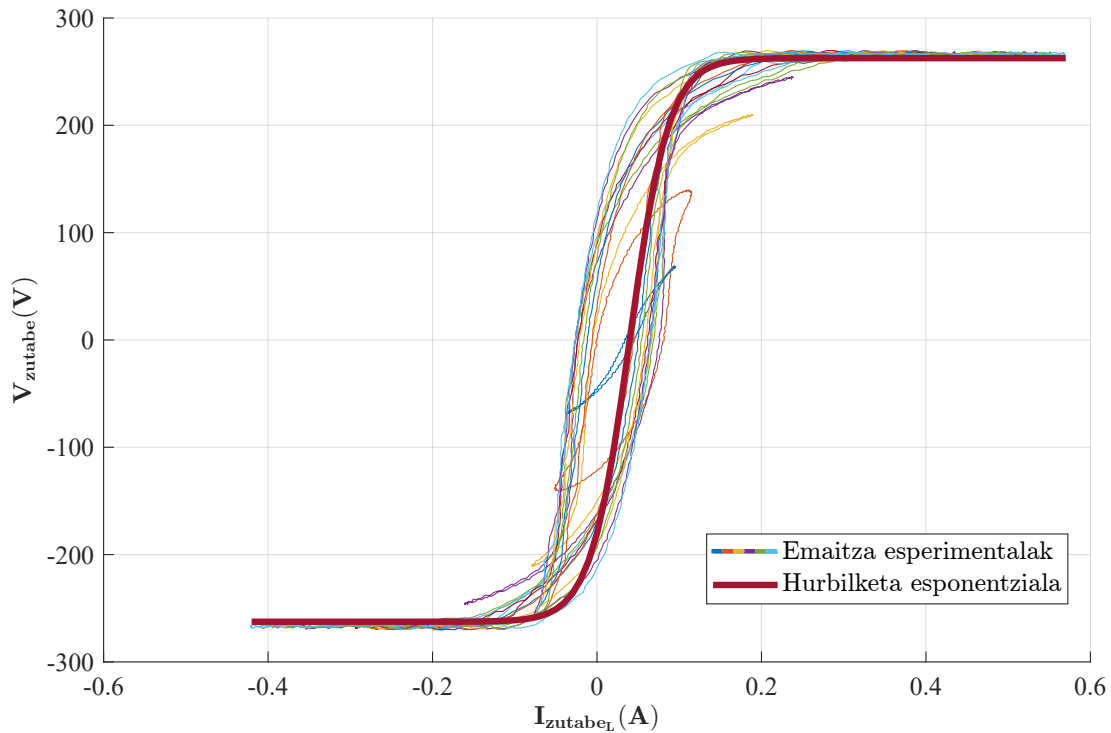
Uztarriko inpedantzia baliokidea lortzeko (bigarren saiakuntzen datuetatik), aurreko kasuko antzeko garapena egin da:

1. Zutabeko adarreko inpedantzia osoa ezagututa, eta honek jasango duen tentsioa ere jakinda, adar honetatik joango den korrontea kalkulatu daiteke, eta hortaz uztarriko adarretik joango den korrontea ere (2.15 irudian ikusi daiteke).
2. Uztarriko korronte eta tentsioak ezagututa, aurreko kasuan bezala, uztarriko erresistentzia eta erreaktantzien kurba karakteristikoak lortu daitezke (2.7 eta 2.8 grafikoak). Zutabeko kurben forma berdinak izango dituzte hauek; 4. eta 1. mailako polinomioa erresistentziaren kasuan eta esponentziala induktantziarenean.



2.7 Grafikoa: Uztarriko erresistentzia (R_y).

Grafikoa aztertuta, argi dago kasu honetan egindako hurbilpenak errore nabaria izango duela, erresistentzia honen kalkulurako aurretik kalkulaturako parametro guztiak erabili baitira. Garrantzitsua da aipatzea kasu honetan datu esperimentaletako kurbak lortzeko seinaleen arteko eragiketa batzuk egin behar izan direla, datuen zehaztasuna murriztuz.



2.8 Grafikoa: Uztarriko induktantzia (L_y).

Uztarriko induktantziaren ezaugarri kurbaren kasuan, zutabearen kurban baino ageriagoa da honen histeresi zikloa eta jatorriko puntuarekiko desplazamendua askoz txikiagoa da. Kasu honetan kurba guztiak daude histeresi zikloaren barnean teorikoki espero den bezala. Hala ere aurrekoan bezala, ez da ziklo osoaren hurbilketa egin eta beraz histeresiaren fenomenoak alde batera utzi da.

Erresistentzien kasuan, kurbaren alde negatiboa lortzeko alde positiboaren simetrikoa kalkulatu da. Induktantzien kurbak berriz tarte positibo zein negatiboa adierazten dute. Jarraian kurba hauen doiketa parametroak adierazi dira (2.9 eta 2.10 tauletan).

2.9 Taula: Nukleoko erresistentzien doitutako parametroak.

Param.	A	B	C	D	E	F
R_z	$1,156 \cdot 10^3$	$10,938 \cdot 10^3$	$844,956 \cdot 10^3$	$-9,257 \cdot 10^6$	76,688	$1,803 \cdot 10^3$
R_y	$4,718 \cdot 10^3$	$-165,487 \cdot 10^3$	$2,342 \cdot 10^6$	$-9,750 \cdot 10^6$	157,792	430,065

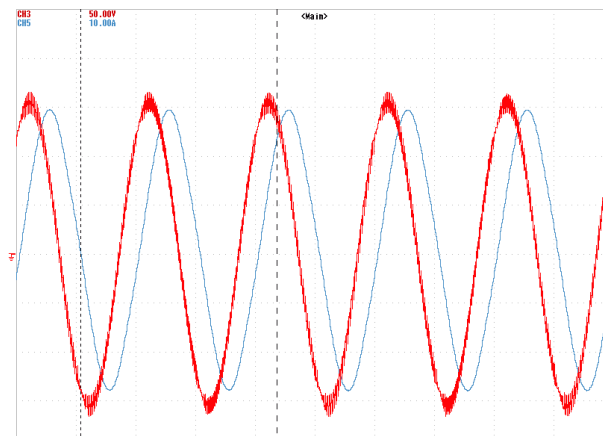
2.10 Taula: Nukleoko erreaktantzien kurba karakteristikoaren parametroak.

Param.	A	B	C
X_{zutabe}	382,515	36,057	0,112
$X_{uztarri}$	371,322	42,195	0,040

2.2.6 Transformadorearen ereduaren balidazioa

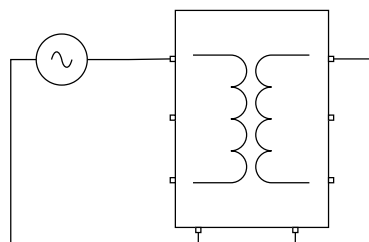
Aurreko ataleko parametroak erabilia transformadorearen eredu implementatu da *Simulink*-en. Eredu honetan plataforma esperimentalean egindako saiakuntzak errepikatu dira, simulazioen erantzuna egokia dela konprobatzeko. Hauetan guztietan, transformadorearen primarioko korronea aztertuko da, seinale hau baita, modelo eta transformadore errealaren arteko aldea ikusteko seinalerik adierazgarriena.

Emitzak aztertzerako orduan, garrantzitsua da gogoratzea Cinergia tentsio-iturriak harmoniko maila handiko seinaleak sortzen dituela ezarri beharreko tentsioa oso txikia denean (2.25 irudia). Honek emaitza esperimental eta simulazioen arteko aldea egotea eragin dezake elikadura tentsioa oso txikia den saiakuntzetan.

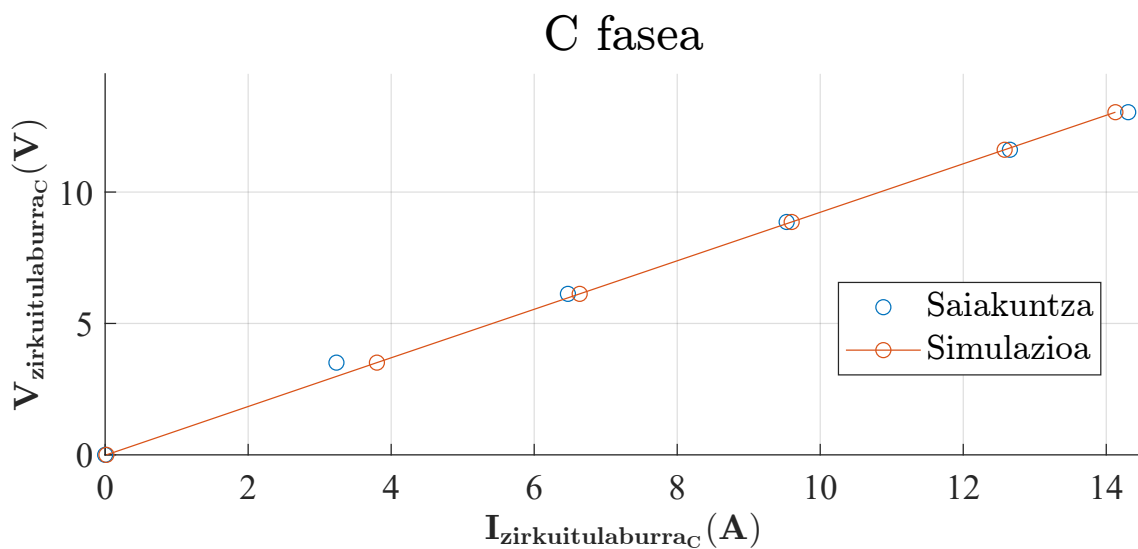
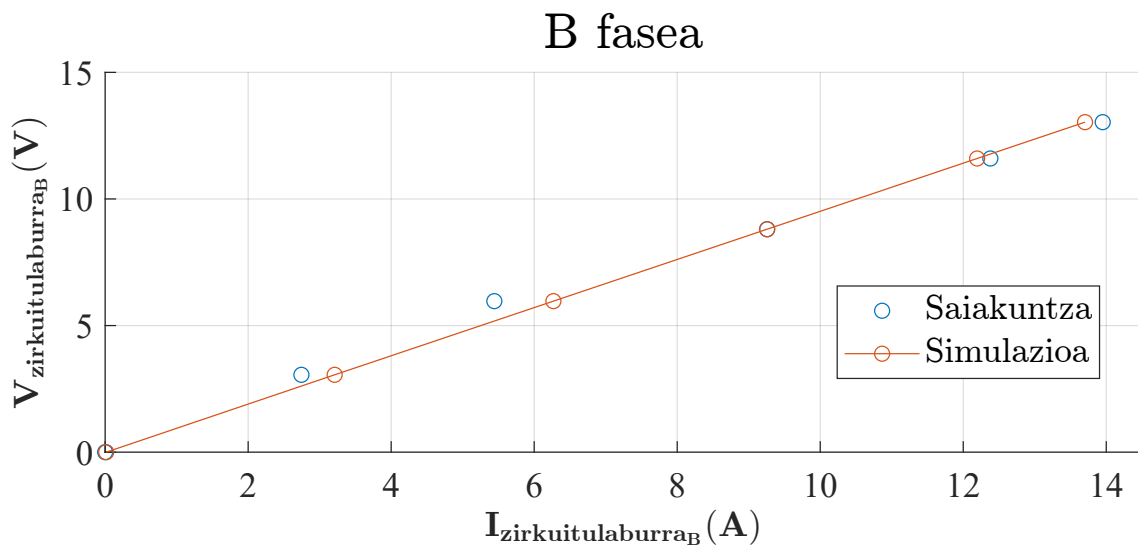
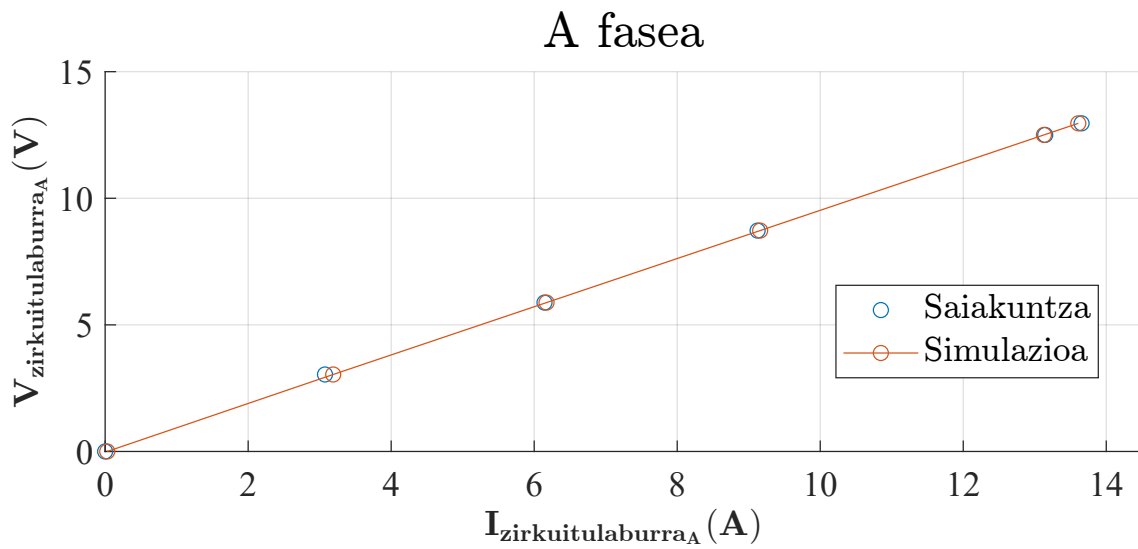


2.25 Irudia: Zero-sekuentziako saiakuntza 21,87 V-eko elikadurarekin.

Zirkuitulaburreko saiakuntzak aztertuta (2.26 irudia), transformadore erreal eta ereduaren arteko erantzuna oso parekoa dela egiaztatu da, %4,20-ko batz besteko errore erlatiboarekin eta 0,83 A-ko errore absolutu maximoarekin (2.9 grafikoa). Beraz, ondorioztatu daiteke parametro hauen doiketa nahiko egokia izan dela.

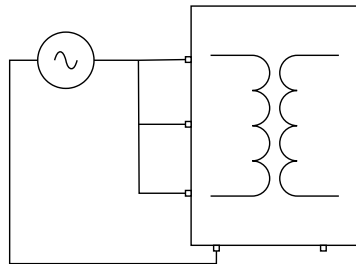


2.26 Irudia: A faseko zirkuitulaburreko saiakuntzaren simulazioa.



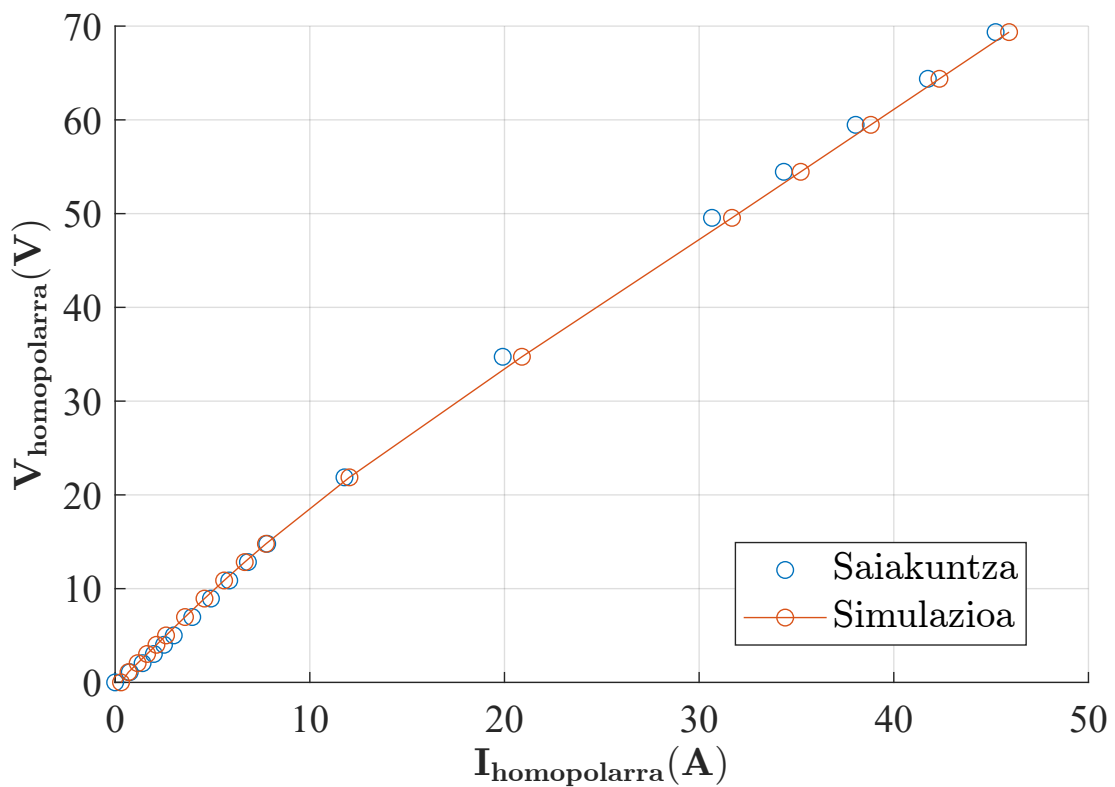
2.9 Grafikoa: Zirkuitulaburreko saiakuntzaren simulazio-emaitzak.

Zero-sekuentziako saiakuntzari erreparatuz (2.27 irudia), kasu honetan ere eredu eta datu esperimentalen arteko aldea nahiko txikia da % 6,76-ko batz besteko errore erlatiboarekin eta 1,03 A-ko errore absolutu maximoarekin (2.10 grafikoa). Parametro hauek ere ondo doitu daudela onartu daiteke.



2.27 Irudia: Zero-sekuentziako saiakuntzaren simulazioa.

Garrantzitsua da azpimarratzea, proiektuaren bideragarritasunaren analisisan, parametro hauen balioak oinarritzekoak direla, izan ere tentsio homopolarrak agertzen direnean, erreaktantzia eta erresistentzia homopolarrek markatuko baitute transformadoreak xurgatzen duen korrante eta karkasaren beroketa.

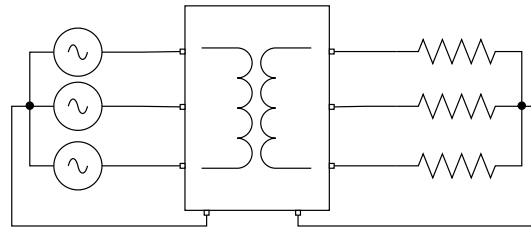


2.10 Grafikoa: Zero-sekuentziako saiakuntzaren simulazio-emaitzak.

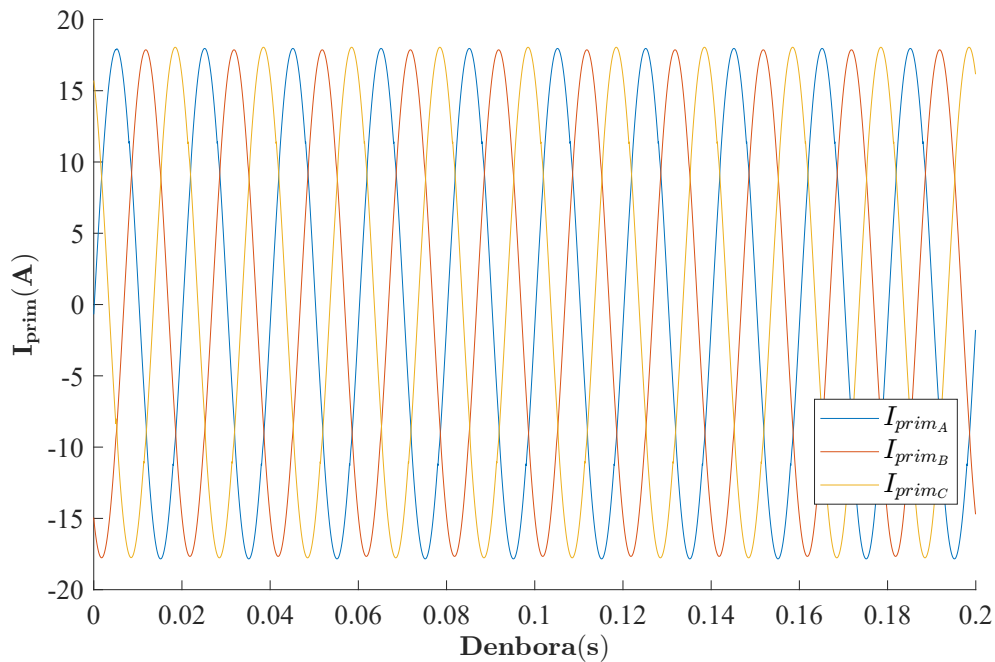
Hutseko saiakuntzari dagokionez, laborategiko sarrera seinaleak errepikatzeke zailtasuna oso handia dela ikusi da, horregatik hutseko saiakuntza guztien simulazioak alde batera utzi dira.

Karga egoeran transformadoreak izango duen portaera aztertu eta aurreikusteko konfigurazio berdineko bi simulazio prestatu dira (2.28 irudia). Lehen fase-neutro tentsio orekatuekin gauzatu da, izarrean jarritako 18 Ω-ko kargak elikatuta. Erresistentzia horiekin honako karga indizean (i) lan egingo du transformadoreak:

$$i = \frac{V_{fn}/R}{I_{izendatua}} = \frac{230/18}{14,43} = 0,886 \quad (2.37)$$



2.28 Irudia: Zamatutako transformadorearen simulazioa.

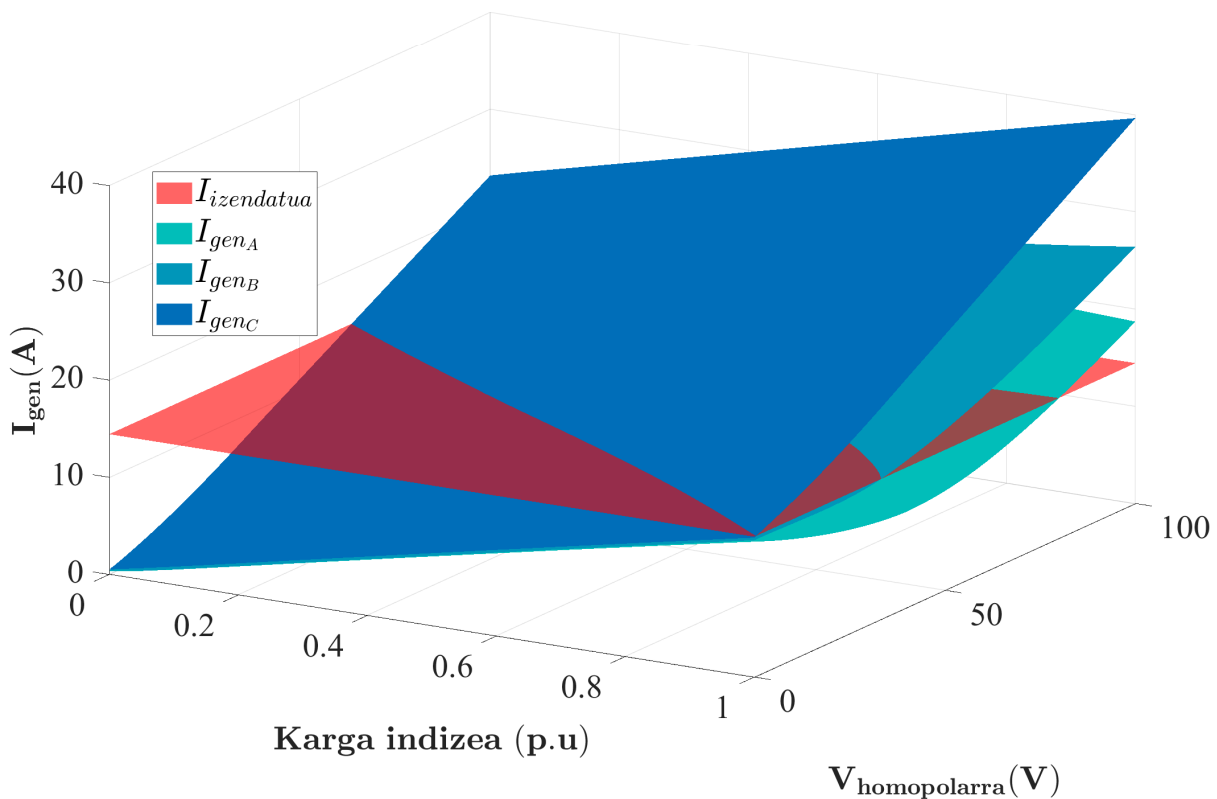


2.11 Grafikoa: Tentsio orekatuekin elikatutako transformadorearen simulazio-erantzak.

Elikadura orekatua bada ere, transformadoreak desoreka txiki bat eragiten duela nabaritu daiteke (2.11 grafikoa), izan ere, fase bakoitzak ikusiko duen inpedantzia ez da guztiz berdina izango, transformadorearen eredu elektrikoa ez baita guztiz simetrikoa.

Bigarren simulazioa, karga maila eta tentsio homopolar ezberdinak elikatuta egin da, beti ere sorkuntzan tentsio konposatuak balio izendatuan mantenduta. Kasu honetan tentsio homopolarrek A faseko tentsioaren angelu berdina izango du. Simulazio honetan ere, kargak izarrean kokatu dira aurreko simulazioan bezala (2.28 irudia). Kargako tentsio konposatuak izendatuak izateko, sistemaren tentsio jausia kalkulatzeko duen kontzigna bat beharko litzateke [25]. Atal honen helburua funtzionamendua probatzea denez, eta ez erabateko zehaztasuna, tentsio konposatu orekatuak sortuko dira, kargan tentsioak zertxobait txikiagoak badira ere.

Bigarren simulaziotik transformadorearen lan-eremuaren mugak zehaztu dira (2.12 grafikoa).



2.12 Grafikoa: Tentsio desorekatuekin elikatutako transformadorearen simulazio-emaitzak.

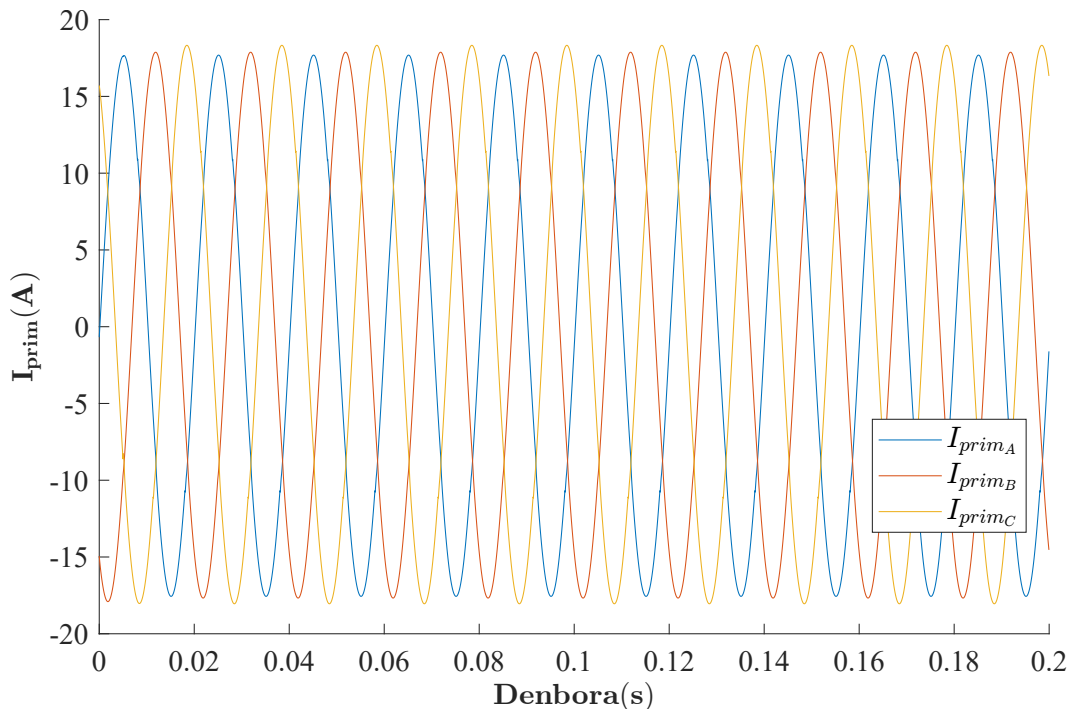
Kasu honetan C faseko primarioko korronteak mugatuko du transformadoreak jasan dezakeen tentsio homopolarrik handiena. Lan-eremu hau era matematiko baten adierazteko, karga indizearen menpeko inekuazio bat garatu da aurreko grafikoko emaitzetatik:

$$V_{homopolar} \leq 63,595 - 63,595 \cdot i \quad (2.38)$$

non i transformadorearen karga indizea den p.u balioetan eta $V_{homopolarra}$ Volt-etan adierazita dagoen.

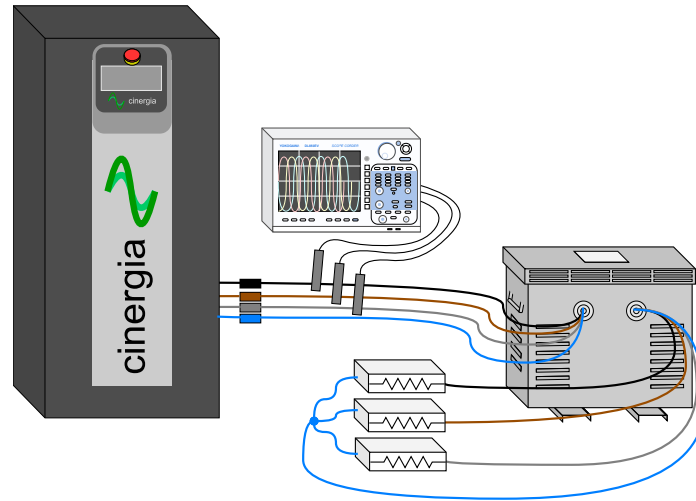
Inekuazioari lehen mailako polinomio baten forma eman zaio, muga oso era simple baten adieraziz. Transformadoreari injektatu dakioken tentsio homopolarrik handiena 63,595 V-ekoa da transformadorea hutsean dagoenean, eta karga izendatua konektatuta duenean berriz, ezin izango du tentsio homopolarrik jasan.

Adibidetzat, 0,886-ko karga indizearekin eta 1 V-eko tentsio homopolarrekin simulatu da sistema primarioko korronteen forma ikusteko (2.13 grafikoa).

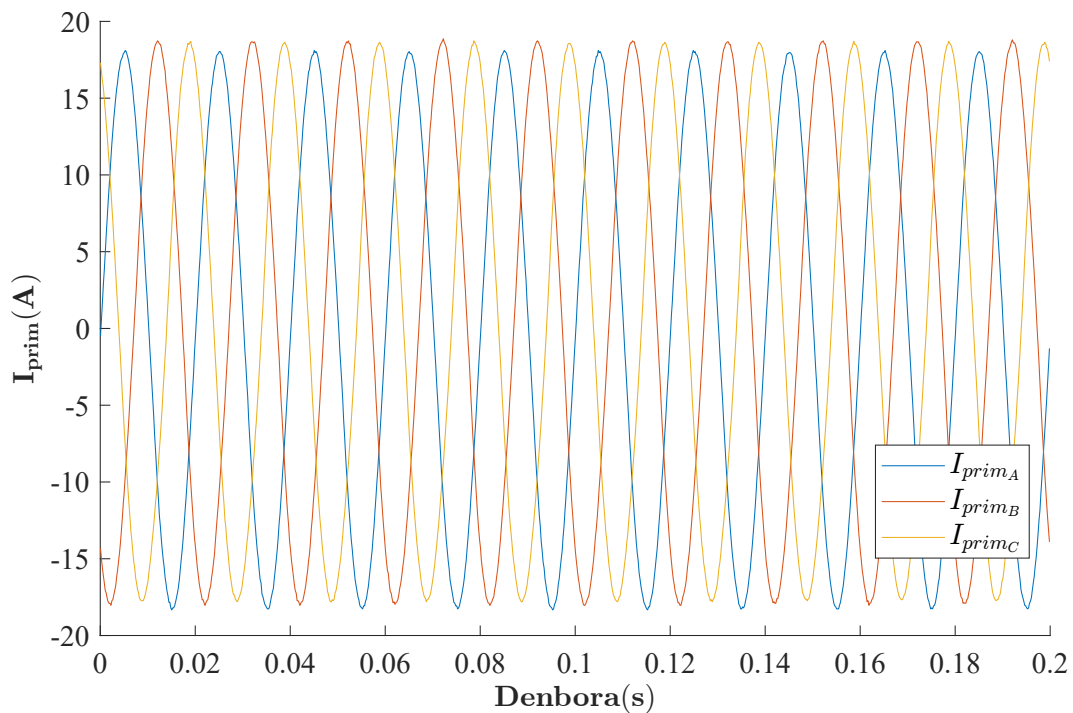


2.13 Grafikoa: 1 V-eko desorekarekin elikatutako transformadorearen simulazio-emaitzak.

Azkenik, ereduaren portaera erreala dela egiaztatzeko transformadoreari karga erresistiboak akoplatu zaio, eta sistemari **zamatutako saiakuntza** bi egin zaizkio. Simulazioekin bezala lehenik **tentsio orekatuekin elikatuta** saiatu da transformadorea, 18Ω-ko eta 4,5 kW-ko kargak izarrean kokatu direlarik (2.29 irudia).

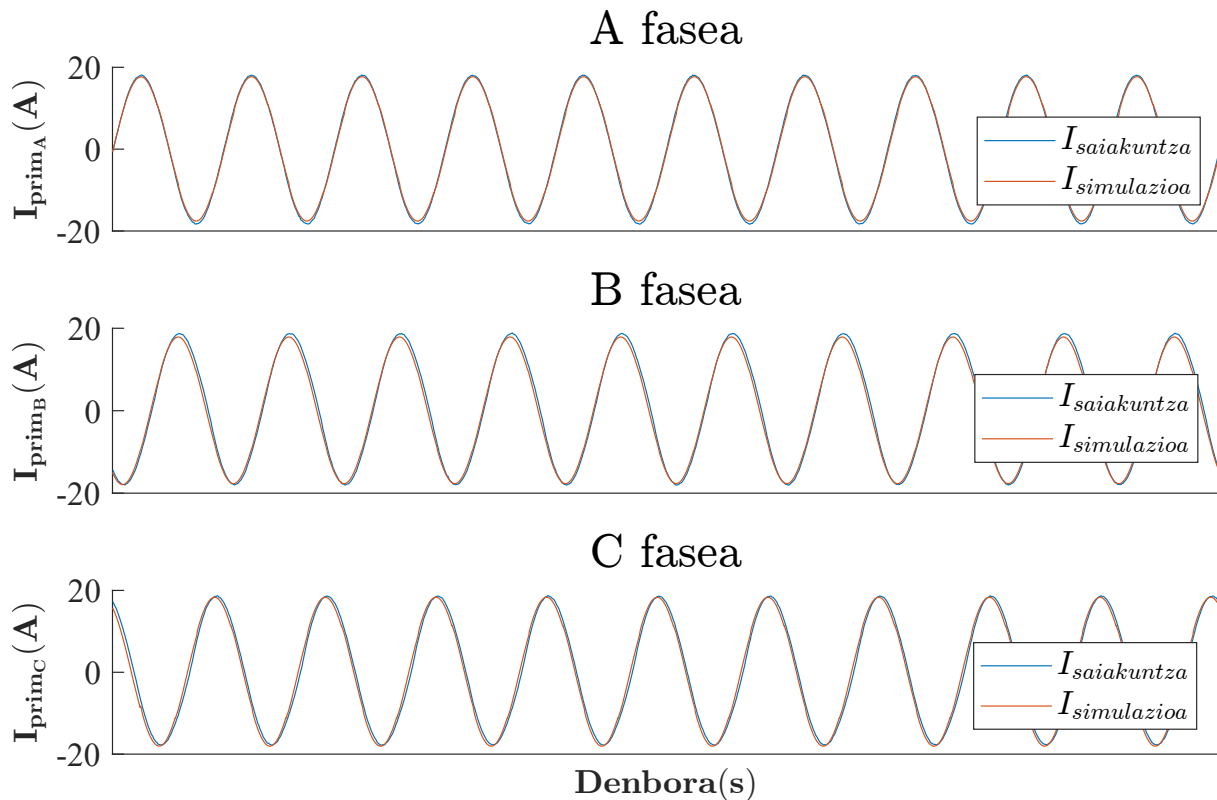


2.29 Irudia: Zamatutako transformadorearen saiakuntza egiteko montaketa.



2.14 Grafikoa: Tentsio orekatuekin elikatutako transformadorearen saiakuntza-eraketak.

Simulazioetan gertatzen zen bezala, saiakuntzan ere desoreka txiki bat nabaritu daiteke primarioko korrontean (2.14 grafikoa). Simulazioen eta saiakuntzen arteko konparaketa egin ahal izateko bi grafikoa elkarrekin adieraziko dira faseka banatuta (2.15 grafikoa).



2.15 Grafikoa: Tentsio orekatuekin elikatutako transformadorearen simulazio eta saiakuntza-emaitzak.

Simulazio eta saiakuntza emaitzak alderatuta (2.15 grafikoa), nekez ikusi daiteke hauen arteko aldea. B fasean nabaritu daiteke alderik handiena, zeinetan saiakuntzako korrontek simulazioarena gainditzen duen. RMS baloreei dagokionez, errore absolutuak A, B eta C faseetan 0,352 A, 0,306 A eta 0,142 A-koak dira hurrenez hurren, eta errore erlatiboa berriz %2,824, %2,439 eta %1,108-koa hurrenez hurren.

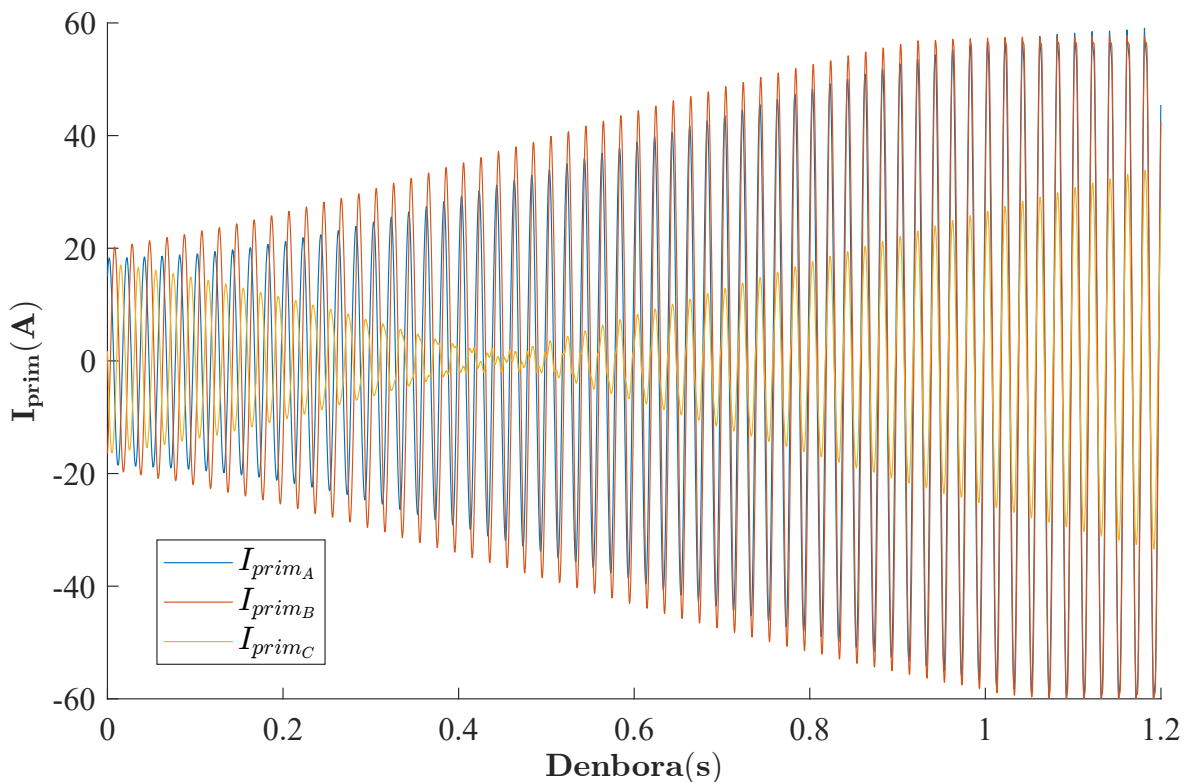
Emaitza hauek ikusita, eredia oso egokia dirudi egoera egonkorreko zamatutako transformadorea simulatzeko.

Bukatzeko, **tentsio izendatua eta 1 V-eko tentsio homopolarra injektatuta** saiatu da transformadorea, aurreko saiakuntzako montaketa berdina mantenduta (2.29 irudia).

Simulazioen bidez lortutako muga aztertuta, 0,886-ko karga indizearekin, 2.39 ekuazioak mugatuko du tentsio homopolar maximoa.

$$V_{homopolar_{MAX}} = 63,595 - 63,595 \cdot 0,886 = 7,25V \quad (2.39)$$

2.39 ekuazioa ikusita, argi dago saiakuntzako tentsio homopolarra simulazioak markatzen duen maximoaren azpitik dagoela ($1\text{ V} < 7,25\text{ V}$), hortaz, gune seguru baten planteatu da saiakuntza.



2.16 Grafikoa: Tentsio desorekatuekin elikatutako transformadorearen saiakuntza-emaitzak.

Saiakuntza gauzatzerakoan korronteez gora egiten dute tentsio-iturriaren babesek salto egin arte. Desoreka horren txikia da, nekez igerri beharko litzatekeela, (simulazioetan gertatzen den bezala) baina agerikoa da kontuan hartu ez den efektuaren bat ari dela jokoan.

2.16 grafikoa ikusita nolabaiteko erresonantzia-fenomenoa gertatzen ari dela dirudi. Simulazio-emaitzak emaitza esperimentalekin bat etortzeko komenigarria litzateke transformadorearen efektu kapazitiboak aztertzea eta kuantifikatzea, argi geratu baita efektu hauen eragina ez dela mespretxagarria.

2.3 Planifikazioa

Behin proiektuaren irismena zehaztuta ataza ezberdinen banaketa azaltzen da atal honetan, MAL-ean garatutako lan guztia ondo zehazteko asmoz.

1. Fasea: Formakuntza eta Dokumentazioa

- **1. Ataza:** Oinarrizko formakuntza.

Lehenik eta behin ezinbestekoa da proiektuaren oinarria ondo ulertzea, dagoeneko urteak daramatzan proiektua denez hau, azken urteetan egindakoaren berri izatea ezinbestekoa da. Horretarako hasierako formakuntza bilerak egiten dira MALaren zuzendaria eta proiektuan diharduten ikerlariekin.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea, zuzendaria, ikerlariak.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 2 aste (40h).

- **2. Ataza:** Dokumentazioa

Hasierako formakuntzan oinarrizko ezagutzak lortu ondoren, proiektuan erabiliko diren teknologien egungo egoera aztertu da. Horretarako artikulua, eta lan akademiko desberdinak irakurri eta ikertu behar dira.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 8 aste (160h)

2. Fasea: Sistemaren analisisa

- **3. Ataza:** Simulazioen analisisa

Ataza honetan i-DEK luzatutako FPL-aren eredua eta aurreko urteetan egindako aurrerapausoak ere aztertu eta barneratu behar dira proiektuan aurrera egiteko.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 2 aste (40h)

- **4. Ataza:** Sistemarekin trebatzea

Behin ikerlariiek egindako lana ondo ulertuta izan, simulazio propioak egiten hasi daite sistemaren aspektu eta arazo teknikoetara aurre eginez.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 3 aste (60h)

3. Fasea: Transformadorearen ereduaren garapena

- **5. Ataza:** Ereduaren garapena

Ataza honen helburua transformadorearen ereduaren topologia zehaztea eta Simulink-en inplementatzea da.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 3 aste (60h)

- **6. Ataza:** Funtzionamendu frogak

Garatutako topologia ohiko transformadore baten portaera duela egiaztatzeko oinarritzko simulazioak egin dira.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 2 aste (40h)

4. Fasea: Transformadorearen saiakuntzak

- **7. Ataza:** Laborategiko saiakuntzak

Ataza honen xedea transformadorearen ereduaren parametrizatzeko beharrezko saiakuntzak egitea da. Horretarako laborategiko materialarekin eta gailuekin trebatu beharko da, tentsio-iturri eta neurketa gailuak ondo menperatuz.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab, Plataforma experimentalak.
- **Iraupena:** 1 aste (20h)

- **8. Ataza:** Saiakuntzetako emaitzen kalukulua

Behin saiakuntzak gauzatuta izan, hauetatik lortutako seinaleak irakurri eta kalkulu ezberdinak egin behar dira, ereduan erabiliko diren parametroak lortu ahal izateko.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab.
- **Iraupena:** 4 aste (80h)

5. Fasea: Ereduaren balidazioa

- **9. Ataza:** Simulazioak

Eraikitako eredu digitalaren portaera errearen berdina dela egiaztatzeko simulazio ezberdinak garatu behar dira. Aurreko fasean lortutako datu esperimentalekin aldaratuz.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua, Matlab-Simulink.
- **Iraupena:** 4,8 aste (96h)

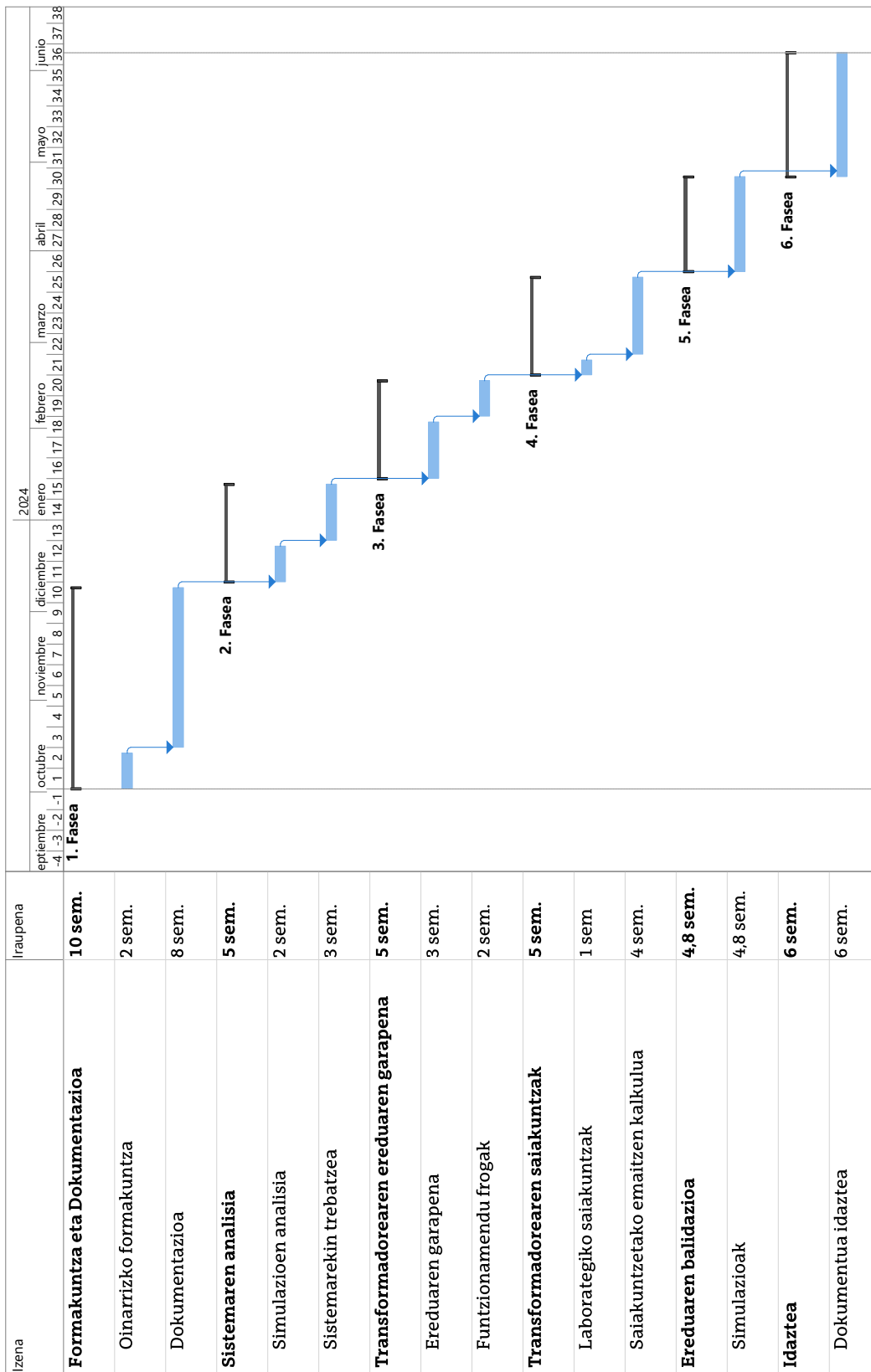
6. Fasea: Idaztea

- **10. Ataza:** Dokumentua idaztea

Proiektuan zehar lortutako informazioa bildu eta bukaerako dokumentuan plasma-tzen da proiektuan garatutako lana islatuz.

- **Giza baliabideak:** Ikaslea eta zuzendaria.
- **Baliabide teknikoak:** Ordenagailua.
- **Iraupena:** 6 aste (120h)

2.4 Gantt-en diagrama



2.30 Irudia: MAL-aren Gantt diagrama.

Alderdi ekonomikoak

Atal honetan MALaren alderdi ekonomikoak aurkeztuko dira. Horretarako proiektuari lotutako kostuak identifikatu eta kuantifikatuko dira. Honekin batera giza baliabide, material eta ekipamendu kostuak kuantifikatuko dira proiektu osoaren kostu totala kalkulatzeko.

3.1 Barne orduak

Azpiatal honetan proiektuan parte hartzen duten ikerlariak lan egindako ordu kopuruari lotutako gastuak adierazten dira.

- **Zuzendaria:** Proiektuan 100 ordu lan egin direla estimatu egin da, 50 €/h orduko tasarekin.
- **Ikaslea:** Proiektuan 640 ordu lan egin direla estimatu egin da, 6,25 €/h orduko tasarekin.

3.1 Taula: Barne orduak.

Kontzeptua	Orduko kostua (€/h)	Orduak (h)	Kostua (€)
Zuzendaria	50,00	90	5.000,00
Ikaslea	6,25	640	4.000,00
Guztira			9.000,00

3.2 Amortizazioak

Azpiatal honetan MAL-ean erabilitako ekipo, software eta orokorrean bizitza erabilgarri bat duten tresneriaren amortizazioa identifikatu eta kuantifikatu egin da.

- **Ordenagailua:** Proiektu osoan zehar erabilia. 1.000€-tan baloratua eta 5 urteko amortizazio-aldia du.
- **Matlab student lizentzia:** Proiektu osoan zehar erabilia. 69€-tan baloratua.
- **CINERGIA tentsio-iturria:** Saiakuntzak egiteko erabilia (aste 1). 40.000€-tan baloratua eta 10 urteko amortizazio-aldia du.
- **Tecnotrafo transformadorea:** Saiakuntzak egiteko erabilia (aste 1). 976,18€-tan baloratua eta 5 urteko amortizazio-aldia du.
- **YOKOGAWA osziloskopioa:** Saiakuntzak egiteko erabilia (aste 1). 12.000,00€-tan baloratua eta 10 urteko amortizazio-aldia du.
- **Multimetroa:** Saiakuntzak egiteko erabilia (aste 1). 349€-tan baloratua eta 5 urteko amortizazio-aldia du.
- **Pintza anperimetrikoa:** Saiakuntzak egiteko erabilia (aste 1). 400€-tan baloratua eta 5 urteko amortizazio-aldia du.
- **Erresistentziak:** Saiakuntzak egiteko erabilia (aste 1). Bakoitza 61,70€-tan baloratua eta 5 urteko amortizazio-aldia du.

3.2 Taula: Amortizazioak.

Kontzeptua	kostua (€)	Bizi erab. (h)	Erabilera (h)	Kostua (€)
Ordenagailua	1.000,00	10.000	640	64,00
Matlab student	69,00	2.000	600	20,70
CINERGIA	40.000,00	20.000	20	40,00
Transformadorea	976,18	10.000	20	1,95
Osziloskopioa	12.000,00	20.000	20	12
Multimetroa	349,00	10.000	20	0,70
Pintza anperimetrikoa	400,00	10.000	20	0,80
Erresistentzia (x3)	185,10	10.000	20	0,37
	Guztira			140,52

3.3 Gastuak

Proiektuari lotutako gastuak identifikatu eta kuantifikatu dira azpiatal honetan.

- **Bulego materiala:** 30,00€-ko gastua.
- **Multimetroaren fusiblea:** 11,00€-ko gastua.

3.3 Taula: Gastuak.

Kontzeptua	Kostu unitarioa (€/unit.)	Unit.	Kostua (€)
Bulego materiala	30,00	1	30,00
Multimetroaren fusiblea	11,00	1	11,00
Guztira			41,00

3.4 Kostu totala

Azkenik, proiektuari lotutako kostu guztiak aurkezten dira azpiatal honetan; barne orduak, amortizazioak eta gastuak. Kostu ez-zuzenak azpi-totalaren %7-a direla ezarri da kostu totalaren kalkulua egiterakoan.

3.4 Taula: Kostu totala.

Kontzeptua	Kostua (€)
Barne orduak	9.000,00
Amortizazioak	140,52
Gastuak	41,00
Azpi-totala	9.181,52
Kostu ez-zuzenak (%7)	642,71
Guztira	9.824,23

Ondorioak

Dokumentuan, hiru zutabeko transformadore baten eredu elektrikoa era sakon baten garatu da, behe tentsioko plataforma esperimentalean dagoen transformadorean oinarritutako saiakuntza eta simulazioen bidez.

Transformadorearen portaera era fidel baten simulatzen zuen eredua lortzea zen lanaren xede nagusia, osagai homopolarrak ere barnean zituena. Zirkuitulabur, zero-sekuentzia eta tentsio orekatuekin elikatutako zamatutako simulazioen emaitzek oso era fidagarrian aurreikusten dute transformadorearen erantzuna (% 7-ko errore absolutuaren azpitik), beraz zehaztasun handiko tresna eraikitzea lortu dela baieztatu daiteke.

Hala ere ez da helburu nagusia betetzea guztiz lortu, tentsio orekatuekin emaitzak oso zehatzak badira ere, tentsio desorekatuekin lortutako emaitzak ez baitira egokiak izan. Honek etorkizunerako lan-ildo ezberdinak zabaltzen ditu.

Azkenik, GSGIH-ren proiektuari dagokionez, argi geratu da lau edo bost zutabeko transformadore bat erabiltzea dela aplikazio honetarako egokiena, hiru zutabeko transformadoreek nolabaiteko erabilgarritasuna izan dezaketen arren.

4.1 Etorkizuneko lan-ildoak

Egoera desorekatuko saiakuntzan lortutako erresonantzia ezin izan da simulazio bidez aurreikusi eta horrek zenbait ikerketa-ildo uzten ditu zabalik etorkizunean garatutako modeloa hobetu eta zehatzagoa bihurtzeko.

Erresonantzia aurreikusi ezin izanaren arrazoia eredu elektrikoan transformadorearen **efektu kapazitiboak** alde batera utzi izana izan daiteke. Etorkizunera begira beraz, transformadorearen eredian efektu hauek ere kontuan hartu eta kuantifikatzea proposatzen da etorkizuneko lan-ildo bezala.

Bestalde, erresonantzia fenomeno hau, erabilitako transformadorearen berezko propietatetzat hartu da, hau da, **antzeko izaera duen beste transformadore baten** portaera aurreikusitakoaren antzekoa izan litekeela pentsatzen da. Hipotesi honen egiaztapena ere etorkizuneko beste lan-ildo bat izan daiteke, antzekoa den beste transformadore bati saiakuntzak egin ahal izanez gero.

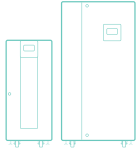
Bibliografia

- [1] Iberdrola. *Global Smart Grids Innovation Hub*. 2024. URL: <https://www.iberdrola.com/innovacion/global-smart-grids-innovation-hub> (azkenekoz ikusia 2024-05-23).
- [2] Mostafa Zaman et. al. "Emulation of Smart Grid Technologies and Topologies in a Small Scale Smart City Testbed". Non: *2023 IEEE 20th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life using AI, Robotics and IoT (HONET)*. 2023, orrk. 234-239. DOI: 10.1109/HONET59747.2023.10374574.
- [3] Jarred Wentzel et. al. "Investigation of micro-grid behavior while operating under various network conditions". Non: *2012 International Conference on Smart Grid (SGE)*. 2012, orrk. 1-5. DOI: 10.1109/SGE.2012.6463973.
- [4] Noel Richard Merritt et. al. "A Unified Control Structure for Grid Connected and Islanded Mode of Operation of Voltage Source Converter Based Distributed Generation Units Under Unbalanced and Non-Linear Conditions". Non: *IEEE Transactions on Power Delivery* 35.4 (2020), orrk. 1758-1768. DOI: 10.1109/TPWRD.2019.2952692.
- [5] P. Stefanidou-Voziki et. al. "A review of fault location and classification methods in distribution grids". Non: *Electric Power Systems Research* 209 (2022), orrk. 108031. ISSN: 0378-7796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108031>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779622002577>.
- [6] United Nations Development Programme. *Sustainable Development Goals*. 2015. URL: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (azkenekoz ikusia 2024-02-27).
- [7] Estibaliz Sáez de Cámara, Idoia Fernández eta Nekane Castillo-Eguskita. "A Holistic Approach to Integrate and Evaluate Sustainable Development in Higher Education. The Case Study of the University of the Basque Country". Non: *Sustainability* 13.1 (2021). ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su13010392. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/392>.
- [8] Utsav P. Yagnik eta Mehul D. Solanki. "Comparison of L, LC & LCL filter for grid connected converter". Non: *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*. 2017, orrk. 455-458. DOI: 10.1109/IC0EI.2017.8300968.

- [9] Mehmet Buyuk, Mustafa Inci eta Mehmet Tumay. "Performance evaluation of LLCL filter for active power filter". Non: *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*. 2016, orrk. 1-4. DOI: 10.1109/EEEIC.2016.7555875.
- [10] J. Forslund C. Fjellstedt eta R. Thomas. "Experimental Investigation of the Frequency Response of an LC-Filter and Power Transformer for Grid Connection". Non: *MDPI Energies*. Bol. 16. 5784. 2023. DOI: 10.3390/en16155784.
- [11] Agus Ulinuha eta Eka Muthia Sari. "The influence of harmonic distortion on losses and efficiency of three-phase distribution transformer". Non: *Journal of Physics: Conference Series* 1858.1 (2021), orrk. 012084. DOI: 10.1088/1742-6596/1858/1/012084.
- [12] Thinh Dao et. al. "Voltage harmonic effect on losses in distribution transformers". Non: *2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)*. 2016, orrk. 27-32. DOI: 10.1109/ICSGTEIS.2016.7885761.
- [13] D.M. Said eta K.M. Nor. "Effects of harmonics on distribution transformers". Non: *2008 Australasian Universities Power Engineering Conference*. 2008, orrk. 1-5.
- [14] Valentin Ioni , Emil Cazacu eta Lucian Petrescu. "Effect of voltage harmonics on iron losses in magnetic cores with hysteresis". Non: *2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. 2018, orrk. 1-5. DOI: 10.1109/ICHQP.2018.8378843.
- [15] J.Z. Vernieri, M.B. Barbieri eta P.L. Arnera. "Consequence of an unbalanced supplying condition on a distribution transformer". Non: *2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502)*. Bol. 4. 2001, orrk. 6. DOI: 10.1109/PTC.2001.964865.
- [16] Atabak Njafi, res skender eta Naci Genc. "Evaluating and derating of three-phase distribution transformer under unbalanced voltage and unbalance load using finite element method". Non: *2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014)*. 2014, orrk. 160-165. DOI: 10.1109/PEOCO.2014.6814418.
- [17] S. Ranjith Kumar et. al. "Zig Zag Transformer performance analysis on harmonic reduction in distribution load". Non: *International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011 (InECCE)*. 2011, orrk. 107-112. DOI: 10.1109/INECCE.2011.5953859.
- [18] Ralph Fehr. "Transformer Connections". Non: *Industrial Power Distribution*. 2016, orrk. 65-100. DOI: 10.1002/9781119065180.ch3.

- [19] Pouria G. Khorasani eta Ali Deihimi. "A new modeling of Matlab transformer for accurate simulation of ferroresonance". Non: *2009 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. 2009, orrk. 529-534. DOI: 10.1109/POWERENG.2009.4915249.
- [20] M. Sc. Dinh Anh Khoi Pham. "A new method in determination of electrical parameters for failure diagnostic applicable to power transformers". Non: 2013.
- [21] Zvonimir Jurkovi et. al. "Improved Analytical Calculation of Winding Capacitance Using Correction Factors". Non: *2022 7th International Advanced Research Workshop on Transformers (ARWtr)*. 2022, orrk. 30-35. DOI: 10.23919/ARWtr54586.2022.9959895.
- [22] IEEE. "IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers". Non: *IEEE Std C57.12.91-2020 (Revision of IEEE Std C57.12.91-2011)* (2021), orrk. 1-102. DOI: 10.1109/IEEESTD.2021.9340086.
- [23] Aenor. "Transformadores de potencia, Parte 1: Generalidades". Non: *UNE-EN 60076-1:2013*. 2015, orrk. 57.
- [24] D. A.K. Pham et. al. "A new method for purposes of failure diagnostics and FRA interpretation applicable to power transformers". Non: *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 20.6 (2013), orrk. 2026-2034. DOI: 10.1109/TDEI.2013.6678850.
- [25] A. Dávila et. al. "Optimizing voltage references in a 3-leg power VSC under single-phase-to-ground faults". Non: *International Conference on Renewable Energy and Power Quality* 22 (2024).

I. Eranskina



GE&EL+ vAC/DC ePlus

The All-Terrain AC/DC Regenerative Converter



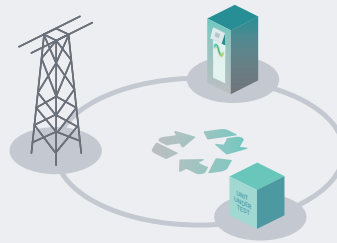
The GE/EL+ vAC/DC is the most complete and versatile converter in the regenerative energy testing market. The whole CINERGIA's catalogue in a single unit. A Grid Emulator (GE), an Electronic Load (EL) and a DC Bidirectional (B2C). This All-Terrain converter is suitable for the majority of test applications in the field of Renewable Energies, Smartgrids, Batteries and Electrical Vehicles.



Regenerative Technology

Thanks to our bi-directional topology, the All-Terrain AC/DC Converter are regenerative, resulting in a reduction of both the consumed energy during the tests and the power required from the electrical installation.

This technology allows us to work in both directions, as power generators or offering a consumption for the realization of all types of tests.



Main Applications

Electromobility	Smart Grids	Anti-Islanding	IEC Testing	Photovoltaic	Academical & Industrial Test	Power HiL	Energy Storage System

Bidirectional and Regenerative

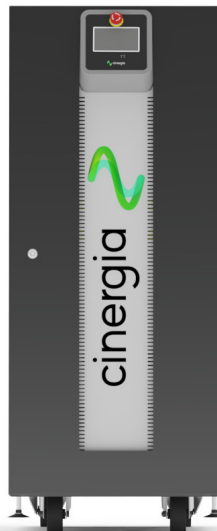
Clean grid current

THDi <3% and PF > 0.98

13 Models

from 7.5kW to 160kW

Parallelization of units to increase the power



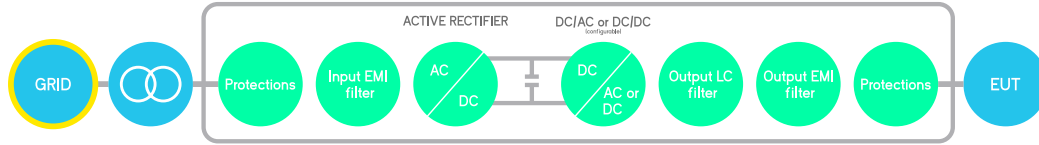
Operation Modes

- Complete DC Load/Source
- Full 4Q AC Grid Emulator
- Power Amplifier for Power HiL
- Full 4Q AC Electronic Load
- Battery Emulation and Testing
- PV Panel Emulation

Overload of 200% P_{rated}

Modbus/Ethernet Open protocol, Labview drivers

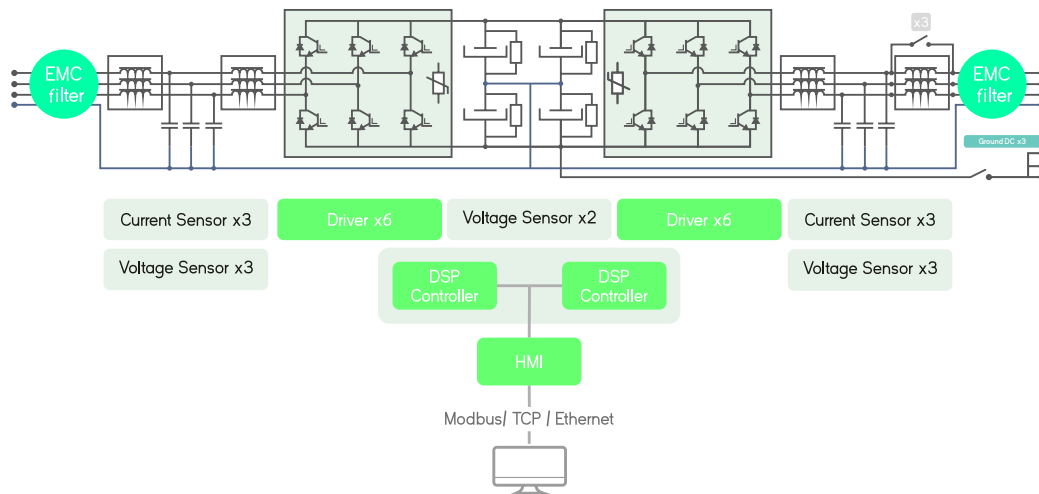
Bidirectional and Regenerative Hardware



The hardware platform is based on a Back-to-Back power conversion topology, formed by two IGBT-based power stages. The grid side stage is an Active Rectifier which produces clean sinusoidal currents with very low harmonic distortion and power factor close to one.

The EUT side stage can be configured for AC voltage source or AC current source or DC output. In AC, voltage/current are controlled by using state of the art digital Proportional-Resonant controllers. In DC, the three independent buck-boost bidirectional legs enable the separated control of three different DC voltages or currents.

Block Diagram



Local Interface

Analogue and Digital IO ports

The isolated digital and analogue inputs/outputs permit the connection of the unit to External Controllers and Power Hardware in the Loop systems (option).

4.3" Touchscreen

Allows the local parameterization and command of the device, configuration of the communications link, plots the main signals and enables the local datalogging.

Safety First

The units integrate a local Emergency Stop pushbutton and two signals (input+ output) to be connected to the laboratory interlock system. Additionally, the digital outputs can be interfaced to safety tower lights.

Master/Slave

ePLUS is a modular platform enabling the master/slave connection of units with equal power.

GE&EL+ vAC/DC ePlus



Better than ever, the enhanced **Plus** family



What's better

MASTER/SLAVE CONNECTION

by using a fiber optics link to increase power/voltage capabilities:

GE in AC: can be connected in parallel

EL in AC: can be connected in parallel

B2C: can be connected in parallel, or series or both

FASTER

30kHz control loop frequency

MORE HARMONICS

50 per phase with 20 free-harmonics

DELTA LOAD

for the EL in AC mode

ADJUSTABLE DC TRANSIENT

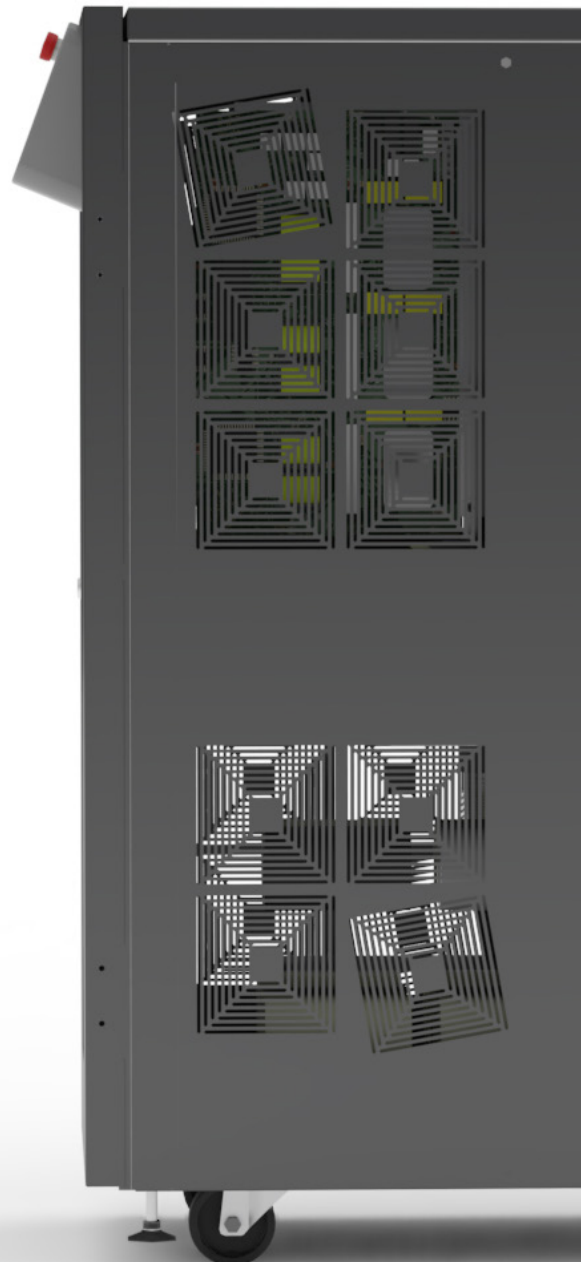
controllers to improve stability of the system

OPTIMIZED RMS CALCULATION

for PV inverters anti-islanding test

SAME ELECTRICAL RATINGS and SAME BANDWIDTH

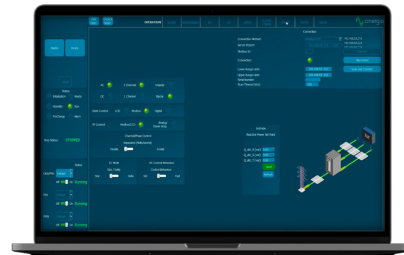
because the power platform does not change so robustness and ratings remain the same.



Software



The user interface used by CINERGIA devices has been developed by our R&D team, to offer total control of the device, with a comfortable and intuitive design. This allows us to take full advantage of the capabilities of the device, as well as the programming and execution of standardized or self-created tests.



GE and EL Modes

AC Operation

From this panel, the user can set all AC parameters. Each phase can be independently configured: RMS current magnitude, phase delay, harmonics content, free-frequency harmonic and transition ramps. A plot shows the expected real-time waveform, the FFT representation and the numeric data: RMS, peak, CF and THD.



Harmonics

The device can control simultaneously the magnitude of the first 15 harmonics and one free harmonic per phase. The free one allows the generation of sub-harmonics, inter-harmonics and high frequency harmonics up to the 50th, setting both the magnitude and phase delay.



Power and Impedance Control

In Power mode, the active and reactive power of each phase is independently controlled. In Impedance mode, the device emulates an RLC load allowing to parameterize resistance, inductance and capacitance per phase making this device suitable for Anti-Islanding test of grid converters.



AC

Steps Mode

One of the most remarkable novelties of the new software is the steps functionality. Step test files are saved and executed by the DSP allowing deterministic timing with a resolution of 66µs. The user gains access to all registers of the device to create complex test sequences which run directly in the converter without the need of an external computer.



Disturbance Generation

The steps mode includes predefined easy-to-use test panels. The AC faults panel is a powerful yet intuitive editor which allows generating and configuring flicker. Specific profiles can be saved in .csv files, modified, and reused by importing an existing one.



IEC Testing Optional

The last version of software includes a library supporting IEC standard for pre-compliance tests. The profiles defined in the standards are preloaded in the software for a user friendly execution and edition. Currently the following standards are available:

- IEC61000-4/11 - IEC61000-4/14
- IEC61000-4/13 - IEC61000-4/28

*It is mainly intended for pre-compliance testing. Contact us for further information.



DC

DC Operation

This panel allows the user to access all DC setpoints and limits. Thanks to the unique Multichannel feature, each phase can have a different Operation Mode: voltage, current, power, resistance and advanced DC applications. Transition ramps, voltage and current limits can be modified. The limits for sink and source operation are different for safer testing, specially in battery applications.



Sequence

The User Interface Software integrates a Sequence Editor to create automatic test sequences, save them for future use and import them in .csv files. A smart datalogger can be activated from the LCD of the unit to record automatically the resulting voltage and current measurements with a time resolution of 400 ms.



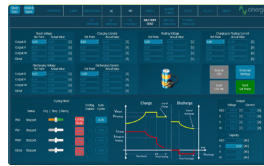
Multichannel

Enabling the Separated Channel Control converts the device in three functionally independent DC Bidirectional Power Supplies, sharing the common negative rail. Each channel can have a different status (ON, OFF, Warning, Alarm), Operation Mode (see Range and Specifications table), Setpoint, Ramp and Limits.



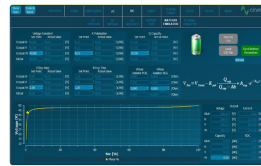
Battery Pack Tester

This functionality enables the user to precisely control the charge, discharge and cycling of a Battery. Basic parameters include the charge/discharge current, fast charge and floating voltages while Advanced parameters add Energy(Ah) and Time as transition conditions. Profiles for each Battery technology can be saved and imported in .CSV files.



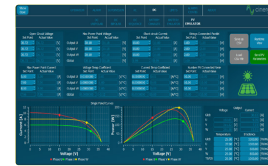
Battery Emulation

The B2C+ integrates a mathematical model to emulate the voltage behaviour of a real battery pack. The output voltage will change as a function of the SOC and Current. By configuring the provided parameters, the voltage profile can be adjusted to match different technologies: Lilon, NiMH, NiCd, Pb, Flux, etc.



PV Panel Emulation

The PV Panel model is based on the single-diode equivalent circuit of a PV cell and the series-parallel connection of cells to form a panel. A Runtime functionality allows the simulation of a complete day by launching different irradiance and temperature setpoints from a .csv file, enabling the user burn-in and functional tests of PV Inverters.



GE&EL+ vAC/DC Range & Specifications

Input side (GRID side)

AC Voltage

Rated: $3 \times 400V_{rms}$ + Neutral + Earth
Range: +15% / -20% (-10% @ P_{rated})

Rated AC Current

Depends on model (see Wiring Manual)

Frequency

48–62Hz

Current Harmonic Distortion

THDi < 3% at rated power

Current Power Factor

PF > 0.98 at rated power

Efficiency

≥ 89% (7.5 & 10), ≥ 91% (15 to 30), ≥ 92% (40 to 200)

Output side in DC (EUT side)

Terminals

Number: 6 (3 positive + 3 negative)

Configuration of Channels

Unipolar 3-channels 2Q, independent setpoints per channel
Unipolar 1-channel 2Q, one global setpoint for all channels
Multichannel: 2Q, independent start/stop, operation mode and setpoints per channel (note: multichannel is an option for ≥ 80kVA)
Bipolar (4Q two independent setpoints)

Voltage (CV)

Range: 2Q: 20⁽¹⁾ to 750V (800V with High Voltage option)
4Q: 0 to +350V / 0 to -350 (+ rail / 0 / - rail, Bipolar configuration)

Setpoint Resolution: 10mV

Effective Resolution⁽²⁾: < 0.05% of FS⁽³⁾

Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: ± 0.1% of FS⁽³⁾

Transient Time⁽⁵⁾: < 1ms (10% to 90% at a step to V_{rated})⁽¹⁰⁾

Ripple⁽⁷⁾ (peak-peak): < 0.55% of FS⁽³⁾

Current Mode (CC)

Range: from 0 to ± 110% of I_{rated} (see models table)

Setpoint Resolution: 10mA

Effective Resolution⁽²⁾: < 0.05% of FS⁽³⁾ (< 0.1% models 7.5 & 10)

Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: ± 0.2% of FS⁽³⁾

Transient Time⁽⁵⁾: < 1ms (10% to 90% at a step to I_{rated})⁽¹⁰⁾

Ripple⁽⁷⁾ (peak-peak): < 0.7% of FS⁽³⁾

Power Mode (CP)

Range: from 0 to ± 200%⁽⁸⁾ of P_{rated} (see models table)

Derived current setpoint: $P_{setpoint} / V_{measured}$

Setpoint Resolution: 1W

Effective Resolution⁽²⁾: < 0.1% of FS⁽³⁾ (< 0.25% models 7.5 & 10)⁽¹⁰⁾

Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: ± 0.4% of FS⁽³⁾

Transient Time⁽⁵⁾: < 2.5ms (10% to 90% at a step to P_{rated})

Resistance Mode (CR)

Range: from 0.1 to 1000 Ohm

Derived current: $V_{measured} / R_{setpoint}$

Setpoint Resolution: 0.01 Ohm

Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: ± 0.2% of FS⁽³⁾

Transient Time⁽⁵⁾: < 2ms (10% to 90% at a step to R_{rated})⁽¹⁰⁾

Output side in AC (EUT side)

Terminals

Number: 4 (3 phases + 1 neutral)

Configuration of Channels

3 channels: 4Q, independent setpoints per phase

1 channel: 4Q, global setpoints for all phases (only in GE+)

Multichannel: 4Q, independent start/stop, alarm status and setpoints per phase (note: multichannel is an option for ≥ 80kVA)

Output side in GE-AC

Voltage Mode (CV)

Peak: $\pm 400\text{V}$ phase-neutral
 Range: $0^{(1)}$ to 277Vrms phase-neutral (295Vrms with HV option)
 $0^{(1)}$ to 480Vrms phase-phase (510Vrms with HV option)
 THDv: $< 0.1\%$ rated linear load at 230Vrms , $50/60\text{Hz}$
 $< 0.9\%$ rated non linear load $\text{CF}=3$ at 230Vrms , $50/60\text{Hz}$
 Setpoint Resolution: 10mVrms
 Effective Resolution⁽²⁾: $< 0.05\%$ of FS⁽³⁾
 Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: $< \pm 0.1\%$ of FS⁽³⁾
 Transient Time⁽⁵⁾: $< 1.5\text{ms}$ (10% to 90% at a step to V_{rated})
 Ripple⁽⁷⁾(peak-peak): $< 0.55\%$ of FS⁽³⁾

Enhanced

Harmonics

Range: up to 50th (at $50/60\text{Hz}$ fundamental)
 50 independent harmonics per phase:
 20 free programmable frequency and phase from 0.1 to 50 times f_0
 30 fixed frequency
 Harmonics content: $V\text{-}f < 46000$ (with current derating)
 Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: same as voltage accuracy
 Small Signal Bandwidth: up to $5000\text{Hz}^{(6)}$
 Transient Time⁽⁵⁾: $< 2\text{ms}$ (10% to 90% at a step change)

Frequency

Fundamental Frequency Range: 10 to 100Hz (up to 400Hz option)
 Small Signal Bandwidth: up to $5000\text{Hz}^{(6)}$
 Resolution: 1mHz

Phase Angle

Range: 0 to 360°
 Resolution: 0.01°

Output side in EL-AC

Admissible Voltage

Connection: 1-phase, 3-phase star or 3-phase delta
 Maximum: $\pm 400\text{V}$ peak
 Range: 10- 100Hz
 $35^{(1)}$ to 277Vrms phase-neutral (295Vrms with HV option)
 $35^{(1)}$ to 480Vrms phase-phase (510Vrms with HV option)
 $>100\text{Hz}$: maximum rms voltage follows $V\text{-}f < 46000$
 Frequency: 10 to 400Hz

Current Mode (CC)

Range: from 0 to $\pm 200\%^{(8)}$ of I_{rated} (see models table)
 Setpoint Resolution: 10mA_{rms}
 Effective Resolution⁽²⁾: $< 0.05\%$ of FS⁽³⁾ ($< 0.1\%$ models 7.5 & 10)
 Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: $< \pm 0.2\%$ of FS⁽³⁾
 Transient Time⁽⁵⁾: $< 1.5\text{ms}$ (10% to 90% at a step transient)
 Ripple⁽⁷⁾(peak-peak): $< 0.7\%$ of FS⁽³⁾ (with Low Ripple Inductor option)

Phase Angle (cos ϕ)

Range: -90 to 90° in Sink / Source
 Resolution: 0.01°

Enhanced

Harmonics

Range: up to 50th
 50 independent harmonics per phase:
 20 free programmable frequency and phase from 0.1 to 50 times f_0
 30 fixed frequency
 Harmonics content: $V\text{-}f < 46000$ (with current derating)
 Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: same as current accuracy
 Small Signal Bandwidth: up to $5000\text{Hz}^{(6)}$
 Transient Time⁽⁵⁾: $< 2\text{ms}$ (10% to 90% at a step change)

Power Mode (CP / CS)

Range: from 0 to $\pm 200\%^{(8)}$ of P_{rated} (see models table)
 Derived current setpoint: calculated from IS and $\Phi(S)$
 Setpoint Resolution: 1W , 1VA
 Effective Resolution⁽²⁾: $< 0.1\%$ of FS⁽³⁾ ($< 0.25\%$ models 7.5 & 10)
 Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: $\pm 0.4\%$ of FS⁽³⁾
 Transient Time⁽⁵⁾: $< 2.5\text{ms}$ (10% to 90% at a step to P_{rated})

Enhanced
Impedance Mode (CZ)

 Calculation method configurable (rms, instantaneous)

 Range: from 0.8 to 1000 Ohm, 0.1 to 2000mH, 0 to 3.7mF

 Derived current/phase setpoint: calculated from IZI and $\Phi(Z)$

 Setpoint Resolution: 0.01 Ohm/mH/mF

 Setpoint Accuracy⁽⁴⁾: see current accuracy

 Transient Time⁽⁵⁾: < 2.5ms (10% to 90% at a step to R_{rated})

Operation Modes

DC

 Programmable Voltage (CV)

 Programmable Current (CC)

 Programmable Power (CP)

 Programmable Resistance (CR)

 Power Amplifier (HiL)

 Steps

Optional Battery Testing (BTest)(charge/discharge/cycling)

Optional Battery Emulation (BEmu)

Optional PV Panel Emulation (PVEmu)

AC

 Programmable Voltage (CV)(only in GE+)

 Programmable Current (CC)(only in EL+)

 Programmable Power (CP / CS)(only in EL+)

 Programmable Impedance (CZ)(only in EL+)

 Power Amplifier (HiL)

 Steps

Optional LVRT, IEC 61000 -4-11, 4-13, 4-14, 4-28

Overload/Overcurrent

Admissible DC overcurrent is: 110% of rated value during 1 minute

 Admissible AC overcurrent: 125% of rated value during 10 minutes, 150% during 1 minute, 200% during 2 seconds

 Admissible overloads: 125% of rated value during 10 minutes, 150% during 1 minute, 200% during 2 seconds

User Interface

Local Control (4.3" Touchscreen panel)

 Isolated Digital port: 6 inputs, 4 outputs

 Isolated Analogue port: 6 inputs (rms setpoints or power amplifier), 6 outputs (rms readback or real-time readback)

 Interlock port: 1 NC Input, 1 NO Output

 Emergency Stop pushbutton



Remote Control Port

 LAN Ethernet with Open Modbus-TCP protocol

 RS485 (option), CAN and RS232 (using external gateway)

Software

 Graphical User Interface for Windows 7/10

 LabView drivers and open Labview interface example

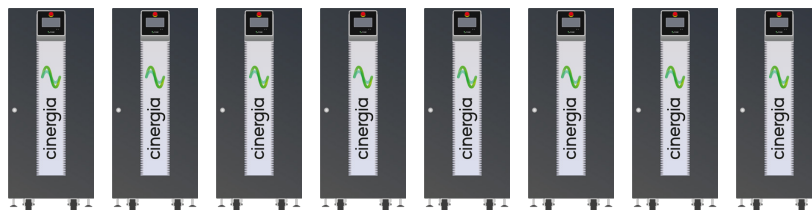
Enhanced
Master/Slave Operation

 Connection: fiber optics link (x6)

 Configuration: from software user interface/MODBUS up to 8 units:

 AC: Parallel

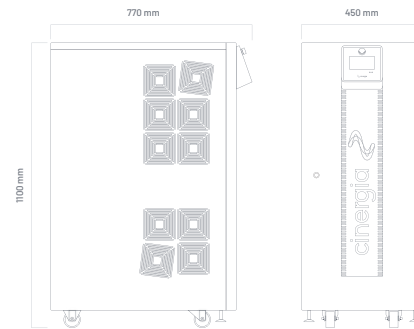
 DC: Parallel, serial or serial-parallel



Size and Weight

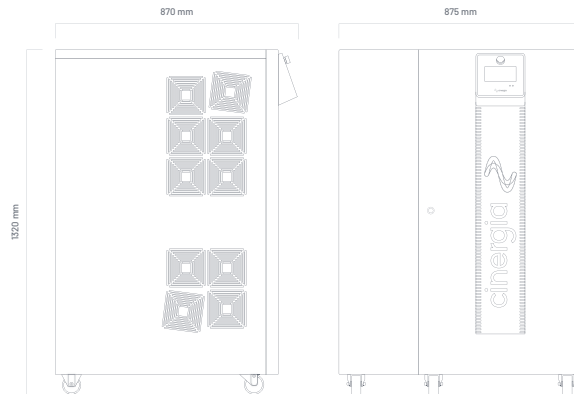
Models 7.5 to 60 kW

Height
1100 mm
Width
450 mm
Depth
770 mm
Weight
200 kg



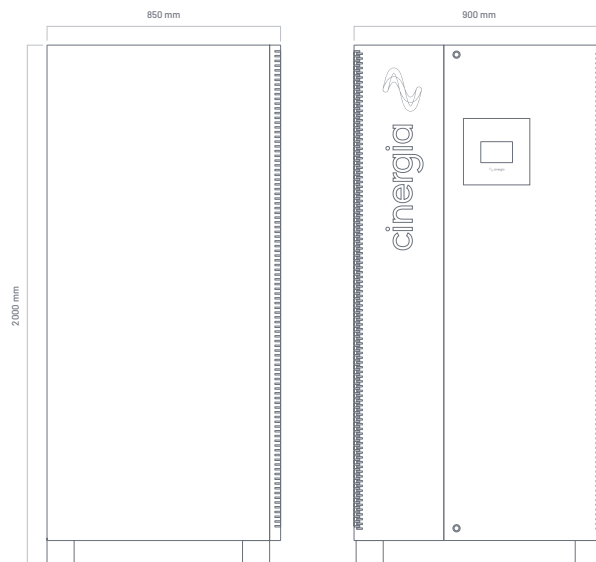
Models 80 to 120 kW

Height
1320 mm
Width
875 mm
Depth
870 mm
Weight
400 kg

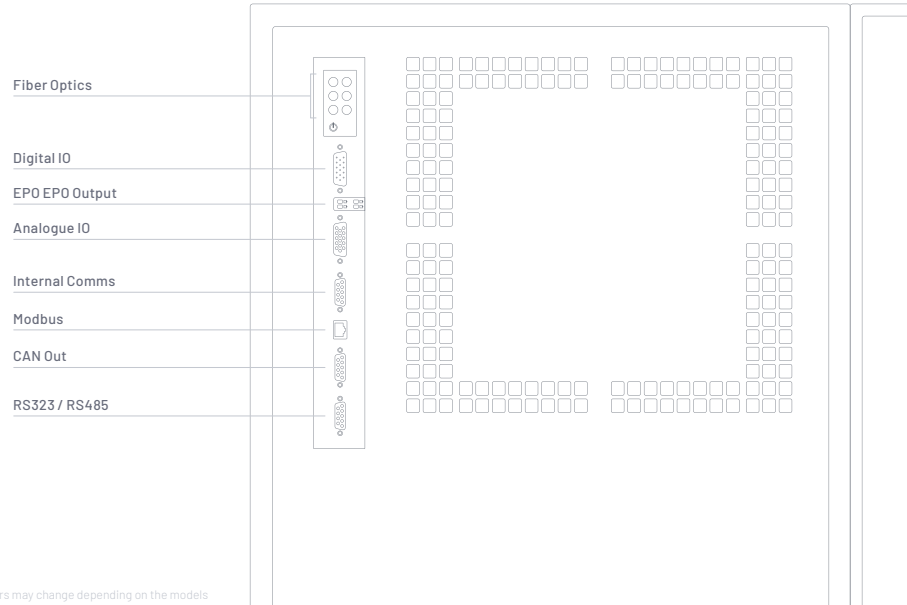


Models 160 & 200 kW

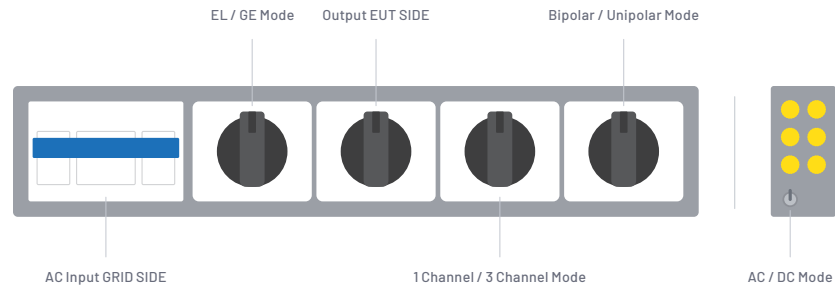
Height
2000 mm
Width
900 mm
Depth
850 mm
Weight
680 kg



Connections



Selectors



Protections

Overvoltage (peak, rms), Overcurrent (peak, rms), Overload
 Shortcircuit, Emergency Stop, Watchdog, Heart Beat, Output
 Contactar, Wrong Configuration
 Alarms and Limits are user configurable and can be saved in a
 password protected EEPROM

Mesurements ⁽⁶⁾

Grid Voltage (rms), Current (rms), Power (P,O) and Frequency
 Output Voltage (rms, avg), Current (rms, avg), Power (P,O) and Frequency
 Heatsink Temperatures (x2) and DC Link Voltage
 Datalogging available through FTP connection

Ambient

Operating temperature⁽⁸⁾: 5-40°C
 Relative Humidity: up to 95%, non-condensing
 Cooling: Forced air
 Acoustic noise at 1m: < 52dB(A)(7.5 to 60), < 65dB(A)(80 to 120), < 70dB(A)(160 and 200)

Standards

CE Marking
 Operation and Safety: EN-50178, EN-62040-1
 EMC: EN-62040-2
 RoHS

All specifications are subject to change without notice.

Options

Choose your options:

- Three channel mode: allows different operation mode start/stop/reset per channel (included in all models from 7.5 to 60, both included)
- 30kHz Switching Frequency: only available for models 15 (derated to 7.5kW), 20 (derated to 7.5kW) and 30 (derated to 10kW)
- Isolation monitor (advised for IT systems)
- Low voltage ripple capacitance
- Low current ripple inductance (included in all models ≤54kW. optional for models ≥80kW)
- High Frequency 360 - 900 Hz
- Anti-islanding monitor (only advised in net injection to the grid and following local regulations)
- High Voltage (HV): voltage up to 295Vrms phase-neutral in AC up to 800V in DC
- RS485
- Battery Emulation
- Battery Test
- PV Panel Emulation
- Predefined Tests: LVRT, IEC 61000-4-11, 4-13, 4-14, 4-28 (consult us for specific Test)
- External gateway for RS232, CAN and others (consult us for specific gateway)

All specifications are subject to change without notice.

1. Minimum voltage setpoint is 0V in DC. The recommended minimum setpoint for long-term use is 20Vrms in AC and 20V in DC.
2. Effective resolution measured with a 400ms window
3. FS Range of voltage is 830V (with High Voltage option)
FS Range of current is 2-|3 · I_{rated}|(see models table)
FS Range of power is 2-|200% · P_{rated}|(see models table)
4. Accuracies are valid for settings above 10% of FS
5. Measured with the rated resistive load and high-dynamics controllers configuration.
6. Accuracy of measurements is ±0.1% of FS for rms voltage, ±0.2% of FS for rms current, ±0.4% of FS for active power (valid only above 10% of FS)
7. Consult us for lower voltage/current ripple requirements
8. Rated power figures are given at 20 °C
9. The maximum output voltage depends on frequency following $V_f < 46000$
10. With fast DC control behaviour

Models

GE&EL+ vAC/DC

Reference	AC Power Rated ⁽¹⁾	AC Current Rated ⁽¹⁾ RMS 3 channels / 1 channel	DC Power Rated ⁽¹⁾	DC Current Rated ⁽¹⁾ RMS 3 channels / 1 channel	Weight (kg)	Dimensions DxWxH (mm)
GE&EL+ 7.5 vAC/DC	7.5 kW	11 A / 33A	7.5 kW	±10A / ±30A	155 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 10 vAC/DC	10 kW	15 A / 45 A	10 kW	±15A / ±45A	155 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 15 vAC/DC	15 kW	22 A / 66 A	15 kW	±20A / ±60A	155 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 20 vAC/DC	20 kW	29 A / 87 A	20 kW	±25A / ±75A	155 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 30 vAC/DC	27 kW	40 A / 120 A	27 kW	±30A / ±90A	155 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 40 vAC/DC	40 kW	58 A / 174 A	40 kW	±40A / ±120A	200 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 50 vAC/DC	50 kW	73 A / 219 A	50 kW	±50A / ±150A	200 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 60 vAC/DC	54 kW	80 A / 240 A	54 kW	±57A / ±171A	200 kg	770 x 450 x 1100 mm
GE&EL+ 80 vAC/DC	80 kW	116 A / -	80 kW	±105A / ±315A	400 kg	880 x 875 x 1320 mm
GE&EL+ 100 vAC/DC	100 kW	145 A / -	100 kW	±130A / ±390A	400 kg	880 x 875 x 1320 mm
GE&EL+ 120 vAC/DC	108 kW	157 A / -	108 kW	±130A / ±390A	400 kg	880 x 875 x 1320 mm
GE&EL+ 160 vAC/DC	145 kW	211 A / -	145 kW	±155A / ±465A	680 kg	850 x 900 x 2000 mm
GE&EL+ 200 vAC/DC	160 kW	232 A / -	160 kW	±185A / ±555A	680 kg	850 x 900 x 2000 mm

All specifications are subject to change without notice.

Galvanic Isolation

	Circuit Breaker Recommended	Weight	
Inside the cabinet	IT 7.5i	Type C - 25 A	145 kg
	IT 10i	Type C - 25 A	145 kg
	IT 15i	Type C - 32 A	145 kg
	IT 20i	Type C - 40 A	145 kg
	IT 30i	Type C - 50 A	195 kg
	IT 40i*	Type C - 63 A	195 kg
	IT 50i*	Type C - 83 A	195 kg

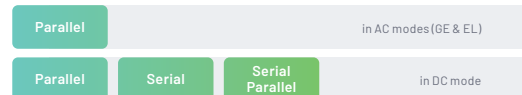
*In the IT 40i and IT 50i models the size of the cabinet increases to a total of 770 x 835 x 1100 mm. The others keep the original size.

	Circuit Breaker Recommended	Weight	Dimensions D x W x H	
In external cabinet IP20	IT 30e	Type D - 80 A	174 kg	595 x 415 x 708 mm
	IT 40e	Type D - 100 A	217 kg	725 x 525 x 773 mm
	IT 50e	Type D - 125 A	280 kg	725 x 525 x 773 mm
	IT 60e	Type D - 160 A	381 kg	875 x 600 x 900 mm
	IT 80e	Type D - 200 A	435 kg	875 x 600 x 900 mm
	IT 100e	Type D - 250 A	458 kg	875 x 600 x 900 mm
	IT 120e	Type D - 315 A	514 kg	875 x 600 x 900 mm
	IT 160e	Type D - 400 A	612 kg	964 x 648 x 1252 mm
	IT 200e	Type D - 500 A	753 kg	1192 x 744 x 1430 mm

Configuration Modes



Master / Slave



Channel Configuration in GE



Channel Configuration in EL



Channel Configuration in DC



Regenerative Power Electronic Solutions



Can Baletes 7, Nau A
08310 Argentona
Barcelona (Spain)
+34 934 864 358
cinergia@ciner giapower.com

Follow us on:
Youtube, LinkedIn, Twitter

II. Eranskina



TRANSFORMADOR TRIFÁSICO
10 kVA 400V-N / 400V-N ± 5% YNyn0
Ucc = 6,5% IP-23 rev 01

TT

APLICACIONES

- Transformador separador de circuitos.
- Servicio continuo, instalación interior.
- No apto para cortocircuitos por construcción.



NORMATIVA DE APLICACIÓN

- Normativa:

IEC 60076-11, Directiva 2014/35/UE

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Código de artículo: ESPECIAL
- Tipo: Seco.
- Acabado: Impregnación con barniz y tropicalizado contra humedad.
- Potencia: 10 kVA
- Entrada de red: 3x400V+N (entre fases) con neutro accesible.
- Tomas de regulación: Sin tomas
- Salida: 3x400V+N (entre fases) con neutro accesible.
(en vacío 408,76 V y al 100% carga 389,29V)
- Tomas de regulación: ± 5% (380V y 420 V).
- Intensidad nominal del secundario: 15,19 A (380V); 14,43 A (400V); 13,75 A (420V)
- Factor K: (Thdl no tenido en cuenta)
- Grupo de conexión: YNyn0
- Refrigeración: ANAN (Air natural – air natural)
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Clase de temperatura: H (125K) y Ta=40°C.
- Clase de aislamiento: H (125K)
- Clase de bobinados: HC (200°C)
- Nivel de aislamiento: 1.1kV tensión de prueba 4,5kV (1 min 50Hz)
- Altitud máxima: 1000 msnm
- Grado de protección: Envoltente IP-23 pintura epoxi (RAL 7035); pasacables de poliamida, según UNE-60529. Tratamiento para entorno C3H según ISO-12944
- Protección contra choques eléctricos: Clase I
- Rendimiento a temp de funcionamiento: 94.07%
- Corriente de magnetización [en k*In]: **<6.38xIn (Magneto mínimo entrada 32 A Curva C o 16 A curva D).**
- Tensión de cortocircuito [%]: **6.5 – 7.5**
- Accesorios:
- Medidas [mm]:
- Peso aprox. [kg]:
- Cáncamos de elevación en el interior de la envoltente 477 x 390 x 500 x 280 x 350 (A x B x C x e x d). 77

Garantía de dos años contra todo defecto de material y de fabricación. Esta garantía no incluye cualquier desperfecto o deterioro producido en el transformador por la inapropiada manipulación del mismo o por su uso en condiciones para las cuales no ha sido diseñado.



Figura similar

TECNOTRAFO
TECNOLÓGICA INDUSTRIAL, S.A.


 José María Ariño
 Departamento Técnico



TRANSFORMADOR TRIFÁSICO
10 kVA 400V-N / 400V-N ± 5% YNyn0
Ucc = 6,5% IP-23 rev 01

TT

VALORES DE DISEÑO:

Potencia (kVA)	Ip (A)	I _{s1} (a 400V-5%) (A)	I _{s2} (a 400V)(A)	I _{s3} (a 400V+5%)(A)
10	14,43	26,31	14,43	13,74

Temperatura: (en caliente)	ta (°C)	dTp(°C)	dTs(°C)
(40°C + 77,75°)	40	76,6	78,9

OTROS DATOS	
Calidad de la Chapa	M330-50A
Medidas del núcleo:	70x70x3RC
Peso del núcleo:	48 Kgr.
Peso Aluminio:	11,2 Kgr.
Inducción de trabajo en carga	1,251T
Inducción de trabajo en vacío	1,289T
Intensidad pico en la energización:	5,96xIn
Regulación:	4,9%
Usec (100% carga):	391,61 V
Ucc (%) teórico cálculo	7,84%
Uccr (%) activa en 115°C	5,167%
Uccx (%) reactiva	-7,00%
Icc (kA)	0,20
Iccr(kA)	0,09
Iccx(kA)	-0,18
In vacío/ Inom	3,76 %
In vacío/ Inom activa	0,7 %
In vacío/ Inom reactiva	3,7 %

PRIMARIO	U	Espiras	N° Hilos en paralelo	Diámetro Hilo (mm)	Densidad corriente (A/mm ²)	Resistencia (por bobina)
	400 V	174	2	2,36	1,70	318 mΩ 321 mΩ 322 mΩ

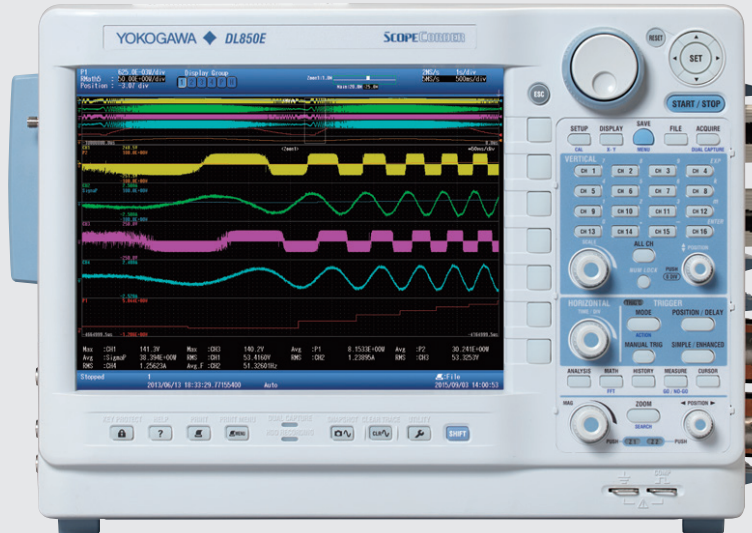
SECUNDARIO	U	Espiras	N° Hilos en paralelo	Diámetro Hilo (mm)	Densidad corriente (A/mm ²)	Resistencia (por bobina)
	380 V	171	2	2,36		178 mΩ 178,5mΩ 177 mΩ
	400 V	180 (acumulado)	2	2,36	1,62	190 mΩ 192 mΩ 192 mΩ
	420 V	189 (acumulado)	2	2,36		203 mΩ 203,5 mΩ 201,5 mΩ

III. Eranskina

DISCONTINUED

Test&Measurement

YOKOGAWA 



SCOPECORDER



Precise data acquisition

DL850E/DL850EV
ScopeCorder

Bulletin DL850E-00EN

Increasing complexities in electronic systems have resulted in the need of instruments capable of measuring a wide range of input signals at fast sampling speeds over longer periods of time.

Perfected over years of continuous innovations, ScopeCorder is YOKOGAWA's unique solution to meeting the most stringent measurement requirements.

Built to endure the harshest measuring environments, ScopeCorder offers the superior performance and high reliability expected of a waveform measuring instrument.

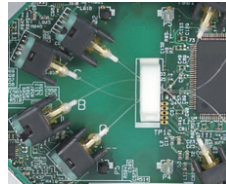
The DL850E/DL850EV delivers:

Flexibility – Choose and combine up to 20 types of plug-in module to fit a variety of measuring applications. Simultaneously capture and display data from electrical and physical sensor signals.

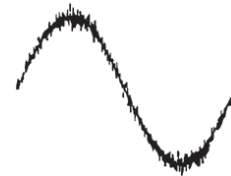
Reliability – Precisely measure signals at high resolution and secure data in the harshest environments with superior isolation technology.

Functionality – Combining the signal fidelity of an oscilloscope and data recording of a recorder, data can be thoroughly analyzed in fine detail or viewed as a trend over long durations.

YOKOGAWA 



isoPRO



Flexible inputs and built-in signal conditioning

Choose from 20 types of input module to configure a ScopeCorder with up to 128 channels. Gain thorough insight into any application by synchronizing the measurement of different types of electrical and physical signals.

- Voltage and Current
- Sensor Outputs
- Temperature, Vibration/ Acceleration, Strain, Frequency
- Logic Signals & CAN/CAN FD/LIN and SENT

Precise measurement of fast switching signals even in the harshest environments

Individually isolated and shielded input channels provide high-resolution and high sample rates.

A trustworthy measurement platform for durability testing

Measurement recording up to 200 days to the large acquisition memory, the internal hard disk and/ or PC hard disk.

Reduce time spent on fault finding

Capture transient signals even during long term measurements using powerful triggers and unique features such as dual capture & history memory.

Real-time evaluation of dynamic behavior within power applications

Trend calculations such as active power, power factor, integrated power, harmonics and more using the new power math option.



Superior functionality

DL850E/DL850EV

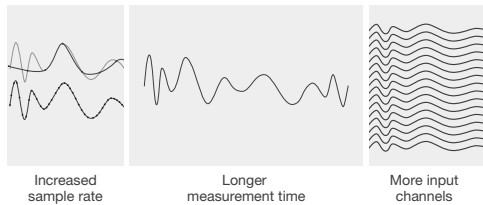
Superior functionality

A ScopeCorder provides a wide variety of unique acquisition features to handle small or large amounts of data. Therefore it can perform multi-channel measurements for longer measurement periods while still being able to precisely capture transient events with the highest detail.

4

Fast and large acquisition memory

A ScopeCorder is equipped with a large acquisition memory of up to 2 G points to allow high sample rates of up to 100 MS/s on multiple channels simultaneously.



- Standard memory 250 M Points
- Expanded memory 1 G Points (/M1 Option)
- Expanded memory 2 G Points (/M2 Option)

Measurement examples to 2 G Point acquisition memory

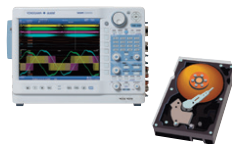
Sample Rate	For 1 ch	For 16 ch	For 32 ch ²
100 MS/s	20 Sec.	1 Sec.	–
10 MS/s	3 Min. 20 Sec.	10 Sec.	–
1 MS/s	30 Min.	1 Min. 40 Sec.	50 Sec.
100 kS/s	5 Hours	10 Min.	5 Min.
10 kS/s	50 Hours	2 Hours 30 Min.	1 Hour 20 Min.
1 kS/s	20 Days	20 Hours	10 Hours
100 S/s	200 Days ¹	10 Days	5 Days

¹: 200 days is the maximum.

²: When using the 720254 module

Real-time hard disk recording

Use a ScopeCorder as a measurement platform for simple durability testing up to 200 days. Real-time hard disk recording enables measurement data to be streamed directly to either the internal HDD drive (/HD1



option) or via the eSATA interface (/HDD option) to an external hard drive.

Measurement examples to internal or external Hard Disk³

Sample Rate	For 1 ch	For 16 ch	For 32 ch ²
1 MS/s	10 Hours	–	–
200 kS/s	2.5 Days	–	–
100 kS/s	5 Days	10 Hours	–
50 kS/s	10 Days	20 Hours	10 Hours
10 kS/s	50 Days	5 Days	2.5 Days
1 kS/s	200 Days ¹	50 Days	20 Days

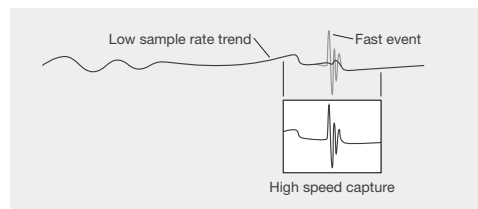
¹: Real-time hard disk recording can be performed for a maximum of 200 days.

²: When using the 720254 module.

³: With the /M2 option, the maximum duration depends on the memory length.

Capture high speed transients during long term recording –Dual capture–

To visualize long term trends for durability testing, data is typically acquired at lower sample rate speeds. On the other hand, suddenly occurring transitional phenomena have to be captured at high speed sample rates and detail to be able to investigate the event. The “Dual capture” function uniquely resolves these conflicting requirements by simultaneously recording at two different sampling rates. Set waveform triggers and capture 5000 high speed transient events at sample rates up to 100 MS/s, while at the same time continuously record trend measurements at up to 100 kS/s.



5 Continuous PC based data acquisition

Equipped for long duration or surveillance testing, the ScopeCorder comes with an easy setup software for continuous data acquisition.

The software enables continuous data recording to a PC hard drive. When using the software in free run mode there are virtually no restrictions in recording time and/or file size. Just click the start button to immediately start measurements!



Guided by four screens, the Setup Wizard easily guides you through the necessary settings for configuring the acquisition system such as measurement settings, data save and display options. Instrument settings can be saved or recalled at any time.

The maximum sample rate and number of measuring channels.

No. of Measuring Channels*	Maximum Sample Rate
1	1 MS/s
2 or 3	500 kS/s
4 to 8	200 kS/s
9 to 16	100 kS/s

*Measuring channels do not include sub channels.

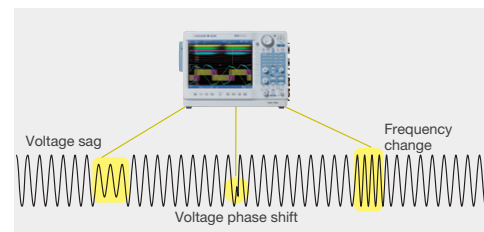
Reduce time spent on fault finding or transient analysis

—Simple & enhanced triggers—

Having the possibility to set individual triggers on multiple channels provides the power to investigate what causes a particular transient event. Moreover the availability of large acquisition memory, and thus longer measurement time, supports the determination of event cause and effect on other parts of the application.

Wave window trigger

The ideal trigger for AC power line monitoring. Easily capture voltage sags, interfering impulses, phase shifts or drop outs.



Action-on trigger

Leave a ScopeCorder unattended and automatically save the waveform to a file or send an email for notification in case of a triggered event.

Recall waveform events

—History memory—

When an abnormal phenomenon is spotted during a repetitive high speed measurement, the anomaly has often already disappeared from the screen by the time the measurement is stopped. With a ScopeCorder, the "History" function is always active and automatically divides the available acquisition memory into 5000 "history waveforms".



These history records are easily accessible and can be displayed simultaneously after measurement is stopped. Using condition-based searches inside the history memory, users can quickly isolate individual waveforms records. Once the required waveforms have been identified they can be used for further analysis.

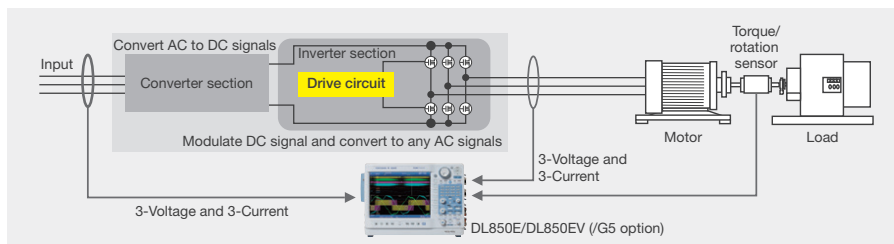
Powerful real-time calculations and analysis functions

As a standard feature, the ScopeCorder is equipped with a set of basic arithmetic functions such as addition, subtraction, division, multiplication, Fast Fourier transformation and more. In addition to standard math, several advanced real-time analysis functions are available.

6

Real-time measurement of electrical power (/G5 option)

Trend calculations such as active power, power factor, integrated power and harmonics, using a dedicated Digital Signal Processor (DSP) that is able to calculate and display up to 126-type of electrical power related parameters in real-time. This enables the user to display raw waveform signals such as voltages and currents along with power calculated parameters and even the capability to trigger on all of them. Data updating rate up to 100 kS/s. Trend waveforms of each order of harmonics, bar-graphs and vector displays can be displayed. Both RMS and Power analysis modes are available. Besides the powerful power calculations, the /G5 option also contains all the functionality of the /G3 option.



Application example | Inverter/Motor testing

Automatic waveform parameter measurement

The parameter measure function is the most precise method for automatically calculating any or all of the 29 different waveform parameters such as amplitude, peak to peak values, RMS, rise time, frequency and more.

Items	P-P, Amp, Max, Min, High, Low, Avg, Mid, Rms, Sdev, +OvrShoot, -OvrShoot, Rise, Fall, Freq, Period, +Width, -Width, Duty, Pulse, Burst1, Burst2, AvgFreq, AvgPeriod, Int1TY, Int2TY, Int1XY, Int2XY, Delay (between channels)
-------	---

Cycle statistics

With this powerful analysis function, the ScopeCorder measures selected parameters individually for each waveform cycle and provides statistical information which can easily be saved to a file. By selecting maximum or minimum values from the results, the instrument can automatically zoom into the selected waveform cycle for further analysis, potentially saving additional data analysis time.

Statistics	Max, Min, Avg, Sdv, Cnt
------------	-------------------------

Cursor measurement

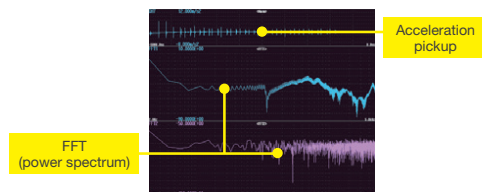
Using cursors is a quick and easy method to measure waveform parameters on the screen. Available cursors are horizontal, vertical, marker, degree or combined horizontal & vertical.

Cursor types	Horizontal, Vertical, Marker, Degree (for T-Y waveform display only), H&V
--------------	---



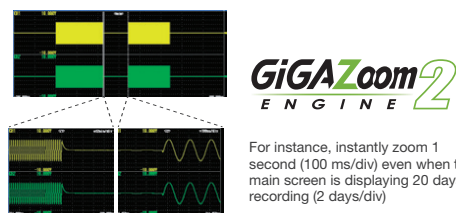
7 User-defined computations (/G2 option)

With user-defined computations it is possible to create equations using a combination of differentials and integrals, digital filters, and a wealth of other functions. Moreover it is possible to perform various types of FFT analysis using two FFT windows. In applications such as vibration and shock tests, you can easily evaluate abnormal vibrations while simultaneously measuring other signals.



GiGAZoom ENGINE 2

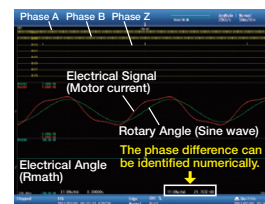
Zoom into 2 Billion samples in just a blink of the eye. Each ScopeCorder is equipped with the revolutionary GiGAZoom ENGINE 2, a powerful processor designed for optimizing access to data seamlessly. Activate 2 separate zoom windows while simultaneously displaying the entire original signal.



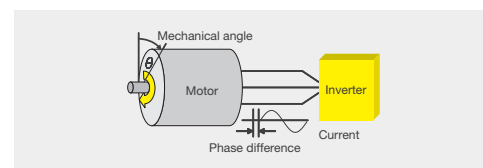
Real-time mathematical computations and digital filtering (/G3 option)

Armed with a dedicated digital signal processor the ScopeCorder can perform mathematical calculations such as arithmetic operators with coefficients, integrals

and differentials, and higher order equations on acquired measurement data. The results of these calculations are displayed during waveform capture in realtime. In addition to mathematical operators, steep digital filters can also be selected to isolate or trigger on the amplitude of certain frequency components.

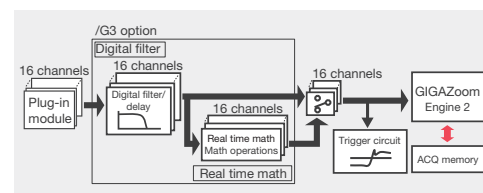


Example of measuring electrical angle



Measuring the electrical angle corresponding to the mechanical angle is important for understanding motor characteristics. The Electrical Angle operation enables the extraction of the fundamental component of current by Discrete Fourier Transform, then the calculation of the phase difference between it and the rotary angle in real time. A trend of the phase difference can also be displayed in real time.

The results of filtering and math operations are acquired in acquisition memory—the same place that input channel waveforms are acquired.



DL850EV ScopeCorder Vehicle Edition

DL850E/DL850EV

DL850EV ScopeCorder Vehicle Edition

The ScopeCorder Vehicle Edition is designed for engineers working in the automotive and railway industry. A common measurement challenge is to combine measurements of electrical signals, physical performance parameters indicated by sensors, together with CAN/CAN FD bus, LIN bus or SENT data transmitted by the powertrain management system. A ScopeCorder Vehicle Edition addresses this challenge by combining the measurement of all signals to provide thorough insight into the dynamic behavior of the electromechanical system. The result is a considerable time saving compared to other approaches such as analysis on PC or other software.

8



Battery powered operation (/DC option)

In addition to AC power, it is also possible to take the ScopeCorder Vehicle Edition in a vehicle and power the unit from the vehicle's DC battery. The DC power option allows AC and DC power supplies to be used together to ensure a highly reliable power source.

If the AC power goes down, the DL850EV instantly switches to the DC supply without interrupting the measurement.

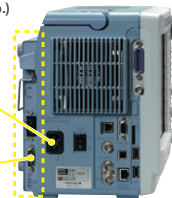
■ Low power consumption of 60 – 120 VA (typ.)

■ Low noise compared to using an external inverter

• Can be driven by AC power.
 100 V AC (100 – 120 V)
 200 V AC (200 – 240 V)



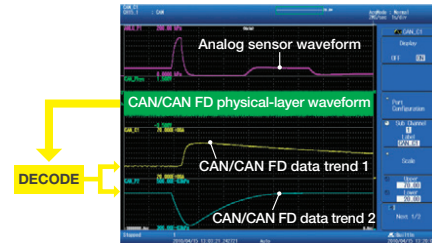
• Can be driven by external DC power such as the vehicle's battery
 12 V DC (10 – 18 V)



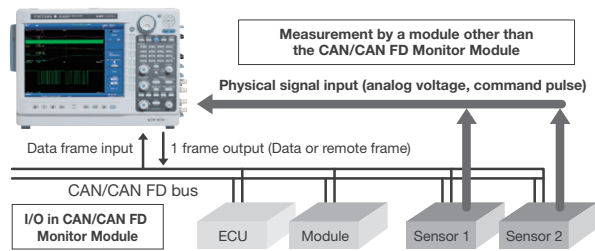


9 CAN/CAN FD, LIN Bus and SENT monitoring

Use a ScopeCorder to decode the CAN/CAN FD, LIN-Bus or SENT signals and display information on physical data, like engine temperature, vehicle speed and brake-pedal position, as analog waveforms and compare this with the data coming from real sensors.

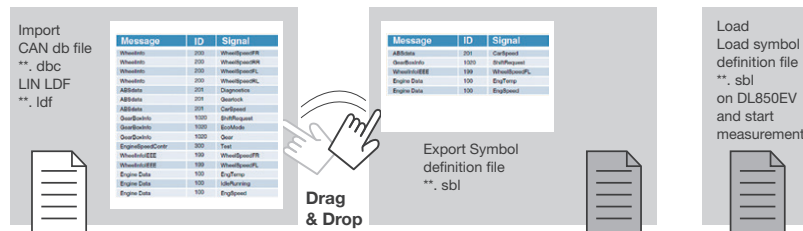


Example of comparison and verification of a measured signal and CAN/CAN FD bus signal

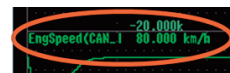


Symbol Editor for CAN DBC, LIN LDF

The symbol editor is a software tool which makes it possible to define which physical values from the CAN/CAN FD or LIN bus data frame have to be trended as waveform data on the display of the ScopeCorder. The Symbol Editor can accept vehicle-installed network definition files (CAN DBC, LIN LDF).



Label, scale and unit are appeared without manual input.

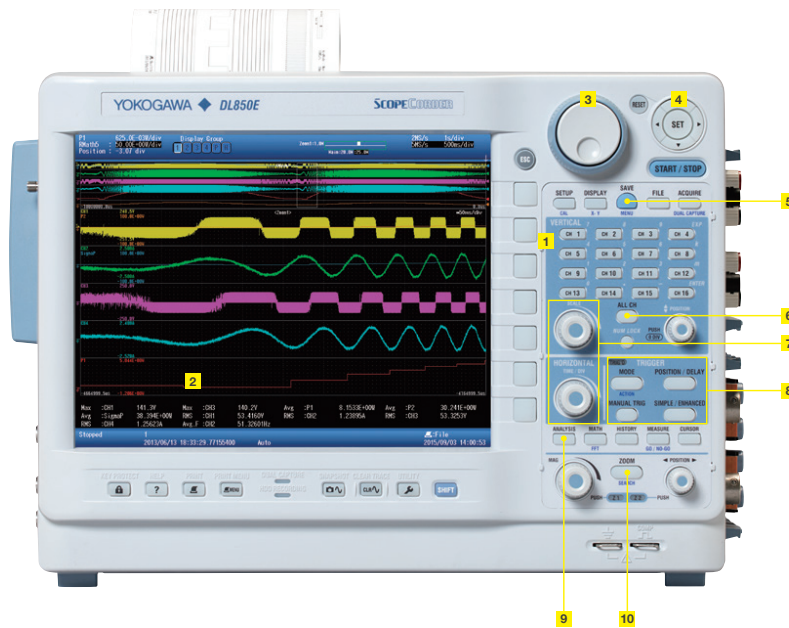


Flexible operation

DL850E/DL850EV

Flexible operation

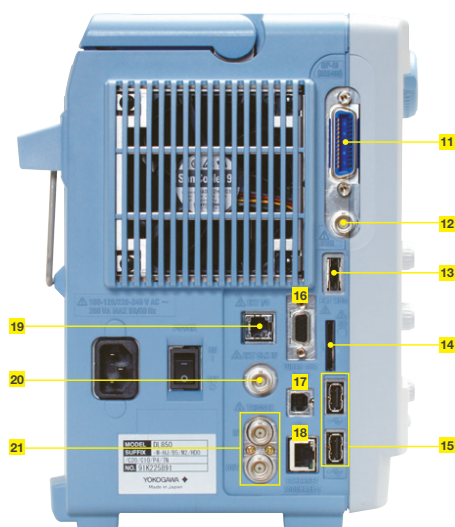
10



- 1 Local language support**
 Operate the ScopeCorder in the language of your choice by selecting any of the 8 languages for the instrument's software menu and front panel. Choose from English, German, French, Italian, Spanish, Chinese, Korean or Japanese.
- 2 High resolution display**
 A large 10.4-inch XGA LCD, displays multiple channels in precise detail.
- 3 Jog shuttle**
- 4 Cursor keys**
 For scrolling through setting menus. To enable a setting press the center [SET] key.
- 5 Single button save**
 A pre-programmable button that saves data to hard drive, SD card, USB stick or a remote network storage location.
- 6 All channel setup**
 For quick and easy setup, displays an overview of the settings of multiple input channels simultaneously.
- 7 Vertical scale & horizontal time/div**
 Use these rotary knobs to set the vertical scale (voltage/div) of the selected input channel or to set the required measurement time (time/div).
- 8 Trigger keys**
- 9 Analysis key**
 Display power calculations, such as active power, power factor, integrated power and harmonics in real-time.
- 10 Zoom keys**
 With 2 zoom windows the Gigazoom Engine II zooms into 2 Billion samples in just a blink of the eye.

Communications & Connection interfaces

11



11 GP-IB (/C1 or /C20 option)

12 IRIG interface (/C20 option) or GPS interface (/C30 option)
 Inputting an external time signal (IRIG or GPS) lets you synchronize multiple.

13 External eSATA hard drive interface (/HD0 option)
 Save measurement data to external eSATA hard drive.

14 SD card slot

15 USB Type A
 Two USB ports support USB storage, keyboard input and mouse operation.

16 Video output

17 USB type B

18 Ethernet 1000BASE-T

19 EXT I/O

Multifunctional port used for indicating the results of repeated automatic GO/NO-GO measurements or for external start/stop of the measurement.

20 External clock in

Synchronize the sampling clock to an external clock signal, for example when working with rotary devices for position related sampling.

21 External trigger input / output

22 Carrying handle

23 Input module slots

24 Ground terminal

25 Probe power supply (/P4 option)

Applications in power & transportation

DL850E/DL850EV

Applications in power & transportation

With today's increased incorporation of power electronics and switching devices in power and transportation related applications, measuring the power consumption and performance of the individual components alone is often not sufficient to understand the overall performance and behavior of a system.

12

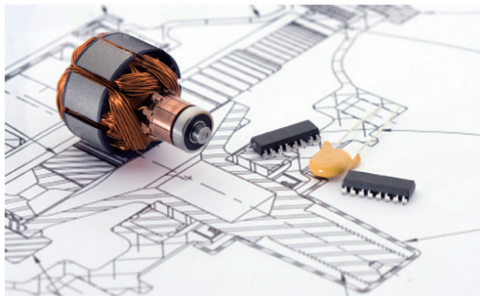
A ScopeCorder satisfies this new measurement requirement by not only capturing voltage and current waveforms, but it combines these with real-time calculations of power and other electrical and physical parameters into a single measurement overview.

Motors and electric drives

The majority of industrial applications incorporate a variable speed drive in combination with a three phase induction motor. Where an Oscilloscope often has a limited channel count and non-isolated input channels, the DL850E can be equipped with 16 or more channels and has a diverse range of input modules, where each channel is individually isolated.

The instrument offers direct input of voltages up to 1000 V, with no need for active probing, and samples data at rates up to 100 MS/s with 12 or 16 Bit vertical resolution. These features are ideal for capturing inverter switching signals with high precision.

Being able to connect the outputs from additional torque sensors, rotary encoders or thermocouples also makes the DL850E ScopeCorder an ideal measuring instrument to enable engineers to improve the design of motor and electric drives, reduce size and costs, and increase efficiency levels. This in turn helps to reduce global industrial power consumption.

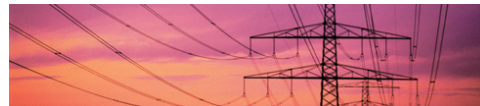


Simultaneously measure and analyze 3 phase inputs and 3 phase outputs



The ScopeCorder's multichannel platform with large memory enables the power of 6 inputs (3x voltage and 3x current) and 6 outputs to be analyzed simultaneously.

Real-time evaluation of dynamic behavior within power applications



Active power, power factor, integrated power, harmonics and more can be calculated and shown as trends using the new /G5 power math option.

Precise measurement of fast switching signals even in the harshest environments



Individually isolated and shielded input channels provide high resolution and high noise immunity.

13 **Sustainable operation of urban mobility**

Perform service and maintenance in the field by taking a ScopeCorder on-board a vehicle. The DL850EV can be driven by DC power, such as the vehicle's battery, in addition to AC power.



Vehicle testing

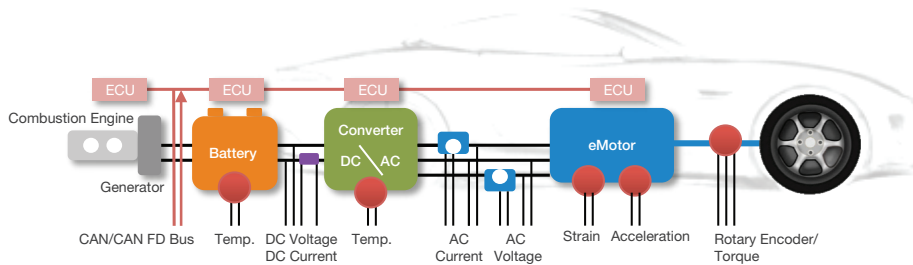
The increasing demand for clean and energy efficient ways of transportation drives the development of efficient railway electrification systems incorporating new greener propulsion and control technologies. In the automotive market, the electrification of the powertrain is shaping the future of vehicle technology development. The DL850EV ScopeCorder Vehicle edition is designed to provide engineers with knowledge about the dynamic behavior of their specific application and its efficiency.



Rotary encoder position	Consumed energy
Sensor linearization	RMS
Real power	Harmonics
Frequency	AC waveform trigger

Analyze the dynamics of electric drive trains

Combine electrical signals and physical sensor parameters, related to mechanical performance, with data from the control system such as a CAN/CAN FD, LIN buses or SENT. This enables R&D engineers to identify the correlation between communication data transmitted over the vehicle bus and analog data such as voltage, temperature and sensor signals, or the ECU's control logic signals.



Flexible and modular inputs with built-in signal conditioning

DL850E/DL850EV

Flexible and modular inputs with built-in signal conditioning

Choose from 20 types of input modules and install up to 8 in a ScopeCorder at a time. For the detailed DL850E/DL850EV plug-in module specifications, see the “Bulletin DL850E-01EN”.


IF CLASS 1 LASER PRODUCT MODULE IS AVAILABLE
 クラス1レーザーモジュール実装時
 実装Class 1レーザー規格時

CLASS 1 LASER PRODUCT
 クラス1レーザー製品
 1 実装光産品
 (EN 60825-1:2014)
 (IEC 60825-1:2007, GB 7247.1-2012)

Complies with 21 CFR 1040.10 and 1040.11 except for deviations pursuant to Laser Notice No.50, dated June 24, 2007
 2-9-32 Nakacho, Musashino-shi, Tokyo 180-8750, Japan

14


Input modules available for high-speed, isolation and multi-channel measurements.



A stand-alone measurement system equipped with multiple 4 channels, 1 MS/s, 16-bit isolation modules, equals a total of 32-channels.*

* The sample rate, including when an external clock signal is applied, will be always half or less of the 2-CH voltage input module (such as 720250) under the same recording length.

720254



IsoPRO technology enables High speed (100 MS/s), High resolution (12-bit), 1 kV isolated measurements.*

* With the combination of the 720211 high-speed isolation module and a 700929, 702902 or 701947 probe.

720211

Input modules for DL850EV



CAN/CAN FD
720242




CAN, LIN
720241



SENT
720243

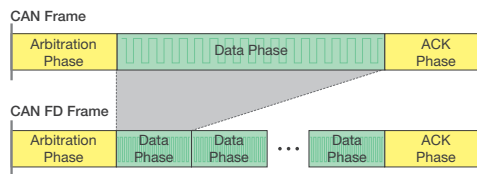


CAN/CAN FD Monitor Module 720242 (for DL850EV)



Monitor and decode CAN FD (CAN with Flexible Data Rate)

The 720242 module is capable of extracting specified data from CAN FD serial signals as well as Classical CAN, converting them into analog values, and record their trends. It therefore strongly supports the development and evaluation of next-generation vehicles. The 720242 module allows a network intermingled with CAN and CAN FD to be monitored by automatically discriminating between these two formats.



CAN FD (CAN with Flexible Data-rate) versus Classical CAN

CAN FD is a format in which the transfer rate and data length of the data field has been increased while still following a protocol common to CAN. It therefore enables data rates higher than 1 Mbit/sec to be transmitted on a CAN bus and thus deliver the higher bandwidths now required by the automotive industry for in-vehicle networks.



15 All input modules lineup for DL850E and DL850EV.



Update of the firmware may be required depending on the input module used.

Plug-in Module Selection Guide^{*1}

Input	Model No.	Sample rate	Resolution	Bandwidth	Number of channels	Isolation	Maximum measurement voltage ¹⁰ (DC+ACpeak)	DC accuracy	Note
Analog Voltage	720211*	100 MS/s	12 bit	20 MHz	2	Isolated	1000 V ² , 200 V ³	±0.5%	High speed · High voltage · Isolated
	720250	10 MS/s	12 bit	3 MHz	2	Isolated	800 V ² , 200 V ³	±0.5%	high noise immunity
	701251	1 MS/s	16 bit	300 kHz	2	Isolated	600 V ² , 140 V ³	±0.25%	High sensitivity range (1 mV/div), low noise (±100 µVtyp.), and high noise immunity
	720254	1 MS/s	16 bit	300 kHz	4	Isolated	600 V ² , 200 V ³	±0.25%	4 CH ENC input low noise, high noise immunity
	7201255	10 MS/s	12 bit	3 MHz	2	Non-Isolated	600 V ² , 200 V ³	±0.5%	High speed · Non isolated
	720268	1 MS/s	16 bit	300 kHz	2	Isolated	1000 V ¹¹	±0.25%	With AAF, RMS, and high noise immunity
Analog Voltage & Temperature	720220	200 kS/s	16 bit	5 kHz	16	(GND-terminal) Non-Isolated (CH-CH)	20 V ³	±0.3%	16 CH voltage measurement (Scan-type)
	701261	100 kS/s (Voltage), 500 S/s (Temperature)	16 bit (Voltage), 0.1°C (Temperature)	40 kHz (Voltage), 100 Hz (Temperature)	2	Isolated	42 V	±0.25% (Voltage)	Thermocouple (K, E, J, T, L, U, N, R, S, B, W, iron-doped gold/chromel)
	701262	100 kS/s (Voltage), 500 S/s (Temperature)	16 bit (Voltage), 0.1°C (Temperature)	40 kHz (Voltage), 100 Hz (Temperature)	2	Isolated	42 V	±0.25% (Voltage)	Thermocouple (K, E, J, T, L, U, N, R, S, B, W, iron-doped gold/chromel), with AAF
	701265	500 S/s (Voltage), 500 S/s (Temperature)	16 bit (Voltage), 0.1°C (Temperature)	100 Hz	2	Isolated	42 V	±0.08 (Voltage)	Thermocouple (K, E, J, T, L, U, N, R, S, B, W, iron-doped gold/chromel), high sensitivity range (0.1 mV/div)
	720266	125 S/s (Voltage), 125 S/s (Temperature)	16 bit (Voltage), 0.1°C (Temperature)	15 Hz	2	Isolated	42 V	±0.08 (Voltage)	Thermocouple (K, E, J, T, L, U, N, R, S, B, W, iron-doped gold/chromel), high sensitivity range (0.1 mV/div), Low noise
	720221 ⁷	10 S/s	16 bit	600 Hz	16	Isolated	20 V	±0.15% (Voltage)	16 CH voltage or temperature measurement (scan method) Thermocouple (K, E, J, T, L, U, N, R, S, B, W, Au-Fe-chromel)
Strain	701270	100 kS/s	16 bit	20 kHz	2	Isolated	10 V	±0.5% (Strain)	Supports strain NDIS, 2, 5, 10 V built-in bridge power supply
	701271	100 kS/s	16 bit	20 kHz	2	Isolated	10 V	±0.5% (Strain)	Supports strain DSUB, 2, 5, 10 V built-in bridge power supply, and shunt CAL
Analog Voltage, Acceleration	701275	100 kS/s	16 bit	40 kHz	2	Isolated	42 V	±0.25% (Voltage) ±0.5% (Acceleration)	Built-in anti-aliasing filter, Supports built-in amp type acceleration sensors (4 mA/22 V)
Frequency	720281	1 MS/s	16 bit	resolution 625 ps	2	Isolated	420 V ² , 42 V ³	±0.1% (Frequency)	Measurement frequency of 0.01 Hz to 500 kHz, Measured parameters (frequency, RFPs, RFSs, period, duty cycle, power supply frequency, pulse width, pulse integration, and velocity)
Logic	720230	10 MS/s	—	—	8 bit × 2 ports	Non-Isolated	depend on logic probe used.	—	(8 bit/port) × 2, compatible with four-type of logic probe (sold separately)
CAN, LIN	720241	100 kS/s ¹²	—	—	(60 signals × 2) port	Isolated	10 V (CAN port) 18 V (LIN port)	—	CAN port × 1, LIN port × 1 ^{5, 6}
CAN, CAN FD	720242	100 kS/s ¹²	—	—	(60 signals × 2) port	Isolated	10 V	—	CAN/CAN FD Data of maximum 32 bit allowable ^{5, 9}
SENT	720243	100 kS/s ¹²	—	—	11 data × 2 ports	Isolated	42 V	—	Supported protocol: SAE J2716 ^{5, 9}

*1: Probes are not included with any modules. *2: In combination with 700929, 702902 or 701947 probe. *3: Direct input *4: In combination with 10:1 probe model 701940 *5: Any other modules can be installed in the remaining slots. *6: When using these modules with DL850EV, up to four CAN/CAN FD Monitor Modules (720242), CAN & LIN Bus Monitor Modules (720241) or SENT Monitor Module (720243) in total can be used on a single main unit. For the CAN/CAN FD Monitor Module (720242) and CAN & LIN Bus Monitor Module (720241), up to two in total can be used on a single main unit. *7: The 16 CH Scanner Box (701953) is required for measurement. *8: Class 1 Laser Product, IEC / EN60825-1:2007, GB7247-1-2012 *9: In combination with 758933 and 701954. *10: See the main specifications for voltage-axis sensitivity setting and measurement range. *11: 1000 Vrms (1000 VDC or 1414 Vpeak maximum) when using with DL350. 850V (DC + ACpeak) when using with DL850/DL850V/DL850E/DL850EV or SL1000 *12: Maximum data update rate

Accessories and software

DL850E/DL850EV

Accessories and software

Different applications, different types of signals, different measurement needs and different accessories. Analyze measurement data using the ScopeCorder itself or in the PC using Xviewer software.

16

Xviewer

Xviewer can display acquired waveforms, transfer files and control instruments remotely. In addition to simply displaying the waveform data, Xviewer features many of the same functions that the ScopeCorder offers: zoom display, cursor measurements, calculation of waveform parameters, and complex waveform math. Binary waveform data can be easily converted to CSV, Excel or Floating Point Decimal format.



Free Xviewer trial

Get the free 30 day trial version of Xviewer at tmi.yokogawa.com.

Powerful linkage with PC analysis software

Driver and DataPlugin

A driver and data plugin for such as DIAdem, LabVIEW, FAMOS and DADiSP software are available and can be downloaded on each web site.

MATLAB* file saving

Measurement data can be directly saved into a MATLAB .MAT format file. .MAT files can be loaded into MATLAB. Measurement data can be conveniently imported into MATLAB quickly with a smaller file size.



*MATLAB is a multi-paradigm numerical computing environment and fourth-generation programming language. Developed by MathWorks.

DL850 Advanced Utility (option)

The Xviewer advanced utility option enables waveform data to be pre-analyzed while the acquisition on the instrument is still in progress. It also adds the possibility to merge and synchronize measurement files taken by multiple DL850E/DL850EV as well as file splitting and file format conversion.

Related products

High Speed PC based DAQ SL1000

- Up to 100 MS/s on all channels
- Up to four simultaneously independent sample rates
- Supports parallel testing (Max. 8-unit)



Precision Power Scope PX8000

- Simultaneous power calculation
- Cycle-by-cycle power trend measurement
- Specific time-period measurement



ScopeCorder DL350

- Max. 8-CH high-speed isolated recording
- Battery-operated compact chassis
- Ease of use in the field



Arbitrary/Function Generator FG400 Series

- 0.01 μ Hz to 30 MHz, 20 Vp-p, 1 or 2 channels
- A variety of sweeps and modulations



YOKOGAWA 

17

	10:1 Probe (for Isolated BNC input) 702902 (Wide operating temperature range)		Pinchers tip (hook type) B9852MM/B9852MN		Fork terminal adaptor set 758921		Bridge head (DSUB) 120 Ω: 701957 350 Ω: 701958
	100:1 Probe (for isolated BNC input) 701947		Alligator clip adaptor set 758922		Scanner box 701953		High-speed logic probe 700986
	1:1 Safety BNC adapter lead 701901		Alligator clip adaptor set 758929		Current probe 500 Arms DC to 2 MHz 701931		Isolation logic probe 700987
	1:1 Safety adapter lead 701904		7000 Vpk, 50 MHz differential probe 701926		Current probe 30 Arms DC to 100 MHz 701932		Logic probe (TTL level contact input) 1 m: 702911 3 m: 702912
	Measurement lead set 758933		±1400 V, 100 MHz differential probe 700924		Current probe 30 Arms DC to 50 MHz 701933		Current probe 5 Arms DC to 50 MHz 701917
	Plug-on clip 701948		BNC cable 366924/366925		Current probe 150 Arms DC to 10 MHz 701930		Current probe 5 Arms DC to 120 MHz 701918
	Safety BNC cable 1 m: 701902 2 m: 701903		1:1 BNC-alligator cable 366926		Probe power supply 4-output 701934		Clamp-on Probe AC 50 Arms 40 Hz to 3.5 kHz 720930
	Large alligator-clip (Dolphin type) 701954		1:1 Banana-alligator cable 366961		Bridge head (NDIS) 120 Ω: 701955 350 Ω: 701956		Clamp-on Probe AC 200 Arms 40 Hz to 3.5 kHz 720931

Software Control <http://tmi.yokogawa.com/ea/products/oscilloscopes/oscilloscopes-application-software/>

	Free Software	Advanced Software Trial version available
Off-line waveform display and analysis	XviewerLITE—Basic check— Zoom, V-cursor, conversion to CSV format DIAdem DataPlugin*1	Xviewer—Advanced Analysis— Advanced and useful functions are supported. Good for precise, off-line waveform analysis. <ul style="list-style-type: none"> • Waveform observation and analysis • Cursor, Parametric Measure • Statistical Analysis • Multiple file display • Advanced waveform operations • Comment, marking, printing and making report • Optional Math computation feature • Remote monitor • Instruments communication function • Transferring waveform & image files DL850 Advanced Utility (option) <ul style="list-style-type: none"> • The advanced utility option allows ScopeCorder to pre-analyze waveform data during acquisition.
Waveform monitoring on a PC	XWirepuller Remote monitor and operation Transferring image files.	DL850E ACQ Software Continuous data recording into a PC's HDD.
Data transfer to a PC		
Command control Custom software development	Control library "TMCTL" For Visual Studio WDF File Access Library MATLAB*2 WDF Access Toolbox Transfer data file to MATLAB	LabVIEW*3 instrument driver

*1: The DataPlugin software can be downloaded from the National Instruments (NI) web site.
 *2: MathWorks's product.
 *3: Program development environment provided by National Instruments (NI)

Specifications (Main unit)

*For the plug-in modules specifications, see the "Bulletin DL850E-01EN".

Main Specifications (Main Unit)	
Input Section	Plug-in module
Number of slots	8 *Up to four 72024Q, 720241, 720242 or 720243 modules in total can be used on a single main unit. For 72024Q, 720241 and 720242 modules, up to two in total can be used on a single main unit. These modules are available for the DL850EV only.
Number of input channels	DL850E: 16 CH/Slot, 128 CH/Unit DL850EV: 120 CH/Slot, 336 CH/Unit (Maximum simultaneous display waveform is 64 waveforms x 4 screen selectable)
Max recording length	Max recording length depends on kinds of modules and number of channels Standard: 250 Mpts (1 CH), 10 Mpts/CH (16 CH*) /M1 option: 1 Gpts (1 CH), 50 Mpts/CH (16 CH*) /M2 option: 2 Gpts (1 CH), 100 Mpts/CH (16 CH*) 1 pts (point) = 1 W (word)
Max Time axis setting range	100 ns/div to 1 s/div (1-2-5 step) 2 s/div, 3 s/div, 4 s/div, 5 s/div, 6 s/div, 8 s/div, 10 s/div, 20 s/div, 30 s/div, 1 min/div to 10 min/div (1 min step), 12 min/div, 15 min/div, 30 min/div, 1 h/div to 10 h/div (1 h step), 12 h/div, 1 day/div, 2 day/div, 3 day/div, 4 day/div, 5 day/div, 6 day/div, 8 day/div, 10 day/div, 20 day/div
Time axis accuracy ²	±0.005%
Trigger Section	
Trigger mode	auto, auto level, normal, single (N), ON start
Trigger level setting range	0 centered ±10 div
Simple trigger	Trigger source CHn (n: any input channel), Time, External, Line Trigger slope Rising, falling, or rising/falling Time trigger Date (year/month/day), time (hour/minute), time interval (10 seconds to 24 hours)
Enhanced trigger	Trigger source CHn (n: any input channel) Trigger type A→B (N), A Delay B, Edge on A, OR, AND, Period, Pulse Width, Wave Window
Display	
Display ³	10.4-inch TFT color LCD monitor, 1024 x 768 (XGA)
Display resolution of waveform display	selectable either 301x656 (normal waveform display) or 1001x656 (wide waveform display)
Display format	Max. 3 simultaneous displays available In addition to main, 2 more waveforms available among zoom 1, zoom 2, XY1, XY2, FFT1, FFT2 (G2 option), Vector (G5 option), Bar graph (G5 option)
Function	
Acquisition and display	Acquisition mode Normal Normal waveform acquisition Envelope Maximum sample rate regardless of record time, holds peak value Averaging Average count 2 to 65536 (2 ¹⁶ steps) Box average Increase A/D resolution up to 4 bits (max. 16 bits)
Roll mode	It is effective when the trigger mode is set to auto/auto level/single/ON start, and time axis is greater than 100 ms/div.
Dual capture	Performs data acquisition on the same waveform at 2 different sample rates. Main waveform (low speed) Maximum sample rate: 100 kS/s (roll mode region) Maximum record length: 1 G point (/M2, 1 CH) Capture waveform Maximum sample rate: 100 MS/s (high speed) Maximum record length: 500 k point
Realtime hard disk recording (HDD, /HD1 option)	Maximum sample rate Maximum 1 MS/s (1 CH used), 100 kS/s (16 CH used) depends on channel used Capacity Depends on HDD vacant capacity Action When waveform acquisition occurs according to the specified trigger mode, the DL850E/DL850EV stores the data to an internal hard disk or an external hard disk that supports eSATA.
History memory	Maximum: 5000 waveforms
Display	
Display format	TY display for 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 16 division display
Maximum number of display traces	64 trace per 1 display group, selectable in every 4 displays
X-Y display	Selectable X axis/Y axis in CHn, MATHn (max. 4 trace x 2 window)
Accumulation	Accumulates waveforms on the display (persistence mode)
Snapshot	Retains the current displayed waveform on the screen. Snapshot waveforms can be saved/loaded.
ALL CH menu	Set all channels while displaying waveforms. Operation using USB keyboard and USB mouse are available.
Expansion/reduction of vertical axis direction	× 0.1 to × 100 (varies depending on the module), DIV/SPAN set selectable
Vertical position setting	±5 div waveform move is available from the center of waveform screen frame.
Linear scaling	Set AX+B mode or P1-P2 mode independently for CHn
Analysis, computation	
Cursor measurement	Horizontal, Vertical, I, Marker, Degree (for T-Y waveform display only), H&V
Zoom	Expand the displayed waveform along time axis (up to 2 locations using separate zoom rates) Expanded display: 100 ns/div to 1/2 of Main waveform Auto scroll: Automatically scrolls the zoom position.
Search and zoom	Search for, then expand and display a portion of the displayed waveform. Search conditions: Edge count, logic pattern, event, time
History search function	Search for and display waveforms from the history memory that satisfies specified conditions. Zone search/parameter search

DL850E/DL850EV

Waveform parameters	Up to 32 items can be displayed
Items	P-P, Amp, Max, Min, High, Low, Avg, Mid, Rms, Sdev, +OvrShoot, -OvrShoot, Rise, Fall, Freq, Period, +Width, -Width, Duty, Pulse, Burst1, Burst2, AvgFreq, AvgPeriod, Int1TY, Int2TY, Int1XY, Int2XY, Delay (between channels)
Statistical processing	Automated measured values of waveform parameters
Statistics	Max, Min, Avg, Sdv, Cnt
Mode	All waveforms/cycle statistics/history statistics
Maximum number of cycles	64000 cycles (when the number of parameters is 1)
Maximum number of parameters	64000
Maximum measurement range	No limit. (100 M points for Real-time hard disk recorded data.)
Computation (MATH)	
Definable MATH waveforms	Max. 8
Calculable record length	Max. 1 M point (1ch)
Operators	+, -, ×, /, binary computation, phase shift, and power spectrum
User-defined computation (/G2 option)	
Computation setting is available by combining any following operators and parameter measurement items. ABS, SQRT, LOG, EXP, NEG, SIN, COS, TAN, ATAN, PH, DIF, DDIF, INTG, IINTG, BIN, P2, P3, F1, F2, FV, PWHH, PWHL, PWLL, PWLL, PWHX, DUTYH, DUTYL, FLT1, FLT2, HLBT, MEAN, LS-, PS-, PSD-, CS-, TF-, CH-, MAG, LOGMAG, PHASE, REAL, IMAG	
FFT	
Subject to be computed CHn, MATHn	
Number of channels	1 (/G2 no option), 2 (/G2 option)
Computation points	1 k/2 k/5 k/10 k/20 k/50 k/100 k
Time window	Rect/Hanning/Hamming/FlatTop, Exponential (/G2 option)
Average function	Yes (/G2 option)
Real time MATH (/G3 option)	
Number of computation waveforms Maximum 16 (Selectable with any input channel ²)	
Digital filter	Gauss (LPF), SHARP (LPF/HPF/BPF), IIR (LPF/HPF/BPF), MEAN (LPF)
Delay	100 ns to 10.00 ms (The data will be decimated when the delay time is relatively long.)
Types of computation	
+, -, ×, /, four fundamental arithmetic operations with coefficients, differential, integral, angle, D-A conversion, quartic polynomial equation, rms value, active power value, Reactive power value, integrated power value, logarithm, square root, sin, cos, atan, electrical angle, polynomial addition & subtraction, frequency, period, edge count, resolver, IIR filter, PWM, knock filter (DL850E only), and CAN ID (DL850EV only), Torque, S1-S2 (Angle)	
Power MATH (/G5 option²)	
Power Analysis	
Max. number of analyzable system	2-system (3-phase)
Max. number of measurement parameters	126 (1-system), 54 (2-system)
Wiring System	single-phase, two-wire; single-phase, three-wire; three-phase, three-wire; three-phase, four-wire; and three-phase, three-wire with three-voltage, three-current method
Delta Computation	3P3W: Difference, 3P3W > 3V3A 3P4W: Star > Delta 3P3W (3V3A): Delta > Star
Measurement Items	RMS voltage/current of each phase, Simple voltage and current average (DC) of each phase, AC voltage/current component of each phase (AC), Active power, Apparent power, Reactive power, Power factor, Current phase difference, Voltage/Current frequency, Maximum voltage/current, Minimum voltage/current, Maximum/Minimum power, Integrated Power (positive and negative), Integrated Current (positive and negative), Volt-ampere hours, Var hours, Impedance of the load circuit, Series resistance of the load circuit, Series reactance of the load circuit, Parallel resistance of the load circuit, Parallel reactance of the load circuit, Unbalance rate of three-phase voltage, Unbalance rate of three-phase current, Motor output, Efficiency, Integration time
Harmonic Analysis	
Max. number of analyzable system	1-system
Max. analyzable frequency	1 kHz (fundamental signal)
Number of FFT points	512
Wiring System	single-phase, two-wire; single-phase, three-wire; three-phase, three-wire; three-phase, four-wire; and three-phase, three-wire with three-voltage, three-current method
Delta Computation	3P3W: Difference, 3P3W > 3V3A 3P4W: Star > Delta 3P3W (3V3A): Delta > Star
Measurement Mode	RMS Measurement mode, Power Measurement mode
Measurement Items	RMS Measurement mode: 1 to 40 order RMS, 1 to 40 order RMS distortion factor, 1 to 40 order phase difference, Total RMS, Distortion Factor (IEC), Distortion Factor (CSA)
Power Measurement mode:	1 to 35 order active power, 1 to 35 order active power distortion factor, 1 to 35 order phase difference, Total active power, Total Apparent power, Total Reactive power, Power factor, 1st order RMS voltage, 1st order RMS current, 1st order voltage phase difference, 1st order voltage phase difference
GO/NO-GO determination	
Operate selected actions based on the determination criteria to the captured waveform.	
Zone	Determination using combination of up to 6 waveform zones (AND/OR).
Parameters	Determination using combinations of 16 waveform parameters
Actions	Screen image data output, waveform data storage, buzzer notification, and e-mail transmission
Action-on trigger	
Operates the selected actions each time trigger occurs.	
Actions once triggered	Screen image data output, waveform data storage, buzzer notification, mail transmission

18

19

Screen image data output	
Built-in printer (/B5 option)	Prints hard copy of screen.
External printer	Outputs the screen image to an external printer via Ethernet or USB
File output data format	PNG, JPEG, BMP
Waveform printing on long roll paper	
Function	high-resolution printing on an A4-size long paper
Compatible printer	Model PJ763/PJ723/PJ663/PJ623 Supplier: Brother Industries, Ltd.
Other functions	
Mail transmission function	Transmission function by SMTP
PROTECT key	Key protection is available to prevent from careless or unexpected operation.
NUM key	Direct input of numerical numbers is available.
Sure Delete	Complete data deletion for security
Built-in printer (/B5 option)	
Printing system	Thermal line dot system
Paper width	112 mm
Effective printing width	104 mm (832 dot)
Feeding direction resolution	8 dot/mm
Function	Display hard copy
Storage	
SD card slot	Memory cards conforms to SD, SDHC
USB memory	Mass storage device which conforms to USB Mass Storage Class Ver. 1.1
External HDD (/HD0 option)	Hard disc conforms to eSATA, FAT32
Built-in HDD (/HD1 option)	2.5 inch, 500 GB, FAT32
USB peripheral interface	
Connector type	USB type A connector (receptacle) × 2
Electrical, mechanical specifications	
Conforms to USB Rev. 2.0*	
Supported transmission standards	
HS (High Speed) mode, FS (Full Speed) mode, LS (Low Speed) mode	
Supported device	
Mass storage device which conforms to USB Mass Storage Class Ver. 1.1 109 keyboard, 104 keyboard, mouse which conform to USB HID Class Ver. 1.1 HP (PCL) inkjet printer which conforms to USB Printer Class Ver. 1.0	
Power supply	
5 V, 500 mA (in each port)	
*Connect USB device directly. Composite device is not supported.	
USB-PC connection	
Connector type	USB type B connector (receptacle) × 1
Electrical, mechanical specifications	
Conforms to USB Rev. 2.0	
Supported transmission standards	
HS (High Speed) mode (480 Mbps), FS (Full Speed) mode (12 Mbps)	
Supported protocol	
USBTMC-USB488 (USB Test and Measurement Class Ver. 1.0)	
Ethernet	
Connector type	RJ-45 modular jack × 1
Electrical, mechanical specifications	
Conforms to IEEE802.3	
Transmission system	Ethernet (1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T)
Communication protocol	TCP/IP
Supported services	
Server: FTP, Web, VXI-11 Client: SMTP, SNMP, LPR, DHCP, DNS, FTP	
GP-IB (/C1, /C20 option)	
Electrical specifications	
Conforms to IEEE S't'd 488-1978 (IIS C 1901-1987)	
Functional specifications	
SH1, AH1, T6, L4, SR1, RL1, PPO, DC1, DT0, CO	
Protocol	
Conforms to IEEE S't'd 488.2-1992	
IRIG input (/C20 option)	
Connector type	BNC connector × 1
Supported IRIG signals	A002, B002, A132, B122
Input impedance	50 Ω/5 kΩ selectable
Maximum input voltage	±8 V
Function	Main unit time synchronization, sample block synchronization
Clock synchronization range	±80 ppm
Accuracy after synchronization	No drift against input signal
GPS input (/C30 option)	
Connector type	SMA 1
Receiver type	GPS L1 C/A code, SBAS: WAAS EGNOS MSAS
Function	Main unit time synchronization, Sample clock synchronization
Accuracy after synchronization	±200 ns (when GPS signal is locked.)
Time for synchronization	Less than 5 minutes after booting
Antenna	Active antenna 3.3 V power A1058ER (standard accessory)
Auxiliary I/O section	
EXT CLK IN	BNC connector, TTL level, minimum pulse width 50 ns, 9.5 MHz or less
EXT TRIG IN	BNC connector, TTL level, rising/falling
EXT TRG OUT	BNC connector, 5 V CMOS level, fallen when triggered, and rising when acquisition completed.

EXT I/O	
Connector type:	RJ-11 modular jack
GO/NO-GO determination I/O	Input level: TTL or contact input Output level: 5 V CMOS
External start/stop input	Input level: TTL or contact input
Manual event	Input level: TTL or contact input

Video signal output	
D-Sub 15 pin receptacle	
Analog RGB, quasi-XGA output	102 × 4768 dot, approx. 60 Hz Vsync
COMP output (probe compensation signal output terminal)	
1 kHz±1%, 1 Vp-p±10%	

Probe power output (/P4 option)	
Number of terminals: 4, output voltage ±12 V	

General specifications	
Rated power supply voltage	100 to 120 VAC/220 to 240 VAC (automatic switching)
Rated power supply frequency	50/60 Hz
Maximum power consumption	200 VA
Withstand voltage	1500 V AC between power supply and earth for 1 minute
Insulation resistance	10 MΩ or higher at 500 V DC between power supply and earth
External dimensions	Approx. 355 mm (W) × 259 mm (H) × 180 mm (D), excluding handle and other projections
Weight	Approx. 6.5 kg (for main unit only, include /B5/M2/HD1/C1/P4 options, exclude chart paper)
Operating temperature range	5 to 40°C

12 V DC power (/DC option, for DL850EV only)	
Supply method	Automatic DC/AC switching (with priority on AC), isolated between DC power input terminal and main unit
Rated supply voltage	12 V DC
Allowable supply voltage	10 to 18 V DC
Power consumption	Approx. 150 VA maximum
Voltage input protection circuit	
Overcurrent detection: Breaker (15 A) Inverse connection protection: Breaker shutdown Undervoltage detection: Interruption at approx. 9.5 V or lower Overvoltage detection: Interruption at approx. 18 V or more	
Withstand voltage	30 V AC between DC power terminal and ground for 1 min
Insulation resistance	10 MΩ or more at 500 V DC between DC power terminal and ground
External dimensions including the main unit	Approx. 355 mm (W) × 259 mm (H) × 202 mm (D), excluding the grip and projections
Weight of DC power box	Approx. 800 g

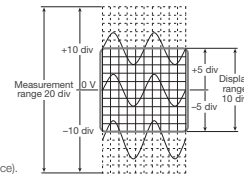
Acquisition Software	
Number of connectable units	1 unit per 1 PC
Interface	USB, Ethernet
Functions	Recording Start/Stop, Monitoring, Setup control, Data filing on a PC
Measurement mode	Free-run
Max. transmission rate	100 KS/s (16 CH)
Max. number of channels	336 CH
Operation Conditions	
OS: Windows 7 (32 bit/64 bit), Windows 8 (32 bit/64 bit) Windows 8.1 (32 bit/64 bit), Windows 10 (32 bit/64 bit) CPU: Intel Core 2 Duo (2 GHz) or higher, Memory: 1 GB or more	

Standard operation conditions	
Ambient temperature: 23 ±5°C, Ambient humidity: 20 to 80%RH Errors in power supply voltage/frequency: Within ±1% of rated voltage, within ±1% of rated frequency warm-up of 30 min. or more, after calibration.	

- *1 Example when using the 2-CH Voltage Input Module (such as 720250)
*2 Under the standard operating conditions
*3 It is not possible to switch a channel associated with the 16-CH Voltage Input Module (720220), 16-CH Temp./Voltage Input Module (720221), CAN Bus Monitor Module (720240), CAN & LIN Bus Monitor Module (720241), CAN/CAN FD Monitor Modules (720242) and SENT Monitor Module (720243) to real-time computation (C3).
*4 The slot 7 and/or 8 cannot be used for signal measurement when the Power Analysis and/or Harmonic Analysis is activated.
*5 The LCD may include a few defective pixels (within 5 ppm over the total number of pixels including RGB).

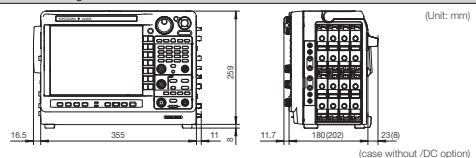
Measurement Range and Display Range

The measurement range of the ScopeCorder is ±10 divisions (20 divisions of absolute width (span)) around 0 V. The display range of the screen is ±5 divisions (10 divisions of span). The following functions can be used to move the displayed waveform and display the waveform outside the display range by expanding/reducing the displayed waveform.



- Move the vertical position.
- Set the offset voltage.
- Zoom in or out of the vertical axis (expand/reduce).

Outline drawing



Model and suffix code

Model	Suffix codes	Description
DL850E		ScopeCorder, 250 M Points (W) memory ¹
DL850EV		ScopeCorder Vehicle Edition, 250 M Points (W) memory ¹
Power	-D	UL and CSA standard
Cord	-F	VDE standard
	-R	AS standard
	-Q	BS standard
	-H	GB standard
	-N	NBR standard
	Languages	-HE
-HC		Chinese menu and panel
-HK		Korean menu and panel
-HG		German menu and panel
-HF		French menu and panel
-HL		Italian menu and panel
-HS		Spanish menu and panel
Options		/B5
	/DC	DC12 V power (10-18 V DC) (can be specified for DL850EV only) ⁵
	/M1	Memory expansion to 1 G Points (W) ²
	/M2	Memory expansion to 2 G Points (W) ²
	/HD0	External HDD interface ³
	/HD1	Internal HDD (500 GB) ³
	/C1	GP-IB interface ⁴
	/C20	IRIG and GP-IB interface ⁴
	/C30	GPS interface ^{4,7}
	/G2	User-defined math function
/G3	Real time math function ⁶	
/G5	Power math function (with including Real time math function) ⁶	
/P4	Four probe power outputs	

¹: The main unit requires plug-in module (s). ² to ⁶: Only one from the each note can be selected.
⁷: The /C30 option can be provided only for a nation that is not prohibited by the Radio Law.

Plug-in module model numbers

Model	Description
720211	High-speed 100 MS/s 12 Bit Isolation Module
720250	High-speed 10 MS/s 12 Bit Isolation Module
701251	High-speed 1 MS/s 16 Bit Isolation Module
720254	4 CH 1 MS/s 16 Bit Isolation Module
701255	High-speed 10 MS/s 12 Bit non-Isolation Module
720268	High-Voltage 1 MS/s, 16 Bit Isolation Module (with AAF, RMS)
720220	Voltage Input Module (16 CH)
701261	Universal Module
701262	Universal Module (with Anti-Aliasing Filter)
701265	Temperature/High-Precision Voltage Module
720266	Temperature/High-Precision Voltage Isolation Module (Low Noise)
720221	16 CH Temperature/Voltage Input Module
701953-L1	16 CH Scanner Box (provided with 1 m cable)
701953-L3	16 CH Scanner Box (provided with 3 m cable)
701270	Strain Module (NDIS)
701271	Strain Module (DSUB, Shunt-CAL)
701275	Acceleration/Voltage Module (with Anti-Aliasing Filter)
720281	Frequency Module
720230	Logic Input Module
720242	CAN/CAN FD Monitor Module
720241	CAN & LIN Bus Monitor Module
720243	SENT Monitor Module

¹: Probes are not included with any modules.
²: The use of a 720221 module always requires the External Scanner Box (model 701953).
³: 720240, 720241, 720242 and 720243 modules are available with DL850EV only. Refer to the module selection chart on page 15.

Yokogawa's Approach to Preserving the Global Environment

- Yokogawa's electrical products are developed and produced in facilities that have received ISO14001 approval.
- In order to protect the global environment, Yokogawa's electrical products are designed in accordance with Yokogawa's Environmentally Friendly Product Design Guidelines and Product Design Assessment Criteria.

Xviewer model numbers and suffix codes

Model	Suffix Codes	Description
701992	-SP01	Xviewer Standard Edition (1 license)
	-GP01	Xviewer Math Edition (1 license)
Option	/JS01	DL850 Advanced Utility (1 license)

¹: Some volume license packs are available. Please contact our sales representative.

Probes, cables and converters⁸

Model	Product	Description ¹
701947	100:1 Probe	1000 V (DC+ACpeak) CAT II, 1.5 m
702902	10:1 Probe	operating temp. range: -40 to 85°C, 2.5 m
700929	10:1 Probe	1000 V (DC+ACpeak) CAT II, 1.5 m
701901	1:1 Safety BNC adapter lead	1000 Vrms CAT II
701904	1:1 Safety Adapter Lead	1000 Vrms CAT II, 600 Vrms CAT III
(in combination with followings)		
B9852MM	Pinchers tip (Hook type)	1000 Vrms CAT III black
B9852MN	Pinchers tip (Hook type)	1000 Vrms CAT III red
701954	Large alligator-clip (Dolphin type)	1000 Vrms CAT III, 1 set each of red and black
758929	Alligator clip adaptor set	1000 Vrms CAT II, 1 set each of red and black
758922	Alligator clip adaptor set	300 Vrms CAT II, 1 set each of red and black
758921	For terminal adapter set	1000 Vrms CAT II, 1 set each of red and black
701940	Passive probe ²	Non-isolated 600 Vok (701255) (10:1)
366926	1:1 BNC-alligator cable	Non-isolated 42 V or less, 1 m
366961	1:1 Banana-alligator cable	Non-isolated 42 V or less, 1.2 m
701917	Current probe ^{3,4}	5 Arms, DC to 50 MHz
701918	Current probe ^{3,4}	5 Arms, DC to 120 MHz
701932	Current probe ^{3,4}	30 Arms, DC to 100 MHz
701933	Current probe ^{3,4}	30 Arms, DC to 50 MHz
701930	Current probe ^{3,4}	150 Arms, DC to 10 MHz
701931	Current probe ^{3,4}	500 Arms, DC to 2 MHz
720930	Clamp-on probe	AC 50 Arms, 40 Hz to 3.5 kHz
720931	Clamp-on probe	AC 200 Arms, 40 Hz to 3.5 kHz
701934	Probe power supply	External probe power supply (4 outputs)
700924	Differential probe	1400 Vpk, 1000 Vrms CAT II
701926	Differential probe	7000 Vpk, 5000 Vrms
701955	Bridge head (NDIS, 120 Ω)	With 5 m cable
701956	Bridge head (NDIS, 350 Ω)	With 5 m cable
701957	Bridge head (DSUB, 120 Ω)	shunt-CAL with 5 m cable
701958	Bridge head (DSUB, 350 Ω)	shunt-CAL with 5 m cable
758924	Safety BNC-banana adapter	500 Vrms CAT II
B9898AE	Printer roll paper	One roll: 10 rolls, 10m each, for DL850E/EV
702911	Logic probe ⁵	8 bit, 1 m, non-isolated, TTL level/Contact Input
702912	Logic probe ⁵	8 bit, 3 m, non-isolated, TTL level/Contact Input
700986	High-speed logic probe ⁵	8 bit, non-isolated, response speed: 1 μs (typ.)
700987	Isolation logic probe ⁵	8 bit, each channel isolated
758917	Measurement lead set	0.75 m, Stackable type (2 per set) Alligator-Clip is required separately.
758933	Measurement lead set	1000 V/19 A/1 m length Alligator-Clip is required separately.
701902	Safety BNC-BNC cable (1 m)	1000 Vrms CAT II (BNC-BNC)
701903	Safety BNC-BNC cable (2 m)	1000 Vrms CAT II (BNC-BNC)
720911	External I/O cable	For DL850E/EV external I/O connection
701948	Plug-on clip	For 700929 and 701947
701906	Long test clip	For 700924, 701901 and 701926
701963	Soft carrying case	For DL850E/DL850EV
701971	DC power supply cable	For DL850E/DC (Alligator clip type)
701970	DC power supply cable	For DL850E/DC (Cigarette lighter plug type)

¹: Actual allowable voltage is the lower of the voltages specified for the main unit and cable.
²: 30 Arms is safe when using the 701940 with an isolated type BNC input.
³: The number of current probes that can be powered from the main unit's power supply is limited.
⁴: Either the probe power option of the main unit or the probe power supply (701934) is required.
⁵: Includes one each of the B9879PX and B9879KX connection leads.
⁶: Additionally, 758917 and either the 758922 or 758929 are required for measurement.
⁷: Alligator clip is required.
⁸: Refer to the bulletin, user's manual of each products to confirm compatibility of each accessory and main unit.

This is a Class A instrument based on Emission standards EN61326-1 and EN55011, and is designed for an industrial environment.
Operation of this equipment in a residential area may cause radio interference, in which case users will be responsible for any interference which they cause.

ScopeCorder, **GIGA** are registered trademarks of Yokogawa Electric Corporation.

*Any company's names and product names mentioned in this document are trade names, trademarks or registered trademarks of their respective companies.
The User's Manuals of this product are provided by CD-ROM.

NOTICE

- Before operating the product, read the user's manual thoroughly for proper and safe operation.

YOKOGAWA

<https://tmi.yokogawa.com/>

YMI-KS-MI-SE07

YOKOGAWA TEST & MEASUREMENT CORPORATION

Global Sales Dept. /Phone: +81-422-52-6237 E-mail: tmi@cs.jp.yokogawa.com
Facsimile: +81-422-52-6462

The contents in this catalog is as of April 2019. Subject to change without notice.

Copyright © 2012, Yokogawa Test & Measurement Corporation [Ed: 07/b]

Printed in Japan, 904(KP)

YOKOGAWA CORPORATION OF AMERICA

YOKOGAWA EUROPE B.V.

YOKOGAWA TEST & MEASUREMENT (SHANGHAI) CO., LTD.

YOKOGAWA ELECTRIC KOREA CO., LTD.

YOKOGAWA ENGINEERING ASIA PTE. LTD.

YOKOGAWA INDIA LTD.

YOKOGAWA ELECTRIC CIS LTD.

YOKOGAWA AMERICA DO SUL LTD.A

YOKOGAWA MIDDLE EAST & AFRICA B.S.C(c)

Phone: +1-800-888-6400

Phone: +31-88-4641429

Phone: +86-21-6239-6363

Phone: +82-2-2628-3810

Phone: +65-6241-9933

Phone: +91-80-4158-6396

Phone: +7-495-737-78-68

Phone: +55-11-3513-1300

Phone: +973-17-358100

E-mail: tmi@us.yokogawa.com

E-mail: tmi@nl.yokogawa.com

E-mail: tmi@cs.cn.yokogawa.com

E-mail: TMI@kr.yokogawa.com

E-mail: TMI@sg.yokogawa.com

E-mail: tmi@in.yokogawa.com

E-mail: info@ru.yokogawa.com

E-mail: tmi@br.yokogawa.com

E-mail: help.ymatmi@bh.yokogawa.com Facsimile: +973-17-336100

Facsimile: +86-21-6880-4987

Facsimile: +82-2-2628-3899

Facsimile: +65-6241-9919

Facsimile: +91-80-2852-1442

Facsimile: +7-495-737-78-69