



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

Zirkuituak. Laborategiko Praktikak

Koldobika J. Sagastabeitia Buruaga
Faustino de la Bodega Bilbao
Zaloa Aginako Arri

**EUSKARA ETA ELEANIZTASUNEN
ERREKTOREORDETZAREN SARE ARGITALPENA**

Liburu honek UPV/EHUko Euskara eta Eleaniztasuneko Errektoreordetzaren dirulaguntza jaso du

AURKIBIDEA

1. PRAKTIKA: ZENBAIT ELEMENTU PASIBO KARAKTERIZATZEA: KODEA (UNE-EN60062 ARAUA), WHEATSTONE ZUBIA ETA OHMETROA ERABILIZ.
 2. PRAKTIKA: PILA BATEN ERRESISTENTZIA ETA INDAR ELEKTROERAGILEA ZEHAZTEA.
 3. PRAKTIKA: ELEMENTU PASIBOEN EZAUGARRI-KURBEI BEHATZEA.
 4. PRAKTIKA: UHIN FORMEN BEHAKETA ETA ANALISIA.
 5. PRAKTIKA: KIRCHHOFF KORRONTE ZUZENEAN.
 6. PRAKTIKA: EROALE BATEN ERRESISTENTZIA: TENPERATURAREKIKO ALDAKUNTZA.
 7. PRAKTIKA: KIRCHHOFF-EN LEGEAK KORRONTE ALTERNOAN: KARGA MONOFASIKO BATEN POTENTZIA AKTIBOA ETA $\cos\phi$ ZEHAZTEA.
 8. PRAKTIKA: HARILEN AUTOINDUKZIO-KOEFIZIENTEA LORTZEA SAIKUNTZA BIDEZ: JOUBERT METODOA ETA METODO INDUSTRIALA.
 9. PRAKTIKA: KARGA OREKATUEN POTENZIAK ETA POTENTZIA-FAKTOREA TENTSIOETAN OREKATUTAKO SISTEMA TRIFASIKOETAN.
 10. PRAKTIKA: POTENTZIA FAKTOREAREN HOBEKUNTZA.
1. ERANSKINA: WHEATSTONE ZUBIA ETA OHMETROAREN ERABILIERA
 2. ERANSKINA: OSZILOSKOPIOA
 3. ERANSKINA: UHIN SORGAILUA

**ZENBAIT ELEMENTU PASIBO
KARAKTERIZATZEA: KODEA (UNE-EN60062 ARAUA),
WHEATSTONE ZUBIA ETA OHMETROA ERABILIZ**

Inoiz ikusiko zenituzten elementu txiki batzuen gainazalean koloretako marra batzuk. Zein da horien esanahia? Elektrizitatean eta elektronikan badira askotariko itxurak dituzten elementu txiki asko. Zer dira? Denak izaera berekoak dira? Horri guztiari erantzuna emateko asmoa dugu praktika honetan.

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

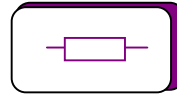
- Erresistentzientzako koloreen kodea erabiltzen.
- Kondentsadoreak, erresistentzia finkoak, LDRak eta NTCak bereizten.
- Ohmetroa erabiltzen.
- Wheatstone zubia erabiltzen.

1- SARRERA

1.1. ERRESISTENTZIAK

1.1.1. Erresistentzia finkoak

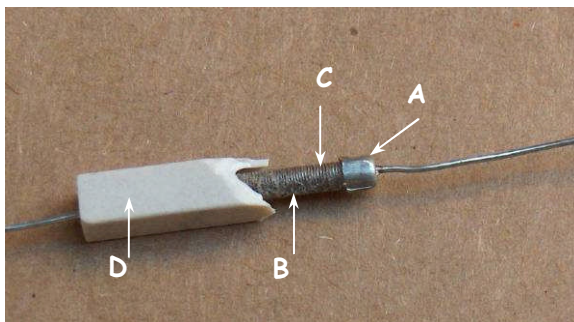
Erresistentziaren sinboloa ezaguna da dagoeneko:



1.1.1.1. Erresistentzia harilkatuak

Euskarri baten inguruan harilkatutako eroale batez osaturik egongo dira. Euskarriek temperatura altuak ondo jasaten dituzte, eta material isolatzailez egiten dira: zeramikaz, mikaz, eta abarrez. Eta horren inguruan harilkatutako eroalearen sekzioa eta erresistibitatea izango dira lortu nahi den erresistentziaren eta potentziaren araberakoak.

Erresistentziaren muturretan metalezko bi eraztunen bidez eroaleari eusten zaio, eta soldaduraren bidez erresistentziaren konexioa ahalbidetuko du. Behin eraikita, bernizarekin estaltzen da eta bitrifikazio prozesu bati ekiten zaio haria babesteko eta espiren arteko kontaktua ekiditeko asmoz. Bernizaren gainean serigrafiaz markatu ohi da erresistentziaren balioa ohm-etan eta potentzia watt-etan.



A: konexio-haria

B: zeramikazko euskarria

C: harila

D: esmaltezko estaldura

1.1 irudia. Erresistentzia harilkatu baten egitura



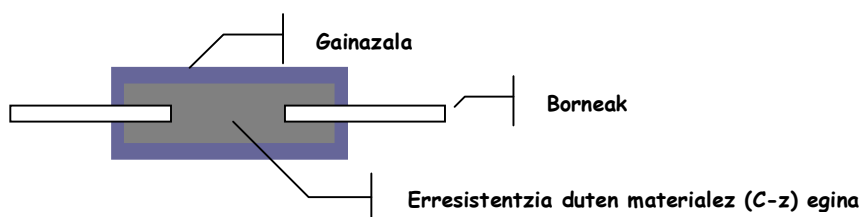
1.2 irudia. Hainbat erresistentzia harilkaturen itxura

1.1.1.2. Erresistentzia kimikoak

Balio ohmiar handiko erresistentziak egiteko, eroale kantitate handia beharko litzateke, eta erresistentziek neurri handiegia hartuko lukete (eraikiezinak lirateke). Bada balio ohmiar handiko erresistentziak eraikitze bide errazago eta merkeagorik, haria erabili beharrean hauts bihurtutako ikatza substantzia aglomeratzaileekin nahasiz.

Substantzia aglomeratzaileen kantitatearen eta ikatz kantitatearen arteko erlazioak erresistibitatearen neurria emango digu zentimetroko. Horrela hainbat neurritako erresistentziak lor daitezke.

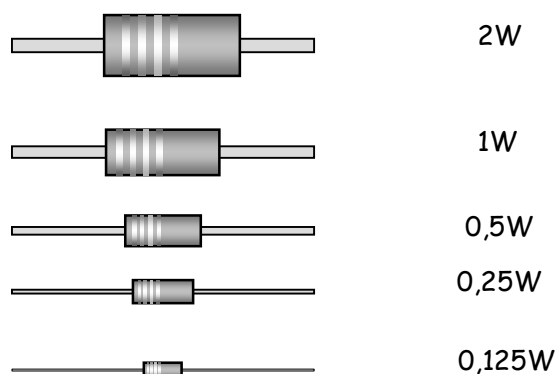
Ikatz aglomeratuzko, ikatz-filmezko eta metalezko filmezko erresistentziak ditugu. Ohienez, euskarri zilindriko isolatzaile batez (portzelanazkoa edo material analogozkoa) eraikitzen dira, eta horren gainean material erresistibozko geruzak jartzen dira.



1.3 irudia. Ikatz aglomeratuzko erresistentziak

Erresistentzietan balio ohmiarra, tolerantzia- eta tenperatura-koefizientea adierazteko koloreen kode bat erabiltzen da. Hainbat koloretako banda bat margotzen da erresistentziaren gainean.

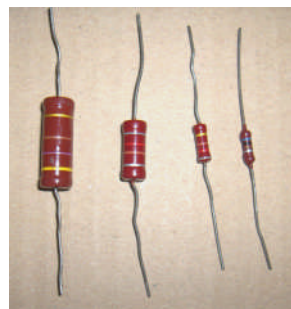
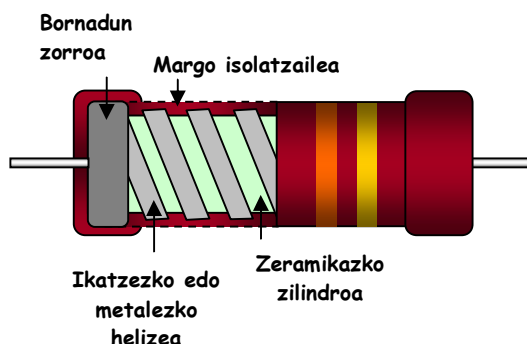
Erresistentzia hauen neurrien arabera jakingo dugu zein den haien potentzia, zeren eta potentzia zenbat handiagoa izan, erresistentzia ere orduan eta handiagoa baita. Izan ere, potentzia handiagoa lortzeko korrante gehiago xahutu beharko dute bero gisa, eta horretarako neurriak lagundu behar dio bero-trukean.



1.4 irudia. Erresistentzien potentziak eta neurria

Aipatutako erresistentzia kimikoetan, nahiz eta tenperatura aldatu, funtzionamendu-tenperatura ohikoetan behintzat, balio ohmiarra ez da ia aldatzen; oso egonkorak dira, beraz.

1.5 irudian ageri da ikatz-filmez edo metalezko filmez eginiko erresistentzien itxura. Haien barneko eta kanpoko itxurak ikus daitezke:



1.5 irudia. *Ikatz-filmezko eta metalezko filmezko erresistentziak: egitura, kanpoko itxura*

Zirkuitu inprimatuetan *miniatura-erresistentziak* erabiltzen dira, hainbat kapsulatudunak, kasuan-kasuan.

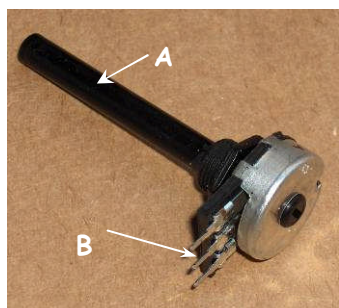
1.1.2. Erresistentzia aldakorrak

Sinbologia normalizatua¹



Erresistentzia aldakorraren sinbolo orokorra eta kontaktu mugikorren erresistentzia aldakorraren sinboloa agertzen zaizkigu.

Erresistentzia aldakorrak, erabileraren arabera erreostato edo potentziometro ere deituak, bestelakoak dira itxuraz: borne mugikor bat dute, eta haren posizioa alda daiteke, biradera, elementu irristakor bat edo torloju bat mugituz. Bi edo hiru borne izan ditzakete, baina ohikoena hiru izatea da. Bi edo hiru mutur dituen erresistentzia aldakorra erresistentzia aldakor gisa erabiltzen bada, erreostato deritzo. Hiru terminaleko erresistentzia aldakorra potentziaren kontrolerako erabiltzen bada, orduan potentziometro deitzen zaio; hiru muturreko elementuei, hala ere, beti deitzen zaie potentziometro, nahiz konexioaren arabera erresistentzia aldakor gisa zein potentziaren kontrolerako erabil daitezkeen.



A: biradera

B: hiru terminalak

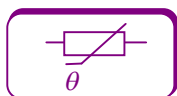
1.6 irudia. *Potentziometroa*

¹ UNE-EN 60617-4

1.1.2.1. Termistoreak

Bi muturreko elementu erdieroaleak dira, zeinetan erresistentzia temperaturaren arabera aldatzen baita. Temperaturaren eta erresistentziaren arteko erlazioa ez da lineala izango, eta temperatura-aldaketa txikietarako nabarmen aldatuko da elementuaren erresistentzia. Temperatura handitzean elementuaren erresistentzia apaltzen bada, temperatura-koefiziente negatiboa duela esango dugu eta NTC deitzen zaie. Aldiz, temperatura handitzean elementuaren erresistentzia ere handitzen bada, temperatura-koefiziente positiboa izango du eta PTC deritzo.

Elementuaren temperatura barneko edo kanpoko eraginengatik alda daiteke. Elementuan zeharreko korronea handituz erresistentzia aldatuko dugu, eta baita giroko temperatura edozein bero-iturriren bidez aldatuz ere. Ezaugarri horiek direla eta, oso erabiliak dira prozesuen kontrolean.



1.1.2.2. Zelula fotoeroaleak

Bi muturreko elementu erdieroale hauek, erresistentziaren balioa argitan jarritako gainazalak jasotako argi-intentsitatearen arabera aldatuko da. Zenbat eta argitasun handiagoa izan, orduan eta erresistentzia txikiagoa izango du: argitapen-koefiziente negatiboa du, beraz.

1.2. KONDENTSADOREAK

Kondentsadoreak, erresistentziak bezala, bi talde nagusitan bana daitezke: aldakorak eta finkoak.

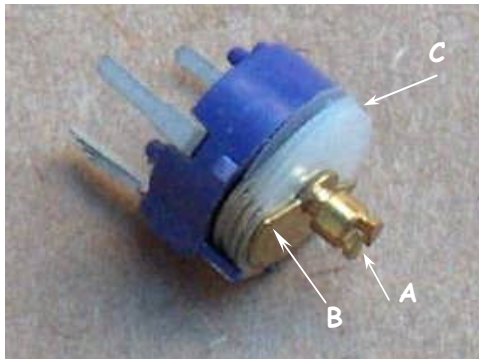
1.2.1. Kondentsadore aldakorak



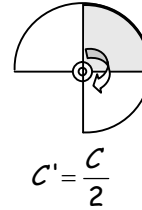
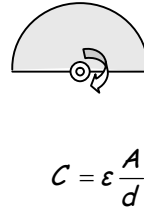
Elementu horien kapazitatea aldakorra da. Gogoan hartu kondentsadore lauaren kapazitatearen adierazpena:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Ekuazio horren arabera kapazitatea hiru aldagaien eraginez alda liteke, baina horietatik ϵ dielektrikoaren izaeraren arabera da, eta d zaila da aldatzen. Badago metodo erraz bat xaflen azalera eraginkorrean eragiteko: xaflen gainjartzea alda liteke ardazkideak diren bi xafla erabiliz; bata finkoa izango da, eta bestea, ardatzaren inguruan biratzeko modukoa. Ardatza biratzean xafla finkoari gainjartzen zaion xafla aldakorraren azalera aldatuko dugu, eta zuzenean kondentsadorearen kapazitatearen balioan eragina izan.



A: biradera
B: xaflak
C: dielektrikoa



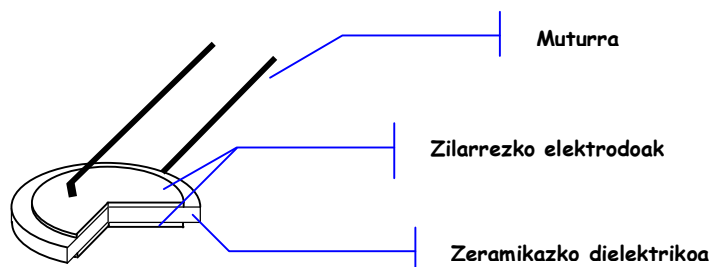
1.7 irudia. Kondentsadore aldakorraren irudia eta C -ren aldaketa A -rekiko

1.2.2. Kondentsadore finkoak

Kondentsadore finko mota asko daude: mikazkoak, zeramikazkoak, elektrolitikoak, tantaliozkoak eta poliesterrezkoak, esaterako.

1.2.2.1. Zeramikazko kondentsadoreak

Itxura eta neurri askotakoak eraikitzen dira. Baina denek oinarrizko egitura bera dute, 1.8 irudikoa. Zeramikazko oinarri dielektrikoa bi aldeetatik metal batez estaltzen da (zilarrez edo kobrez), eta horiek kondentsadorearen xaflak izango dira. Metalezko xafleei muturrak soldatzen zaizkie, eta material plastiko batez estaltzen dira osorik. Kondentsadore hauek oso ihes-korronte txikia dute, eta korronte zuzeneko zein alternoko sareetan erabil daitezke.



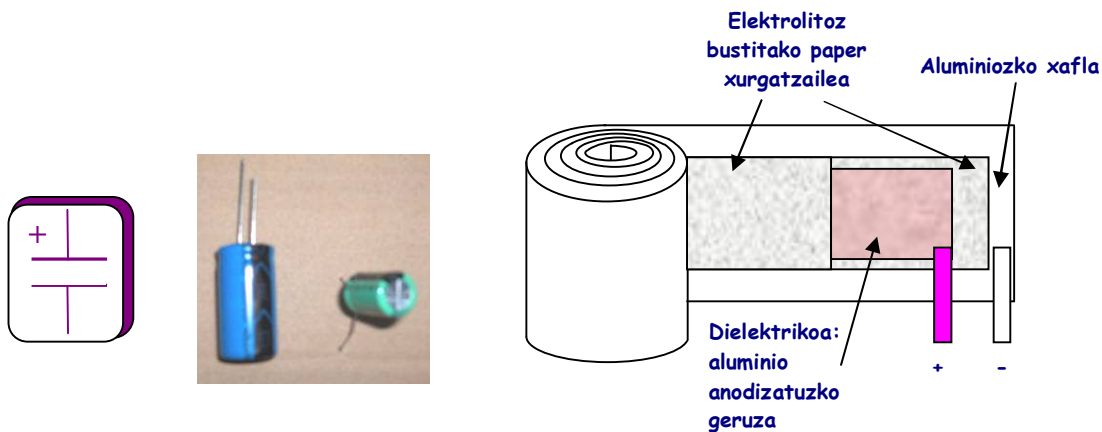
1.8 irudia. Zeramikazko kondentsadorearen egitura eta kanpoko itxura

1.2.2.2. Kondentsadore elektrolitikoak

Korronte zuzeneko aplikazioetan erabiltzen dira, gehien bat geruzen arteko noranzko batean isolatzaile direlako eta beste noranzkoan eroale. Hala ere, badira korronte alternokan erabil daitezkeen kondentsadore elektrolitikoak, baldin eta polaritatea kondentsadorean denbora-tarte txikietan aldatzen bada soilik. Kondentsadore elektrolitikoak aluminiozko xaflak kiribilduz eraikitzen da. Aluminiozko xafla baten alde bat aluminio oxidoz (Al_2O_3) estaltzen da; horrek dielektrikoaren funtzioa beteko du; eta estaldurarik gabeko xaflaren beste aldea borne positiboa izango da. Aluminio oxidorean gainean elektrolitoz bustitako paper edo ehun bat jartzen da. Azkenik, aluminiozko azken xafla bat (aluminio oxidorik gabe) paperaren gainean jarritz xafla negatiboa dugu. Dena

kiribildu egiten denez, gainazal handiko kondentsadoreak sor daitezke oso neurri txikiko elementuekin, eta xaflen arteko distantzia izugarri txikia izango da.

Kondentsadorearen mutur negatiboa normalean ez da identifikatzen; positiboa, bai, ordea. Lan-tentsioaz gain kondentsadore horietan gailur-tentsioa ere ezagutu behar da; denboratarte txikietan ager daitekeen gorenko tentsioa, alegia. Ihes-korronte altuak izaten dituzte.



1.9 irudia. Kondentsadore elektrolitiko baten ikurra, itxura eta egitura.

1.2.2.3. Poliesterrezko geruzako kondentsadorea

Funtsean metalezko bi geruzaz osatuta egongo da, zeinak poliesterrezko banda batez banaturik baitaude. Poliesterrezko kanpoko gainazala bilduki isolatzaile gisa erabiliko da. Metalezko xafla bakoitza borne batera konektatuko da; borneak kondentsadorearekiko ardazkideak izango dira edo zeharretara jarrita egongo dira. Bi xaflak eta plastikoa kiribildu egiten denez, gainazal handiko kondentsadoreak lor daitezke. Era berean, elementu plastikoa erabiltzen denez dielektriko gisa, eroaleak diren gainazalen artean distantzia txikiak lor daitezke. Kondentsadorearen ezaugarriak (tentsioa eta kapazitatea) poliesterrezko kanpo-gainazalaren gainean inprimatu egiten dira. Elementu txikietan koloreen kodea ere erabiltzen da. Batzuetan banda beltz bat ere jartzen da potentzial baxuenerako muturrera konektatu behar den bornetik hurbilen. Korronte zuzeneko zein alternoko sarera lotu daitezke.



1.10 irudia. Poliesterrezko kondentsadoreak, kanpoko itxura

2- OINARRI TEORIKOA

2.1. UNE-EN 60062 ARAUAREN DESKRIBAPEN LABURRA:

2.1.1. Erresistentzia finkoentzako koloreen kodea

Koloreen kodea erabiltzen da bi eta hiru zifra adierazgarri dituzten erresistentziak markatzeko, hain zuzen, erresistentzia horien tolerantzia eta temperatura-koefizientea adierazteko. Koloreen esanahiak 1.1 taulan agertzen dira.

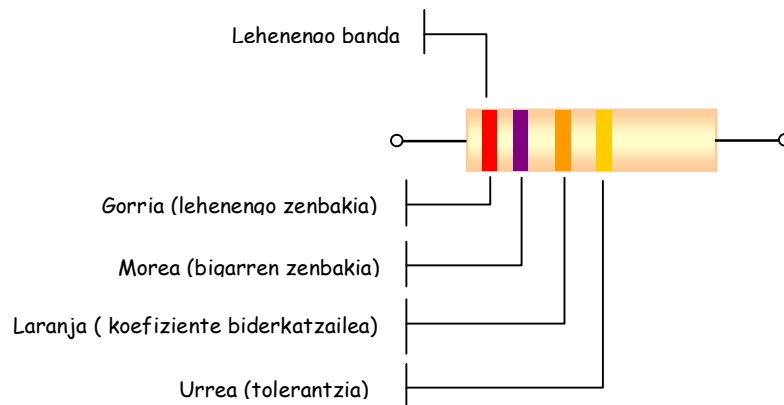
Lehen banda erresistentziaren muturretik hurbilen dagoena izango da.

1.1 taula. Koloreek adierazten dituzten balioak

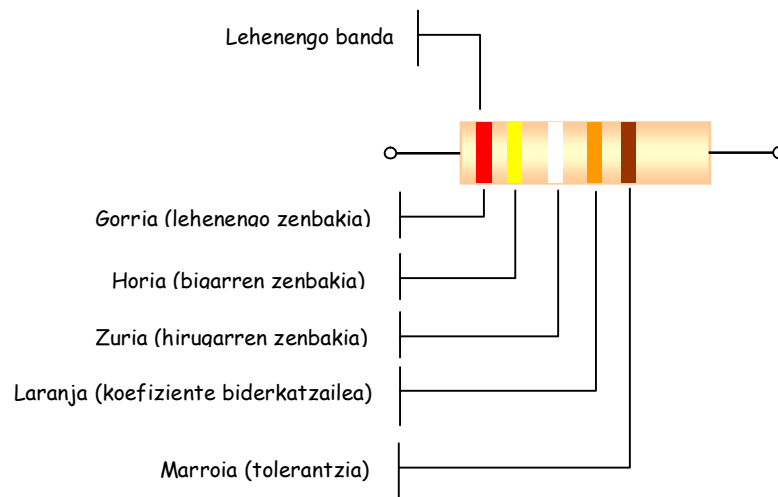
Kolorea	Zenbaki adierazgarria	Koefiziente biderkatzailea	Tolerantzia	Temperatura-koefizientea ($10^{-6}/K$)
ZILARRA	-	10^{-2}	$\pm\% 10$	-
URREA	-	10^{-1}	$\pm\% 5$	-
BELTZA	0	1		± 250
MARROIA	1	10	$\pm\% 1$	± 100
GORRIA	2	10^2	$\pm\% 2$	± 50
LARANJA	3	10^3	$\pm\% 0,05$	± 15
HORIA	4	10^4	-	± 25
BERDEA	5	10^5	$\pm\% 0,5$	± 20
URDINA	6	10^6	$\pm\% 0,25$	± 10
MOREA	7	10^7	$\pm 0,1$	± 5
GRISA	8	10^8	-	± 1
ZURIA	9	10^9	-	-
KOLORERIK EZ	-	-	$\pm\% 20$	-

- Bi eta hiru zenbaki adierazgarri eta tolerantziak adieraziko dira kode honen bitartez.
- Lehenengo banda izango da erresistentziaren muturretik hurbilen dagoena.
- Temperatura-koefizienteak adierazteko aurreko taula erabiliz gero, metodo hauetakoren bat erabili beharko da (kolore-kodearen bidez temperatura soilik markatuko da, hiru zenbaki adierazgarri erabiltzen direnean).
 - Zabalera handiagoko koloretako seigarren banda baten gisa.
 - Seigarren banda ez-jarraitu baten bidez.
 - Kiribil baten bidez.

- 2 zenbaki adierazgarriak erresistentziak, kolore-kodearen bidez markatuak:
Izan bedi 27.000Ω -ekoa eta % 5eko tolerantziaduna:

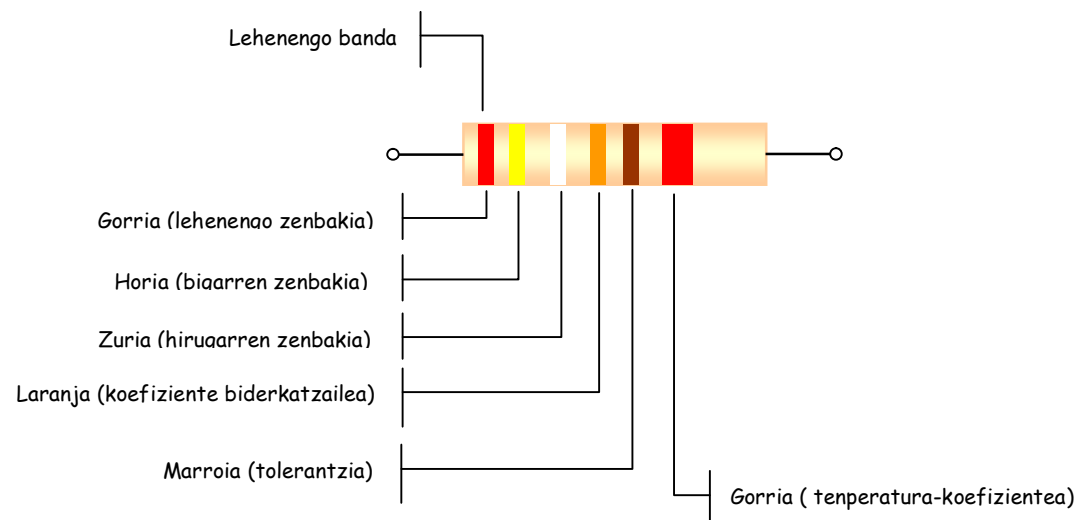


- 3 zenbaki adierazgarriak erresistentziak, kolore-kodearen bidez markatuak:
Izan bedi 249.000Ω -ekoa eta % 1eko tolerantziaduna:



- 4 zenbaki adierazgarriak erresistentzia, temperatura-koefizientea ere markatzen duena:

Izan bedi 249.000Ω -ekoa, % 1eko tolerantziaduna eta, $\pm 50 \cdot 10^{-6} / K$ -ko temperatura-koefizienteduna:



2.1.2. Zenbaki eta letren kodea, erresistentzia eta kapazitateen balioei aplikatzekoa

- Arau orokorrak:
 - Kodeak 3, 4 edo 5 karaktere erabili beharko ditu, beharren arabera: 2 zenbaki eta letra bat, 3 zenbaki eta letra bat, edo 4 zenbaki eta letra bat.
 - Kodearen letrek koma hamartarra ordeztuko dute, 1.2 eta 1.3 tauletako adibideetan ikus daitezkeen eran.
 - Kodifikatutako gainerako letra edo zenbaki gehigarriak tolerantzia adieraziko duen letraren ondoren jarriko dira (tolerantziaren kodifikazioa geroago azalduko da), eta, tolerantziaren balioarekin errakuntzak egon ez daitezzen, hala kokaturik egon beharko dute.
- **Erresistentziak:** ohmetan adierazitako erresistentzien balioetan, 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 eta 10^{12} koefiziente biderkatzaileak adierazteko, R, K, M, G eta T letrak erabiliko dira, hurrenez hurren.

1.2 taula. Erresistentzien kodearen bidezko markatzearen adibideak

Erresistentzien balioak	Markatu kodifikatua	Erresistentzien balioak	Markatu kodifikatua
0,1 Ω	R10	1 M Ω	1M0
0,15 Ω	R15	1.5 M Ω	1M5
0,332 Ω	R332	3.32 M Ω	3M32
0,590 Ω	R59	5.90 M Ω	5M9
1 Ω	1R0	10 M Ω	10M
1,5 Ω	1R5	15 M Ω	15M
3,32 Ω	3R32	33,2 M Ω	33M2
5,90 Ω	5R9	59,0 M Ω	59M
10 Ω	10R	100 M Ω	100M
15 Ω	15R	150 M Ω	150M
33,2 Ω	33R2	332 M Ω	332M
59,0 Ω	59R	590 M Ω	590M
100 Ω	100R	1 G Ω	1G0
150 Ω	150R	1.5 G Ω	1G5
332 Ω	332R	3.32 G Ω	3G32
590 Ω	590R	5.90 G Ω	5G9
1 k Ω	1K0	10 G Ω	10G
1,5 k Ω	1K5	15 G Ω	15G
3,32 k Ω	3K32	33,2 G Ω	33,2G
5,90 k Ω	5K9	59,0 G Ω	59.0G
10 k Ω	10K	100 G Ω	100G
15 k Ω	15K	150 G Ω	150G
33,2 k Ω	33K2	332 G Ω	332G
59,0 k Ω	59K	590 G Ω	590G
100 k Ω	100K	1 T Ω	1T0
150 k Ω	150K	1.5 T Ω	1T5
332 k Ω	332K	3.32 T Ω	3T32
590 k Ω	590K	5.90 T Ω	5T9
		10 T Ω	10T

Lau zifra adierazgarriren bidez markatutako erresistentziak adibide hauetan bezala markatuko dira:

Balioa	Markatua
59,04 Ω	59R04
590,4 Ω	590R4
5,904 k Ω	5K904
59,04 k Ω	59K04 etab.

- **Kondentsadoreak:** kapazitatea Farad-etan adierazten den kondentsadoreetan, 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} eta 1 koefiziente biderkatzaileak adierazteko, p, n, μ , m eta F letrak erabiliko dira, hurrenez hurren, honako taula honetan adierazten den bezala.

1.3 taula. Kondentsadoreen kodearen bidezko markaketaren adibideak

Kapazitateen balioak	Markaketa kodifikatua	Kapazitateen balioak	Markaketa kodifikatua
0,1 pF	p10	100 nF	100n
0,15 pF	p15	150 nF	150n
0,332 pF	p332	332 nF	332n
0,590 pF	p59	590 nF	590n
1 pF	1p0	1 μ F	1 μ 0
1,5 pF	1p5	1.5 μ F	1 μ 5
3,32 pF	3p32	3.32 μ F	3 μ 32
5,90 pF	5p9	5.90 μ F	5 μ 9
10 pF	10p	10 μ F	10 μ
15 pF	15p	15 μ F	15 μ
33,2 pF	33p2	33,2 μ F	33 μ 2
59,0 pF	59p	59.0 μ F	59 μ
100 pF	100p	100 μ F	100 μ
150 pF	150p	150 μ F	150 μ
332 pF	332p	332 μ F	332 μ
590 pF	590p	590 μ F	590 μ
1 nF	1n0	1 mF	1m0
1,5 nF	1n5	1.5 mF	1m5
3,32 nF	3n32	3.32 mF	3m32
5,90 nF	5n9	5.90 mF	5m9
10 nF	10n	10 mF	10m
15 nF	15n	15 mF	15m
33,2 nF	33n2	33,2 mF	33m2
59,0 nF	59n	59.0 mF	59.0m

Lau zifra adierazgarriren bitartez markatutako kondentsadoreak ondorengoko adibideak bezala markatuak izango dira:

Balioa	Markatua
68,01 pF	68p01
680,1pF	680p1
6,801nF	6n801
68,01nF	68n01
	etab.

2.1.3. Kondentsadore eta erresistentzien tolerantzien balioak adierazteko letren kodea

Erresistentziaren eta kapazitatearen balioen atzean jarri beharko da tolerantziaren kodearen letra.

- Tolerantzia simetrikoa ehunekotan: kapazitate eta erresistentzien balioei aplikatu dakizkiekeenak.

Tolerantzia (%)	Kodearen letra
± 0.005	E
±0,01	L
±0.02	P
±0.05	W
±0,1	B
±0,25	C
±0,5	D
±1	F
±2	G
±5	J
±10	K
±20	M
±30	N

- Tolerantzia asimetrikoa ehunekotan:

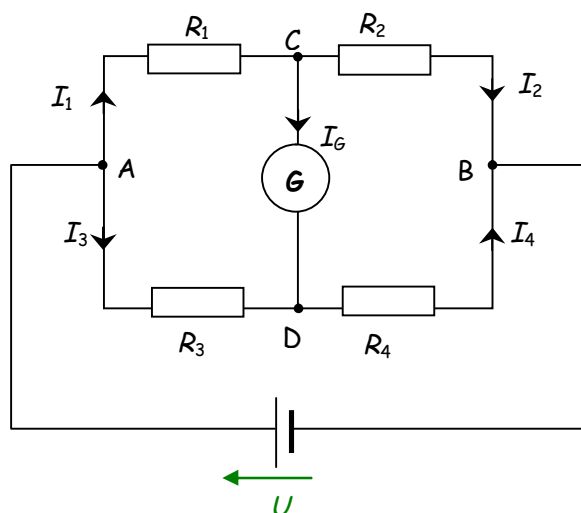
Tolerantzia (%)	Kodearen letra
-10 +30	Q
-10 +50	T
-20 +50	S
-20 +80	Z

- Balio finkoen bidez adierazitako tolerantzia simetrikoak: kapazitatea 10pF-etik behera dagoenean, letra hauek erabili beharko dira balioak adierazteko:

Tolerantzia (pF)	Kodearen letra
$\pm 0,1$	B
$\pm 0,25$	C
$\pm 0,5$	D
± 1	F
± 2	G

- Beste tolerantzia batzuk: letrarik esleituta ez duen beste edozein tolerantzia A letraren bidez adieraziko da. Horrek esan nahi du aparteko dokumenturen batean adierazi beharko dela tolerantzia horren balioa.

2.2. Wheatstone zubiaren funtzionamendu-printzipioa



1.11 irudia. Wheatstone zubiaren zirkuitua

Zubi hau lau erresistentziak osatzen dute; horietako baten balio ohmiarra ez dugu ezagutzen, eta hori da, hain zuzen ere, zehaztu nahi duguna. Gainerako elementuak tentsio-iturri bat, tentsioa emateko, eta galbanometro bat izango dira; azken horrek konektatuta dagoen adarrean zeharreko korrontea detektatzeko erabiliko dugu.

Zubia orekan baldin badago, galbanometroak ez du ezer neurtuko; hau da, $I_G=0$ izango da. Galbanometroaren adarrean zehar ez dago korrontearen zirkulaziorik; hori gertatzen denean, U_{CD} tentsioak zero balio du, eta ondorioz:

$$U_{AC} = U_{AD}$$

$$U_{CB} = U_{DB}$$

Tentsioen balioak adarretako intentsitateen balioen arabera jarrita:

$$R_1 \cdot I_1 = R_3 \cdot I_3$$

$$R_2 \cdot I_2 = R_4 \cdot I_4$$

Eta bi ekuazioak elkarren artean zatituz gero:

$$\frac{R_1 \cdot I_1}{R_2 \cdot I_2} = \frac{R_3 \cdot I_3}{R_4 \cdot I_4} \quad (1.1)$$

Era berean, hasieran orekaren baldintza gisa jarri dugunez, $I_1=I_2$ eta $I_3=I_4$ izango dira. Orduan, azkenik, (1.1) adierazpenak forma hau hartuko du:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ izango da.} \quad (1.2)$$

Eta (1.2) berdintza horretatik ebatziko dugu R_3 erresistentziaren balio ezezaguna beste hiruren arabera, eta orduan:

$$R_3 = R_1 \cdot \frac{R_4}{R_2} \quad (1.3)$$

Balio ezagunak dituzten erresistentziak (R_1 , R_2 eta R_4) eskuarki erresistentzia-patroi erregulagarriak izaten dira. Gomendatzen da neurketa egitea R_4/R_2 erlazioa konstantea denean, eta R_1 erresistentzia aldatuz joatea galbanometroak korrontearen zirkulazio eza sumatu arte, zubia orekatu arte, alegia. Aurkako prozedurari jarraituz ere egin daiteke; hau da, R_1 konstantea delarik R_4/R_2 , erlazioa aldatuz joatea.

Zubiaren neurketen eremua emana dator zubia osatzen duten erresistentzia-patroi aldakorren balio maximo eta minimoen arabera; Adibidez, suposatzen badugu neurtzera goazen erresistentzia R_3 dela:

Neur daitekeen R_3 -ren balio minimoa:

$$R_{3\min} = R_{1\min} \cdot \frac{R_{4\min}}{R_{2\max}} \text{ izango da} \quad (1.4)$$

Eta neur daitekeen R_3 handienaren balioa:

$$R_{3\max} = R_{1\max} \cdot \frac{R_{4\max}}{R_{2\min}} \text{ izango da.} \quad (1.5)$$

Eremu horiek miliohm gutxi batzuetatik Megaohmetarainokoak izan daitezke zubi berean.

3- LABORATEGIAN

Laborategian, hainbat erresistentziaren bilduma baten elementuak identifikatu eta elementuen balioak zehaztu beharko dituzue, ohmetroa erabiliz, koloreen eta letren kodea erabiliz eta Wheatstone zubia erabiliz.

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

3.1. MATERIALA:

Erresistentzia eta
kondentsadoreen bilduma:

1 ohmetro:

1 wheatstone zubi:

PILA BATEN ERRESISTENTZIA ETA INDAR ELEKTROERAGILEA ZEHAZTEA

Pilak gure eguneroko bizitzan agertzen diren sorgailu elektrikoak dira. Korrante zuzeneko tentsio-iturri horiek askotan erabiltzen ditugu kokapen finkorik ez daukaten gailuak elikatzeko: umeen jostailuak, argazki-kamerak, irratiak, erlojuak, kalkulagailuak, eta abar.

Pilekin lan egitera ohiturik gaude. Baina ba al dakizu zer diren? Nola lan egiten duten?

Are gehiago, nola jakin pila bat agortu dela?

Gerta daitekeena da pilak tentsio izendatua ematea, voltmetro batekin tentsioa borneetan neurtzean, baina gero erabiliko dugun aparatuan pila horiek sartu eta behar den moduan lan ez egitea (kalkulagailuaren zenbakiak ia ez dira ikusten, esku-argiak oso argi ahula ematea, jostailua kostata mugitzea...). Ba al dakizu zergatik?

Praktika honetan elementu horien funtzionamenduaz eta modelizazioaz arituko gara.

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

- Koadro mugikorreko amperometroa eta voltmetroa erabiltzen eta aukeratzen (konexioa egiten eta konstantea lortzen).
- Saiakuntzen bidez, elementu baten modelizazioa zer den eta nola lor daitekeen.
- Iturriak kargapean lan egitean nola jokatzen duen.
- Iturri idealen eta errealen arteko ezberdintasunak zein diren.
- Oinarrizko zirkuitu elektrikoaren modeloa lortzen eta haien funtzionamendua simulatzen.
- Irakurketen erroreak kuantifikatzen.

1- SARRERA

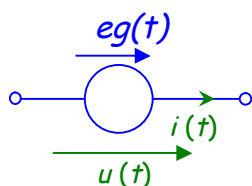
Funtsean, Volta zientzialari italiarraren esperimentuetatik garatu diren iturri hauek energia kimikoa energia elektriko bihurtzen dute. Horretarako, pilaren elektrodoek oxidazio-erredukzio erreakzio kimikoa (redox) jasaten dute zirkuitua ixtean. Erreakzio horrek potentzial elektrikoa sortzen du pilaren borneen artean, eta ko-karga bat elikatzeke korrante elektrikoa eman dezake.

Funtzionamendu aldetik, hainbat motatako pilak aurki ditzakegu. Pila arruntak edo pila primarioak merkeenak eta bakunenak dira, baina agortzen direnean ezin dira berriro kargatu. Hau da, pila primario batek lan egitean gertatzen diren erreakzio kimikoen aldaketa itzulezinak eragiten dituzte pilaren elementuetan. Pila sekundarioek edo akumuladoreek, berriz, alde aurretik metatutako energia itzultzen dute. Akumuladoreak ia guztiz itzulgarriak dira, eta agortzen direnean kargatu egin daitezke berriro erabiltzeko (gaur egun oso erabiliak dira argazki-kamera txikietan, esaterako). Azkenik, bateriak ditugu. Bateriak lortzen dira era berean antolatutako zenbait pila edo akumuladore seriean (tentsio handiagoa lortzeko) edo paraleloan (korrante handiagoa emateko) konektatuz. Adibide ezagunena autoaren bateria izango da, beharbada.

Egia esateko, pila sorgailu edo tentsio-iturri mota bat da. Pilak voltaje konstanteak ematen dituzten tentsio-iturriak dira, korrante zuzenekoak, hain zuzen ere. Badakigu, era berean, ematen duen voltaje-uhinaren arabera, iturriak hainbat eratakoak izan daitezkeela. Horrela, korrante zuzenekoz gain, korrante alterno sinusoidaleko iturriak daude, esaterako. Egingo dugun azterketa sinplifikatzeko, praktika honetan pila edo korrante zuzeneko tentsio-iturriez arituko gara, baina esandakoa gainerako iturrietarako ere aplikagarria izango da, baina korrante alternoaren ezaugarriak kontuak izanik.

Bestalde, tentsio-iturri idealak eta tentsio-iturri errealak bereizi behar dira. Bi iturri moten jokabideen arteko ezberdintasunak haien zirkuitu baliokideetan zein definizio-ekuazioetan islatzen dira.

Tentsio-iturri idealak: hauek dira tentsio-iturri idealaren sinbologia (2.1 irudia) eta definizio-ekuazioak ((2.1) eta (2.2)):



Borneen arteko tentsioa:

$$u(t) = eg(t) \quad (2.1)$$

Iturriak ematen duen potentzia:

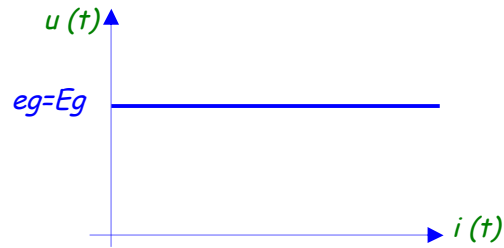
$$p(t) = eg(t) \cdot i(t) \quad (2.2)$$

2.1 irudia. Tentsio-iturri idealak

Tentsio-iturri idealaren definizio-ekuazioa ezaguna da. Definizio-ekuazio horretan tentsioa zehazturik agertzen da. Iturrian zeharreko korrantea, berriz, ez dator zehazturik. Horrela, korrantearen balioa kalkulatzeko zirkuitua ebatzi beharko dugu. Izan ere, iturria non konektatu, halako korrantea emango du.

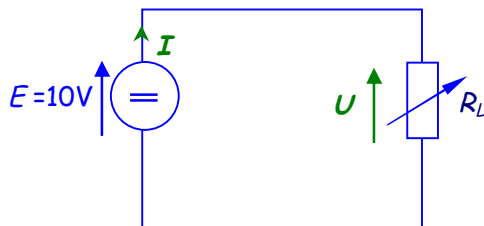
Grafiko batean adieraz daiteke nola aldatzen den tentsio-iturriaren borneen arteko tentsioa, iturrian zeharreko korrantea handitzen den heinean (2.2 irudia).

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea



2.2 irudia. Tentsio-iturri ideal baten tentsio-korronte ezaugarria

Ikus dezagun nolako den korronte hori korronte zuzeneko iturriaren kasu erraz batean.



2.3 irudia. Iturri idealarekiko zirkuitua

Erresistentzian Ohm-en legea aplikatuz gero, zirkuituan zeharreko korrontea kalkula daiteke:

$$I = \frac{E}{R} \quad (2.3)$$

Baita iturriak emandako potentzia ere:

$$P = E \cdot I \quad (2.4)$$

Irudiko zirkuituan R -ren balioa aldatuz gero, korrontearen balioa aldatuko da, baita iturriak emandako potentzia ere. Ikus dezagun.

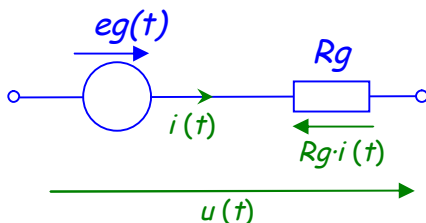
$$R = 10 \, \Omega \text{ bada, } I = \frac{10}{10} = 1 \text{ A} \text{ eta iturriak emandako potentzia: } P = 10 \cdot 1 = 10 \text{ W}$$

$$R = 2 \, \Omega \text{ bada, } I = \frac{10}{2} = 5 \text{ A} \text{ eta iturriak emandako potentzia: } P = 10 \cdot 5 = 50 \text{ W}$$

$$R = 0 \, \Omega \text{ bada, } I = \frac{10}{0} = \infty \text{ A} \text{ eta iturriak emandako potentzia: } P = 10 \cdot \infty = \infty \text{ W}$$

Iturria zirkuitulaburtuta dagoenean potentzia infinitua emango luke, eta hori ez dator bat naturako legeekin. Beraz, ezin da eraiki horrelako iturririk.

Tentsio-iturri erreala. Benetan eraiki daitezkeen tentsio-iturriak bi elementuren bidez modela daitezke (2.4 irudia): tentsio-iturri ideala eta berarekiko seriean erresistentzia bat (erresistentzia horri barne-erresistentzia, R_g , esaten zaio). Modelo horren ekuazioek iturriaren jokabidea azalduko dute ((2.5) eta (2.6)). Eta ez da gertatuko idealen kasuan gertatzen zena: potentzia infinitua gara dezaketela, alegia. Ikus dezagun jarraian zein diren modelo eta definizio-ekuazioa.



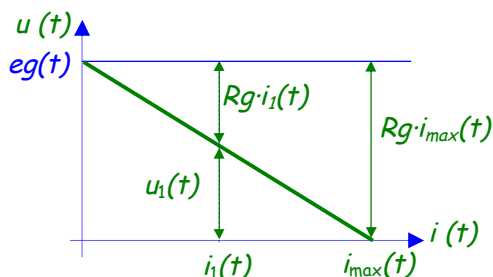
2.4 irudia. Iturri errealaren modeloa

Kasu honetan, hauexek dira iturriaren borneen arteko tentsioa eta ematen duen potentzia:

$$u(t) = eg(t) - R_g \cdot i(t) \quad (2.5)$$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (2.6)$$

Lehen bezala tentsio/korronte kurba irudikatuko dugu (2.5 irudia):



2.5 irudia. Tentsio-iturri erreale baten tentsio-korronte ezaugarria

Kurba horretan erraz ikus daiteke zein den iturri erreale baten funtzionamendua. Horrela, $i_1(t)$ -k, edozein korrontek, iturriaren zehar zirkulatzean, tentsio-jausi bat gertatuko da iturriaren barne-erresistentzian. Ondorioz, iturriak borneen artean emango duen tentsioa ez da izango bere indar elektroeragilea, baizik eta tentsio baxuago bat. Beraz, korronte hori (2.5) eta (2.6) ekuazioetan sartuz, $i_1(t)$ korronteari dagozkion tentsioa ($u_1(t)$) zein potentzia ($p_{i_1(t)}$) kalkulatuko ditugu.

$$u_1(t) = eg(t) - Rg \cdot i_1(t) \quad \text{eta} \quad p(t) = u_1(t) \cdot i_1(t) \quad (2.7)$$

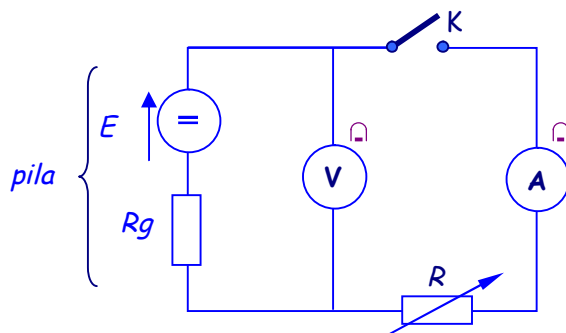
Hau da, zenbat eta korronte handiagoa izan iturriaren zehar, orduan eta tentsio-jausi handiagoa egongo da barne-erresistentzian.

Korrontea handitzen jarrai liteke korronte maximo bat lortu arte (i_{\max}). Balio horretara heltzean iturriaren indar elektroeragile osoa barne-erresistentzian jausiko da, eta iturriak emandako potentzia nulua izango da. Hortik aurrera korrontea ezin da gehiago handitu, iturriak ez baitu tentsiorik ematen bere borneen artean.

2- OINARRI TEORIKOA

Praktika honen helburua da pila edo akumuladore baten karga-egoera ezartzea eta jakitea ea beharrezko energia eskuratzeko aukerarik izango dugun, edo bota edo birkargatu beharko dugun. Birkargatzeko aukera egon behar du, jakina.

Era berean, pilaren barne-erresistentzia ere neurtuko dugu. Azken hori ezagututa, pila karga erreale bati konektatzean zer-nolako tentsio-jausia izango dugun jakingo dugu.



2.6 irudia. Praktikaren muntaketa

2.1. INDAR ELEKTROERAGILE ZEHAZTEA

Akumuladore baten indar elektroeragilea, zirkuitua irekia dagoenean, bere borneen arteko tentsio-diferentzia izango da.

Sorgailu baten indar elektroeragilea ezagutzeko, pilaren borneen artean voltmetro bat jartzea besterik ez dugu (2.6 irudiko etengailua zabalik dagoela). Egoera horretan geratzen den zirkuituan (2.7 irudia) Kirchhoff-en legeak aplikatuz honako hau dugu:

$$U = E - R_g \cdot I \quad (2.8)$$

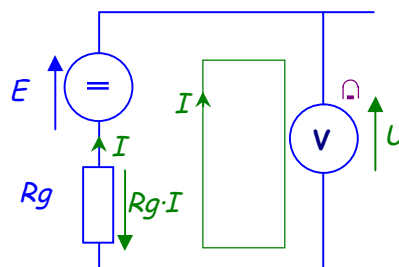
Hor:

E : sorgailu edo akumuladorearen indar elektroeragilea

R_g : barne-erresistentzia

I : zirkuituan zeharreko intentsitatea

U : voltmetroak adierazitako neurria



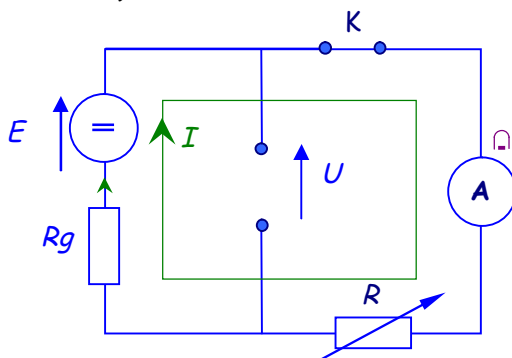
2.7 irudia. Zirkuitu irekiko saiakuntza

Kasu horretan, barne-erresistentzian jausten den tentsioa ($R_g \cdot I$) hutsaren parekoa da. Alde batetik, voltmetroaren erresistentzia altuaren ondorioz, zirkuituan zehar dabilen korrontearen balioa oso txikia delako. Eta, bestetik, sorgailuen barne-erresistentzien balioak txikiak izaten direlako. Hori kontuan izanda, zirkuitu irekian sorgailu edo akumuladorearen indar elektroeragilea voltmetroak neurtzen duen balioa da.

$$U = E \quad (2.9)$$

2.2. BARNE-ERRESISTENTZIA ZEHAZTEA

Sorgailuaren barne-erresistentzia ezagutzeko, 2.6 irudiko muntaketa egingo dugu, baina oraingoan etengailua itxita. Kontuan hartzen badugu, alde batetik, aurreko saiakuntzatik sorgailuaren indar elektroeragilea ezagutzen dugula eta, bestetik, voltmetroan zeharreko korrontearen balioa ia nulua dela, sorgailuan zeharreko korrontearen balioa amperometroak jasoko duena izango da (2.8 irudia).



2.8 irudia. Kargako saiakuntza

Orduan, Kirchhoff-en bigarren legea eskemako lehenengo leihoan aplikatzen badugu, sorgailu edo akumuladorearen barne-erresistentzia kalkulatuko dugu (2.10).

$$E = U + R_g I \quad R_g = \frac{E - U}{I} \quad (2.10)$$

Hala ere, gauza bat izan beharko dugu kontuan: voltmetroko neurria bat-batean jaisten bada intentsitatea zirkulatzen hasterakoan, horrek esan nahi du sorgailua edo akumuladorea agortuta dagoela eta, ahal izanez gero, berriz kargatu beharko dugula.

Neurketak azkar jaso beharko dira; bestela, akumuladorea polarizatuko da, eta haren barne-erresistentziaren balioa handituko.

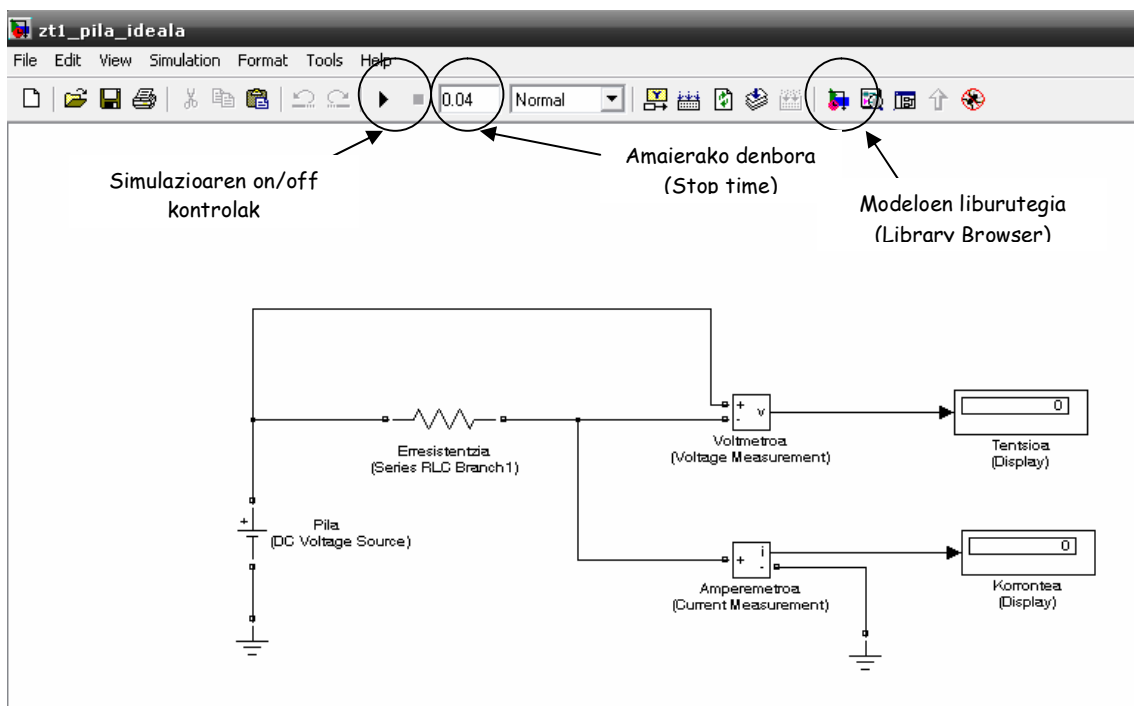
3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. SIMULAZIOA


Praktika honetan iturri idealen eta errealen funtzionamendua simulatuko dugu. Horrela, bien arteko ezberdintasunak nabarmenduko ditugu, eta haien modeloak zein diren ikasiko dugu.

3.1.1. Pila ideala

Pilen idealaren funtzionamendua aztertzeko, 2.6 irudiko zirkuitu elektrikoa simulatuko dugu. Lehenik eta behin, pila iturri ideala ($r_g = 0$) dela joko dugu. Horretarako, 2.9 irudian agertzen den modeloa erabiliko dugu.



2.9 irudia. Pila idealaren modeloa

2.9 irudian agertzen diren elementuak Simulink-eko liburutegian aurkituko ditugu (menuan *View / Library Browser* aukeratuz edo  ikonoan sakatuz). Honako hauek dira:

- Korrante zuzeneko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / DC Voltage Source*). Elementu horrekin pila ideala simulatuko dugu. Tentsioa zehazteko, blokearen gainean klik bikoitza egin, eta agertuko den taulan tentsioaren litudea zehaztuko dugu (10 V).
- Erresistentzia aldakorra (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*). Elementu horrek RLC adar baten modeloa da. Hau da, adar horrek erresistentzia-atala (R), induktantzia-atala (L) eta kapazitate-atala (C) ditu. Erabiliko dugun erresistentzia hutsa lortzeko elementuaren taulan induktantzia eta kapazitatea baliogabetuko ditugu ($L = 0$ eta $C = \text{inf}$). Horretaz gain, simulazio bakoitzean erabiltzen den erresistentziaren balioa zehaztu beharko da.
- eremetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Current Measurement*). Pilak ematen duen korrantea neurtzeko. eremetroa zirkuituan konektatzeko + eta - borneak erabiliko dira. Eta i borneak neurgailuaren irakurketa ematen du.
- Voltmetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Voltage Measurement*). Pilaren borneen arteko tentsioa neurtzeko. Voltmetroa konektatzeko + eta - borneak erabiliko dira. Eta v borneak neurgailuaren irakurketa ematen du.
- Bi pantaila (*Simulink/Sinks/Display*). Amperemetroan eta voltmetroan hartutako neurgailuak irakurtzeko.
- Lurra (*SimPowerSystems / Elements / Ground*). Zirkuitua ixteko eta potentzial-erreferentzia sortzeko.

Behin modeloa amaituta, simulazio-prozesuari ekingo diogu:

1. Simulazioaren parametroak zehaztu behar dira. Kasu honetan simulazioaren iraupena baino ez dugu definituko (0,04 segundo). Gainerako parametroak beren horretan utziko ditugu. Horretarako, menuan *Simulation / Configuration Parameters* aukera hartuko dugu, eta agertuko den ezaugarri-taulan amaierako denbora (*Stop time*) idatziko dugu. Hori egitean, kontuan izan programa horretan dezimalak sartzeko puntua erabili behar dela, eta ez koma. Amaierako denbora ikonoen barran ere zehaztu daiteke.
2. Pilaren funtzionamendua simulatuko da hainbat erregimenetan. Horretarako erresistentzia aldakorraren balioa aldatuz joango gara.
 - a. Definitu erresistentziaren balioa. Simulazio bakoitzean balio bat izango da. Hasteko, pila hutsean ipiniko dugu, eta gero, erresistentziaren balioa txikituz, pilak ematen duen korrantea igoko dugu. Baina simulazio-algoritmoak ez du aurreikusten zirkuitu osoan korrontetik ez zirkulatzea. Horregatik, zirkuitu irekia simulatzeko oso balio handiko erresistentzia erabiliko dugu. Adibidez, simulatu balio hauek: $10^9 \Omega$ (idatzi: 1e9), 1000Ω , 100Ω , 50Ω , 10Ω , 5Ω , 1Ω eta $0,5 \Omega$.
 - b. Simulazioa abian jarri. Horretarako erabili *on* ikonoa.
 - c. Neurgailuak irakurri erabilitako pantailetan.

3. Simulazioetan lortutako balioekin:

- a. Irudikatu pila idealaren tentsio/korronte kurba.
- b. Egiaztatu pila ideala dela, zirkuitu irekiko neurketak eta (2.10) adierazpena erabiliz: egiaztatu, era berean, barne-erresistentzia nulua dela.

3.1.2. Pila erreala

Orain, prozesu berari jarraituko diogu pila erreala bat erabiliz. Horretarako, zirkuituaren modeloan pila idealaren (DC Voltage Source) ordez, pila erreala modeloa sartuko dugu. Gainerako elementuak lehen erabilitakoak izango dira. Pila erreala modeloa /work/zt_modeloak.mdl fitxategian aurkituko duzue. Kopiatu ezazue handik zuen zirkuituan.

Kasu horretan ere, erresistentzia aldakorren balio berberak erabiliko ditugu simulazioetan ($10^9 \Omega$, 1000Ω , 100Ω , 50Ω , 10Ω , 5Ω , 1Ω eta $0,5 \Omega$). Neurtutako tentsio eta korrontearekin beste gauza hauek lortuko ditugu:

- a. Irudikatu pila erreala tentsio/korronte kurba.
- b. Zirkuitu irekiko neurketak eta (2.10) adierazpena erabiliz, kalkulatu pilaren indar elektroeragilea eta barne-erresistentzia.

Azkenik, lortutako emaitzak erabiliz (pila erreala indar elektroeragilea eta barne-erresistentzia) lortu pila horren modeloa, eta egiaztatu bi kasuetan (emandako modeloekin eta zuk egindakoekin) emaitzak berberak lortzen direla.

3.2. HONAKO GALDERA HAUEI ERANTZUN

- Zein da tentsio-iturri ideal baten zirkuitu baliokidea? Eta ezaugarri-kurba?
- Zergatik ezin dira eraiki?
- Zein da tentsio-iturri erreala baten zirkuitu baliokidea? Eta ezaugarri-kurba?

4- LABORATEGIAN:

4.1. PRAKTIKA

2.6 irudiko muntaketa egin beharra dago, voltmetroaren neurketa irakurriko dugu, etengailua itxita eta zabalik dagoenean, eta amperometroarena etengailua itxita dagoenean. Hiru saiakuntza egingo dira zirkuituan zeharreko korrontearen balioa aldatuz.

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

Korrontea aldatzeko erresistentzia aldakorraren balioa aldatuko dugu, baina intentsitatearen balioak aldaketa handirik ez jasateko eran. Erresistentzia aldakorraren balioa ez da oso handia izango.

4.2. MATERIALA

1 pila edo akumulado	_____
1 voltmetro	_____
1 amperometro	_____
1 erresistentzia aldakor	_____

ELEMENTU PASIBOEN EZAUGARRI-KURBEI BEHATZEA

Gaur egun, ohiko lan eta jarduera askotan makina eta tresna elektrikoek baliatzen gara. Baina tresna elektriko horiek eraikitzeke hainbat elementu erabiltzen dira. Horrela, erresistentziak berogailuetan edo termo elektrikoetan beroa sortzeko erabiltzen dira, kondentsadoreak karga batzuen tentsioaren aldakuntzak murrizteko, edo komunikazio-sistemen iragazkietan harilak elektro-imanetan eta makina elektrikoetan eremu magnetikoa sortzeko; diodoak elektronikan...

Ba al dakizu nola lan egiten duten elementu horiek? Zein da elementuan tentsioaren eta korrontearen arteko erlazioa?

Zergatik erabili behar dira eremu fotovoltaikoak diseinatzean, panelak aukeratzeko panelen tentsioaren eta korrontearen arteko erlazio-kurbak?

Era berean, tentsioetako eta korronteetako seinale horiek aztertzeke zein izango dira tresna egokienak?

Praktika honetan zenbait elementu elektrikoaren ezaugarriak aztertu eta alderatuko ditugu. Horretarako, besteak beste, laborategi elektrikoetan zein elektronikoetan oso erabilia den tresna erabiliko dugu: osziloscopia.

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

- Osziloskopiaaren oinarrizko kontrolak (eskalak, denbora-ardatza, inbertsioa, fokatzea, eta abar) bereizten eta erabiltzen.
- Osziloskopiaaren pantailan tentsio-uhinaren formei behatzen.
- Bi kanalak erabiltzen elementu pasiboen ezaugarri-kurba lortzeko.
- Laborategiko elikadura-sistema erabiltzen, balio efikaz txikiko tentsio alterno-sinusoidalak lortzeko.
- Elementu pasiboen modelizazioa lortzen eta simulazioetan erabiltzen.
- Simulazioaren bidez, zirkuitu elektriko baten magnitudeen adierazpen grafikoak zein tentsio/korronte kurbak lortzen.

1- SARRERA

Zirkuitua osatzen duten elementuak, bi taldetan sailka ditzakegu:

- Elementu aktiboak: zirkuituari energia ematen dioten elementuak.
- Elementu pasiboak: zirkuituko energia jaso edo metatzen duten elementuak.

Elementu elektrikoak, pasiboak zein aktiboak, definitzeko definizio-ekuazioak erabiltzen dira. Ekuazio horiek adieraziko dute elementuaren borneen arteko tentsioaren eta elementuan zeharreko korrontearen artean geratzen den erlazioa. Badira definizio-ekuazioaren bidez guztiz definiturik gelditzen diren elementuak; erresistentziak, harilak eta kondentsadoreak, esaterako. Beste batzuen jokabidea ezaugarri-kurbaren bidez hobeto ulertzen da; diodoen kasua da hori.

Hala ere, elementu guztietarako defini daiteke *ezaugarri-kurba*. Hori izango da elementuaren definizio-ekuazioaren adierazpen grafikoa, $u=f(i)$ edo $i=g(u)$ gisa, non $g^{-1} = f$ egiaztatzen baita.

Ezaugarri-kurbek oso informazio baliagarria emango digute berez, eta edozein elementuren kurbari behatuz hau jakin ahal izango dugu elementu horretaz:

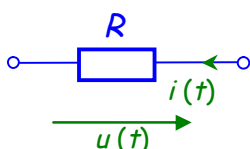
- Noranzko biko elementua den: korronteari bi noranzkoetan erraztasun berdinarekin igarotzen uzten dioten.
- Noranzko bakarreko elementua den: korronteari bi noranzkoetan erraztasun berdinarekin igarotzen ez dioten.
- Elementu lineala den: definizio-ekuazio lineala duen.
- Elementu erdilineala den: tarte batean portaera lineala duen.

Azter ditzagun orain hainbat elementu pasiboren definizio-ekuazioak eta ezaugarri-kurbak:

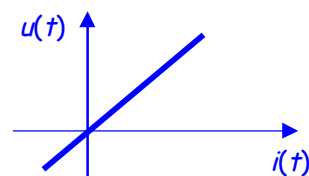
1.1. ERRESISTENTZIA

Erresistentzia lineal eta ideal baten definizio-ekuazioa (3.1) adierazpenean ikus daiteke. Era berean, 3.1 irudian, haren sinboloa eta ezaugarri-kurba agertzen dira.

$$u(t) = R \cdot i(t) \quad \text{Edo} \quad i(t) = \frac{u(t)}{R} \quad (3.1)$$



Elementuaren sinboloa



Ezaugarri-kurba

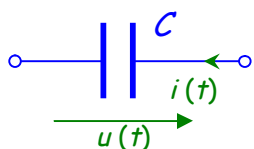
3.1 irudia. Erresistentzia lineal eta ideala

Erresistentzia linealaren eta idealaren kasuak aztertu ditugu. Lineala da, tentsioaren eta korrrentearen arteko erlazioa lineala delako. Eta ideala da, ez daukalako efektu induktiborik ere, ezta kapazitiborik ere. Horrela, ezaugarri-kurbak ez du gainazal itxi bat deskribatzen, kasu horretan elementuak energia metatuko luke eta.

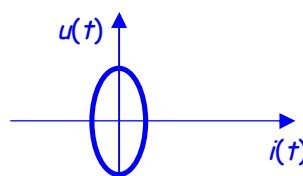
1.2. KONDENTSADOREA

Kondentsadore ideal baten definizio-ekuazioa (3.2) adierazpenean ikus daiteke. Kasu horretan, ezaugarri-kurbak (3.2 irudia) elipse-forma dauka. Beraz, gainazal itxi bat deskribatzen duenez, elementu metatzailea da. Eta gainazalaren azalera kondentsadorean metatutako energia kantitatearekiko proportzionala izango da. Energia hori kondentsadorean sortutako eremu elektrikoan metatzen da. Elementua ideala izango ez balitz (erresistentzia ere edukiko balu, adibidez), gainazal itxi hori ez litzateke eliptikoa izango, beste forma batekoa baizik.

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt} \quad \text{edo} \quad u(t) = u_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt \quad (3.2)$$



Elementuaren sinboloa



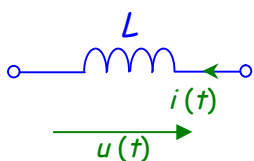
Ezaugarri-kurba

3.2 irudia. Kondentsadore ideala

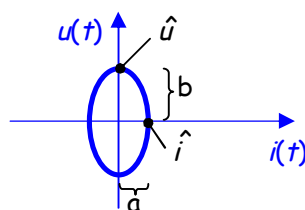
1.3. HARILA

Harila ere elementu metatzailea denez, energia metatuko du eta ezaugarri-kurba itxia du, elipse baten itxurakoa (3.3 irudia). Kasu horretan energia-harilak sortutako eremu magnetikoan metatzen da.

$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad \text{edo} \quad i(t) = i_0 + \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt \quad (3.3)$$



Elementuaren sinboloa



Ezaugarri-kurba

3.3 irudia. Haril ideala

Lehen esan den bezala, elementu baten ezaugarri-kurba itxia bada, kurba horrek ixten duen gainazalaren azalera elementu horretan metatutako energia kantitatearekiko proportzionala da. Kondentsadore eta haril idealetan ezaugarri-kurbak elipseak dira, eta era errazean frogatu daiteke aurrekoa. Horrela, harilaren ezaugarri-kurbaren barruko azalera (elipse baten azalera) hauxe izango da:

$$\text{Elipsearen azalera} = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot \hat{i} \cdot \hat{u} \quad (3.4)$$

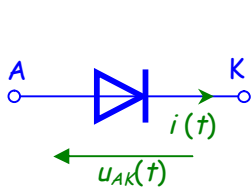
Goiko adierazpenean ikus daiteke azalera potentziaren arabera dela. Beraz, energiaren arabera ere bai. Aurrerago joan gintezke, eta, gailur-balioen arabera jarri beharrean, balio efikazen arabera jarri ($\hat{u} = \sqrt{2}U$). Horrela, ondorio berberera helduko ginateke: azalera potentziaren eta, beraz, metatutako energiaren adierazpena dela.

$$\text{Elipsearen azalera} = \pi \cdot \hat{i} \cdot \hat{u} = \pi \cdot \sqrt{2}I \cdot \sqrt{2}U = \pi \cdot 2 \cdot \text{Potentzia} \quad (3.5)$$

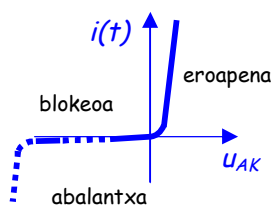
1.4. DIODOA

Gailu erdiekoale honek korrontearen zirkulazioa ahalbidetzen du, korrontea anodotik katodorako noranzkoan doanean. Korrontea katodotik anodora doanean, berriz, diodoak korrontearen zirkulazioa eragozten du, eta zirkuitu irekia izango balitz bezala lan egiten du. Ondo islatzen da hori diodoaren ezaugarri-kurban (3.4 irudia). Horrela, korrontea anodoaren eta katodoaren arteko tentsioa (u_{AK}) positiboa denean bakarrik agertuko da (eroapen-eremuan dago diodoa). Bestela, u_{AK} tentsioa negatiboa bada, korronterik ia ez da gongo (blokeo-eremua da).

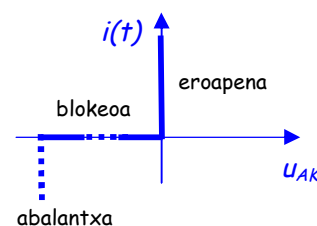
Tentsioa oso negatiboa balitz, elementua abalantxa-eremuan sartuko litzateke eta korrontea katodotik anodora ere garraiatuko luke, apurtuko ez balitz behintzat. Abalantxak, beraz, diodoa apurtzea dakar, eta ez du lanik egingo eremu horretan.



Elementuaren sinboloa



Diodo errearen kurba



Diodo idealaren kurba

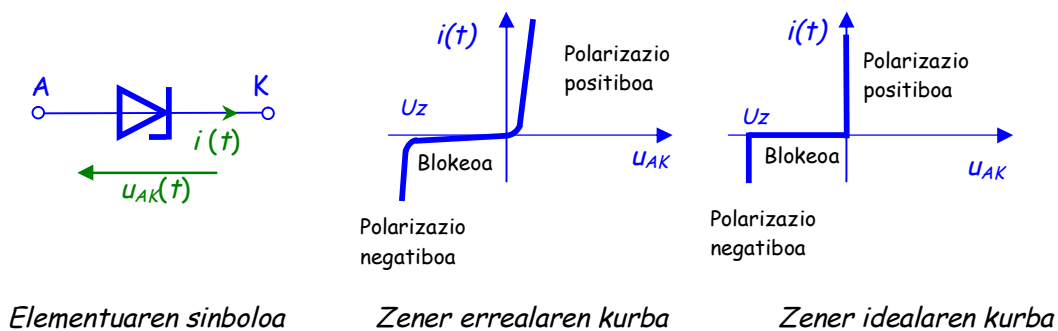
3.4 irudia. Diodo erreala/ideala

Elementua ideala bada, ezaugarri-kurbak elementu idealaren jokabidea jasoko du. Beraz, eroapen-eremua tentsioa positiboa den unean bertan izango da, eta korronte guztia garraiatuko du. Era berean, blokeo-eremua ezarri bezain laster, korrontea guztiz nulua izango da.

Elementu erreala bada, aldiz, blokeoaren eta eroapenaren arteko muga ez da hain nabarmena, eta tentsio minimo positibo bat behar da diodoa korrontea garraiatzen has dadin. Tentsio horri atari-tentsio esaten zaio, eta 0,7 V ingurukoa izan ohi da.

1.5. ZENER DIODOA

Zener diodoaren lan-eremuak, diodo arruntarena hartzeaz gain, alderantziz polarizaturik daudenena ere hartzen du (3.5 irudia). Alderantziz polarizatuta dagoenean, korronteak katodetik anodora zirkulatuko du, behin zener tentsioa gainditu denean. Hau da, diodo arruntan abalantxa-eremuan ere egiten dute lan, apurtu gabe; horregatik, apurketa-kontrolatua duten diodoak ere deitzen zaie. Polarizazio negatiboaren eremuan sartu eta berehala ez da korrontea ezarriko, zeren eta tentsio-maila minimo bat behar baita korronteak zirkula dezan. Tentsio horri zener tentsioa edo alderantzizko polarizazioko tentsioa esaten zaio.



3.5 irudia. Zener diodo erreala/ideala

1.6. ERRESISTENTZIA EZ-LINEALAK

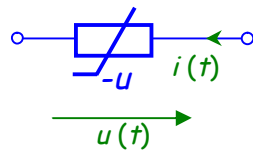
Erresistentziak linealak dira, baldin eta beren ezaugarri-kurba lineala bada, tentsioaren eta korrontearen arteko erlazioa zuzen bat denean, alegia. Orduan, zenbat eta tentsio handiagoa aplikatu erresistentziaren borneen artean, orduan eta korronte handiagoak zirkulatuko du, eta balio ohmiarra konstante izango da.

Baina badira hainbat erresistentzia, non balio ohmiarra kanpo-magnitude baten mendekoa baita: tenperaturaren araberakoa (PTC, NTC), erresistentzia jotzen duen argi-intentsitatearen araberakoa (LDR), edo erresistentziari aplikatutako tentsioaren araberakoa (VDR), esaterako. Erresistentzia horiek guztiak erdieroaleak dira.

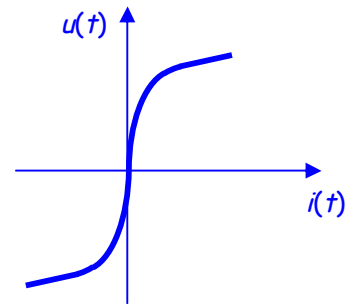
VDR erresistentzia:

VDR izena ingelesetik dator, eta *Voltage Dependent Resistor* (tentsioaren araberako erresistentzia) esan nahi du. VDR baten balio ohmiarra aldatu egiten da bere borneen artean aplikatutako tentsioarekin batera. Hortaz, erresistentziatik zirkulatuko duen korrontea ez da inolaz ere izango aplikatutako tentsioarekiko proportzionala.

Berebiziko garrantzia du VDR baten ezaugarri-kurba ezagutzeak (3.6 irudia), elementuaren jokabidea zein izango den aurreikusteko.



Elementuaren sinbologia



Ezaugarri-kurba

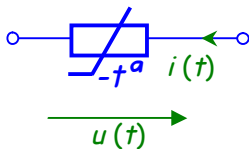
3.6 irudia. VDR erresistentzia

NTC erresistentzia:

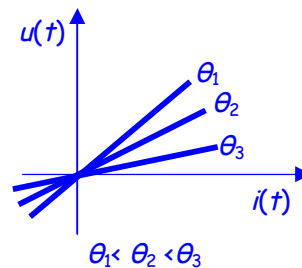
NTC (*Negative Temperature Coefficient*), termistore ere deituak, tenperatura-koefiziente negatiboa duten erresistentziak dira. Horrek esan nahi du tenperaturaren araberrako balio ohmiarra dutela, tenperaturarekiko alderantziz proportzionala. Beraz, tenperatura igotzean balio ohmiarra txikitzen da, eta tenperatura jaistean balio ohmiarra handitzen.

Ideala bada, ezaugarri-kurba 3.7 irudikoa da, eta tenperatura aldatzean malda aldatuko zaio zuzenari.

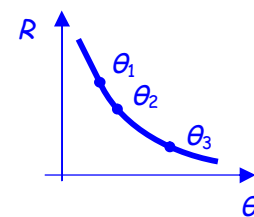
Erresistentzia horiek definitzeko, ezaugarri-kurba baino garrantzitsuagoa da tenperaturaren eta erresistentziaren arteko erlazioa.



Elementuaren sinbologia



Ezaugarri-kurba



R/θ kurba

3.7 irudia. NTC erresistentzia

2- OINARRI TEORIKOA

Praktika honetan, osziloskopioa erabiliz, hainbat elementu pasibo aztertuko ditugu. Haien ezaugarri-kurbak zehaztuko ditugu, eta, ondoren, bereiziko elementu linealak eta ez-linealak. Era berean, kurba horri behatuz, ikusiko dugu elementua energia metatzen duen ala xahutzen duen.

Horretaz gain, elementuaren borneen arteko tentsioaren eta elementuan zeharreko korrontearen uhin-formak ikuskatuko ditugu. Bi uhin-formak aldi berean edo banan-banan osziloskopioaren pantailan bistaratu, desfaseak, anplitudeak eta periodoak ere zehaztu daitezke.

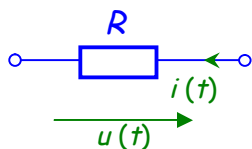
Elementu pasiboak korronte batez elikatuko ditugu. Korronte hori uhin-forma sinusoidala izango du, eta tentsio-jausiak eragingo ditu elementuen borneen artean. Tentsio horiek analitikoki zehazteko elementuen definizio-ekuazioetara jo behar dugu.

Ikus dezagun nolakoak diren hainbat elementuren kasurako:

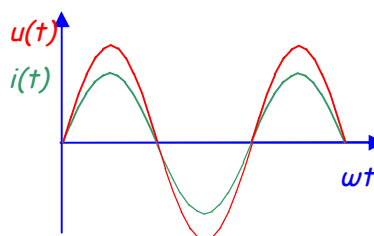
Erresistentzia:

Erresistentzia korronte sinusoidal batek zeharkatzen badu, erresistentzia horren borneetan agertzen den tentsioa ere sinusoidala izango da. Gainera, fasean egongo dira, eta tentsioaren anplitudea (gailur-balioa) R aldiz korrontearena izango da.

$$i(t) = I_0 \sin \omega t \quad \text{beraz:} \quad u(t) = i(t) \cdot R = RI_0 \sin \omega t \quad (3.6)$$



Elementuaren sinboloa



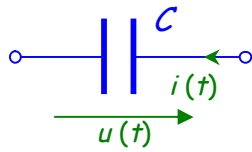
Tentsioaren eta korrontearen uhinak

3.8 irudia. Erresistentzia

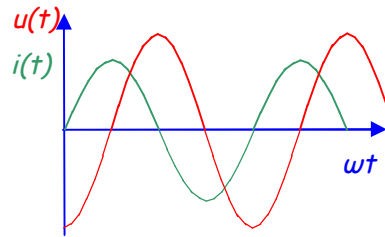
Kondentsadorea:

Kondentsadorean ere korronte sinusoidal baten zirkulazioak tentsio sinusoidala eragingo du. Baina kasu honetan, tentsioa 90° atzeratuta egongo da korrontearekiko (3.9 irudia).

$$u(t) = \frac{1}{C} \int I_0 \sin \omega t \, dt = \frac{I_0}{C\omega} [-\cos \omega t]_0^t = U_0 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (3.7)$$



Elementuaren sinboloa



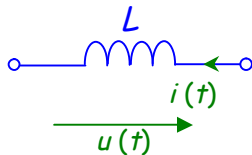
Tentsioaren eta korrontearen uhinak

3.9 irudia. Kondentsadorea

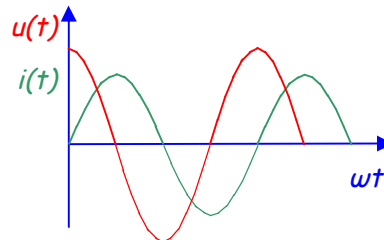
Harila:

Harilean, berriz, tentsioa korrontearekiko aurreratuko da 90°.

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} = LI_0 \omega \cos \omega t = U_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \tag{3.8}$$



Elementuaren sinboloa

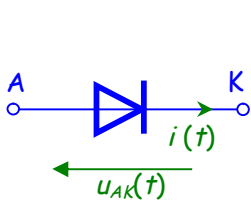


Tentsioaren eta korrontearen uhinak

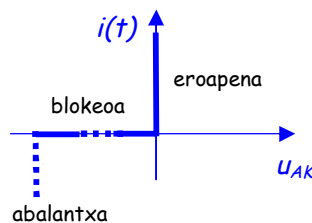
3.10 irudia. Harila

Diodo ideala:

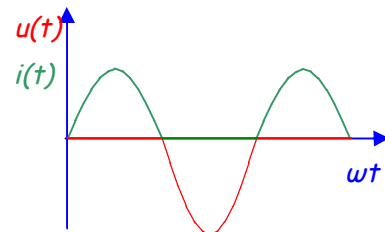
Diodo idealaren kasuan, haren ezaugarri-kurbari begira, badakigu tentsioa positiboa denean korrontearen zirkulazioa posiblea dela. Gainera, korronte horrek zirkulatzean diodoaren borneen artean ez da tentsiorik agertzen. Egoera horretan, diodoak etengailu itxi baten gisa jokatzen du, beraz. Tentsioa negatiboa denean, berriz, ez du korrontearen zirkulazioa ahalbidetuko. Hau da, diodoak etengailu ireki baten gisa jokatuko du, eta, beraz, haren borneen arteko tentsioa jausiko da.



Sinboloa



Ezaugarri-kurba

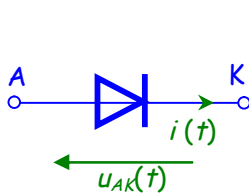


Tentsioaren eta korrontearen uhinak

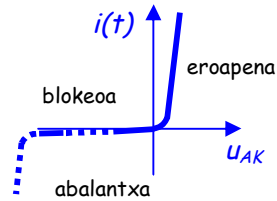
3.11 irudia. Diodo ideala

Diodo erreala:

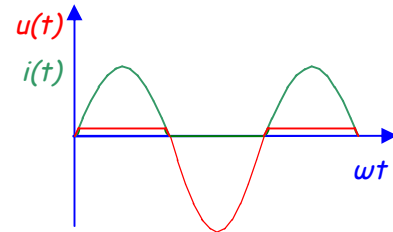
Diodoa erreala bada, atariko tentsioa izan beharko dugu kontuan, tentsio horretatik aurrera diodoa eroalea izango baita, eta ez tentsioa positiboa den unetik. Siliziozko diodoetarako 0,7 V izaten da atariko tentsio hori.



Sinboloa



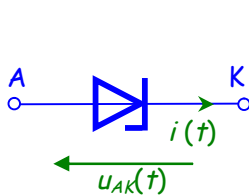
Ezaugarri-kurba



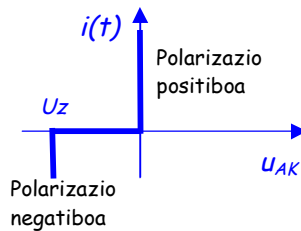
Tentsioaren eta korrontearen uhinak

3.12 irudia. Diodo erreala**Zener diodoa:**

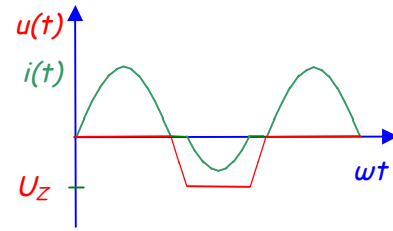
Zener diodoak diodo arruntaren funtzionamendu bera du polarizazio positiboaren eremuan. Polarizazioa negatiboa denean (tentsioa negatiboa) eroapen-tarte bat agertuko da. Behin zener tentsioa (U_z) gainditu eta gero, korronteak katodetik anodora zirkulatuko du. Eroapen negatiboko tarte horretan, tentsioa U_z baliora mugatuko da.



Sinboloa



Ezaugarri-kurba



Tentsioaren eta korrontearen uhinak

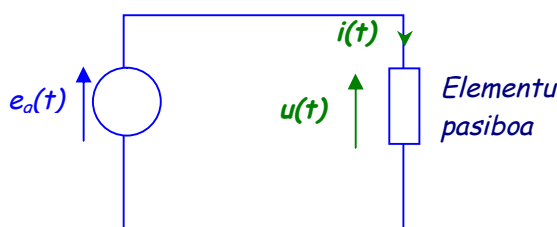
3.13 irudia. Zener diodoa

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. SIMULAZIOA

Atal honetan egingo ditugun simulazioetan elementu pasiboen jokabidea aztertuko dugu. Horretarako, hainbat izaeratako elementu pasiboak tentsio-iturri ideal batekin elikatuko ditugu (3.14 irudia). Tentsio-iturri horrek (3.9) adierazpeneko uhin sinusoidala emango du.

Elementu bakoitzaren definizio-ekuazioa erabiliz eta iturriaren tentsioa ezagututa, elementu horietan zehar zirkulatzen duen korrontearen adierazpen analitikoa kalkulatu dugu. Gero, simulazioen bidez, elementuen zeharreko korrontearen zein haien borneen artean jausten den tentsioaren adierazpen grafikoak lortu eta aztertuko ditugu. Gainera, tentsio eta korronte horiek alderatuz, elementu mota bakoitzaren ezaugarri-kurba ere lortuko dugu.



3.14 irudia. Zirkuitu elektrikoa

$$e_g(t) = 100 \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t) \text{ V} \quad (3.9)$$

3.1.1. Erresistentzia hutsa

Aztertuko dugun lehen elementu pasiboa erresistentzia hutsa izango da. Hau da, erresistentzia ideal bat, induktantziarik eta kapazitaterik gabekoa.

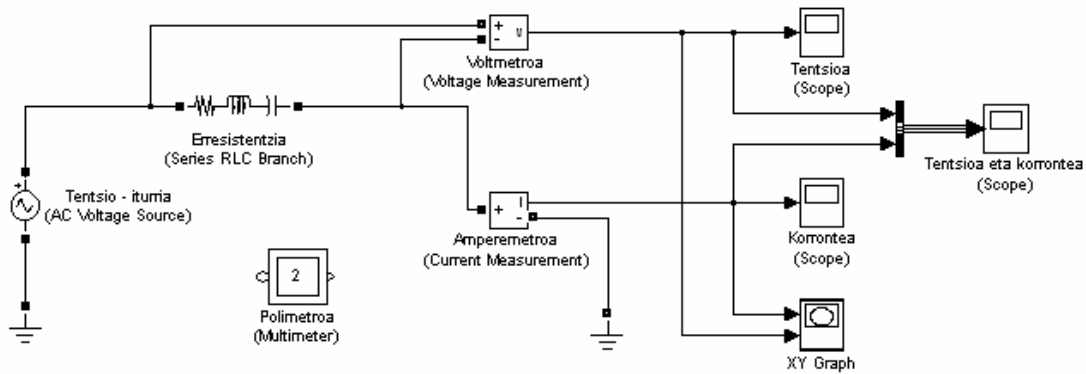
a) Kalkulatu korrontearen adierazpen analitikoa

Ohmen legea (3.10) aplikatuz, korrontearen adierazpena lortuko dugu. Adibide honetan 5 Ω -eko erresistentzia erabiliko dugu.

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{e_g(t)}{R} \text{ A} \quad (3.10)$$

b) Lortu zirkuituaren modeloa

Erresistentzia hutsaren jokabidea aztertzeko, 3.15 irudiko zirkuitu elektrikoa modelatu eta simulatuko dugu.



3.15 irudia. Erresistentziaren jokabidea simulatzeko zirkuituaren modeloa

Modelo horretan agertzen diren elementuak *Simulink*-eko liburutegian aurkituko ditugu eta honako hauek dira:

- Korrante alternoko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / AC Voltage Source*). Elementu hau tentsio sinusoidala (3.11) sortzen duen iturri idealaren modeloa da.

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha) \quad (3.11)$$

$$(\omega = 2 \cdot \pi \cdot f)$$

Hor:

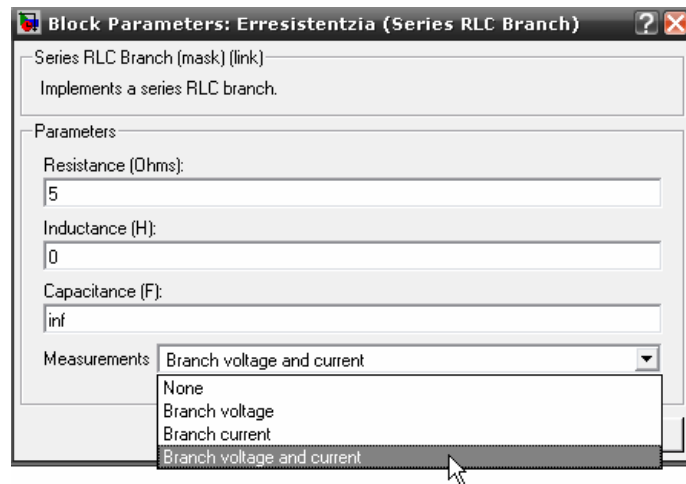
- $u(t)$: tentsioaren aldiuneko balioa (V)
- U_{\max} : tentsioaren anplitudea, balio maximoa, gailur-balioa edo puntako balioa (V)
- w : pultsazioa edo abiadura angeluarra (rad/s)
- t : denbora (s)
- α : fasea (rad)
- f : maiztasuna edo frekuentzia (Hz edo s^{-1})

Iturri honen ezaugarri-taulan agertzen diren parametroak hauek dira: balio maximoa (*Peak anplitude*), fasea (*Phase*) gradutan zehaztuta, maiztasuna (*Frequency*). Balio horiek erabilitako tentsio-iturriarenak izango dira (3.9).

Elementu guztien ezaugarri-tauletan laguntza-botoia (*Help*) agertzen da. Botoi hori sakatuz, elementu horren azalpenak ematen dira, eta haren parametroen esanahia eta erabilera zehazten.

- Erresistentzia (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*). Erresistentzia hutsa lortzeko elementuaren taulan inдукtantzia (*Inductance*) eta kapazitatea (*Capacitance*) baliogabetuko ditugu: $L = 0$ eta $C = \text{inf}$ (infinitu).

Horretaz gain, *Measurements* menuan (3.16 irudia) adar horren magnitudeak neurtzeko agindua bete dezakegu: tentsioa (*Branch voltage*), korrontea (*Branch current*), biak (*Branch voltage and current*) edo bat ere ez (*None*). Horrela, neurtutakoa polimetroetan eta beste elementu berezi batzuetan irakurriko da. Adibide honetan, tentsioa zein korrontea neurtuko ditugu.



3.16 irudia. RLC adarraren ezaugarri-taula

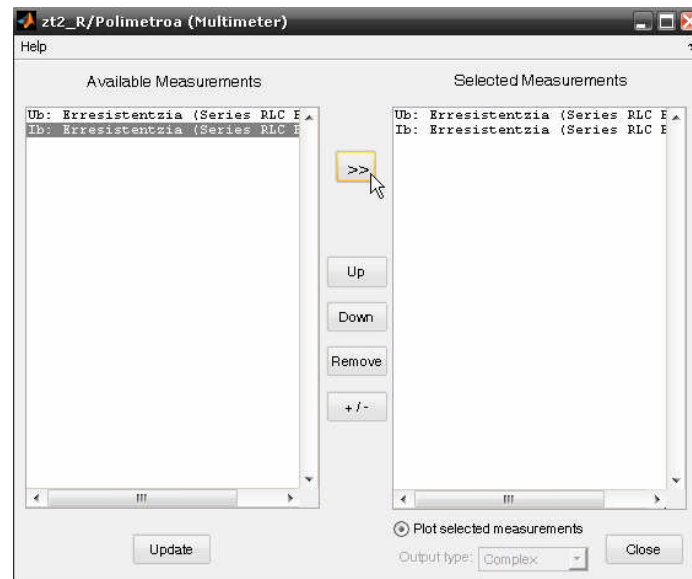
- Neurgailuak: amperemetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Current Measurement*) eta voltmetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Voltage Measurement*).
- Lurra (*SimPowerSystems / Elements / Ground*): potentzial-erreferentzia sortzeko.
- Bus eragilea (*Simulink / Signals Routing / Bus Creator*): elementu honek bere sarrera guztiak bus batean sartzen ditu. Bus horretan sarreraren ordena bere horretan uzten da. Sarreraren kopurua elementuaren ezaugarri-taulan alda daiteke.
- Hiru osziloskopio (*Simulink/Sinks/Scope*): neurgailuetan jasotako magnitudeak grafikoki irudikatzeko.
- XY Graph (*Simulink / Sinks / XY Graph*): elementu honek bi sarrera ditu, eta bi sarrera horietara konektatzen diren magnitudeekin XY gisako grafikoa sortzen du. Gure kasuan, tentsioa (2. sarrera: Y) korrontearen funtzioan (1. sarrera: X) irudikatuko dugu.
- Polimetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Multimeter*): elementu honekin zirkuituko magnitudeen adierazpen grafikoak irudikatzen dira. Magnitude horiek irudikatzeke ez dugu konexiorik egin behar. Zirkuituko elementu eta adarren ezaugarri-tauletan neurtzeko adierazitako magnitudeak dira hemen irudika daitezkeenak (ikusi 3.16 irudian *Measurements* menua).

Polimetroaren ikonoaren gainean klik bikoitza egitean 3.17 irudiko taula agertzen da. Taula horretan, ezkerreko aldean, zirkuituan neurtzen diren magnitudeak adierazten dira (*Available Measurements*). Eskuineko aldean, berriz, polimetroarekin, grafikoki irudikatzeke, aukeratu diren magnitudeak agertuko dira (*Selected Measurements*). Bestalde, erdian agertzen diren botoien esanahia hauxe da:

- o >> Ezkerraldean aukeratutako magnitudea eskuinera igarotzen da. Hau da, gero irudikatuko den magnitude bihurtzen da.
- o Up Eskuineko aldean aukeratutako magnitudea gora pasatzen da. Gero, emaitzak taula horretan ordenaturik aurkeztuko dira.
- o Down Eskuineko aldean aukeratutako magnitudea behera pasatzen da.
- o Remove Eskuineko aldean aukeratutako magnitudea ezabatzen da.

- o +/- Eskuineko aldean aukeratutako magnitudearen zeinua aldatzen da.

Azkenik, taula hori itxi baino lehen, ez ahaztu *Plot selected measurements* aukera aktibatzea. Bestela, magnitudeen grafikoak ez dira irudikatuko.



3.17 irudia. Polimetroaren ezaugarri-taula

c) Zehaztu simulazioaren parametroak

Behin zirkuituaren modeloa amaituta, simulazioaren parametroak zehaztuko ditugu. Kasu honetan, 3.18 irudiko balioak erabiliko ditugu.

Simulation time			
Start time:	0	Stop time:	0.04
Solver options			
Type:	Variable-step	Solver:	ode15s (stiff/NDF)
Max step size:	1e-3	Relative tolerance:	1e-3
Min step size:	auto	Absolute tolerance:	auto
Initial step size:	auto	Maximum order:	5
Zero crossing control:	Use local settings		

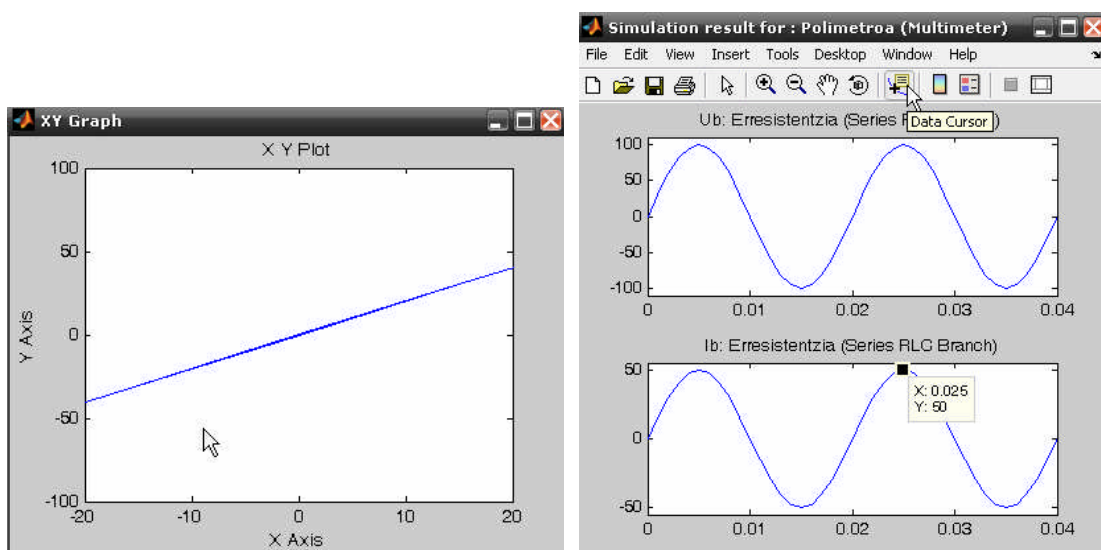
3.18 irudia. Simulazioaren parametroak

d) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Parametro guztiak zehaztu eta gero, simulazioa abian jarriko da. Simulazioa amaitzean bi grafiko agertuko dira.

Lehenengoan, tentsio/korronte kurba ikusiko dugu (3.19 irudia). Irudi horretan erabiliko diren eskalak (X eta Y ardatzetarako balio minimoak eta maximoak) *XY Graph* elementuaren ezaugarri-taulan zehaztu behar dira. Beraz, jatorrizko konfigurazioarekin lortzen den grafikoaren eskala aldatu nahi badugu, taula horretan sartuko gara eta ardatz bakoitzeko mugak definituko ditugu. Gero, simulazioa berriro jarriko dugu abian.

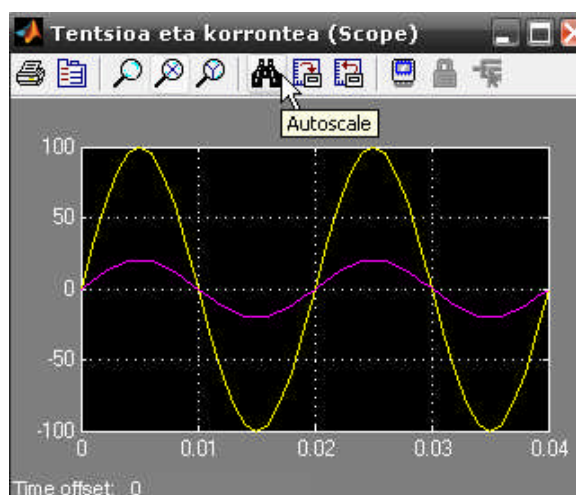
Bigarren irudian, polimetroaren emaitzak agertuko dira (3.20 irudia): tentsioaren eta korrontearen kurbak denboran zehar, hain zuzen ere. Azken horietan magnitudeen balioak neur daitezke. Horretarako, polimetroaren emaitzen taulako menuan *Tools/Data Cursor* aukera bilatu edo dagokion ikonoan klikatu (3.20 irudia); gero, sagutxoaren ezkerreko botoia sakatu neurtu nahi duzun kurbaren gainean. Behin kurtsorea agertu eta gero, erabili geziak kurbatik mugitzeko. Hori egitean magnitudearen balioa (Y) bistaratuko da, dagokion denboraren balioarekin batera (X).



3.19 irudia. Tentsio/korronte kurba

3.20 irudia. Polimetroaren emaitzak

Bestalde, erresistentziako tentsioaren zein korrontearen adierazpen grafikoak osziloskopioetan ere ikus daitezke. Horretarako, klik bikoitza egingo dugu osziloskopio horren gainean. Osziloskopioaren sarrera bus bat bada, grafiko berean irudikatuko dira bus horretan idatzi diren seinale guztiak (3.21 irudia). Irudiaren eskala aldatzeko, menuan agertzen diren ikonoak erabil ditzakegu (*Zoom*, *Zoom X-axis*, *Zoom Y-axis* edo *Autoescale*).



3.21 irudia. Osziloskopio baten emaitza

Azkenik, kurba horiek azterturik, eman informazio hau:

1. Tentsio/korronea kurba ikusita:
 - a. Lineala den ala ez.
 - b. Elementu metatzailea den ala ez.
2. Tentsioaren eta korronearen uhinak aztertuta:
 - a. Adierazi korronearen balio maximoa, maiztasuna, periodoa eta fasea.
 - b. Konprobatu aurreko balioak analitikoki kalkulatuak direla.

3.1.2. Haril ideala edo induktantzia hutsa

Orain, haril idealaren funtzionamendua aztertuko dugu. Hau da, erresistentziarik eta kapazitaterik ez daukan induktantzia hutsa.

a) Kalkulatu korronearen adierazpen analitikoa

Harilaren definizio-ekuazioa (3.12) aplikatuz, elementu pasibo horretan zehar zirkulatzen duen korronearen adierazpen analitikoa lortuko dugu. Adibide honetan, 5 mH-ko induktantzia erabiliko dugu.

$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^{\infty} u(t) \cdot dt = \frac{1}{L} \cdot \int_0^{\infty} e_g(t) \cdot dt \quad A \quad (3.12)$$

b) Lortu zirkuituaren modeloa

Bigarren elementu horren funtzionamendua simulatzeko 3.15 irudiko zirkuitu elektrikoaren modelo bera erabiliko dugu. Hor, elementu pasiboa bakarrik aldatuko dugu. Horretarako, RLC adarreko ezaugarri-taulan sartuko gara (lehenengo erresistentzian), baina orain induktantzia hutsa lortzeko:

- Erresistentziaren balioa (*Resistance*) eta kapazitatea (*Capacitance*) baliogabetuko ditugu: $R = 0$ eta $C = \text{inf}$ (infinitu).
- Induktantziaren balioa (*Inductance*) zehaztuko dugu.

c) Zehaztu simulazioaren parametroak, egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Simulazio honetan erabiliko ditugun parametroak ez dira aldatuko. Beraz, elementu pasiboaren datuak zehaztu eta gero, modelo berria gordeko dugu eta simulazioa abian jarriko dugu.

Gainerako pausoak ere halaxe egingo dira: emaitza grafikoak aztertu eta korrontearen uhinaren balio esanguratsuak zehaztu.

3.1.3. Kondentsadore ideala

Erabiliko dugun hirugarren elementu pasiboa kondentsadore ideala izango da. Hau da, erresistentziarik eta induktantziarik ez daukana. Kasu honetan ere, aurrekoetan erabilitako prozedura errepikatuko dugu.

a) Kalkulatu korrontearen adierazpen analitikoa

Kondentsadorearen definizio-ekuazioa (3.13) aplikatuz, elementu pasibo horretan zehar zirkulatzen duen korrontearen adierazpen analitikoa lortuko dugu. Adibide honetan, 2 mF-ko kapazitatea erabiliko dugu.

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt} = C \cdot \frac{de_g(t)}{dt} \quad \text{A} \quad (3.13)$$

b) Lortu zirkuituaren modeloa

Kondentsadorearen funtzionamendua simulatzeko 3.15 irudiko zirkuitu elektrikoaren modelo bera erabiliko dugu. Han, elementu pasiboa bakarrik aldatuko dugu kondentsadorearen modeloa lortzeko. Baina orain, aurreko kasuetan ez bezala, ezin dugu kapazitate hutsa definitu, eta erresistentzia txiki bat definituko dugu elementu horren ezaugarri-taulan. Hori bai, kondentsadore ideal baten modeloa lortzeko, erresistentzia horren balioa hutsaren parekoa izango da (adibidez, $1e-9 \Omega$).

Izan ere, kondentsadore baten borneen arteko tentsioa ezin da bat-batean balioz aldatu. Gure simulazioan hasierako baldintzetan kondentsadorea deskargaturik dugu (0 V), eta bat-batean tentsio-iturriaren bidez kondentsadorea elikatzen hasten gara beraren borneen arteko tentsioa aldatuz. Bat-bateko aldaketa hori ikustean, simulazio-algoritmoak ezin du kondentsadorearen legea aplikatu, eta simulazioa bertan behera uzten du; atzera errore bat emango digu. Efectu hori ekiditeko, erresistentzia bat jarriko dugu kondentsadorearekin seriean. Horrela, bat-bateko tentsio-aldaketak erresistentzia horrek hartuko ditu, kondentsadorean eraginik izan gabe. Hori gutzia, erregimen iragankorrean

gertatzen da, eta gu orain erregimen iraunkorra edo egonkorra aztertzen ari gara. Beraz, ez dugu orain kontuan edukiko .

Horrela, elementu pasiboaren ezaugarri-taulan balio hauek zehaztuko ditugu:

- Erresistentzia (*Resistance*): $1e-9 \Omega$ (ia nulua)
- Induktantzia (*Inductance*): 0 H.
- Kapazitatea (*Capacitance*): 2 mF.

c) Zehaztu simulazioaren parametroak, egin simulazioa eta aztertu emaitzak:

Simulazio honetan ere erabiliko ditugun parametroak ez dira aldatuko. Beraz, elementu pasiboaren datuak zehaztu eta gero, modelo berria gordeko eta simulazioa abian jarriko dugu.

Era berean, gainerako pausoak orain ere berdin egingo dira: emaitza grafikoak aztertu eta korrontearen uhinaren balio esanguratsuak zehaztu.

3.1.4. Diodoa

Azkenik, diodo baten funtzionamendua simulatuko dugu.

a) Lortu zirkuituaren modeloa

Elementu honen funtzionamendua aztertzeko erabiliko dugun zirkuituaren modeloa 3.22a irudian agertzen da. Modelo horretan zirkuituko magnitudeak neurtzeko beste era bat erabiltzen da, eta, gainera, beste bi elementu agertzen dira:

- Diodoa (*SimPowerSystems / Power Electronics / Diode*). Gailu erdieroale honekin erresistentzia bat ($1,5 \Omega$) konektatuko dugu seriean, diodoak eroapen-eremuan lan egiten duenean iturriko tentsio osoa ez jasotzeko (ikusi 3.22b irudia). Gainera, kasu horretan, diodoa elikatzeko tentsio txikiagoa erabiliko dugu. Horregatik, tentsio-iturriaren ezaugarri-taulan 10 V-eko gailur-balioa zehaztuko dugu.

Diodoaren ezaugarri nagusiak honako hauek izango dira:

- o Erresistentzia: $R_{on} = 0,1 \Omega$ (diodo erreala) eta $R_{on} = 0,1 \text{ m}\Omega$ (diodo ideala)
- o Induktantzia: $L_{on} = 0 \text{ H}$
- o Atariko tentsioa: $V_f = 0,7 \text{ V}$ (diodo erreala) eta $V_f = 0 \text{ V}$ (diodo ideala)

Bestalde, gure kasuan diodo bakuna dugula jotzen badugu. Hau da, demagun erdieroalearekiko paraleloan ez dagoela adarrik. Horregatik, diodoaren ezaugarri-taulan *Snubber resistance* eta *capacitance* zirkuitu irekian utziko ditugu ($R_s = \text{inf}$ eta $C_s = 0$). Era berean, hasierako baldintzak nulutzat joko ditugu ($I_c = 0$).

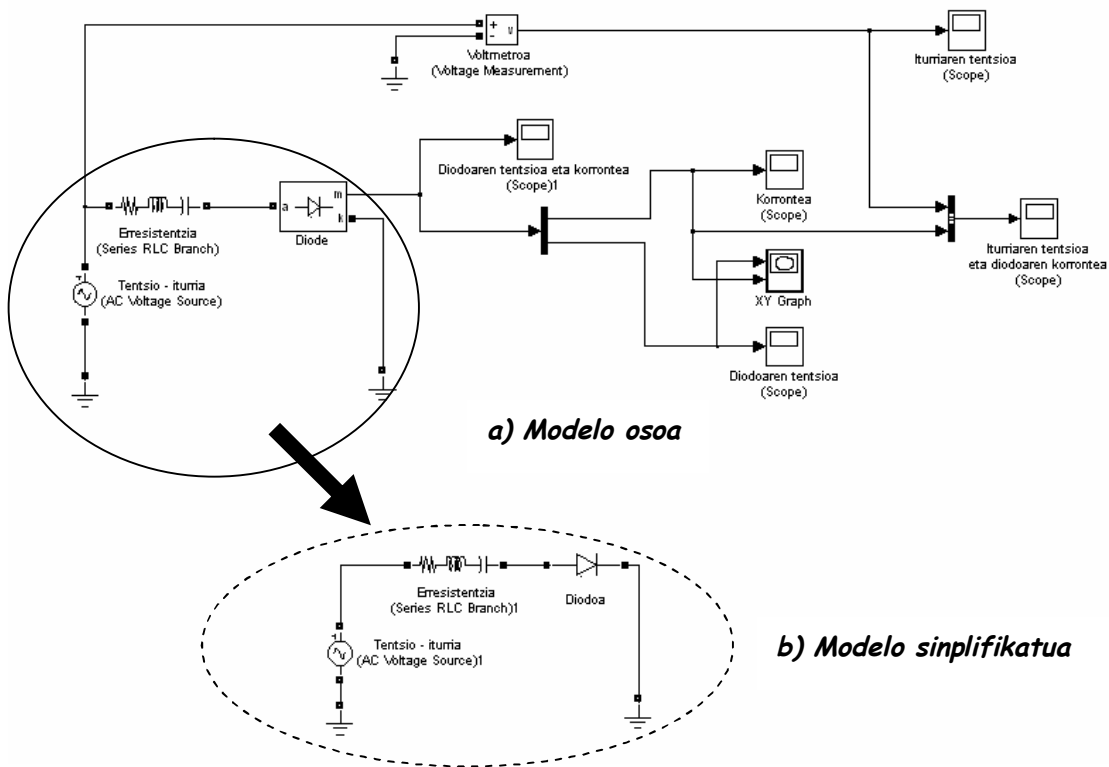
Azkenik, ezaugarri-taularen beheko aldean agertzen den *Show measurement port* laukia aktibatuko dugu. Hori egitean, diodoaren ikonoa aldatuko da (ikusi 3.22a irudia) eta *m* izeneko irteera berria agertuko zaigu. Irteera hori bus gisakoa da,

diodoaren korrontearen zein tentsioaren seinaleek osatutako busa, hain zuzen ere (taula horren laguntzan azaltzen denez, seinale horiek ordena horretan idazten dira busean).

Magnitude horiek ikusteko, orain arte egin dugun bezala ere egin dezakegu (voltmetroak eta anperometroak erabiliz). Baina Simulink softwareko modelo askotan honelako irteerak dituzte, eta haien erabilera ikusiko dugu adibide honetan.

- Demux (*Simulink / Signals Routing / Demux*). Elementu honekin bus bateko seinaleak bereizten dira. Horrela, seinale horiek banaturik erabil eta irakur daitezke. Elementu honen irteerako seinaleak bus horretan idatzitako ordena berean agertuko dira.

Simulazio hauetan bost osziloskopio erabiliko ditugu. Lehenengo hiruretan iturriaren tentsioa, diodoaren tentsioa eta diodoan zeharreko korrontea ikusiko ditugu, hurrenez hurren. Azken bietan, berriz, diodoaren korrontea iturriaren tentsioarekin eta diodoaren tentsioarekin alderatuko da.



3.22 irudia. Diodoaren jokatidea simulatzeko zirkuituaren modeloa

b) Zehaztu simulazioaren parametroak, egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Kasu honetan ere, simulazio-parametroak ez dira aldatuko. Diodoaren simulazioa egitean bi egoera aztertuko ditugu: diodo idealaren funtzionamendua eta diodo errealarena. Aurreko puntuan adierazi da zein diren haien modeloen parametroak. Beraz, kasu bakoitzeko

parametroak zehaztu ostean, simulazioa abian jarriko dugu, eta kurba hauek irakurriko ditugu osziloskopioetan:

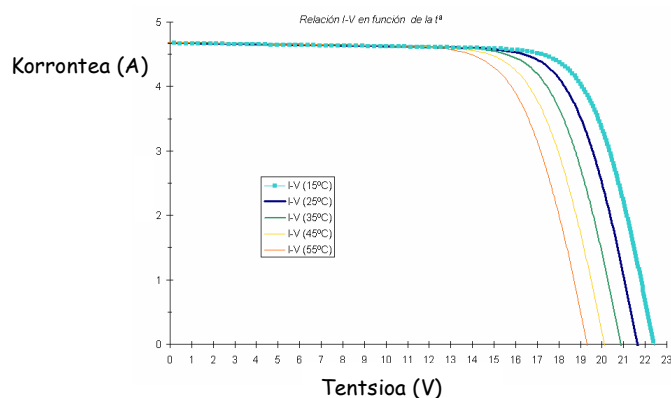
1. Tentsio/korronte kurba *XY Graph* elementuan.
2. Iturriaren tentsioa eta diodoaren korrontea.
3. Diodoaren tentsioa eta korrontea.

3.2. HONAKO GALDERA HAUEI ERANTZUN

Panel fotovoltaiko baten katalogora joanda, informazio hau eman digute:

POTENTZIA MAXIMOA	75 Wp \pm 10%
POTENTZIA MAXIMOKO KORRONTEA ($I_{MAX.}$)	4.34 A
POTENTZIA MAXIMOKO TENTSIOA ($U_{MAX.}$)	17,3 V
ZIRKUITULABURREKO KORRONTEA (I_{SC})	4.67 A
ZIRKUITULABURREKO TENTSIOA (U_{OC})	21,6 V
TONC (800 W / m ² , 20° C, AM 1.5, 1 m / s)	47° C
SERIE-FUSIBLEAREN BALIO MAXIMOA	10 A
SISTEMAKO TENTSIO MAXIMOA	760 V

Eta panel fotovoltaikoaren kurba ere agertzen da:

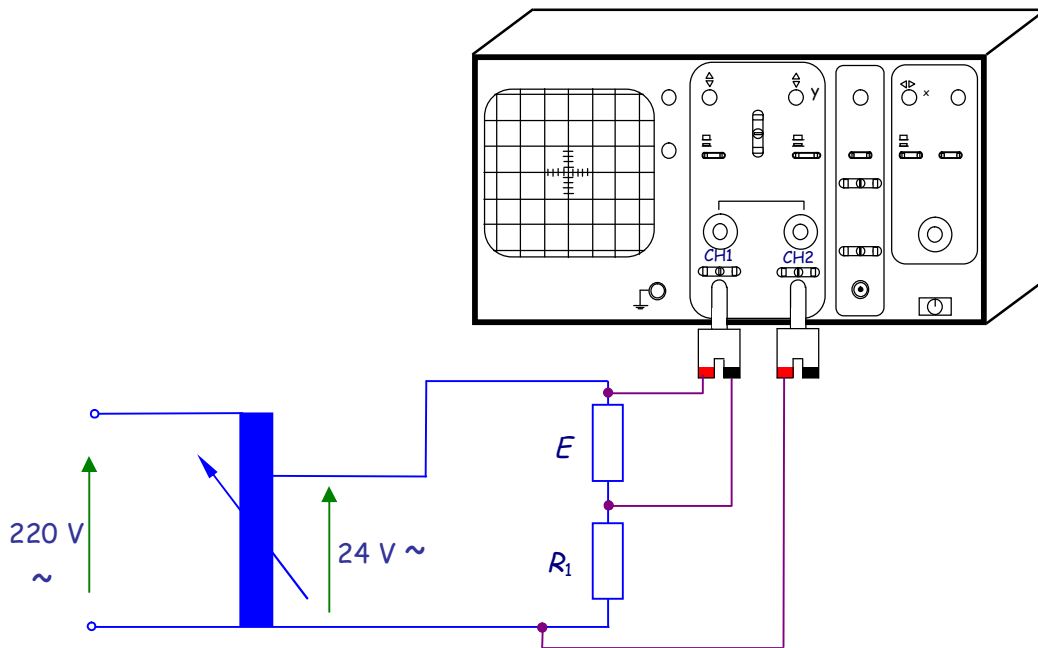


- Zertarako irudikatu behar da i/u kurba, panel baten jokabidea azaltzeko?
- Azaldu zer adierazten duen ezaugarri-kurba horrek.

4- LABORATEGIAN

4.1. PRAKTIKA

Aztertuko ditugu zenbait elementuren tentsio eta intentsitateen uhin-formak eta ezaugarri-kurbak.



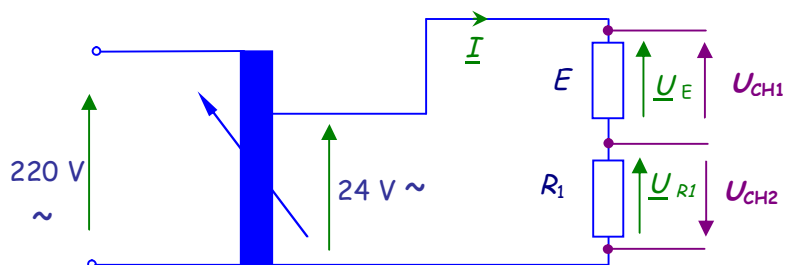
3.23 irudia. Elementuen behaketarako muntaketa

Tentsioaren eta korrontearen seinaleak osziloskopiora nola eramán?

Masa komuneko eta bi kanaleko osziloskopioa erabiliko dugunez, konexioak 3.23 irudian agertzen direnak izango dira. Bigarren kanaleko masa ez da konektatu behar, zeren osziloskopioak dagoeneko bi masak barnetik konektaturik baititu.

3.23 irudian, E -k adierazten du aztertuko dugun elementua, eta R_1 balio ohmiar baxuko erresistentzia da (ahal izanez gero ohm batekoa). Erresistentzia horren eginbeharra izango da aztertzen ari garen elementuan zeharreko korrontea osziloskopiora eramatea. Korrontea ezin da osziloskopioan zuzenean ikusi, horrek tentsio-seinaleak bakarrik agerraraz baititzake. Horregatik, korrontea osziloskopiora eramateko, erresistentzia batez baliatuko gara, erresistentzia batean: $I=U/R$ baita. Eta, nahiz eta osziloskopioaren kanaleramandako seinalea (U_{R_1}) tentsio-seinalea izan, korrontearen seinalearekiko proportzionala izango da; korrontearen uhin-forma bera baino R aldiz handiagoa, alegia. Are gehiago, erresistentzia ohm batekoa balitz, korrontea eta tentsioaren uhinak bat etorriko lirarteke.

Azkenik, beste gauza bat eduki behar da kontuan: osziloskopioa masa komuneko da, eta bistaratzen den seinale bat (U_{CH2}) benetan daukagunaren (U_{R1}) alderantzizkoa da (ikusi konexioak 3.24 irudiko eskeman). Beraz, bigarren kanalaren *INV* sakagailua galkatu beharko dugu, seinalea alderantzizkatzeko eta benetan korrontearen uhinarekiko proportzionala izango den uhin hori lortzeko.



3.24 irudia. Zirkuituaren elikadura eta tentsio-seinaleak

Zirkuitua nola elikatu?

Zirkuitua (E elementuaren eta R_1 erresistentziaren serie-elkarketa) elikatzeko, korrante alternoa erabiliko dugu, baina anplitude txikikoa. Horrelako seinale bat lortzeko bi aukera dugu: tentsio-iturria edo autotransformadorea (3.24 irudikoa), baina ez erabili inoiz 24 V baino tentsio handiagoa.

Behin, konexioak egin eta gero (3.23 irudian agertzen den bezala), seinaleak ikusiko ditugu osziloskopioaren pantailan:

- Lehenik, ikusiko ditugu tentsioa (CH1 kanalean), korrontea (CH2 kanalean) eta bi uhinak aldi berean (DUALen).
- Bigarrenik, ezaugarri-kurba ikusiko dugu.

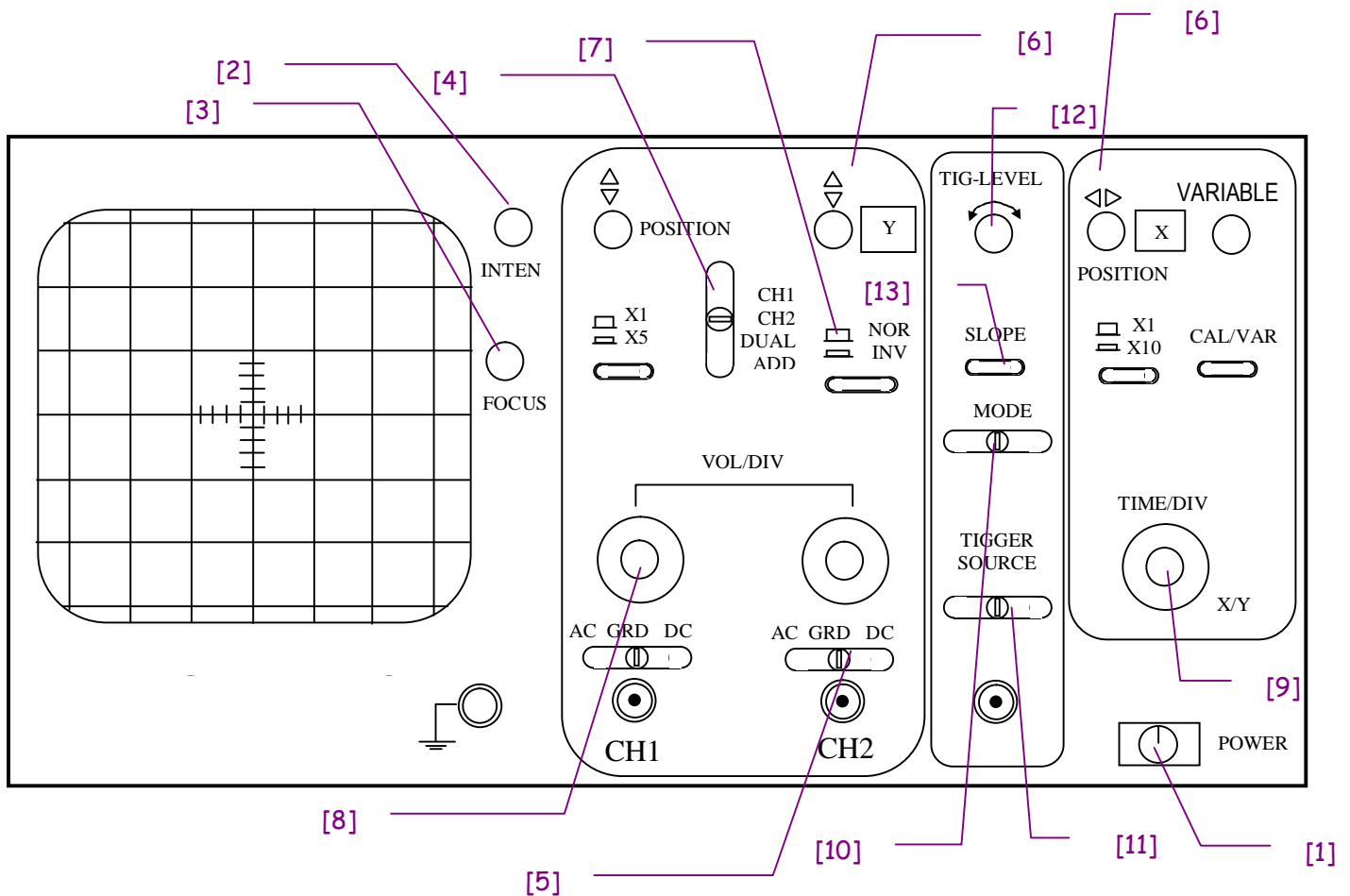
Jarraitu pauso hauei:

Hasi baino lehen

Aparatuak bere masa propioa dauka. Horregatik, sareko sistemako masatik (lurretik) bereizi beharko dugu. Hori egiteko, osziloskopioa, sarera zuzenean konektatu beharrean, lur-konexioa baliogabetuko duen lapur baten bidez konektatuko dugu (beste metodo batzuk ere erabil daitezke).

Osziloskopiaren botoi, hautagailu eta aginte garrantzitsuenak 3.25 irudian adierazten dira. Eta praktika honetan posizio hauetan erabiliko ditugu:

- [1] *Power*: sakatuta
- [2] *Inten*: eskuinetara guztiz biratuta; gero, intentsitatea pixkanaka gehituz joango da.
- [3] *Focus*: bira erdia.
- [4] *Kanale-hautagailua*: CH1 ala CH2.
- [5] *AC-GND-DC hautagailua*: AC posizioan.
- [6] *Position*: bira erdia.
- [10] *TIGGER MODE*: AUTO
- [11] *TIGGER SOURCE*: CH1 ala CH2.
- [12] *TIGGER LEVEL*: bira erdia.
- [13] *TIGGER SLOPE*: sakatuta.



3.25 irudia. Osziloskopia

Osziloskopiaren beste atalak-eta ikusteko, jo eranskinera.

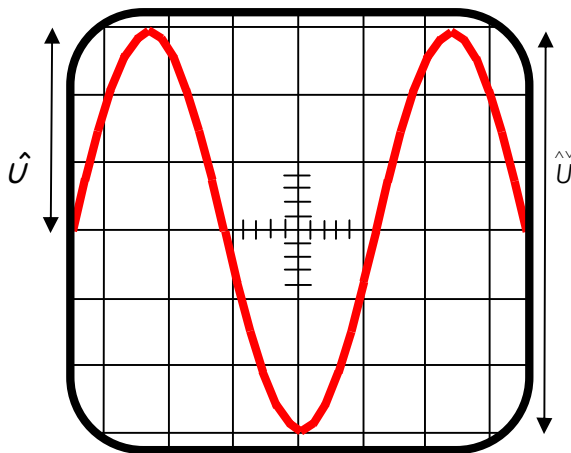
Seinale bakarrekotako eragiketarako tentsioaren eta korrrentearen uhin-formak ikusi

Seinalea doitu: seinalea ikusi ahal izateko doitu beharko da. Beraz, lehenengo pantailaren erdian kokatu lerroa. Horretarako, erabili [6] biradera, [5] hautagailua GND-en dagoela. Jarraian aukeratu pantailaren zati bakoitzaren eskala, bai denborearen ardatzerako [9] *TIME/DIV* biradera erabiliz, bai *Y* ardatzean [8] *VOLT/DIV* erabiliz.

Neurketak jasotzeko: gailur-balioak, haran-balioak eta periodoa.

Tentsioen neurketak: kanalaren hautagailua CH1 edo CH2n

Aparatu horiek tentsio-seinaleak bakarrik adierazten dituzte. Kanalean sartutako seinalearen eta masaren artekoak, alegia.



Gailur-haran balioa: $\hat{U} = 6$ zati

Balio efikaza: $U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} = \frac{3}{\sqrt{2}}$ zati

Gero, eskala aplikatu beharko litzateke.

3.26 irudia. Seinale bakarrekotako bistaratzea

Bi seinaleko eragiketarako

Desfaseak bistaratzea: bi seinaleak aldi berean ikusten dira osziloskopioaren pantailan, desfasea bistaratu ahal izateko. Osziloskopioaren erabilera aurrekoaren berdintsua da, baina bi alde daude:

[4] Kanalaren hautagailua: DUALen

[11] *TIGGER SOURCE*: malda handieneko kanala aukeratu desarraren iturri gisa (CH1)

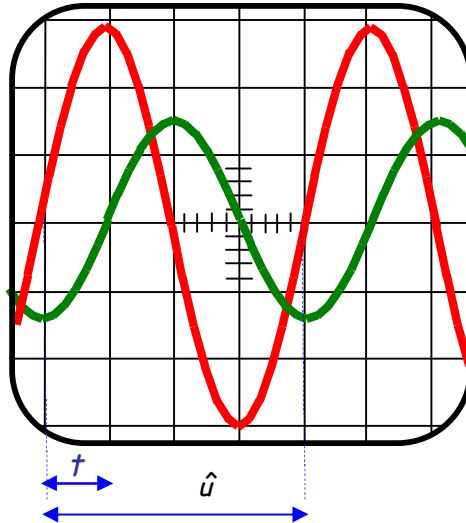
Neurketak jasotzeko: kasu honetan seinale bakarrekotako eragiketarako aztertzeaz gain, desfaseak ere ikusi ahal izango ditugu (3.27 irudia). Horretarako:

Periodoa: T (periodo baten iraupena zatitan) = 4 zati.

Denbora: t (bi uhinen arteko desfasea zatitan) = 1 zati (desfasea neurtzeko, adibidez, hartu elkarren arteko tartea Otik igarotzean).

Fase-diferentzia: gradutan neurtzen da.

$$\varphi^\circ = \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = \frac{1}{4} \cdot 360 = 90^\circ \quad \text{edo} \quad \varphi = \frac{t}{T} \cdot 2\pi = \frac{1}{4} \cdot 2\pi = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \quad (3.14)$$

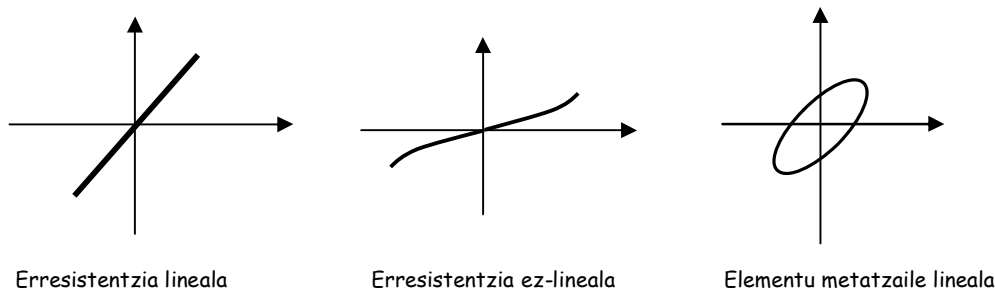


3.27 irudia. Bi seinaleko bistaratzea

Elementuen ezaugarri-kurbak zehaztea: kanalaren hautagailua CH1 edo CH2n.

- CH1 kanalean elementuaren borneen arteko tentsioa sartu.
- CH2 kanalean elementuan zeharreko korrontea sartu.
- XY posizioa ikusi: tentsioa eta korrontea adierazita ikusiko ditugu pantailan.

Ezaugarri-kurbak ikusteko orduan, osziloscopioaren denboren oinarriak baliogabetuta egon beharko du, eta *TIME/div* aginte-elementua (3.25 irudian: [9]) XY posizioan.



3.28 irudia. Ezaugarri-kurbak

Lagineko azken bi elementuetarako kanalak trukatu, CH1 eta CH2, eta ACn ikusi beharrean DC posizioan jarri. Horretarako, erabili *AC-GND-DC* hautagailua [5], DC posizioan osagai zuzena ere igarotzen delako.

Uhinei behatu, eta emaitzak jaso erantzunen koadernoan. Sailka itzazue elementuak lortutako emaitzen arabera.

4.2. MATERIALA

1 autotransformadore edo tentsio-iturri alferno: _____

1 osziloskopio: _____

Ikertuko ditugun _ elementuen bilduma: _____

UHINGEN FORMEN BEHAKETA ETA ANALISIA

Etxean sarera edozein tresna konektatzen dugunean, erabiltzen dugu potentzia-sistemak ematen digun energia, baina ba al dakigu nolakoa den sistema hori? Nolakoa den sareak ematen digun tentsio edo korrontearen itxura?

Askotan entzun dugu Europan erabiltzen diren tresnak ezin direla Amerikan erabili, maiztasun ezberdineko sistema elektrikoak direlako. Zer esan nahi du horrek? Zer esan nahi du etxean 220 V izateak?

Praktika honetan hainbat uhin-forma ikusiko ditugu. Eta aipatutako kontzeptu guztiak landuko ditugu ulertzeko tentsioaren eta korrontearen ohiko formak nolakoak diren eta zein parametroren bidez lortuko dugun guztiz zehazturik egotea.

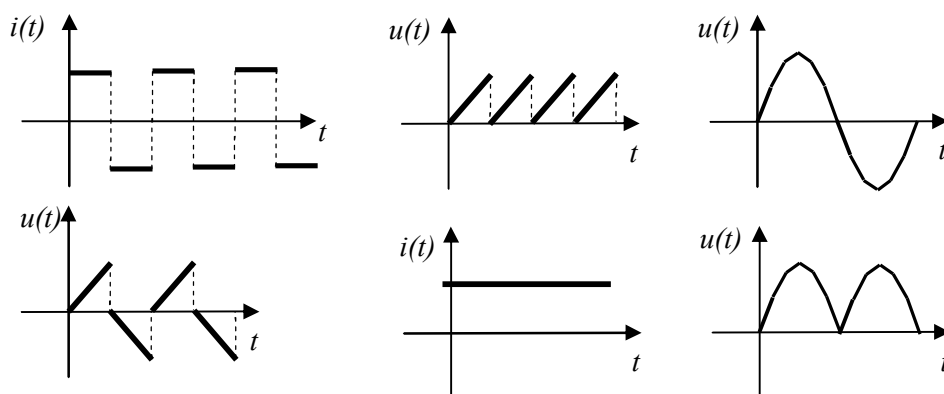
PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

- Korronte zuzena lortzen laborategiko hainbat elikadura-sistema erabiliz.
- Uhin erdiko artezgailu bat eta uhin osoko artezgailu bat zer diren eta zer uhin-forma ematen duten.
- Iturri baten irteera-seinalearen forma-faktorea eta kizkurdura-faktorea zehazten.
- Uhin-sorgailua erabiltzen.
- Burdina mugikorreko amperometro bat erabiltzen.

1- SARRERA

Zirkuituak elikatzen diren kitzikapenak (tentsioak eta korronteak) denboraren arabera aldatzen diren aldagaiak dira. Eta funtzio matematikoak diren heinean, adierazpen matematiko bat erabiliz defini daitezke; funtzioen izendapena $i(t)$ eta $u(t)$ gisakoa izaten da. Matematikoki definitzeaz gain, oso interesgarria izango da haien adierazpen grafikoa ere egitea. Gainera, ia beti, funtzio periodikoak izaten direnez, periodo bakarra definituz egin ohi da lan.

Ikus ditzagun 4.1 irudian zer-nolako itxura izaten duten funtzio hauek:



4.1 irudia. Uhin forma periodikoen itxura

Kitzikapenen adierazpen grafikoei behatuz, uhinaren forma eta izaera berehala bereizten dira. Eta informazio handia lor daiteke: periodoaren balioa; gailur-balioa; haran-balioa; elikadura-korrante mota (zuzena, zuzen konstantea, alternoa, alterno-sinusoidal, hortz-zerra formakoa, eta abar).

Funtzioak uneoro hartzen dituen balioak ezagutzeko adierazpen grafikoa baliagarria bada ere, interesgarriagoa da funtzioaren adierazpen matematikoa, $u(t)$ edo $i(t)$, ezagutzea.

Baina elektroteknian uhin-formak erraz karakterizatzeko eta konparatzeko, badira balio berezi batzuk: *uhin-forma periodikoei loturiko balioak*.

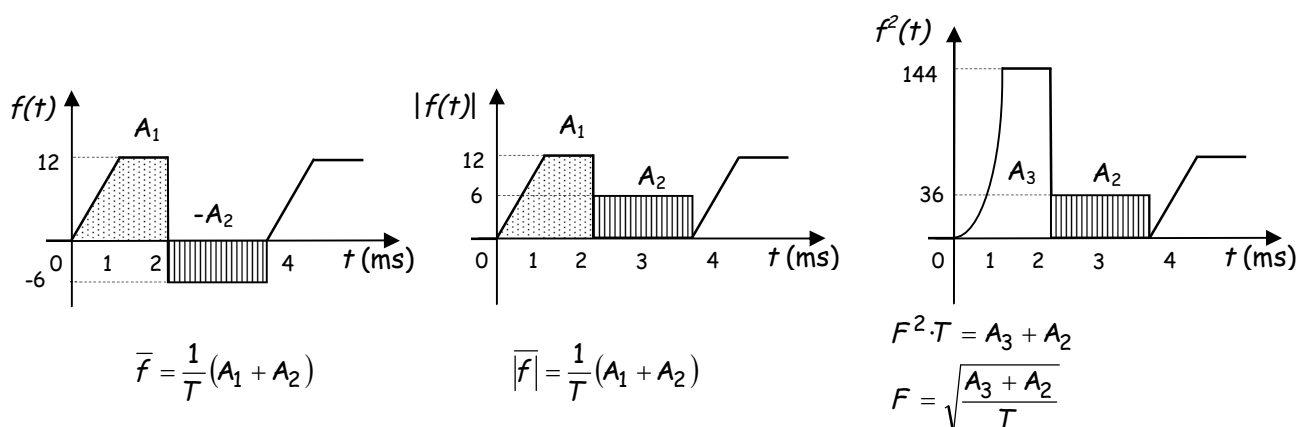
Balio horiek hauexek dira:

<p>Batez besteko balioa:</p> $\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4.1)$	<p>Uhin arteztuaren batez besteko balioa:</p> $ \bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4.3)$
<p>Balio efikaza:</p> $F = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (4.2)$	<p>Forma-faktorea:</p> $K_F = \frac{F}{ \bar{f} } \quad (4.4)$

Lehen hiru adierazpenetan denboraren mendeko funtzio baten integrala agertzen da. Funtzioak abzisa-ardatzarekin eratzen duen azalera baino ez da hori. Beraz, (4.1) (4.2),

(4.3), eta (4.4) adierazpenetako integralak egiteko, funtzioaren adierazpen grafikoa erabil daiteke eta azalerak geometrikoki lortu, baldin eta azalaren balioak erraz lortzeko modukoak badira.

Batez besteko balioa: $\bar{f} = \frac{1}{T} \sum \pm \text{azalera}$ (4.5)	Uhin arteztuaren batez besteko balioa: $ \bar{f} = \frac{1}{T} \sum \text{azalera}$ (4.7)
Balio efikaza: $F^2 \cdot T = \text{Uhin koadratikoaren azalera}$ (4.6)	Forma-faktorea: $K_F = \frac{F}{ \bar{f} }$ (4.8)



4.2 irudia. Uhin periodikoei loturiko balioak lortu uhin-formaren grafikoa erabiliz

Izan bedi 4.2 irudiko uhin-forma. Uhin horretarako batez besteko balioa, uhin arteztuaren batez bestekoa, balio efikaza eta forma-faktorea kalkulatu ditugu, analitikoki (4.1), (4.2), (4.3) eta (4.4) adierazpenak erabiliz eta grafikoki 4.2 irudiko uhin-formak erabiliz:

Uhinaren periodoa $T = 4\text{ms}$ gailur balioa: $\hat{F} = 12\text{ V}$ haran balioa $\check{F} = -6\text{ V}$

Uhinaren definizio-ekuazioa lehen periodorako:

$$f(t) = \begin{cases} 0 < t < 1 & f(t) = 12 \cdot 10^3 t \\ 1 < t < 2 & f(t) = 12 \\ 2 < t < 4 & f(t) = -6 \end{cases}$$

Batez besteko balioa:

Analitikoki

$$\bar{f} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left(\int_0^{10^{-3}} 12 \cdot 10^3 t \, dt + \int_{1 \cdot 10^{-3}}^{2 \cdot 10^{-3}} 12 \, dt + \int_{2 \cdot 10^{-3}}^{4 \cdot 10^{-3}} -6 \, dt \right) = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left[\left[12 \cdot 10^3 \frac{t^2}{2} \right]_0^{10^{-3}} + [12t]_{10^{-3}}^{2 \cdot 10^{-3}} + [-6t]_{2 \cdot 10^{-3}}^{4 \cdot 10^{-3}} \right] =$$

$$\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} (6 \cdot 10^{-3} + 12 \cdot 10^{-3} - 12 \cdot 10^{-3}) = \frac{6}{4} = 1,5$$

Grafikoki

$$\bar{f} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 12 + 12 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \right) = \frac{6}{4} = 1,5$$

Uhin arteztuaren batez bestekoa:

Analitikoki

$$|\bar{f}| = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left(\int_0^{10^{-3}} 12 \cdot 10^3 t \, dt + \int_{1 \cdot 10^{-3}}^{2 \cdot 10^{-3}} 12 \, dt + \int_{2 \cdot 10^{-3}}^{4 \cdot 10^{-3}} 6 \, dt \right) = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left[\left[12 \cdot 10^3 \frac{t^2}{2} \right]_0^{10^{-3}} + [12t]_{1 \cdot 10^{-3}}^{2 \cdot 10^{-3}} + [6t]_{2 \cdot 10^{-3}}^{4 \cdot 10^{-3}} \right] =$$

$$\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} (6 \cdot 10^{-3} + 12 \cdot 10^{-3} + 12 \cdot 10^{-3}) = \frac{30}{4} = 7,5$$

Grafikoki

$$|\bar{f}| = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 12 + 12 \cdot 10^{-3} + 6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \right) = \frac{30}{4} = 7,5$$

Balio efikaza:

Analitikoki

$$F = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left(\int_0^{10^{-3}} (12 \cdot 10^3 t)^2 \, dt + \int_{1 \cdot 10^{-3}}^{2 \cdot 10^{-3}} 12^2 \, dt + \int_{2 \cdot 10^{-3}}^{4 \cdot 10^{-3}} (-6)^2 \, dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left[\left[144 \cdot 10^6 \frac{t^3}{3} \right]_0^{10^{-3}} + [144t]_{1 \cdot 10^{-3}}^{2 \cdot 10^{-3}} + [36t]_{2 \cdot 10^{-3}}^{4 \cdot 10^{-3}} \right]} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left(144 \cdot 10^6 \cdot \frac{10^{-9}}{3} + 144 \cdot 10^{-3} + 36 \cdot 10^{-3} \right)} = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} (48 \cdot 10^{-3} + 144 \cdot 10^{-3} + 36 \cdot 10^{-3})} = \sqrt{57} = 7,549$$

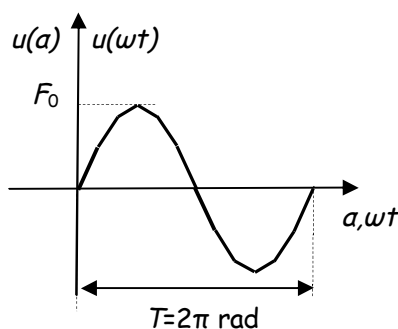
Grafikoki

$$F = \sqrt{\frac{\frac{10^{-3} \cdot 144}{3} + 144 \cdot 10^{-3} + 36 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{57}$$

Forma-faktorea:

$$K_F = \frac{\sqrt{57}}{\frac{30}{4}} = 1,0066$$

Uhin alterno eta sinusoidalaren kasuan, berriz, ezin da azalaren metodoa erabili, ez direlako azalera kalkulatzeko figura errazak lortzen. Analtikoki egingo dugu, beraz.



$$f(\alpha) = F_0 \cdot \sin \alpha$$

$$\hat{F} = F_0; \check{F} = -F_0; T = 2\pi \text{ rad}$$

4.3 irudia. Uhin sinusoidalaren uhin-forma

Batez besteko balioa:

$$\bar{f} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F_0 \sin \alpha \, d\alpha = \frac{F_0}{2\pi} [-\cos \alpha]_0^{2\pi} = \frac{F_0}{2\pi} (-\cos 2\pi + \cos 0) = \frac{F_0}{2\pi} (-1 + 1) = 0$$

Uhin arteztuaren batez bestekoa:

$$|\bar{f}| = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} F_0 \cdot \sin \alpha \, d\alpha = \frac{F_0}{\pi} [-\cos \alpha]_0^{\pi} = \frac{F_0}{\pi} (-\cos \pi + \cos 0) = \frac{F_0}{\pi} (1 + 1) = \frac{2F_0}{\pi}$$

Balio efikaza:

$$F = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} F_0^2 \cdot \sin^2 \alpha \, d\alpha} = \sqrt{\frac{F_0^2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} \, d\alpha} = \sqrt{\frac{F_0^2}{2\pi} \left(\int_0^{\pi} d\alpha - \int_0^{\pi} \cos 2\alpha \, d\alpha \right)} = \sqrt{\frac{F_0^2}{2\pi} \left((\alpha)_0^{\pi} - \left(\frac{\sin 2\alpha}{2} \right)_0^{\pi} \right)}$$

$$F = \sqrt{\frac{F_0^2}{2\pi} \left(\pi - \left(\frac{\sin 2\pi}{2} - \frac{\sin 0}{2} \right) \right)} = \sqrt{\frac{F_0^2}{2}} = \frac{F_0}{\sqrt{2}}$$

Forma-faktorea:

$$K_F = \frac{F}{|\bar{f}|} = \frac{F_0/\sqrt{2}}{2F_0/\pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

Angeluren eremuan lan egin beharrenean, denboraren eremuan lan egin daiteke uhin sinusoidaletan beti betetzen den erlazioa erabiliz:

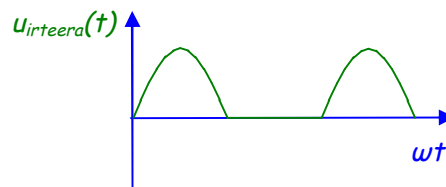
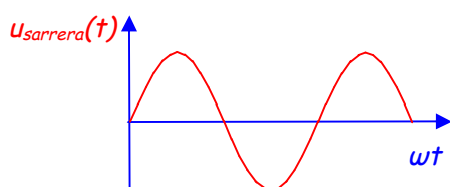
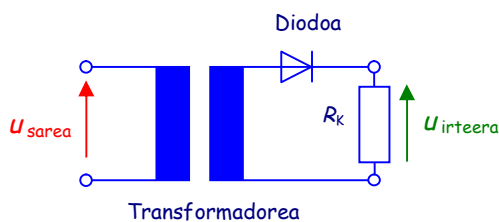
$$\omega = 2\pi/T \text{ [rad/s]} \text{ edo } \omega = 2\pi f \text{ [rad/s]}$$

Uhinaren ekuazioak itxura hau izango du denboraren eremuan:

$$f(t) = F_0 \cdot \sin \omega t$$

2- OINARRI TEORIKOA

2.1. UHIN ERDIKO ARTEZGAILUA:



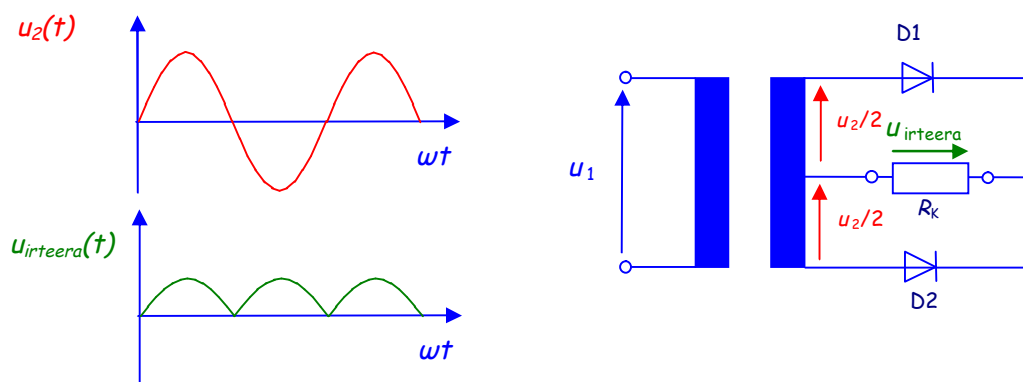
4.4 irudia. Uhin erdiko artezgailuaren eraketa, sarrera-tentsioa eta irteera-tentsioa

Elikadura-tentsioa positiboa denean, diodoa borneen artean tentsio-jausi gabeko etengailu itxia da (ideala bada), eta irteeran, tentsio osoa agertuko da.

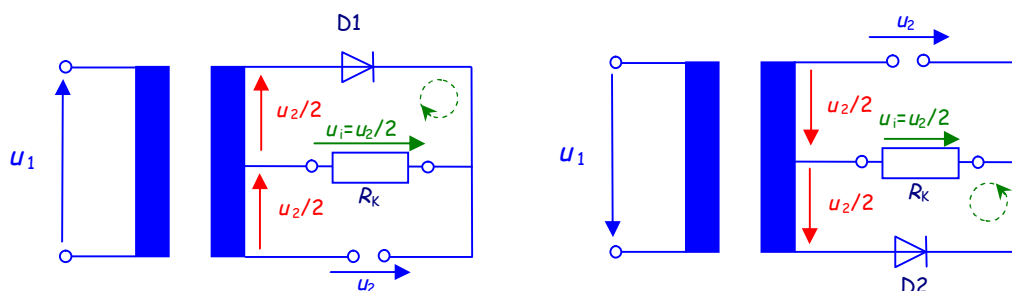
Elikadura-tentsioa negatiboa denean, diodoa alderantziz polarizatuta dago, etengailu ireki baten jokabidea du, beraz, eta tentsio osoa jausten da bere borneen artean; hala, irteera-tentsioa baliogabetzen da.

2.2. UHIN OSOKO ARTEZGAILUAK

2.2.1. Bi diodorekin egindako artezketa



4.5 irudia. Uhin osoko artezgailuaren eraketa, sarrera-tentsioa eta irteera-tentsioa



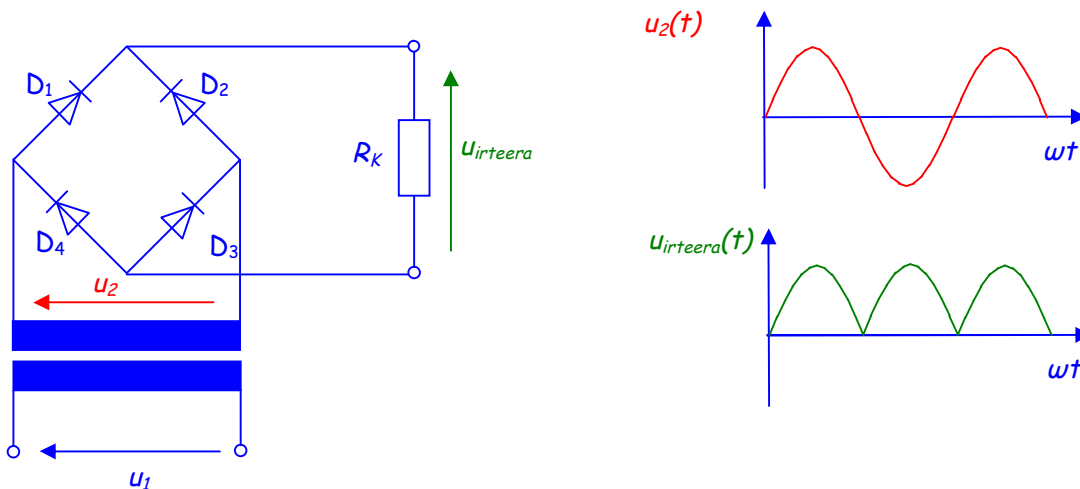
4.6 irudia. Uhin osoko artezgailuaren funtzionamendua, sarrera-tentsioaren bi polaritateetarako

Sarrera-tentsioa positiboa denean, D1 diodoa etengailu itxia da, eta korrontearen zirkulazioari bide ematen dio. Aldiz, D2 diodoak ez dio biderik emango, eta u_2 tentsioa jasan beharko du. Irteera-tentsioa, aldiz, $u_2/2$ izango da.

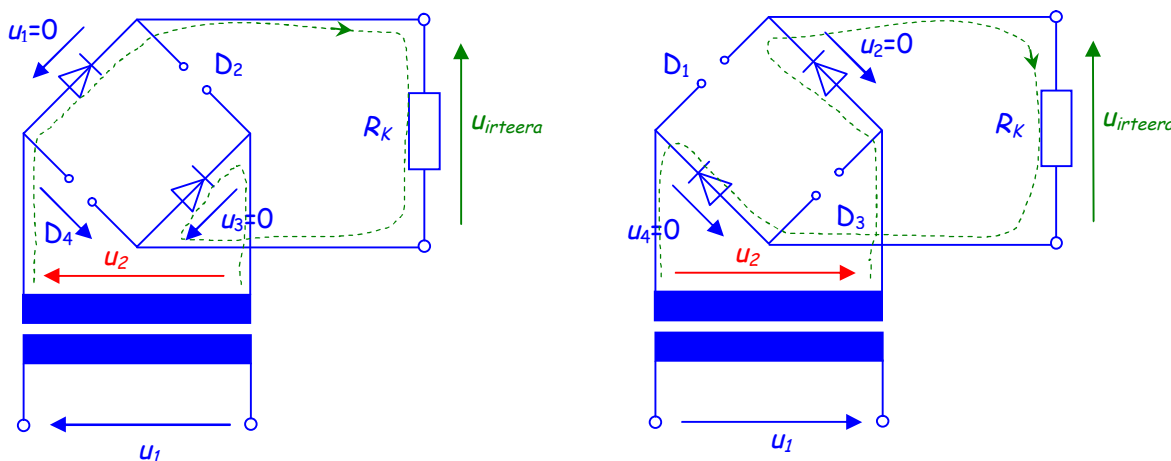
Sarrera-tentsioa negatiboa denean, D2 diodoa etengailu itxia da, eta korrontearen zirkulazioari bide emango dio, tentsio-jausirik gabe. Aldiz, D1 diodoak ez dio biderik emango, eta u_2 tentsioa jasan beharko du. Irteera-tentsioa, aldiz, $u_2/2$ izango da.

Horrelako artezgailu bat eratzeko, sekundarioko harilaren erdian hartunea duen transformadorea beharko dugu.

2.2.2. Zubi-artezgailua



4.7 irudia. Uhin osoko zubiaren eraketa, sarrera-tentsioa eta irteera-tentsioa.

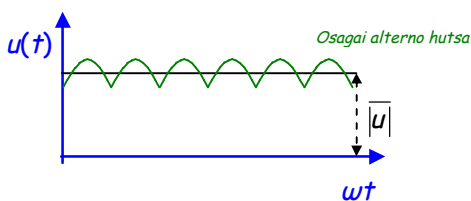


4.8 irudia. Uhin osoko zubiaren funtzionamendua

Bi eratarik bakarrik ezar daitezke korrontearen zirkulazioa zubi honetan: D_1 eta D_3 zuzenki polarizatuta daudenean, D_2 eta D_4 alderantziz egongo dira. Eta, D_2 eta D_4 zuzenean polarizaturik daudenean, D_1 eta D_3 alderantziz.

Bi kasuetan, irteera-seinalea u_2 -ren amplitude berekoa baina beti positiboa den seinalea izango da baina beti positiboa.

Bateriak ez bezala, artezgailu batek ez du tentsio zuzen konstantea emango, baizik eta tentsio konstante pultsakorra. Tentsioaren uhin-forma hori bi uhin-formen batura gisa adieraz daitezke: tentsio konstante zuzen bat gehi tentsio alferno hutsa (hondarreko uhindura-tentsioa).



4.9 irudia. Artezgailuen irteera-tentsioa bi osagitan banaturik

Osagai zuzenaren eta alternoaren arteko erlazioa kizkurdura-faktoreak emango digu. Osagai alternoa hondarreko uhindura-tentsioaren balio efikaza izango da; eta osagai zuzena uhinaren batezbestekoa izango da. Azken hori, gainera, jatorrizko uhin arteztuaren batezbestekoa dela ere ikusten da, zeren iturriaren irteera-seinalea jatorrizko uhin sinusoidalaren artezturik sortu baita.

$$U_p = \sqrt{U_i^2 - |\bar{u}|^2} \quad (4.9)$$

U_p : hondarreko uhindura-tentsioaren balio efikaza

U_i : artezgailuko irteera-tentsioaren balio efikaza; iturriaren irteeran burdinazko tresna mugikor baten bidez erraz lor daiteke

$|\bar{u}|$: osagai zuzenaren batezbestekoa; iturriaren irteeran koadro mugikorrekotresna baten bidez lor daitekeena

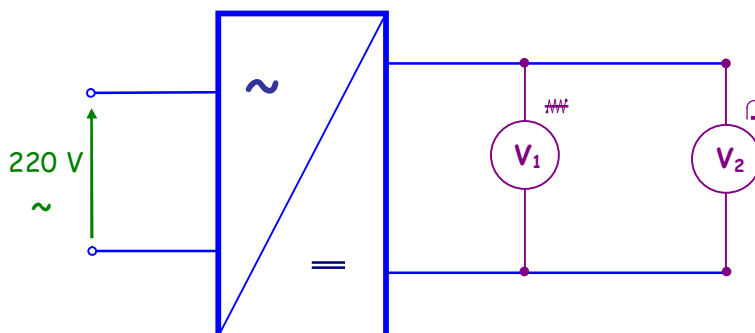
Eta kizkurdura-faktorea (uhindura-koefizientea ere deitua)

$$r = \frac{\sqrt{U_i^2 - |\bar{u}|^2}}{|\bar{u}|} = \sqrt{K_F^2 - 1} \quad (4.10)$$

Kizkurdura-faktoreak ez du unitaterik, eta ehunekotan adierazi ohi da. Iturriaren irteera-seinalea zenbat eta gehiago hurbildu tentsio konstante batera, orduan eta kizkurdura-faktore txikiagoa izango du.

Bestetik, seinalearen forma-faktorea unitatetik zenbat eta hurbilago egon, orduan eta artezketa-kalitate hobea eragingo du iturriak.

Forma-faktorea oso parametro erabilia da artezgailuen irteera-seinaleak alderatzeko. Izan ere, oso muntaketa erraza erabiliz lor daiteke: bi voltmetro baino ez dugu behar artezgailuaren irteeran konektaturik. Bata, koadro mugikorrekotresna izango da, eta uhinaren batezbestekoa emango digu. Uhina arteztuta dagoenez, uhin arteztuaren batez besteko balioarekin bat dator. Beste voltmetroa burdina mugikorrekotresna izango da eta balio efikaza emango digu.



4.10 irudia. K_F eta r lortzeko egin beharreko muntaketa

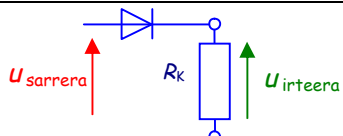
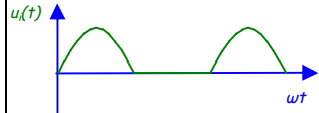
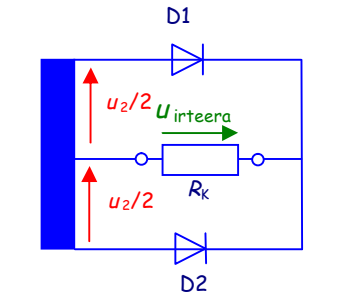
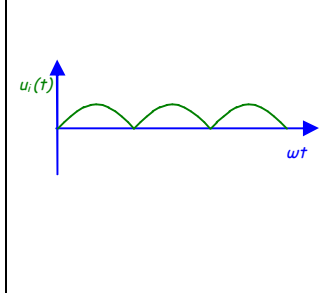
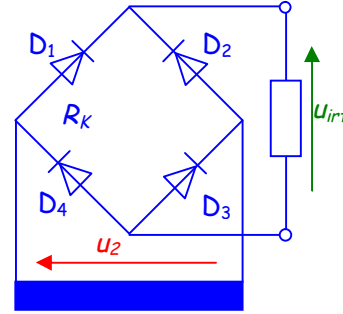
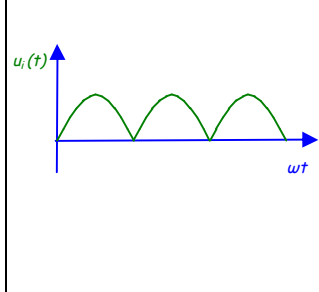
4.10 eskemako bi voltmetroen irakurketen zatiketa eginez, forma-faktoreak lortuko ditugu.

$$K_F = \frac{U}{|u|} = \frac{V_1}{V_2} \tag{4.11}$$

Era berean eta muntaketa bera erabiliz, kizkurdura-faktorea lor daiteke:

$$r = \sqrt{K_F^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{U}{|u|}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left[\frac{V_1}{V_2}\right]^2 - 1} \tag{4.12}$$

Taulan hainbat artezgailuren eskemak, irteera-seinaleak eta artezketa-kalitatea alderatzeko, kizkurdura-faktorea eta forma-faktoreak bildu dira.

ARTEZGAILU	MOTA	IRTEERA-TENTSIOA UHIN-FORMA	K_F	r
Uhin erdiko artezgailua			1,57	1,21
Uhin osoko artezgailua			1,11	0,48
Uhin osoko zubi-artezgailua			1,11	0,48

ARTEZGAILU	MOTA	IRTEERA-TENTTSIOA UHIN-FORMA	K_F	r
Uhin erdiko artezgailu trifasikoa			≈ 1	≈ 0
Uhin osoko artezgailu trifasikoa			≈ 1	≈ 0

4.11 irudia. Hainbat artezgailu motaren arteko konparazioa, K_F eta r erabiliz.

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN:

3.1. SIMULAZIOA

Atal honetan 4.11 irudian ageri diren artezgailu hauen funtzionamendua simulatuko dugu: uhin erdiko aztergailua, uhin osoko aztergailua, uhin osoko zubi-artezgailua, uhin erdiko aztergailu trifasikoa eta, azkenik, uhin osoko artezgailu trifasikoa. Artezgailu horien sarrera elikatzeke, uhin sinusoidaleko tentsio-iturriak erabiliko ditugu, eta haien irteera-tentsioa erregistratu eta aztertuko dugu. Azterketa horretan, artezgailuaren irteerako uhinari behatzeaz gain, uhin horren balio eta parametro garrantzitsuenak kalkulatuko ditugu. Kalkulu horiek egiterakoan, Simulink-eko zenbait tresnaz baliatuko gara.

Simulazio horietan guztietan erabiliko ditugun modeloak oso antzekoak dira. Egia esateko, kasu bakoitzean elikadura eta artezgailua bakarrik aldatu beharko ditugu. Hau da, artezgailuen irteera-uhina neurtzeko eta aztertzeko beti erabiliko dugu tresneria bera. Beraz, behin lehen modeloa lortu eta gero, elikadura eta artezgailua aldatuz hurrengo modeloa lortuko dugu.

3.1.1. Uhin erdiko artezgailua

Aztertuko dugun lehen artezgailua uhin erdikoa izango da; hau da, diodo bakar batez osatua (4.4 irudia).

a) Kalkulatu irteera-tentsioaren balioak

Lehenik eta behin, artezgailuaren irteera-tentsioaren balio garrantzitsu batzuk kalkulatuko ditugu aurrez: batez besteko balioa, uhin arteztuaren batez besteko balioa, balio efikaza, forma-faktorea, kizkurdura-faktorea eta maiztasuna. Horretarako, (4.13) adierazpenak erabiliko ditugu.

a) Batez besteko balioa:	$\bar{U}_{irteera} = 0,45 \cdot U_{sarrera}$	
b) Uhin arteztuaren batezbestekoa:	$ U_{irteera} = \bar{U}_{irteera}$	
c) Balio efikaza edo eraginkorra:	$U_{irteera} = 0,71 \cdot U_{sarrera}$	
d) Forma-faktorea:	$K_{F\ irteera} = \frac{U_{irteera}}{ U_{irteera} }$	(4.13)
e) Kizkurdura-faktorea:	$r_{irteera} = \sqrt{K_{F\ irteera}^2 - 1}$	
f) Maiztasuna:	$f_{irteera} = f_{sarrera}$	

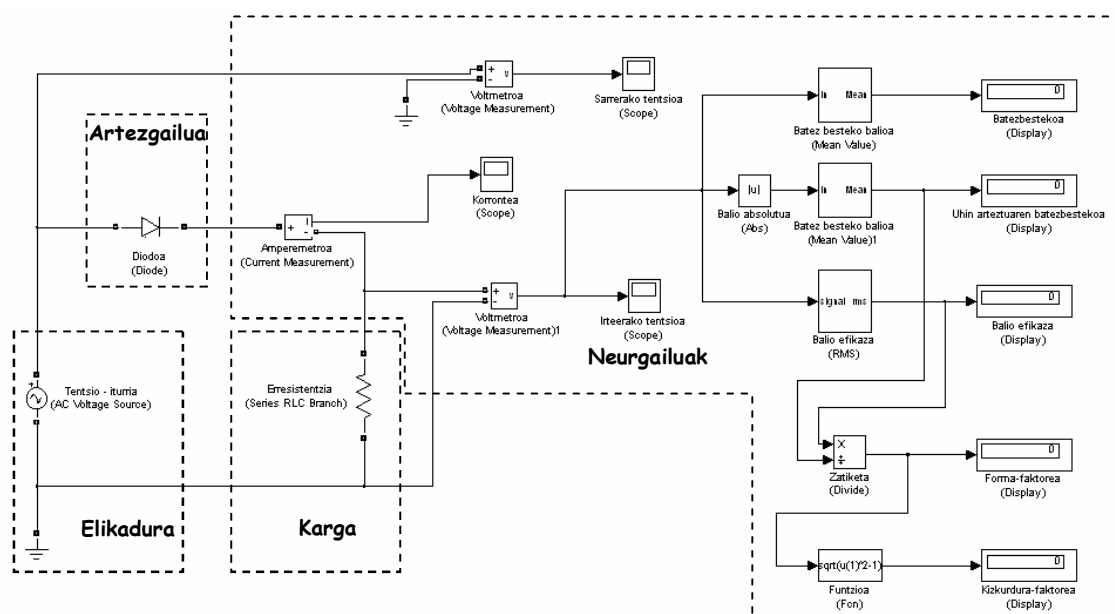
Aurreko adierazpenetan ikus daitekeenez, irteerako balioak sarrerakoan araberakoak dira. Gure kasuan, 10 V-eko (balio efikaza) eta 50 Hz-eko tentsio-iturria erabiliko dugu. Beraz, artezgailuaren sarreran 10 V-eko tentsio efikaza ($U_{sarrera}$) eta 50 Hz-eko maiztasuna ($f_{sarrera}$) izango ditugu.

b) Lortu zirkuituaren modeloa

Uhin erdiko artezgailuaren jokabidea simulatzeko, 4.12 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan lau atal bereiz ditzakegu:

- Elikadura: artezgailua elikatzen den tentsio-iturria. Iturriaren ezaugarriak aurreko azpiatalean zehaztu dira.
- Artezgailua: kasu horretan diodo bakar batez osatua.
- Karga: artezgailuaren irteerarekin elikatzen den erresistentzia.
- Neurtzeko elementuak: artezgailuaren irteera-tentsioaren uhina eta haren ezaugarriak neurtzeko eta aztertzeko.

Lehenengo bi atalak simulatuko ditugun artezgailuarekin aldatuko dira. Azken biak, berriz, bere horretan utziko ditugu simulazio guztietan.



4.12 irudia. Uhin erdiko artezgailuaren jokabidea simulatzeko zirkuituaren modeloa

Modelo horretan agertzen diren elementuak Simulink-eko liburutegian aurkituko ditugu, eta honako hauek dira:

- Korrante alternoko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / AC Voltage Source*). Elementu hau erabili dugu dagoeneko. Baina kasu honetan tentsioaren balio maximoa bere balio efikazaren funtzioan definituko dugu. Izan ere, elementuen tauletako parametroak definitzean adierazpen matematiko errazak erabil ditzakegu.

Horregatik, iturri honen ezaugarri-taulan balio maximoa definitzeko $U_{sarrera} \cdot \sqrt{2}$ idatziko dugu. Hau da, iturriaren tentsioaren balio efikaza bider erro karratu bi ($\sqrt{2}$ - square root). Gure kasuan: $10 \cdot \sqrt{2}$

- Diodoa (*SimPowerSystems / Power Electronics / Diode*). Erabiliko dugun diodoa ideala izango da. Beraz, $R_{on} = 0,1 \text{ m}\Omega$, $L_{on} = V_f = I_c = C_s = 0$ eta $R_s = \text{inf}$.

Bestalde, kasu honetan ez dugu erabiliko diodoaren m irteera. Beraz, orain ez dugu taulako *Show measurement port* laukia aktibatuko.

- Erresistentzia (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*). Erabiliko dugun karga $1,5 \Omega$ -eko erresistentzia hutsa izango da, eta taulan ez dugu neurririk aukeratuko.
- Neurgailuak: amperemetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Current Measurement*) eta voltmetroak (*SimPowerSystems / Measurements / Voltage Measurement*).
- Lurra (*SimPowerSystems / Elements / Ground*): potentzial-erreferentzia sortzeko.
- Hiru osziloskopio (*Simulink/Sinks/Scope*): neurgailuetan hartutako magnitudeak, grafikoki irudikatzen.
- Bost pantaila (*Simulink/Sinks/Display*). Elementu horietan seinale baten balioa ikus daiteke. Adibide honetan, erabiliko ditugu artezgailuaren irteera-seinalearen batez besteko balioa, uhin arteztuaren batez besteko balioa, balio efikaza, forma-faktorea eta kizkurdura-faktorea bistaratzeko.

Pantaila horietan uhinaren ziklo amaieran kalkulaturako balioak bakarrik ikusteko, ezaugarri-tauletan, lagin-denbora parametroak (*Sample time*) zikloaren periodoa izan beharko du. Horrela, gure pantailetan 0.02 (edo $1/50$) idatziko dugu.

- Batez besteko balioa (*SimPowerSystems / Extra Library / Measurements / Mean Value*). Sarrerako seinalearen batez besteko balioa (*mean value*) kalkulatu du.

Elementu horren taulan sarrerako uhinaren periodoa zehaztu behar dugu. Izan ere, uhin baten batez besteko balioa uhin horren seinalea periodo batean integratuz lortzen da. Beraz, horrelako elementuak erabiltzean, ez ahaztu inoiz datu hau definitzea; bestela, kalkulaturako balioa ez da zuzena izango. Balio hori definitzeko, elementuaren taulan periodo bera (T) edo maiztasunaren alderantzizko balioa ($1/f$) idatz dezakegu. Gure kasuan: 0.02 s edo $1/50$.

- Balio efikaza (*SimPowerSystems / Extra Library / Measurements / RMS*). Sarrerako seinalearen balio efikaza (*root mean square value*) kalkulatu du. Kasu horretan ere, nahitaezkoa da seinalearen periodoa/maiztasuna zehaztea. Baina orain, taulan maiztasuna eskatzen da. Beraz, f edo $1/T$ idatzi dugu. Gure kasuan: 50 edo $1/0.02$.
- Balio absolutua (*Simulink / Math Operations / Abs*). Sarrerako seinalearen balio absolutua kalkulatu du. Hau da, sarrerako seinalea negatiboa bada, magnitude bereko balio positiboa ematen du, seinalearen zeinua aldatuz. Sarrerako seinalea positiboa bada, berriz, sarrerako seinale bera aterako du.
- Zatiketa (*Simulink / Math Operations / Divide*). Elementu honek bere sarrerako seinaleen arteko zatiketak egiteko erabiltzen da. Elementuaren taulan zenbat sarrera erabiliko diren eta sarrera bakoitza zatiketaren zenbakitzailean (*) edo izendatzailean (/) dagoen adierazi behar da. Horretarako, erabili *Number of inputs* eremua. Sarrera bakoitzeko ikur bat (* edo /) idatzi behar da, sarrera horrekin egin beharreko eragiketa adierazteko.

Adibidez (4.12) adierazpenean agertzen den eragiketa egin nahi izanez gero (eta sarrerako seinaleen ordena hau bada: a_1, a_2, a_3, \dots), eremu horretan adierazi beharko duguna zera da: $*/**//$

$$irteera = \frac{a_1 \cdot a_3 \cdot a_4}{a_2 \cdot a_5 \cdot a_6} \quad (4.14)$$

Gure kasuan artezgailuaren irteeraren forma-faktorea kalkulatzeko erabiliko dugu. Horregatik, bi sarreren arteko zatiketa egingo dugu eta lehenengo sarrera (balio efikaza) zenbakitzailean jarriko dugu. Beraz, $*/$ idatziko dugu.

- Funtzio librea (*Simulink / User-Defined Functions / Fcn*). Elementu honen irteera da bloke horren sarreren funtzio matematikoa. Funtzio jakin hori elementuaren taulan (*Expression*) eragiketa matematiko baten bidez zehaztu behar da.

Bestalde, bloke honen sarrera-bektorea dugu. Hau da, sarrerako magnitudeak sarrera-bektore horretan batzen dira. Gainera, elementuaren adierazpen matematikoa zehazterakoan $u(i)$ idatziko dugu sarrerako magnitude bakoitza erabiltzeko, non i baita magnitude horrek sarrerako bektorean duen posizioa.

Gure kasuan, kizkurdura-faktorea kalkulatzeko erabiliko dugu funtzio librea, eta magnitude bakar bat baliatu beharko dugu (forma-faktorea). Beraz, (4.13e) adierazpena sortzeko $\text{sqrt}(u(1)^2-1)$ idatzi beharko dugu.

c) Zehaztu simulazioaren parametroak

Praktika honetan egingo ditugun simulazioek 0.8 s iraungo dute (*Stop time*). Gainerako parametroak 2. praktikan erabilitakoak izango dira (ikus 2.18 irudia).

d) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Parametro guztiak zehaztu eta gero, simulazioa abian jarriko da, eta pantailan agertzen diren balioak hartuko dira. Gero, simulazioan lortutako balioak analitikoki kalkulatuakoekin alderatuko dira.

Bestalde, artezgailuaren irteera-seinalearen uhina osziloskopioan aurkituko dugu. Uhin hori aztertuz irteera-seinale horren periodoa (T) eta maiztasuna ($f = 1/T$) lortuko ditugu.

3.1.2. Uhin osoko artezgailua

Uhin osoko aztergailuak diodo bi dauzka, eta horietako bakoitzak sarrerako tentsio erdia jasaten du (4.5 irudia). Simulazioan ez dugu transformadorerik erabiliko, eta, horren ordez, bi iturri ideal erabiliko ditugu artezgailua elikatzeko.

a) Kalkulatu irteera-tentsioaren balioak

Lehen bezala, simulazioari ekin baino arinago, artezgailuaren irteera-tentsioaren balioak aurrez kalkulatu ditugu. Horretarako, (4.15) adierazpenak erabiliko ditugu.

- a) Batez besteko balioa:
- b) Uhin arteztuaren batez bestekoa:
- c) Balio efikaza edo eraginkorra:
- d) Forma-faktorea:
- e) Kizkurdura-faktorea:
- f) Maiztasuna:

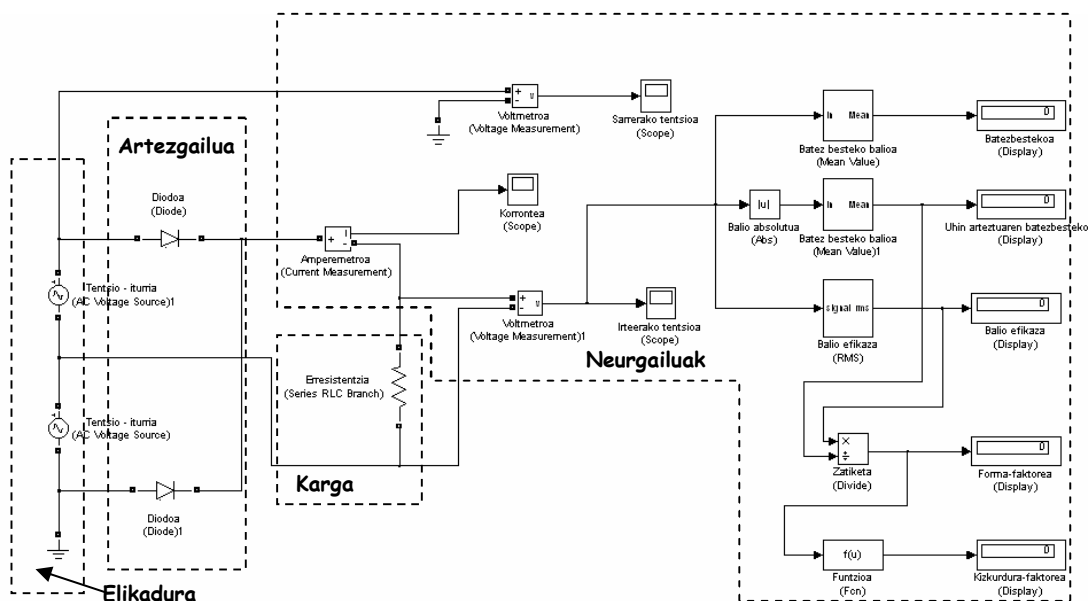
$$\begin{aligned} \bar{u}_{irteera} &= 0,45 \cdot U_{sarrera} \\ |u_{irteera}| &= \bar{u}_{irteera} \\ U_{irteera} &= 0,5 \cdot U_{sarrera} \\ K_F \text{ irteera} &= \frac{U_{irteera}}{|u_{irteera}|} \\ r_{irteera} &= \sqrt{K_{F\text{irteera}}^2 - 1} \\ f_{irteera} &= 2 \cdot f_{sarrera} \end{aligned} \tag{4.15}$$

Kasu honetan ere, artezgailua elikatzeko erabiliko dugun tentsio osoak 10 V-eko balio efikaza ($U_{sarrera}$) eta 50 Hz-eko maiztasuna ($f_{sarrera}$) izango du. Beraz, diodo bakoitzak 5 V-eko tentsioa jasango du.

b) Lortu zirkuituaren modeloa

Uhin osoko artezgailuaren jokabidea simulatzeko, 4.13 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo hori lortzeko aurreko atalean erabili dugunetik abiatuko gara. Neurgailuak eta karga ukitu barik, elikadura eta artezgailua aldatuko ditugu eta modelo berria beste izen batekin gordeko dugu. Beraz:

- Elikadura: orain bi tentsio-iturri ideal erabiltzen dira. Iturri bakoitzak 5 V-eko balio efikazeko tentsioa ematen du.
- Artezgailua: orain bi diodo ideal erabiltzen dira.
- Karga: ez da aldatzen.
- Neurtzeko elementuak: ez dira aldatzen.



4.13 irudia. Uhin osoko artezgailuaren jokabidea simulatzeko zirkuituaren modeloa

c) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Simulazioaren parametroak ez dira aldatuko. Beraz, zeuden bezala utziko ditugu eta simulazioa abian jarriko dugu.

Aurreko kasuan bezala, pantailetan agertzen diren balioak hartuko dira eta analitikoki kalkulaturako balioekin alderatuko ditugu. Azkenik, artezgailuaren irteera-seinalearen uhina (osziloskopioan) aztertuz irteera-seinale horren periodoa (T) eta maiztasuna ($f = 1/T$) lortuko ditugu.

3.1.3. Uhin osoko zubi-arteztailua

Hirugarren kasu honetan prozedura berari jarraituko diogu: irteerako balioak analitikoki kalkulatu; aurreko modeloak aldatuz, arteztailu horri dagokion modelo berria sortu; simulazioa abian jarri; simulazioko emaitzak hartu eta aztertu; eta, azkenik, analitikoki lortutakoekin alderatu. Beraz, jarraian, prozesu horretan aldatu edo beste era batean egin beharko duguna baino ez da aipatuko.

a) Kalkulatu irteera-tentsioaren balioak

Uhin osoko zubi-arteztailuarekin lortzen diren irteerako balioak (4.16) adierazpenetan adierazten dira. Arteztailua elikatzeke erabiliko dugun tentsioak 10 V-eko balio efikaza ($U_{sarrera}$) eta 50 Hz-eko maiztasuna ($f_{sarrera}$) izango ditu.

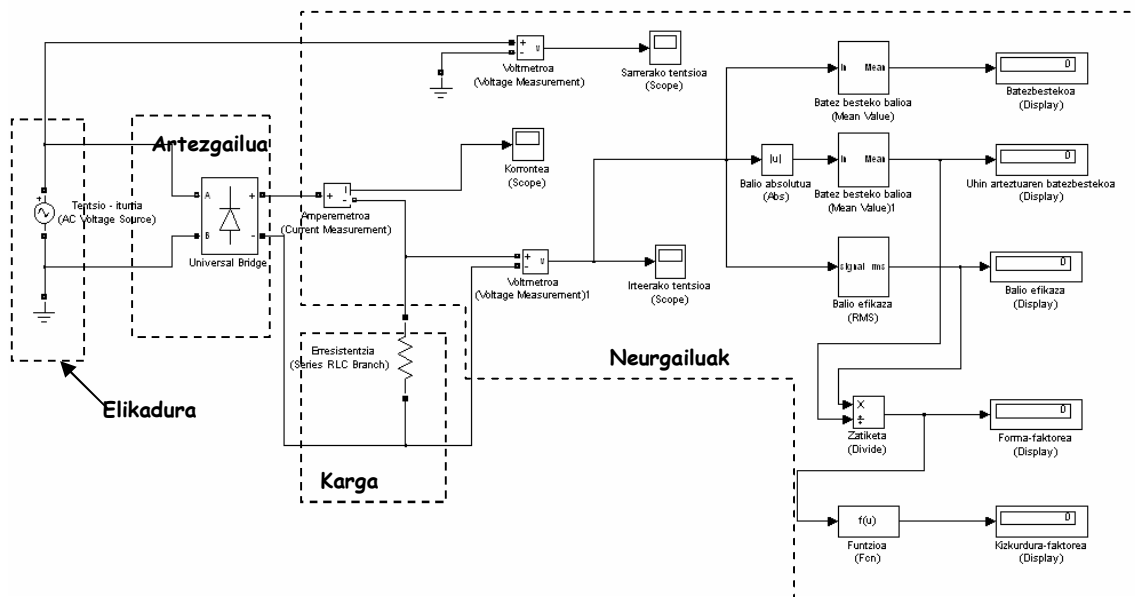
a) Batez besteko balioa	$\bar{u}_{irteera} = 0,9 \cdot U_{sarrera}$	
b) Uhin arteztuaren batez bestekoa	$ \overline{u}_{irteera} = \bar{u}_{irteera}$	
c) Balio efikaza edo eraginkorra	$U_{irteera} = U_{sarrera}$	
d) Forma-faktorea	$K_{F\ irteera} = \frac{U_{irteera}}{ \overline{u}_{irteera} }$	(4.16)
e) Kizkurdura-faktorea	$r_{irteera} = \sqrt{K_{F\ irteera}^2 - 1}$	
f) Maiztasuna	$f_{irteera} = 2 \cdot f_{sarrera}$	

b) Lortu zirkuituaren modeloa

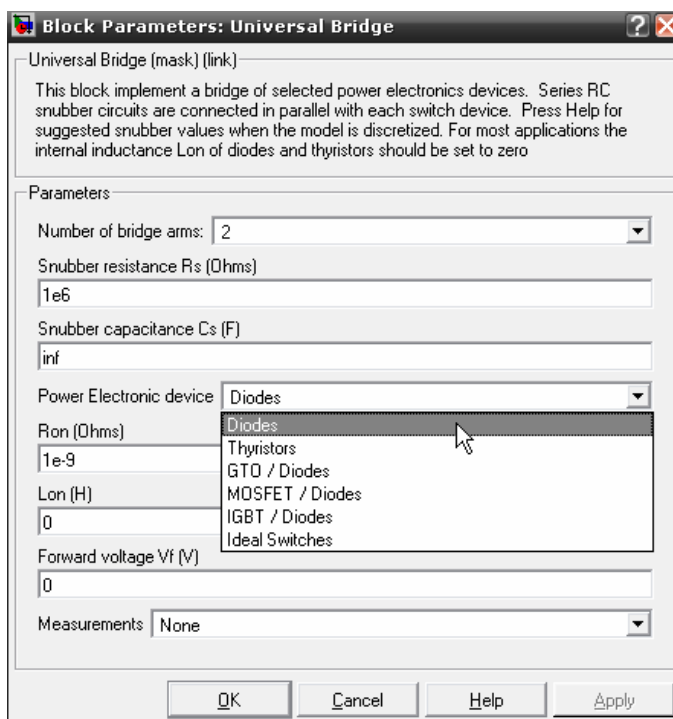
Uhin osoko zubi-arteztailuaren jokabidea simulatzeko, 4.14 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan aldatuko diren elementuak hauek izango dira:

- Elikadura: tentsio-iturri ideal bakar bat erabiltzen da. Iturri horrek 10 V-eko balio efikazeko tentsioa ematen du.
- Arteztailua: orain aztergailua unibertsala (*SimPowerSystems / Power Electronics / Universal Bridge*) erabiliko dugu. Elementu honen bidez hainbat arteztailuren modeloak lor ditzakegu: monofasikoak, trifasikoak, diododunak, tiristoredunak...

Gure kasuan, uhin osoko arteztailu monofasikoaren modeloa lortzeko, diodo idealak erabili eta bi adarreko arteztailua aukeratu dugu (4.15 irudia).



4.14 irudia. Uhin osoko zubi-artezgailuaren jokabidea simulatzeko modeloa



4.15 irudia. Uhin osoko zubi-artezgailuaren modeloaren ezaugarri-taula

c) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Pauso honetan ez da ezer aldatuko. Aurreko kasuetan bezala jokatu dugu eta simulazio parametro berberak erabiliko ditugu.

4.1.4. Uhin erdiko artezgailu trifasikoa

a) Kalkulatu irteera-tentsioaren balioak

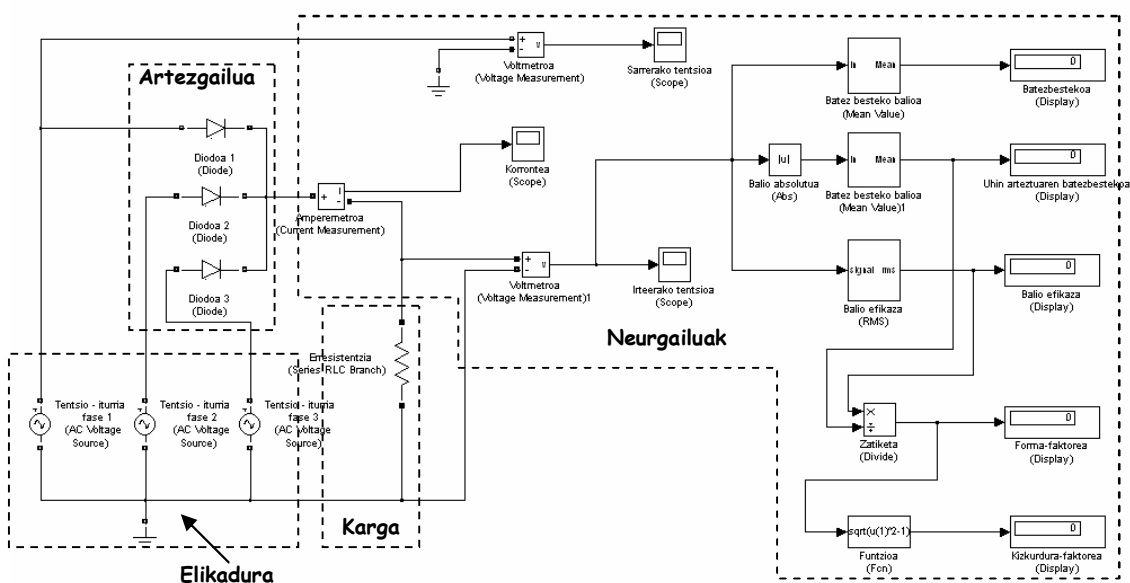
Uhin erdiko artezgailu trifasikoak ematen dituen irteerako balioak (4.17) adierazpenen bidez kalkula daitezke. Artezgailua trifasikoa denez, hiru faseko tentsio-iturri batekin elikatuko dugu. Kasu horretan ere, tentsio-iturri horren fase bakoitzak ematen duen tentsioak 10 V-eko balio efikaza ($U_{sarrera}$) eta 50 Hz-eko maiztasuna ($f_{sarrera}$) izango ditu.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| a) Batez besteko balioa | $\bar{u}_{irteera} = 1,17 \cdot U_{sarrera}$ |
| b) Uhin arteztuaren batezbestekoa | $ u_{irteera} = \bar{u}_{irteera}$ |
| c) Balio efikaza edo eraginkorra | $U_{irteera} = 1,17 \cdot U_{sarrera}$ |
| d) Forma-faktorea | $K_F \text{ irteera} = \frac{U_{irteera}}{ u_{irteera} }$ |
| e) Kizkurdura-faktorea | $r_{irteera} = \sqrt{K_F^2 - 1}$ |
| f) Maiztasuna | $f_{irteera} = 3 \cdot f_{sarrera}$ |
- (4.17)

b) Lortu zirkuituaren modeloa

Uhin erdiko artezgailu trifasikoaren jokabidea simulatzeko, 4.16 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan aldatuko diren elementuak hauek izango dira:

- Elikadura trifasikoa lortzeko, hiru tentsio-iturri ideal erabiliko ditugu. Hiru iturri horiek anplitude eta maiztasun berekoak izango dira ($10 \cdot \sqrt{2}$ V eta 50 Hz), baina fase ezberdinekoak: 0° (lehen fasea), -120° (bigarrena) eta 120° (hirugarrena).
- Artezgailu trifasiko honek hiru adar izango ditu, eta adar bakoitzean diodo ideal bat.



4.16 irudia. Uhin erdiko artezgailu trifasikoa simulatzeko zirkuituaren modeloa

c) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Pauso honetan ez da ezer aldatuko. Aurreko kasuetan bezala jokatuko dugu, eta simulazio-parametro berberak erabiliko ditugu.

3.1.5. Uhin osoko artezgailu trifasikoa

a) Kalkulatu irteera-tentsioaren balioak

Uhin osoko artezgailu trifasikoak ematen duen irteeraren balioak (4.18) adierazpenen bidez kalkula daitezke. Kasu honetan, iturriaren fase bakoitzeko tentsioak 10 V-eko balio efikaza ($U_{sarrera}$) eta 50 Hz-eko maiztasuna ($f_{sarrera}$) izango ditu.

a) Batez besteko balioa	$\bar{U}_{irteera} = 2,34 \cdot U_{sarrera}$	
b) Uhin arteztuaren batezbestekoa	$ U_{irteera} = \bar{U}_{irteera}$	
c) Balio efikaza edo eraginkorra	$U_{irteera} = 2,34 \cdot U_{sarrera}$	
d) Forma-faktorea	$K_F irteera = \frac{U_{irteera}}{ U_{irteera} }$	(4.18)
e) Kizkurdura-faktorea	$r_{irteera} = \sqrt{K_{F irteera}^2 - 1}$	
f) Maiztasuna	$f_{irteera} = 6 \cdot f_{sarrera}$	

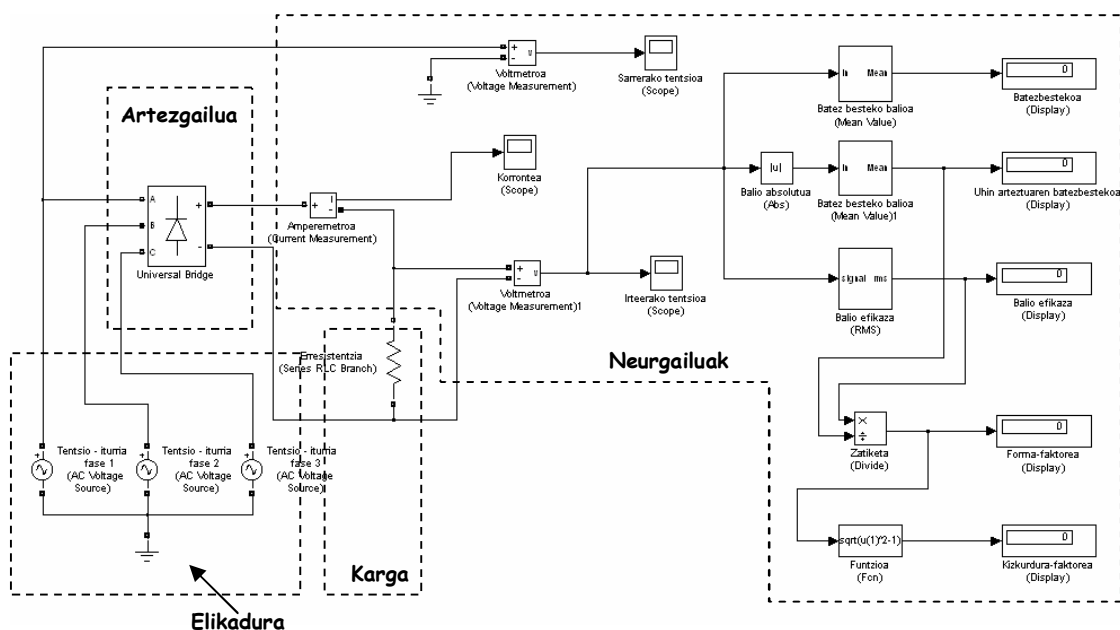
b) Lortu zirkuituaren modeloa

Uhin osoko artezgailu trifasikoaren jokabidea simulatzeko, 4.17 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo honetan aldatuko diren elementuak hauek izango dira:

- Elikadura. Uhin erdiko artezgailu trifasikoa simulatzean erabilitako iturri trifasiko bera erabiliko dugu orain ere.
- Artezgailua. Uhin osoko zubi-artezgailua simulatzean erabili dugun artezgailu unibertsala erabiliko dugu orain ere. Baina kasu honetan, elementu horren ezaugarri-taulan (4.15 irudia) hiru adarreko artezgailua aukeratuko dugu.

c) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Aurreko kasuetan bezala, simulazioa parametro berberekin jarriko dugu abian, eta lortutako emaitzak analitikoki kalkulatuakoeekin alderatuko ditugu.



4.17 irudia. Uhin osoko arteztgailu trifasikoa simulatzeko zirkuituaren modeloa

3.2. ALDEZ AURREKO KALKULUAK

Laborategira etorri baino lehen kalkulu hauek egin:

- Kalkulatu 50 Hz-eko maiztasuna eta 220 V-eko balio eragiketa dituen uhin alferno eta sinusoidal baten balio maximoa, batez besteko balioa, uhin arteztuaren batez besteko balioa eta forma-faktorea matematikoki (analitikoki). Egin eragiketa guztiak t -ren eremuan ($\alpha = 2\pi f = \omega t$)

4- LABORATEGIAN

4.1.- PRAKTIKA

Praktika honek bi atal ditu:

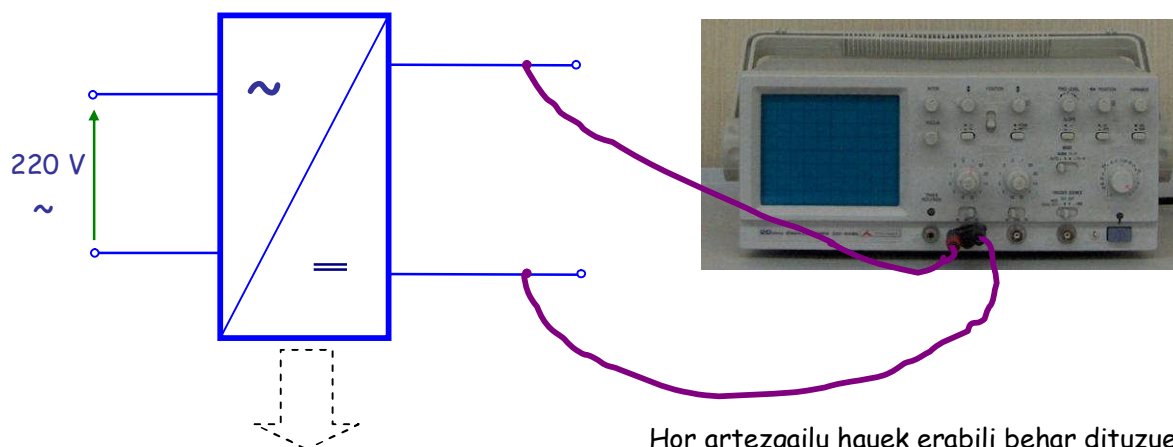
- Laborategian ditugun hiru arteztgailuen/iturriak aztertzea. Iturrien irteera-seinaleak aztertuko ditugu, batetik, forma-faktorea eta kizkuradura-faktorea zehaztuz eta, bestetik, irteera-seinlea osziloskopioaz aztertuz.
- Uhin-sorgailuaren bidez lor ditzakegun uhin-formak lortzea, aztertzea eta simulatzea.

4.1.1. Iturrien irteera-seinaleen azterketa

4.10 irudian agertzen den muntatzea egin laborategiko hiru iturrietarako. Hiru iturri horiek 4.18 irudian agertzen direnak dira. Hurrena, tresnen irakurketen bidez K_F eta r zehaztuko ditugu, 4.11 eta 4.12 formulak erabiliz. Eta, gero, hiru iturriak emaitza horien arabera alderatuko ditugu.

Horretaz gain, osziloskopioan, irteera-tentsioak ikusiko ditugu, eta hainbat balio lortu. Kurba-hautagailua DC posizioan dagoenean hartuko ditugu balio horiek: osziloskopioaren pantailan ikusiko dugu irteerako tentsio-seinalea. Horretaz baliaturik, gailur-balioa, haran-balioa eta maiztasuna zehaztuko ditugu.

Batez besteko balioa zehazteko, osziloskopioa ere erabil daiteke. Horretarako, *AC-GND-DC* hautagailua DCtik ACra aldatu beharko dugu; DCtik ACra aldatzean uhinak y ardatzean egiten duen jauziaren neurria izango da, hain zuzen ere, uhinaren batez besteko balioa. Horren arrazoia hau da: *AC-GND-DC* hautagailua DC posizioan dagoenean, osziloskopioak uhin osoa agerrarazten du osziloskopioaren pantailan, bai osagai alferno hutsa, bai osagai zuzena. Hautagailua ACn dagoenean, uhinaren osagai alferno hutsa bakarrik agerraraz dezake. Uhin osoaren eta osagai alfernoaren arteko kendura osagai zuzena denez, uhinak egiten duen jauzia osagai zuzena izango da, edo batez besteko balioa.



4.18 irudia. Artezgailuen konexioak osziloskopioan irteera-tentsioa ikusteko

4.1.2. Uhin-sorgailuaren irteera-seinaleen azterketa

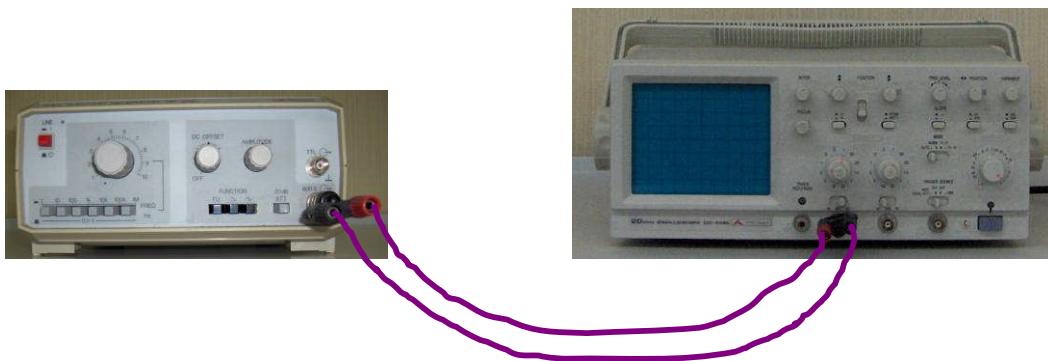
Sareak uhin alternoa emango du, anplitudea transformadore batez alda daiteke, eta hainbat gailur-balioak sortu. Are gehiago, korrante zuzenak lortzeko artezgailuak erabil ditzakegu. Baina beste uhin-formak lortzeko uhin-sorgailua beharko dugu. Praktikaren atal honetan uhin-sorgailu bat erabiliz, hainbat uhin-forma lortzen ikasiko dugu.

Uhin horiei loturiko balioak ere kalkulatuko ditugu osziloskopioan behatu eta gero. Muntaketa 4.19 irudian ikus daiteke. Hiru uhin-forma ikusiko ditugu: sinusoidala, karratua, eta trianguluarra.

Sorgailuaren irteera-seinaleen ezaugarriak lortzeko hauxe egingo dugu: gailur-balioa sorgailuak eman dezakeen handiena izango da; 50 Hz-eko maiztasuneko seinaleak izango dira; eta offset biradera itxita egongo da hiru kasuetan.

Uhin karratua, trianguluarra eta sinusoidala ikusteko, erabili osziloskopioaren lehen kanala (DC posizioan). Osziloskopioan uhina aztertuz, kalkula itzazu balio maximoa eta minimoa, gailur-haran balioa, batez besteko balioa, uhin arteztuaren batez besteko balioa, balio efikaza, forma-faktorea, kizkurdura-faktorea, periodoa eta maiztasuna. Horietaz gain, hartu uhina definitzeko beharko dituzun balio guztiak (maximorako eta minimorako denborak...).

Datu guztiak hartu eta gero, eskatzen zaizkizun balio guztiak azalaren bidez kalkulatu, edo, sinusoidalean, ikusitako adierazpenak erabiliz.



4.19 irudia. Uhin sorgailuaren konexioak osziloskopioan irteera-tentsioa ikusteko.

3.1.3. Uhin-formen simulazioa

Orain, aurreko atalean erabilitako uhinak (karratua, trianguluarra eta sinusoidala) simulatuko ditugu, eta lehen kalkulatuak balioak simulazioaren bidez egiaztatuko ditugu: balio maximoa eta minimoa, gailur-haran balioa, batez besteko balioa, uhin arteztuaren

batez besteko balioa, balio efikaza, forma-faktorea eta kizkurdura-faktorea. Simulatuko ditugun uhin horien modeloak zehazteko osziloskopioan neurtutako balioak erabiliko dira (anplitudeak, periodoak...).

a) Uhin karratua

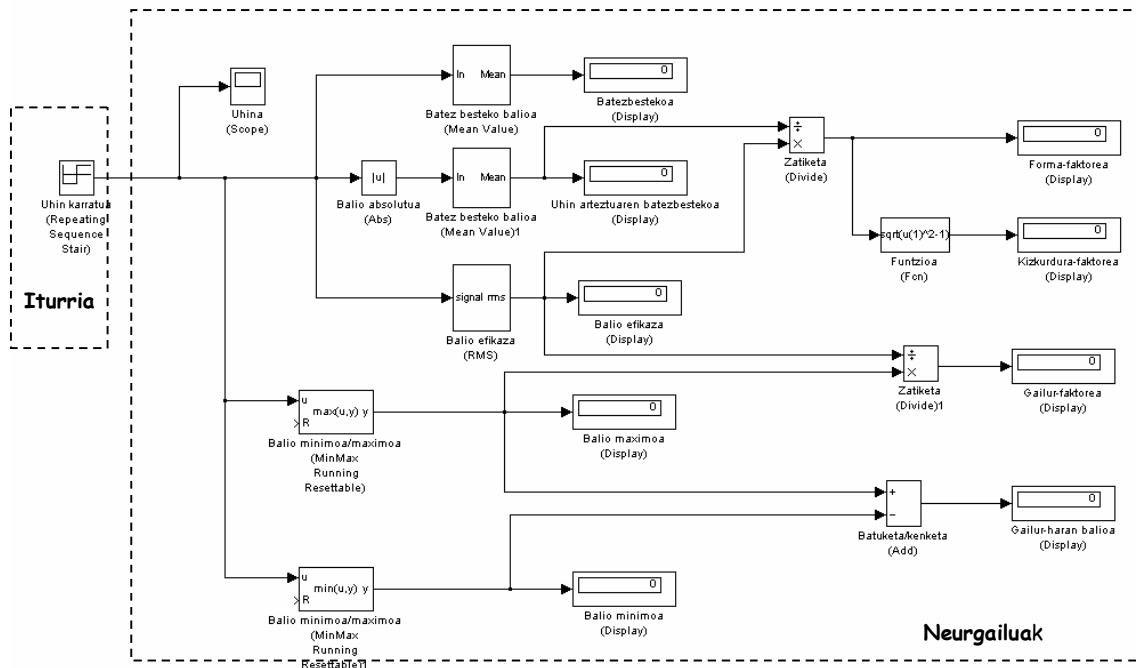
Uhin karratuaren simulazioa egiteko 4.20 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan agertzen diren elementu berriak hauek dira:

- Uhin karratua (*Simulink / Sources / Repeating Sequence Stair*). Elementu horren irteerako seinaleak bere ezaugarri-taulan definitzen den sekuentziari jarraitzen dio. Sekuentzia horren pausoak hainbat baliotakoak izan daitezke, baina iraupen berekoak dira. Ezaugarri-taulan, informazio hau zehaztuko dugu: errepikatzen den sekuentzia osoaren balioak (*Vector of output values*) eta balio bakoitzak zenbat irauten duen (*Sample time*). Horrela, uhin karratua definitzeko, balio hauek zehaztuko ditugu:
 - o *Vector of output values*. Uhinaren anplitude positiboa eta negatiboa: [-A A].
 - o *Sample time*. Tarte bakoitzari dagokion denbora (periodoaren erdia, hain zuzen ere): T/2
- Balio minimoa/maximoa (*Simulink / Math Operations / MinMax Running Resettable*). Elementu honek sarrerako seinalearen maximo edo minimoa ematen du irteeran. Horretarako, maximoa (*max*) ala minimoa (*min*) aukeratu behar da elementuaren ezaugarri-taulan (*Function*). Horretaz gain, irteera ezaba daiteke, *Reset* sarrera aktibatzen denean. Kasu horretan, irteerak ezaugarri-taulan adierazten den hasierako balioa (*Initial condition*) hartuko du.
- Batuketa/kenketa (*Simulink / Math Operations / Add or Subtract*). Elementu hauek sarrerako seinaleen batuketa edo kenketa egiten dute. Elementuaren taulan zenbat sarrera erabiliko diren, eta sarrera bakoitza batzen (+) ala kentzen (-) den adierazi behar da, *List of signs* izeneko eremuan. Sarrera bakoitzeko ikur bat (+ ala -) idatzi behar da, sarrera horrekin egin beharreko eragiketa adierazteko.

Gainerako elementuak erabiliak dira dagoeneko.

Bestalde, ezin dugu ahaztu uhin baten balio batzuk kalkulatzeko (batez besteko balioa zein balio efikaza) uhin horren periodoa edo maiztasuna zehaztu behar direla *Mean Value* eta *RMS* elementuetan.

Simulazioaren parametroei buruz, 3.1 atalean erabilitakoak izango dira, simulazioaren iraupena izan ezik. Kasu horretan, uhinaren bi periodo ($2 * T$) hartuko ditugu amaieradendeboratzat.



4.20 irudia. Uhin karratua aztertzeko zirkuituaren modeloa

Azkenik, simulazioaren emaitzak osziloskopioan (uhina) zein pantailetan (uhinaren balioak eta faktoreak) ikusiko ditugu eta aurreko atalean lortutakoekin alderatuko ditugu.

b) Uhin triangeluarra

Bigarren simulazio hau egiteko 4.20 irudiko modelo bera erabiliko dugu. Baina kasu honetan, iturria aldatuko dugu, eta, uhin karratua barik uhin triangeluarra erabiliko dugu. Gainerako elementuak berdin-berdin utziko ditugu. Hori bai, uhinaren periodoa ezberdina bada, *Mean Value* eta *RMS* elementuen parametroak aldatu beharko ditugu, balio horiek ondo kalkulatzeko. Beraz, iturria dugu elementu berri bakarra:

- Uhin triangeluarra (*Simulink / Sources / Repeating Sequence*). Elementu honen irteerako seinaleak bere ezaugarri-taulan definitzen diren balioak errepikatzen ditu. Uhina zehaztuta gera dadin, sekuentziaren puntuak adierazi behar dira, eta balioa/denbora bikoteak eman. Balio horien artean, irteera interpolatzen da. Horrela, A anplitudeko eta T periodoko uhin triangeluarra zehazteko hauxe idatziko dugu haren ezaugarri-taulan:
 - *Output values*. Hiru puntu adieraziko ditugu: $[-A \quad A \quad -A]$
 - *Time values*. Hiru puntu horien denbora: $[0 \quad T/2 \quad T]$

c) Uhin sinusoidala

Aurreko kasuan bezala, orain ere iturria aldatuko dugu 4.20 irudiko modelon, eta, behar izanez gero, *Mean Value* eta *RMS* elementuen parametroak aldatuko ditugu (uhin sinusoidalaren periodoa edo maiztasuna zehaztuz). Iturri berri horren ezaugarriak honako hauek dira:

- Uhin sinusoidala (*Simulink / Sources / Sine Wave*). Elementu honen irteerako seinalea uhin sinusoidala da. Uhin horren adierazpen analitikoa (4.17) adierazpenean agertzen da.

$$\begin{aligned} irteera(t) &= Bias + A \cdot \sin(w \cdot t + \alpha) \\ (w &= 2 \cdot \pi \cdot f) \end{aligned} \quad (4.18)$$

Hor:

- Bias*: uhinaren osagai zuzena
- A*: uhinaren osagai sinusoidalaren anplitudea, balio maximoa, gailur-balioa edo puntako balioa
- w*: pultsazioa edo abiadura angeluarra (rad/s)
- t*: denbora (s)
- α* : fasea (rad)
- f*: maiztasuna edo frekuentzia (Hz edo s^{-1})

Iturri honen ezaugarri-taulan definitu behar diren parametroak hauek dira: balio maximoa (*Anplitude*), fasea (*Phase*) gradutan zehaztuta, pultsazioa (*Frequency rad/sec*) eta uhinaren osagai zuzena (*Bias*). Gure kasuan, aurreko atalean uhin sinusoidalarekin osziloskopioan neurtutako balioak erabiliko ditugu.

4.2. MATERIALA

- 1 tentsio-iturri: _____
- 1 tentsio-iturri: _____
- 1 tentsio-iturri: _____
- 1 osziloskopio: _____
- 1 uhin-sorgailu: _____
- 1 voltmetro (V_1): _____
- 1 voltmetro (V_2): _____

KIRCHHOFF KORRONTE ZUZENEAN

Ura hodi batetik doanean hodia beste bitan banatzen bada, ura ere bi hoditatik banatuko da, hodiaren sekzioaren arabera. Korronte elektrikoak ere, korapilo batera heltzean, halako zerbait egingo du, baina zer parametroren arabera ezagutuko dugu zein den adar batetik eta bestetik doan korrontearen balioa?

Praktika honetan, horretaz arituko gara: ikusiko dugu zeren arabera banatzen den korrontea adarretatik zehar.

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

- Kirchhoff-en bi legeak zein diren.
- Erresistentzia-patroi bat zer den.
- Zer den zeharkako neurketa-metodoa eta neurketa zuzeneko.
- Tentsio zatitzailea eta korronte zatitzaileak eta haien adierazpenak zer diren.
- Erresistentzia aldakorra eta finkoaren konexioak egiten eta ezaugarrien xafako informazioa interpretatzen.

1- SARRERA

Neurtu den magnitude baten balio zehatza ezagutzea ezinezkoa da, besteak beste, neurketa-tresnen ziurgabetasunagatik (sentiberatasun falta, bereizmen baxua, tresnaren doitasun-klasea, edo giroaren eragina) edo neurketa-metodoagatik. Magnitude bat neurtzen denean, ezin da lortu bere benetako balioa edo balio zehatza; balio hurbildu bat lortuko da. Hori dela eta, neurketa bati lotuta beti errore bat agertuko da.

Errore absolutua izango da balio zehatzaren eta hurbilduaren arteko diferentzia.

$$\alpha = B_Z - B_H \text{ (neurtutako magnitudearen unitateak)}$$

Errore erlatibo esaten zaio errore absolutuaren eta balio zehatzaren arteko zatidurari; ehunekotan adierazten da eskuarki.

$$\varepsilon(\%) = 100 \cdot \frac{\alpha}{B_Z} \text{ (adimentsionala)}$$

Ohikoa da neurketa bat egin eta gero emaitzak nolako doitasuna duen adieraztea; bermatutako doitasun horretan bilduko litzateke estimatutako ziurgabetasuna. Horrekin lotuta tresna-doitiasuna edo elementuen balioen doitasuna definitzen dira. Ikus dezagun zer diren.

Tresna analogikoen doitasuna. Tresna horiek eskaladun adierazle baten bidez ematen dute neurtzen ari diren magnitude fisikoaren balioa. Adierazlea eskuarki orratz bat da, tresnaren mekanismo higikorak eragiten diona. Edozein modutan adierazlearen azken kokapena oreka mekaniko baten ondorioa da: neurtzen den magnitude elektrikoaren araberrako esfortzua (bihurketa-prozesua) eta orratzaren mugimendua eragotzi nahi duen esfortzua (konpentsazio-prozesua). Ez dugu ahaztu behar, era berean, mekanismo higikorra biratzeak eragiten duen marruskadura.

Bihurketa-prozesua, konpentsazio-prozesua edo irakurketa-prozesua baldintzatzen dituzten parametroetan aldaketaren bat badago, neurketaren doitasunean eragina izango du. Horrek esan nahi du tresnek, berez, errorea eragiten dutela neurketetan. Errore hori berezkoa du tresnak, eta ohikoa da doitasun-klase deitzen zaion magnitude batez neurtzea. **Doitasun-klasea** errore absolutu maximo onargarria da, eskalaren amaierako balioaren araberrakoa eta ehunekotan adierazia. Ikus dezagun zer esan nahi duen horrek. Demagun voltmetro bat dugula eskala amaierako balio modura 15 V duena; 0,2 doitasun-klasekoa bada, orduan, tresna horrekin egindako edozein neurketatarako, errore absolutu maximoa $15 \cdot 0,2 / 100 = \pm 0,03$ V izango da.

Erresistentzia-patroiaren errorea. Erresistentzia-patroi baten doitasuna edo, hobeto esanda, ziurgabetasuna, balio zehatzaren eta balio markatuaren arteko diferentzia maximoaren balioa absolutuaren bidez adierazten da. Balio hori modu erlatiboan ematen denean doitasun-klase deitzen zaio, eta 1000 Ω -eko erresistentzia batek 0,1eko doitasun-klasea badu, horrek esan nahi du erresistentzia horren balioa 999tik 1001era bitartean egon daitekeela. 1000 Ω -eko balioari balio izendatu esaten zaio.

Elementu horien balioaren aldaketaren jatorria ezaugarri fisikoen aldakuntzan eta eraikuntza-elementuen dimentsioen ezegonkortasunean dago.

Bestetik, aipatu dugu neurketa-metodoak (muntaketak) batzuetan erroreak eragiten dituztela; errore horiek **errore sistematikoak** dira. Horiek ez dira tresnen doitasunaren araberakoak, baizik eta neurketa-prozeduraren araberakoak. Neurketa batean errore mota hori atzematen badugu, balioztatu eta zuzendu egin daiteke.

Parametro fisiko asko neurtzeko, zuzeneko neurketa egiten da; adibidez, luzera baten neurria hartu nahi dugunean, distantzia neurtzeko eskala graduatua erabiltzen dugu, eta neurketa zuzenean hartzen dugu eskalarekin konparatuz. Besteetan, aldiz, ezin da neurria zuzenean hartu, eta zeharkako neurketa egin behar izaten dugu. Hori da abiadura neurtzeko egiten dena; izan ere, denbora eta distantzia neurtzen dira zuzenean, eta gero haien arteko zatidura eginez lortzen da abiadura.

Praktika honetan erresistentzien balio ohmiarra zehazten ikasiko dugu; horretarako era asko daude: zuzenean neur daiteke, ohmetroa erabiliz, edo zeharkako metodoak erabili daitezke. Horietako bat da erresistentzian zeharreko korrantea neurtu, tentsioa neurtu eta zatidura egitea. Badago patroiak erabiltzerik ere, eta hori da, hain zuzen ere, saiakuntza honetan egingo duguna: erresistentzia-patroi ezagun batez baliatuz, ezezaguna den beste erresistentziaren balioa zehazteko zeharkako neurketa-metodoa erabili.

Gehienbat errore sistematikoak finkatzen ahaleginduko gara, erresistentzia-patroiaren eta neurketa-tresnen doitasun-klaseak alde batera utzita: neurketa-tresnek, berez, neurtutako magnitudean erroreak eragiten dituzte, ez direlako idealak. Amperometroek barne-erresistentzia txiki bat (ez-nulua) dute, eta voltmetroek, barne-erresistentzia handi bat (ez-infinitua). Barne-erresistentzia horiek amperometroetan tentsio-jausia eragiten dute, eta voltmetroetan, korrante-deribazio txiki bat haril voltmetrikoan zehar. Hori dela eta, amperometroaren atzetik dagoen serie-zirkuituko tentsioa aldatu egiten da amperometroa sartzean, eta voltmetroaren atzetik dagoen korrantean aldaketak ere badaude voltmetroa sartzean.

2- OINARRI TEORIKOA

2.1. KIRCHHOFF-EN LEHENENGO LEGEA

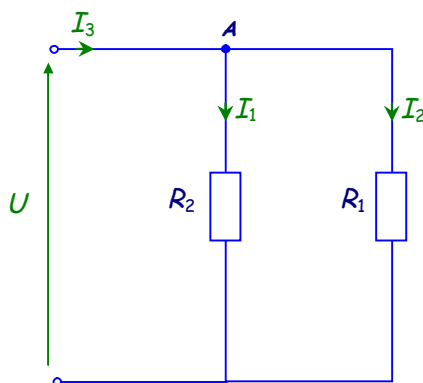
Korapilo batera iristen diren korrante-intentsitateen batura aljebraikoa eta korapilotik irteten direnena berdina da.

$$\sum i_{\text{iritsi}} = \sum i_{\text{irten}} \quad (5.1)$$

5.1 irudian, Kirchhoff-en lehenengo legea aplikatuz lortuko dugun korranteen arteko erlazioa hauxe da:

$$\begin{aligned} \sum i_{\text{iritsi}} &= \sum i_{\text{irten}} \\ I_3 &= I_1 + I_2 \end{aligned}$$

Korrante zatitzailea: bi erresistentzia paraleloan ditugunean korrantearen banaketa zein neurritan egiten den adierazten duen formula gisa defini liteke:



5.1 irudia. Kirchhoff-en lehenengo legea

$$I_2 = I_3 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{eta} \quad I_1 = I_3 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.2)$$

2.2. KIRCHHOFF-EN BIGARREN LEGEA

Erantzun batean tentsio guztien batura aljebraikoa zero da (tentsioen zeinuak kontuan harturik).

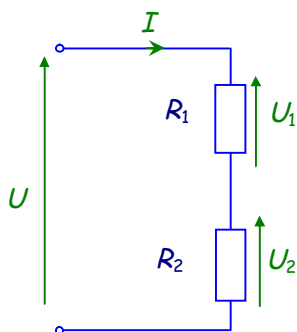
$$\sum_{\text{guztiak}} u = 0 \quad (5.3)$$

5.2 irudian, Kirchhoff-en bigarren legea aplikatuz lortuko dugun tentsioen arteko erlazioa hauxe da:

$$\begin{aligned} \sum_{\text{guztiak}} u &= 0 \\ U &= U_1 + U_2 \end{aligned}$$

Tentsio zatitzailea: erresistentziak seriean ditugunean tentsioen banaketa erresistentzia bakoitzean zer neurritan gertatzen den adierazten duen formula gisa defini liteke. Ikus dezagun zein den formula erresistentziak seriean dituen zirkuitu batean (5.2 irudia):

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{eta} \quad U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.4)$$



5.2 irudia. Kirchoff-en bigarren legea

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. SIMULAZIOA

Praktika honetan, Kirchoff-en legeak korronte zuzeneko zirkuituetan aztertuko ditugu. Horretarako, lege horietan oinarritzen diren bi neurketa-metodo erabiliko ditugu. Bi metodo hauen bidez erresistentzia baten balioa kalkulatu da, beste erresistentzia-patroi baten balioa ezagututa:

- Tentsioak konparatuz, erresistentzia baten balioa neurtu.
- Intentsitateak konparatuz, erresistentzia baten balioa neurtu.

3.1.1. Tentsioen konparazioaren bidezko erresistentzien neurketa

Simulazio hau egiteko 5.5 irudiko muntaketaren modeloa erabiliko dugu. Horrela, voltmetroetan hartutako neurriekin R erresistentziaren balioa kalkulatu dezakegu, ikusi ditugun adierazpenak erabiliz.

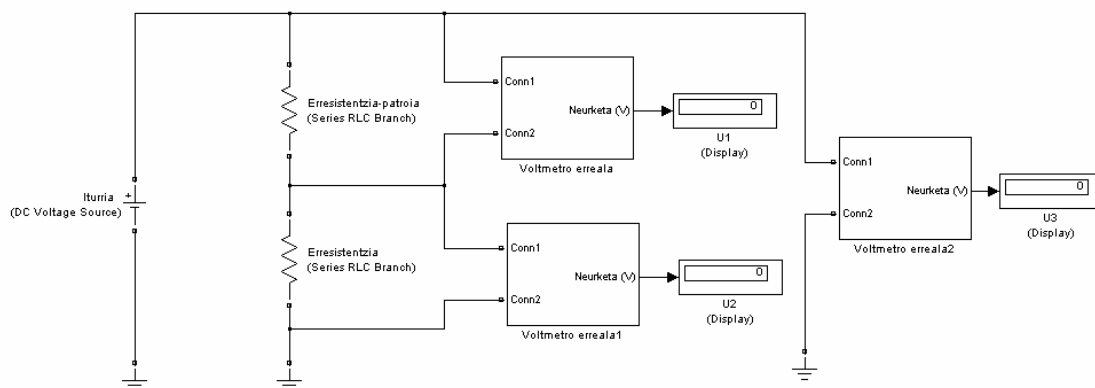
a) Lortu zirkuituaren modeloa

Simulazio honetan 5.3 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan honako elementu hauek agertzen dira:

- Korrante zuzeneko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / DC Voltage Source*). Kasu honetan, 30 V-eko iturria erabiliko dugu zirkuitua elikatzeko.
- Bi erresistentzia (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*). Erresistentzia hutsak izango dira (beraz, $L = 0$ eta $C = \text{inf}$). Lehenengoa erresistentzia-patroia izango da, eta bigarrena, neurtu nahi duguna. Haien balioak simulazioak egitean zehaztuko dira.
- Voltmetro errealak. Simulazio hauek egiteko voltmetro errealak erabiliko ditugu. Voltmetro idealetan barne-erresistentzia infinitutzat jotzen da, eta adar horretatik korronterik ez duela zirkulatu onartzen da. Baina errealitatean, oso handia izan arren, voltmetroaren barne-erresistentzia hori ez da infinitua, eta voltmetroetatik korrante txiki bat ixten da. Korrante horrek erroreak sartzen ditu neurketan, eta praktika honetan kontuan izango dugu.

Voltmetro errealen modeloa */work/zt_modeloak.mdl* fitxategian aurkituko duzu. Kopiatu ezazu handik voltmetroa, eta sartu zure zirkuituan. Voltmetro horiek hiru borne dituzte. Voltmetroa zirkuitura konektatzeko *Conn1* eta *Conn2* borneak erabiliko dira. Eta *Neurketa (V)* borneak neurgailuaren irakurketa ematen du.

- Lurra (*SimPowerSystems / Elements / Ground*). Potentzial-erreferentzia sortzeko.
- Hiru pantaila (*Simulink/Sinks/Display*). Voltmetro errealen neurketak irakurtzeko.



5.3 irudia. Tentsioen konparazioaren bidezko neurketa simulatzeko modeloa

b) Zehaztu simulazioaren parametroak

Praktika honetan egingo ditugun simulazioek 1 s iraungo dute (*Stop time*). Gainerako parametroak bere horretan utziko ditugu.

c) Egin simulazioak eta aztertu emaitzak

Praktika honetan hainbat erresistentziaren neurketa simulatuko dugu: 1.5Ω , 15Ω , 65Ω , 120Ω , 1100Ω , 2500Ω eta $37 \text{ k}\Omega$.

Neurketa horiek egiteko hainbat erresistentzia-patroi erabiliko ditugu: $1\ \Omega$, $100\ \Omega$, $1\ \text{k}\Omega$ eta $5\ \text{k}\Omega$.

Atal honetan, erresistentzia guztiak lau erresistentzia-patroirekin neurtuko ditugu. Simulazio bakoitzean, voltmetroetan neurtutako tentsioen balioak erabiliz, erresistentziaren balioa kalkulatu dugu, baita kalkulu horretan egindako errore absolutua zein erlatiboa ere.

Gainera, hiru voltmetroen neurketak ikusita, Kirchhoff-en tentsioen legea betetzen dela egiaztatuko dugu.

Azkenik, zenbait erresistentzia-patroirekin lortzen diren emaitzak ikusita, honako galdera hauei erantzun:

- Zein da erresistentzia bakoitza neurtzeko patroia egokiena? Eta txarrenea? Ondorioz?
- Metodo horrekin noiz lortzen dira emaitza hobekak: erresistentzia handiak ala txikiak neurtzean?

3.1.2. Intentsitateen konparazioaren bidezko erresistentzien neurketa

Bigarren simulazio honetan 5.6 irudiko muntaketaren modeloa erabiliko dugu. Horrela, amperometroetan hartutako neurriekin R erresistentziaren balioa kalkulatu dezakegu.

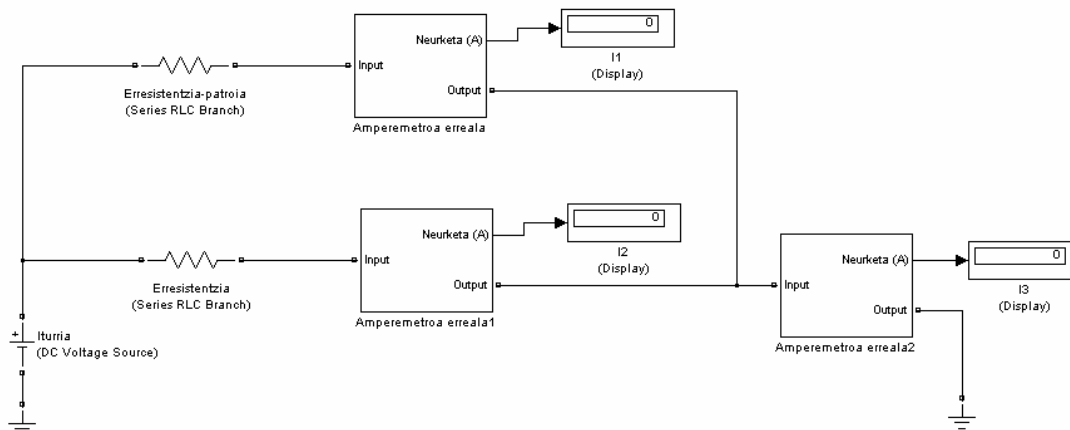
a) Lortu zirkuituaren modeloa

Kasu honetan, 5.4 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan honako elementu hauek agertzen dira:

- Korrante zuzeneko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / DC Voltage Source*). Kasu honetan ere, $30\ \text{V}$ -eko iturria erabiliko dugu zirkuitua elikatzeko.
- Bi erresistentzia (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*). Erresistentzia hutsak izango dira (beraz, $L = 0$ eta $C = \infty$). Lehenengoa erresistentzia-patroia izango da, eta bigarrenea, neurtu nahi duguna. Haien balioak simulazioak egiterakoan zehaztuko dira.
- Amperometro errealek. Simulazio hauek egiteko amperometro errealek erabiliko ditugu. Amperometro idealetan barne-erresistentzia nulutzat jotzen da, eta amperometroan tentsiorik jausten ez dela onartzen da. Baina errealitatean, oso txikia izan arren, amperometroaren barne-erresistentzia hori ez da nulua eta amperometroan balio txikiko tentsio-jausi txiki bat gertatzen da. Tentsio-jauskera horrek erroreak artzen ditu neurketan, eta praktika honetan kontuan izango dugu.

Amperemetro errealeen modeloa */work/zt_modeloak.mdl* fitxategian aurkituko duzu. Kopiatu ezazu handik amperemetroa, eta sartu zure zirkuituan. Amperemetro horiek hiru borne dauzkate. Amperemetroa zirkuitura konektatzeko *Input* eta *Output* borneak erabiliko dira. Eta *Neurketa (A)* borneak neurgailuaren irakurketa ematen du.

- Lurra (*SimPowerSystems / Elements / Ground*). Potentzial-erreferentzia sortzeko.
- Hiru pantaila (*Simulink/Sinks/Display*). Amperemetro errealeen neurketak irakurtzeko.



5.4 irudia. Intentsitateen konparazioaren bidezko neurketa simulatzeko modeloa

b) Zehaztu simulazioaren parametroak, egin simulazioak eta aztertu emaitzak

Atal honetan aurreko prozedura berari jarraituko diogu, baina amperemetroak erabiliz. Horrela erresistentzia berberak neurtuko ditugu (1.5Ω , 15Ω , 65Ω , 120Ω , $1.1 \text{ k}\Omega$, $2.5 \text{ k}\Omega$ eta $37 \text{ k}\Omega$), erresistentzia-patroi berberak erabiliz (1Ω , 100Ω , $1 \text{ k}\Omega$ eta $5 \text{ k}\Omega$).

Simulazio-parametroak ere aurreko atalekoak izango dira.

Beraz, orain ere neurtzeko erresistentzia guztiak lau erresistentzia-patroirekin neurtuko ditugu. Simulazio bakoitzean, amperemetroetan neurtutako intentsitateen balioak erabiliz, erresistentziaren balioa kalkulatuko dugu, baita kalkulu horretan egindako errore absolutua zein erlatiboa ere.

Gainera, hiru amperemetroen neurketak ikusita, Kirchhoff-en korronteen legea betetzen dela egiaztatuko dugu.

Azkenik, zenbait erresistentzia-patroirekin lortzen diren emaitzak ikusita, aurreko atalean egindako galdera berberei erantzungo diegu:

- Zein da erresistentzia bakoitza neurtzeko patroia egokiena? Eta txarrena? Ondorioak?
- Metodo honekin noiz lortzen dira emaitza hobeak: erresistentzia handiak ala txikiak neurtzean? Alderatu aurreko kasuan lortutako emaitzekin.

3.2. ERANTZUN HONAKO GALDERA HAUEI

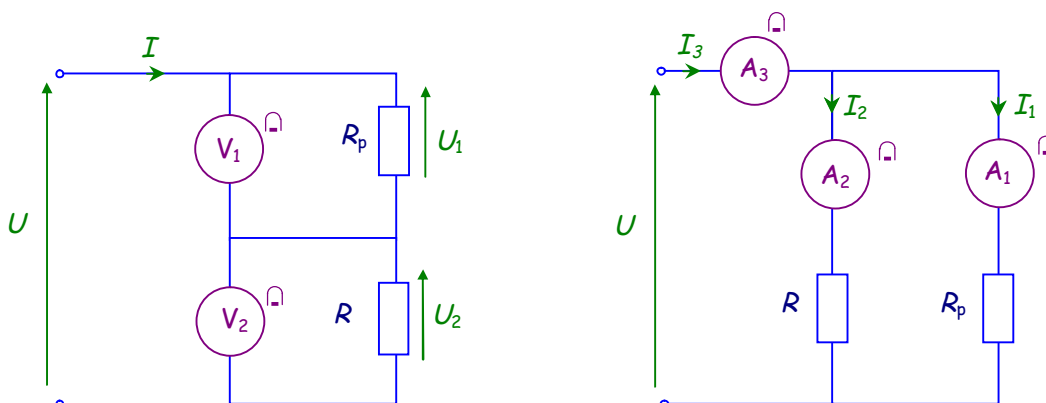
- Zein da erresistentzia bakoitza neurtzeko patroia egokiena? Eta txarrena? Ondoriorik?
- Noiz lortzen dira emaitza hobeak lehen metodoarekin (tentsioen konparazioaren bidezkoa): erresistentzia handiak ala txikiak neurtzerakoan?
- Noiz lortzen dira emaitza hobeak bigarren metodoarekin (intentsitateen konparazioaren bidezkoa): erresistentzia handiak ala txikiak neurtzerakoan?
- Korrante zatitzailearen formulak aplikatuz (5.2) lortu zein diren korronteak bi adar paraleloan dituen zirkuitu batean kasu hauetan:
 $R_1=R_2$; $R_1 = R_2/2$; R_1 zirkuitulabur bat denean eta R_2 edozein erresistentzia.
- Tentsio zatitzailearen formulak aplikatuz (5.4) lortu zein diren tentsioak bi erresistentzia seriean dituen zirkuitu batean kasu hauetan:
 $R_1=R_2$; $R_1 = R_2/2$; R_1 zirkuitu ireki bat denean eta R_2 edozein erresistentzia.

4- LABORATEGIAN

4.1. PRAKTIKA

Korrante zuzenean erresistentzien balio ohmiarrak neurtzeko erabiltzen diren zeharkako metodo horiek, errazak izateaz gain, badute beste abantailarik: zehaztasuna. Izan ere, tresna eta patroia egokiak erabiliz gero, zehaztasun handiko emaitzak lortuko dira. Eragozpenik handiena da erresistentzia-balio bat baino gehiago neurtu nahi direnean beste horrenbeste baliotako erresistentzia-patroiak eduki behar direla.

5.1 eta 5.2 irudietan neurteta-tresnak erantsiz lortuko diren eskemak hauexek dira:



5.5 irudia. Kirchhoff-en 2. legea

5.6 irudia. Kirchhoff-en 1. legea

5.5. irudiko eskeman, bi voltmetroen irakurketak erabiliz, neurtuko dugun erresistentzia eta erresistentzia-patroia konparatzea da gakoa.

Serie-zirkuitua izanik, I intentsitate bakar batek zeharkatuko du zirkuitua. Eta voltmetroen irakurketak honako hauek izango dira:

$$V_1\text{-en irakurketa: } U_1 = R_p \cdot I$$

$$V_2\text{-ren irakurketa: } U_2 = R \cdot I$$

Bi berdintzak atalez atal zatituz gero: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_p}{R}$

Eta hortik R ebatziz gero:

$$R = \frac{U_2}{U_1} \cdot R_p = \frac{V_2}{V_1} \cdot R_p \quad (5.5)$$

Beraz, R -ren balioa bakarrik jakin dezakegu voltmetroekin neurtutako U_1 eta U_2 balioak eta erresistentzia-patroiaren balioa ezagututa.

5.6. irudiko eskeman, kasu honetan erresistentziak, paraleloan egonik, U tentsio berberaren eraginpean daude biak.

Amperemetroen irakurketak honako hauek izango dira:

$$A_1 \rightarrow I_1 = \frac{U}{R_p} \rightarrow U = R_p \cdot I_1$$

$$A_2 \rightarrow I_2 = \frac{U}{R} \rightarrow U = R \cdot I_2$$

Eta bi adierazpenak atalez atal zatituz gero:

$$\frac{U}{U} = \frac{R \cdot I_2}{R_p \cdot I_1} \rightarrow 1 = \frac{R \cdot I_2}{R_p \cdot I_1} \rightarrow R = R_p \frac{I_1}{I_2} = R_p \frac{A_1}{A_2} \quad (5.6)$$

5.5 irudiko kasuan bezala, tresnen irakurketak eta erresistentzia-patroiaren balioak jakinda bakarrik lor daiteke R -ren balioa zehaztea.

Errore sistematikoa kontuan harturik:

Bi amperemetroak berdinak direla joko dugu, eta, beraz, barne-erresistentzia bera dutela. Amperemetroen barne-erresistentzia kontuan hartzen badugu honako hau daukagu:

$$I_1(R_p + R_A) = I_2(R + R_A)$$

$$R = (R_p + R_A) \frac{I_1}{I_2} - R_A$$

Eta horrek neurketan eragiten duen errore absolutua:

$$\alpha = R_A \left[1 - \frac{I_1}{I_2} \right]$$

Patroiaren balioa handia denean, ez du eragin handirik edukiko errore sistematiko honek.

Helburua 5.5 eta 5.6 irudiko muntaketak erabiliz erresistentzia ezezagun baten balio ohmiarrak neurtzea da. Erresistentzia-patroia mutur finkoen artean konektatuko dugun erresistentzia aldakorra izango da. Horrela, bere balioa ezaguna izango da (ezaugarri-xaflan agertzen dena). Neurtzera goazen erresistentzia, aldiz, mutur aldakorren artean konektatuko dugu. Haren balioa lortzeko 5.5 eta 5.6 ekuazioak erabiliko ditugu.

Kontuan hartu behar duzue, batez ere 5.6 eskeman, korronte maximo bat jasateko eraikita daudela erresistentziak eta hori baino handiagoa den korrontea erresistentziazatik igaroz gero erre litekeela; beraz, konektatu baino lehen kalkulatu zein den aplikatu dakioken tentsiorik altuena.

Erresistentzia ezezagun baten balioa neurtuko dugu tentsio-konparazioaren eta korronte-konparazioaren bidez. Hori egin eta gero, Kirchhoff-en bi legeak betetzen diren zehaztuko dugu neurketa-tresnak irakurriz eta 5.1 eta 5.3 ekuazioak erabiliz.

4.2. MATERIALA

2 voltmetro: _____

3 amperometro: _____

1 erresistentzia-patroi: _____

Neurketarako erresistentzia aldakorra: _____

Korronte zuzeneko elikadura-sistema: _____

EROALE BATEN ERRESISTENTZIA: TENPERATURAREKIKO ALDAKUNTZA

Eroale baten erresistentziak adierazten du eroale horrek korrante elektrikoaren zirkulazioari nolako traba egiten dion. Egoera gehienetan balio konstantetzat hartzen dugu eroale horren erresistentziaren balioa. Baina eroale ohikoenak zirkuituko tentsio zein korrontearen mende ez daudela esateak ez du esan nahi beste baldintza fisiko batzuen mende ez daudenik edo eroale berezien erresistentzian tentsioak eraginik ez duenik. Izan ere, erresistentziaren balioa zenbait faktore fisikorekin batera aldatzen da; besteak beste, presioaren, maiztasunaren eta, batez ere, tenperaturaren arabera.

Gauzak horrela, galdera batzuk bururatu dakizkiguke:

- *Nolakoa da faktore horien eragina?*
- *Eroalearen egoera ezagututa (presioa, maiztasuna, tenperatura...), aurreikus al dezakegu erresistentziaren balioa?*
- *Ba al daukate aldakuntza horiek aplikazio erabilgarririk industrian edo sistema elektrikoetan?*
- *Magnitude fisiko horiek neurtzeko baliagarria izan daitezke erresistentzien neurketak?*

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

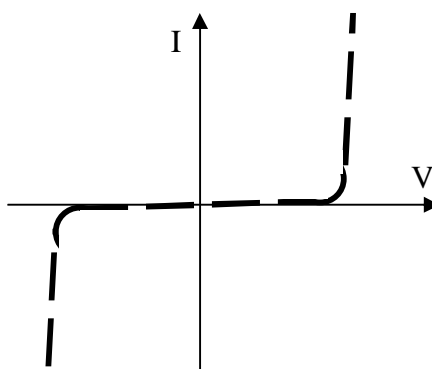
- Burdina mugikorreko eta koadro mugikorreko tresnak bereizten.
- Materialen erresistibitatea tenperaturarekin nola aldatzen den.
- Propietate horrek industrian zer aplikazio dituen.
- Zer den PT100 eta zertarako erabiltzen den.
- Zer diren supereroaleak.

1- SARRERA

Esan dugunez, material baten erresistibitatea ez da balio absolutu bat, material horren egoeraren funtzioa baizik. Erabilitako materialaren arabera, eroale baten erresistentzia tentsioarekin, presioarekin, tenperaturarekin edo argiarekin batera aldatuko da. Aldakuntza hori oso txikia da batzuetan, eta konstantetzat hartzen ditugu erresistentzia horien balioak, baina besteetan nahiko nabaria da, eta ezin dugu mespretxatu.

Horrela, material egokia erabiliz gero, magnitude fisiko horien funtzio diren balio aldakorreko erresistentziak lor ditzakegu. Propietate horretaz baliatuz, industriarako zenbait aplikazio garatu dira. Adibidez:

- Varistorea (VDR - *Voltage dependet resistor*). Elementu horren erresistentzia tentsioarekin aldatzen da (6.1 irudia), eta tentsioaren balioa mugatzeko erabili ohi da. Izan ere, pizte-tentsioaren azpitik ez du ia aukerarik ematen korrontearen zirkulaziorako (oso erresistentzia handia), baina balio horren gainetik korrontea arin handitzen da, eta varistorearen borneen arteko tentsioa pizte-tentsioaren inguruko balioetara mugatzen da (erresistentzia askoz txikiagoa).



6.1 irudia. Varistorearen ezaugarria

- Foto-erresistentzia (LDR - *Light dependet resistor*). Elementu erdieeroale horren erresistentzia bere gainazala jotzen duen argi-intentsitatearen funtzio da. Argiaren intentsitatea handitzean elektroien energia altuagoa da. Horren ondorioz, elektroien gehiago askatzen dira, eta zelularen erresistentzia apaltzen da. Foto-erresistentziak argazki-kameretan argitasuna neurtzeko erabiltzen dira, adibidez.
- Estentsometroa edo galga estentsometrikoa. Kasu horretan, erresistentziaren balioa elementuaren luzerarekin batera aldatzen da. Horrela, konpresio- edo luzatze-indarrak jasotzean galgaren erresistentzia balio-tarte nahiko handietan alda daiteke modu ez-linealetan. Galga estentsometrikoak lurraren mugimendu sismikoak neurtzeko eta egituren dilatazioa kontrolatzeko erabiltzen dira, besteak beste.

Dena dela, balio aldakorreko erresistentziak erabiltzen dituzten aplikazio praktiko gehienak oinarritzen dira tenperaturak erresistibitatean duen eraginean. Eragin hori positiboa edo negatiboa izan daiteke. Lehen motako elementuetan erresistentzia tenperaturarekin hazten da. Hala gertatzen da kobreakin, PTC (*positive temperature coefficient*) erresistentziekin eta metal gehienekin. Bigarren motakoetan, berriz,

temperatura igotzean erresistentziaren balioa jaisten da. Hala gertatzen da erdieroaleekin, isolamenduekin edo NTC (*negative temperature coefficient*) erresistentziekin.

Metal gehienek kasuan erresistibitatea temperaturarekin handitzen da. Hau da, temperatura-koefiziente positiboa daukate. Gainera, temperatura-tarte zabal batean (aplikazio gehienetan erabiltzen diren temperaturretan ere) lineala izan ohi da erresistibitatearen temperaturarekiko aldakuntza hori.

Nolanahi ere, erresistibitatearen balioa temperaturarekin nola aldatzen den badakigu, informazio hori bi eratan erabil dezakegu prozesu praktikoetan:

- Elementu batek temperatura jakin batean zer erresistentzia duen jakinez gero, beste temperatura batean zer erresistentzia izango duen kalkulatu dezakegu.
- Elementu batek temperatura jakin batean zer erresistentzia duen jakinez gero, beste egoera batean zer erresistentzia duen neurtzen badugu, egoera horretan materiala zer temperaturatan dagoen kalkulatu dezakegu.

Lehenengo prozesua, adibidez, makina elektrikoek lan-egoerarako erresistentzia kalkulatzeko erabiltzen da. Izan ere, saiakuntzen bidez lortutako erresistentziaren balioa inguruko temperaturari dagokio (hotzetan), ez lan-egoerako temperaturari (berotan). Horrela, hotzetan lortutako balioa eta materialaren erresistibitateko ezaugarri termikoa ezagututa, funtzionamenduko temperaturan zer erresistentzia izango duen kalkulatu dugu.

Bigarren planteamendua zunda termikoetan (adibidez, PT100, PTC edo NTC) eta pirometro optikoetan aplikatzen da.

Zunda termikoak oso erabiliak dira kontrol- edo babes-sistemetan; esate baterako, makina elektrikoek harilketako eta kojinetetako temperatura neurtzeko. Kasu horietan, zunda harilketaren barruan edo kojinetekin kontaktuan jartzen da, eta haren erresistentzia neurtzen da. Horrela, lortutako erresistentzia zundaren ezaugarri-kurban sarturik, babesten den elementuaren temperatura ezagutu dugu.

Pirometro optikoak oso temperatura altuko aplikazioetan erabiltzen dira, non ezinezkoa baita inolako kontaktu fisikorik izatea. Adibidez, labeetan prozesatzen diren metalen temperatura neurtzeko. Kasu horretan, pirometroari aplikatzen zaion tentsioa aldatuz, pirometroaren temperatura ere aldatzen da, eta, temperaturarekin batera, baita erresistentziaren balioa eta pirometroaren harizpiaren kolorea ere. Horrela, harizpiaren kolorea metalarena bezalakoa denean, biek temperatura bera izango dute. Orduan, pirometroaren erresistentzia neurtuko dugu, eta, balio hori ezaugarri-kurban sartuz, harizpiaren eta materialaren temperatura kalkulatu dugu.

Azkenik, supereroaleen kasua aipatu beharra dago. Azaldu dugunez, material askoren erresistibitatea temperaturarekin hazten da. Beraz, temperaturak behera egiten duenean, material horien erresistibitatea txikiagoa izango da. Baina, noraino irits daitezke? Erresistentzia nuluko eroaleak lor daitezke? Zer temperaturatan?

Hau da supereroaleen esanahia. Supereroale bakoitzak temperatura kritiko bat dauka. Temperatura kritiko horren gainera eroale arrunten antzeko ezaugarri elektrikoak dituzte, baina temperatura horren azpitik oso erresistibitate txikia dute (ia nulua). Temperatura kritikoak oso baxuak dira, eta orain arte ez da lortu giro-temperaturan lan egiten duen supereroalerik. Izan ere, aleazio zeramikoek bidez, $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ inguruko temperatura kritikoak lortzeraino heldu dira. Gaur egun, supereroaleak zirkuitu elektronikoak fabrikatzeko edo

eremu magnetiko handiak sortzeko (esate baterako, lebitazioren bidezko abiadura handiko trenetan edo partikula-azeleragailuetan) erabiliak dira.

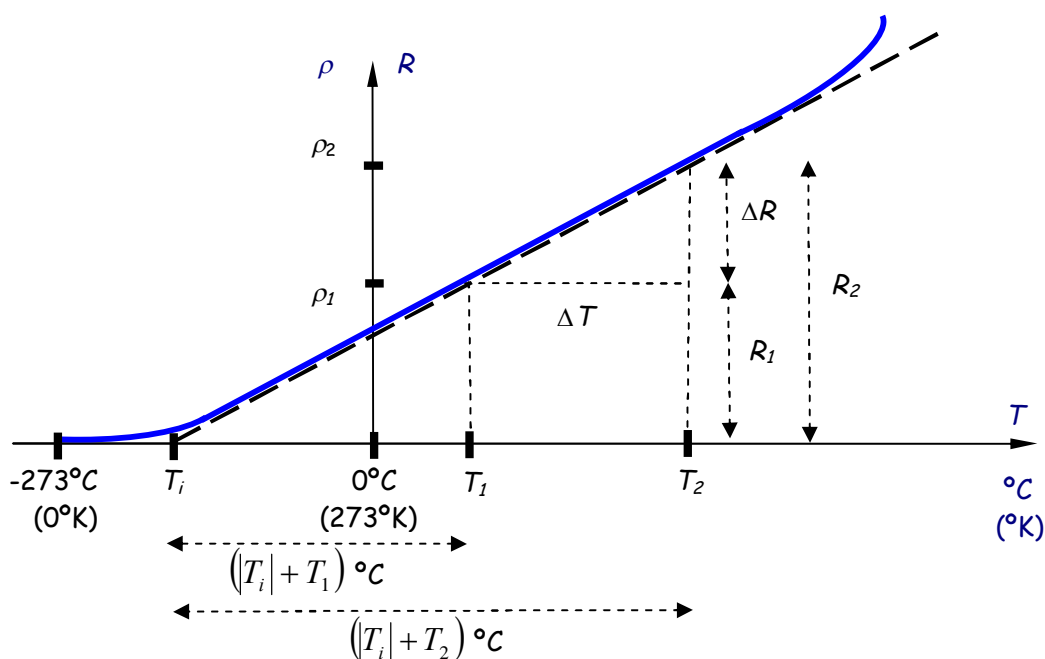
2- OINARRI TEORIKOA

Esperimentalki ikus daitekeen bezala, kobreak eta metalezko eroale gehienetan erresistibitatea temperaturarekin batera handitzen da, eta 6.2 irudian adierazitako kurbaren moduko aldakuntzari jarraitzen dio. Noski, eroale bakoitzak bere grafikoa izango du, erresistibitatea substantziaren arabera baita

Bestalde, eroale baten erresistentzia materialaren erresistibitatearen (ρ), luzeraren (l) eta sekzioaren (S) funtzio da:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad \Omega \quad (6.1)$$

Lehenengoa erabilitako materialaren ezaugarria da, eta, ikusi dugunez, temperaturaren arabera. Azken biak, berriz, elementuaren eraikitze-ezaugarriak dira, eta eskuarki konstante irauten dute. Beraz, eroale horren erresistentzia ere temperaturaren mende egongo da, eta erresistibitatearen aldakuntzak kurba berari jarraituko dio beste eskala batean.



6.2 irudia. Eroale baten erresistentzia temperaturaren funtzioan

Eroalearen erresistentzia eta temperatura lotzen dituen erlazioa lineala ez izan arren, temperatura-tarte zabal batean linealtzat har daiteke errore handirik gabe. Egia esateko, giro-temperaturaren inguruan (elektrizitatean 20 °C hartzen da erreferentzia moduan), eta aplikazio normaletan erabiltzen diren temperaturetarako, ardatz horizontala T_i

temperaturaren ebakitzaren duen zuzen baten bidez ordeztu dezakegu esperimentalki lortutako kurba.

Horrela, $T_i T_1 R_1$ eta $T_i T_2 R_2$ triangeluak alderatuz zuzen horren ekuazioa lor dezakegu; temperatura tarte horretarako, temperaturarekiko erresistentziaren aldakuntza adierazten duen funtzio lineala, hain zuzen ere.

$$\frac{R_2}{|T_i| + T_2} = \frac{R_1}{|T_i| + T_1} \quad \rightarrow \quad R_2 = R_1 \cdot \frac{|T_i| + T_2}{|T_i| + T_1} \quad \Omega \quad (6.2)$$

Modu horretan, eroale baten materiala (beraz, T_i) eta temperatura jakin batean daukan erresistentzia (T_1 eta R_1) jakinda, beste temperatura batean zer erresistentzia edukiko duen kalkulatu dezakegu (6.2) adierazpenaren bidez. Oro har, erreferentziazko temperatura gisa (T_i) giro-temperatura hartzen da, hau da, erresistentzia hotzetan.

Eroalea kobrea estandarrezkoa bada, T_i temperatura $-234,5$ °C-koa da. Beraz, aurreko adierazpena honela aplikatuko dugu:

$$\text{Kobreak:} \quad R_2 = R_1 \cdot \frac{234,5 + T_2}{234,5 + T_1} \quad \Omega \quad (6.3)$$

Askotan, materialen ezaugarri-kurba zehazteko, T_i temperatura barik, erresistentziako koefiziente termikoa (α) ematen da. Koefiziente hori erreferentziazko temperaturaren funtzio da, eta honela definitzen da:

$$\alpha_{T_1} = \frac{1}{|T_i| + T_1} \quad 1/^\circ\text{C} \quad (6.4)$$

Orain, koefiziente berri horrekin lan egiteko, eroalearen erresistentzia eta temperatura lotzen dituen erlazioa beste era batean adieraziko dugu. Horretarako (6.2) adierazpenetik abiatuko gara.

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{|T_i| + T_2}{|T_i| + T_1} = R_1 \cdot \frac{|T_i| + T_2 + T_1 - T_1}{|T_i| + T_1} = R_1 \cdot \left[1 + \frac{T_2 - T_1}{|T_i| + T_1} \right] \quad \Omega$$

Beraz,

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{T_1} \cdot (T_2 - T_1)] = R_1 \cdot [1 + \alpha_{T_1} \cdot \Delta T] \quad \Omega \quad (6.5)$$

Erresistentziako koefiziente termikoak (α) hainbat balio izan ditzake eroalearen materialaren edo ezarritako tratamenduaren arabera. Gainera, erreferentziazko temperatura ere kontuan izan beharko dugu. Beraz, eroale konkretu batekin kalkuluak egitean, haren ezaugarri zehatzak erabili beharko ditugu. Dena dela, kalkulu arruntenak egitean, gehienetan nahikoa izango dugu balio hurbilekin. Adibide gisa, 6.1 taulan zenbait elementuren ezaugarriak adierazi dira: T_i temperaturaren modulua eta α koefiziente termikoa (erreferentziazko temperatura 20 °C-koa izanik).

Orduan, kobrea estandarrezko eroale batean:

$$\text{Kobreak:} \quad \alpha_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{234,5 + 20} = 0,00393 \quad 1/^\circ\text{C} \quad (6.6)$$

Eta:

$$\text{Kobreak:} \quad R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{20^\circ\text{C}} \cdot (T_2 - 20)] = R_1 \cdot [1 + 0,00393 \cdot \Delta T] \quad \Omega \quad (6.7)$$

6.1 taula. Erresistentziako koefiziente termikoa (20 °C)

Materiala	$ T_i $ (°C)	$\alpha_{20^\circ C}$ (1/°C)
Kobre estandarra (Cu)	234,5	0,00393
Kobre suberatua	240	0,00385
Hotzetan luzatutako kobrea	242	0,00382
Aluminio estandarra (Al)	228,1	0,00403
Zilarra (Ag)	243	0,0038
Urrea (Au)	274	0,0034
Nikela (Ni)	147	0,006
Burdina (Fe)	162	0,0055
Eztainua (Sn)	218	0,0042
Wolframioa (W)	188,3	0,0048
Nikelina (CuNi 30 Mn)		≈ 0.00015
Manganina (CuMn 12 Ni)		≈ 0.00002
Konstatana (CuNi 44)		≈ 0.000008

Taula horretan, elementu arrunten artean oso koefiziente termiko txikiko aleazio bereziak agertzen dira (nikelina, manganina eta konstatana). Horien koefiziente termikoa hain txikia denez, aleazio horien erresistentzia ez da ia aldatzen temperaturarekin. Argi ikusten dugu, (6.5) adierazpena material horietarako aplikatuz gero.

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{T_1} \cdot \Delta T] = R_1 \cdot [1 + 0,000008 \cdot \Delta T] \approx R_1 \Omega \quad (6.8)$$

Horregatik, horrelako materialak doitasun handiko neurgailuetan erabili ohi dira, edo, temperatura oso aldakorra izan arren, erresistentzia konstantea behar den aplikazioetan.

Bestaldetik, (6.5) adierazpena eroale baten temperatura kalkulatzeko ere erabil daiteke. Horretarako, T_2 temperatura bakandu, eta erreferentziazko temperatura gisa T_1 hartuko dugu.

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{T_1} \cdot \Delta T] \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1 + \frac{1}{\alpha_{T_1}} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \quad (6.9)$$

Horrela, koefiziente termikoa eta erreferentziazko erresistentzia ezagututa, eroale horren temperatura kalkula dezakegu edozein egoeratan. Horretarako, eroalearen erresistentzia neurtu eta (6.9) adierazpena aplikatzea baino ez daukagu.

Azkenik, eroale batek bi temperaturatan duen erresistentzia ezagutuz gero, eroale horren materialak zer koefiziente termiko duen ere kalkula dezakegu. Koefiziente hori hartuko dugun erreferentziazko temperaturarako izango da, eta (6.5) adierazpenetik α bakanduz lortuko dugu.

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{T_1} \cdot \Delta T] \quad \rightarrow \quad \alpha_{T_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \Delta T} \quad (6.10)$$

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. PT-100

Praktika honetan, simulazioaren bidez, PT-100 zunda termikoaren funtzionamendua aztertuko dugu. PT-100 platinozko harilez egindako tenperatura-sentsorea da, industrian aplikazio askotan erabilia; besteak beste, talde oleo-hidraulikoko edo transformadoreko olioaren tenperatura neurtzeko. Horretarako, haren atal aktiboa tankeen barruan sartzen da, olioarekin kontaktuan egon dadin. PT-100 zundaren platinozko harila oso mehea da, eta material isolatzaileen geruzen artean harilkatua eta estaldura zeramiko batez babestua dago.



6.3 irudia. PT-100 zunda termikoak

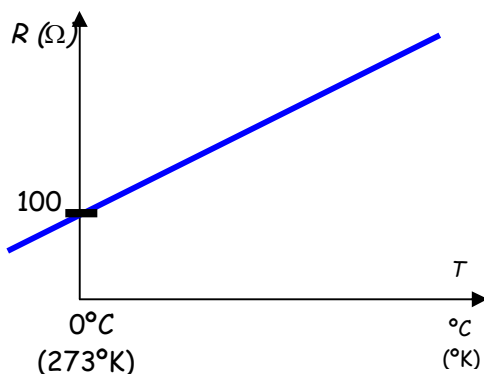
PT-100 zundaren erresistentzia tenperaturarekin linealki aldatzen da, neurketa-tartearen barruan (modeloaren arabera, $-200\text{ }^\circ\text{C}$ -tik $+800\text{ }^\circ\text{C}$ -ra bitartean), eta $0\text{ }^\circ\text{C}$ -an $100\ \Omega$ -eko erresistentzia dauka (6.4 irudia). Hau da, (6.5), (6.9) eta (6.10) adierazpen orokorrek adierazpen hauek hartuko dituzte, erreferentzia hori hartzean.

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{T_1} \cdot (T_2 - T_1)] = 100 \cdot [1 + \alpha_{0^\circ\text{C}} \cdot T_2] \ \Omega \quad (6.11)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{1}{\alpha_{T_1}} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) = \frac{1}{\alpha_{0^\circ\text{C}}} \cdot \left(\frac{R_2}{100} - 1 \right) \quad (6.12)$$

$$\alpha_{0^\circ\text{C}} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{R_2 - 100}{100 \cdot T_2} \quad (6.13)$$

Non T_2 tenperatura $^\circ\text{C}$ -tan agertuko baita.



6.4 irudia. PT-100 zundaren ezaugarri-kurba

Horrela, zundaren koefiziente termikoa (α) ezagututa, tenperatura jakin nahi izanez gero, egoera horretako erresistentzia neurtu eta (6.12) adierazpena aplikatuko dugu.

3.2. SIMULAZIOA

Simulazio-praktika honetan aztertuko dugun PT-100 zundaren ezaugarri tekniko garrantzitsuenak 6.2 taulan adierazten dira. Koefiziente termikoa zundaren ezaugarrietako bat den arren, hemen ez da jaso, zeren praktika honen helburuetako bat parametro hori kalkulatzeko baita.

6.2 taula. PT-100 zundaren ezaugarri teknikoak

Sentsore mota	Platinozko erresistentzia
Erreferentzia	100 Ω 0 °C-an
Neurketa-tartea	0-400 °C
Doitasuna	0,5 °C
Elikatze-tentsioa	24 Vdc

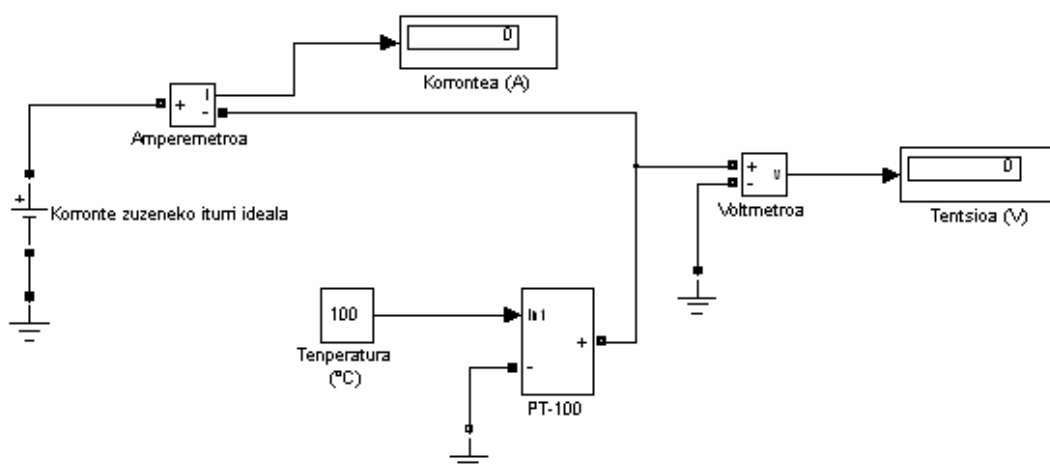
Simulazioak egiteko, lehenik eta behin 6.5 irudian agertzen den zirkuitua egingo dugu. Horretarako, elementu hauek erabiliko ditugu:

- PT-100 zundaren modeloa. Modelo hori oso sinplifikatua da. Zundaren erresistentziaren oinarritzko portaera baino ez da simulatzen. Hau da, tenperaturarekin aldatzen den erresistentzia modelatzen da, eta tentsio jakin bat aplikatzean dagokion korranteak zirkulatuko du. Zundaren modeloa /work/pt100.mdl fitxategian aurkituko duzue. Handik kopiatu ezazue zuen fitxategian.

Modelo honek hiru konexio dauka:

- In1: simulatuko den tenperatura (°C)
- +: elikatzearen borne positiboa
- -: elikatzearen borne negatiboa

- Korrante zuzeneko iturri ideala: elementu honekin zundaren erresistentzia elikatuko dugu, tentsio egokia erabiliz (*SimPowerSystems / Electrical Sources / DC Voltage Source*). Tentsioa zehazteko, blokearen gainean klik bikoitza egin, eta agertuko den taulan tentsioaren anplitudea zehaztuko dugu.
- Amperemetroa: zundaren erresistentziatik zirkulatzen duen korronea neurtzeko (*SimPowerSystems / Measurements / Current Measurement*).
- Voltmetroa: zundaren erresistentziak jasaten duen tentsioa neurtzeko (*SimPowerSystems / Measurements / Voltage Measurement*).
- Bi pantaila: amperemetroan eta voltmetroan hartutako neurriak irakurtzeko (*Simulink/Sinks/Display*).
- Konstante bat: simulatutako prozesuaren tenperatura adierazteko (*Simulink/Sources/Constant*).



6.5 irudia. PT-100 zundarekin saiakuntzak egiteko modelo

Behin zirkuitua amaituta, prozesu honi jarraituko diogu:

1. Zundaren koefiziente termikoa kalkulatu dugu. Horretarako, (6.13) adierazpena erabiliko dugu. Beraz, saiakuntza bakar bat nahikoa izango da (0 °C-an egiten ez badugu, noski). Dena dela, praktika honetan bi saiakuntza egingo ditugu:
 - a. Lehenengoa PT-100 zundaren erreferentziazko tenperaturari egingo dugu (0 °C-an). Beraz, tenperaturaren blokean klik bikoitza egin ondoren, 0 idatziko dugu, eta balioa onartu ostean simulazioari ekingo diogu. Horrela, pantailetan neurtutako balioekin erreferentziazko tenperaturari dagokion erresistentzia kalkulatu dugu ($R_1 = V_1 / I_1$). Noski, balio hori 100 Ω-ekoa izango da.
 - b. Bigarrena, benetan beharrezkoa, neurketa-tartean dagoen beste tenperatura baterako egingo dugu (T_2). Eta aurreko kasuan bezala jokatu, bigarren tenperatura horri dagokion erresistentzia (R_2) lortuko dugu.

Azkenik, lortutako balioak (6.13) adierazpena eramanda, zundaren erresistentziako koefiziente termikoa kalkulatu dugu.

2. Behin koefiziente termikoa jakinda, errealitatean gertatzen den egoera aztertuko dugu. Hau da, nola neurtzen da temperatura? Horretarako, prozedura honi jarraituko diogu:
 - a. Neurketa-tartean dagoen hirugarren temperatura bat aukeratuko dugu.
 - b. Simulatuko dugun temperatura ezagutzen dugunez (errealitatean ezezaguna da, noski), PT-100 zunda erabili baino lehen, simulazioaren bidez lortu beharko den erresistentziaren balioa aurreikusiko dugu. Horretarako, (6.11) adierazpena aplikatuko dugu.
 - c. Azkenik, aukeratutako temperaturarekin simulazioa egingo dugu, eta bertan neurtutako balioekin temperatura horri dagokion erresistentzia kalkulatu dugu, Ohm legea aplikatuz. Balio horrek aurreko pausoa lortutako bera izan behar du. Amaitzeko, erresistentziaren balio hori (6.12) adierazpenean sartuz, erabilitako temperatura lortuko dugu.

3.3. GALDERA HAUEI ERANTZUN

- Zer da zunda termiko bat?
- Zer esan nahi du PT100ek? Zein da halako elementu baten ezaugarri-kurba?
- Zein dira wolframaren propietate fisikoak?
- Lor ezazu (0,0) puntutik igarotzen ez den eta malda positiboa duen zuzen baten ekuazioa, alderatu (6.5) ekuazioarekin, eta azaldu zer den α koefizientea.
- Laborategi batean transformadore batekin saiakuntza arautuak egin dira. Horrela, ikusi da haril primarioaren erresistentzia 1Ω -ekoa dela. Haril hori kobre estandarrez eginda dagoela jakinda eta laborategiko giro-tenperatura 20°C -koa izanik, kalkulatu funtzionamenduko temperaturari dagokion erresistentziaren balioa. Funtzionamenduko tenperatura 75°C -koa dela joko da.

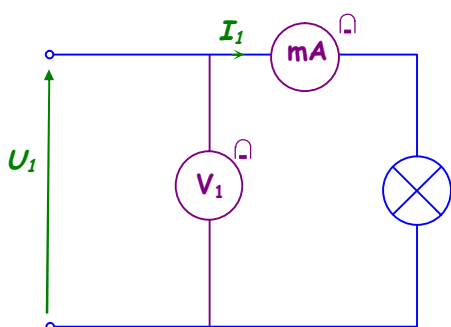
4- LABORATEGIAN

Laborategian egingo dugun praktikaren helburua da goritasun-lanpara baten harizpiaren funtzionamendu-tenperatura zein den jakitea. Hau da, pirometro optikoekin edota PT-100 zundarekin egiten den moduan, erreferentziazko tenperaturarako erresistentzia ezagututa (hau da, hotzetan), lanpara piztuko dugu, funtzionamendu-baldintza izendatuetan erresistentzia neurtzeko (berotan), eta, hala, funtzionamendu-tenperatura kalkulatu dugu.

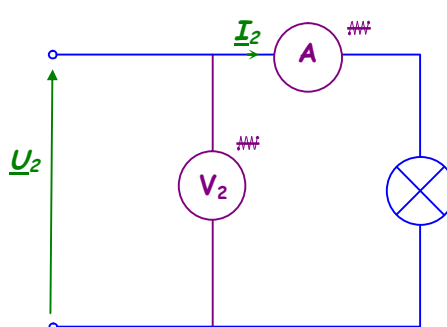
Goritasun-lanpara egina dago hutsa egin zaion anpulu batez, eta barnean, gehienetan, wolframezko harizpi bat izaten du. Funtzionamendu-printzipioa oso sinplea da: lanpara potentzial-diferentzia baten mende jartzean harizpitik zehar korrante elektriko bat igarotzen da; horrek harizpia berotzen du, hura energia argi eta bero gisa igortzeko gai den punturaino.

4.1. PRAKTIKA

Lehenengo, hotzetan aztertuko dugu lanpara; hau da, giro-tenperaturan egon beharko du. Horretarako, laborategian lanpara piztu gabe behar beste denbora egongo da, laborategiko tenperaturara girotu arte. Gero, hotzetan deituriko muntaketa egingo da. Horretarako, lanpara volt gutxiko (1-5 V-eko) elikadura-iturri bati konektatuko zaio, eta neurriak jasoko dira, 6.6 irudiaren arabera. Ez da lanpara piztu beharko; bestela, harizpia berotu, eta saiakuntzak ez luke balioko. Hori egin eta gero, berotan egingo da saiakuntza. Horretarako, lanpara tentsio izendatuari konektatuko zaio, eta neurriak hartuko dira 6.7 irudiaren arabera.



6.6 irudia. Muntaketa «hotz»etan



6.7 irudia. Muntaketa «bero»tan

Ohm legea aplikatuz, saiakuntza horietan lortutako neurketek eskertu, harizpiak bi egoeratan zer erresistentzia duen lortuko dugu: hotzetan (erreferentziazkoa: R_1) eta berotan (R_2).

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad \text{eta} \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad (6.14)$$

Azkenik, (6.9) adierazpena erabiltzea baino ez dugu, harizpiaren funtzionamendu-tenperatura (T_2) kalkulatzeko. Hor, saiakuntzen bidez lortutako erresistentzien balioez

gain, giro-tenperatura (erreferentziazko egoerakoa, T_1 alegia) eta harizpiaren koefiziente termikoa ezagutu behar ditugu. Giro-tenperatura laborategiko termometro batekin neurtuko dugu, eta wolframeko koefiziente termikoa 6.1 taulan aurkituko dugu.

4.2. MATERIALA

- 1 miliamperometro: _____
- 1 voltmetro (V_1): _____
- 1 amperometro: _____
- 1 voltmetro (V_2): _____
- 1 goritasun-lanpara: _____
- 1 bateria edo 1 elikadura-iturri: _____

KIRCHHOFF-EN LEGEAK KORRANTE ALTERNOAN: KARGA MONOFASIKO BATEN POTENTZIA AKTIBOA ETA $\cos\varphi$ ZEHAZTEA

Askotan etxeko entxufe batean tresna bat baino gehiago konektatzen ditugu, lapur baten bidez. Ziur zaude ondo jokatzeko dutuzula? Ba al dakizu zenbait sute entxufeetako gaitzespenak pizten dituzten zirkuitulaburrekin hasten direla? Nola jakin entxufeko korrante maximoa gainditzen ez dela?

Bestaldek, gure etxeetan daukagun tentsio-mailak konstantea izan behar du. Baina, gure etxea eraldatze-zentroarekin lotzen den lineatik korrante aldakorak zirkulatzen du (une bakoitzean konektatzen diren kargen arabera, hain zuzen ere). Eta horren ondorioz linean jausten den tentsioa ez da konstantea. Zenbatekoa izan behar du transformazio-zentroko tentsioak gure etxekoa konstantea izateko? Nola jakin transformazio-zentroan jarri beharreko tentsioaren balioa?

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

- Kirchhoff-en legeak korrante alternoko zirkuituetan aplikatzen.
- Zer neurri duen burdina mugikorrenko instrumentu batek.
- Serie-zirkuitu bakun baten diagrama bektoriala egiten.
- Zirkuitu paralelo bakun baten diagrama bektoriala egiten.
- Egoera egonkorrenko zirkuituak simulazioaren bidez ebazten.

1- SARRERA

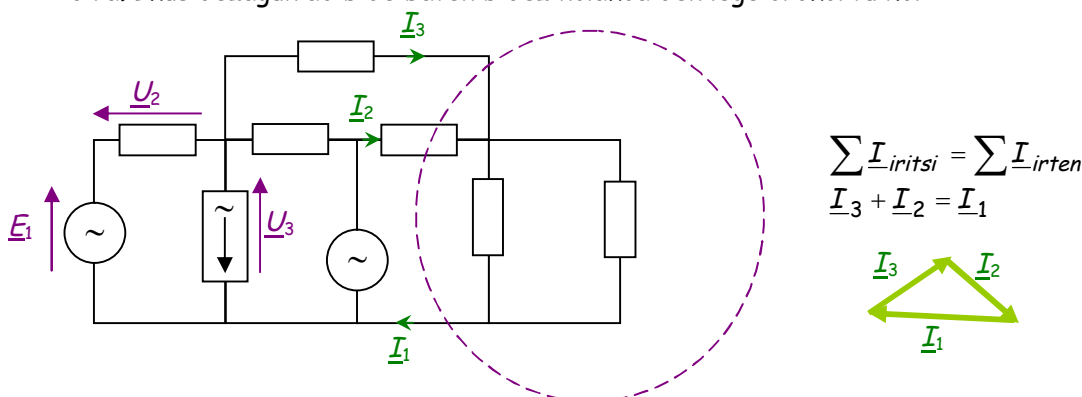
Aurreko praktika batean Kirchhoff-en bi legeak aztertu ditugu korronte zuzenean. Lege horiek edozein motatako korronterako baliagarriak dira. Eta orain korronte alferno sinusoidalera enuntziatuko ditugu, korronte alfernoan fasoreak erabiliko ditugula kontuan harturik.

1.1. KIRCHHOFF-EN LEHENENGO LEGEA

Korapilo batera iristen diren korronte-intentsitateen batura eta korapilotik irteten direnena berdina da. Horrela da, baita ere, korronte alfernorako, baina batuketa egiten denean fasoreen batuketa egin behar dugu. Fasoreak bektoreak direnez, bektore-batuketa egin behar da, modulu eta angelu kontuan hartuz, alegia.

$$\sum \underline{I}_{iritsi} = \sum \underline{I}_{irten} \quad (7.1)$$

Lege hori orokortu egin daiteke. Korapilo batean aplikatzeaz gain, zirkuitu baten eskualde batera zabandu daiteke. Eskualdea zirkuituaren eremu itxi bat izango da, ebakidura-talde ere deitua. Eta legea modu berdinean enuntziatu egiten da: *Ebakidura-talde batera iristen diren korronte-intentsitateen bektore-batura eta korapilotik irteten direnena berdina da*. Ikus dezagun adibide baten bidez nolako den lege orokortu hori:



7.1. irudia. Kirchhoff-en lehenengo lege orokortua

Horrela, entxufe batean konektatzen ditugun tresnen korronteak ezagutzuz gero, kalkulu erraz baten bidez entxufetik irteten den korrontea estima dezakegu:

$$\underline{I}_{Entxufe} = \sum \underline{I}_i \rightarrow |\underline{I}| < \sum |\underline{I}_i|$$

Ikusten dugunez, tresna guztiek xurgatzen dituzten korronteen moduluak batuz gero entxufetik errealtatean zirkulatzen duen korrontea baino handiagoa lortzen da. Horrela, kalkulu erraz hori egitean ziurtasun-koefizientea ere sartzen dugu. Tresnen potentzia bakarrik ezagutzuz gero, kalkulu hori bera egin dezakegu, potentzia-faktorea estimatuz.

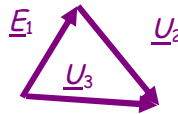
1.2. KIRCHHOFF-EN BIGARREN LEGEA

Eratzun batean tentsio guztien batura zero da (tentsioen zeinuak kontuan hartuz). Lehenengo legearekin gertatzen zen modu berean, oraingoan berdin enuntziatzen da korrante alternorako, baina kontuan izan beharoko dugu tentsioak bektoreak izango direla moduludunak eta argumentudunak, eta, beraz, bektore-batuketak egin beharoko ditugu.

$$\sum_{\text{guztiak}} \underline{U} = 0 \quad (7.2)$$

7.1 irudian Kirchhoff-en bigarren legea aplikatzen badugu, ezkerreko sarean hauxe dugu:

$\underline{E}_1 = \underline{U}_2 + \underline{U}_3$ bektoreen batura denez:

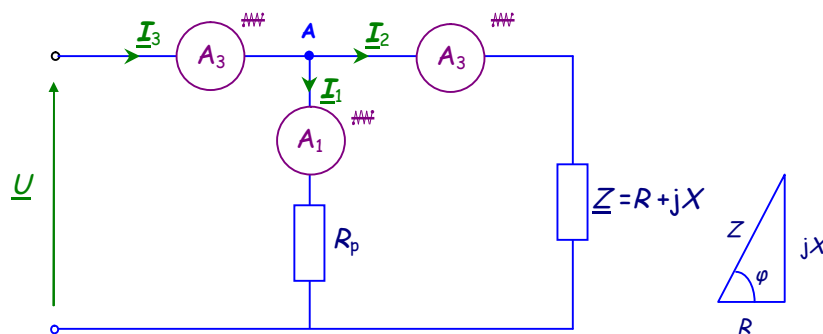


2- OINARRI TEORIKOA

Osagai erresistiboa eta osagai induktiboa dituen \underline{Z} inpedantzia batez eta erresistentzia-patroi batez eratutako serie-zirkuituak eta zirkuitu paraleloak erabiliko ditugu, hurrenez hurren.

2.1. KIRCHHOFF-EN LEHENENGO LEGEA

Kirchhoff-en lehenengo legea erabiliz eta haren adierazpen bektorialean oinarrituz, karga batek xurgatutako potentzia aktiboa eta kargaren angeluaren kosinua zehaztuko ditugu. Erresistentzia-patroi bat (R_p) eta neurtu nahi dugun inpedantzia (\underline{Z}) paraleloan konektatuko ditugu. Inpedantziak baliatzen duen potentzia eta potentzia-faktorea ezagutu nahi dira.



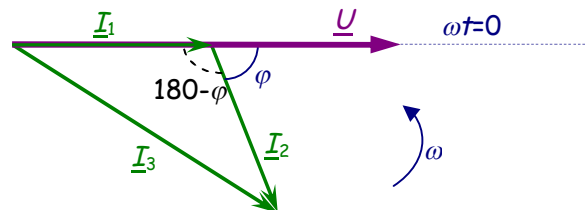
7.2 irudia. Kirchhoff-en lehenengo legea

Kirchhoff-en lehenengo legea 7.2 irudiko A korapiloan aplikatzen badugu:

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$$

Kirchhoff-en lehenengo legea grafikoki adierazten badugu, korranteen triangelua lortuko dugu. Erreferentzia gisa elikadura-tentsioa (\underline{U}) hartuko dugu; hau da, faseen jatorrian irudikatuko da.

\underline{I}_1 erresistentzia-patroiaren zeharreko korronea denez, \underline{U} -rekiko fasean dago, eta horrela irudikatu da. \underline{I}_2 intentsitatea \underline{Z} inpedantziatik zehar igarotzen den korronea da, eta, karga induktiboa duenez (osagai irudikaria, positiboa), faseen jatorriarekiko φ atzerapen-angelua osatuko du. 7.3 irudian, Kirchhoff-en lehenengo legea irudikatu da, $\underline{I}_3 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$, eta bektoreen batuketa grafikoa egin:



7.3 irudia. A korapiloko Kirchhoff-en lehen legearen adierazpen bektoriala

Potentzia aktiboa kalkulatzeko, hiru intentsitatek osatzen duten triangeluan aplikatutako kosinuaren teorematik¹ abiatuko gara:

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 - 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(180 - \varphi)$$

Baina $\cos(180 - \varphi) = -\cos \varphi$

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$$

Beste alde batetik, Ohm legea aplikatzen badugu erresistentzia-patroian:

$$I_1 = \frac{U}{R_p} \quad \text{balio hau aurreko adierazpenean ordeztuz :}$$

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot \frac{U}{R_p} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$$

Adierazpen horri arretaz begiratzuz gero, ikusiko dugu \underline{Z} kargak erabilitako potentzia aktiboa ageri dela:

$$P = U \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$$

Horrela:

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot \frac{P}{R_p}$$

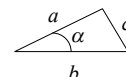
Eta, azkenik, P -ren balioa ekuazioan ebatziz gero:

$$P = \frac{(I_3^2 - I_1^2 - I_2^2) \cdot R_p}{2} \quad (7.3)$$

Potentzia aktiboa ezagutzeko, azken adierazpen hori erabiliko dugu. I_1 , I_2 eta I_3 izango dira A_1 , A_2 eta A_3 amperometroek, hurrenez hurren, emandako neurriak; balio efikazak edo bektoreen moduluak, alegia.

¹ Kosinuaren teorema: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$

Pitagoras-en teorema da, angelua 90° -koa denerako.



Kargaren $\cos\varphi$ ere lor daiteke muntaketa honen bidez, izan ere:

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{I_3^2 - I_1^2 - I_2^2}{2 \cdot I_1 \cdot I_2}$$

$$\cos\varphi = \frac{I_3^2 - I_1^2 - I_2^2}{2 \cdot I_1 \cdot I_2} \quad (7.4)$$

Potentzia aktiboa eta potentzia-faktorea ezagutzeko, azken adierazpen horiek erabiliko ditugu. I_1 , I_2 , eta I_3 izango dira A_1 , A_2 eta A_3 amperemetroek, hurrenez hurren, emandako neurriak, balio efikazak edo bektoreen moduluak, alegia.

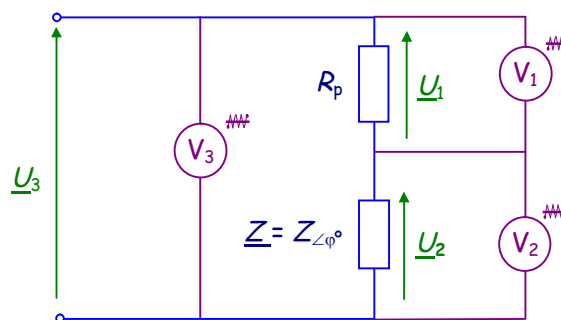
Metodo honetan, instrumentuek (amperemetroek) zenbait errore sartzen dituzte korronteak neurtzean. Eta azken adierazpenean korronteak ber bi daudenez, guztizko errorea ohikoa baino handiagoa izango da. Beraz, kontu handia eduki beharko dugu neurriak hartzeko orduan, eta amperemetro bakoitza ondo izendatu.

Hala ere, errore hori murrizteko metodo bat badago: \underline{Z} kargaren moduluaren balio ohmiar bereko erresistentzia-patroi bat erabiltzea; horrela, \underline{I}_1 eta \underline{I}_2 oso antzekoak izango dira, eta haien arteko kendura ia nulua.

2.2. KIRCHHOFF-EN BIGARREN LEGEA

Kirchhoff-en bigarren legea eta tentsioen bektore-baturaren adierazpena ere erabil daiteke, lehen inpedantzia batek xurgatutako potentzia aktiboa eta karga horren potentzia-faktorea ($\cos\varphi$) zehazteko.

\underline{Z} inpedantzia erresistentzia-patroi batekin seriean konektatzean sortzen den serie-zirkuituan oinarritzen da metodoa. Beste edozein bide itxitan bezala, serie-zirkuitu honetan ere, Kirchhoff-en 2. legea bete beharko da (ikusi 7.4 irudia).



7.4 irudia. Kirchhoff-en bigarren legea

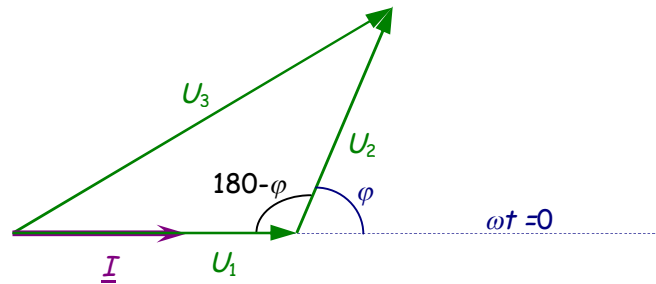
$$\underline{U}_3 = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$$

Kontuan hartu \underline{U}_1 -en eta \underline{U}_2 -ren arteko batura geometrikoaz ari garela. Faseen jatorrian oraingoan \underline{I} korrontea hartuko dugu, eta badakigu, kargen izaera dela eta, \underline{U}_1

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

korronearekiko fasean egongo dela eta U_2 korronearekiko aurreratuta (φ angeluko desfasearekin), induktiboa dela jotzen bada.

Kirchhoff-en bigarren legearen adierazpen horri dagokion diagrama bektoriala (bektore-batuketara grafikoki eginda) honako hau izango da:



7.5 irudia. Kirchhoff-en bigarren legearen bektoreen diagrama

Behin diagrama bektoriala marraztuta, kosinuaren teorema aplikatuko dugu. Teoremak hauxe dio:

$$U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \cos(180 - \varphi)$$

Baina $\cos(180 - \varphi) = -\cos \varphi$

eta beraz $U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \cos \varphi$

Azkenik:

$$\cos \varphi = \frac{(U_3^2 - U_1^2 - U_2^2)}{2 \cdot U_1 \cdot U_2} \quad (7.5)$$

U_1 , U_2 eta U_3 balioak izango dira V_1 , V_2 eta V_3 voltmetroek, hurrenez hurren, emandako balioak.

Diagrama bektoriala erabil daiteke, kargak kontsumitutako potentzia aktiboa zehazteko edo $\cos \varphi$ kalkulatzeko.

$$U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \cos \varphi$$

$$U_1 = R_p \cdot I \quad \text{denez} \rightarrow U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot R_p \cdot I \cdot U_2 \cdot \cos \varphi$$

$$\text{gainera} \quad I \cdot U_2 \cdot \cos \varphi = P \rightarrow U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot R_p \cdot P$$

Eta azkenik:

$$P = \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2 \cdot R_p} \quad (7.6)$$

Sortzen diren erroreak, aurrekoan bezala, txikiak izango dira, baldin eta erresistentzia-patroiaren balioa kargaren moduluaren balio berekoa bada.

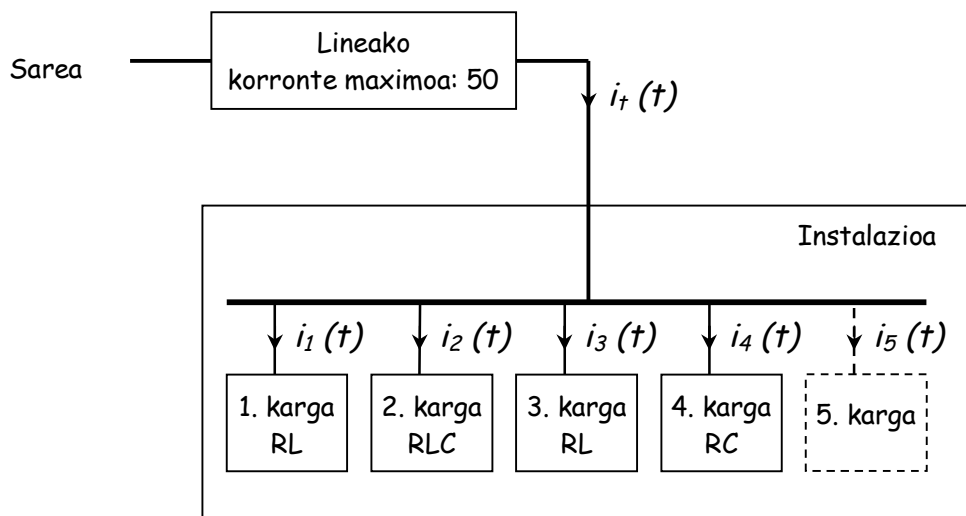
3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. SIMULAZIOA

Praktika honetan, Kirchhoff-en legeak korrante alternoko zirkuituetan aztertuko ditugu. Horretarako, instalazio elektriko monofasiko baten elikadura-linearen kapazitatea aztertuko dugu, lege horiek aplikatuz. Izan ere, instalazioaren karga aldatzean linea horretatik zirkulatzen duen korrantea nola aldatuko den aztertuko dugu, baita linean bertan jausten den tentsioa ere.

3.1.1. Kirchhoff-en lehenengo legea

Praktika honetan 7.6 irudiko instalazio monofasikoa simulatuko dugu. Instalazio horretan lau karga ditugu, eta sareko konexio-puntura linea baten bidez konektatzen da. Linea horren kapazitate maximoa 50 A-ekoa da. Gainera, instalazioaren handiagotzea dela eta, bosgarren karga bat agertzen da eskema horretan.



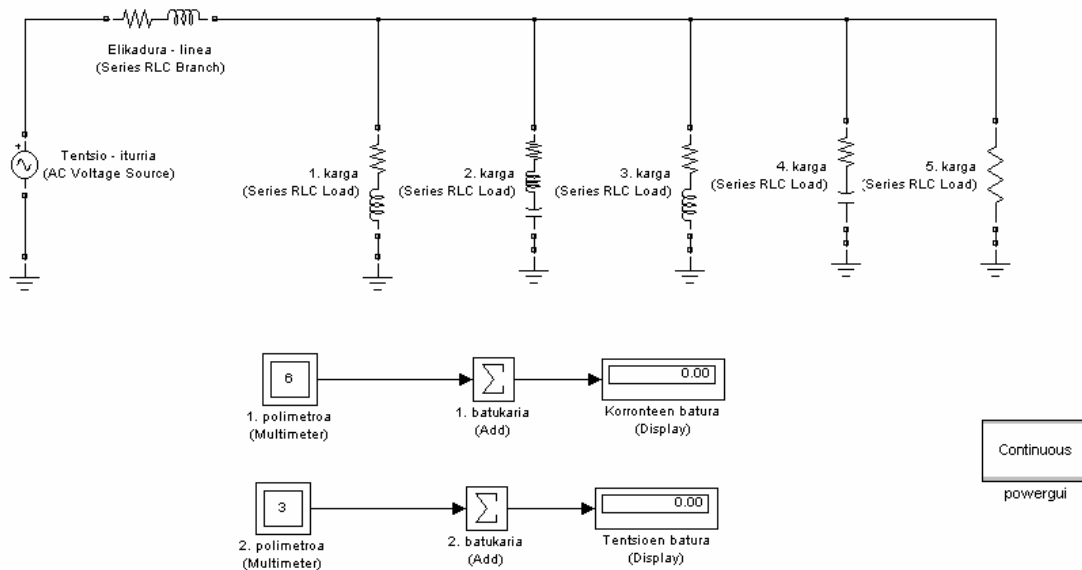
7.6 irudia. Instalazioaren eskema elektrikoa

a) Lortu zirkuituaren modeloa

Instalazio horren funtzionamendua simulatzeko, 7.7 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan honako elementu hauek agertzen dira:

- Korrante alternoko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / AC Voltage Source*). Iturri horrekin potentzia infinituko sarea (220 V eta 50 Hz) simulatuko dugu. Elementu horren ezaugarri-taulan tentsioa neurtzeko markatuko dugu.

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea



7.7 irudia. Instalazioaren funtzionamendua simulatzeko modeloa

- Linea (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*). Tentsio baxuko linea honetan ez dugu kapazitatea kontuan edukiko ($C = \text{inf}$). Gainera, lehen simulazio horietan linea ideala dela joko dugu (adibidez, $R = 1e-6$ eta $L = 0$). Hor ere, tentsioa eta korronea neurtuko ditugu.
- Kargak (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Load*). Elementu hau aurrekoa bezalakoa da. Baina kasu honetan, kargaren inpedantzia definitu beharrean, potentziak zehaztu behar dira; hau da, tentsio izendatuarekin elikatuz gero, zenbateko potentzia aktibo zein erreaktiboak xurgatuko dituen. Kasu honetan, honako karga hauek erabiliko ditugu:
 - o 1. karga: 220 V, 1 kW eta 1.2 kvar induktibo.
 - o 2. karga: 220 V, 5 kW, 3 kvar induktibo eta 500 var kapazitibo.
 - o 3. karga: 220 V, 500 W eta 1 kvar induktibo.
 - o 4. karga: 220 V, 1.3 kW eta 200 var kapazitibo.
 - o 5 karga: ezezaguna. Azpialtal bakoitzean kalkulatu da.

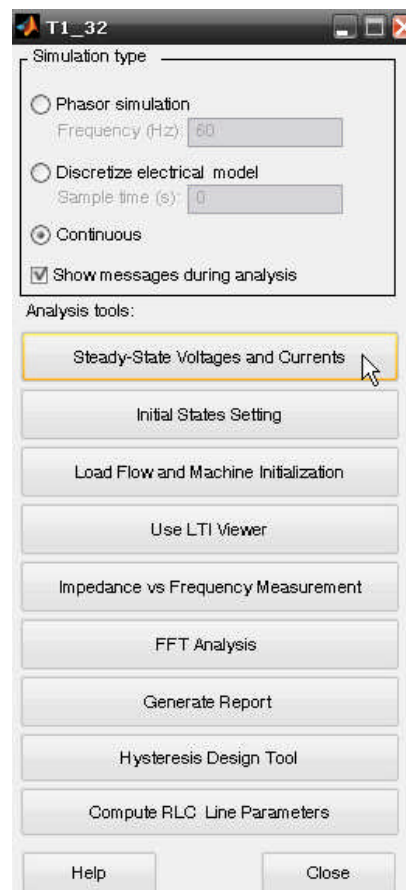
Karga guztien ezaugarri-taulan korronea neurtzeko adieraziko dugu, eta horietako batean tentsioa ere erregistratuko da.

- Bi pantaila (*Simulink/Sinks/Display*).
- Bi polimetro (*SimPowerSystems / Measurements / Multimeter*). Polimetro batean korroneak neurtuko ditugu (lineakoa eta karga bakoitzekoa), eta besterekin sistemako tentsioak (sarekoa, linean jausten dena eta kargek jasaten dutena).
- Bi batukari (*Simulink / Math Operations / Add*). Elementu honek sarrerako seinaleen batuketa edo kenketa egiten du. Elementuaren taulan agertzen den *List of signs* izeneko eremuan 1 idazten badugu, sarrerako bektorearen elementu guztien batura ematen du irteeran.

Gure kasuan, Kirchhoff-en legeak egiaztatzeko erabiliko ditugu. Hau da, lehenengo legea: $i_7(t) - i_1(t) - i_2(t) - i_3(t) - i_4(t) - i_5(t) = 0$ (edo: $-i_7(t) + i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + i_4(t) + i_5(t) = 0$) eta bigarren legea: $u_{sarea}(t) - u_{Linea}(t) - u_{Karga}(t) = 0$. Beraz, zeinua ere kontuan eduki beharko dugu. Horregatik, polimetroetako magnitudeak aukeratzeko magnitude batzuei zeinua aldatu beharko diegu. Bestela, polimetroen irteerako bektoreak desegin eta batuketan batukari bakoitzaren zeinua adierazi beharko dugu.

Polimetroen neurketak aldiuneko balioak direnez, batukari horietan Kirchhoff-en legeak une guztietan betetzen direla egiaztatuko dugu.

- *Powergui (SimPowerSystems / powergui)*. Elementu hau zirkuitu baten modeloan sartuko dugu (edozein lekutan eta konektatu barik, polimetroa bezala), eta, besteak beste, zirkuitu baten erregimen egonkorra kalkulatzeko erabil daiteke. Horrela, *Powergui* elementuaren gainean klik bikoitza egitean, 7.8 irudiko taula agertuko zaigu. Han, *Steady-State Voltages and Currents* botoia sakatuz, zirkuituan neurtzen diren tentsio eta korronteen balioak (modulua eta fasea) kalkulatzeko dira erregimen egonkorreko (7.9 irudia).

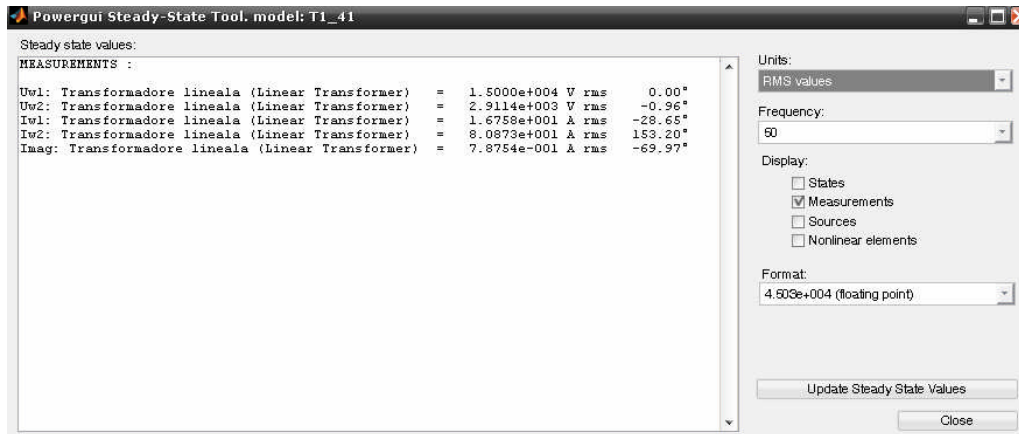


7.8 irudia. *Powergui* elementuaren aginte-taula

7.9 irudiaren eskuinaldean zenbait aukera ditugu. Horrela, erregimen egonkorreko magnitudeen balioak nola ikusi nahi ditugun adierazi beharko dugu *Units* menuan: balio efikazak (*RMS values*) edo balio maximoak (*Peak values*). Era berean, zirkuitu batean hainbat maiztasunetako iturriak izanez gero, neurtuko diren magnitudeen maiztasuna ere zehaztu beharko dugu *Frequency* laukian.

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

Bestalde, zirkuituan zer edo zer aldatzen bada, erregimen berriaren magnitudeak kalkulatzeko *Update Steady State Values* botoia sakatuko dugu. Edozein kasutan, *powergui* elementu berezi honek ez ditu kalkulatzeko zirkuituaren tentsio eta korrante guztiak. Polimetroekin gertatzen den bezala, magnitude bat bakarrik agertuko da, baldin eta zirkuituan neurtzekoa dela adierazi badugu (neurgailuen bidez edo elementuen ezaugarri-taulen barruan).



7.9 irudia. Erregimen egonkorreko tentsio eta korranteen balioak

b) Zehaztu simulazioaren parametroak

Praktika honetan egingo ditugun simulazioek 4 s iraungo dute (*Stop time*). Gainerako parametroak 3. praktikan erabilitakoak izango dira (ikusi 3.18 irudia).

c) Egin simulazioak eta aztertu emaitzak

Praktika honetan honako hau egingo dugu simulazioen bidez:

1. 5. karga konektatu gabe, egiaztatu Kirchhoff-en lehenengo legea betetzen dela. Horretarako:
 - a. Simulazioa abian jarri, eta erabili lehen polimetroaren irteerarekin egiten den batuketa (hau da, denboran zeharreko batuketa).
 - b. Hartu *powergui* elementuak emandako emaitzak, eta aplikatu lege hori balio fasorialekin.
 - c. Kalkulatu kargen korranteen moduluen batura, eta konparatu balio hori guztizko korrantearekin (lineakoarekin).
 - d. Irudikatu korranteen bektore-diagrama.
2. Instalazioa handitzen bada eta karga berri hori (5. karga) erresistibo hutsa bada:
 - a. Kalkulatu zein izan daitekeen karga erresistibo horren potentzia handiena, lineako intentsitate maximoa gainditu gabe.
 - b. *powergui* elementuak emandako emaitzak erabiliz, egiaztatu Kirchhoff-en lehenengo legea orain ere betetzen dela.
 - c. Irudikatu korranteen eta tentsioen bektore-diagrama.
3. Berdin, karga berria induktibo hutsa bada.
4. Berdin, karga berria kapazitibo hutsa bada.

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

3.1.2. Kirchhoff-en bigarren legea

a) Lortu zirkuituaren modeloa

Bigarren simulazio honetan 7.7 irudiko modelo bera erabiliko dugu. Baina kasu honetan elikadura-linea errealak izango da. Hau da, linearen inpedantzia ez da nulua izango (adibidez, lineako inpedantzia $0,5+j \Omega$ -ekoa dela jotzen bada). Horren ondorioz, korrontearen zirkulazioak tentsio-jausia eragingo du elikadura-linean, eta sareko tentsio osoa ez da iritsiko instalazioaren kargetaraino.

Gainera, instalazioan aurreko atalean kalkulaturako karga berria ere sartuko dugu. Beraz, karga horren balioa zehazteaz gain, linearen ezaugarriak bakarrik aldatuko ditugu sistemaren modelan. Gainerako elementuak berdin utziko ditugu.

b) Zehaztu simulazioaren parametroak, egin simulazioak eta aztertu emaitzak

Simulazio-parametroak aldatu gabe, prozesu honi ekingo diogu:

1. Karga berria erresistibo hutsa izanda (aurreko atalean lineako korrante maximoarena):
 - a. Egiaztatu Kirchhoff-en bigarren legea betetzen dela. Horretarako, simulazioa abian jarri, eta erabili bigarren polimetroaren irteerarekin egiten den batuketa (hau da, denboran zeharreko batuketa).
 - b. Zehaztu instalazioko kargek jasaten duten tentsioa.
 - c. Hartu *powergui* elementuak emandako emaitzak, eta aplikatu Kirchhoff-en legeak balio fasorialekin.
 - d. Batu kargetako tentsioaren modulua eta linean jausten den tentsioarena. Alderatu balio hori sareko tentsioarekin.
 - e. Irudikatu tentsioaren eta korronteen bektore-diagrama, eta justifikatu kargetako tentsioaren balioa.
 - f. Zehaztu sareko tentsioa, instalazioko kargetan beren tentsio izendatua (220 V) izan dezan. Tentsio horrekin, irudikatu tentsio eta korronteen bektore-diagrama berria
2. Berdin, karga berria induktibo hutsa bada (aurreko atalean lineako korrante maximoarena).
3. Berdin, karga berria kapazitibo hutsa bada (aurreko atalean lineako korrante maximoarena).

3.2. HONAKO GALDERA HAUEI ERANTZUN

- Instalazio bat linea erreal baten bidez konektatzen da tentsio konstanteko sare batekin, zeren funtzioa da instalazio horren sarreran dagoen tentsioaren balioa?
- Kirchhoff-en legeak aplika al daitezke inoiz magnitudeen moduluak bakarrik erabiliz?

4 - LABORATEGIAN

4.1. PRAKTIKA

Laborategian bi muntaketa egingo ditugu. 7.2 irudiko eta 7.4 irudiko eskemak muntatuko dira, Kirchhoff-en legeak betetzen diren ala ez egiaztatzeko. Ikusiko dugu, zirkuitua korrante alferkoz elikatuta dagoenean, Kirchhoff-en legeak izaera bektoriala duela, eta, beraz, bektoreekin egin behar dela lan. Horretaz gain, bektore-diagrama eta instrumentuen irakurketak erabiliko ditugu, zeharkako metodoen bidez, karga batek xurgatutako potentzia aktiboa (P) eta haren potentzia-faktorea ($\cos\phi$) lortzeko.

Arreta handiarekin identifikatuko ditugu instrumentuak bi muntaketetan. Muntaketak egiteko modu egokiena honako hau da:

Amperemetroena: lehenengo, A_1 eta A_3 amperemetroak dituzten adarrak seriean muntatu, eta, gero, A_2 amperemetroa duen adarra sartu, paraleloan hirugarren adarrarekiko.

Voltmetroena: R_p , Z serie-zirkuitua muntatuko da, eta elementu bakoitzarekin paraleloan voltmetro bat jarriko da. R_p -rekiko paraleloan dagoen voltmetroari V_1 deituko diogu; V_2 , Z -rekiko paraleloan konektatutakoari, eta V_3 , guztizko potentzial-diferentzia neurtzen duenari.

Behin hori egin eta gero, aparatuak irakurri, eta (7.3), (7.4), (7.5) eta (7.6) adierazpenak aplikatzea baino ez da falta.

4.2. MATERIALA

3 amperemetro (A_1, A_2, A_3)

3 voltmetro (V_1, V_2, V_3)

1 erresistentzia-patroi

1 karga induktibo

HARILEN AUTOINDUKZIO-KOEFIZIENTEA LORTZEA SAIAKUNTZEN BIDEZ: JOUBERT METODOA ETA METODO INDUSTRIALA

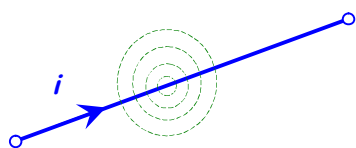
Motor baten edo harilak dituen edozein makinaren aurrean gaudenean, batzuetan jakin behar izaten dugu makina horren harilek zer autoindukzio-koefiziente duten, gero zirkuitu baliokideak eraikitzeko. Saiakuntza honetan bi metodo erabiliko ditugu harilen L-ak zehazteko: Joubert metodoa eta metodo industrialak. Berez, zeharkako metodoak dira biak, eta badaude laborategietan doitasun-maila handiagokoak; horiek industria-giroan erabiliko dira gehienbat.

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

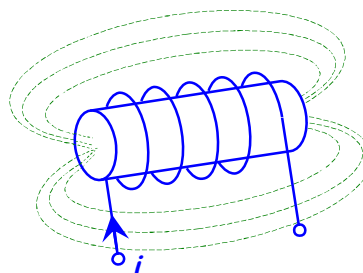
- Nukleo ferromagnetikoa duen haril baten zirkuitu baliokidea identifikatzen.
- Airezko nukleoa duen haril erreal baten zirkuitu baliokidea identifikatzen.
- Zirkuitu baliokidearen osagaiak zer diren, eta zirkuitu baliokidean horiek duten eragina balioesten.
- Frekuentzimetroa identifikatzen eta konexioak egiten.
- $\cos\varphi$ baxuko wattmetroa identifikatzen, konektatzen eta konstantea lortzen.
- Potentzia aktiboa eta erreaktiboa korrante alternoko zirkuituetan simulazioaren bidez kalkulatzeko.

1- SARRERA

Hari eroale batetik zehar korrante elektrikoa zirkulatzen duenean eroale horren inguruan fluxu magnetiko bat sortzen da. Fluxu-lerroak eroalearen plano zut batean dauden eroalearekiko zirkunferentzia ardazkideak izango dira. Fluxu horren indarra handitu daiteke haria kiribilduz. Baina fluxu-lerroek beste itxura bat izango lukete, 8.1.b irudikoa, hain zuzen ere. Bi kasuetan, eremu magnetikoaren noranzkoa finkatzeko, Anpereren eskuin-eskuko legea erabili beharko da.



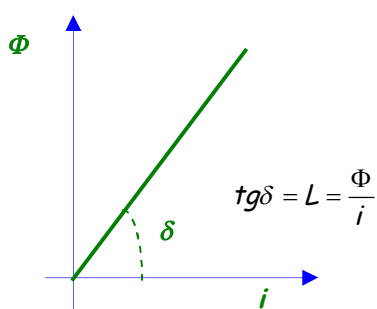
8.1a irudia. Fluxu-lerroak eroale zuzenetan



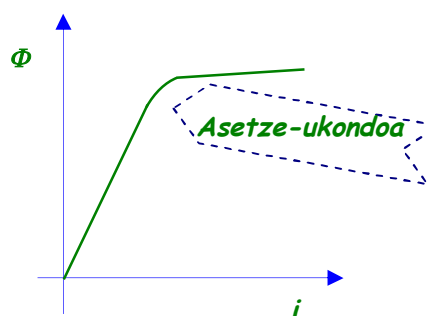
8.1b irudia. Fluxu-lerroak hariletan

Harilaren euskarria material ferromagnetiko batez eginda badago gainera, fluxu-lerro gehiago ezarriko dira eta eremu magnetiko sendoagoa edukiko dugu. Hori da, hain zuzen ere, haril baten funtzionamenduaren oinarria.

Hariletik zehar zirkulatzen duen korrontearen neurria eta ezarriko den fluxuaren arteko erlazioa lineala da haril linealetan —airezko nukleoa duten hariletan, alegia—. Material ferromagnetikoz (batik bat burdinaz) egindako hariletan, aldiz, ez da lineala izango, material magnetikoa «ase» egiten baita. Hau da, material ferromagnetikoak garraia dezakeen fluxua neurri batera mugatua dago, hortik aurrera (asetze-ukondotik aurrera) ezingo du fluxu askoz gehiago garraiatu, eta korrante handia behar da fluxua pixka bat handitzeko (ikusi 8.2.b irudia).



8.2a irudia. Fluxu/korrante kurba airezko nukleoa duen harilean



8.2b irudia. Fluxu/korrante kurba nukleo ferromagnetikoa duen harilean

Grafikoetatik fluxuaren eta korrontearen arteko erlazioa zehaztu liteke. Erlazio hori magnitude bat da: **harilaren autoindukzio-koefizientea** eta horren bidez harila karakteriza dezakegu. Haril linealetan beti balio bera edukiko du, baina haril ez-linealetan ez du konstante iraungo, grafikoaren malda aldakorra baita.

$$L = \frac{\Phi}{i} \quad (8.1)$$

Hala ere, 8.2 irudietan ikus daitekeenaren arabera, airezko nukleoa duten hariletan fluxuaren eta korrontearen arteko erlazio hori lineala da; L konstantea, beraz. Baina baita burdinazko nukleoa duten hariletan ere eremu zabal batean, asetze-ukondora heldu aurretik, behinik behin.

Guk saiakuntza honetan autoindukzio-koefizientea konstante hartuko dugu beti, harilak airezko nukleoa eduki zein burdinazko nukleoa eduki; izan ere, hurbilketa hori guztiz zilegi da ase gabeko nukleoei buruz ari garenean.

Aipatutako harilaren autoindukzio-koefizientea, eraikitze-ezaugarrien arabera emanda dator:

$$L = \mu \frac{s \cdot N^2}{l} \quad (8.2)$$

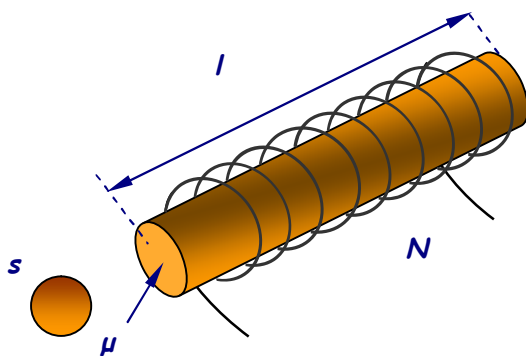
μ : harilaren nukleoaren iragazkortasun magnetikoa

s : nukleoaren sekzioa

N : harilaren espira kopurua

l : nukleoaren luzera

Eta nazioarteko sisteman Henry-tan neurtzen da.



8.3 irudia. Harilaren eraikuntza-parametroak

Erraz ikusten da 8.2 ekuazioan L magnitudean eragin handiena daukana espira kopurua dela, eta gainerako parametro guztiak nukleo magnetikoari dagozkiola: izaera (μ), luzera (l) eta sekzioa (s).

Egiten ari garen harilaren azalpen labur honetan aipatzekoak dira, orobat, harilean ditugun energia-erlaketak. Izan ere, hariletan energia eraldakuntza gertatzen da beste edozein elementu elektrikotan bezala. Harila energiaren hornitzailea da energia elektriko gisa ($W = \frac{dp}{dt} = \frac{d(ui)}{dt}$). Hornitutako energia horren zatirik handiena eremu magnetikoa sortzeko erabiltzen da. Baina bada energiaren atal bat erabilgarria ez dena, galeren bidez xahutzen dena, bero gisa barreiatu egingo dena. Xahututako energia horren zati bat kobreak gertatzen diren Joule efektuagatik galerak dira. Beste atal bat, aldiz, izango dira burdina gertatzen diren Foucault-en galerak eta histeresi-galerak. Burdina gertatzen

diren galerak bero gisa ere barreiatzen dira, eta material magnetikoan fluxua ezartzean gertatzen diren fenomeno fisikoek eragiten dituzte. Materialean denboran zehar aldakorrek diren fluxuen ezarpenek eragiten dituzten korrante induzituek sortuak dira Foucault-en galerak. Izan ere, Faraday-ren legearen arabera, fluxu magnetiko aldakorrek material eroaleetan (kasu honetan burdinan) fluxu-aldaketaren kontra eragingo duten korranteak sorraraziko dituzte galera horiek. Korrante horiek energia-kontsumo bat izango dute, bero gisa barreiatuko dena. Zenbat eta maiztasun handiagoko korranteaz elikatu harila, orduan eta galera handiagoak izango dira.

Histeresi-galerak materialaren magnetizazioak burdinaren kristalezko egituraren eragiten dituen aldaketetan dauka jatorria. Izan ere, esan liteke burdina iman txiki batzuek osatuta dagoela: eremu magnetikoz edo eskualde magnetikoz. Kristal horiek eremu magnetiko baten barruan sartzean eremu nagusi horren arabera orientatuko dira. Eremuaren noranzkoa aldatzen bada, berriz, kristalek orientazioa aldatuko dute burdinaren egituraren barnean biratuz. Noranzko-aldaketa etengabe horrek eskualde magnetikoen arteko marruskadura eragingo du, eta, horren ondorioz, energia barreiatuko da bero gisa. Eremuaren noranzko-aldaketa fluxuaren maiztasunaren arabera da, eta fluxuaren maiztasuna elikadura-korrantearen maiztasunaren berbera da. Beraz, elikadura-korrantearen maiztasunaren arabera izango dira galera horiek ere: zenbat eta maiztasun handiagoko korranteaz elikatu harila, orduan eta galera handiagoak.

2- OINARRI TEORIKOA

2.1. HARIL ERREALEN ZIRKUITU BALIOKIDEA

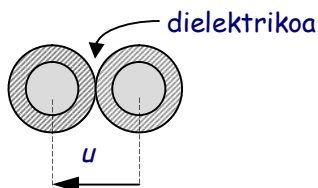
Haril erreal batean gertatzen diren fenomeno fisiko guztiak aztertu behar ditugu, haril horren zirkuitu elektriko baliokidea lortzeko. Aurreko praktiketan harila elementu ideal gisa hartu dugu, non efektu magnetikoa bakarrik gertatzen baitzen. Baina, zinez, hori idealizazio bat baino ez da.

Sarreran ikusi dugu nola eraikitzen den haril erreal bat eta orain ikusiko dugu zein diren harilean gertatzen diren fenomeno fisiko guztiak, eta nola ordeztu daitezkeen elementu elektriko idealen bidez zirkuitu elektriko baliokidea osatzeko.

- Eremu magnetikoaren sorrera. Hura elektrikoki L balioko autoindukzioa duen haril baten bidez ordeztuko dugu. Autoindukzio-koefiziente horren balioa 8.2 formularen arabera lortuko da.
- Harilean kobreak gertatzen den tentsio-jausia eta Joule galerak. Bi fenomeno horiek kobreak erresistentziarekin ordeztuak dira (R_{Cu}). Tentsio-jausi bat eragiten dutenez harilarekiko seriean jarriko ditugu. Erresistentziaren balioa kuantifikatzeko, $R = \varphi_{Cu} \cdot \frac{l}{S}$ formula erabiliko dugu.
- Ondoan dauden espiren artean gertatzen den efektu kapazitiboa. Izatez oso balio txikikoa da, eta bata bestearen ondoan dauden espiren artean gertatzen da. Haien artean dielektriko-funtzioa betetzen duen isolatzailea dago. 8.4 irudian aldamenean

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

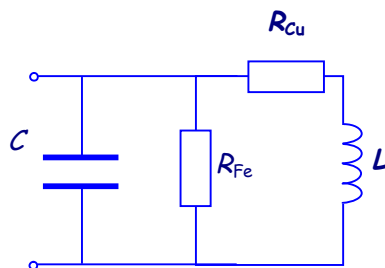
dauden bi espiren sekzioa irudikatu da (kondentsadorea ikus daiteke). Kondentsadorea (C) zirkuitu baliokidean aurreko bi elementuekiko paraleloan jartzen da, harilaren elikadura tentsioaren mendekoa delako. Zaila da kuantifikatzea efektu kapazitiboaren balioa, eta saiakuntza bidez egiten da.



8.4 irudia. Aldamenean dauden espiren arteko sekzioa. Efektu kapazitiboa

- Burdinan gertatzen diren galerak. Histeresi-galerak eta Foucault-en galerak bakarrik kontuan hartuak izango dira, korrante alternoz elikatzen denean harila. Eta handituko dira elikadura-korrontearen maiztasuna handitu ahala. Elektrikoki erresistentzia baten bidez (R_{Fe}) ordeztu daitezke, zeren azken batean galera horiek bero gisa xahutzen baitute energia, eta hori da, hain zuzen ere, erresistentzia batek eragiten duen efektu bera: energia elektrikoa bero bihurtu. Galerak bi kasuetan elikadura-tentsioaren eta maiztasunaren mende daudenez, efektu hori ordeztzen duen erresistentzia paraleloan jarriko da, kondentsadorea bezala. Burdinako galerak kuantifikatzeko formula enpiriko batzuk erabiltzen dira.

Honako hau izango da efektu horiek guztiak kontuan hartuko dituen zirkuitu baliokidea:



8.5 irudia. Haril errealararen zirkuitu baliokidea

Zirkuitu baliokide zehatz honetatik abiatuz zirkuitu baliokide hurbilduak eraiki daitezke.

Saiakuntza honetan horixe bera egingo dugu. Bi modelo baliokide hurbildu lortuko ditugu saiakuntzaren bidez.

Asko dira haril baten autoindukzio-koefizientea (L) zehazteko dauden metodoak. Doitasun-maila handia behar denean laborategietan, "zero"¹ metodoetan oinarrituriko prozedurak erabiltzen dira: Maxwell-en zubia, Wagner-en zubia, eta antzekoak.

Industria-eremuetan, aldiz, lantegi horietan erraz aurki daitezkeen tresna arruntak erabiliko dira, eta tresnen doitasun-klasearen arabekoak izango dira.

¹ Instrumentuaren orratzak zero markatzen duenean hartzen da neurria.

2.2. AIREZKO NUKLEOA DUTEN HARILEN ZIRKUITU BALIOKIDE HURBILDUA LORTZEA

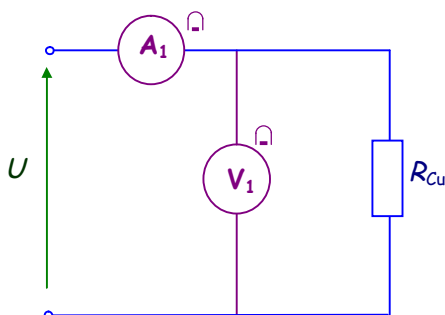
Joubert metodoa erabiliko dugu. Industrian erabiltzen den metodo horietako bat da. Metodo horrekin ez dira lortuko laborategietako metodoekin lortzen diren doitasun-mailak, baina harilak airezko nukleoa duenean nahiko onargarriak diren balioak lortuko ditugu.



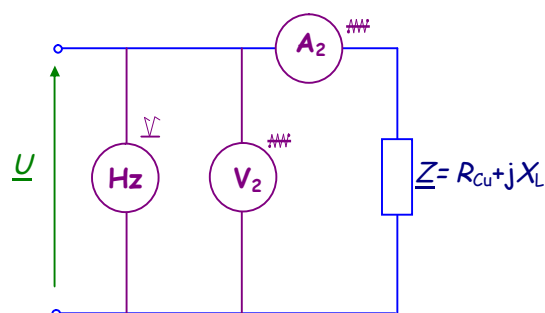
8.6 irudia. Nukleorik gabeko harilaren ZB

8.6 irudian airezko nukleoa duen haril baten zirkuitu baliokidea ikusten da. 8.5 irudiko zirkuitu baliokide zehatzaren kasu berezia da. Izan ere, nukleoa ferromagnetikoa ez duenez, ez daude burdinako galerak, eta zirkuitu baliokidean ez dago R_{Fe} erresistentzia. Bestetik, efektu kapazitiboa arbuia egin da, oso txikia delako gainerako efektuen aldean eta zaila delako zehazten.

Saiakuntzaren helburua izango da zirkuitu horren parametroak lortzea. Joubert metodoa Ohm legearen aplikazioan dago oinarrituta, eta bi saiakuntza egingo dira: bata korronte zuzenean (8.7 irudia) eta bestea altxanoan (8.8 irudia).



8.7 irudia. Joubert k.z. saiakuntza



8.8 irudia. Joubert k.a. saiakuntza

2.2.1. Korronte zuzeneko saiakuntza

Korronte zuzenean harilaren autoindukzio-koefizientea desagertzen da zirkuitu baliokidetik; izan ere, harilak korrante-aldaketa jasaten ez duten zirkuituetan etengailu itxien bidez ordeztu daitezke. Saiakuntza honen bidez, Ohm legea besterik gabe aplikatuz, harila eraikitzeke erabili den kobreakaren erresistentzia elektrikoaren balioa lortuko da (R_{Cu} , alegia).

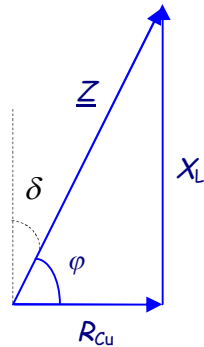
- Kobreakaren erresistentzia elektrikoa R_{Cu} :

$$R_{Cu} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{V_1}{A_1} \quad (8.3)$$

Deribazio laburra erabiltzen da, erresistentziaren balioa txikia delako.

2.2.2. Korrante alternoko saiakuntza

Haril errealari korrante alternoko bat aplikatzen zaionean, inpedantzia bat izango da: kobrearen erresistentzia, erreaktantzia induktibo batekiko seriean. Modu binomikoan adieraz daitezke horren balioa: $\underline{Z} = R_{Cu} + jX_L$, non $X_L = \omega \cdot L$ eta $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ egiaztatzen baitira. \underline{Z} inpedantziaren adierazpen bektoriala egiten badugu, 8.9 irudiko triangelu zuzena lortuko dugu:



8.9 irudia. Harilaren inpedantziaren osagaiak

8.7 irudiko eskeman, voltmetroa amperometroaz zatituz gero, \underline{Z} inpedantziaren modulua lortuko da, korrantearen eta tentsioaren balio efikazaren arteko zatidura baita:

$$\frac{V_2}{A_2} = \frac{U_2}{I_2} = Z \quad (8.4)$$

Inpedantzien triangeluan Pitagoras aplikatuz gero:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R_{Cu}^2}$$

$$\omega \cdot L = \sqrt{Z^2 - R_{Cu}^2}$$

eta $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ denez orduan:

- L autoindukzio-koefizientea honako adierazpenaren arabera emana dator:

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_2}{A_2}\right)^2 - \left(\frac{V_1}{A_1}\right)^2}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (8.5)$$

- Harilaren kalitate-koefizientea Q :

$$Q = \frac{X_L}{R} \quad \text{edo} \quad Q = \frac{\sqrt{Z^2 - R_{Cu}^2}}{R_{Cu}} \quad \text{izango da.}$$

Eta irakurketa-tresnen arabera jarri nahi izanez gero:

$$Q = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_2}{A_2}\right)^2 - \left(\frac{V_1}{A_1}\right)^2}}{\frac{V_1}{A_1}} \quad (8.6)$$

- Galeren angelua (δ) fase-anguluaren (φ -ren) osagarria izango da.

Zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta hobea izango da harila, eta adierazpen honen arabera enuntziatzen da:

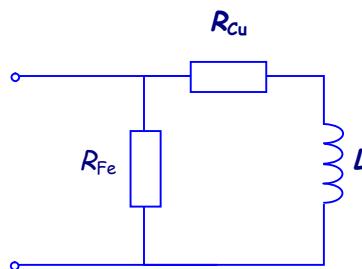
$$\operatorname{tg}\delta = \frac{R_{Cu}}{X_L} \quad \text{edo} \quad \operatorname{tg}\delta = \frac{\frac{V_1}{A_1}}{\sqrt{\left(\frac{V_2}{A_2}\right)^2 - \left(\frac{V_1}{A_1}\right)^2}} \quad (8.7)$$

$\operatorname{tg}\delta$ Q -ren alderantzizkoa da, eta, beraz, 8.7 adierazpena erabili beharrean beste hau ere erabil daiteke, galeren angeluaren tangentea lortzeko:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{Q} \quad (8.8)$$

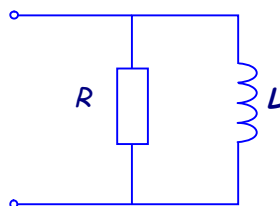
2.3. NUKLEO FERROMAGNETIKOA DUTEN HARILEN AUTOINDUKZIO-KOEFIZIENTEA LORTZEKO

Metodo industrialak deritzona aplikatuko dugu.



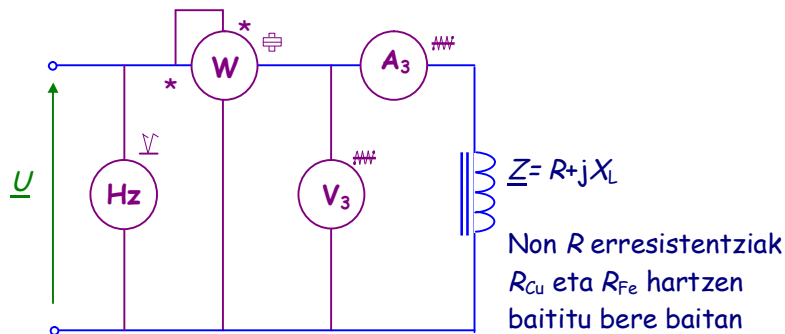
8.10 irudia. Nukleo ferromagnetikoa duen haril baten zirkuitu baliokidea

8.10 irudian ikusten den bezala, haril hauetan kobreaken galerez gain kontuan hartu beharko dira nukleo ferromagnetikoan agertzen diren histeresi-galerak eta Foucault-en galerak, horiek bero gisa degradatu egiten direnez, elektrikoki erresistentzia baten bidez ordeztzen dira harilaren autoindukzio-koefizientearekiko paraleloan (R_{Fe}). Orain, aurreko kasuan bezain erraza ez da izango inpedantziaren osagai erresistiboa lortzea, eta kontsumoetara jo behar dugu —hau da, harilak kontsumitutako potentzia aktiboa neurtzera—, zeren potentzia aktibo hori guztizko erresistentziak kontsumitutakoa izango baita. Hori dela eta, ezin dira banatu R_{Cu} eta R_{Fe} , eta, beraz, ezingo dugu lortu 8.10 irudiko zirkuitu baliokidea, baizik eta beste zirkuitu hurbildu bat non osagai erresistibo osoa L -rekiko paraleloan agertzen baita eta galera guztiak biltzen dituen erresistentzia bakarra izango baita (8.11 irudia).

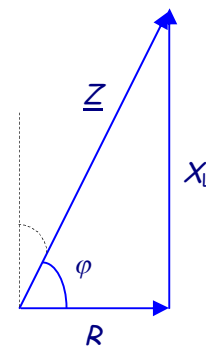


8.11 irudia. Metodo industrialaren bidez lortzen den zirkuitu baliokide hurbildua

Honako muntaketa hau egingo da, eta korrante alternoz elikatuko dugu:



8.12 irudia. Metodo industrialaren muntaketa



8.13 irudia. Harilaren inpedantzia

- Inpedantziaren balioa voltmetroa eta amperometroa irakurriz lortuko dugu (8.12 irudia):

$$Z = \frac{V_3}{A_3} \quad (8.9)$$

- Erresistentzia baliokidearen balioa (harila eta burdina-galerak) wattmetroaren eta amperometroaren bidez lortuko dira:

Potentzia $P = R \cdot I^2$ da, eta, beraz, $R = \frac{P}{I^2}$, non hau betetzen baita:

$$R = \frac{W}{A_3^2} \quad (8.10)$$

Z eta R ezagututa, X_L kalkula daiteke 8.13 irudiko triangeluan, Pitagoras aplikatuz:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad \text{eta beraz: } X_L = \sqrt{\left(\frac{V_3}{A_3}\right)^2 - \left(\frac{W}{A_3^2}\right)^2}$$

$X_L = L \cdot \omega$ denez eta $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ denez, non f sareko maiztasuna baita:

- L autoindukzio-koefizientea lortzeko, L ebaztea baino ez dugu aurreko adierazpenetik:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad \text{edo: } L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Edo neurketa-tresnen arabera:

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_3}{A_3}\right)^2 - \left(\frac{W}{A_3^2}\right)^2}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (8.11)$$

- Kalitate-faktorea. Lehen bezala adierazpen honen arabera emana dator:

$$Q = \frac{X_L}{R} \quad \text{edo } Q = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{R} \quad \text{izango da}$$

Baina oraingo muntaketako neurketa-tresnen arabera jarriz gero, itxura hau hartuko du:

$$Q = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_3}{A_3}\right)^2 - \left(\frac{W}{A_3^2}\right)^2}}{\frac{W}{A_3^2}} \quad (8.12)$$

- Galeren angelua. Galeren angelua (δ) bere tangentearen arabera definituko dugu:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{X_L} \quad \text{edo} \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{\frac{W}{A_3^2}}{\sqrt{\left(\frac{V_3}{A_3}\right)^2 - \left(\frac{W}{A_3^2}\right)^2}} \quad \text{edo lehen bezala:} \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q}$$

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

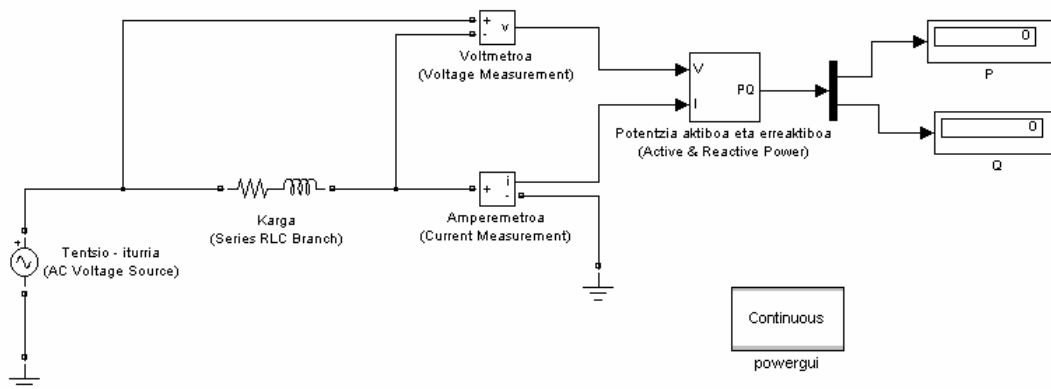
3.1. SIMULAZIOA

Praktika honetan karga monofasiko batek xurgatzen duen potentzia aktiboa eta erreaktiboa (edo iturri batek ematen duena) simulazioaren bidez kalkulatuko ditugu. Lehenik, zirkuitu oso bakun bat erabiliko dugu, eta gero aurreko praktikan erabilitako instalazioaren atal bakoitzeko potentzia aktiboa eta erreaktiboa kalkulatuko dugu.

a) Lortu zirkuituaren modeloa

Lehen kasu honetan, 8.14 irudiko modeloa erabiliko dugu. Modelo horretan honako elementu hauek erabiliko ditugu:

- Korrante alternoko iturri ideala (*SimPowerSystems / Electrical Sources / AC Voltage Source*): 220 V eta 50 Hz.
- Karga (*SimPowerSystems / Elements / Series RLC Branch*): $10 + j5 \Omega$.
- Neurgailuak: amperemetroa (*SimPowerSystems / Measurements / Current Measurement*) eta voltmetroak (*SimPowerSystems / Measurements / Voltage Measurement*).
- Bi pantaila (*Simulink/Sinks/Display*). Potentzia aktiboa eta erreaktiboa irakurtzeko.
- *Powergui* (*SimPowerSystems / powergui*).
- Potentzia aktiboa eta erreaktiboa (*SimPowerSystems / Extra Library / Active & Reactive Power*). Elementu horrek potentzia aktiboa eta erreaktiboa kalkulatu ditu. Horretarako, tentsioaren eta korrontearen seinaleak behar ditu sarrera gisa. Elementu horren emaitzak (P eta Q) irteerako bektorean adierazten dira. Kalkulu hori egiteko, beharrezkoa da elementuaren ezaugarri-taulan sistemako maiztasuna zehaztea.
- Demux (*Simulink / Signals Routing / Demux*). Potentzia aktiboa eta erreaktiboa aurreko irteera-bektoretik banaturik ateratzeko.



8.14 irudia. Potentziak kalkulatzeko modeloa

b) Zehaztu simulazioaren parametroak

Praktika honetan egingo ditugun simulazioek 4 s iraungo dute (*Stop time*). Gainerako parametroak 3. praktikan erabilitakoak izango dira (ikusi 3.18 irudia).

c) Egin simulazioak eta aztertu emaitzak

Praktika honetan prozesu honi jarraituko diogu:

1. Ebatzi emandako zirkuitua, eta kalkulatu kargak xurgatzen dituen potentzia aktiboa eta erreaktiboa.
2. Lortu potentzia horien balioak simulazioaren bidez, eta konparatu kalkulaturakoekin.
3. Aldatu aurreko praktikan erabilitako instalazioaren modeloa (hartu 5. karga erresistibo hutsa denean), eta lortu simulazioaren bidez:
 - a. Sareak ematen dituen potentziak
 - b. Linean galtzen diren potentziak
 - c. Instalazio osoak xurgatzen dituen potentziak (elikadura-linea kanpokoa da)
 - d. Karga bakoitzak xurgatzen dituen potentziak.

4- LABORATEGIAN

4.1. PRAKTIKA

Joubert metodoaren eta metodo industrialaren bidez, haril baten autoindukzio-koefizientea (L) zehazteko, beharrezko dira kalitate-faktorea (Q) eta galeren angeluaren tangentea ($tg\delta$).

Saiakuntza hau egingo dugu nukleo ferromagnetikoa duen haril baten kasuan. Eta kontuz ibili behar dugu; izan ere, metodo industrialak kontuan hartzen baditu burdina gertatzen diren galerak ere, Joubert metodoak ez ditu kontuan hartzen. Ikusi dugunez, Joubert-ekin erresistentzia neurtzeko korrante zuzeneko saiakuntza erabiltzen da, eta, harila

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

burdinazko nukleoa edukiko balu ere, ez lirateke burdinako galerak kontuan hartuko, korrante zuzenean ez baitira burdina-galerak agertzen.

Beraz, adi ibili eta argi eduki Joubert-en metodoarekin 8.6 irudiko zirkuitu baliokidea lortuko dugula eta metodo industrialarekin 8.11 irudiko zirkuitu baliokidea. Bi zirkuitu baliokide hurbildu haril berarentzat. Zehatzena 8.11 irudikoa izango da, kontuan hartzen baititu burdina-galerak, baina bestea ere baliagarria da, baina doitasun txikiagokoa, sinplifikazio handiak egin daitezkeenerako.

4.2. MATERIALA

2 voltmetro (V_2, V_3):	_____
1 amperometro (A_1):	_____
1 voltmetro (V_3):	_____
2 amperometro (A_2, A_3):	_____
1 frekuentzometro:	_____
1 wattmetro:	_____
1 haril:	_____

4.3. HARILEN MODELOA LORTU ETA SAIKUNTZAK SIMULATU

Orain, aurreko atalean erabilitako harilen parametroak saiakuntzen bidez lortu eta gero, haien modelo lortuko dugu simulazioan erabiltzeko. Modelo horiek lortzeko, kontuan izan praktika azaltzeko erabili diren eskemak, han agertzen baita lortutako parametro bakoitzaren esanahia. Gainera, simulazioetarako modeloak ere eskema horiekin eraikiko ditugu.

Behin harilen modeloak edukita, laborategian fisikoki egin ditugun saiakuntza guztiak simulazioaren bidez errepikatuko ditugu. Horretarako, laborategian erabilitako iturriak, neurgailuak (amperometroak, voltmetroak, wattmetroak...) eta gainerako elementuak ere modeloan sartu beharko ditugu.

Azkenik, simulazioetan lortutako emaitzak laborategiko saiakuntzetan neurtutakoekin alderatuko ditugu.

KARGA OREKATUEN POTENTZIAK ETA POTENTZIA-FAKTOREA TENTSIOETAN OREKATUTAKO SISTEMA TRIFASIKOETAN

Sistema elektrikoetan zirkuitu edo karga batek xurgatzen duen potentzia zein den jakiteak garrantzi handia dauka, besteak beste zirkuitu edo karga horien mugak gainditzen ez direla egiaztatzeko.

Horrela, sistema elektrikoetan potentzien fluxuak neurtu behar dira, linea eta zirkuitu bakoitzetik garraiatzen den potentzia erregulatzeko eta kontrolpean edukitzeko. Izan ere, linea batetik potentzia handiegia garraiatuz gero, babesgailuek linea hori deskonekta dezakete; horrenbestez, sistemaren kapazitatea murrizten da, eta linea horretatik garraiatzen zen potentzia beste lineetara bideratzean, gainkarga hedatzeko eta lineaz linea sistema erortzeko arriskua dago. Nork ez ditu ezagutzen Katalunian gertatutako itzalaldiak eta horien ondorioak?

Bestalde, sistemako potentziak neurtzean ere, neurgailuen erroreak kontuan izan beharko ditugu. Nola egiazta dezakegu hainbat puntutan neurtutako potentziak bat datozen edo ez? Erabil ditzakegu neurtutakoak beste elementuen potentziak kalkulatzeko?

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

- Karga orekatuen potentzia aktiboa, potentzia erreaktiboa eta potentzia-faktorea kalkulatzeko wattmetroen irakurketetatik.
- Bi wattmetroen metodoa aplikatzen.
- Karga orekatu baten izaera identifikatzen, wattmetroen irakurketen bidez.
- Sistema trifasikoen modeloak lortzen eta erabiltzen.
- Simulazioaren bidez sistema trifasiko orekatuen korranteak, tentsioak eta potentziak lortzen.

1- SARRERA

Tentsioetan orekatuak diren sistema trifasikoak karga orekatuekin aztertzerakoan sistema horren zirkuitu baliokide monofasikoa erabiltzen dugu. Zirkuitu horretan jatorrizko sistemaren fase bat baino ez da irudikatzen; beraz, zirkuitu hori ebaztean fase horretan gertatzen dena bakarrik kalkulatzen dugu. Baina sistema guztiz orekatua izanda, gainerako faseen magnitudeak kalkulatzeko nahikoa dugu lehenengoarenak 120° eta 240° biratzea. Potentzien ikuspuntutik, zirkuitu baliokidean adierazten diren potentziak fase batenak dira, hau da, sistema osoaren heren bat.

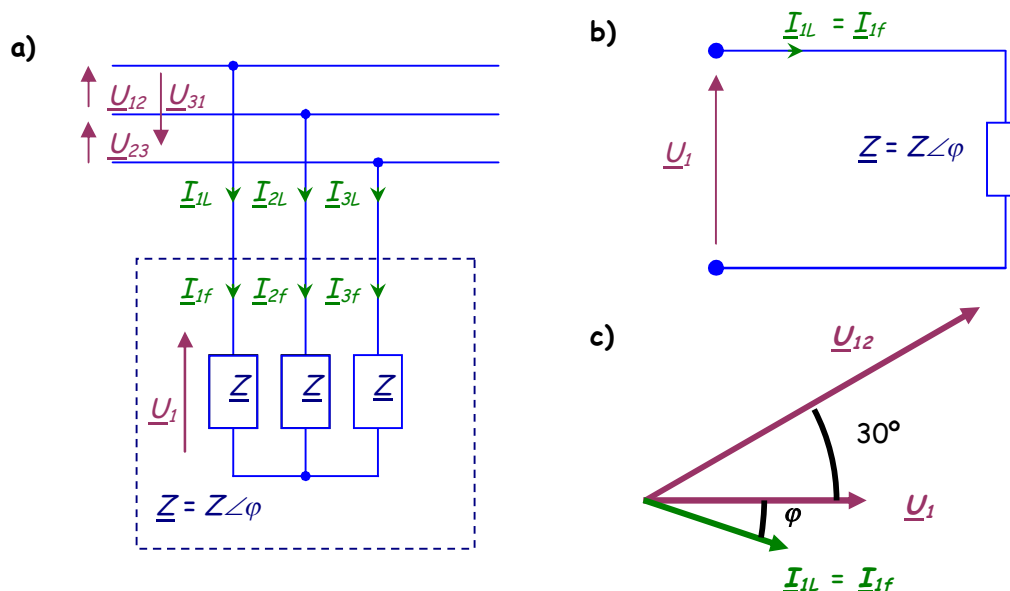
Horretaz gain, zirkuitu baliokidea erabiltzerakoan kontuan eduki behar dugu kargen konexioa (izarra edo triangelua). Horrela, karga bat izarrean konektaturik dagoenean (9.1a irudia) tentsio sinplea eta lineako korrrontea erabiliko ditugu karga horren zirkuitu baliokide monofasikoan (9.1b irudia). Beraz, karga horrek xurgatzen dituen korrrontea eta potentziak (9.1) adierazpenen bidez kalkula ditzakegu.

$$\underline{I}_{1L} = \underline{I}_{1f} = \frac{U_1}{Z} = \frac{U_1 \angle 0^\circ}{Z \angle \varphi} = \frac{U_1}{Z} \angle -\varphi$$

$$P = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1f} \cdot \cos(\varphi) = 3 \cdot \frac{U_{12}}{\sqrt{3}} \cdot I_{1L} \cdot \cos(\varphi) = \sqrt{3} \cdot U_{12} \cdot I_{1L} \cdot \cos(\varphi) \quad (9.1)$$

$$Q = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1f} \cdot \sin(\varphi) = 3 \cdot \frac{U_{12}}{\sqrt{3}} \cdot I_{1L} \cdot \sin(\varphi) = \sqrt{3} \cdot U_{12} \cdot I_{1L} \cdot \sin(\varphi)$$

Potentzia-faktorea kalkulatzeko, kargaren angelua erabili behar dugu (φ angelua). Izar konexioaren kasuan, kargako fase bakoitzak tentsio sinplea eta lineako korrrontea ikusten du. Beraz, φ angelua lineako korrrontetik tentsio sinplera neurtuko dugu (9.1c irudia).



9.1 irudia. Izarrean konektaturik dagoen karga trifasiko baten zirkuitu baliokide monofasikoa eta diagrama bektoriala

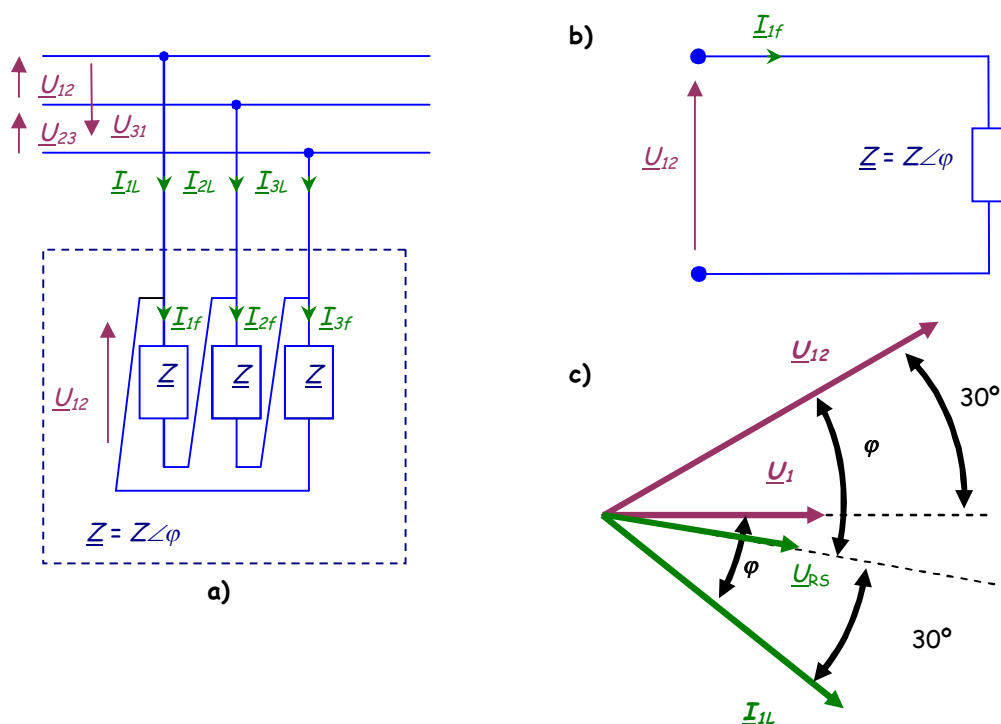
Triangeluko konexioan (9.2a irudia), berriz, kargako fase bakoitzak sareko tentsio osoa jasaten du (tentsio konposatua). Gainera, triangeluaren faseetatik ez du lineako korronteak zirkulatzen, korronte sinpleak baizik. Hori dela eta, kasu honetako zirkuitu baliokide monofasikoa tentsio konposatua eta korronte sinplea erabiliko ditugu (9.2b irudia). Orduan, karga horrek xurgatzen dituen korronte eta potentziak (9.2) adierazpenen bidez kalkula ditzakegu.

$$\begin{aligned} \underline{I}_{1L} &= \underline{I}_{1f} \cdot \sqrt{3} \angle -30^\circ \quad \rightarrow \quad \underline{I}_{1f} = \frac{\underline{U}_{12}}{\underline{Z}} = \frac{U_{12} \angle 30^\circ}{\underline{Z} \angle \varphi} = \frac{U_{12}}{\underline{Z}} \angle 30^\circ - \varphi \\ P &= 3 \cdot U_1 \cdot I_{1f} \cdot \cos(\varphi) = 3 \cdot U_{12} \cdot \frac{I_{1L}}{\sqrt{3}} \cdot \cos(\varphi) = \sqrt{3} \cdot U_{12} \cdot I_{1L} \cdot \cos(\varphi) \\ Q &= 3 \cdot U_1 \cdot I_{1f} \cdot \sin(\varphi) = 3 \cdot U_{12} \cdot \frac{I_{1L}}{\sqrt{3}} \cdot \sin(\varphi) = \sqrt{3} \cdot U_{12} \cdot I_{1L} \cdot \sin(\varphi) \end{aligned} \quad (9.2)$$

Triangelu konexioaren kasuan, kargako fase bakoitzak tentsio konposatua eta korronte sinplea ikusten dituzenez, φ angelua korronte sinpletik tentsio konposatura neurtuko dugu. Baina, 9.2c irudiko diagrama bektorialean frogatzen den bezala, lineako korrontetik tentsio sinplera ere har daiteke angelu hori. Hau da, lehen egin dugun era berean.

Beraz, φ angelua neurtzeko:

- Oro har (izarrean zein triangeluan): lineako korrontetik tentsio sinplera.
- Triangeluan beste aukera bat daukagu: korronte sinpletik tentsio konposatura.



9.2 irudia. Triangeluan konektaturik dagoen karga trifasiko baten zirkuitu baliokide monofasikoa eta diagrama bektoriala

Bestalde, (9.1) eta (9.2) adierazpenetan ikusi dugun bezala, potentziak kalkulatzekoan adierazpen monofasikoak (zirkuitu baliokide monofasikoan oinarritutakoak) edo trifasikoak erabili ditzakegu. Baina, kasu bakoitzean magnitude ezberdinak erabiliko ditugu kalkulatu hori egiteko.

Lehenengo kasuan, faseko magnitudeak erabili behar ditugu. Horrela, faseko potentziak kalkulatu ditugu, eta gero, hiruaz biderkatuz, karga trifasikoaren potentzia osoak lortuko ditugu. Gainera, faseko magnitudeak ezberdinak izango dira, karga izarrean edo triangeluan konektaturik dagoen.

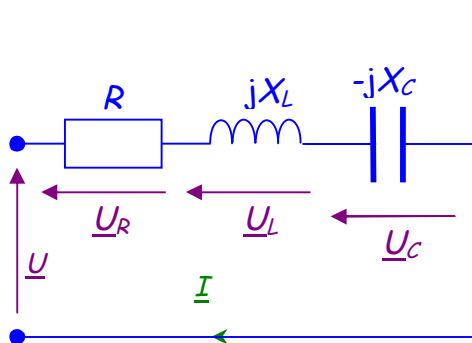
Adierazpen trifasikoa erabiliz gero, berriz, beti erabiliko ditugu kanpoko magnitudeak (tentsio konposatua eta lineako korrantea). Egoera praktikoetan adierazpen trifasikoak dira erabilienak, magnitude horiek beti dira eta neurgarriak.

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \cdot U_{12} \cdot I_{1L} \cdot \cos(\varphi) = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_{1f} \cdot \cos(\varphi) \\
 Q &= \sqrt{3} \cdot U_{12} \cdot I_{1L} \cdot \sin(\varphi) = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_{1f} \cdot \sin(\varphi)
 \end{aligned}
 \rightarrow
 \begin{cases}
 \text{Izarrean} \rightarrow \begin{cases} U_{1f} = U_1 \\ I_{1f} = I_{1L} \end{cases} \\
 \text{Triangeluan} \rightarrow \begin{cases} U_{1f} = U_{12} \\ I_{1f} = I_{12} \end{cases}
 \end{cases}
 \quad (9.3)$$

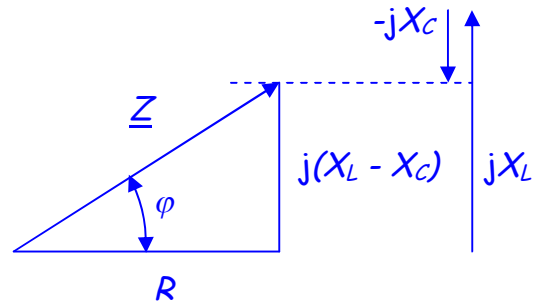
1.1. BOUCHEROT-EN TEOREMA

RLC zirkuitu pasibo bat 9.3 irudiko zirkuitu baliokidearen bidez adieraz daiteke. Horrela, zirkuitu horren elementu pasibo guztiak beren inpedantzia baliokidearen bidez ordeztu ditzakegu, eta inpedantzia hori irudi horretan agertzen den triangeluaren bidez irudika dezakegu.

$$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C) \quad (9.4)$$



Zirkuitua

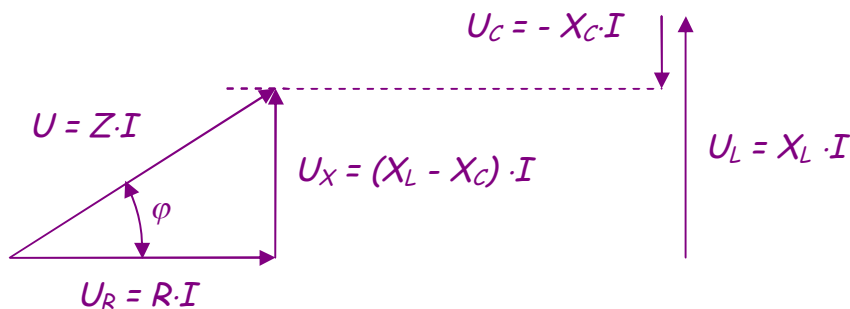


Inpedantzien triangelua

9.3 irudia. RLC zirkuitua

Orain, inpedantzien triangeluaren alde guztiak zirkuituaren korranteaz biderkatuz gero, tentsioen triangelua lortuko dugu, non Kirchhoff-en bigarren legea betetzen dela egiazta baitezakegu.

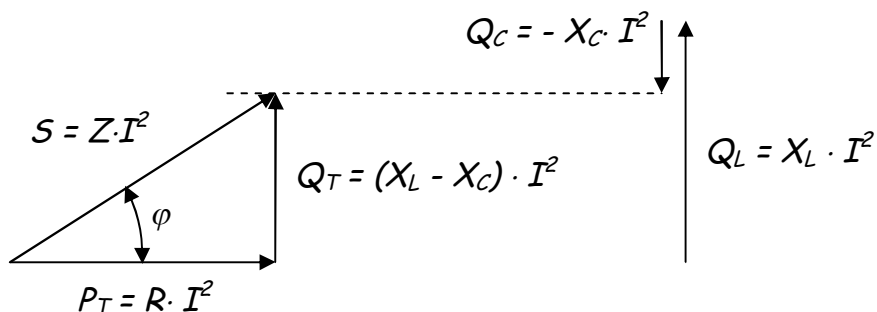
$$\underline{Z} \cdot \underline{I} = R \cdot \underline{I} + j(X_L - X_C) \cdot \underline{I} \rightarrow \underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C \quad (9.5)$$



9.4 irudia. Tentsioen triangelua

Bestalde, inpedantzien aldeak korrontearen modularen karratuaz biderkatzen badugu, potentzien triangelua lortuko dugu.

$$\underline{S}_T = P_T + jQ_T = P_T + j(Q_L + Q_C) = R \cdot I^2 + j(X_L - X_C) \cdot I^2 \quad (9.6)$$



9.5 irudia. Potentzien triangelua

Azken eskema honetan Boucherot-en teoremaren kasu partikularra dugu. Teorema horrek honako hau esaten du: berdinak izan behar dute zirkuitu elektriko batean sorgailuek sortzen duten itxurazko potentziak eta karga guztien artean xurgatzen dutenak. Oreak hori potentzia aktiboekin zein erreaktiboekin ere betetzen da.

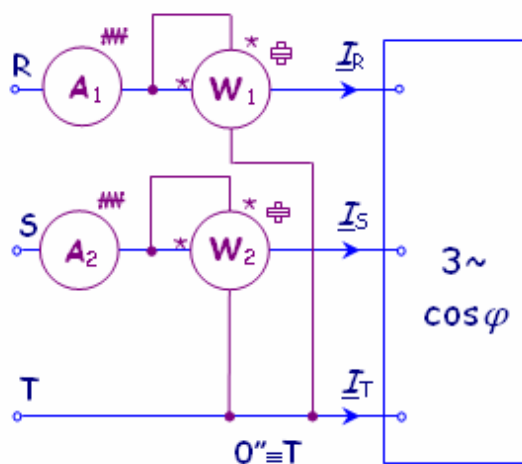
$$\sum \underline{S}_{\text{Sorgailuak}} = \sum \underline{S}_{K \text{ arg } ak} \rightarrow \begin{cases} \sum P_{\text{Sorgailuak}} = \sum P_{K \text{ arg } ak} \\ \sum Q_{\text{Sorgailuak}} = \sum Q_{K \text{ arg } ak} \end{cases} \quad (9.7)$$

2- OINARRI TEORIKOA

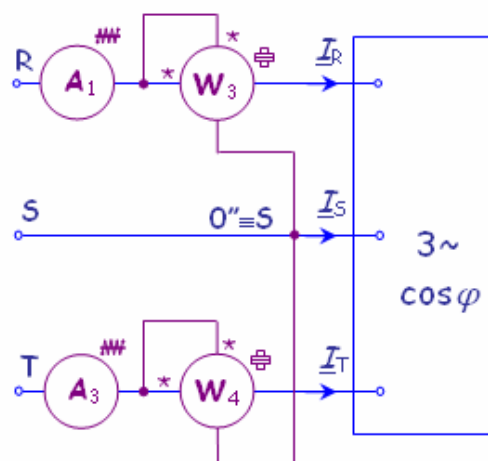
2.1. BI WATTMETROEN METODOA

Karga orekatu batek xurgatzen dituen potentzia aktiboa eta erreaktiboa neurtzeko, bi wattmetroen metodoa (edo Aron metodoa) erabil dezakegu. Metodo hori aplikatzeko, 9.6 irudiko muntaketetariko bat egingo dugu.

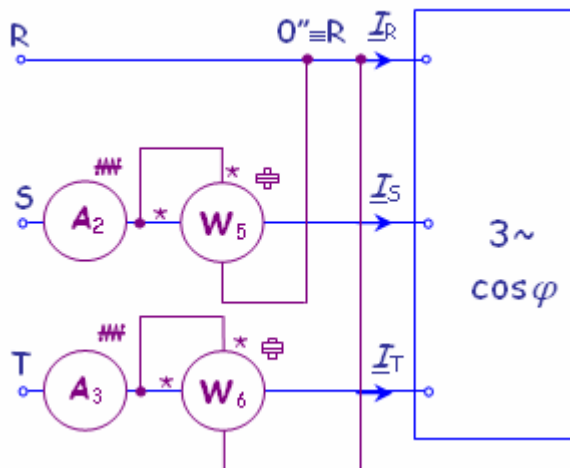
a)



b)



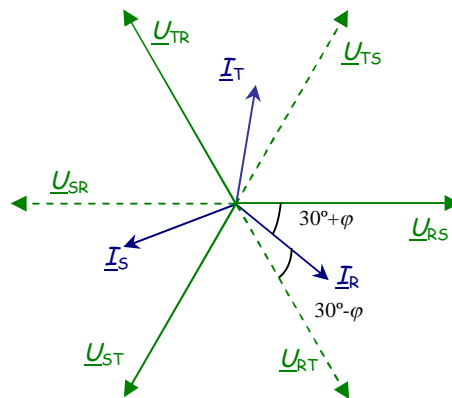
c)



9.6 irudia. Aron metodoko muntatzeak

Metodo hori baliagarria da, sareko sekuentzia zuzeneko edo alderantzizkoa bada. Jarraian, aurreko irudiko wattmetroen irakurketak kalkulatu ditugu faseen sekuentziaren arabera. Gero, irakurketa horiekin kargako potentzia aktiboa, potentzia erreaktiboa eta potentzia-faktorea kalkulatzeko adierazpenak frogatuko ditugu.

2.1.1. Diagrama bektoriala eta wattmetroen irakurketak sekuentzia zuzenerako



9.7 irudia. Aron metodoa: sekuentzia zuzenerako diagrama bektoriala

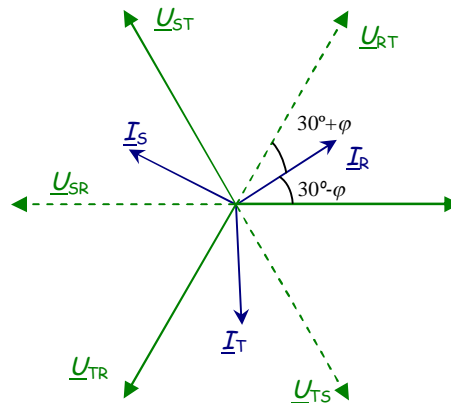
Sekuentzia zuzenerako irakurketak (9.8) adierazpenetan kalkulatu dira.

$$\begin{aligned}
 W_1 &= U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\widehat{U_{RT}, I_R}) \\
 W_1 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\
 W_2 &= U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos(\widehat{U_{ST}, I_S}) \\
 W_2 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \\
 W_3 &= U_{RS} \cdot I_R \cdot \cos(\widehat{U_{RS}, I_R}) \\
 W_3 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \\
 W_4 &= U_{TS} \cdot I_T \cdot \cos(\widehat{U_{TS}, I_T}) \\
 W_4 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\
 W_5 &= U_{SR} \cdot I_S \cdot \cos(\widehat{U_{SR}, I_S}) \\
 W_5 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\
 W_6 &= U_{TR} \cdot I_T \cdot \cos(\widehat{U_{TR}, I_T}) \\
 W_6 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi)
 \end{aligned}
 \tag{9.8}$$

Beraz, (9.9) berdintzak bete egingo dira.

$$\begin{aligned}
 W_1 &= W_4 = W_5 \\
 W_2 &= W_3 = W_6
 \end{aligned}
 \tag{9.9}$$

2.1.2. Diagrama bektoriala eta wattmetroen irakurketak alderantzizko sekuentziarako



9.8 irudia. Aron metodoa: alderantzizko sekuentziarako diagrama bektoriala

Alderantzizko sekuentziarako irakurketak (9.10) adierazpenetan kalkulatzeko dira.

$$\begin{aligned}
 W_1 &= U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\widehat{U_{RT}, I_R}) \\
 W_1 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \\
 W_2 &= U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos(\widehat{U_{ST}, I_S}) \\
 W_2 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\
 W_3 &= U_{RS} \cdot I_R \cdot \cos(\widehat{U_{RS}, I_R}) \\
 W_3 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\
 W_4 &= U_{TS} \cdot I_T \cdot \cos(\widehat{U_{TS}, I_T}) \\
 W_4 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \\
 W_5 &= U_{SR} \cdot I_S \cdot \cos(\widehat{U_{SR}, I_S}) \\
 W_5 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \\
 W_6 &= U_{TR} \cdot I_T \cdot \cos(\widehat{U_{TR}, I_T}) \\
 W_6 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi)
 \end{aligned}
 \tag{9.10}$$

Beraz, kasu honetan ere (9.11) berdintzak bete egingo dira.

$$W_1 = W_4 = W_5$$

$$W_2 = W_3 = W_6$$

(9.11)

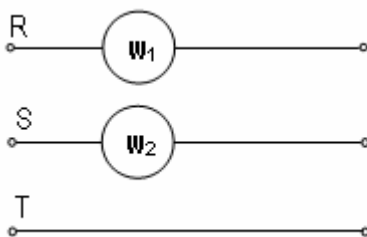
Baina, KONTUZ!, wattmetroen irakurketak trukatu dira sekuentzia zuzenetik alderantzizkora. Lehen $W_1 = W_4 = W_5$ -en balioak orain $W_2 = W_3 = W_6$ wattmetroek hartzen dituzte eta alderantziz.

Berdintza horiek erraz gogoratzeko, 9.6 irudiko muntaketei dagozkien eskema sinplifikatuak (ikus 9.9 irudia) erabil ditzakegu. Eskema horietan hauxe ikusten da:

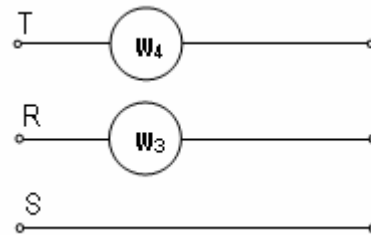
- Irudietako lehenengo wattmetroaren irakurketa berdina da kasu guztietan.
- Irudietako bigarren wattmetroaren irakurketa berdina da kasu guztietan.

Orokortuz, hiru muntaketek emaitza bera ematen dutenez, lehenengo wattmetroei W_1 izena emango diegu, eta bigarrenei, W_2 .

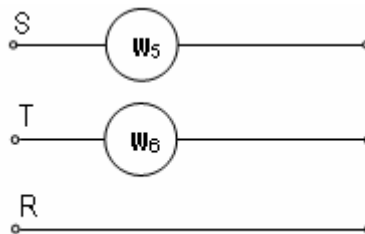
a)



b)



c)



9.9 irudia. Wattmetroak identifikatzeko eskemak

Hortaz, aurretik lortutako emaitzetatik ondorio hauek aterako ditugu:

- Karga inдукtiboia eta sekuentzia zuzena denean:
 - o $W_1 > W_2$; $\cos(30^\circ - \varphi) > \cos(30^\circ + \varphi)$ izateagatik.
- Karga inдукtiboia eta alderantzizko sekuentzia denean:
 - o $W_1 < W_2$; aurreko arrazoibide berberagatik.

- Karga kapazitiboa eta sekuentzia zuzena direnean:
 - o $W_1 < W_2$; φ negatiboa da; beraz, $\cos(30^\circ - \varphi) < \cos(30^\circ + \varphi)$.
- Karga kapazitiboa eta alderantzizko sekuentzia direnean:
 - o $W_1 > W_2$; aurreko arrazoibide berberagatik.

Laburpen gisa, 9.1 eta 9.2 tauletan bi wattmetroen irakurketak ematen dira izaera anitzeko zenbait kargatarako.

9.1 taula. Sekuentzia zuzenerako irakurketak

KARGA MOTA	Sekuentzia zuzena		Irakurketen arteko erlazioak	
	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi)$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi)$		
0°	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}U_K \cdot I_L}{2}$	$W_1 = W_2 > 0$	
30° induktibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 0 = U_K \cdot I_L$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 60^\circ = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_1 = 2W_2 > 0$	
30° kapazitibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 60 = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 0 = U_K \cdot I_L$	$W_2 = 2W_1 > 0$	
60° induktibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -30 = \frac{\sqrt{3}U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 90 = 0$	$W_1 > 0$	$W_2 = 0$
60° kapazitibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 90^\circ = 0$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -30 = \frac{\sqrt{3}U_K \cdot I_L}{2}$	$W_1 = 0$	$W_2 > 0$
90° induktibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -60 = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 120 = -\frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_1 = -W_2$	$W_2 < 0$
90° kapazitibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 120 = -\frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -60 = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$-W_1 = W_2$	$W_1 < 0$

9.2 taula. Alderantzizko sekuentziarako irakurketak

KARGA MOTA	Alderantzizko sekuentzia		Irakurketen arteko erlazioak	
	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi)$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi)$		
0°	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}U_K I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}U_K I_L}{2}$	$W_1 = W_2 > 0$	
30° induktibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 60^\circ = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 0^\circ = U_K \cdot I_L$	$W_2 = 2W_1 > 0$	
30° kapazitibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 0^\circ = U_K I_L$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 60^\circ = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_1 = 2W_2 > 0$	
60° induktibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 90^\circ = 0$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -30^\circ = \frac{\sqrt{3}U_K \cdot I_L}{2}$	$W_1=0$	$W_2>0$
60° kapazitibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -30^\circ = \frac{\sqrt{3}U_K I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 90^\circ = 0$	$W_1>0$	$W_2=0$
90° induktibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 120^\circ = -\frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -60^\circ = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2= W_1$	$W_1<0$
90° kapazitibo	$W_1 = U_K \cdot I_L \cdot \cos -60^\circ = \frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$W_2 = U_K \cdot I_L \cdot \cos 120^\circ = -\frac{U_K \cdot I_L}{2}$	$-W_2= W_1$	$W_2<0$

2.1.3. Potentziaren zehaztapena eta potentzia-faktorearen kalkulua wattmetroen irakurketetatik abiatuta

Aurreko atalean ikusi dugunez:

$$\begin{aligned} W_1 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\ W_2 &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \end{aligned} \quad (9.12)$$

Adierazpen horiek garatuz gero:

$$\begin{aligned} W_1 &= U_K \cdot I_L \cdot [\cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \sin \varphi] \\ W_2 &= U_K \cdot I_L \cdot [\cos 30^\circ \cos \varphi - \sin 30^\circ \sin \varphi] \end{aligned} \quad (9.13)$$

a) Potentzia aktiboa

Bi adierazpenak batuz gero, potentzia aktiboa lortuko dugu:

$$\begin{aligned} W_1 + W_2 &= 2 \cdot U_K \cdot I_L \cdot \cos 30^\circ \cos \varphi \\ W_1 + W_2 &= \sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_L \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (9.14)$$

Bestalde, karga orekatu batez osatutako sistema trifasikorako:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (9.15)$$

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

Beraz, (9.14) eta (9.15) adierazpenak konparatuz gero:

$$P = W_1 + W_2 \quad (9.16)$$

b) Potentzia erreaktiboa

Bi adierazpenen kenketa eginez gero, potentzia erreaktiboa lortuko dugu:

$$\begin{aligned} W_1 - W_2 &= 2 \cdot U_K \cdot I_L \cdot \sin 30^\circ \sin \varphi \\ W_1 - W_2 &= U_K \cdot I_L \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (9.17)$$

Bestalde, karga orekatuz osatutako sistema trifasikorako:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad (9.18)$$

Azkenik, (9.17) eta (9.18) adierazpenak konparatuz gero:

$$Q = \sqrt{3}(W_1 - W_2) \quad (9.19)$$

c) Itxurazko potentzia

Behin potentzia aktiboa eta erreaktiboa ezagututa, (9.20) adierazpena aplika dezakegu itxurazko potentziaren balioa lortzeko:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (9.20)$$

Edo, nahi izanez gero, erroa garatuz:

$$\begin{aligned} P^2 &= (W_1 + W_2)^2 = W_1^2 + W_2^2 + 2W_1 \cdot W_2 \\ Q^2 &= 3(W_1 - W_2)^2 = 3W_1^2 + 3W_2^2 - 6W_1W_2 \\ P^2 + Q^2 &= 4W_1^2 - 4W_1W_2 + 4W_2^2 \\ P^2 + Q^2 &= 4 \cdot (W_1^2 - W_1 \cdot W_2 + W_2^2) \end{aligned} \quad \rightarrow \quad S = 2 \cdot \sqrt{W_1^2 - W_1 \cdot W_2 + W_2^2} \quad (9.21)$$

d) Potentzia-faktorea

Potentzia-faktorea ere kalkulaturako potentzien balioak erabiliz lor dezakegu:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (9.22)$$

Edo wattmetroen irakurketak erabiliz:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{W_1 + W_2}{2\sqrt{W_1^2 - W_1 \cdot W_2 + W_2^2}} = \frac{1 + \frac{W_2}{W_1}}{2\sqrt{1 - \frac{W_2}{W_1} + \left[\frac{W_2}{W_1}\right]^2}} \quad (9.23)$$

Aurreko adierazpenak baliagarriak izan daitezzen, W_1 eta W_2 wattmetroetako neurketen ikurrak hartu behariko ditugu kontuan.

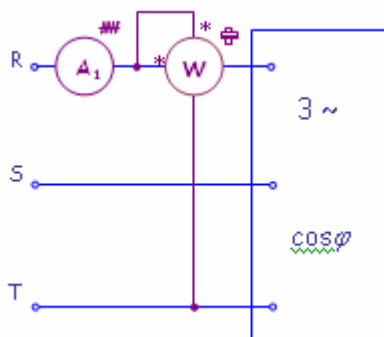
KONTUZ: Alderantziko sekuentziaren kasuan formuletan wattmetroen izendapena trukatu behar da. Hau da:

$$\begin{aligned} P &= W_2 + W_1 \\ Q &= \sqrt{3}(W_2 - W_1) \end{aligned} \quad (9.23)$$

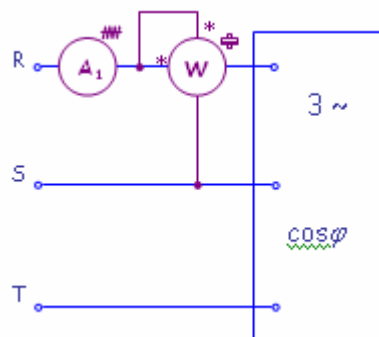
2.2. WATTMETRO BAKAR BATEKIN

Aurreko atalean 2 wattmetro erabili dira. Jarraian, wattmetro monofasiko bakarrarekin emaitza berberak lor daitezkeela ikusiko dugu. Horretarako, 9.10 irudiko muntaketak erabiliko ditugu.

a)



b)



9.10 irudia. Wattmetro bakar batekin egiteko muntaketak

Sekuentzia zuzenerako irakurketak (9.24) adierazpenetan kalkulatzeko dira.

$$\begin{aligned} \text{a)} \\ \text{muntaketan:} \quad W_I &= U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\angle U_{RT}, \hat{I}_R) \\ W_{II} &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \\ \text{b)} \\ \text{muntaketan:} \quad W_I &= U_{RS} \cdot I_R \cdot \cos(\angle U_{RS}, \hat{I}_R) \\ W_{II} &= U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \end{aligned} \quad (9.24)$$

Alderantzizko sekuentziarakoak, berriz, (9.25) adierazpenek ematen dituzte.

$$\begin{array}{ll}
 \text{a)} & W_I = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\underline{U}_{RT}, \underline{I}_R) \\
 \text{muntaketan:} & W_I = U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \\
 & \\
 \text{b)} & W_I = U_{RS} \cdot I_R \cdot \cos(\underline{U}_{RS}, \underline{I}_R) \\
 \text{muntaketan:} & W_I = U_K \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi)
 \end{array} \tag{9.25}$$

Bi muntaketa horien irakurketak, 9.6. irudiko W_1 -ekin eta W_2 -rekin bat datozela egiaztatu egiten da. Beraz 2.1.2 ataleko azken zatian esandakoa eta 2.1.3 ataleko formulak balagarriak dira muntaketa horientzat ere.

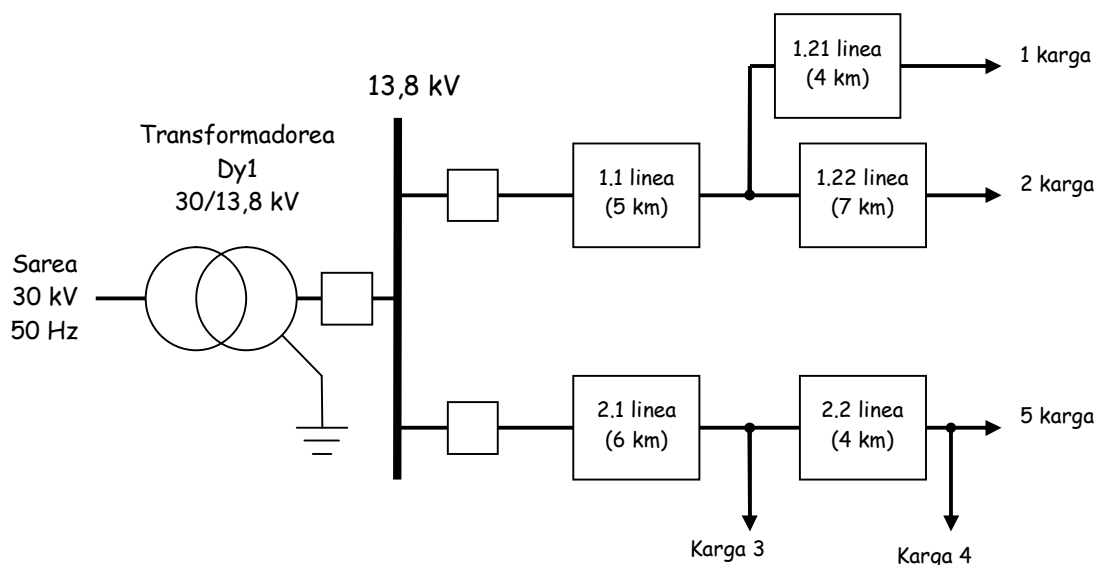
9.10a eta 9.10b irudien arteko alde bakarra, haril voltmetrikoaren irteeraren lotura da, lehenengoan T fasera eta bigarreanean S fasera konektatzen baita.

Beraz, praktikan, 9.10a irudiko muntaketa egin, eta wattmetroaren irakurketa hartu behar da (hori W_1 wattmetroa izango da). Gero, konexioa T fasetik R fasera igaroko dugu irakurketa berria hartzeko (hori W_2 izango da).

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. SIMULAZIOA

Praktika honetako simulazioetan sistema trifasiko orekatu baten potentzia aktiboak eta erreaktiboak neurtuko ditugu. Horretarako, 13,8 kV-eko banaketa-sistema bat erabiliko dugu. Sistema horrek zirkuitu bi ditu (feeder 2), eta transformadore baten bidez elikatzen da. Banaketa-sistema horren eskema haribakarra 9.11 irudian agertzen da.



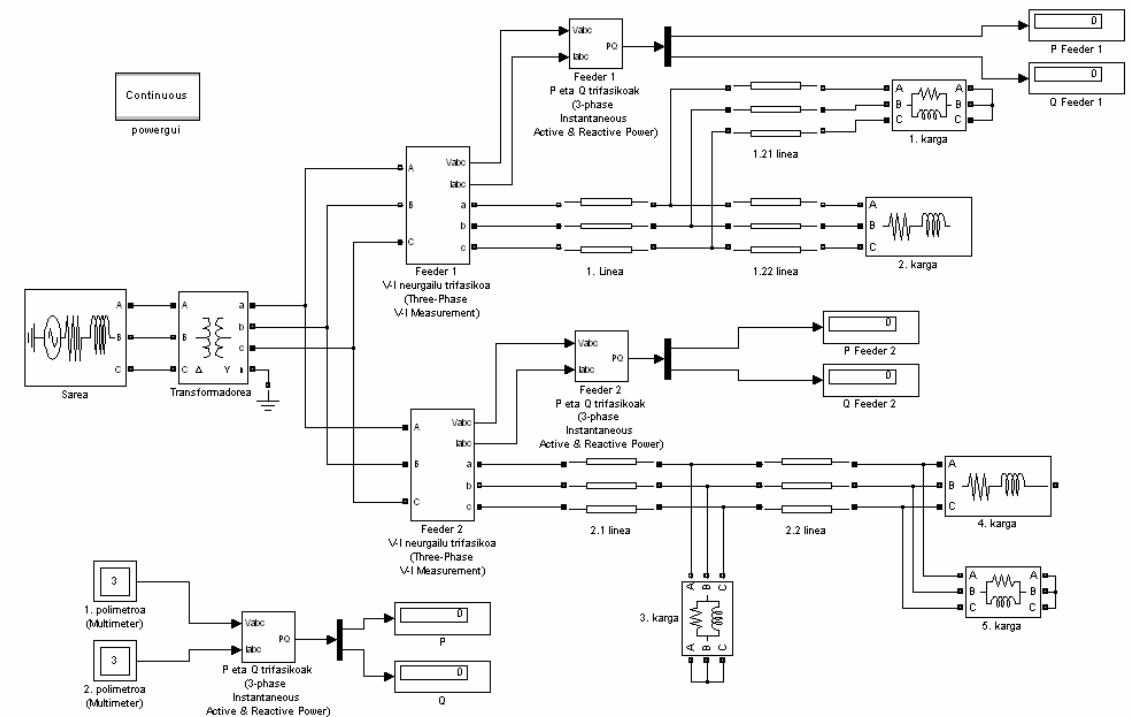
9.11 irudia. Banaketa-sistemaren eskema haribakarria

Sistema horren elementu garrantzitsuenak hauexek dira:

- Sarea. Banaketa-sistema hau sistema elektrikoaren atal bat baino ez da. Sarea aipatzean, banaketa-sistemaren eta sistema elektrikoaren arteko konexio-puntuak adierazten dugu.
- Transformadorea. 30/13,8 kV-eko transformadoreak sistemako tentsio-maila egokitzen du banaketa-sistema elikatzeko.
- Azpiestazioko barrak. 13,8 kV-eko barra hauetatik bi *feeder* edo zirkuitu elikatzen dira.
- Lineak. Aspiestazioa eta banaketa-sistemako kargak banaketa-lineen bidez konektatzen dira. Linea horiek ezaugarri ezberdinetako zenbait tartetan banatuta daude, baina, sistema sinplifikatzeko, ezaugarri bereko linea-tarte baliokideen bidez adierazten dira. Horrela, seriean dauden linea-tarteak elkartuz, 5 linea-tarte baliokide erabiltzen dira. Tarte baliokide horien artean sistemako kargak konektatuta daude.
- Kargak. Sistemako kargak 5 karga baliokideetan pilatzen dira.

a) Lortu zirkuituaren modeloa

Banaketa-sistema horren modeloa `/work/zt_banaketa.mdl` fitxategian aurkituko dugu. Modelo horretan lehen aipaturiko elementuak agertzen dira (transformadoreak, lineak, karga...), eta sarea sorgailu trifasiko baten bidez ordeztzen da (9.12 irudia).



9.12 irudia. Banaketa-sistemaren funtzionamendua simulatzeko modeloa

Gainera, sistemako magnitudeak eta potentziak neurtzeko, honako elementu hauek ere erabiltzen dira:

- Potentzia aktibo eta erreaktibo trifasikoak (*SimPowerSystems / Extra Library / 3-phase Instantaneous Active & Reactive*). Elementu horrek sistema trifasiko baten potentzia aktiboa eta erreaktiboa kalkulatu ditu. Kalkulua zirkuitu baliokide monofasikoan oinarritzen da. Beraz, sarrerako datuak ematerakoan aukera bi ditugu:
 - o Sistemako tentsio sinpleak eta lineako korrontek.
 - o Sistemako tentsio konposatuak eta korronte sinpleak.

Lehenengo aukera beti erabil dezakegu, elementua izarrean edo triangeluan egonda ere. Bigarren aukera, berriz, triangeluan konektaturik dagoen elementuekin baino ezin da erabili. Beraz, elementu baten konexioa ezagutu ezean, lehenengo aukera hartuko dugu.

- Demux (*Simulink / Signals Routing / Demux*). Potentzia aktiboa eta erreaktiboa aurreko irteera-bektoretik banaturik ateratzeko.
- Pantailak (*Simulink/Sinks/Display*). Potentzia aktiboak eta erreaktiboak irakurtzeko.
- V-I neurgailu trifasikoak (*SimPowerSystems / Measurements / Three-Phase V-I Measurement*). Elementu honekin sistema trifasiko baten tentsioak zein korrontek neur daitezke. Neurtuko diren magnitudeak elementuaren ezaugarri-taulan zehaztu behar dira:

- Tentsioak: bat ere ez (*No*), tentsio sinpleak (*phase-to-ground*) edo tentsio konposatuak (*phase-to-phase*).
- Korronteak: puntu horretatik zirkulatzen duten korronteak, bai edo ez.

Gure kasuan, neurgailu horiek zirkuitu bakoitzak xurgatzen dituen potentziak kalkulatzeko erabiliko ditugu. Beraz, tentsio sinpleak eta korronteak neurtuko ditugu.

- Polimetroak (*SimPowerSystems / Measurements / Multimeter*). Polimetroak karga baten potentziak neurtzeko erabiliko ditugu. Polimetro batean, karga horren tentsioak neurtuko ditugu, eta bestean korronteak. Modeloa ez konplikatzeko, simulazio bakoitzean karga baten potentziak bakarrik neurtuko ditugu. Beraz, karga guztien neurketak egiteko, prozesu berari jarraituko diogu:
 - Karga horren ezaugarri-taulan markatu tentsioak zein korronteak neurtzeko aukera. Karga trifasikoa denez, kasu guztietan faseko tentsio eta korronteak neurtuko dira:
 1. Izarrean: tentsio sinpleak eta lineako korronteak.
 2. Triangeluan: tentsio konposatuak eta korronte sinpleak.
 - Polimetroetan aukeratu karga horien magnitudeak eta ezabatu gainerakoak.
 - Simulazioa abian jarri, eta hartu neurriak.

b) Zehaztu simulazioaren parametroak

Praktika honetan egingo ditugun simulazioek 0.04 s iraungo dute (bi ziklo). Gainerako parametroak 3. praktikan erabilitakoak izango dira (ikusi 3.18 irudia).

c) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Praktika honetan banaketa-sistemako potentziak neurtuko ditugu:

1. Zirkuitu bakoitzak xurgatzen dituen potentzia aktiboa eta erreaktiboa. Balio horiek kalkulatzeko, V-I neurgailu trifasikoen neurketak erabiltzen dira.
2. Karga bakoitzak xurgatzen dituen potentzia aktiboa eta erreaktiboa. Balio horiek kalkulatzeko polimetroen neurketak erabiltzen dira.
3. Zirkuitu bakoitzeko lineetan galtzen diren potentziak. Balio horiek kalkulatzeko aplikatu Boucherot-en teorema.
4. Egoera egonkorreko tentsioak eta korronteak erabiliz, kalkulatu zirkuitu eta karga bakoitzeko potentziak. Kalkulatutako balioak konparatu simulazioaren bidez lortutakoekin.

3.2. HONAKO GALDERA HAUEI ERANTZUN

- Karga baten konexioa ezagutzen ez badugu, nola lortuko dugu karga horren potentzia-faktorea?
- Karga baten potentzia aktiboa kalkulatzeko, zer magnitude eta datu jakin behar ditugu?
- Irudikatu motorraren borneen kutxa eta egin beharko den konexioa, kontuan izanik motorraren ezaugarri-xaflaren arabera 220 V-eko zein 380 V-eko sistemetan konektatzeko balio duela eta laborategiko elikadura-sistema 127/220 V-ekoa dela.
- Motorraren ezaugarrien xaflan potentzia izendatua (P), potentzia-faktorea ($\cos\varphi$) eta errendimendua (η) zehazten badira, aurreko galderan erabili den konexiorako honako hauek kalkulatu: galerak, xurgatutako potentzia elektrikoa eta lineako korrontea.

4- LABORATEGIAN

4.1. PRAKTIKA

Praktika honetan karga trifasiko orekatu baten potentzia aktiboa, potentzia erreaktiboa, potentzia-faktorea eta itxurazko potentzia kalkulatu ditugu. Horretarako, oinarri teorikoan ikusitako metodoak eta muntaketak erabiliko ditugu.

Hasteko, bi wattmetroko metodoa aplikatuko dugu:

- Zuzeneko sekuentzia erabiliz egin 9.6 irudiko muntaketak. Wattmetroak irakurri, eta egiaztatu neurketak berdinak direla hiru muntaketetan.
- Berdin, alderantzizko sekuentzia erabiliz.
- Kalkulatu P , Q , $\cos \varphi$ eta S .

Azkenik, wattmetro bakarreko metodoa aplikatuko dugu:

- Zuzeneko sekuentzia erabiliz egin 9.10 irudiko muntaketak. Wattmetroak irakurri aldi bakoitzean, eta konparatu irakurketa horiek lehen egindakoekin.
- Berdin, alderantzizko sekuentzia erabiliz.
- Kalkulatu P , Q , $\cos \varphi$ eta S .

4.2. MATERIALA

2 wattmetro monofasiko (W_1 , W_2)

2 amperometro (A_1 , A_2)

1 karga trifasiko orekatu (motor asinkronoa)

POTENTZIA-FAKTOREAREN HOBEKUNTZA

Garraio-lineetan galtzen den potentzia linea horretatik zirkulatzen duen korrontearen arabera da; korronte horren balioaren karratuarekiko proportzionala, hain zuzen ere. Linean bertan jausten den tentsioa ere korronte horren funtzio da. Beraz, potentzia jakin bat garraiatzean ekidin ezinezko eragozpen horiek gertatuko dira, eta konpainia elektrikoei kostu handia ekarriko die.

Efektu horiek murrizteko, garraio-lineetan tentsio altuak erabiltzen dira: potentzia jakin bat garraiatzean, zenbat eta tentsio altuagoa, orduan eta korronte txikiagoa. Baina tentsio-maila igo ezin bada, zer egin dezakegu? Nola txikitu lineako korrontearen balioa erabiltzaileek behar duten potentzia aktibo beraz hornituz?

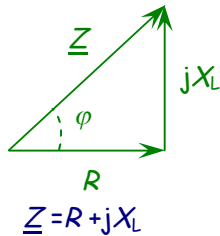
Bestalde, tarifa elektrikoak aztertuz gero, potentzia-faktorearen arabera gainordain eta beherapenak daudela egiaztatuko duzu. Zergatik da hain garrantzitsua kargen potentzia-faktorea? Nola hobetu dezakegu industria batek ordaintzen duen faktura elektrikoa?

PRAKTIKA HAU EGIN ETA GERO, JAKIN BEHAR DUT:

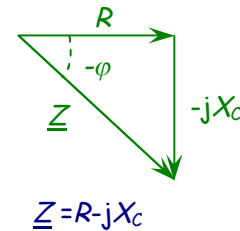
- Potentzia-faktorearen hobekuntzak ekartzen dituen ondorioak eta abantailak ezagutzen.
- Potentzia-faktorea hobetzeko jarri beharreko kondentsadoreak kalkulatu.
- Kondentsadoreen izar- eta triangelu-konexioen arteko erlazioak ezagutzen eta bereizten.
- Motorraren ezaugarri-xaflako parametro guztiak ulertzen.

1- SARRERA

Edozein kargaren potentzia-faktorea kargaren angeluaren kosinua da. Horrela definiturik, kargaren osagai errealararen eta moduluaren arteko erlazioa da. Erraz ikusten da hori kargaren inpedantzien triangeluan.



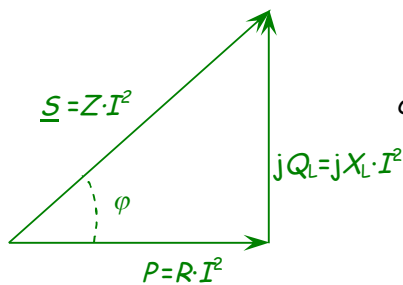
$$\cos \varphi = \frac{\text{ondoko katetoa}}{\text{hipotenusa}} = \frac{R}{Z}$$



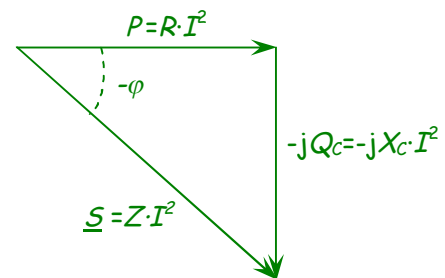
10.1a irudia. Impedantzien triangela karga inductibo batean

10.1b irudia. Impedantzien triangela karga kapazitibo batean

Jakina da, era berean, impedantzien triangela eta potentzien triangela antzekoak direla.



$$\cos \varphi = \frac{\text{ondoko katetoa}}{\text{hipotenusa}} = \frac{P}{S}$$



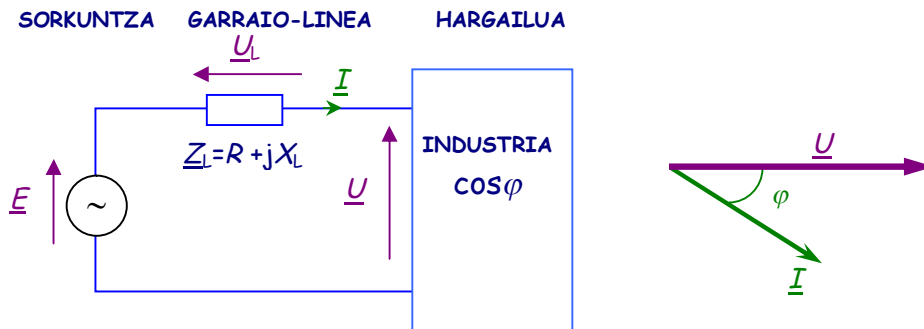
10.2a irudia. Potentzien triangela karga inductibo batean

10.2b irudia. Potentzien triangela karga kapazitibo batean

Potentziekin egindako oraingo definizioak esanahi argiagoa dauka: kargak xurgatutako potentzia guztiaren eta aktibo edo errealararen arteko zatidura da potentzia-faktorea. Karga inductiboetan eta kapazitiboetan, elementuak funtziona dezan, potentzia erreaktiboa xurgatu behar du saretik, baina potentzia mota horrek ez du lanik sortzen. Potentzia-faktorearekin, zenbaki batekin soilik, kargaren potentzia-erlazioa ezagutu daiteke.

Sistema elektrikoan loturik dauden karga gehienak inductiboak dira, gehien bat motorrak baitaude sistemari loturik. Eta karga inductibo horien potentzien triangela 10.2a irudikoa da. Oro har esan daiteke, kasu bereziak alde batera utzita, industria-bezeroak sistema elektrikoarentzat karga inductiboak direla eta, haien instalazioaren potentzien triangela egiten badugu, guztietan φ angelua 0° eta 90° bitartean egongo dela.

Sistema elektrikoaren eskema sinplifikatu batean (baliokide monofasikoan) ikusiko dugu nolako eragina daukan kargaren φ angeluak energiaren garraioaren ekonomian.

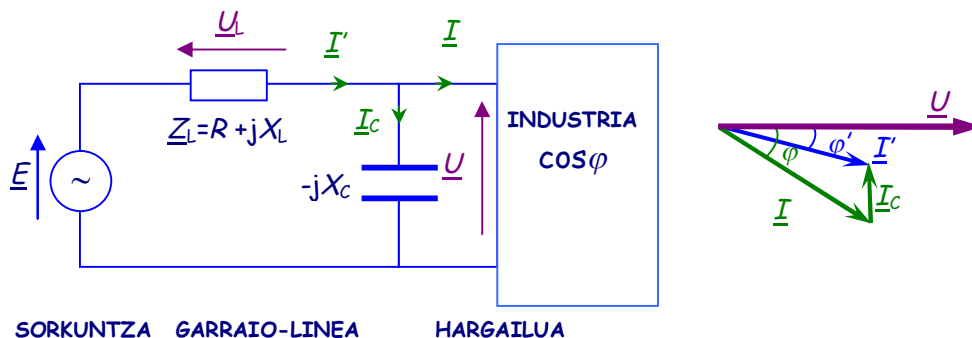


10.3 irudia. Banaketa-sistemaren eskema sinplifikatua, eta bektoreen diagrama

Korronteak tentsioarekiko φ angeluko atzerapena du, eta hori islatu da diagrama bektorialean; tentsioa faseen jatorrian hartu da. Korronteak (\underline{I}), linean, tentsio-jausi bat eragiten du (\underline{U}_L), eta Joule galera batzuk ($R \cdot I^2$) lineako inpedantzian. Industriaren sarrerako tentsioa tentsio izendatua da; konstante iraun behar du beti, eta horregatik lineako tentsio-jausiak sorgailuak konpentsatu beharko ditu, sorkuntza tentsio altuagoan eginez.

Lineak garraiatu beharko dituen potentziak, aldiz, 10.2a irudiko potentzien triangeluak emango dizkigu.

Lineako tentsio-jausiaren eta Joule galeren arazoa erraz konpon liteke, industriaren sarreran kondentsadore batzuk jarrita. Garraiatu behar den korrontea (\underline{I}') txikituko da, baina, industriaren eskaria berdina denez, ez da instalazioak xurgatzen duen korrontea (\underline{I}) aldatzen. Garraiatu beharreko korrontea jaistean lineako tentsio-jausia eta Joule galerak murriztuko dira. Konpainia banatzaileari, beraz, kondentsadoreak industriaren sarreran jartze horrek onura handiak ekartzen dizkio.



10.4 irudia. Banaketa-sistema $\cos\varphi$ hobetu eta gero, eta bektoreen diagrama

Azken batean egin dena lineak ikusten duen kargaren angelua φ angelutik φ' angelura txikitzea baino ez da izan. Eta lineak garraiatu behar duen potentzia erreaktibo hori nolabait murriztu. Izan ere, lineak orain ikusiko duen potentzia erreaktiboaren eskaria (Q') ez da lehenengo Q hori izango, baizik eta $Q' = Q - Q_C$, kondentsadoreak jarri baino lehen egoten duen potentzia erreaktibo baina txikiagoa. 10.7 irudian ikusten da nolakoa den garraiatu beharko diren potentzien triangela hobekuntza egin eta gero.

Legez, industrietan potentzia-faktorea balio zehatz batzuen artean mantendu beharko dute. Eta, horren ondorioz, industria-instalazioen sarreretan kondentsadoreen bildumak egoten dira. Kondentsadore bilduma horiek eduki behar duten potentzia erreaktiboaren kontsumoa

kalkulatu behar izaten da, legearen barneko mugetan egon dadin instalazio osoaren potentzia-faktorea.

1995eko urtarrilaren 12ko xedapenean, tarifa elektrikoak finkatzen dira, eta 7.2 atalean energia erreaktiboagatiko gehigarriak ezartzen dira, horren arabera:

«... Energia erreaktiboagatiko gehigarria izango da oinarritzko fakturan ehunekotan adieraziko den gainordain edo beherapen bat...»

«... Gehigarriak aplika dakizkieke 1.0 eta 2.0 tarifak ez dauzkaten bezero guztiei. Salbuespenak dira 2.0 tarifa duten bezeroak eta 7.2.2 ataleko baldintzak betetzen dituztenak...». Oro har, tentsio baxuko tarifa eta 15 kW baino gutxiagoko potentzia kontratatutak dituzten bezeroei ez zaie, beraz, lege hau aplikatuko.

«...Ezin da 0,55 baino txikiagoa den $\cos\varphi$ -a eduki instalazioan...»; Nahitaez egin behar da $\cos\varphi$ horren hobekuntza, hornikuntza eten ez diezaieten bezeroari.

«Abonatuak efektu kapazitiboak eragiten baditu sisteman... hornikuntza eten diezaiketete...». Izaera kapazitiboa duen instalazioa sarera lotuz gero, hornitzaileak hornikuntza eten dezake.

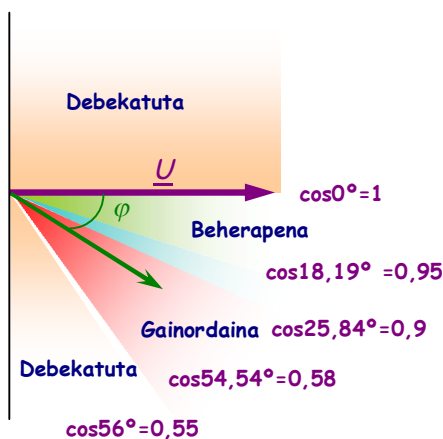
«... $1 \leq \cos\varphi < 0,95$ duen bezeroari $K_r(\%) = \frac{37,026}{\cos^2 \varphi} - 41,026$ formularen araberako

beherapena aplikatuko zaio...». Beherapena oinarritzko fakturaren % 4koa izango da gehienez.

«... $0,95 \leq \cos\varphi \leq 0,90$ duen bezeroari $K_r(\%) = 0$ izango da...». Ez beherapenik, ez gainordainik, beraz.

« $\cos\varphi < 0,90$ duen bezeroari $K_r(\%) = \frac{29,16}{\cos^2 \varphi} - 36$ formularen araberako gainordaina aplikatuko zaio...». Gainordain hori fakturaren % 50,7koa izango da gehienez.

Aipatutako guztia eskema honetan laburbiltzen da:



10.5 irudia. Legediaren araberako gainordain eta beherapenak $\cos\varphi$ -aren arabera.

1. maila. Industria Ingeniaritza Teknikoa, Elektrizitateko espezialitatea

2- OINARRI TEORIKOA

Instalazio batean ikusi behar da zein den lehenengo dugun $\cos\varphi$ -a eta fakturazioan beharpen bat lortu nahi badugu zer $\cos\varphi'$ behar dugun. $\cos\varphi$ -aren hobekuntza zehatz hori lortzeko, kalkulatu beharko dugu zein den jarri beharko ditugun kondentsadoreen kapazitatea. Hori da, hain zuzen ere, praktika honetan egiten ikasiko duguna.

Urtxintxa-kaiolako motor bat izango da gure karga trifasiko orekatua (ikusi 10.6. irudia). Motor bat denez, karga inductiboa izango da. Eta potentziak, hauexek:

$$P = \sqrt{3}I_L U_K \cos\varphi \quad (10.1)$$

$$Q = \sqrt{3}I_L U_K \sin\varphi$$

$$S = \sqrt{3}I_L U_K$$

Bi egoera bereiz daitezke eskemako zirkuituan:

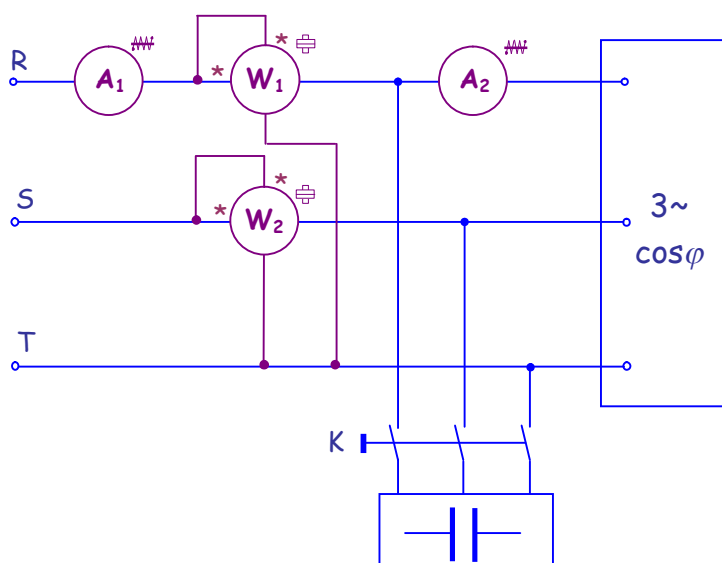
K etengailua zabalik dagoenean:

Egoera honetan motorraren potentzia aktiboa erreaktiboa eta itxurazkoa eskeman dauden bi wattmetroen irakurketetatik lor daitezke. Izan ere, konexioa bi wattmetroen metodoarena da, Aron-en konexioa deritzo.

Eta, beraz, sekuentzia zuzenean ari garela jotzen bada:

$$P = W_1 + W_2 \quad Q = \sqrt{3}(W_1 - W_2) \quad \cos\varphi = \frac{1 + \frac{W_2}{W_1}}{2\sqrt{1 - \frac{W_2}{W_1} + \left[\frac{W_2}{W_1}\right]^2}} \quad (10.2)$$

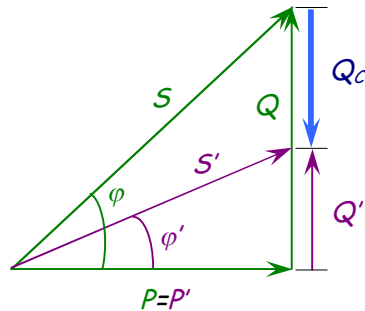
K etengailua itxi aurretik A_1 eta A_2 amperemetroen irakurketak berdinak dira.



10.6. irudia. Muntaketa

K etengailua interakoa:

K etengailua interakoa kondentsadoreek taldearen potentzia erreaktibo gutxituko dute, lineako intentsitatea murriztuz eta $\cos\varphi$ hobetuz, 10.7. irudian ikusten den bezala.

**10.7 irudia. Potentzien triangelua, karga eta kondentsadoreen taldearena** **φ -tik φ' -ra igarotzeko jarri beharreko kondentsadoreen potentzia erreaktiboaren kalkulua:**

Lehenengo kondentsadoreek kontsumituko duten potentzia erreaktibo (Q_c) zehaztuko dugu. Horretarako 10.7 irudiko potentzien triangelua erabiliko dugu:

$$\left. \begin{aligned} Q &= P \cdot \operatorname{tg}\varphi \\ Q' &= P \cdot \operatorname{tg}\varphi' \end{aligned} \right\} Q_c = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi') \quad (10.3)$$

non $\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi' = K$ balioa 10. 1. taulatik lortuko baitugu.

Eta Q_c lortzeko, honako ekuazio hau aplikatu beharko dugu:

$$Q_c = P \cdot K \quad (10.4)$$

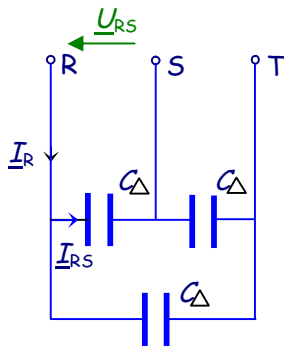
Jarri beharreko kondentsadoreen kapazitatearen kalkulua:

Gero, kondentsadoreen kapazitatea kalkulatu beharko dugu: instalazioan jarri behar diren kondentsadoreen kapazitatea kalkulatu behar da, aurretik kalkulaturako Q_c zehatz hori lortzeko. Kondentsadoreen konexioa (triangelua ala izarra den) ere izan behar da kontuan, horrek eragin zuzena baitu kapazitatearen balioan. Ikus dezagun:

- Izar-konexioa:

$$\begin{aligned} Q_c &= 3 \cdot I_R \cdot U_{R0} = 3 \cdot \frac{U_{R0}}{X_{C_{izarra}}} \cdot U_{R0} \\ Q_c &= 3 \frac{U_{R0}^2}{X_{C_{izarra}}} \left. \begin{aligned} X_{C_{izarra}} &= \frac{1}{\omega \cdot C_{izarra}} \\ Q_c &= 3 \cdot \frac{U_{R0}^2}{\frac{1}{\omega \cdot C_{izarra}}} = 3U_{R0}^2 \omega \cdot C_{izarra} \end{aligned} \right\} \\ C_{izarra} &= \frac{Q_c}{3 \cdot U_{R0}^2 \cdot \omega} = \frac{Q_c}{3 \cdot \left(\frac{U_K}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \omega} = \frac{Q_c}{U_K^2 \cdot \omega} \end{aligned}$$

- Triangelu-konexioa:



$$Q_C = 3 \cdot I_{RS} \cdot U_{RS} = 3 \cdot U_{RS} \cdot \frac{U_{RS}}{X_{C \text{ triangelua}}}$$

$$Q_C = 3 \frac{U_{RS}^2}{X_{C \text{ triangelua}}}$$

$$X_{C \text{ triangelua}} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{triangelua}}} \quad \left. \begin{array}{l} Q_C = 3 \frac{U_{RS}^2}{X_{C \text{ triangelua}}} \\ X_{C \text{ triangelua}} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{triangelua}}} \end{array} \right\} Q_C = 3 \cdot U_{RS}^2 \cdot \omega \cdot C_{\text{triangelua}}$$

$$U_K = \sqrt{3} U_S$$

$$C_{\text{triangelua}} = \frac{Q_C}{3 \cdot U_{RS}^2 \cdot \omega} = \frac{Q_C}{3 \cdot U_K^2 \cdot \omega}$$

Potentzia erreaktibo kapazitiboaren balio bera lortzeko, maiztasun berdinerako eta sareko tentsio berdinerako, izarrean konektatutako kondentsadoreen kapazitateak triangeluan konektatutako hiru hiru aldiz izan behar du. izarrean kondentsadoreek tentsio sinplea jasango dute, eta triangeluan, aldiz, konposatua.

Kondentsadoreen kapazitatea kalkulatzeko formula hauek erabiliko ditugu, beraz:

Kondentsadoreak izarrean konektaturik badaude:

$$C_{\text{izarra}} = \frac{Q_C}{U_K^2 \cdot \omega} \quad (10.5)$$

Kondentsadoreak triangeluan konektaturik badaude:

$$C_{\text{triangelua}} = \frac{Q_C}{3 \cdot U_K^2 \cdot \omega} \quad (10.6)$$

Aurrekoaren hariari lotuz, tentsio konposatua jasateko gai diren eta izarrean konektatuta dauden hiru kondentsadore monofasiko badiugu, kondentsadoreen potentzia erreaktibo hiru aldiz izango dugu, triangeluan konektatzen badiugu, hemen ikus daitezkeen bezala:

$$\text{Izarrean: } Q_C = 3 \cdot I_R \cdot U_{R0} = 3 \cdot \frac{U_{R0}}{X_C} \cdot U_{R0} = 3 \cdot \frac{U_{R0}^2}{X_C} = 3 \cdot \frac{U_K^2}{3X_C} = \frac{U_K^2}{X_C}$$

$$\text{Triangeluan: } Q_C = 3 \cdot I_{RS} \cdot U_K = 3 \cdot \frac{U_K}{X_C} \cdot U_K = 3 \cdot \frac{U_K^2}{X_C}$$

3- LABORATEGIRA ETORRI BAINO LEHEN

3.1. SIMULAZIOA

Praktika honetan aurreko praktikan (9. praktikan) erabilitako banaketa-sistemako kargen potentzia-faktorea hobetuko dugu. Izan ere, saiatuko gara karga guztien potentzia-faktore ahalik eta onena lortzen.

a) Lortu zirkuituaren modeloa

Sistemako potentzia-faktorea hobetzeko, kargekin paraleloan kondentsadoreen bateriak konektatuko ditugu. Bateria horiek simulatzeko, hiru aukera erabiliko ditugu:

- RLC adarra izarrean (*SimPowerSystems / Elements / Three-Phase Series RLC Branch*). Elementu hau adar bat da, eta fase guztien hasierak zein amaierak eskuragarri daude. Beraz, izar-konexioa geuk egin beharko dugu.

Bestalde, karga kapazitibo hutsak lortzeko, atal erresistiboa eta erreaktiboa ezeztatuko ditugu. Atal kapazitiboa zehazteko, fase bakoitzeko kapazitatea kalkulatu beharko dugu. Balio hori kalkulatzeko oinarri teorikoan adierazi denaren arabera jokatuko dugu.

- RLC adarra triangeluan (*SimPowerSystems / Elements / Three-Phase Series RLC Branch*). Berdin, baina triangelu konexioa erabiliz.
- Karga trifasikoa (*SimPowerSystems / Elements / Three-Phase Series RLC Load*).

Gure kasuan, 4 bateria erabiliko ditugu, 4. eta 5. kargen potentzia-faktorea hobetzeko bateria bakar bat erabiliko dugu eta.

b) Zehaztu simulazioaren parametroak

Simulazio-parametroak aurreko praktikaren berberak izango dira.

c) Egin simulazioa eta aztertu emaitzak

Praktika honetako simulazioen bidez, honako emaitza hauek lortu beharko ditugu:

1. Bateria bakoitzaren kapazitatea eta potentzia erreaktiboa, sistemako potentzia-faktorea ahalik eta onena izateko.
2. Sistemako tentsio eta korrante berriak. Alderatu balio berriak bateriarik gabe lortzen direnekin.
3. Zirkuitu bakoitzeko potentzia aktibo eta erreaktibo berriak. Alderatu balio berriak bateriarik gabe lortzen direnekin.
4. Lineetan galtzen diren potentzia berriak. Alderatu balio berri horiek lehengoekin.

4- LABORATEGIAN:

4.1. PRAKTIKA

10.6. irudiko muntaketa egin, eta sekuentzia zuzen batez elikatuko dugu. Gero, urrats hauek egingo ditugu:

- 4.1.1. K zabalik dagoelarik, wattmetro eta amperometroen irakurketak hartu, eta amperometroen irakurketak berdinak direla egiaztatu.
- 4.1.2. (10.2) formulak erabiliz, motorraren P , Q eta $\cos\varphi$ kalkulatu.
- 4.1.3. $\cos\varphi$ 0.9ra hobetzeko konektatu beharko diren kondentsadoreen kapazitatea kalkulatu beharko da. Kalkulu hori egiteko, lehenengo, Q_c kalkulatu beharko dugu, 10.3 eta 10.4 formulak, eta (10.1) taula erabiliz. Ondoren, (10.5) eta (10.6) formulen bidez kapazitateak zehaztu.
- 4.1.4. K itxita eta kondentsadoreak izarrean konektaturik daudela irakurketa berriak hartu, eta potentzia berriak eta potentzia-faktore berriak kalkulatu. Ondoren, handitu ala txikitu diren egiaztatu.
- 4.1.5. Aurreko atalekoa errepikatu, kondentsadoreak triangeluan konektatuz. Egiaztatu kondentsadoreen potentzia erreaktiboa aurrekoaren hirukoitza dela.

10.1 taula. K faktorea zehazteko taula.

DAGOENA		K faktorea				
		BILATZEN ARI GAREN $\cos\varphi'$				
$\text{tg}\varphi$	$\cos\varphi$	0.8	0.85	0.9	0.95	1
1.73	0.5	0.982	1.112	1.248	1.403	1.732
1.64	0.52	0.892	1.023	1.158	1.314	1.644
1.56	0.54	0.808	0.939	1.074	1.230	1.559
1.48	0.56	0.729	0.859	0.995	1.150	1.480
1.40	0.58	0.654	0.785	0.920	1.076	1.405
1.33	0.60	0.583	0.713	0.849	1.004	1.334
1.26	0.62	0.515	0.646	0.781	0.937	1.265
1.20	0.64	0.450	0.581	0.716	0.872	1.200
1.14	0.66	0.388	0.518	0.654	0.810	1.138
1.08	0.68	0.328	0.459	0.594	0.750	1.079
1.02	0.70	0.270	0.400	0.536	0.691	1.020
0.97	0.72	0.214	0.344	0.480	0.635	0.963
0.91	0.74	0.159	0.280	0.425	0.580	0.909
0.85	0.76	0.105	0.235	0.371	0.527	0.855
0.80	0.78	0.052	0.182	0.318	0.474	0.803
0.75	0.80	-	0.130	0.266	0.421	0.750
0.70	0.82	-	0.078	0.214	0.369	0.698
0.65	0.84	-	0.026	0.162	0.317	0.646
0.59	0.86	-	-	0.109	0.264	0.593
0.54	0.88	-	-	0.056	0.211	0.540

Taularen erabilera. Instalazioan ditugun P eta $\cos\varphi$ -a ezagutzen ditugunean eta hobekuntza egin eta gero edukiko dugun $\cos\varphi'$ -a finkatuta dagoenean, K faktorea dagokion zutabetik aterako dugu. Kondentsadoreen potentzia erreaktiboa (10.6) formularekin lortuko dugu.

4.2. MATERIALA2 amperometro (A_1, A_2)2 wattmetro (W_1, W_2)

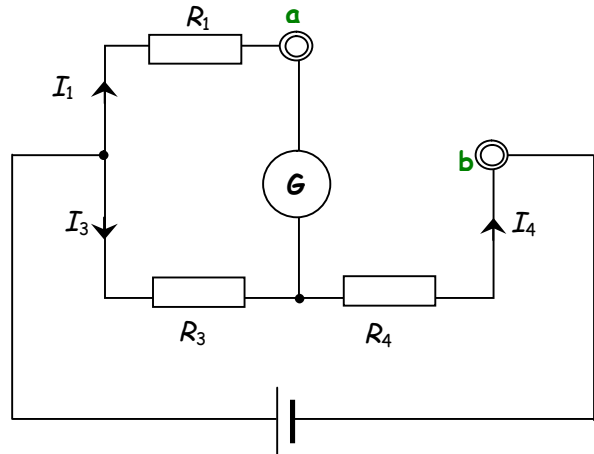
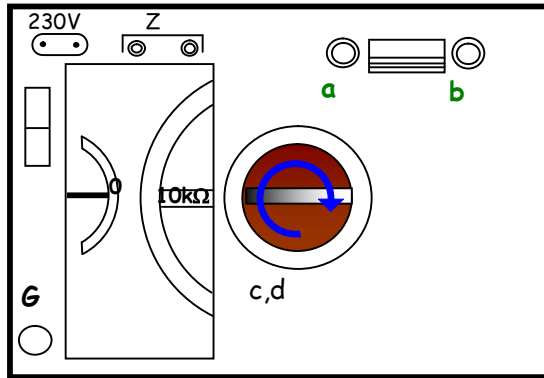
1 karga trifasiko orekatua (motor asinkronoa)

Kondentsadore-bilduma

WHEATSTONE ZUBIAREN ERABILERA

Erabilera-arauak:

1. Neurtu nahi den erresistentzia **a**-ren eta **b**-ren artean konektatu. **EZ BESTE INON**
2. Galkatu **G** sakagailua.
3. Sakagailua galkatuta dagoen bitartean, biratu eskalak (**c** eta **d** biraderak), orratzak 0 adierazi arte.
4. Hartu neurria.

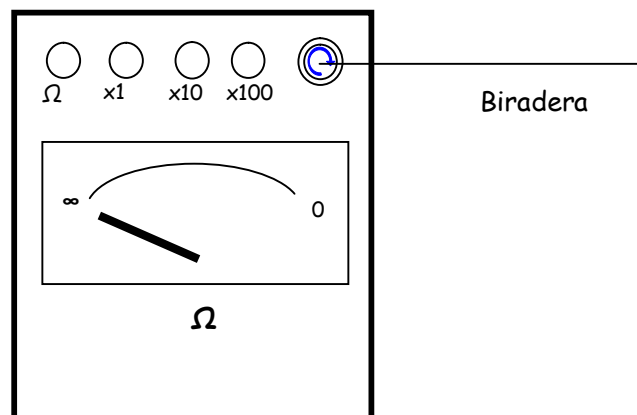


Irudian, ezkerrean, Wheatstone zubiaren kanpo-itxura dugu; eskuinaldean, zubiaren barruko egituraren eskema. Neurtu nahi dugun erresistentzia **a**-ren eta **b**-ren artean konektatuko dugu.

OHMETROAREN ERABILERA

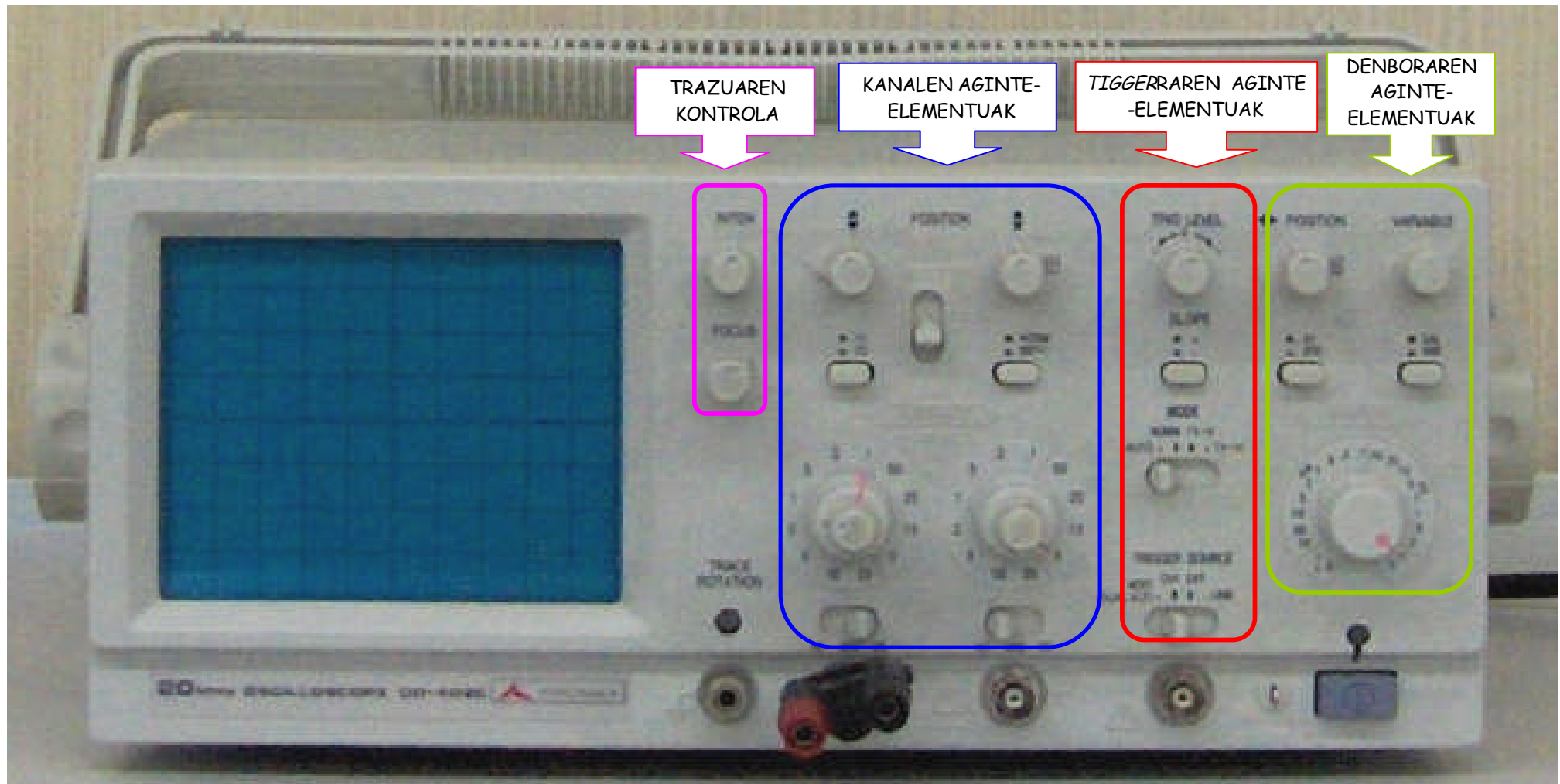
Erabilera-arauak:

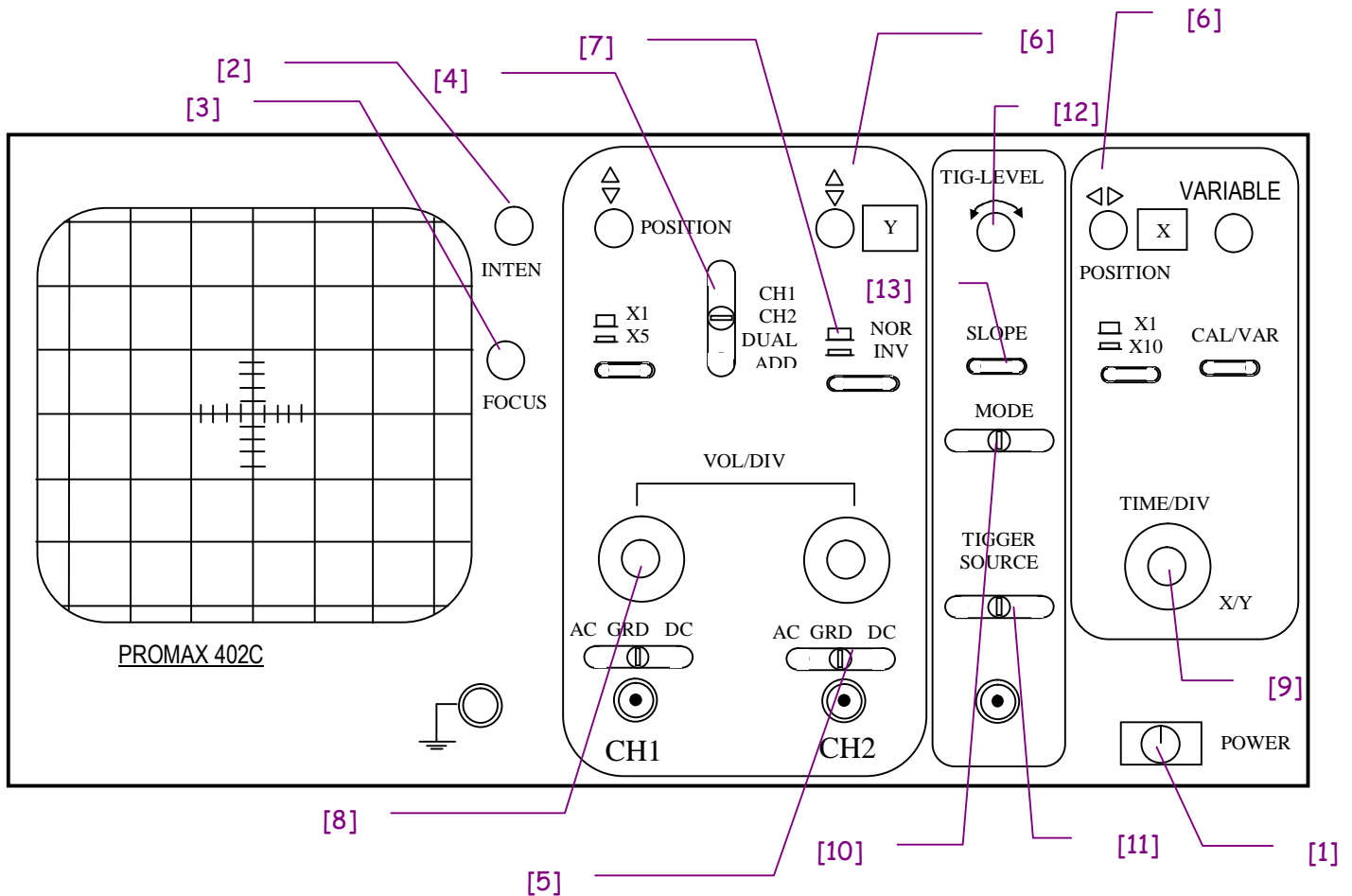
1. Edozein eskala erabili baino lehen, eskala kalibratu behar da, lotu Ω eta $\times 1$, $\times 10$ edo $\times 100$, eta orratzak zero adierazi arte, biraderari eragin.
2. Kalibratutako eskalaren borneen artean konektatu neurtu beharreko erresistentzia.
3. Eskala egokia bada, irakurketa hartu.
4. Eskala egokia ez bada, hautatu beste eskala bat. Baina neurria hartu aurretik kalibratu!!!



OSZILOSKOPIOA

Atalak





OSZILOSKOPIOA: aginteen funtzioak

Masa komuneke osziloskopioak: bi kanaletako (CH1 eta CH2) masak elkarren artean konektaturik daude. Kanal bakoitzari sartzen zaion seinalea masarekiko ikusiko dugu.

Aparatuak bere masa propioa dauka. Horregatik, sareko sistemako masatik (lurretik) bereizi beharko dugu. Horretarako, osziloskopioa sarera zuzenean konektatu beharrean, lur-konexioa baliogabetuta duen lapur baten bidez egingo dugu (beste metodo batzuk ere erabil daitezke).

Osziloskopioak bi kanal ditu: CH1 eta CH2. Beraz, pantailan, kanal batetik zein bestetik sartutako seinalearen denborarekiko aldakuntza ikusi ahal izango dugu. Horretaz gain, bi seinaleak batera ere ikusi daitezke. Pantailan ikusi nahi den kanalaren aukeraketa egiteko *kanalaren hautagailua* [4] eragin beharko diogu.

[1] *Power*: osziloskopioa abian jartzeko sakagailua.

[2] *Inten*: pantailako trazuaren intentsitatea (argitasuna) handitzeko edo gutxitzeko. Ez da komenigarria intentsitate handirik, pantaila honda daiteke eta.

[3] *Focus*: pantailako trazua fokatzeko.

[4] *Kanal-hautagailua*:

CH1 posizioa: pantailan 1. kanaletik sartutako seinalearen denborarekiko aldakuntza ikusiko dugu.

CH2 posizioa: pantailan 2. kanaletik sartutako seinalearen denborarekiko aldakuntza ikusiko dugu.

DUAL: pantailan 1. kanaletik zein 2. kanaletik sartutako seinaleen denborarekiko aldakuntzak ikusiko ditugu aldi berean.

ADD: pantailan 1. kanaletik zein 2. kanaletik sartutako seinaleen batuta aljebraikoaren uhina ikusiko da.

[5] *AC-GND-DC hautagailua:*

AC: sarrerako seinlearen osagai zuzenak baliogabetuko ditu.

GND: lur-erreferentzia eman.

DC: sarrerako seinalea osorik igaroko da, osagai zuzen eta guzti.

[6] *Position:*

Y position: bi eragingailu daude, bata CH1 kanalerako eta bestea CH2 kanalerako; seinalea *y* ardatzean zehar (bertikalean) mugitzeko erabiliko ditugu.

Oharra: kanala aukeratzean GND moduan jarri, eta marra horizontal bat agertuko zaigu, $y=0$ posizioan. Ez badago kanalari dagokion *Y position*, hautagailuarekin posizio horretan ($y=0$) jarriko dugu.

X Position: seinalea *x* ardatzean zehar mugitzeko erabiliko dugu. Eragingailu bakarra daukagu «Denboraren aginte-elementuak» atalean.

[7] *NORM/INV:* 2. kanalean seinalea alderantzikatuta ikusteko aukera dago, sakagailu hau erabiliz.

[8] *VOLT/DIV:* *Y* ardatzaren eskalaren aukeraketarako biradera. Pantailan zenbait zatiketa marraztuta daude. Horien balioak (zatiketa bakoitzak zenbat volt adierazten duen, alegia) biradera honekin aukeratu ahal izango dugu. Bi biradera ditu, bata (handia) eskala aukeratzeko eta bestea zehatzago doitzeko.

[9] *TIME/DIV:* *X* ardatzaren eskalaren aukeraketarako biradera. *X* ardatzeko zatiketa bakoitzak zenbat segundo adierazten duen aukeratzeko. Bi biradera ditu, txikia doiketa zehatzagoa egiteko.

XY posizioa: CH1= f(CH2) funtzioaren seinalea emango digu.

[10] *TIGGER MODE:* ekortzearen desarraren modua adierazten du.

AUTO: ekortzea aske uzten du. 25Hz-eko edo gehiagoko seinalea sumatzean desarra automatikoa egingo du horrela.

NORM: desarra-seinalea sumatzean egingo du ekortzea. Egokia 25Hz-etik beherako seinaleentzat.

TV-V: bideo-seinaleak ikusteko koadroko maiztasunez osatua.

TV-H: bideo-seinaleak ikusteko lineako maiztasunez osatua.

[11] *TIGGER SOURCE:* ekortzea egiteko desarraren iturria aukeratzeko.

CH1: desarraren iturria 1. kanala izango da.

CH2: desarraren iturria 2. kanala izango da.

LINE: korrante alternoko lineako pultsuak aukeratzeko.

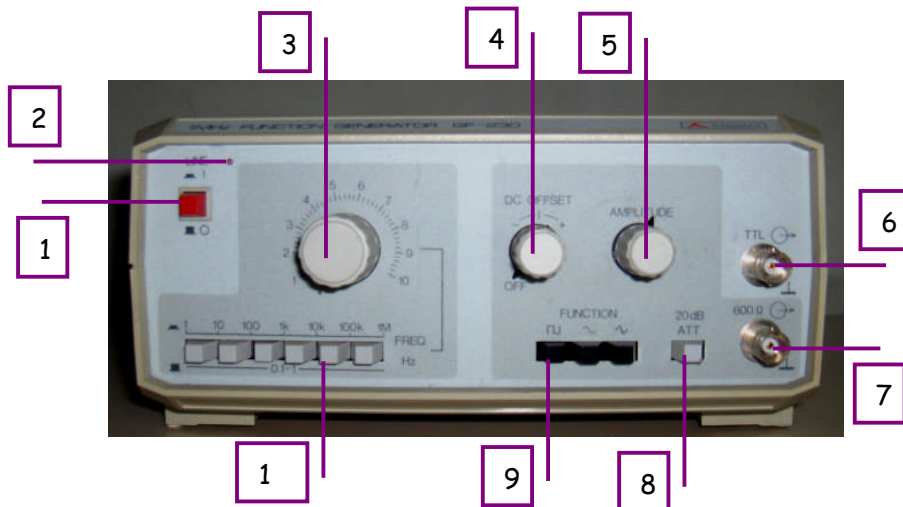
EXT: *tiggerraren* konektoretik aplikatutako seinalea hartzen du.

[12] *TIGGER LEVEL:* desarra sortuko duen seinlearen anplitudea aukeratzeko.

[13] *TIGGER SLOPE:* sakagailu hau hasierako ekortzearen desarrarako seinlearen malda positiboa edo negatiboa aukeratzeko erabiltzen da. Sakatuta seinale positiboa aukeratzeko, eta sakatu gabe negatiboa.

UHIN-SORGAILUA

Atalak:



[1] **LINE**: sareko tentsioa. On posizioan, tresna sareko tentsioaz elikatzen da.

[2] **LED**en erabileraren adierazgarria. Tresna lanean dagoela adierazten du.

[3] **MAIZTASUN-KONTROLA** maiztasunaren aldaketaren kontrol jarraitua, [10] agintearekin aukeratutako bitartean. Aukeratutako maiztasuna lortzeko, [3] biraderako balioa, [10] hautagailuarekin aukeratutako maiztasunaren tarteko balio txikienaz biderkatzea lortuko da Hz-etan.

[4] **DC OFFSET**. Tentsio-offseteko kontrola

Lan modu arruntean kontrolaren posizioa «itxia» da (ezker-ezkerretara). Biraderari eraginez, irteera-seinaleari gainjarriko zaion tentsio zuzenaren kontrol jarraitua lortuko da. Tentsio zuzen hori -10 V-etik 10 V-era alda daiteke, 0 V-etik igaroz. 0 V-eko posizioa lan modu arruntaren posizioa izango da.

[5] **AMPLITUDE**: anplitudearen kontrola. Aldaketa jarraituko agintea irteera-anplitudea erregulatzeko.

[6] **SA TTL. TTL irteera**. Irteera-seinalearen maiztasun bereko TTL mailako pultsuen irteera. 10 TTL sarreren karga ahalbidetzen du.

[7] **Seinale-irteera**: [9]-rekin aukeratutako seinalaren irteera, 600 Ω -eko barne-impedantziaduna.

[8] **20dB ATT. 20 dBko moteltzailea**: irteera-impedantzia mantenduz [5] kontrolarekin aukeratutako irteera-maila 20 dB moteltzen du.

[9] **FUNCTION**: irteera-funtzioaren hautagailua. Sakagailuei eraginez, uhin-forma karratua, trianguluarra edo sinusoidala aukeratu daitezke.

[10] **FREQ**: banda-selektoreak [3] kontrolak gobernatuko duen maiztasun-marjina hautatzeko. Selektore bakoitzak sakatze-ibilbidean bi ekintza ditu, ordena honetan:

- Taldeko beste edozein sakagailuren ekintza baliogabetu.
- Sakatutako posizioan mantendu.

Edozein sakagailu pixka bat sakatuz gero, denak baliogabetuta geratuko dira, eta hautatutako maiztasun-banda 0,1Hz-etik 1Hz-erakoa izango da.

Irteera nagusiaren erabilera:

- [9] aurreko kontrolen bidez nahi dugun funtzioa hautatu: sinusoidala, triangeluarra edo karratua.
- Maiztasuna aukeratu, [3] eta [10] aginteak erabiliz.
- Irteeran [7] karga konektatu anplitudearen agintea minimoan dagoela eta moteltzaileari [8] eragin gabe (0 dB).
- Anplitudea hautatu [5] agintearekin. Hautaketa egiteko, osziloskopio bat erabili irteeran [7] konektaturik.
- Seinaleari osagai zuzen bat gainjarri nahi izanez gero, erabili DC OFFSET [4] agintearekin. Kasu horretan kontuan hartu osziloskopioak zuzenean ahokatutako sarrera bertikala (DC) eduki beharko duela.