

INDUSTRIA TEKNOLOGIAREN INGENIARITZAKO GRADUA
GRADU AMAIERAKO LANA

***URPEKO APLIKAZIOETARAKO ZATITUTAKO
TRANSFORMADORE BIDEZKO ENERGIA
TRANSFERENTZIA SISTEMA BATEN GARAPENA***

Ikaslea: Astigarraga, Lejarza, Gaizka

Zuzendaria: Martínez de Alegría, Mancisidor, Iñigo

Kurtsoa: 2018-2019

Data: Bilbo, 2019ko uztailaren 20a

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

BILBOKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE BILBAO

LABURPENA

- *Proiektu honen funtsa ur azpiko aplikazioetan lan egiten duten robotak uretan bertan kargatu ahal izateko zatitutako transformadore bidezko energia transferentzia sistema bat garatzea da. Lan honen bitartez hasierako prototipo bat eraiki nahi da, efizientzia energetikoan sakonduko luketen eskala handiagoan eginiko etorkizuneko proiektuak bideragarriak izan daitezkeen aztertzeke.*

Berrikuntza honek hobekuntza ugari ekar ditzake arlo honetan, robot hauek karga gune batera eramateko uretatik atera behar ez izanak, baliabide askoren aurreztea, roboten bizitza erabilgarria luzatzea eta teknologia seguru eta efiziente baten implementazioa suposatuko bailuke.

Hitz gakoak: urpeko robota, energia transferentzia, zatitutako transformadorea, prototipoa, efizientzia.

- *El objetivo de este proyecto consiste en desarrollar un sistema de transferencia de energía con transformador de núcleo partido para poder realizar bajo el agua la carga de robots subacuáticos. Mediante este trabajo se quiere construir un prototipo inicial para analizar si serían viables unos futuros proyectos a mayor escala que profundizarían en la eficiencia energética. Esta innovación podría suponer grandes mejoras en su ámbito. El hecho de no tener que sacarlos del agua para llevarlos a una zona de carga supondría un ahorro de recursos, alargaría la vida útil de los robots y permitiría la implementación de una tecnología segura y eficiente.*

Palabras clave: robot subacuático, transferencia de energía, transformador partido, prototipo, eficiencia.

- *The goal of this project is to develop a contactless power transfer system with a split transformer for underwater robot battery charging. This proposition intends to implement an initial prototype to analyse the viability of future projects that will focus on the system energetic efficiency at scale.*

This new approach would involve great improvements in the field. The fact that robots would not have to be taken out from the water and brought to charge would imply important resource savings, enlarging their lifespan and improving the security and efficiency of the state of the art technology.

Key words: underwater robot, power transfer, split transformer, prototype, efficiency.

AURKIBIDEA

LABURPENA	i
AURKIBIDEA	iii
IRUDIEN ZERRENDA	v
GRAFIKOEN ZERRENDA	viii
TAULEN ZERRENDA	ix
AKRONIMOEN ZERRENDA	x
1 MEMORIA	1
1.1 SARRERA	1
1.2 TESTUINGURUA	1
1.2.1 ROUV-ak	1
1.2.2 AUV-ak	2
1.2.3 Kontakturik gabeko energia transferentzia	3
1.3 HELBURUAK ETA IRISMENA	7
1.3.1 Helburua	7
1.3.2 Irismena	7
1.4 ONURAK	8
1.5 GAIAREN EGOERA	9
1.6 ALTERNATIBEN ANALISIA	13
1.6.1 Aukeren deskribapena	13
1.6.2 Aukeraketa	14
1.7 ERABAKITAKO AUKERAREN DESKRIBAPENA	15
1.7.1 Sistemaren funtzionamendu orokorra	15
1.7.2 Prototipoaren atalak	16

1.7.3	Inbertsorea elikatze erabiliko den makineria	16
1.7.4	Inbertsorea	18
2	METODOLOGIA.....	26
2.1	ZEREGINEN DESKRIBAPENA	26
2.1.1	Informazioa biltzea eta sistemaren funtzionamendua zehaztea	26
2.1.2	Lanaren antolakuntza	26
2.1.3	Simulazioak	26
2.1.4	Inbertsorearen fabrikazioa eta bitarteko neurketak	42
2.1.5	Zatitutako transformadoreko harilkatuen prestaketa	46
2.1.6	Hartzailearen fabrikazioa	47
2.1.7	Kommutazio maiztasunaren zehaztapena	48
2.1.8	Isolamendua eta azken frogak.....	50
2.1.9	Dokumentazioa.....	51
2.2	FASEAK	52
2.3	GANTT DIAGRAMA	53
2.4	KALKULUAK	54
2.4.1	FREKUENTZIA OPTIMOAREN ZEHAZTAPENA	54
3	ALDERDI EKONOMIKOAK.....	60
3.1	AURREKONTUA	60
4	ARRISKUEN ANALISIA.....	63
4.1	ARRISKUEN DEFINIZIOA.....	63
4.2	ARRISKUEN PROBABILITATEA ETA ERAGINA.....	64
5	ONDORIOAK.....	65
6	ERREFERENTZIAK	66

IRUDIEN ZERRENDA

1. Irudia: Hercules ROUV-a	2
2. Irudia: ECA Group-en A18-E ikerkuntzarako AUV-a	3
3. Irudia: Indukzio elektromagnetikoa.....	4
4. Irudia: Primario eta sekundario bitarteko energia transferentzia.....	5
5. Irudia: UGREEN-en kargatze azkarreko 10W-ko haririk gabeko kargagailua.....	5
6. Irudia: Kontakturik gabeko energia transferentzia bidezko taupada kontagailua	6
7. Irudia: Nissan-ek aurkeztutako indukzio bidezko kargagailu berria	6
8. Irudia: Akoplatutako harilkatuen eskema.....	9
9. Irudia: Haririk gabeko energia transferentzia.....	13
10. Irudia: Zatitutako transformadorea akoplatzen.	14
11. Irudia: Prototipoaren harilkatu primarioan aplikatu nahi den tentsioa.....	15
12. Irudia: Prototipoa ataletan bereizita.....	16
13. Irudia: Tentsio sorgailua.....	16
14. Irudia: Uhin sorgailua	17
15. Irudia: Uhin sorgailuaren sarrerako tentsioa.....	17
16. Irudia: MOSFET-aren pin-ak	18
17. Irudia: H formako zubia	19
18. Irudia: Inbertsorea sekziotan bereizita.....	20
19. Irudia: Driver-aren pinak.....	22
20. Irudia: Driver-aren funtzionamendua zehazteko egia taula.....	23
21. Irudia: MOSFET-entzako hozte hegialak	23
22. Irudia: Dead time-a	25
23. Irudia: Erresistentzien eragina kondentsadoreen kargan.....	25

24. Irudia: 1. Simulazioa (A).....	27
25. Irudia: 1. Simulazioa (A): lirteera, Virteera (1)	28
26. Irudia: 1. Simulazioa (A): Isarrera (1)	29
27. Irudia: 1. Simulazioa (A): Virteera (2)	29
28. Irudia: 1. Simulazioa (A): Isarrera (2)	30
29. Irudia: 1. Simulazioa (B).....	31
30. Irudia: 1. Simulazioa (B): Isarrera, Virteera	31
31. Irudia: 2. Simulazioa	32
32. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10u$; $L_p=1u$; $L_s=1u$	33
33. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=50u$; $L_p=1u$; $L_s=1u$	33
34. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=100u$; $L_p=1u$; $L_s=1u$	34
35. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10u$; $L_p=10u$; $L_s=1u$	34
36. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10u$; $L_p=1u$; $L_s=10u$	35
37. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10u$; $L_p=10u$; $L_s=10u$	35
38. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=100u$; $L_p=10u$; $L_s=10u$	36
39. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=10u$, $L_p=1u$, $L_s=1u$).....	37
40. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=10u$, $L_p=10u$, $L_s=10u$).....	37
41. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100u$, $L_p=10u$, $L_s=10u$).....	38
42. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100u$, $L_p=10u$, $L_s=1u$).....	38
43. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100u$, $L_p=1u$, $L_s=10u$).....	39
44. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100u$, $L_p=1u$, $L_s=1u$).....	39
45. Irudia: 3. Simulazioa (A).....	40
46. Irudia: 3. Simulazioa (A): V_{out} , I_{d1} , I_{d2} , I_{d3} , I_{d4}	40
47. Irudia: 3. Simulazioa (B).....	41

48. Irudia: 3. Simulazioa(B): Vout, Id1, Id2, Id3, Id4	41
49. Irudia: Inbertsorearen eskema orokorra	43
50. Irudia: Inbertsorearen muntaia	44
51. Irudia: Neurketarako erabilitako tresnak.....	45
52. Irudia: Hartzailea.....	47
53. Irudia. Sarrerako intentsitatea neurtzeko erabilitako erresistentzia.....	49
54. Irudia: Transformadore zatien finkapena.....	50
55. Irudia: Potentzien neurketak burdinarterik gabe	54
56. Irudia: Potentzien neurketak 1mm-ko burdinartearekin	56
57. Irudia: Potentzien neurketak 2mm-ko burdinartearekin	58

GRAFIKOEN ZERRENDA

1. Grafikoa: Q kalitate faktoreko bi harilkaturen efizientzia maximoa d/r -ren arabera ..	12
2. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, hutsean	55
3. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, kargapean	55
4. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=1mm, kargapean	57
5. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=2mm, hutsean	58
6. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=2mm, kargapean	59

TAULEN ZERRENDA

1. Taula: Mugarriak	52
2. Taula: GANTT diagrama	53
3. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, hutsean	54
4. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, kargapean	55
5. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=1mm, hutsean	56
6. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=1mm, kargapean	57
7. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=2mm, hutsean	58
8. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=2mm, kargapean	59
9. Taula: Barne orduak	60
10. Taula: Muntaiarako elementuen kostuak.....	60
11. Taula: Material kostuak.....	61
12. Taula: Tresneriaren amortizazioa.....	61
13. Taula: Makineriaren amortizazioa	61
14. Taula: Kostu totalak	62
15. Taula: Probabilitate-eragin matrizea.....	64

AKRONIMOEN ZERRENDA

APERT	Applied Electronics Research Team
ROUV	Remotely Operated Underwater Vehicle
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
WPT	Wireless Power Transfer
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor
V	Volt
A	Amperere
Ω	Ohm
W	Watt
RMS	Root mean square
Hz	Hertz
H	Henry
F	Faraday
μ	Mikra

1 MEMORIA

1.1 SARRERA

Proiektu hau APERT (Applied Electronics Research Team) ikerketa taldeak bideratutik gauzatu da, ondorengo lerroetan aurkeztuko den gaiaren inguruko ikerkuntzan.

APERT, batik bat, potentzia elektronikaren arloko ikerkuntzaz arduratzen den EHU (Euskal Herriko Unibertsitatea) -ko taldea da, irakasle eta ikerlariz osatuta dagoena. Laborategia, Bilboko Ingeniaritza Eskolan dago kokatua eta lan honen garapenerako egin behar izan diren muntaiak, neurketak eta kalkuluak bertan egin dira. Hortaz, geroago zehaztuko den erabilitako tresneria eta makineria guztia bertan izan da erabilgarri.

1.2 TESTUINGURUA

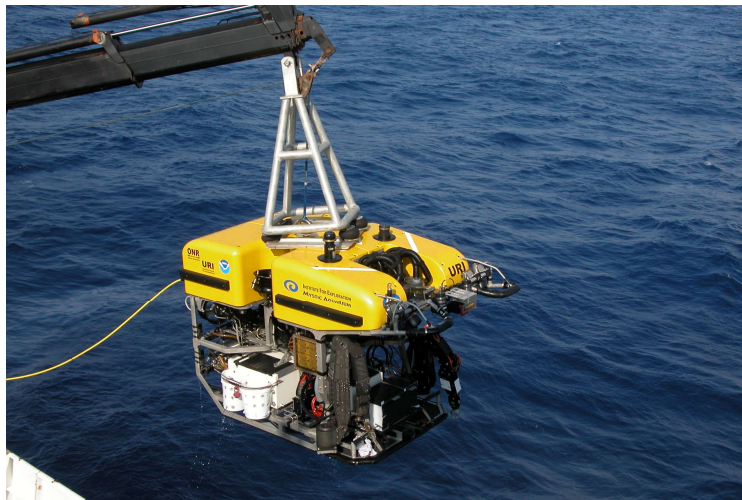
Gaur egun ur azpian lan egiten duten robotek garrantzi handia hartu dute. Gero eta gehiago dira hauek betetzen dituzten funtzioak, eta aplikazio ugarrizkoak laguntza handikoak bihurtu dira, itsasoaren hondotik doazen kable eta tutuen instalakuntzarako, gasaren eta petrolioaren ustiapenerako, ikerketa ozeanografikoak egiteko, arriskuan dauden animalia espezieen jarraipena eta kontrola egiteko edota ur azpian edonolako argazkiak eta bideoak egiteko, adibidez [1].

1.2.1 ROUV-ak

ROUV-ak (Remotely Operated Underwater Vehicle) itsasontzi batetik, plataforma batetik edota lurretik kable bidez lotuta lan egiten duten urpeko robotak dira, honen mugimenduak pertsona batek kontrolatzen dituelarik. Hauek duten kablearen bitartez energia jasotzen dute, eta aldi berean jasotako informazioa bidal dezakete fibra optikoaren bitartez. Robot hauek gehienetan ponpak izaten dituzte desplazatzeko, eta kamerak eta beso mekanikoak egin beharreko zereginak betetzeko. Batzuetan,

sonarrak, magnetometroak eta tenperatura, argitasun, soinuaren abiadura eta dentsitate neurgailuak ere izan ditzakete.

Lehen ROUV-a Dimitri Rebikoff zientzialari eta ingeniariak asmatu zuen 1953. urtean eta "Poddle" izena jarri zion. 1960ko hamarkadan Estatu Batuetako armadak teknologia garatu eta urpetik bonba atomikoak berreskuratzeko erabili zituen, geroago beste operazio arriskutsuak egiteko bidea zabalduz. 1970ean petrolioaren eta gasaren ustiapenerako erabiltzen hasi zen, eta 1990ko hamarkadan urpekarien ia lan guztia ordezkatu zuten gizakiarekiko arriskuak eragozteko asmoz [2]. Oso aurrerapen garrantzitsua izan zen itsas hondoko ikerkuntzarako, baina oso garestia ere bai, itsas zabalera irtetzeko itsasontzi baten laguntza behar-beharrezkoa baita. Gainera, kable bidez lotuta egoteak lan-eremua mugatzen dio [3], [4].



1. Irudia: Hercules ROUV-a

1.2.2 AUV-ak

1990ko hamarkadaren ostean AUV-ak (Autonomous Underwater Vehicle), era autonomoan funtzionatzen duten robotak, agertzen hasi ziren ikerkuntza ozeanografikoetan eta ustiapenean laguntzeko. Hauek ez dute ROUV-ek bezalako zilbor-heste deituriko kablerik behar, bateria bidez funtzionatzen dute. Sentsoreak eta GPS sistemak dituztenez leku batetik bestera garraiatu dezakete programatuz gero, inolako informazio sarrerarik jaso gabe. Gaur egun, Estatu Batuetako, Norvegiako, Japoniako eta Frantziako enpresek fabrikatzen dituzte [5].



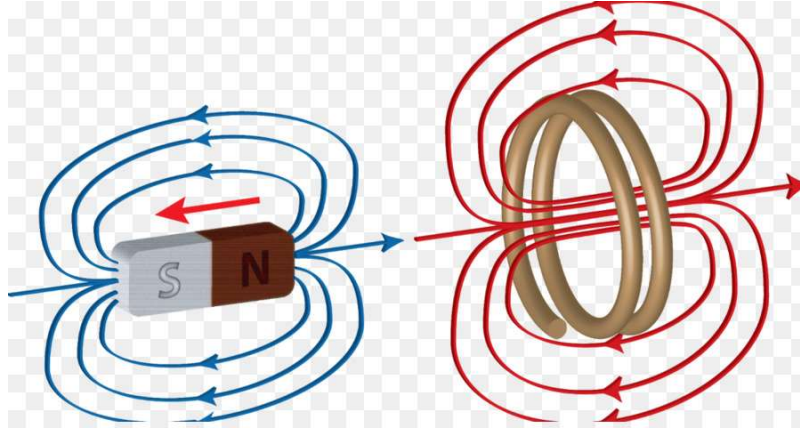
2. Irudia: ECA Group-en A18-E ikerkuntzarako AUV-a

AUV-ek asko merkatzen dituzte ikerkuntzak, ROUV-ekin konparatuz oraingoek ez baitute oinarririk behar. Hala ere, bateria agortzen zaienean ur azpitik atera behar izaten dute, eta honek denbora, energia, eta ondorio bezala, dirua ere galtzea suposatzen du [6].

Aurkeztutako arazo honi aurre egiteko aukerarik onena roboten bateria uretan bertan birkargatzea izango litzateke, baina konexio elektriko bat urpean ez da posible, ez baita bat ere segurua. Horregatik, denbora eta dirua aurrezteko posible egingo lukeen eta gainera, kargatzea era seguru eta efizientean egitea ahalbidetzen duen ondorengo alternatiba planteatzen da proiektu honetan: kontakturik gabeko energia transferentzia.

1.2.3 Kontakturik gabeko energia transferentzia

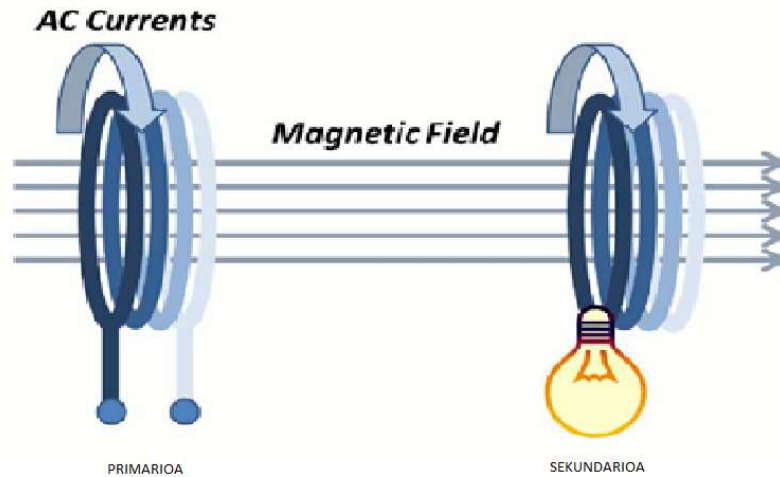
Harilkatu batean zehar korrante batek zirkulatzen duenean, korrontearen magnitude proportzionaleko fluxu magnetiko bat induzitzen da bobinaren ardatzaren norabidean, eta Faraday-ren legearen arabera, fluxu magnetiko aldakor batek espira bat zeharkatzean, indar elektroeragile (tentsio) bat sortzen du espira honen muturretan.



3. Irudia: Indukzio elektromagnetikoa

Printzipio hauetan oinarrituz, lehenengo harilkatu batean zehar korrante alerno batek zirkulatzen badu, fluxu magnetiko aldakor bat induzituko da, eta fluxu honek bigarren espira bat zeharkatzen badu, korrante alerno bat induzituko da bertan [7]. Fenomeno honek, Teslak auresan bezala, kontaktu elektrikorik egon gabe, energia elektrikoa leku batetik bestera transferitzeko aukera ematen du.

Hurrengo irudian erakusten da nola korrante alerno batek harilkatu bat zeharkatzean eremu magnetikoa sortzen duen, eta ondoren, eremu magnetiko horrek korrante elektrikoa, berriz ere:



4. Irudia: Primario eta sekundario bitarteko energia transferentzia

Azken urteotan, kontakturik gabeko energia transferentziak garrantzi handia hartu du hainbat arlotan. Erreminta honek, abantaila ugari izateaz gain, oso baliagarri izan daitezkeen baliabideak eskaintzen ditu.

Sakelako telefonoak kargatzeko, sistema honen erabilpena ikaragarri handitu da. Hauek erabiltzea sinpleagoa izateaz gain, aski da kargagailuaren oinarrian kokatzearekin, merkea da eta edozein mugikor kargatzeko aukera ematen du.



5. Irudia: UGREEN-en kargatze azkarreko 10W-ko haririk gabeko kargagailua

Medikuntza arloan ere ezinbesteko garrantzia du. Honen adibide da, bihotzeko arazoak dituzten pertsonen kasua. Taupada-kontagailuak kirurgia bidez bihotz ondoan kokatzen diren aparatuak dira, seinale elektriko bidez bihotzaren maiztasun egokia mantentzen laguntzen dutenak. Lan hau burutzeko energia iturria behar dute, bateria bat, eta honen karga bukatzen den bakoitzean ebakuntza egin behar izan da orain arte. Kontakturik gabeko energia transferentziak hau erraztasun handiz kargatzea ahalbidetzen du ebakuntza eragotziz [8].



6. Irudia: Kontakturik gabeko energia transferentzia bidezko taupada kontagailua

Azken aldia hainbeste aipatzen den kotxe elektrikoaren kasuan ere honen erabilpena garapenean dago, eta jadanik, hainbat enpresak teknologia hau erabiltzen duten kotxeak merkaturatu dituzte [9].



7. Irudia: Nissan-ek aurkeztutako indukzio bidezko kargagailu berria

1.3 HELBURUAK ETA IRISMENA

1.3.1 Helburua

Proiektu honen helburu nagusia, urpeko roboten arlorako kontakturik gabeko energia transferentzia sistemaren inplementazioan ikertzea da, lanaren erraztasunean, maneiukortasunean, eta batez ere, denbora eta dirua aurreztean laguntzeko asmoz.

Lan honen bidez, prototipo bat eraiki nahi da, ahalik eta informazio gehien bilduz, teknologia hau aipatutako eremuan bideragarria izan daitekeen aztertzeko. Honekin batera, espero da proiektu hau eskala handiagoan egingo diren etorkizuneko proiektuak bultzatzeko baliagarri izatea.

1.3.2 Irismena

Proiektuaren irismena, kontakturik gabeko energia transferentziaren bidez, ur azpian 10 W inguruko potentzia emateko gai den sistema bat garatzea da.

Sistema hau ahalik eta efizienteen izatea nahi da, horretarako, prototipoaren fabrikazioa eta honen funtzionamendu era zehazterako orduan aproposak diren neurketa eta kalkuluak egingo dira alternatiba eta parametro egokiak hautatzeko asmoarekin.

1.4 ONURAK

Roboten eremuan kontakturik gabeko energia transferentzia erabiltzeak orotariko abantailak ditu. Hurrengo lerroetan abantaila nagusiak aipatuko dira:

-Denbora aurreztea: Robotek haien kabuz gertuko karga gun bat bilatzen badute eta bertan kargatzen badira denbora asko aurreztuko litzateke hauek urpetik ateratzen, batez ere urpean sakonera handietan lan egiten badute.

-Erosotasuna eta malgutasuna: AUV-ak, ongi programatuz gero, haien kabuz egin dezakete lan. Haientzako karga zentro bat egotekotan askoz erosoago izango litzateke arduradunentzako, denbora osoan kable bidez elikatuta egotea baino, horrela ez baitute bertara desplazatu beharrik eta bakarrik huts dezakete lanean. Horrez gain, robotak askeago ibil daitezke kableak mugatutako esparrutik irteteko aukerarekin.

-Alderdi ekonomikoa: Kontakturik gabeko energia transferentzia nahiko teknologia sinplea eta merkea da, ekipamenduak ez du bat ere kostu alturik. Sistemaren funtzionamendurako kable bakarra instalatu beharko zen itsaspetik karga zentroraino, baina honek luzarorako iraungo luke, askoz arinago apurtu edo zahartzen dira ROUV-ek erabiltzen dituzten elikadurako kableak, adibidez. Beraz, alderdi honetan, inbertsio bezala nahiko errentagarria izan daiteke. Baina, batez ere, itsasontzien desplazamendua ekiditea da azpimarragarriena, dirutza handia suposatzen baitu.

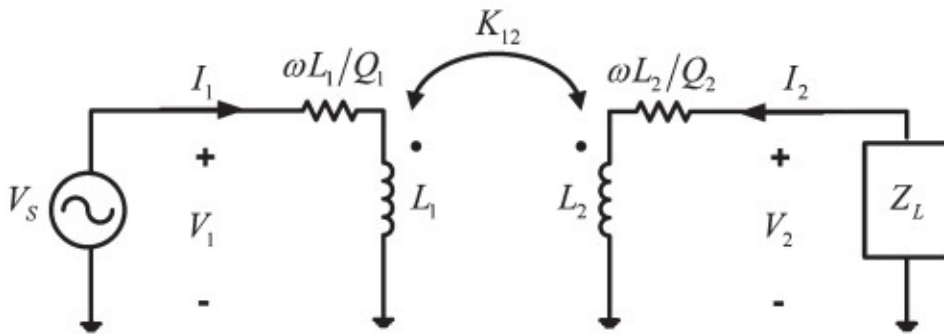
-Ingurumena: Orain arte aipatutako onurak kontuan izanik guztiek ekarpena egiten dute ingurumenaren kontserbazioan. Azken finean itsasontzien desplazamenduak ura kutsatu egiten du eta energia gutxiago behar izateak ere karbono aztarna txikiagotzen du.

1.5 GAIAREN EGOERA

Magnetikoki akoplatutako harilkatuak oso erabiliak dira kontakturik gabeko edo haririk gabeko potentzia transferentzia bidezko aplikazioetarako, hala nola, larruazalaren bitarteko energia transmisioko medikuntza gailuetarako [10], radio-frekuentziako identifikaziorako [11], eta abar [12].

Transformadore baten harilkatuak ez bezala, hauek transformadoreko nukleo magnetikoaren inguruan biribilkatzen dira akoplamendu estua lortzeko, haririk gabeko potentzia transferentzian (WPT- Wireless Power Transfer) harilkatuak era malguan akoplatuta daude fluxu magnetikoa bideratzeko nukleo magnetiko komun baten gabezia dela eta.

Hurrengo irudiak akoplatutako harilkatu pare bat erakusten du, L_1 eta L_2 , Q_1 eta Q_2 kalitate faktoreak eta haien arteko akoplamendu faktorea K_{12} dituztenak. Akoplatutako harilkatuak V_s balioko RMS-a duen tentsio sorgailu baten bidez elikatzen dira ω balioko maiztasun angeluarrarekin, eta hauei $Z_L = R_L + jX_L$ karga bat jartzen zaie.



8. Irudia: Akoplatutako harilkatuen eskema

Galera gabeko kasuan, kalitate faktoreak infinitu izango dira, eta Z_L kargari entregatutako potentzia aktiboa ondorengoa izango da:

$$\text{Re}\{P_{\text{OUT}}\} = \frac{K_{12}^2 L_2 R_L}{L_1} \frac{1}{[\omega L_2 (1 - K_{12}^2) + X_L]^2 + R_L^2} |V_S|^2$$

Akoplamendua estua izanez, $K_{12} \approx 1$, aurreko ekuazio horrela geratzen da:

$$\text{Re}\{P_{\text{OUT}}\}|_{K_{12} \approx 1} \approx (L_2 / L_1) [R_L / (X_L^2 + R_L^2)] |V_S|^2$$

Aurreko ekuazioarekin bat, akoplamendu estuko harilkatuak, transformadore izenez ere ezagunak, tentsio mailaren konbertsiorako eta banaketa galbanikorako erabili daitezke.

Akoplamendu malguko harilkatuen kasuan berriz, $K_{12} \ll 1$ dutenez, ondorengo espresioa lortzen da:

$$\operatorname{Re}\{P_{\text{OUT}}\}|_{K_{12} \ll 1} \approx \frac{K_{12}^2 L_2}{L_1} \frac{R_L}{(\omega L_2 + X_L)^2 + R_L^2} |V_S|^2.$$

Ikusten daiteke akoplamendu malguko harilkatuen potentzia transferentzia gaitasuna akoplamendu koefizientearen karratuarekiko proportzionala dela.

Potentzia transferentziarako gaitasuna handiagotzeko, akoplamendu malguko harilkatuak kapazitate bidez konpentsatu behar izaten dira erresonantzia efektuaren ondorioz ematen den intentsitate handiagotzea lortzeko [14]. Korrante handiagotze honen bidez ematen den potentziaren handiagotzea bistakoa da, (1) ekuazioa ondorengo era idatzita:

$$\operatorname{Re}\{P_{\text{OUT}}\} = [K_{12}^2 \omega^2 L_1 L_2 / R_L (\omega L_2 + X_L)^2] |I_1|^2.$$

Kompentsazio kapazitiboa erabakigarria izaten da akoplamendu malguko harilkatuak erabiltzen dituzten aplikazioetan.

Potentzia transferitzeko gaitasunaz gain, akoplatutako bobinen efizientzia operatiboak ere garrantzi handia dauka aplikazio askotan. Galera gabeko harilkatuak kontsideratzean, hauen efizientzia %100-ekoa izatea espero da, baina, harilkatuek galera elektrikoak dituzte.

Potentzia disipazioa minimizatzeko asmotan beharrezko kompentsazioa egin gabe, bi harilkaturen arteko operazio distantzia ezin da ia handitu. Hala ere, oso ikerkuntza sistematiko gutxi daude aipatutako bi arazoak WPT baten diseinuaren parte integral bezala hartzen dituztenak.

Lehen aipatutako kalitate faktoreak aintzat hartuz, potentzia transferentziaren efizientziak ($P_{\text{OUT}}/P_{\text{IN}}$) honako espresioa hartuko du,

$$\eta = \frac{\omega K_{12}^2 L_2 R_L}{\omega K_{12}^2 L_2 R_L + \omega^2 K_{12}^2 L_2^2 / Q_2 + \omega^2 L_2^2 (1/Q_1 Q_2^2 + 1/Q_1) + R_L^2 / Q_1 + X_L^2 / Q_1 + 2\omega L_2 R_L / Q_1 Q_2 + 2X_L \omega L_2 / Q_1}$$

Ekuazioa ikusita, deduzitu daiteke efizientzia kargaren araberakoa dela. Beraz, karga optimoa aurkitzeko, termino honen R_L eta X_L -rekiko deribatu partzialak “=0” egingo dira.

$$\begin{cases} \partial\eta/\partial R_L = 0 \\ \partial\eta/\partial X_L = 0. \end{cases}$$

Kargaren balio optimoak honako balioa hartzen du:

$$Z_L^{\text{opt}} = (\omega L_2 \sqrt{1 + \Delta}) / Q_2 - j\omega L_2$$

Eta efizientzia maximoak:

$$\eta^{\text{max}} = \Delta / (1 + \sqrt{1 + \Delta})^2$$

Non, $\Delta = K_{12}^2 * Q_1 * Q_2$ den.

Aurreko balio hauek erakusten dute, efizientzia maximoa lortzeko, karga optimoa beharrezkoa dela, eta $\Delta > 1$ izatekotan, efizientzia % 17-koa baino handiagoa lortuko dela. Akoplatutako harilkatuak akoplamendu sendoko erregimenean lanean daudela esaten da Δ -ren balioa 1 baino handiagoa denean [15]. Hau kontuan izanik, nabaria da akoplamendu malguko harilkatuak ere erregimen sendoan lan egin dezaketela, Q_1 eta Q_2 parametroak nahikoa altuak badira.

Jarraian, akoplatutako harilkatuak operatu dezaketen efizientzia maximoa aztertzeko, “r”-ko erradioa eta “a”-ko sekzio erradioa dituzten bi harilkatu berdina aztertuko dira:

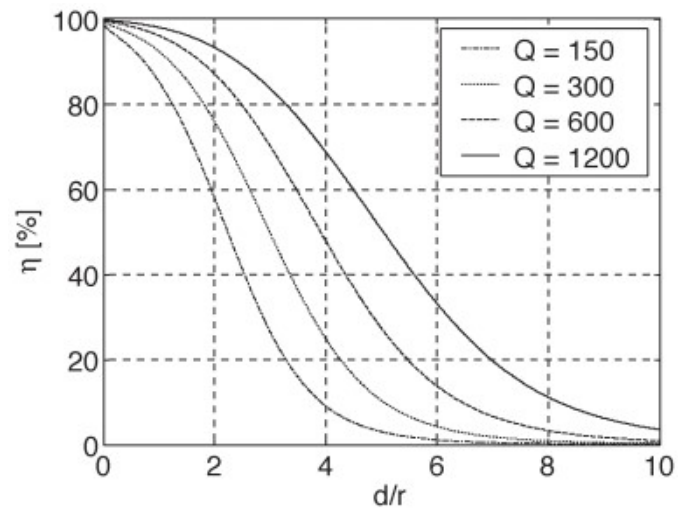
Autoinduktantzien balioa honakoa da:

$$L = r\mu_0 [\ln(8r/a) - 2]$$

Bi harilkatuak ardazkide daudenean “d” distantzia batera kokatuta, akoplamendu koefizientea horrela formula daiteke:

$$K_{12} = \frac{2r}{[\ln(8r/a) - 2] \sqrt{d^2 + 4r^2}}$$

Eta $r = 100 * a$ dela kontsideratuz, eta $Q_1=Q_2=Q$ dela, Q-ren araberako efizientzia analizatzen da normalizatutako distantzia (d/r) desberdinetara ondorengo grafikan:



1. Grafikoa: Q kalitate faktoreko bi harilkaturen efizientzia maximoa d/r-ren arabera

1.6 ALTERNATIBEN ANALISIA

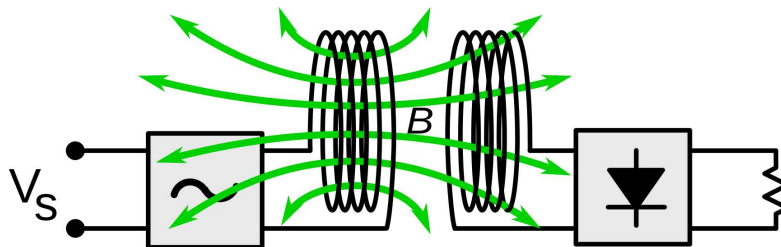
1.6.1 Aukeren deskribapena

Behin kontakturik gabeko energia transferentzian barneratuta, teknologia honetan oinarritzen diren alternatibak planteatuko dira lehenbizi.

-Haririk gabeko energia transferentzia

Haririk gabeko energia transferentzia, kontakturik gabeko energia transferentzien artean gehien erabiltzen dena da. Hau, sakelako telefonoak, kotxe elektrikoak eta bihotz-taupada kontagailuak kargatzeko erabiltzen den teknologia da, baita indukzio bidezko sukaldeetarako erabiltzen dena ere.

Teknologia honek ez du nukleo magnetikorik erabiltzen, primarioko eta sekundarioko harilkatuak bata bestetik ahalik eta hurbilen jartzen dira ardazkide, primarioan induzitzen diren eremu magnetikoaren lerro kopuru gehien, sekundarioko harilkatuak osatzen duen sekzioetik pasarazteko.

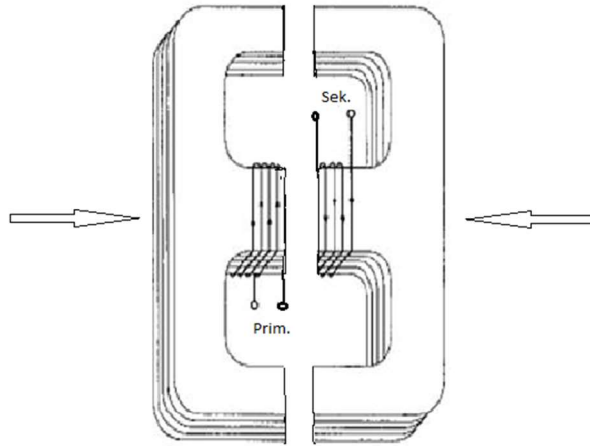


9. Irudia: Haririk gabeko energia transferentzia

-Zatituko transformadore bidezko energia transferentzia

Alternatiba honek transformadore arrunt baten teknologia bera du oinarri bezala. Forma askotarikoa izan daitekeen nukleo magnetiko bat (gehienetan ferritazkoa) erabiltzen du primarioan induzitzen den fluxu magnetikoa bideratu eta ahalik eta gehien sekundarioko harilkatutik pasarazteko.

Transformadore arruntean ez bezala, nukleo zatituko transformadoreari esker, energia transferentzian harilkatu primarioa eta sekundarioa bakoitza bere aldetik edukiko dituzten elementuak (gure kasuan 1-sorgailua eta 2-robot) bereizita egon daitezke denbora osoan, energia transferentzia eman nahi denean bi zatiak akoplatuz.



10. Irudia: Zatitutako transformadorea akoplatzen.

1.6.2 Aukeraketa

Alternatibak zeintzuk diren jakin ostean, bien artean bat aukeratu beharra dago.

Haririk gabeko energia transferentzia merkeagoa eta sinpleagoa da, ez baitu nukleo magnetikoaren beharrik. Gainera, akoplamendu malguagoa ahalbidetzen du, nahiz eta akoplamendua txarra izan, efizientzia txarrean, baina energia transferitzeko gai da.

Zatitutako transformadore bidezko energia transferentziak ordea, nukleo magnetiko baten beharra du. Nukleo magnetikoa garesti samarra izan daiteke tamainaren eta kalitatearen arabera, baina teknologia hau inplementatzeko orduan gastu minimoetarikoa litzateke, luzarorako iraun baitezake eta arlo honek ekonomikoki suposatzen duen gastu maila zein den kontuan izanik ez baita konparagarria. Beraz, arrazoi ekonomikoak ez du zatitutako transformadore bidezko sistema baliogabetzen.

Bestalde, zatitutako transformadorea delikatuagoa da energia transferitzeko orduan akoplamendua txarra denean, eta efizientzian ere eragin handia du baita. Hala eta guztiz ere, akoplamanedua egokia izan bitartean haririk gabeko energia transferentziak baino efizientzia altuagoa aurkezten du baldintza orokorretan.

Lan honetan berebiziko garrantzia emango zaio efizientziari, eta nahiz eta haririk gabeko energia transferentzia sistema ere bideragarria izan zitekeen, zatitutako transformadore bidezko energia transferentzia sistema garatuko da.

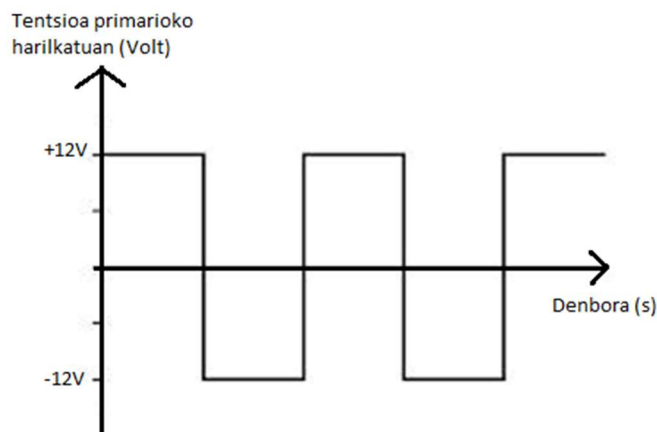
1.7 ERABAKITAKO AUKERAREN DESKRIBAPENA

Jadanik helburuan eta irismenean komentatu den bezala, proiektu honetan itsaspean lan egingo lukeen sistemaren prototipo bat egin nahi da potentzia gutxiagorekin bideragarritasuna aztertzeko. Atal honetan diseinatuko den zatitutako transformadore bidezko energia transferentziaren funtzionamendua zein izango den azalduko da eta sistemak behar bezala funtzionatzeko beharko diren atalak eta makineria aurkeztuko dira.

1.7.1 Sistemaren funtzionamendu orokorra

Nukleo magnetikoaren bitartez energia sorgailutik robotera transferitzeko, primarioko harilkatuan tentsio alferno karratua aplikatu nahi da, sekundarioko harilkatuan ere tentsio karratu alferno bat indutzitzeko. Sekundarioan tentsio karratu bat edukiz gero, diodo bidezko artezketa bat eginez, konektaturiko robotaren batera korrante zuzenarekin karga daiteke. Hala ere, proiektu honetan ez da artezgailurik erabiliko, nahikoa izango da sistemak potentzia transmititzearekin.

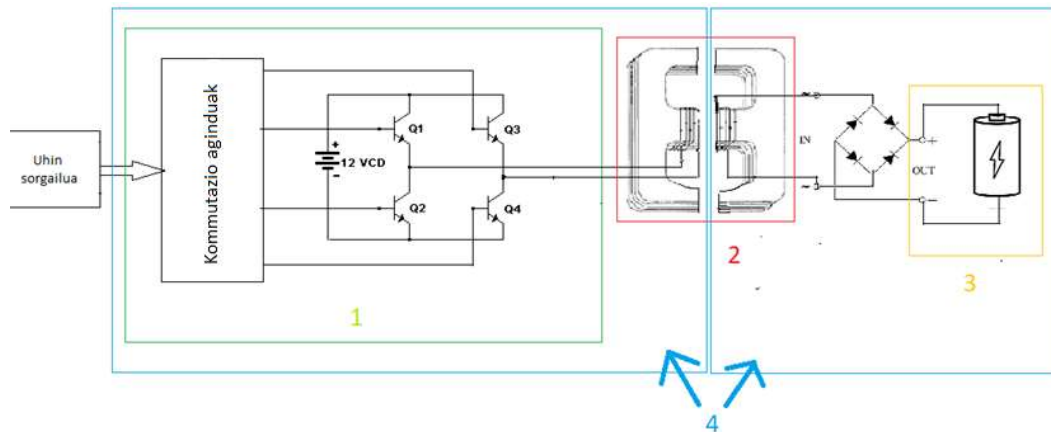
Tentsio karratua inbertsore baten bitartez lortzen da, eta tentsio honen balio oszilakorra primarioko harilkatuaren borneetan +12V eta -12V ingurukoa izateko diseinatuko da.



11. Irudia: Prototipoaren harilkatu primarioan aplikatu nahi den tentsioa

1.7.2 Prototipoaren atalak

Ondorengo irudian sistemaren eskema orokor bat erakusten da:



12. Irudia: Prototipoa ataletan berezita

- 1-Inbertsorea
- 2-Zatikako transformadorea eta harilkatuak
- 3-Hartzailea (robota)
- 4-Uraren aurkako isolamendua

1.7.3 Inbertsorea elikatzeko erabiliko den makineria

-Tentsio sorgailua:



13. Irudia: Tentsio sorgailua

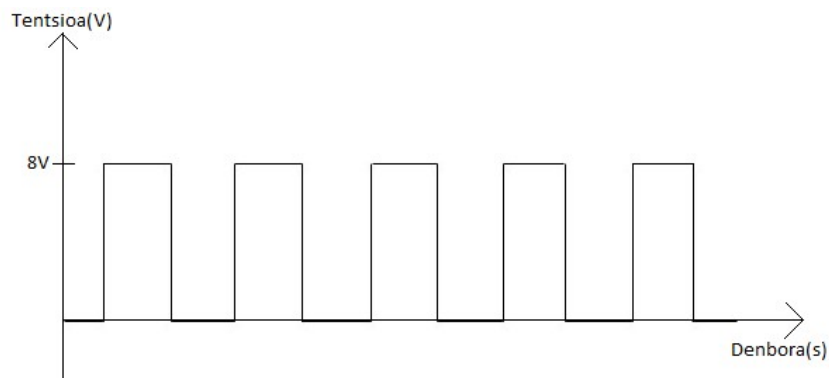
12V-ekin elikatuko ditu potentzia sekzioa eta inbertsorean erabiliko diren txipak.

-Uhin sorgailua:



14. Irudia: Uhin sorgailua

Nahiz eta uhin sorgailu bat kapaza den +12 eta -12 Volteko tentsioa sortzeko, hau ezin da jarraian harilkatuaren borneetara konektatu lan honetarako, ez baita kapaza potentzia transmititzeko, uhinak informazio bezala baino ezin ditu igorri. Uhin karratu bat flip-flop (biegonkor) batzuekin erraztasun handiz lor daiteke baita ere, eta hori izango zen egiazko sisteman erabiliko zena, baina lana erraztearren uhin sorgailu batek 0 eta 8 Volt %50-eko lan zikloarekin aplikatzea erabaki da.



15. Irudia: Uhin sorgailuaren sarrerako tentsioa

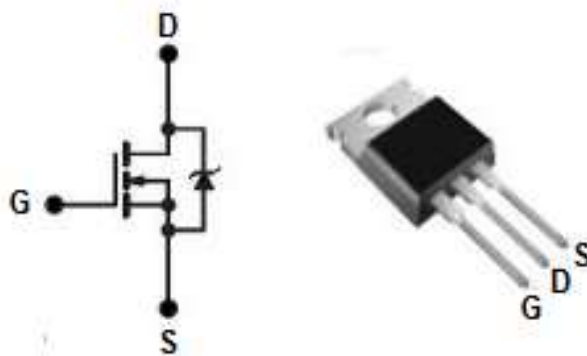
1.7.4 Inbertsorea

Inbertsorea da sistema osoaren oinarria, atalik konplexuena, eta honen funtzionamendu egokia nahitaezkoa da sistemak behar bezala lan egiteko. Hau azaltzeko, funtzionamenduaren oinarriak aurkeztuko dira lehendabizi. Jarraian, sekziotan bereiziko da inbertsorea, eta hauetako bakoitzaren betebeharra azalduko da. Ondoren, hautatuko diren elementu bakoitzaren parametroak eta haren funtzioa azalduko dira.

-Inbertsorearen funtzionamendua

Transformadoreko harilkatu primarioan, lehenago azaldu bezala, +12 eta -12 V-ko tentsio alferno karratua lortu nahi da. Lan hori n-kanaleko lau ugaltze-MOSFET transistoreren bitartez egingo da, kontrolaturiko etengailu automatikoak balira bezala lan egitenez. Hauek, 3 hanka dituzte G (*Gate*-a), D (*Drain*-a) eta S (*Source*-a). *Gate*-aren eta *Source*-aren arteko tentsioak (V_{GS}), atalase tentsio izena duen balio positibo jakin bat gainditzean (MOSFET bakoitzak tentsio minimoa du karakteristika bezala), *Drain*-etik *Source*-era korrrontea pasatzen uzten da. Bestalde, V_{GS} tentsiorik aplikatu ezean, *Drain*-a eta *Source*-a zirkuitu irekian egongo dira, ezingo da korrronterik pasa.

Gainera, V_{GS} tentsioak balio jakin bat gainditzea nahi da, sistemak gune “ohmiko”-an lan egin dezan, eta saturazioan ez sartzeko, honek galera handiak suposatuko baititu.

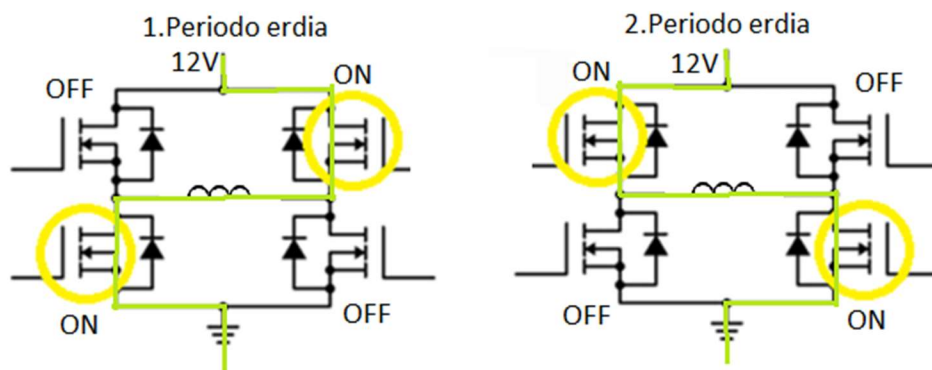


16. Irudia: MOSFET-aren pin-ak

MOSFET-en bidez H formako zubia egin nahi da tentsio alfernoa lortzeko. Periodo erdian 2 MOSFET funtzionamenduan egongo dira eta beste biak itzalita. Hurrengo

periodo erdian berriz, alderantziko jarrera izango dute guztiek. Horrela jarraituko dute inbertsorea funtzionamenduan dagoen bitartean era periodikoan lanean.

Ondorengo irudian argiago erakusten da H formako zubiaren funtzionamendua, MOSFET-en egoera ON eta OFF bidez adierazita, eta korrontearen ibilbidea berdez marraztuta daudelarik:



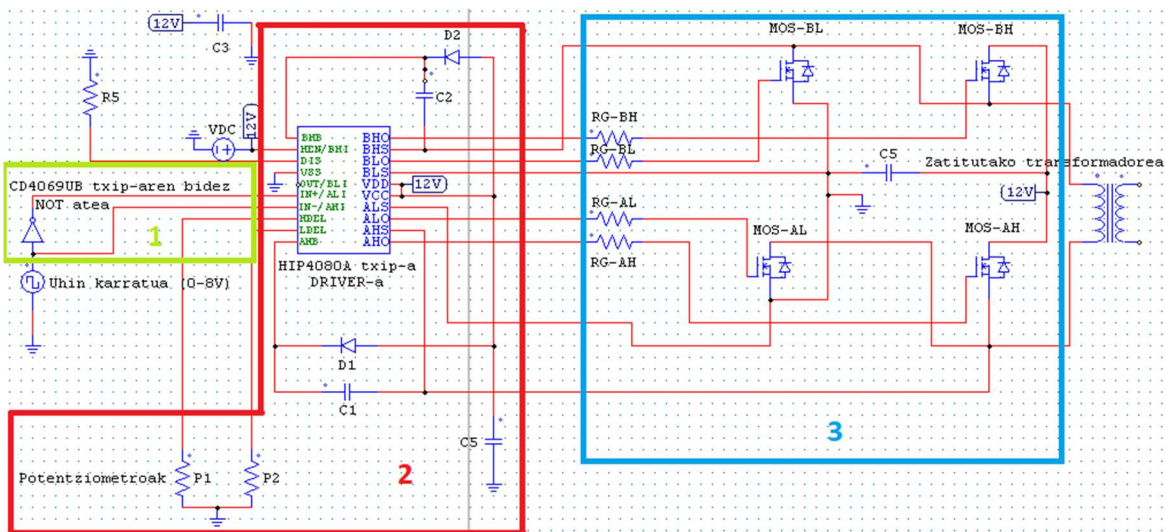
17. Irudia: H formako zubia

MOSFET-ek lan hau burutzeko aginduak jaso behar dituzte nonbaitetik piztu eta itzaltzeko (V_{GS} aplikatu eta kendu). Kommutazio agindu hauek bidaltzeaz *Driver*-a arduratuko da. *Driver*-a ate logiko bidez osatutako txipa da, eta haren funtzionamenduari buruzko argibide guztiak bere *datasheet*-ean ematen dira.

Driver-ak informazio jakin bat jasotzen duenean, ate logikoen bidez beste informazio bat igortzen du jasotakoaren arabera. Zirkuitu honen kasuan, uhin sorgailuak sortutako tentsioa NOT atean dituen txip batetik pasarazi eta *Driver*-aren *input*-era pasatzen da, hori izanik sarrerako informazioa. *Driver*-aren azalpen zehatza elementuen deskribapenean egingo da.

-Inbertsorearen sekzioak

Inbertsorea 3 sekzio nagusitan banan daiteke. Inbertsorea sekziotan banantzea oso garrantzitsua da. Lehenbizi, lehen sekzioa muntatu eta behar bezala funtzionatzen duela egiaztatu behar da, ondoren, bigarrena eta azkenik, hirugarrena: Horrela arazoren bat egotekotan zein sekzioan den jakin daiteke eta lana asko erraztu.



18. Irudia: Inbertsorea sekziotan bereizita

1) Kontrol logikoaren sekzioa: Ate logikoen bidez, uhin sorgailuak sortutako maila funtzioak eraldatzen dira Driver-aren sarrerako *pin*-etan konmutazio egokia eragingo duten uhinak lortzeko.

Oinarria CD4068UB txipa izango da, NOT atez osatuta dagoena [16].

2) Driver-aren sekzioa: Konmutazioaz arduratzen da, informazioa jaso eta *eraldatzen* du, MOSFET-ei piztu eta amatatze aginduak emateaz arduratzen da.

Oinarria, *Driver*-a da eta hau HIP4080A txipa izango da. [17].

3) Potentiaren sekzioa: H formako zubia osatzen duten 4 MOSFET-en bidez tentsio alferno karratua eragiten da primarioaren harilkatuko borneetan, era honetan, potentzia elektrikoa zatitutako transformadorean zehar pasatu ahal izateko.

MOSFET hauek bi mailatan bereizita daude. "H-High" (goikoa), *Drain*-a 12V-tara konektatuta dutenak eta L-Low (behekoa), *Source*-a lurrera erreferentziatuta dutenak.

Aldi berean, goi maila eta behe maila duten bikote bati A izena eman zaie, eta besteei B. Hortaz, MOSFET-ek ondorengo izena izango dute: AH, BH (goikoak) eta AL, BL (behekoak). Esan bezala, MOSFET hauek piztuta egoteko V_{GS} -k balio jakin bat gainditu behar du, erabiliko den inbertsorearen kasuan txipak 12V-tan elikatuko direnez, 12V-aplikatuko dira *Gate*-aren eta *Source*-aren artean MOSFET-en egoera aktiboa ziurtatzeko. Beraz, behekoek *Source*-a lurrera erreferentziatuta dutenez, *Gate*-an 12V aplikatzearekin nahikoa da pizteko, baina goikoek ez dute lurrera lotuta, beraz *Driver*-a kapaza izan behar da hauen V_{GS} tentsioan 12V aplikatzeko.

MOSFET-ak P12NM50 motakoak izango dira [18]

-Inbertsorearen elementuak

Parentesi artean osagai bakoitzaren kopurua adieraziko da.

1. HIP4080A txipa: 20 pin ditu:

1	BHB	BHO	20
2	HEN/BHI	BHS	19
3	DIS	BLO	18
4	V _{SS}	BLS	17
5	OUT/BLI	V _{DD}	16
6	IN+/ALI	V _{CC}	15
7	IN-/AHI	ALS	14
8	HDEL	ALO	13
9	LDEL	AHS	12
10	AHB	AHO	11

19. Irudia: Driver-aren pinak

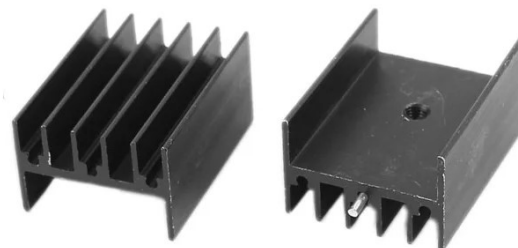
- i. V_{CC} eta V_{DD}: Txipa elikatzeko eta *Gate*-ak hornitzeko tentsio positibo aplikatzeko dira. V_{SS} berriz lur konexiorako.
- ii. DIS: Txipa desgaitzeko da, beraz, lurrera konektatuko da txipak denbora osoan funtzionatuko duela bermatzeko.
- iii. AHB eta BHB: a eta b alderdiko *bootstrap*-a ahalbidetzeko balio dute. Bootstrap-aren bidez, goiko MOSFET-ek flotatzen daukaten VGS tentsioa 12V-koa izatea lortzen da.
- iv. HDEL eta LDEL: Potentziometroaren bitartez, *High delay* eta *Low delay*, goiko alderdiaren eta behe alderdiaren atzerapenak (*dead time*-ak) sortzeko dira. Hauek potentziometroen atalean azalduko dira.
- v. AHO, BHO, ALO eta BLO; AHS, BHS, ALS eta BLS: *Gate*-ra eta *Source*-ra bidaltzen diren *output*-ak dira hurrenez hurren. Hauen bidez MOSFET-aren egoera finkatzen da.
- vi. HEN/BHI, IN+/ALI eta IN-/AHI: Ondorengo egia taula osatzen dute, *Driver*-aren *output*-ak determinatuko dituena:

INPUT				OUTPUT			
IN+ > IN-	HEN	U/V	DIS	ALO	AHO	BLO	BHO
0	0	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0

20. Irudia: Driver-aren funtzionamendua zehazteko egia taula

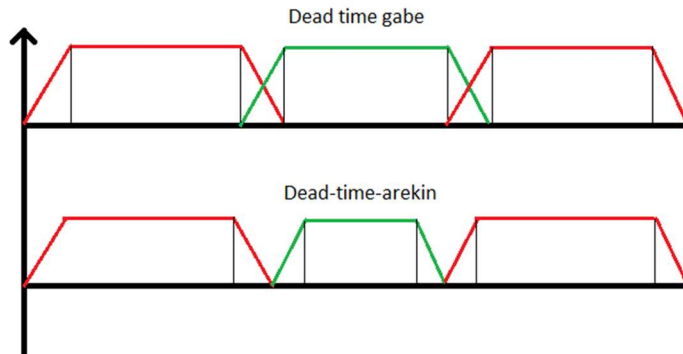
Inbertsoreak behar bezala funtzionatzeko, lehen periodo erdian bigarren lerroko OUTPUT-ak lortu nahi dira, eta beste erdian berriz, hirugarren lerrokoak. Beraz HEN *pin*-a denbora osoan 12V-ra konektatuko da, eta IN+ eta IN- aurkako maila funtzioak izango dira, kasu honetan 8V-koak, periodo erdian IN+>IN-, eta beste erdian, IN+<IN-izateko.

- 2. CD4068UB txipa:** Uhin sorgailuak sortutako 8V eta 0V-ko tentsio karratua *Driver*-aren IN+ edo IN- *pin*-ean sartuko da, eta txip honek duen NOT atearen bitartez alderantzizko uhin bat lortuko da *Driver*-aren beste pinean sartzeko.
- 3. N kanaleko P12NM50 MOSFET-ak (4):** Hauen garrantzia inbertsorearen funtzionamendua azaltzean ikusi da jada. Kontuan izatekoa izan da mosfeten goiko parteak metalezkoak direla eta haien *Drain* pinarekin zirkuitu laburrean daudela, beraz, beste mosfetekin zirkuitu laburrik ez egiteko elektrikoki babestu behar izan dira isolamendu paperarekin. Horrez gain, MOSFET-ek xahutzen duten potentzia dela eta asko berotzen dira, eta hozte hegialak jarri behar izan zaizkie.



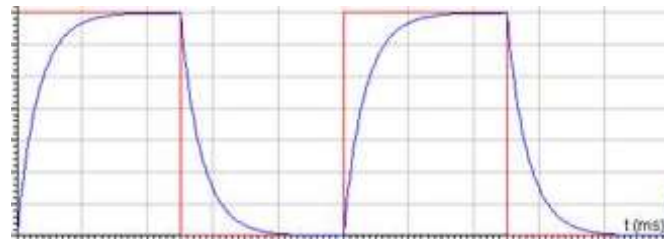
21. Irudia: MOSFET-entzako hozte hegialak

4. **Konektoreak (4):** Konektore bat uhin sorgailura konektatuko da eta maila funtzioa jasoko du. Beste bi tentsio sorgailura konektatuko dira 12V jasoz, batek txipak elikatuko ditu, besteak berriz potentzia sekzioa. Azkena, primarioko harilkatu primarioa konektatzeko izango da (irteera).
5. **470 μ F eta 63V-ko kondentsadoreak (3):** Zarata elektronikoa filtratzeko eta tentsio eta korrante puntak txikiagotzeko balio dute.
6. **Schottky diodoak (2) eta 47 μ F eta 35V-ko kondentsadoreak (2):** Kondentsadore-diodo bikote honi esker, goi aldeko MOSFET-en *Source*-a erreferentziatzea lortzen da, *Gate* eta *Source* bitarteko tentsioa 12V-koa edo 0V-koa eraginez zirkuitua ireki edo itxi nahi den arabera.
7. **100k Ω -ko potentziometroak (2):** Potentziometroek MOSFET-ei bidaltzen zaien aginduen *dead time*-a egokitzeko balio dute. MOSFET bat piztuta egotetik itzaltzera, edota itzalita egotetik piztera pasatzeko denbora txikia da, baina ez da bat-batekoa, malda jakin batekin jaisten edo igotzen dira tentsioa eta korrantea. Hori dela eta, aldi berean pizten eta itzaltzen badira konjugatuak diren MOSFET-ak, une batean biak kondukzioan egongo dira eta tarte horretako energia transferitu gabe, galdu egingo da, eta frekuentzia altuan egiten dutenez lan, galera hauek ez dira mespretxagarriak izango. Horregatik, potentziometroari bihurkin batekin erresistentzia aldatuz, MOSFET konjugatuak aldi berean piztuta inoiz ez egotea lor daiteke, *dead time*-a sortuz.



22. Irudia: Dead time-a

8. **100Ω-ko erresistentziak (4):** Erresistentzia hauen bidez, kondentsadoreen karga eta deskarga denborak kontrolatzen dira, hauen karga bat-batekoa izatekotan, kondentsadoreko tentsio erorketa malda handiarekin aldatuko litzateke, eta kondentsadoreko korronea tentsioaren deribatuarekiko proportzionala denez, korrone handiak agertuko lirateke. Hortaz, erresistentzia hauek gehituz, tentsioaren malda jaisten da:



23. Irudia: Erresistentzien eragina kondentsadoreen kargan

2 METODOLOGIA

2.1 ZEREGINEN DESKRIBAPENA

Atal honetan, proiektuaren garapenerako jarraitu diren pausoak aurkeztuko dira banan-banan eta hauetako bakoitzean egin den lana azalduko da.

2.1.1 Informazioa biltzea eta sistemaren funtzionamendua zehaztea

Proiektu honen lehen pausoa informazioa bilatzea izan da. Kontakturik gabeko energia transferentziaren inguruan irakurtzea garrantzi handikoa izan da, honi esker, alternatiben analisia egin ondoren, zatitutakoko transformadore bidezko energia transferentzia erabiltzea erabaki delako. Horrez gain, sistemaren funtzionamendu baldintzak aztertu dira, eta horren arabera erabaki dira prototipoaren diseinua eta honen lan baldintzak. Prototipoaren muntaia egin ahal izateko inbertsorea guztiz ulertu behar izan da, diseinu eta funtzionamendu egokia ziurtatuko dituen elementuak, makineria eta lan parametroak finkatu ahal izateko.

2.1.2 Lanaren antolakuntza

Jada sistema zein izango den erabakita eta honen lan baldintzak finkatuta, prototipoa prestatzeko jarraitu beharreko urratsak antolatu dira. Hauek hurrengo ataletan ordena kronologikoan esplikatzeko dira.

2.1.3 Simulazioak

Inbertsorearen zirkuitu elektronikoa fisikoa eraikitzen hasi baino lehen nahitaezkoa da software baten bidez, simulazioak egitea zirkuituak izango duen jarrera aurreikusteko. Horrela, arazoak ekidingo dira, eta diseinuan hutsegiterik egon bada, elementu baten ezaugarrietan adibidez, simulazioen bidez antzeman daiteke, lortutako erantzunak neurritz gaineakoak edota zentzugabeak badira.

Proiektu honetako sistemaren simulazioak PSIM programaren bidez egin dira.

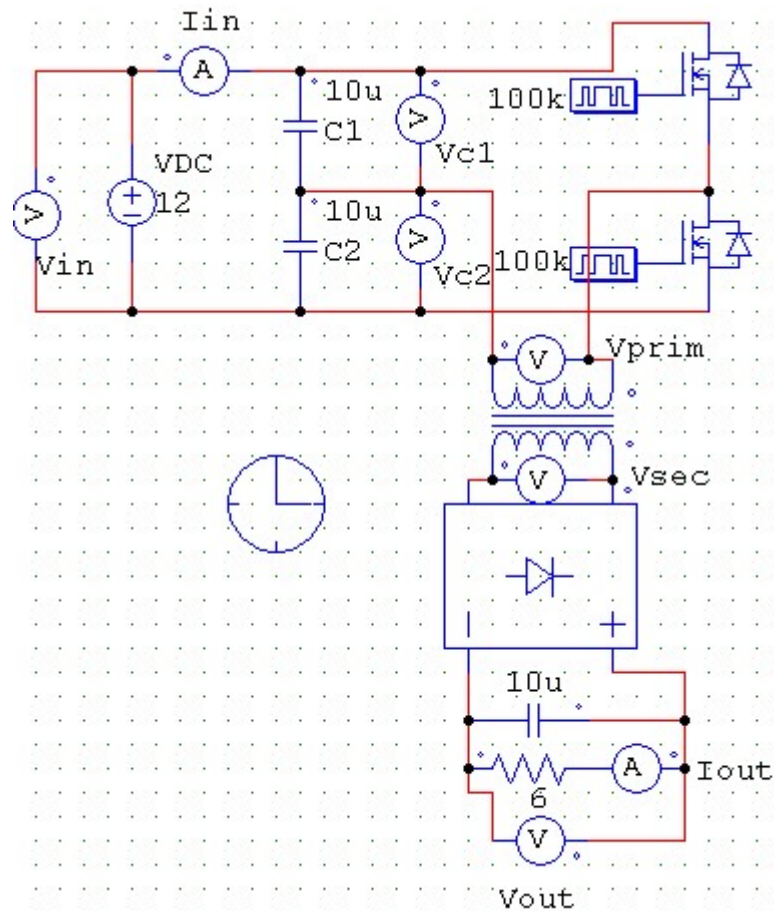
Lehenik eta behin, erabiliko diren osagaiak bilatu eta programaren *layout*-ean sartuko dira eta ondoren, hauen arteko konexioak osatuko dira.

Jarraian, simulazioak hasi aurretik, osagai bakoitzaren ezaugarriak zehaztu beharko dira osagaien konfigurazio atalean, adibidez kondentsadoreen kasuan hauen kapazitatea zenbatekoa den. Osagaien parametroak aldatuz hauek emaitzetan duten eragina azter daiteke, adibidez, tentsio eta intentsitate puntak nola aldetzen diren,

Azkenik, simulazio denbora egokitu behar da, eta zenbateko denbora pausoa izan behar duen honek. Simulazio denbora laburrak agian ez du aztertu nahi dena ikusten uzten, eta pauso handiegiak behar bada ez ditu intentsitate eta tentsio puntak erakusten.

Jarraian, simulazioak egiteko prestatu diren zirkuituak eta hauetan garrantzizkoak izan diren neurketak azalduko dira:

1. Zirkuitua

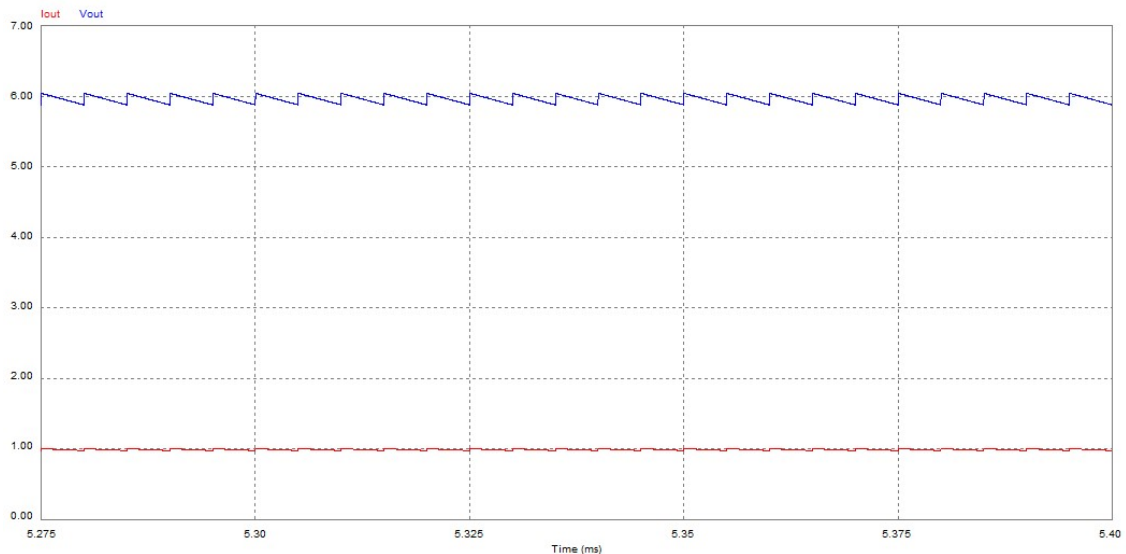


24. Irudia: 1. Simulazioa (A)

Lehenik eta behin inbertsore baten eredua eraiki da. Bertan, tentsio sorgailuak 12V-ko tentsio jarraia aplikatzen du. 10 μF -ko kondentsadoreen bitartez, tentsio hau banandu egin nahi da, 6 eta 6 V-etan, eta MOSFET-en piztu eta itzaltzea inpultsu sorgailu batzuen bitartez kontrolatuz (100kHz-tan), uhin karratu alternoa eragin transformadoreko sarreran. Jarraian, diodo zubiaren bidez uhina arteztu eta 6 Ω -eko erresistentzia bati potentzia transferitzen zaio. Kondentsadorea, irteeran tentsio konstanteagoa, eta ondorioz intentsitate konstanteagoa baita izateko jarri da.

Horrez gain, egin nahi diren neurketen arabera, Voltimetroak eta Anperometroak jarri dira hainbat tokitan.

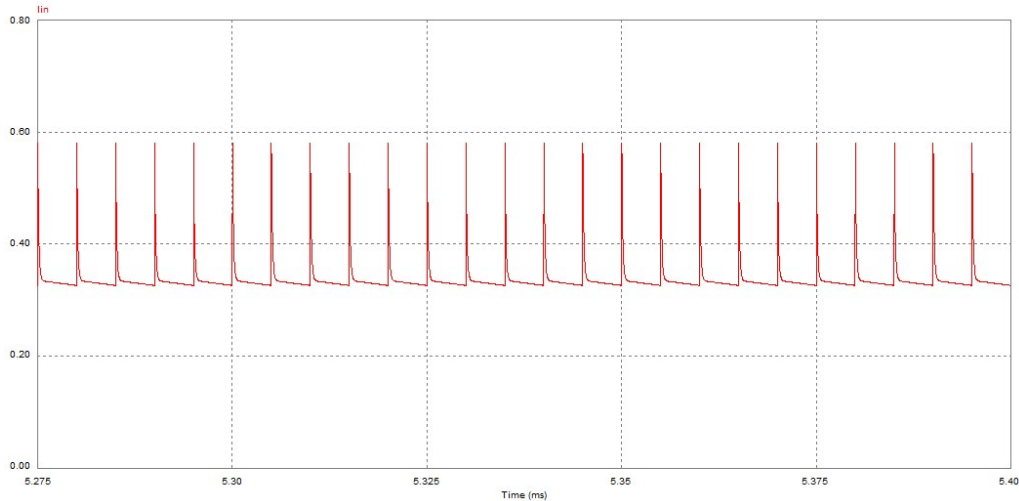
Lehenik eta behin, eredu honen sarrerako eta irteerako korrante eta tentsioak aztertuko dira:



25. Irudia: 1. Simulazioa (A): Irteera, Virteera (1)

Irteerako tentsioak egoera egonkorrean 6V inguruan fluktuatzen du 100kHz-ko maiztasunean, bere aldakuntza nahiko txikia delarik, 0.4V ingurukoa. Irteerako korranteak berriz, tentsioarekiko proportzionala den balioa hartuko du denbora osoan,

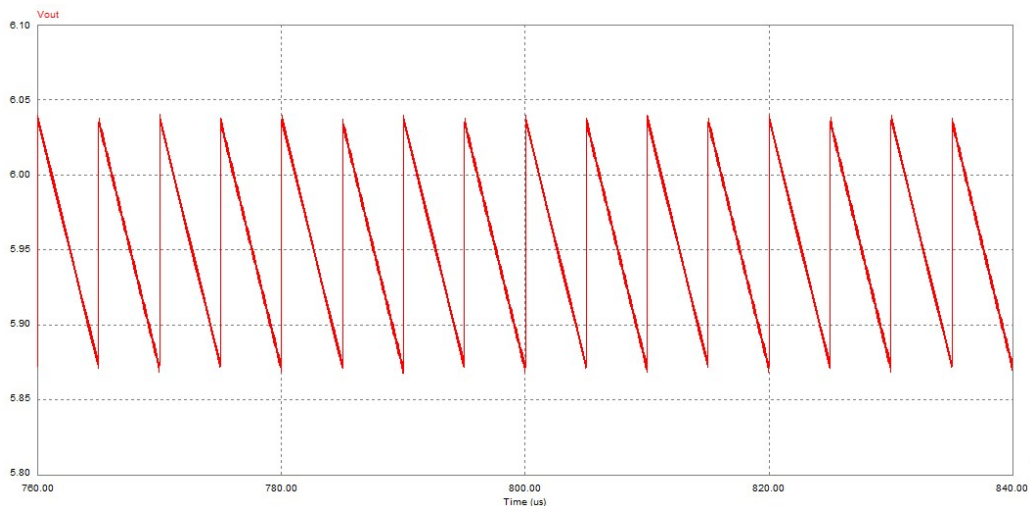
$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R}$$



26. Irudia: 1. Simulazioa (A): Isarrera (1)

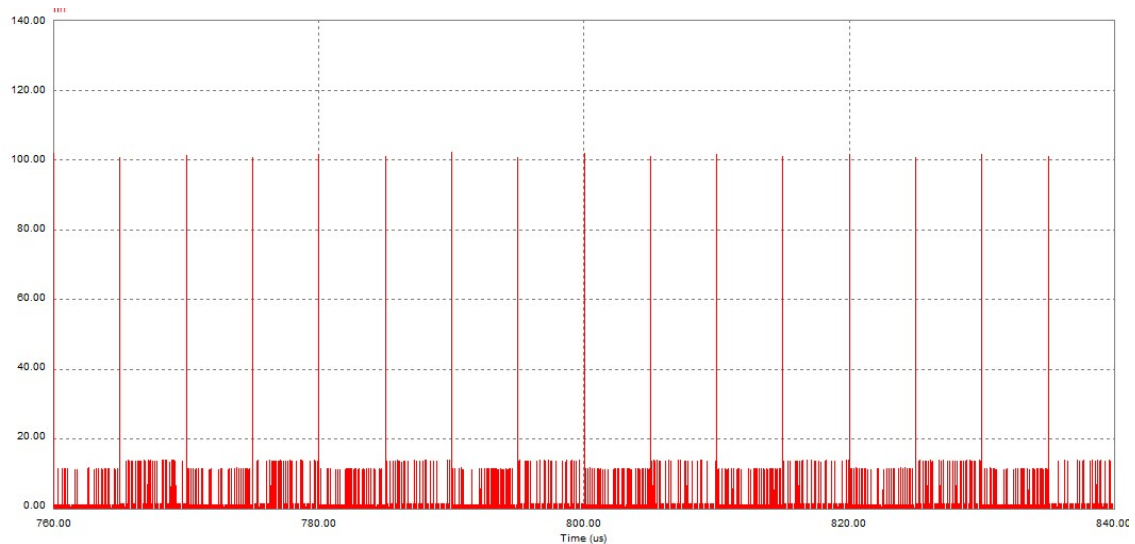
Sarrerako tentsioa 12V-koa inposatzen du sorgailuak. Sarrerako korrontean berriz, ikusten da nola konmutazio frekuentziarekin batera pikoak agertzen diren. Gainerako denboran, 0.3 A inguruan dago.

Simulazioaren denbora pausoa txikitzen bada (prezisia handitu):



27. Irudia: 1. Simulazioa (A): Virteera (2)

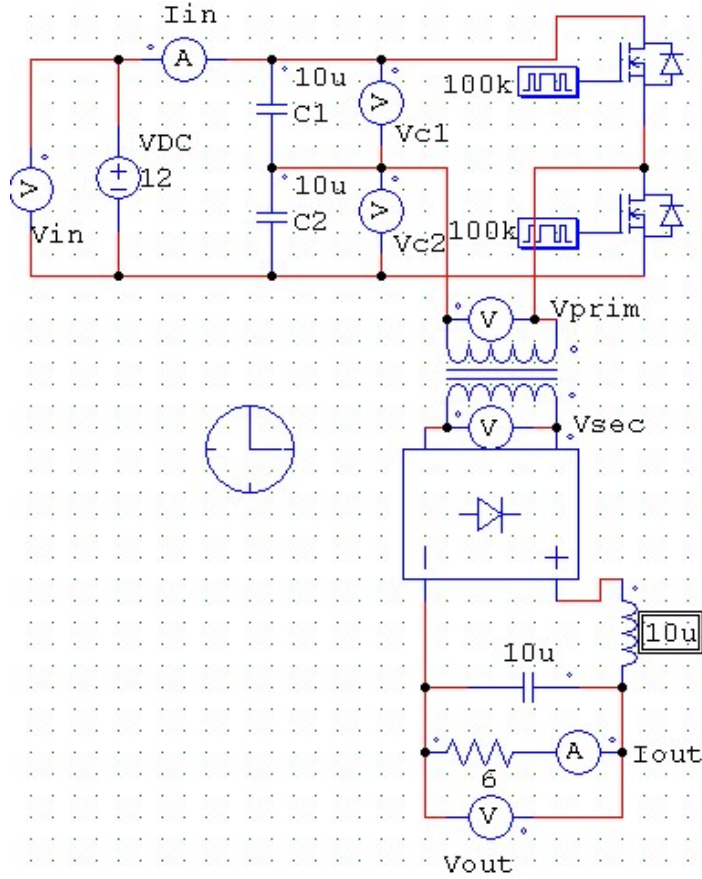
Irteerako tentsioa argiago ikus daiteke orain, batezbesteko balioak ez ditu 6 V-ak atzematen. Gainera, aipatzekoa da tentsio hau zuzenean kondentsadorean erortzen dela, eta ikus daitekeen bezala honen aldakuntza bat-batekoa denez, malda infinitukoa, korronte infinituak sortuko lituzke kondentsadoreak.



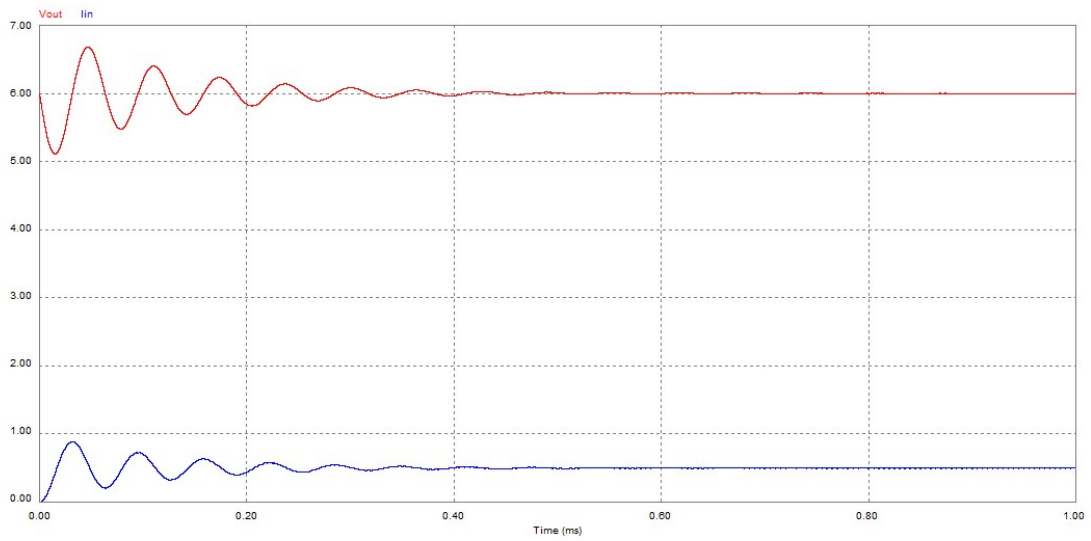
28. Irudia: 1. Simulazioa (A): Isarrera (2)

Ikus daiteke sistema lehen ez dela kapaza izan korrante pikoien anplitudea neurtzeko denbora pauso txikiekin. Neurketa berri honetan ikus daiteke sarrerako korronteak 100A-eko balioa hartu duela. Gertaera honek, MOSFET-en pizte eta itzaltzeak zirkuitulaburra sorrarazten duela esan nahi du, eta hau ez da posible izango diseinatu nahiko den sisteman, zirkuitua erre egingo baitu.

Arazo hau ekiditeko 10 μ H-ko induktantzia bat gehituko zaio zirkuituari intentsitate motelgailu gisa eta honen eragina aztertuko da.



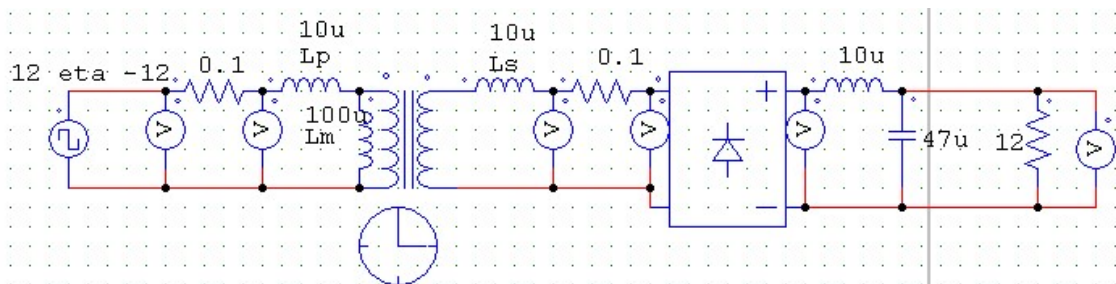
29. Irudia: 1. Simulazioa (B)



30. Irudia: 1. Simulazioa (B): Isarrera, Virteera

Aurreko irudian ikus daiteke nola, bai irteerako tentsioa, eta ondorioz, irteerako intentsitatea, eta baita sarrerako korrontea ere, moteldu egin diren. Hasieran egoera transitoria agertzen da, nahiko oszilazio handiak dituena, baina gero azkar egonkorta, eta aldakuntza motelagoa (malda txikiagokoa) eta maximotik minimora diferentzia txikiagokoa azaltzen ditu. Oraingoak, eraiki nahi den inbertsorearen eskaerak betetzen ditu.

2. Zirkuitua



31. Irudia: 2. Simulazioa

Zirkuitu honen bitartez transformadore erreal bat simulatu nahi izan da. PSIM-ek transformadore idealak bakarrik erabiltzeko aukera ematen du, beraz, proiektu honetan garatuko den zatitutakoko transformadoreak izango dituen parametroak kontuan izateko, adierazitako simulaziorako zirkuitua eraiki da.

Sarrera bezala, inbertsoreak sorturiko uhin karratu alternoa erantsi da, +12 eta -12ko balioekin, jarraian, transformadorearen parametro guztiak, eta azkenik jada, diodo bidezko artezgailua, eta tentsio-korrante motelgailua, 47μF-ko kapazitate eta 10μH-ko induktantziarekin.

Transformadore erreala simulatzeko primarioko eta sekundarioko harilkatuek 0.1Ω-ko erresistentzia dutela suposatu da. Magnetizazio induktantzia eta primarioko eta sekundarioko ihes induktantziak errepresentatzeko Lm, Lp eta Ls harilak gehitu dira, hurrenez hurren, zirkuitura. Parametro hauen balioak harilkatuaren, materialaren, sekzioaren, hartutako formaren, bira kopuruaren, eta batez ere, akoplamenduaren distantziaren eta egokitasunaren menpekoak dira, beraz, ezin da teorikoki haien balioa determinatu. Hori dela eta, parametro hauen balio desberdinak hautatuko dira, eta hauen aldakuntzak zirkuituan duen eragina aztertuko da.

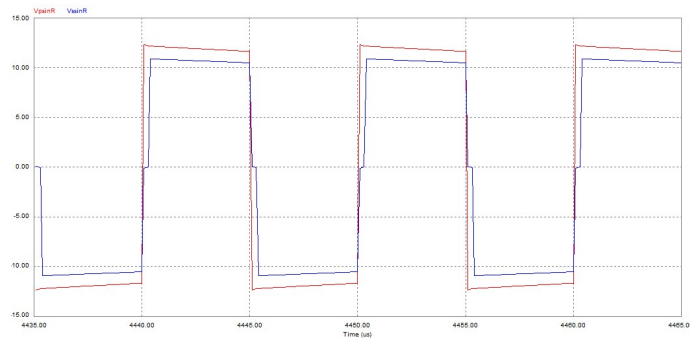
Ondorengo tarteak ezarriko zaizkie aurretik parametro hauen balioei (balio hauek exageratu samarrak jarriko dira, eragina ondo hautemateko):

$$10\mu\text{H} < \mathbf{Lm} < 100\mu\text{H} / 1\mu\text{H} < \mathbf{Lp} < 10\mu\text{H} / 1\mu\text{H} < \mathbf{Ls} < 10\mu\text{H}$$

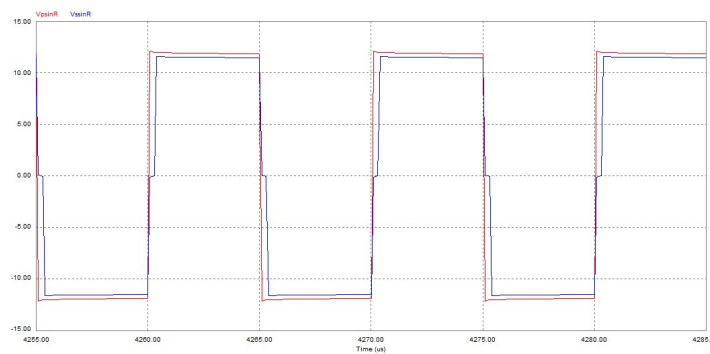
Neurketak egiteko, beharrezko Voltmetroak eta Anperometroak jarri dira.

Grafikoak errazteko asmoz, PSIM-en idazkerak eskatzen duen bezala, harilen balioetan “u” jarriko da μH -ren ordeez.

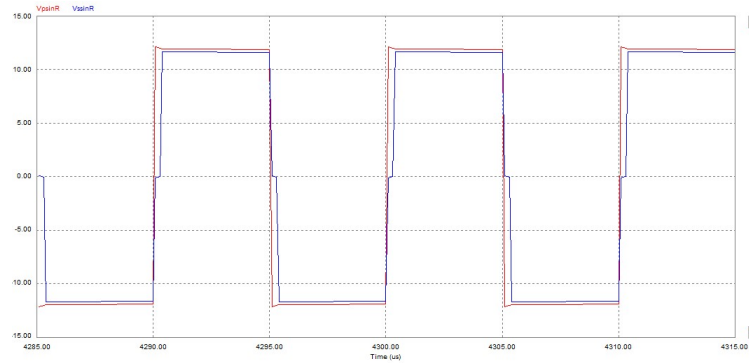
Lehenbizi, magnetizazio induktantziaren eragina aztertuko da. Ihes induktantzien balioak konstante mantenduz, Lm -ari balio desberdinak emango zaizkio eta sarrerako eta irteerako tentsioak ikuskatuko dira, haien arteko desberdintasunak ikertzeko.



32. Irudia: 2. Simulazioa: $Lm=10u$; $Lp=1u$; $Ls=1u$



33. Irudia: 2. Simulazioa: $Lm=50u$; $Lp=1u$; $Ls=1u$

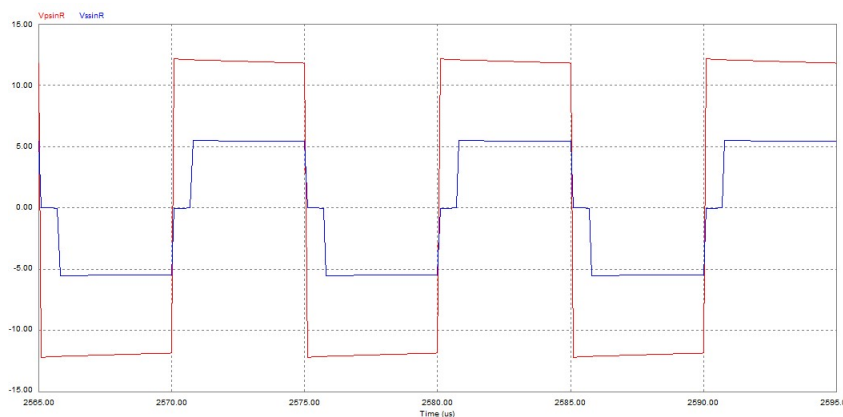


34. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=100\mu$; $L_p=1\mu$; $L_s=1\mu$

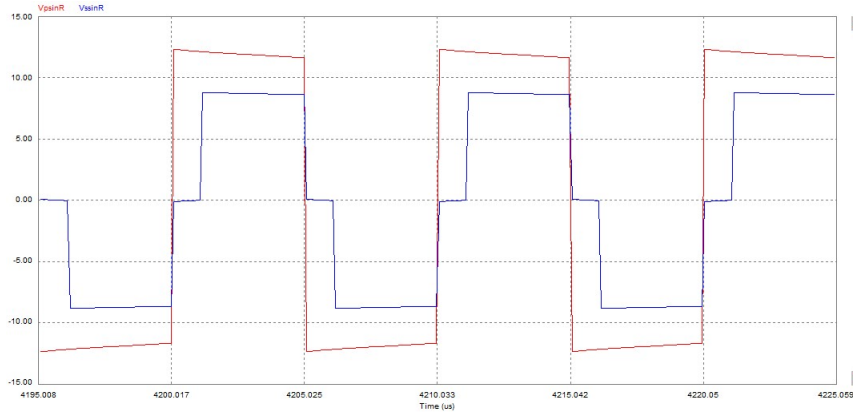
L_m -a handitu ahala, sekundarioaren uhin forma gero eta gehiago hurbiltzen da primarioarenera, baina ez da desberdintasun handirik ikusten.

Aipatzekoa da aurreko grafiketan, sekundarioko tentsioa negatibo izatetik positibo izatera eta positibo izatetik negatibo izatera pasatzen denean denbora bat 0V-tan ematen duela, nahiz eta denbora hau oso txikia den. Gertaera horri solapamendua edo gainjartzea deituko diogu hemendik aurrera.

Jarraian, primarioko eta sekundarioko ihes inductantzien eragina aztertuko da:



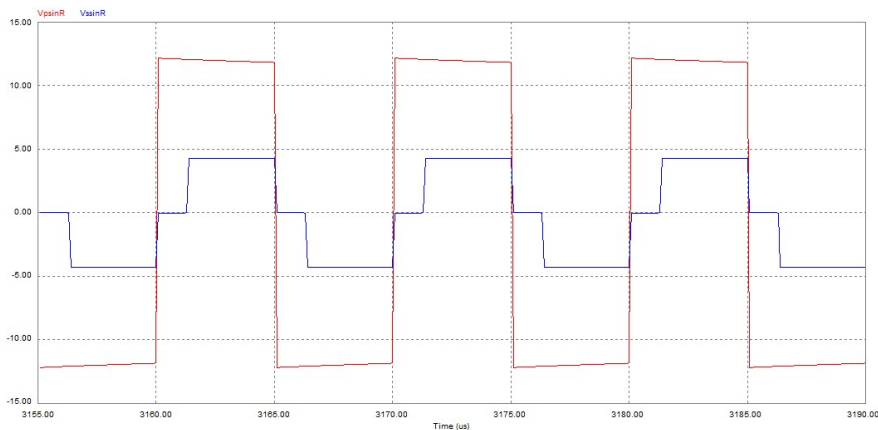
35. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10\mu$; $L_p=10\mu$; $L_s=1\mu$



36. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10u$; $L_p=1u$; $L_s=10u$

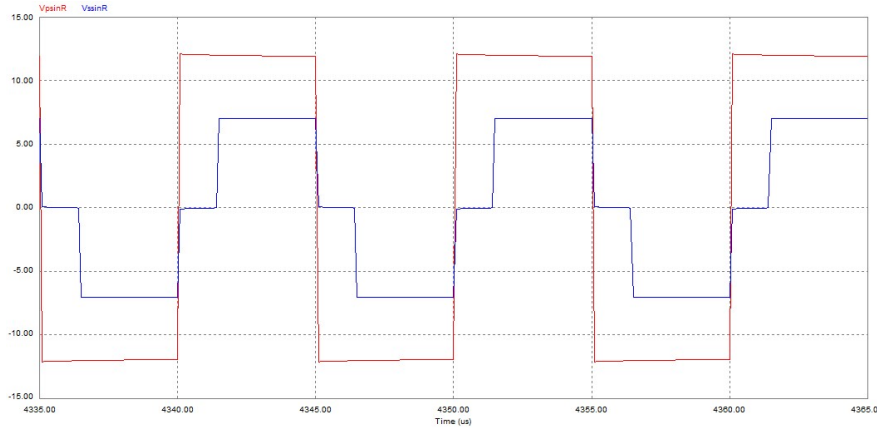
Primarioko ihes inductantzia handitzeak, sekundarioko tentsioa askoz txikiagoa izatea eragiten du, 12V-tik 6V-ra jaitsita balio maximoa eta minimoa. Sekundariokoa handitzeak ere tentsio erlazioa jaiste eragiten du, baina primarioak baino eragin txikiagoa du.

Gainera, bi kasuek sekundarioan eragindako solapamendua magnetizazio inductantzia handiek sorrarazitakoa baino askoz nabariagoa da, batez ere sekundarioaren inductantzia handitzean.



37. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=10u$; $L_p=10u$; $L_s=10u$

Bai primariokoa eta bai sekundariokoa handitzekotan, bi fenomenoak handiagotzen dira, sekundarioko tentsio erorketa oraindik gehiago txikiagotzen da eta solapamendua periodoaren parte handiagoa hartzen du.



38. Irudia: 2. Simulazioa: $L_m=100\mu$; $L_p=10\mu$; $L_s=10\mu$

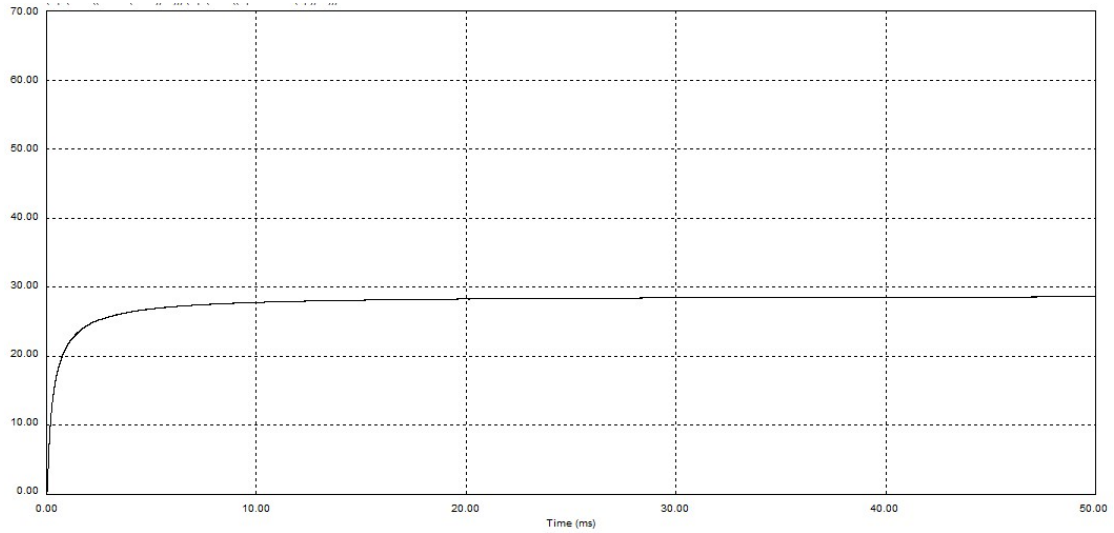
lhes induktantziak handiak izanda, magnetizazio induktantzia ere handiagotzeak bi gertaerak apur bat deuseztatzen ditu, baina irudian ikus daitekeen bezala garrantzi handikoak izaten jarraitzen dute.

Azkenik efizientziaren ikerketa ere egingo da PSIM programa-ren bidez. Programak, neurketen arteko operazioak egiteko eta hauek erakusteko aukera ematen du, beraz, efizientzia grafiko bidez ikuskatzea pentsatu da. Hau egiteko, sarrerako potentziaren eta irteerako potentziaren arteko erlazioa nola kalkulatu behar duen adierazi behar zaio (adierazpena ezin da era matematikoan sartu, *, /, sqrt, ^2, etab. erabilita sartu beharra dago):

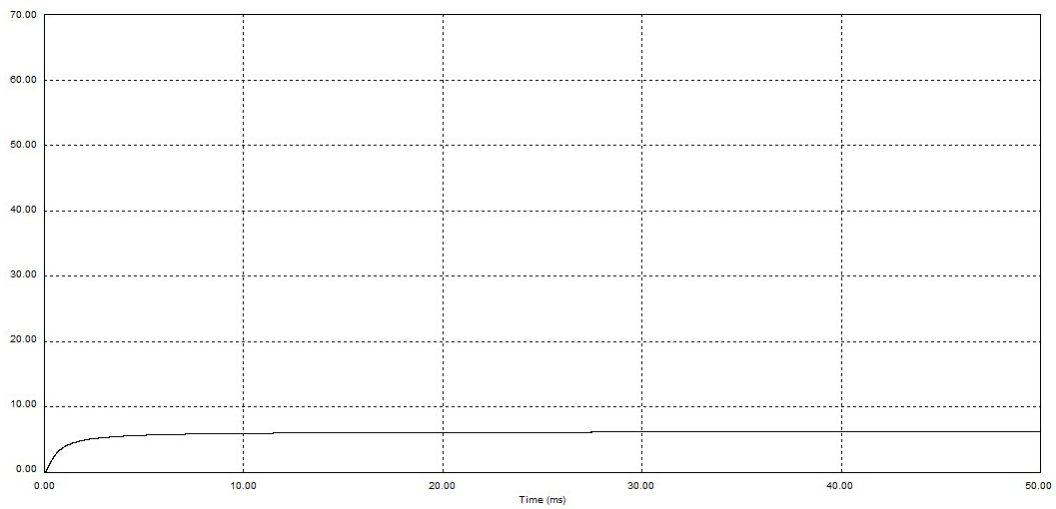
-Sarrerako potentzia : $\sqrt{\text{AVG}((V_{\text{out}} \cdot I(\text{Rout}))^2)}$

-Irteerako potentzia: $\sqrt{\text{AVG}((V_{\text{in}} \cdot I(L_p))^2)}$

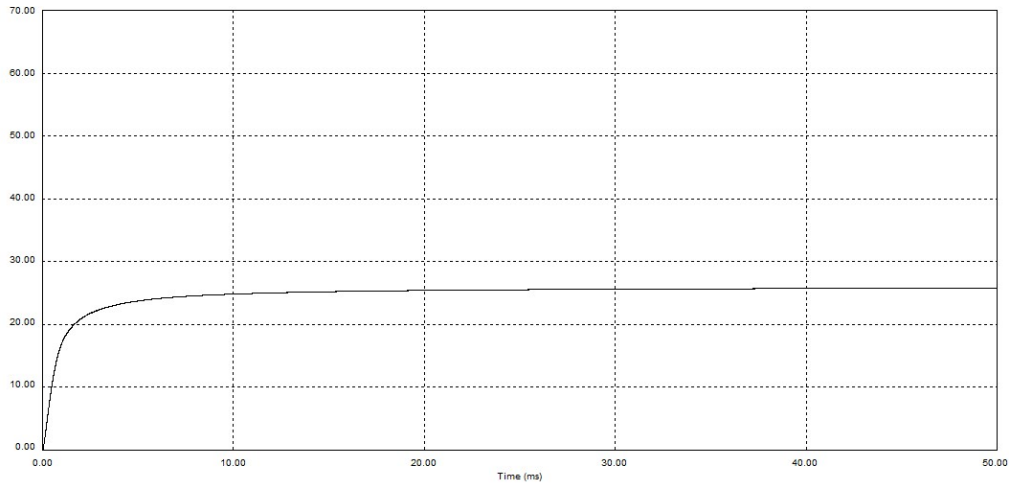
-Efizientzia (%): $(\sqrt{\text{AVG}((V_{\text{in}} \cdot I(L_p))^2)}) / (\sqrt{\text{AVG}((V_{\text{out}} \cdot I(\text{Rout}))^2)}) * 100$



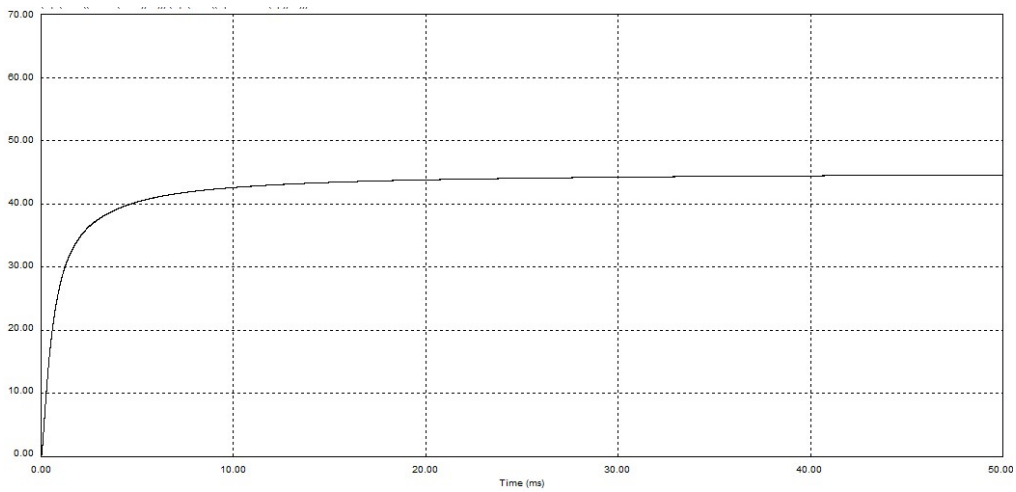
39. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=10u$, $L_p=1u$, $L_s=1u$)



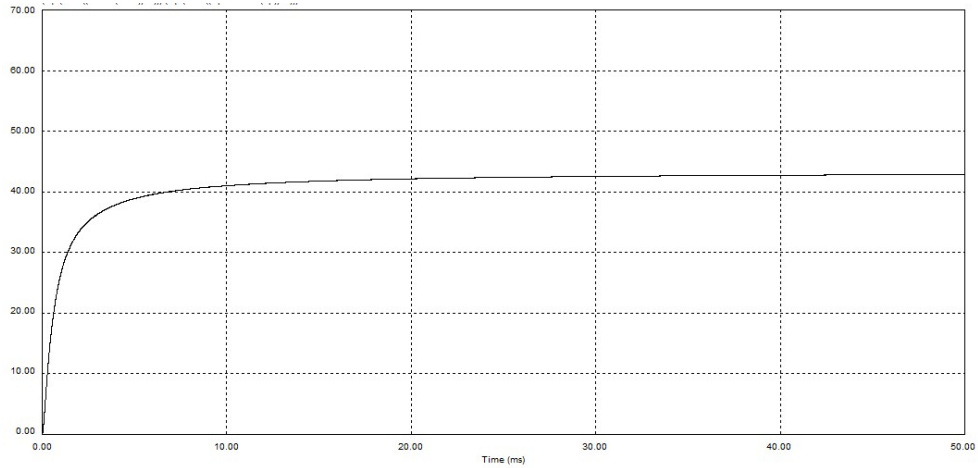
40. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=10u$, $L_p=10u$, $L_s=10u$)



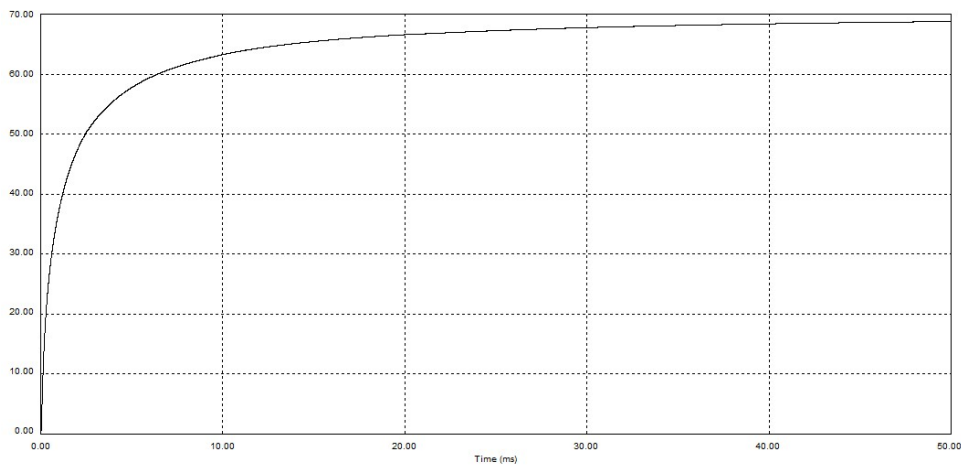
41. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100\mu$, $L_p=10\mu$, $L_s=10\mu$)



42. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100\mu$, $L_p=10\mu$, $L_s=1\mu$)



43. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100\mu$, $L_p=1\mu$, $L_s=10\mu$)



44. Irudia: 2. Simulazioa: Efizientzia ($L_m=100\mu$, $L_p=1\mu$, $L_s=1\mu$)

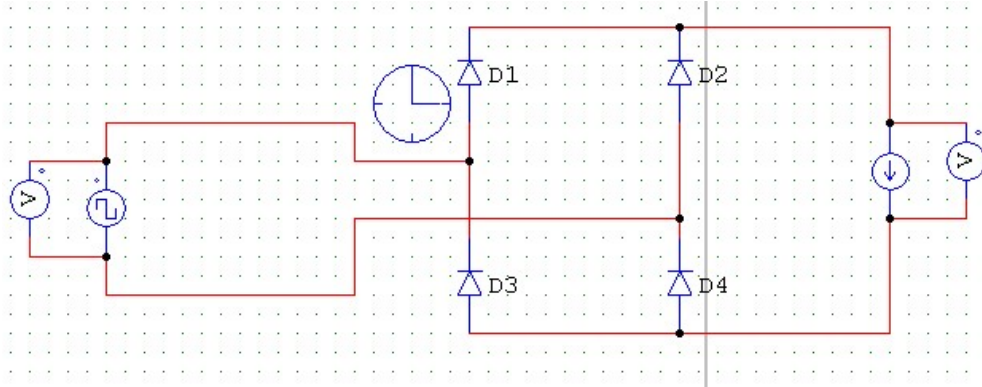
-Grafiketan ikus daiteke, ihes inductantzien balio altuek efizientzia asko jaisten dutela, $\{L_m=10\mu, L_p=10\mu, L_s=10\mu\}$ balioekin efizientzia %7 ingurukoa baino ez da.

-Magnetizazio inductantziaren handiagotzeak, ordea, efizientzia hobetzen du, $\{L_m=100\mu, L_p=10\mu, L_s=10\mu\}$ balioekin (ihes inductantzia handiekin) efizientzia %26-ra igozea lortzen da, eta ihes inductantziak txikiagotzekotan, $\{L_m=100\mu, L_p=1\mu, L_s=1\mu\}$, ia %70-eko efizientzia.

-Gainera, aipatzekoa da, baldintza hauetan eragin txarragoa duela efizientzian sekundarioko ihes inductantzia handiagoa izateak, nahiz eta oso gutxigatik. $\{L_m=100\mu, L_p=1\mu, L_s=10\mu\}$ balioekin %43 inguru, $\{L_m=100\mu, L_p=10\mu, L_s=1\mu\}$ balioekin ordea, %45.

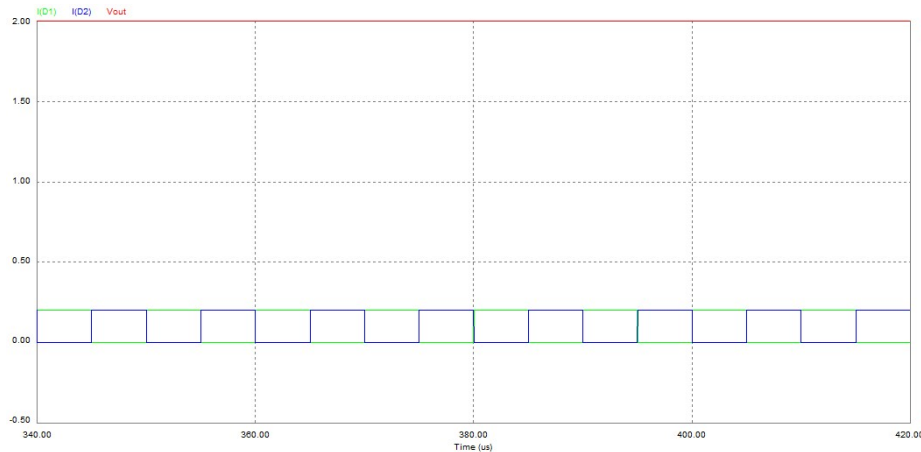
3. Zirkuitua

Zirkuitu simple honen bitartez lehen aipatutako solapamenduaren fenomenoaz aztertu nahi izan da.



45. Irudia: 3. Simulazioa (A)

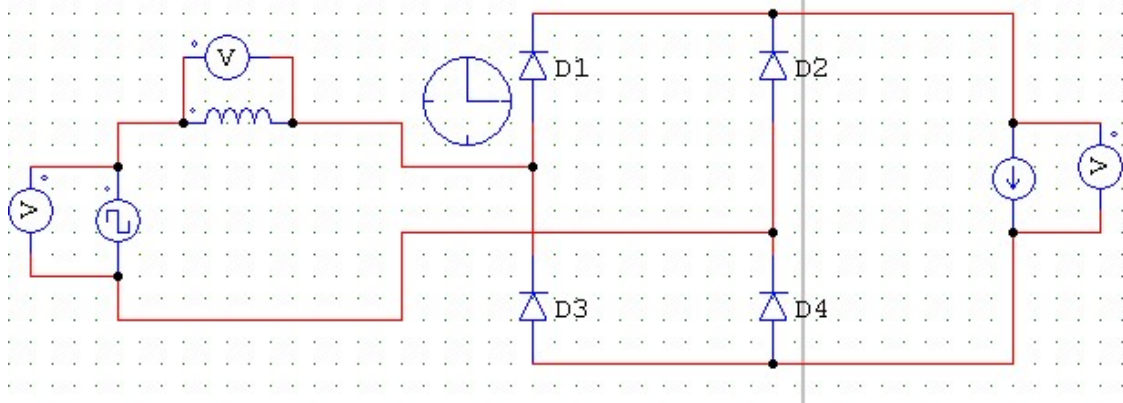
Zirkuitu honetan diodo zubi bat eraiki da, sarreran 0V eta 4 V-ko maila funtzio bat aplikatu, eta irteeran intentsitate iturri bat jarri da.



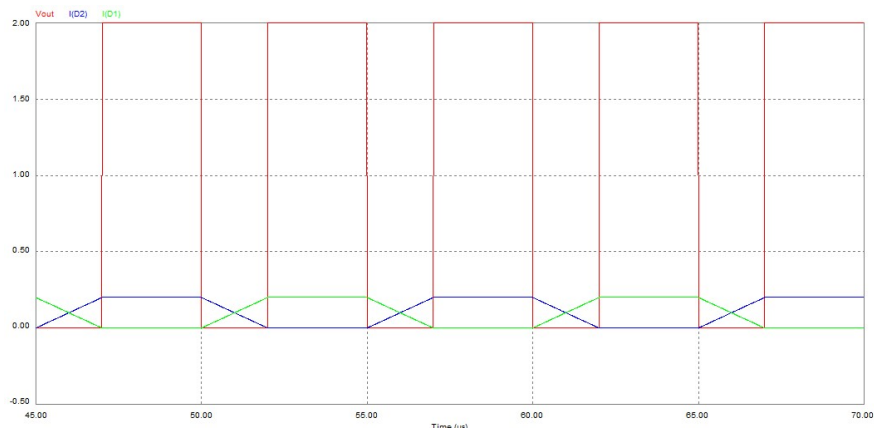
46. Irudia: 3. Simulazioa (A): Vout, Id1, Id2, Id3, Id4

Grafikoan irteerako tentsioa jarraia dela ikus daiteke, eta diodoen intentsitateek pultsu karratuak egiten dituztela (diodoak binaka doaz, bi batera piztu, eta aldi berean beste biak itzali etab.)

Orain, artezgailua baino lehen $10\ \mu\text{H}$ -ko harilkatu bat jarri da.



47. Irudia: 3. Simulazioa (B)



48. Irudia: 3. Simulazioa(B): Vout, Id1, Id2, Id3, Id4

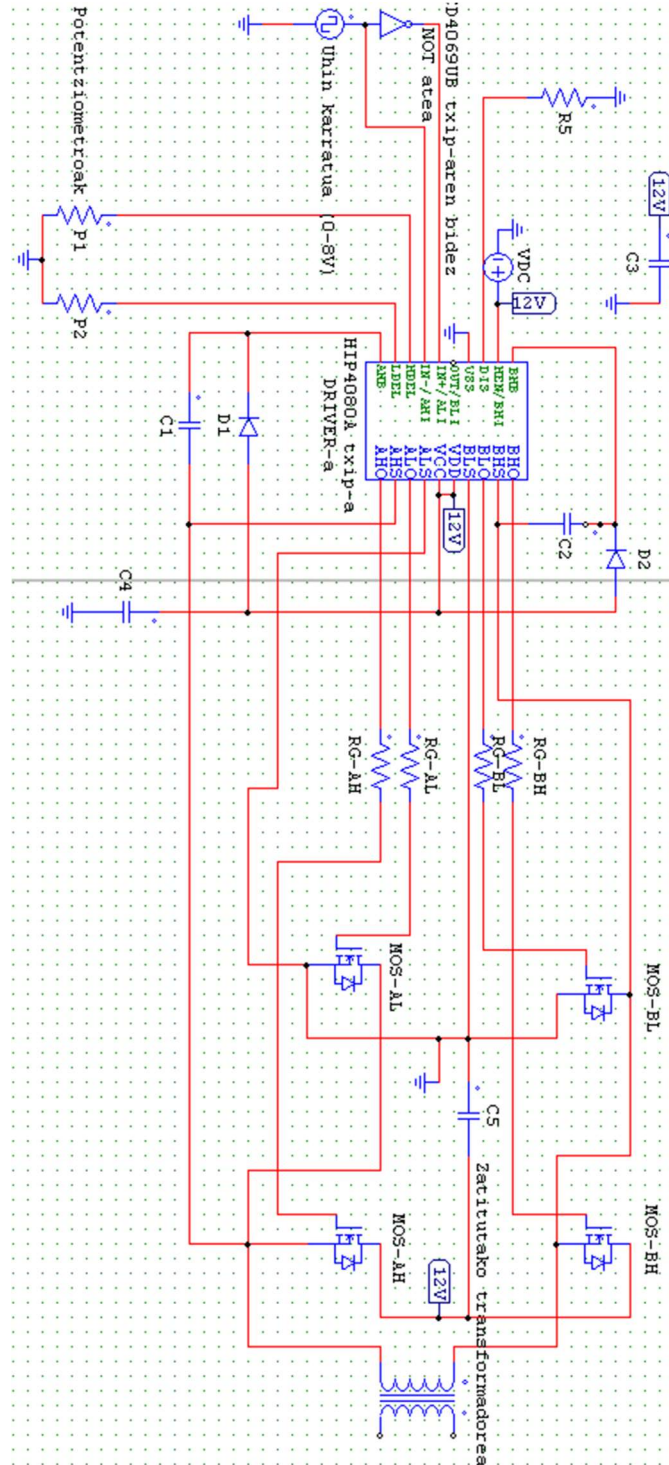
Grafikoan ikusten da nola orain irteerako tentsioa ez den jarraia, eta diodoetan zehar zirkulatzen duen korronteak gora eta behera egiten duen malda batekin. Hau gertatzen da, diodo konjugatuak aldi beran kondukzioan jartzen direlako, eta beraz, irteerari ez zaio potentziarik ematen hori gertatu bitartean.

2.1.4 Inbertsorearen fabrikazioa eta bitarteko neurketak

Inbertsorea egitea izan da proiektu honetan lanik astunena. Zirkuitu elektronikoa eztauzko soldadura bidez eraiki da elementuz elementu zulatutako plaka batean. Inbertsorearen muntaketa atalez atal egin da, eta atal bakoitza amaitu bakoitzean, haren funtzionamendua era independentean frogatu da, beharrezko neurketak eginez. Elementu elektronikoa bat apurtuta edota aurkako polaritatearekin soldatuta egotea, konexioren bat egin gabe geratzea, edota nahi gabeko zirkuitu labur bat eragitea, oso arrunta da, beraz, metodo hau jarraitzea garrantzi handikoa da, inbertsore osoa frogarik egin gabe muntatzen bada, eta honek ez badu behar bezala funtzionatzen, arazo handiak egongo baitira akatsa nondik datorren jakiteko.

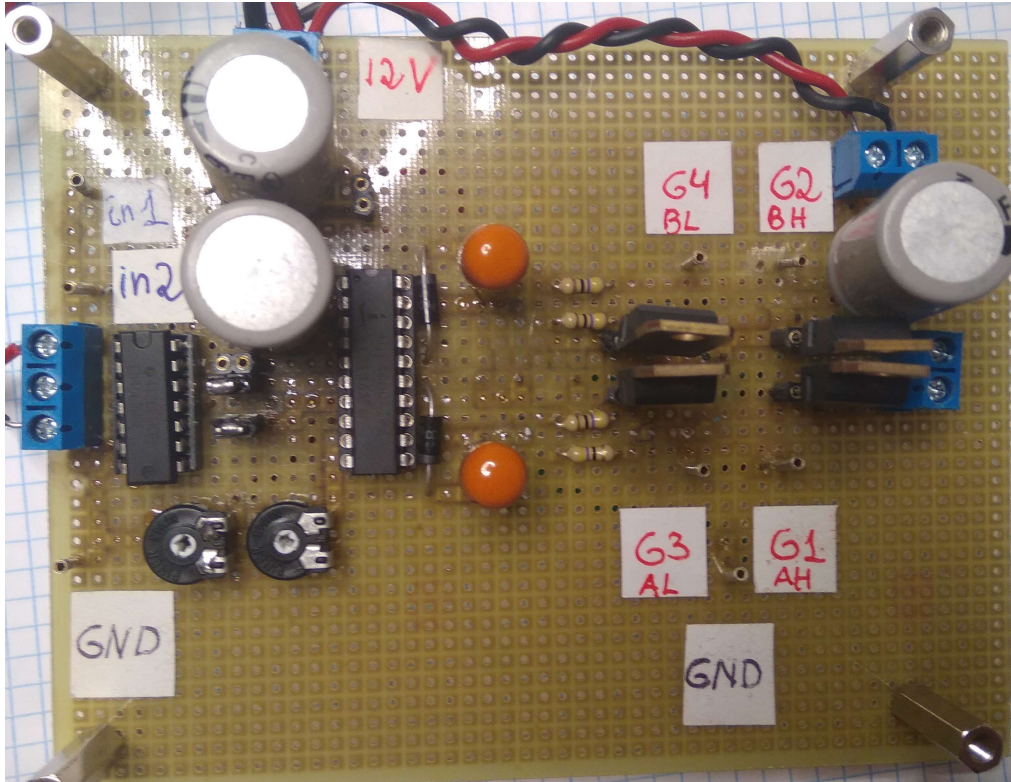
Zirkuitua muntatzerako orduan, zailtasun handienetarikoa bat elementuak eta konexioak nola kokatu diseinatzea izan da. Zirkuituaren diseinurako ez da inolako optimizazio *software*-rik erabili. Beraz, barne induktantziak eta zarata elektronikoak eragozteko eta funtzionamendua optimizatzeko asko pentsatu behar izan da osagai guztiak ahalik eta hurbilen kokatu ahal izateko. Amaieran, atal honetan erakusten diren irudian erakusten de bezala, zirkuituak itxura nahiko konpaktua lortu du, eta induktantziak eta zaratak minimizatzea nahiko ongi lortu da, hala ere, software bat erabilita, oraindik emaitza hobeak lortuko liritekeela azpimarratu beharra dago.

Hurrengo irudian, inbertsorearen eskema orokorraren errepresentazioa erakusten da PSIM programaren bidez eginda. Eskema honetan, egin den muntaiaren konexio zehatzak adierazten dira, baita erabilitako elementu guztiak ere, bakoitzari izen bereizgarri bat jarrita.



49. Irudia: Inbertsorearen eskema orokorra

Elementu eta konexio gutiak soldatu ostean horrelako itxura hartu du inbertsoreak:



50. Irudia: Inbertsorearen muntaia

Neurketak:

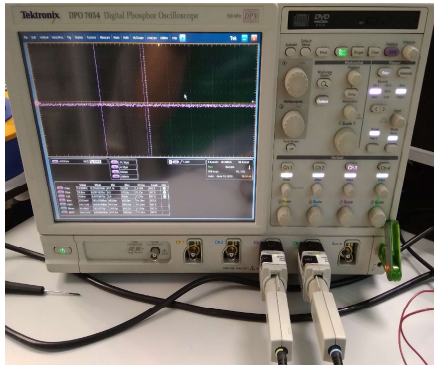
Neurketa guztiak osziloscopio edota polimetroaren bidez egin dira. Neurketak errazteko zirkuituan bertan, aurreko irudian ikus daitekeen bezala, irakurketarako pin batzuk soldatu dira eta pegatina batzuen bidez *pin* bakoitzak zer neurtzen duen adierazi da.

Erabili den osziloscopioak tentsioa edo intentsitatea neurtzeko sondak ditu, aldiuneko balioez gain, batz besteko balioa edota RMS-a neurtzeko gai ere bada. Pantailan grafikoak ikusi ahal izateko beharrezkoa da tentsio eta denbora eskalak egokitzea.

Tentsioa neurtzeko sonda berezi batzuk erabilia, edozein bi punturen arteko tentsioa ikus daiteke, sondaren bi muturrek puntu horiek ukituta.

Intentsitatea neurtzeko berriz, zilindro formako pintza batekin neurtu nahi den kablea inguratu behar da.

Polimetroak berriz tentsio jarraia neurtzeko balio izan du.



51. Irudia: Neurketarako erabilitako tresnak

1-CD4068UB txipa ondo elikatuta egotea 12V-tan.

2-*Driver*-aren IN+ eta IN- sarreretan kontrako bi maila funtzio edukitzea, 8V-ko anplitudekoak.

3-*Driver*-a ondo elikatuta egotea eta HEN pin-a tentsiora eta DIS lurrera egotea.

4-AHO, BHO, ALO eta BLO pinetan MOSFET-ei bidaliko zaien tentsio karratuak lortzea.

5-MOSFET-en *Gate* eta *Source* bitarteko tentsioak atalase tentsioa gainditu eta gunee ohmikoan lan egitea eragiteko bezain anplitude handiko maila funtzioak iristen direla frogatzea.

6-Irteerako konektoreetan +12 eta -12 ko tentsio alternoa edukitzea.

2.1.5 Zatitutako transformadoreko harilkatuen prestaketa

Primarioko eta sekundarioko harilkatuen erlazioa (bira kopurua eta ondorioz, tentsio erlazioa) 1-ekoa izatea erabaki da, hau da, biek bira kopuru berbera izatea. Hori bai, bakoitzak zenbat bira edukiko dituen erabaki behar da lehenago.

Proiektu honetan, ausaz, harilkatuei 20 bira ematea erabaki da. Bira kopuru honekin inpedantzia neurgailuaren bidez neurtu zaio magnetizazio inдукtantzia, baina honetarako bi balio desberdin neurtu dira:

Primarioko harilkatuak bakarrik duen magnetizazio inдукtantzia: 25μH

Sekundarioa akoplatuta duen magnetizazio inдукtantzia: 34.5 μH

Magnetizazio inдукtantzia, harilaren materialarekiko eta sekzioarekiko proportzionala den konstante baten menpekoa da, eta aldi berean, bira kopuruaren karratuaren menpekoa baita: $L_m = K * N^2$

Magnetizazio inдукtantzia handiarekin korronteak konstanteagoak izatea lortzen da.

Korrontearen aldaketa, $\Delta i = \frac{V_L * T}{L_m}$, non, V_L =transformadoreko tentsioa, T =periodoa eta L_m =magnetizazio inдукtantzia diren.

Aldi berean, bira kopurua gehiegi handitzeak erresistentzia altuak sorraraziko ditu, eta honek galerak ekarriko ditu, beraz inдукtantzia balio optimoa dagoela ondoriozta daiteke.

Proiektu honetan ez da bira kopuru optimoaren azterketa egin, bai ordea, lortutako magnetizazio inдукtanziarako frekuentzia optimoko azterketa.

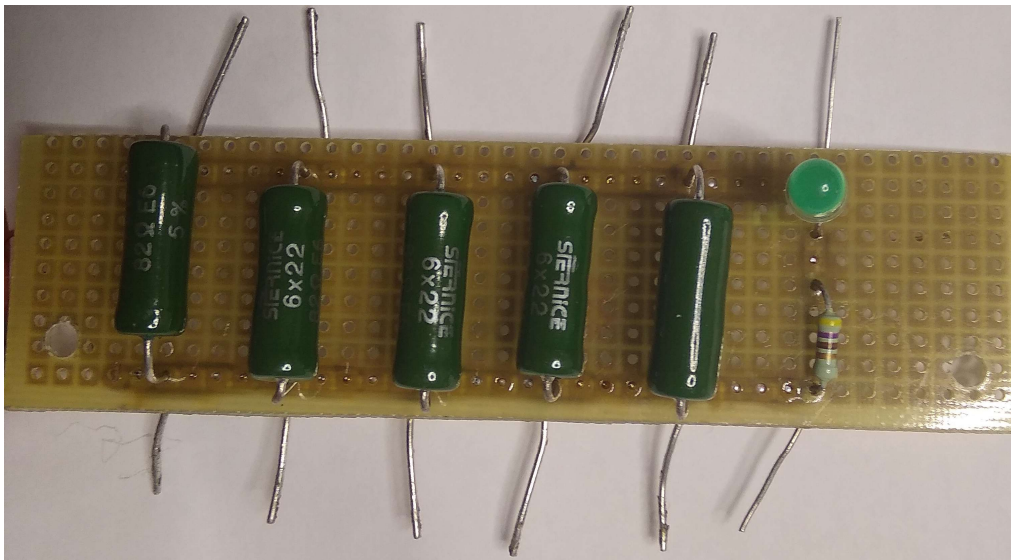
2.1.6 Hartzailearen fabrikazioa

Hartzaile bezala robot bat jarri beharrean, inbertsoretik sobratutako plaka zulatuaren zati bat erabilita, 82Ω -eko potentziako erresistentzia batzuk jarri dira paraleloan potentzia kontsumitzeko, batera batek egingo lukeen bezala. Gero eta erresistentzia gehiago jarri paraleloan, kontsumoa orduan eta handiagoa izango da, bakoitzak kontsumitutako potentzia: $P = V^2/R$

Erresistentziekin batera, paraleloan, *led* diodo bat jarri da, sistema urpean sartzerakoan argia pizteko, eta horrela, sistema potentzia ematen ari dela jakiteko.

Diodoan zehar korrontea mugatu egin behar da hau ez erretzeko, beraz, seriean erresistentzia bat jarriko zaio. Erresistentzia honek handia izan behar du, korronte oso txikiak behar baititu *led*-ak, baina ezin da handiegia izan, bestela, korronte txikiegia izanik *led*-ak ia ez du argirik emango.

Erresistentzia $470\ \Omega$ -ekoa izatea erabaki da argitasun egokia lortzeko.



52. Irudia: Hartzailea

2.1.7 Kommutazio maiztasunaren zehaztapena

Uhin sorgailuak seinale karratua sortuko duela azaldu da, baina ez nolako maiztasunean egingo duen. Froga txiki bat eginez ikusi da maiztasuna 50 eta 150 KHz bitartean aldatuz efizientzia maximoko puntu bat dagoela. Beraz, maiztasun optimoa aukeratzeko helburuaz frekuentziaren azterketa bat egin da.

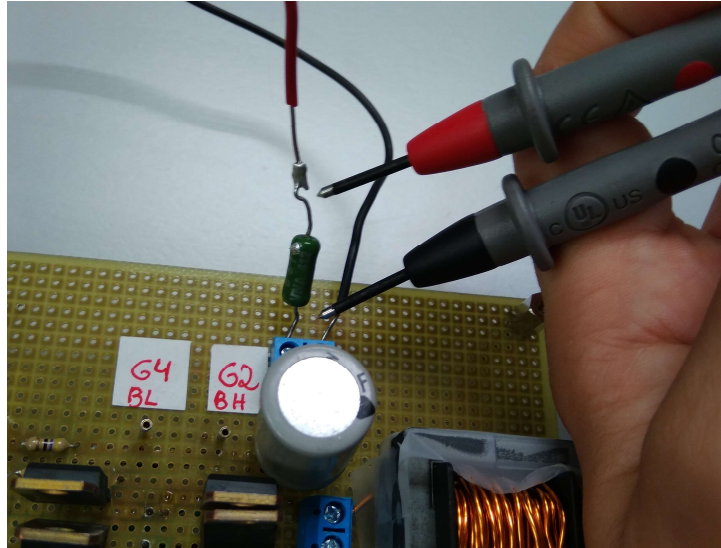
Analisia baliagarria izateko, hau da, lortutako emaitzak fidagarriak izateko eta sistemak funtzionamenduan izan ditzakeen aldagai guztien eragina kontuan hartzeko, sistema hutsean eta kargapean frogatzea erabaki da, bakoitzean, maiztasun desberdinek efizientzian duten eragina kalkulatzeko metodo ezberdinak erabiliz. Gainera, igorleak eta hartzaileak haien artean akoplamendu txarra egiten dutenean gertatuko litzatekeena simulatzeko, elkarrekiko distantzia desberdinetara bilatu da frekuentzia optimoa, distantziaren arabera bere aldakuntza ikertuz.

Jarraian, neurketak egiteko jarraitutako metodologia azalduko da:

Neurketak egiteko, zatitutako transformadorearen bi zatiak inbertsorera erabilitako zulatutako plakan finkatu dira zokalo batzuk erabilita. Primarioa inbertsorearen irteerako konektorerara lotu da, eta sekundarioa berriz, aske edo hartzaileari lotuta soldadura bidez, neurketa hutsean edo kargapean egingo den arabera.

-Neurketak hutsean: Hutseko efizientzia neurtzeko, sarrerako potentzia neurtu nahi da, sekundarioa ez dagoenez potentzia guztia galerak izango baitira. Potentzia galera minimoak zein frekuentziak dituen jakin nahi da. Beraz, galeren grafiko bat egingo da hau aztertzeko.

-Sarreko potentziaren neurketa: sarrerako potentzia neurtzeko, sistema potentziaz hornitzen duen kableari $R=0.48\Omega$ -eko erresistentzia bat soldatu zaio. Erresistentzia honek oso potentzia gutxi xahutuko du, kantitate mespretxagarria, eta honi esker polimetroaren bidez borne arteko tentsioa neurtuz sarrerako intentsitatea kalkula daiteke, $I_{sarrera} = \frac{V_R}{R}$. Sarrerako tentsioa ez da zehazki 12V-ekoa, kablean zehar dauden galerak direla eta sarrerako tentsioa polimetro bidez neurtuko da. $P_{galerak} = \frac{V_R}{R}$



53. Irudia. Sarrerako intentsitatea neurtzeko erabilitako erresistentzia

-**Neurketak kargapean:** Kargapeko efizientzia neurtzeko, sarrako eta irteerako potentzien arteko erlazioa kalkulatu da, $\eta = \frac{P_{irteera}}{P_{sarrera}}$. Zatiketa honek ehunekoa adierazten du, hortaz, emaitza handiena duen frekuentzia izango da efizienteena, eta hau ikuskatzeko ere, grafiko bidez egingo da.

-Sarreko potentziaren neurketa: sarrerako potentzia kargapean, hutsean egin den era berean egingo da.

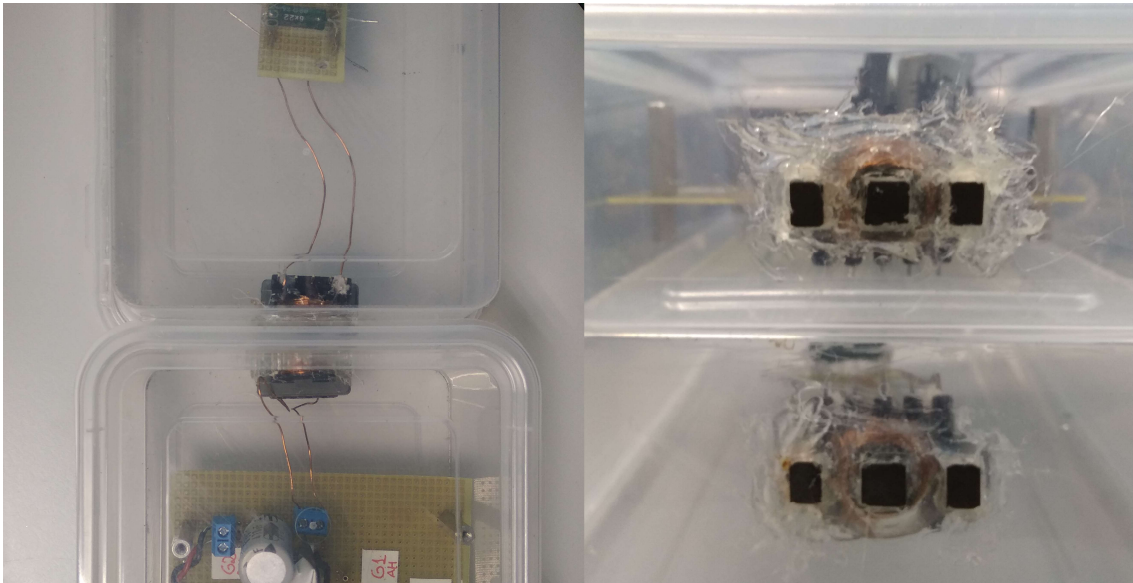
-Irteerako potentziaren neurketa: irteerako tentsioa alternoa denez, honen balio efikaza osziloskopioaren bidez neurtu da (lehenago azaldu den bezala, osziloskopioak RMS-ak eta bataz-besteko balioak neurtzeko gaitasuna dauka), sondak hartzailearen borne artean kokatuz. Horrez gain, hartzailearen erresistentzia baliokidea neurtu da, hau $R_{Karga}=16.9 \text{ K}\Omega$ -ekoa zelarrik. Beraz, irteerako potentziaren kalkulurako, $P_{irteera} = \frac{V_{RMS}^2}{R_{Karga}}$

Azterketa honetan egindako neurketak, eraikitako grafikoak eta ateratako ondorioak KALKULUAK atalean erakutsiko dira.

2.1.8 Isolamendua eta azken frogak

Zirkuitua ur azpian sartu ahal izateko guztiz isolatu beharra dago. Hau egiteko, bai inbertsorea bai hartzailea plastikozko *tuper*-etan sartzea eta ondoren, silikona bidez zigilatzea pentsatu da. Kontaktua hobea izateko, transformadore erdiek *tuper*-ak zeharkatzea eta haien artean zuzenean kontaktu egitea erabaki da, transformadore zatien artean *tuper*-en lodierako burdinartea geratuz gero efizientzia asko jaitsiko litzatekelako. Transformadore erdiek *tuper*-a zeharkatzeko egindako zuloak *cuter* bidez egin dira eta transformadore zatiak silikonaz finkatu dira. Gainera, inbertsoreko *tuper*-aren goialdean beste zulo txiki bat egin da energia iturriarekin eta uhin sorgailuarekin konektatuko diren kableak hortik pasarazteko. Kableak sartu ostean, berriz ere silikona bidez zigilatu da guztia.

Zigilatua egiteko bikeztatze pistola bat erabili da.



54. Irudia: Transformadore zatien finkapena

Guztia prest egonda, lehenik eta behin froga bat egin da uretik kanpo, guztiak behar bezala funtzionatzen duela eta sistemak hartzaileari energia transferitzen diola ikusteko. Behin hau frogatuta, arrainontzi bat urez bete eta sistema uretan murgildu da segurtasun eskularru batzuk erabilita, eta *led*-a piztu denez, energia transferitzeko gai dela frogatu da.

2.1.9 Dokumentazioa

Proiektua hasi bezain pronto, dokumentazioari forma emango zaio. Nahiz eta lehen uneetan informazio gehiegirik ez izan dokumentatzeko, memoria egituratzen joan beharko da, eta ondoren, denbora aurrera joan ahala, proiektua gauzatzean lortutako emaitzak egiturari sartzen joango dira. Azkenean, lan osatu bat lortuko da, ahalik eta hobekien dokumentatua, eta ahalik eta zehatzena eta egokiena.

2.2 FASEAK

1.FASEA - Prestakuntza

- Informazioa biltzea, 4 egun
- Sistemaren funtzionamendua zehaztea, 3 egun
- Lanaren antolakuntza, 2 egun

2.FASEA - Sistemaren garapena

- Simulazioak, 5 egun
- Inbertsorearen fabrikazioa, 25 egun
- Neurketak, 25 egun
- Zatitutako transformadoreko harilkatuen prestakuntza, 2 egun
- Harilkatuen prestakuntza, 2 egun
- Hartzailearen fabrikazioa, 1 egun
- Kommutazio maiztasunaren zehaztapena, 2 egun
- Isolamendua, 2 egun
- Frogak, 2 egun

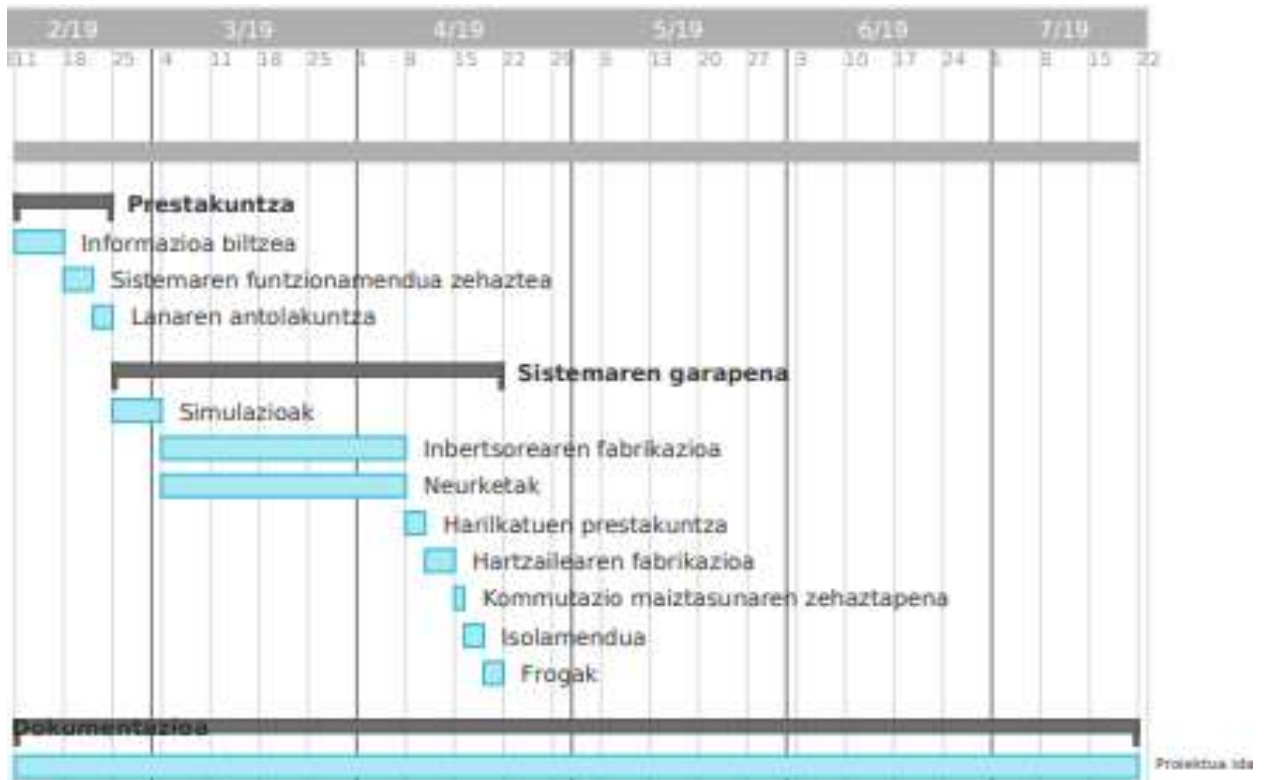
3.FASEA - Dokumentazioa

- Proiektua idaztea, 115 egun

Zatitutako transformadore b...	start	end
Prestakuntza	11/02/19	22/02/19
Informazioa biltzea	11/02	15/02
Sistemaren funtzionamendua zehaz...	18/02	20/02
Lanaren antolakuntza	21/02	22/02
Sistemaren garapena	25/02/19	19/04/19
Simulazioak	25/02	01/03
Inbertsorearen fabrikazioa	04/03	05/04
Neurketak	04/03	05/04
Harilkatuen prestakuntza	08/04	09/04
Hartzailearen fabrikazioa	10/04	12/04
Kommutazio maiztasunaren zehazt...	15/04	15/04
Isolamendua	16/04	17/04
Frogak	18/04	19/04
Dokumentazioa	11/02/19	19/07/19
Proiektua idaztea	11/02	19/07

1. Taula: Mugarriak

2.3 GANTT DIAGRAMA



2. Taula: GANTT diagrama

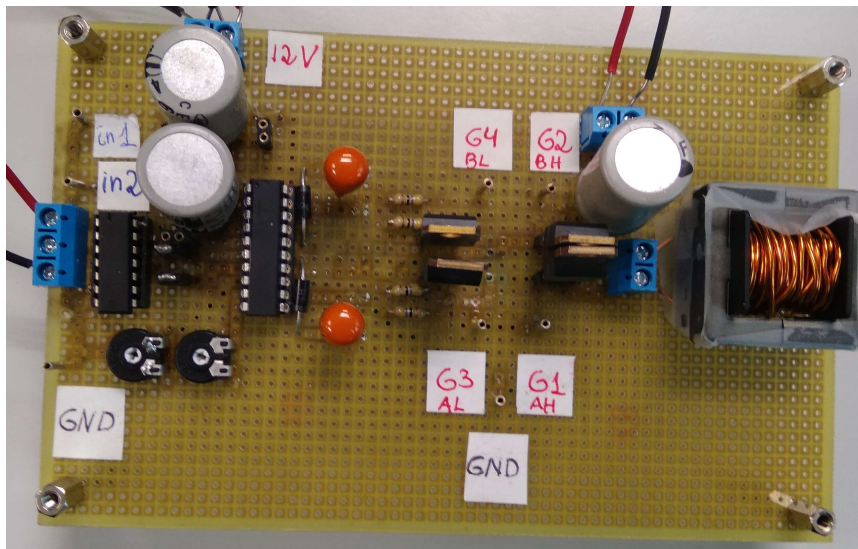
2.4 KALKULUAK

2.4.1 FREKUENTZIA OPTIMOAREN ZEHAZTAPENA

Atal honetan, zereginen deskribapenean azaldu den konmutazio maiztasun optimoa hautatzeko asmotan, hartutako neurriak eta eraikitako grafikoak erakutsiko dira, eta azkenik ondorioak aterako dira.

Kalkulu guztietarako: $R_{karga} (\Omega) = 16.9$ eta $R_{neurketa} (m\Omega) = 480$.

-Burdinartea: 0mm

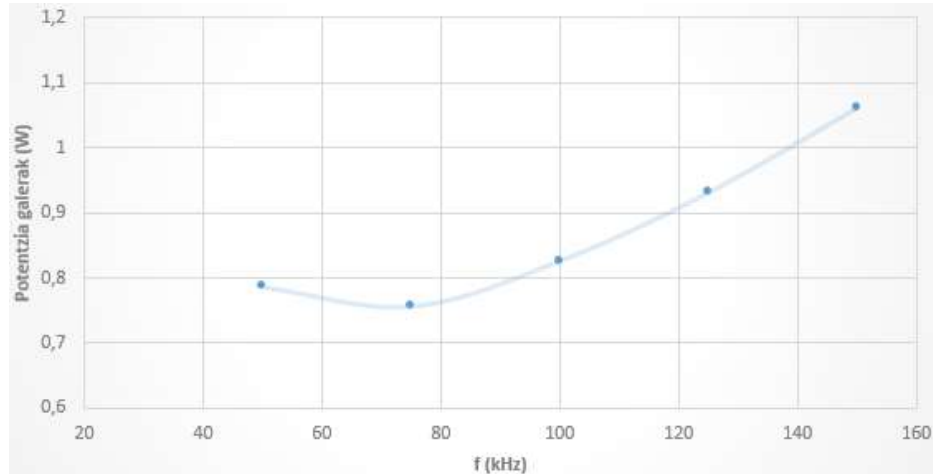


55. Irudia: Potentzien neurketak burdinarterik gabe

Hutsean: Galerak, 75kHz-tan minimoak direla ikusten da.

f(kHz)	VDC,Sarrera(V)	VR(mV)	Isarrera(A)	PGalerak(W)
50	11,95	31,60	0,07	0,79
75	11,95	30,40	0,06	0,76
100	11,95	33,20	0,07	0,83
125	11,95	37,40	0,08	0,93
150	11,95	42,60	0,09	1,06

3. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, hutsean

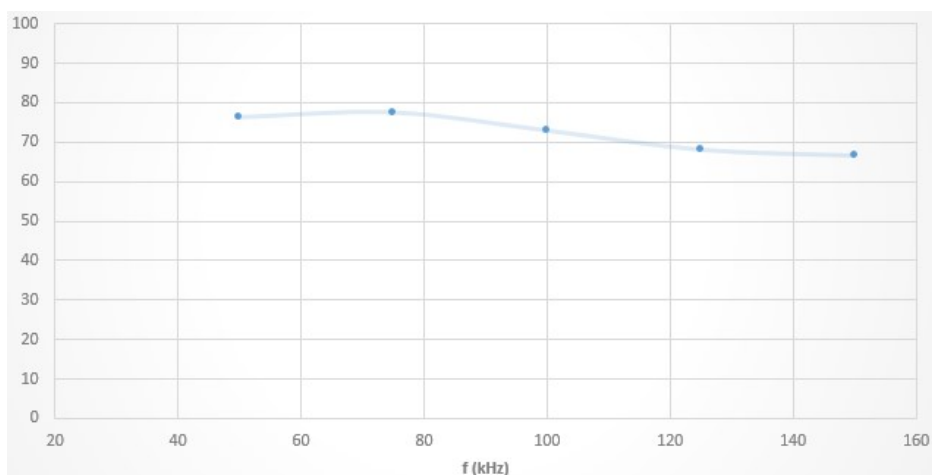


2. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, hutsean

-Kargapean: Efizientzia maximoa 75kHz-tan ematen da. Hortik aurrera handitu heinean efizientzia arin txikiagotzen da.

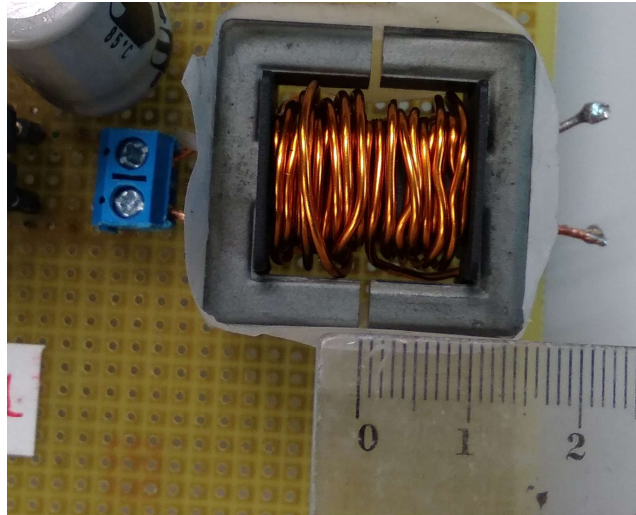
f (kHz)	V _{DC,Sarrera} (V)	V _R (mV)	I _{sarrera} (A)	P _{Sarreran} (W)	V _{RMS,irteera} (V)	P _{irteeran} (W)	η(%)
50	11,81	156,4	0,33	3,85	7,04	2,93	76,21
75	11,82	150,8	0,31	3,71	6,97	2,87	77,41
100	11,82	149,4	0,31	3,68	6,73	2,68	72,85
125	11,82	149,2	0,31	3,67	6,50	2,50	68,04
150	11,82	148,8	0,31	3,66	6,42	2,44	66,56

4. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, kargapean



3. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=0mm, kargapean

-Burdinartea: 1mm



56. Irudia: Potentzien neurketak 1mm-ko burdinartearekin

-Hutsean: Galerak oso parekoak dira frekuentzia guztietan, ez da frekuentzia optimoko punturik nabarmentzen.

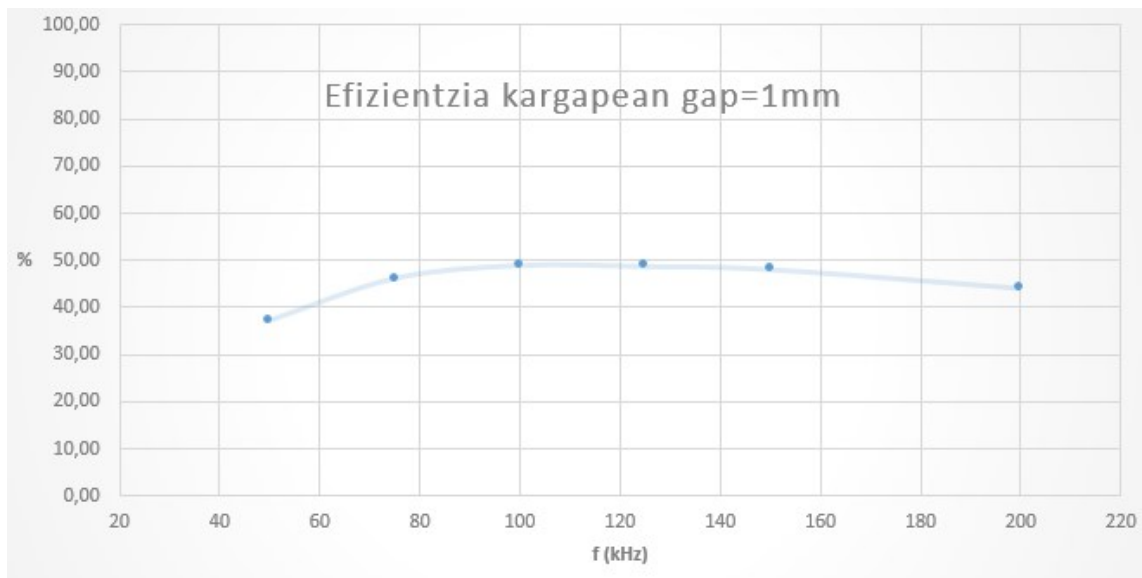
f(kHz)	V _{DC,Sarrera} (V)	V _R (mV)	I _{sarrera} (A)	P _{Galerak} (W)
50	11,84	104,70	0,02	0,29
75	11,86	74,70	0,02	0,29
100	11,89	65,30	0,02	0,29
125	11,90	62,60	0,02	0,30
150	11,90	62,40	0,02	0,30
175	11,90	66,20	0,02	0,30

5. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=1mm, hutsean

-Kargapean: Efizientzia oneneko puntua 100kHz-koa da. Efizientzia asko txikiagotzen da burdinartea agertzerakoan frekuentzia guztietan.

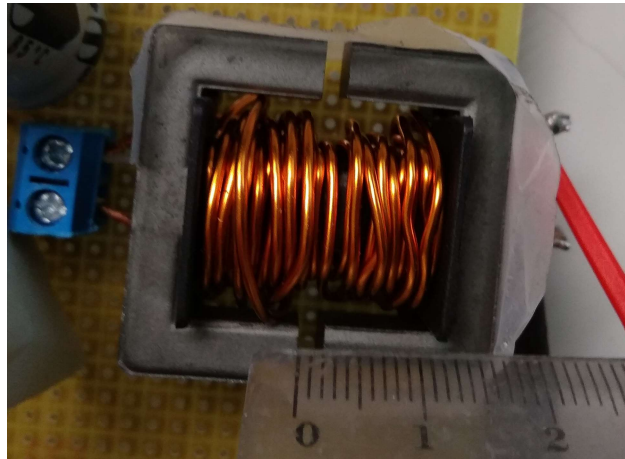
f(kHz)	V _{DC,Sarrera} (V)	V _R (mV)	I _{sarrera} (A)	P _{Sarreran} (W)	V _{RMS,irteera} (V)	P _{irteeran} (W)	η(%)
50	11,65	193,20	0,40	4,69	5,42	1,74	37,07
75	11,69	157,80	0,33	3,84	5,48	1,78	46,24
100	11,71	144,10	0,30	3,52	5,40	1,73	49,08
125	11,72	137,80	0,29	3,36	5,27	1,64	48,84
150	11,72	135,00	0,28	3,30	5,18	1,59	48,17
200	11,72	135,80	0,28	3,32	4,97	1,46	44,08

6. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinartea=1mm, kargapean



4. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinartea=1mm, kargapean

-Burdinartea: 2mm

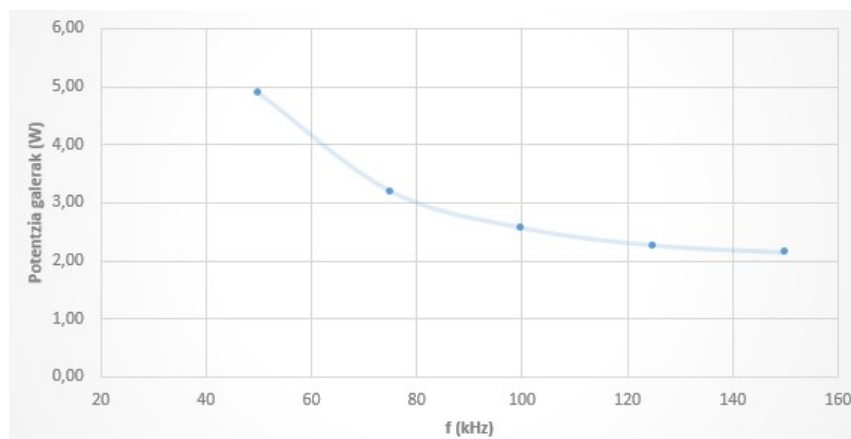


57. Irudia: Potentzien neurketak 2mm-ko burdinartearekin

-Hutsean: Ez da galera minimoko punturik agertzen, frekuentzia igo ahala galerak jaitsi egin dira.

f(kHz)	VDC,Sarrera(V)	VR(mV)	Isarrera(A)	PGalerak(W)
50	11,74	199,3	0,42	4,87
75	11,83	129,3	0,27	3,19
100	11,86	103,4	0,22	2,55
125	11,88	91,1	0,19	2,25
150	11,88	86,2	0,18	2,13

7. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinarte=2mm, hutsean

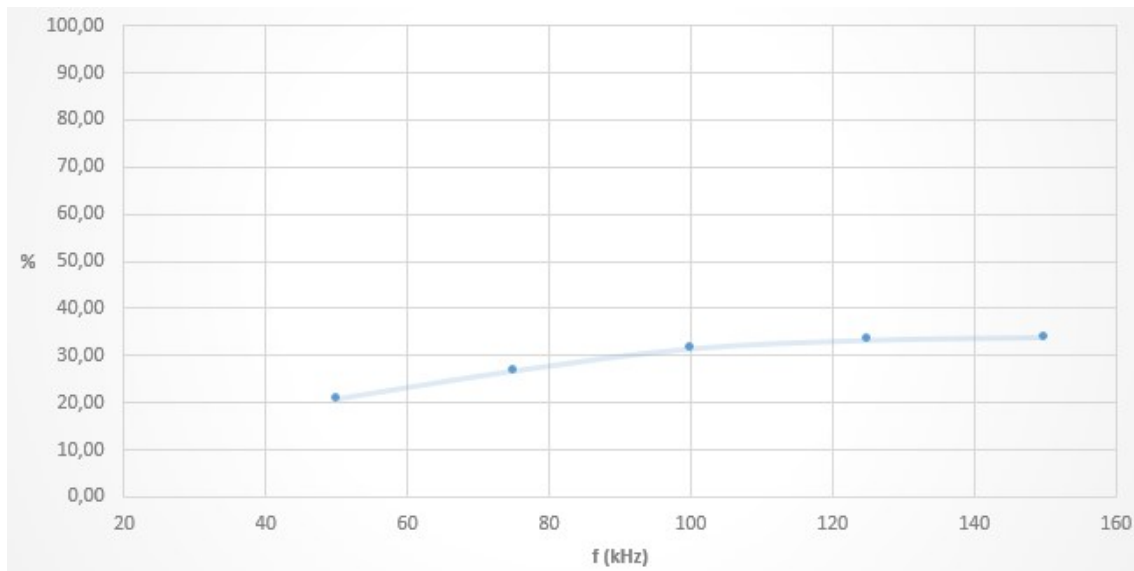


5. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinarte=2mm, hutsean

-**Kargapean:** Frekuentzia gero eta handiagoarekin efizientzia apur bat handiagotzen da, baina efizientzia oso txarra da jada burdinarte honekin.

f(kHz)	VDC,Sarrera(V)	VR(mV)	Isarrera(A)	PSarreran(W)	VRMS,irteera(V)	Pirteeran(W)	η(%)
50	10,99	222,00	0,46	5,08	4,22	1,05	20,73
75	11,78	179,30	0,37	4,40	4,46	1,18	26,75
100	11,81	154,00	0,32	3,79	4,49	1,19	31,48
125	11,83	141,40	0,29	3,48	4,43	1,16	33,32
150	11,83	135,20	0,28	3,33	4,37	1,13	33,91

8. Taula: Frekuentzia optimoa, burdinarte=2mm, kargapean



6. Grafikoa: Frekuentzia optimoa, burdinarte=2mm, kargapean

-Ondorioak:

-Erarik efizienteena burdinarterik gabe lan egitea da, zehazki 75kHz-ko maiztasunarekin, bai hutsean, bai kargapean.

-Burdinarte handitu ahala, efizientziak behera egiten du nabarmen.

-Burdinarte handitu ahala frekuentzia optimoa gero eta handiagoa da.

-Burdinarterik gabe, 75kHz

-1mm-rekin, 100kHz

-2mm-rekin, 150kHz edo gehiago

3 ALDERDI EKONOMIKOAK

3.1 AURREKONTUA

Atal honetan proiektuaren aurrekontua azalduko da, non barne orduak, gastuak eta amortizazioak kontuan izango diren. Egitura eta kalkuluak errazteko EXCEL programa erabili da.

BARNE ORDUAK			
BALIABIDEA	ORDUKO SOLDATA (€/h)	ORDU KOPURUA (h)	KOSTU TOTALA (€)
Proiektu zuzendaria	50,00 €	50	2.500,00 €
Ingeniaria	30,00 €	300	9.000,00 €
TOTALA			11.500,00 €

9. Taula: Barne orduak

ENERGIA TRANSFERENTZIA SISTEMA ERAIKITZEKO ERABILITAKO ELEMENTUAK			
DESKRIBAPENA	KOPURUA	PREZIO UNITARIOA (€)	PREZIO TOTALA (€)
Plaka zulatua	1	6,45 €	6,45 €
Konektoreak	3	0,55 €	1,65 €
Plaka eusteko hankatxoak	4	0,15 €	0,60 €
100kΩ-ko potentziometroak	2	0,48 €	0,96 €
470µF eta 63V-ko kondentsadoreak	3	0,40 €	1,20 €
47µF eta 35V-ko kondentsadoreak	2	0,30 €	0,60 €
Schottky diodoak	2	0,38 €	0,76 €
Led diodoak	1	0,70 €	0,70 €
Erresistentziak	6	0,03 €	0,18 €
Potentziarako erresistentziak	5	0,10 €	0,50 €
Barreta emeak	2	2,25 €	4,50 €
MOSFETak	4	0,85 €	3,40 €
MOSFET-entzako hozte hegalek	4	0,50 €	2,00 €
Ferritazko nukleo erdiak	2	1,20 €	2,40 €
Ferritazko nukleo erdientzako zokaloak	2	0,40 €	0,80 €
Renesas-en HIP4080A txipa (Driver-a)	1	2,50 €	2,50 €
Texas Instruments-en CD4069UB txipa	1	0,45 €	0,45 €
Txipentzako zokaloak	2	0,50 €	1,00 €
Itxiera hermetikodun tuperrak	2	2,50 €	5,00 €
Sarreradun kableak	2	0,20 €	0,40 €
TOTALA			36,05 €

10. Taula: Muntaiarako elementuen kostuak

Proiektuaren garapenerako, material, tresneria eta makineria guztia APERT laborategian eskuragarri egon direnez, hauek ez dira proiektu honetarako soilik erosi

behar izan. Baina, erabilpena dela eta, gastu bat suposatuko dute, eta hau, kontuan eduki beharrekoa da.

ERABILITAKO MATERIALA				
DESKRIBAPENA	KOPURUA	PREZIOA(€)	ERABILITAKO ZATIA (%)	KOSTU TOTALA (€)
Estainua	1 karrete	5,00 €	30%	1,50 €
Silikona	1 kartutxo	10,00 €	100%	10,00 €
Kablea	2 karrete	8,00 €	10%	0,80 €
Barnizatutako kobrea	1 bobina	8,00 €	5%	0,40 €
Zinta isolatzailea	1 biribilki	2,50 €	20%	0,50 €
TOTALA				13,20 €

11. Taula: Material kostuak

TRESNERIAREN AMORTIZAZIO GASTUAK					
DESKRIBAPENA	PREZIOA (€)	BIZITZA ERABILGARRIA (h)	ORDUKO KOSTUA (€/h)	ERABILERA ORDUAK (h)	KOSTU TOTALA(€)
Soldagailua	60,00 €	1850	0,0324	30	0,97 €
Desoldagailua	5,00 €	200	0,0250	2	0,05 €
Silikona pistola	22,00 €	3000	0,0073	2	0,01 €
Bihurkina	2,00 €	100	0,0200	0,5	0,01 €
Aliketak	15,00 €	400	0,0375	0,5	0,02 €
TOTALA					1,07 €

12. Taula: Tresneriaren amortizazioa

MAKINERIAREN AMORTIZAZIO GASTUAK					
DESKRIBAPENA	PREZIOA (€)	BIZITZA ERABILGARRIA (h)	ORDUKO KOSTUA (€/h)	ERABILERA ORDUAK (h)	KOSTU TOTALA(€)
Osziloskopioa	20.000,00 €	40000	0,5000	15	7,50 €
Uhin sorgailua	370,00 €	10000	0,0370	15	0,56 €
Tentsio sorgailua	350,00 €	10000	0,0350	15	0,53 €
Polimetroa	100,00 €	3000	0,0333	2	0,07 €
Inpedantzia neurgailua	1.800,00 €	20000	0,0900	0,1	0,01 €
Ordenagailua	800,00 €	40000	0,02	120	2,40 €
TOTALA					8,66 €

13. Taula: Makineriaren amortizazioa

Proiektuaren guztizko kostuak kalkulatzeko kostu ez-zuzenak azpitotalaren %20 direla kontsideratu da. Azpimarratzekoa da, argi indarrak proiektuan gastu nahiko handia

suposatu duela. Horrez gain, honen barnean, elementuen edo tresneriaren apurketa bezalako ustekabeko gastuak sartu dira.

KOSTU TOTALAK	
Barne orduak	11.500,00 €
Elementuak	36,05 €
Materiala	13,20 €
Tresneria	1,07 €
Makineria	8,66 €
Kostu ez-zuzenak	20%
AZPITOTALA	11.558,97 €
TOTALA	13.870,77 €

14. Taula: Kostu totalak

4 ARRISKUEN ANALISIA

4.1 ARRISKUEN DEFINIZIOA

- A. ELEMENTUAK APURTZEA:** MOSFET-ak bata bestetik ondo ez isolatzeak, edota konturatu gabe kable batek beste bat ukitzen badu, zirkuitulabur bat eman daiteke, intentsitate altuak sortuz eta elementuak apurtuz edo errez. Elementuak oso arraz apurtzen dira, dena-dela hauen kostua ez da handiegia, ez du arazo handirik suposatzen.
- B. OSZILOSKOPIOA EDO HAREN SONDAK APURTZEA:** Lurrarekiko isolamendua duten sonda bereziak erabiltzen ez badira, kontu handia izan behar da sondako lurrak tentsiopean dagoen puntu bat ez ukitzearekin, zirkuitulabur bat sortu eta osziloskopioa apur baitaiteke. Osziloskopioen eta harentzako sonden kostua oso altua da, eta hauek apurtuz gero proiektuak errentagarritasuna galduko luke.
- C. NEURKETA OKERRAK:** Neurgailuak apurtuta edo gaizki kalibratuta badaude, lortuko diren balioak ez dira zuzenak izango. Honek, denbora galera ekarri dezake, ondo dagoen zeozer konpontzen saiatzera daramalako. Baina are okerragoa litzateke, txarto dagoen zeozer ondo dagoela pentsatzea, proiektuaren amaieran jasotako emaitzak okerrak izango baitira eta sistemak ez baitu funtzionatuko edota ustezko optimizazioa ez baita bat ere egokia izango.
- D. AURREKONTU ALTUEGIA:** Aurrekontua handiegia izateak, ondoren etorri ahal diren eskala handiagoko prototipoen aurrekontuak are handiagoak izatea ekarriko luke, hortaz proiektuarentzat arrisku potentzial bat izan daiteke, sistemaren inplementazioaren bideragarritasuna arriskuan jarriko bailuke.
- E. URAREKIKO ISOLAMENDU TXARRA LORTZEA:** Sistema uretik babesterako orduan, silikona bidezko zigilatzea perfektua izan behar da, estalduraren barnean ura sartuz gero zirkuitu elektronikoa hondatuko litzateke. Guztia berregiteak gastu handia suposatuko luke, bai denbora aldetik, baita ekonomiaren ikuspegitik ere.

4.2 ARRISKUEN PROBABILITATEA ETA ERAGINA

Jarraian, aipatu diren arrisku guztiak probabilitate-eragin matrizea erabiliz sailkatuko dira. Hau egiteko, hauetariko bakoitzari aurreko atalean esleitu zaien letra arrisku maila baloratzeko matrize eredu batean kokatuko da. Honetan, eragin altua edo baxuaren arabera, 0 eta 1 bitartean dagoen balio bat hautatuko zaio, eta probabilitatearen arabera, beste balio bat. Azkenik, bi zenbaki hauen arteko biderkadurak arrisku maila determinatuko du:

		ERAGINA				
		Oso baxua (0,05)	Baxua (0,1)	Moderatua (0,2)	Altua (0,4)	Oso altua (0,8)
PROBABILITATEA	Arraroa (0,1)	Baxua 0,005	Baxua 0,01	Baxua 0,02	Ertaina 0,04	Ertaina 0,08
	Nekezkoa (0,3)	Baxua 0,015	Baxua 0,03	Ertaina 0,06	Ertaina 0,12 D	Altua 0,24 B
	Posiblea (0,5)	Baxua 0,025	Ertaina 0,05	Ertaina 0,1	Altua 0,2 C	Altua 0,4
	Gerta daitekeena (0,7)	Baxua 0,035	Ertaina 0,07	Ertaina 0,14	Altua 0,28	Altua 0,56 E
	la ziurra (0,9)	Ertaina 0,045 A	Ertaina 0,09	Altua 0,18	Altua 0,36	Altua 0,72

15. Taula: Probabilitate-eragin matrizea

Urarekiko isolamendua txarra izatea kontsideratu da arriskurik handiena. Bestalde, elementuren bat apurtzea arrisku txikiena bezala hautatu da honek kostu eta denbora aldetik duen eragin minimoa dela eta.

5 ONDORIOAK

Urpeko robotek gero eta aplikazio gehiago dituzte, zein baino zein garrantzitsuagoak, hori dela eta hauen teknologia indartzea oso garrantzitsua da, gizakia, haren erronka handienetariko batera, itsaso eta ozeanoen zehaztasuneko ezagutzara, hurbil baitezake. Gainera, hauei esker, gas eta petrolio ustiapenak, arriskuan edota ikerkuntzan dauden espezieen jarraipenak eta itsaspean egin beharreko instalakuntzak erraztu eta merketu egin daitezke. Baina teknologia honek arazo handi bat dauka, hain da garestia robot hauen diseinua, fabrikazioa eta manteinua, ezen kasu askotan ezinezko egiten den hainbesteko inbertsioa lortzea eta hauen kostua justifikatzea.

Hau dela eta, proiektu honetan planteatu den alternatiba laguntza handikoa izan daitekeela ondorioztatzen da, zatitutako transformadore bidezko energia transferentzia sistema efiziente bat merkaturatzea lortuz gero, erraztasunean, maneiukortasunean eta bideragarritasun ekonomikoan aurrerapauso handia izango bailitzateke.

Proiektu honetan aurkeztu den prototipoa kapaza izan da robot txiki bati 10W-ko potentzia urpean emateko. Beraz, frogatua geratu da teknologia honek arlo honetan ongi funtziona dezakeela eta posible litzatekela eskala handiagoan AUV-en karga urpean bertan era seguruan ziurtatuko duen sistema bat eraikitzea.

Proiektuaren aurrekontua esperotako balioen artean egon da.

6 ERREFERENTZIAK

- [1] Zhiguang Guan, Dong Zhang, Mingxing Lin, Jianjin Li, “Mechanical analysis of remotely operated vehicle” 2018 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR).
- [2] Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle).
- [3] Guan Zhiguang, Zhang Dong, Ma Renlong, Jiang Ru, Lin Mingxing, “Control System Design of Remotely Operated Vehicle”, 2018 15th International Conference on Ubiquitous Robots (UR).
- [4] Nima Harsamizadeh Tehrani, Mahdi Heidari, Yadollah Zakeri, Jafar Ghaisari, “Development, depth control and stability analysis of an underwater Remotely Operated Vehicle (ROV)”, IEEE ICCA 2010.
- [5] Evanildo da Silveira, “Vehículos subacuáticos”, PESQUISA.
- [6] Yvan R. Petillot, Gianluca Antonelli, Giuseppe Casalino, Fausto Ferreira “Underwater robots: From Remotely Operated Vehicles to Intervention-Autonomous Underwater Vehicles”, IEEE Robotics & Automation Magazine.
- [7] David K. Cheng “Fundamentals of Engineering Electromagnetics”
- [8] Kang Peng, Xiuquan Liu, Ping Huang, “Study on the Wireless Energy Supply System in the Implantable Cardiac Pacemaker”, 2015 Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA).
- [9] Giuseppe Buja, Manuele Bertoluzzo, Kishore Naik Mude, “Design and Experimentation of WPT Charger for Electric City Car”, IEEE Transactions on Industrial Electronics.
- [10] G. Wang, W. Liu, M. Sivaprakasam, and G. A. Kendir, “Design and analysis of an adaptive transcutaneous power telemetry for biomedical implants”, IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 52, no. 10, pp. 2109–2117, Oct. 2005.
- [11] K. Finkenzeller, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.

- [12] K. W. Klontz, D. M. Divan, D. W. Novotny, and R. D. Lorenz, "Contactless power delivery system for mining applications," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 31, no. 1, pp. 27–35, Jan. 1995.
- [13] C. S. Wang and G. A. Govic, "Power transfer capability and bifurcation phenomena of loosely coupled inductive power transfer systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 1, pp. 148–157, Feb. 2004.
- [14] J. Bird, *Electrical Circuit Theory and Technology*. Burlington, MA: Newnes, 2003.
- [15] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Sci. Express*, vol. 317, no. 5834, pp. 83–86, Jul. 2007.
- [16] "CD4069UB CMOS hex inverter DATASHEET", TEXAS INSTRUMENTS
- [17] "HIP4080A 80V/2.5A Peak, High Frequency Full Bridge FET Driver DATASHEET", RENESAS,
- [18] "N-Channel 550V Zener-Protected SuperMESH™ STP12NM50 MOSFET DATASHEET", ST