

DC-AC POTENTZIAKO BIHURGAILU ELEKTRONIKOAK EDO INBERTSOREAK: AUTOEBALUAZIOA: ERANTZUNAK

Patxi Alkorta, F. Javier Maseda

**SISTEMEN INGENIARITZA ETA AUTOMATIKA SAILA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**

INBERTSOREEN TEORIA (soluzioa)

1. Helburu hauen artean, zeintzu dira oinarrizkoak inbertsoreetan?

- Balio eraginkor konstantedun eta maiztasun aldakordun tentsio alfernoa lortzea.
- Balio eraginkor eta maiztasun aldakordunak dituen tentsio alfernoa lortzea.**
- Balio eraginkor aldakordun eta distortsio gutxidun tentsio alfernoa lortzea.

2. Harmonikoen sorkuntza batez ere ondorengoaren menpekoa da

- Inbertsorearen hardwarearena.
- Kontrolaren estrategiarena.
- Modulazio estrategiarena.**

3. Inpultsu bakarreko edo Six-step modulazio sistemak

- Irteerako tentsio alfernoaren maiztasuna eta balio eraginkorra kontrola ditzake.
- Irteerako tentsio alfernoaren maiztasuna kontrola dezake, baina ez bere balio eraginkorra.**
- Irteerako tentsio alfernoaren balio eraginkorra kontrola dezake, baina ez bere maiztasuna.

4. PWM modulazio sisteman

- Moduladorearen seinale garraiatzailearen maiztasunak harmoniko nagusiarengan du eragina.
- Seinale garraiatzailearen maiztasunak harmoniko nagusiarengan eta distortsioarengan du eragina.
- Moduladorearen seinale garraiatzailearen maiztasunak distortsioarengan du eragina.**

INBERTSOREEN TEORIA (soluzioa)

5. Zein da modulazio unipolar eta bipolarren arteko desberdintasun nagusia?
- Bere topologia.
 - Bere garraiatzailea, bikoizteaz gain 180° desfasetzea behar baita.**
 - Bere errendimendua.
6. Zeintzu dira PWM modulazioadun inbertsore trifasiko baten irteerako tentsioan parte hartzen duten parametroak?
- Sarrerako tentsio zuzena eta bihurgailuaren topologia.
 - Modulazio indizea eta bihurgailuaren topologia.
 - Sarrerako tentsio zuzena eta modulazio indizea.**
7. Zein modulazio estrategiak lortzen du inbertsorearen sarrerako tentsio zuzenaren etekin hoberena?
- Six-step.**
 - PWM.
 - Aipatuen artean, berdina.
8. Drivers-ak bi oinarrizko baldintza betetzen dituzte inbertsoreetan
- Isolamendu galbanikoa eskaini eta etengailu elektronikoaren kommutazio maiztasuna bermatu.
 - Etengailu elektronikoaren kommutazio maiztasuna bermatu eta inbertsorearen kontrola.
 - Isolamendu galbanikoa eskaini eta etengailu elektronikoaren kommutazioa bermatu.**

INBERTSOREEN TEORIA (soluzioa)

9. Zein da PWM modulazio estrategia duen inbertsore baten kontrol aldagaia?

- Sarrerako tentsio zuzena.
- Modulazio indizea.**
- Garraiatzailearen maiztasuna.

10. Zein da Six-Step modulaziodun inbertsore baten kontrol aldagaia?

- Sarrerako tentsio zuzena.
- Garraiatzailearen maiztasuna.
- Ez dago berariazko kontrol aldagairik.**

11. Zein da modulazio sistema batetan garraiatzailearen maiztasuna handitzeak dakarren eragozpenik handiena?

- Inbertsorearen transitoareetan galerak gehitu.**
- Zamaren erreaktantzietan zarata elektromagnetikoak gehitu.
- Sistemaren iragazkien dimentsioa igo.

12. SVPWM eta PWM modulazioen arteko desberdintasun nagusia:

- PWM kasuan uhinak sortzeko estrategia analogikoa izan daiteke eta SVPWM kasuan aldiz soilik digitala izan behar da.**
- SVPWM modulazioak etekin hobea lortzen du inbertsorearen sarrerako bus tentsio zuzenetik.
- Prozesamendu zama, biak mikroprozesadore baten bidez sortzen badira.

INBERTSOREEN TEORIA (soluzioa)

13. Inbertsore trifasikoetan, berreskurapen diodoen zeregina

- Zamak transistoreetan sor ditzakeen gaintentsioak ekiditea.
- Zamak transistoreetan sor ditzakeen tentsio aldaketa zazkarrak ekiditea.
- Zamaren elementu erreaktiboetan gorderik dagoen energia bideratzea.**

14. Zein da optoakopladore baten (adibidez TLP 250) eta driver zirkuitu trinko (adibidez SKHI 61) baten arteko desberdintasuna?

- Zirkuitu trinkoak hainbat transistore aktiba ditzake aldi berean.
- Zirkuitu trinkoak bera agintzen duen mikroprozesadorearen aldetik irteera gutxiago behar ditu.
- Zirkuitu trinkoak elikatze iturri gutxiago behar ditu.**

15. Zein da estrategikoki korrante eta tentsio elektrikoak neurtzeko LEM sentsoreek daukaten abantaila beste sentsore motekin konparatuz?

- Egituraz isolamendu galbanikoa bermatzen dute.**
- Elikatze iturri gutxiago behar dituzte.
- Osagai gutxiago behar dituzte seinalea potentziako eremutik kontroleko eremura garraiatzeko.

16. Inbertsoreek AC makina baten eragingailu bezala erabiltzean, ondorengoa ahalbideratzen dute

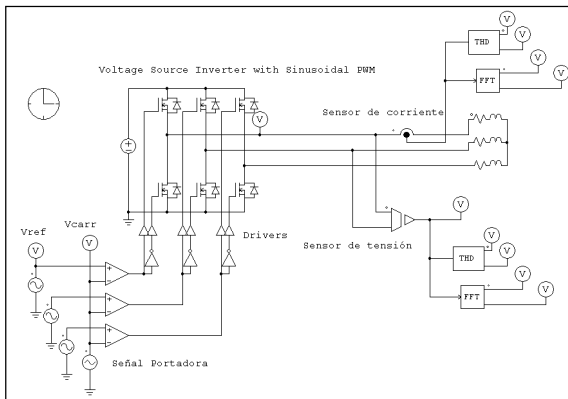
- Makinaren ardatzean momentu mekanikoa kontrolatzea.
- Makinaren tentsioaren balio efikaza eta maiztasuna aldi berean kontrolatzea.**
- Makinaren abiadura mekanikoa kontrolatzea.

INBERTSOREEN TEORIA (soluzioa)

17. Zein ezaugarri dute propulsiio elektrikoan erabiltzen diren eragingailuak kontrolatzeko mikroprozesadoreak?
- Kalkulu matematikoak egiteko ahalmen handia.
 - Prozesamendu abiadura handia.
 - Integraturiko periferia oso espezializatua.**
18. Zein arazo sortzen dute eragingailu elektriko batetan artezgailua eta inbertsorea akoplatzen duten kapazitate handiko kondentsadoreak?
- Konexio uneko gainkorronte handiak.**
 - Gaintentsioen ondorioz sor litezkeen segurtasun arazoak.
 - Maiztasun ezezaguna duten harmonikoen sorkuntza.
19. Instrumentazioak eragingailu elektriko baten barruan, zeintzu bi oinarrizko behar tekniko betetzen ditu?
- Isolamendu elektriko eta aldagai elektrikoek neurketa bermatzea.
 - Sistemaren monitorizazio eta kontrolerako aldagai elektrikoek neurketa.**
 - Mikroprozesadorea potentzia eremuarekin eta erabiltzailearekin konektatzea.
20. Zer da Software Garapen-Kit (Software Development Kit)?
- Aplikazioarekin konektatzeko sistema eragile bat.
 - Programazio inguruneak garatzeko aplikazio programak.
 - Erabiltzaileak programaturiko moduluak integratu ahal izateko programa eta liburutegi sortak osatzen duten ingurunea.**

SIMULAZIOKO LEHEN GALDERA (soluzioa)

1- Ematza.



Lehenengo inbertsorea osatuko duten potenziako etengailu elektronikoak sailkatzen dira, kalkuluak egiteko garatu den metodologiaren arabera. Bakarkako etengailuak erabil ditzakete, edo baita bi etengailuz edo sei etengailuekin osaturiko moduluak ere. Berreskurapen diodoak integraturik dituzten bi IGBT-dun hiru modulu erabili dira.

Bigarren, inbertsorean integratuko diren etengailuen agintea gauzatuko duen driverra aukeratzeko da. IGBTak erabili direnez, banako driverrak (TLP250) edo bestela SKHI 71 bezalako driver trifasikoren bat. Optoakopladoreak aukeratzekotan, transistore bakoitzeko edo taldekako elikatze iturri independenteak erabili beharko dira. Driver trifasikoa hautatzen bada, elikatze iturri bakarra beharko da soilik.

Hirugarren, berrelikadura eta monitorizazioan erabiliko diren korrante eta tentsio monofasiko edo trifasikoak neurtzeko tentsioak hautatzen dira. Isolamendu eta linealtasun onak eskeintzen dituzten LEM motako tentsioak aukeratu dira. Korrantearentzako LA55-P eta tentsioarentzako LV25-P tentsioak hautatuz. Beste aukera bat, erresistentzia eta HCPL 7800 motako optoakopladorea izan zitekeen.

Laugarren, PWM moduladore trifasikoa garatzeko modua aztertu behar da. Gaur egun ohikoena den metodologia, periferia hau integratzen duten mikroprozesadore digitalak erabiltzea da. Xede orokorreko mikroprozesadoreak ere erabil daitezke, non izango dituzten konmutazio taulen, trianguluar eta 120° defasaturiko hiru sinusoidal bidez, eta beraietara modu gurutzatuan atzipena eginez, modulazio programatua sortzea posible egiten duen kronologia batetan oinarrituz.

Simulazioko ereduak eta osagai fisiko errealek arteko lotura lortzeko izaera orokorreko aukerak ematea da. Ondorengo egokitzapena, simulazioa behin probatuz, aplikazioaren potenziaren, konmutazio maiztasunaren, eta kontrolerako beharren (sistemaren dinamika etab. - ek baldintzaturik) menpe egongo da.

SIMULAZIOKO LEHEN GALDERA (soluzioa)

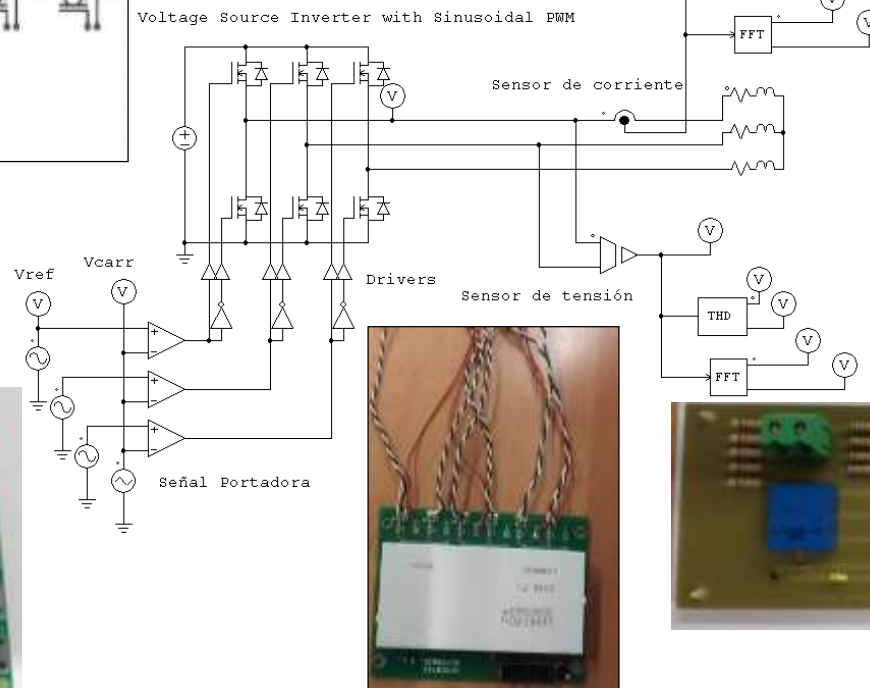
- 1- Definitu ondorengo inbertsore trifasiko zirkuitua integratzen duten elementu bakoitza eta sailkatu simulazioko eredu horretakoak ordezkatu dezaketen osagai komertzialak.



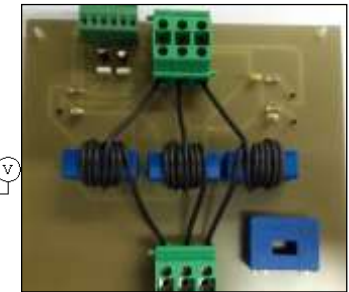
SEMIKRON SKM75GB063D
3 IGBT modulu
berreskurapen diodoekin



Microprozesadorea PWM
moduladorearekin



SKHI 71 SEMIKRON
driver trifasikoa



LA55-P
korrante sentsorea



LV25-P
tentsio sentsorea

SIMULAZIOKO BIGARREN GALDERA (soluzioa)

2- Sartu motore hau PSIMen simulazio eredu batetan eta egiaztatu zuzena dela.

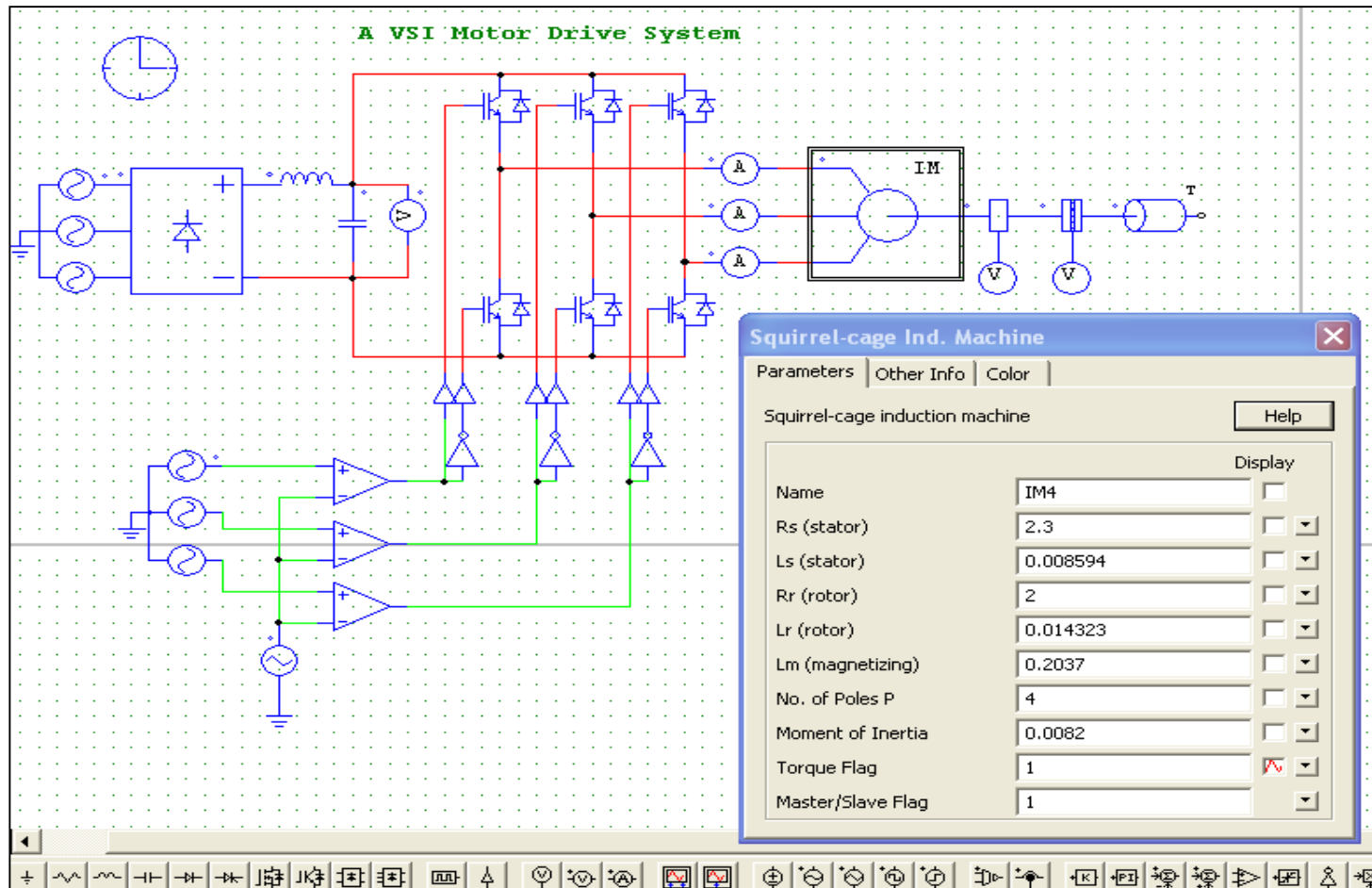
ABB Motors		Diagram for equivalent-		ABB	
Proyecto		Localización			
Departamete	Nombre de cliente	Ref. cliente	Posición		
Referencia	Revisado por	Fecha	Documentación	Páginas	
Product	TEFC, Motor cerrado de inducción trifásico de jaula de ardilla				
Type/Frame	M2AA 100 LB 4				
Product code	3GAA 102 002-ASE				
Rated output P_n	3.0	kW			
Duty	S1(IEC) 100%				
Actual Motor:					
Voltage (V)	400 Y	Current I_n (A)	6,4	Power factor at P_n	0,81
Frequency (Hz)	50	Speed (r/min)	1430	Efficiency (%) at P_n	84,0
Equivalent motor Volt/phase	231 V	R1s [Ohms]	2,3	X1s [Ohms]	2,7
		Xmagnetizing [Ohms]	64	Rfriction+iron [Ohms]	884
		X2 r nom [Ohms]	4,6	R2 r nom [Ohms]	2,0
		X2 start [Ohms]	2,7	R2 start [Ohms]	2,1
		X2 max [Ohms]	3,4	R2 max [Ohms]	2,0

A	B	C	D	E	F	G
No.	Definition	Data	Unit	Remarks		
10	1	Producto	TEFC, Motor cerrado de inducción trifásico de jaula de ardilla			
11	2	Código producto	3GAA 102 002-ASE			
12	3	Tipo/Carcasa	M2AA 100 LB 4			
13	4	Posición de montaje	IM1001, B3(foot)			
14	5	Potencia nominal P_n	3	kW		
15	6	Factor de servicio	1			
16	7	Servicio	S1(IEC) 100%			
17	8	Tensión nominal U_n	400	VY	$\pm 5\%$ (IEC 60034-1)	
18	9	Frecuencia nominal f_n	50	Hz	$\pm 2\%$ (IEC 60034-1)	
19	10	Velocidad nominal n_n	1430	r/min		
20	11	Intensidad nominal I_n	6,4	A		
21	12	Intensidad de vacío	3,6	A		
22	13	Intensidad de arranque I_{st}/I_n	5,5			
23	14	Par a plena carga T_n	20	Nm		
24	15	Par de arranque T_{st}/T_n	2,5			
25	16	Par máximo T_{max}/T_n	2,9			
26	17	Par mínimo T_{min}/T_n	2,4			
27	18	Velocidad a par mínimo	285	r/min		
28	Datos de carga (IEC 60034-2-1:2007)		carga %	Intensidad A	Efficiency %	Factor de potencia
29	19	PLL determined from residual loss	100	6,4	84,0 / IE1	0,81
30	20		75	5,2	83	0,75
31	21		50	4,4	81,1	0,61
32	22		Start	35		0,75
33	23	Tiempo máx. arranque en caliente	15	s		
34	24	Tiempo máx. arranque en frío	27	s		
35	25	Clase aislamiento / Temperatura clase	F / B			
36	26	Temperatura ambiente	40	°C		
37	27	Altitud	1000	m.a.s.l.		
38	28	Protección	IP55			
39	29	Sistema refrigeración	IC411 autoventilado.			
40	30	Tipo de rodamientos DE/NDE	6306-22/C3 - 6205-22/C3			
41	31	Tipo de grasa				
42	32	Nivel presión sonora (LP dB(A) 1m)	66	dB(A)	at load.	
43	33	Moment of inertia J = 1/4 GD2	0,0082	kg-m2		
44	34	Grado de equilibrado				
45	35	Nivel de vibraciones				



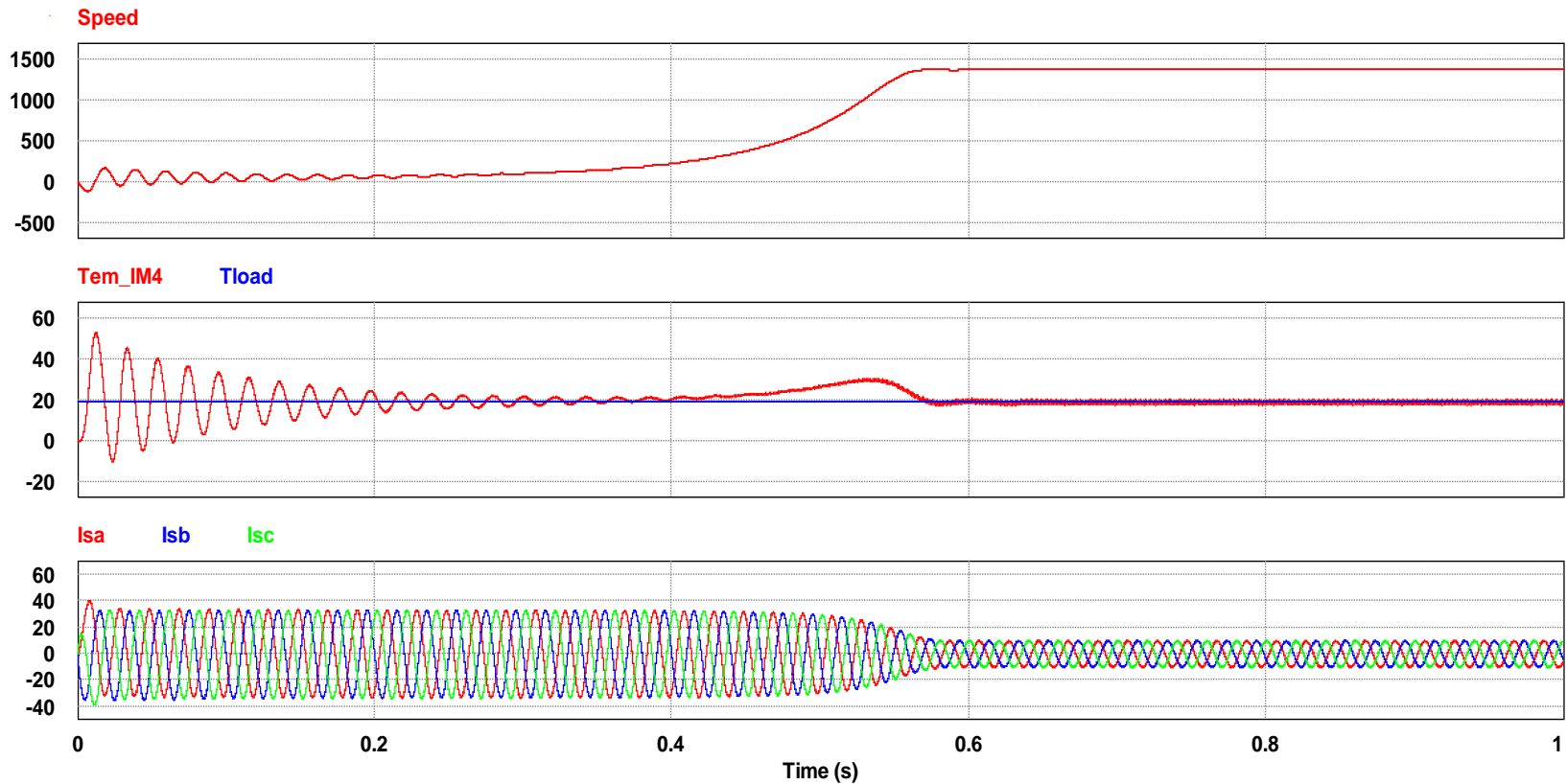
SIMULAZIOKO BIGARREN GALDERA (soluzioa)

2- Erantzuna: Makina elektrikoaren datuak simulazioko eredura eramaten dira



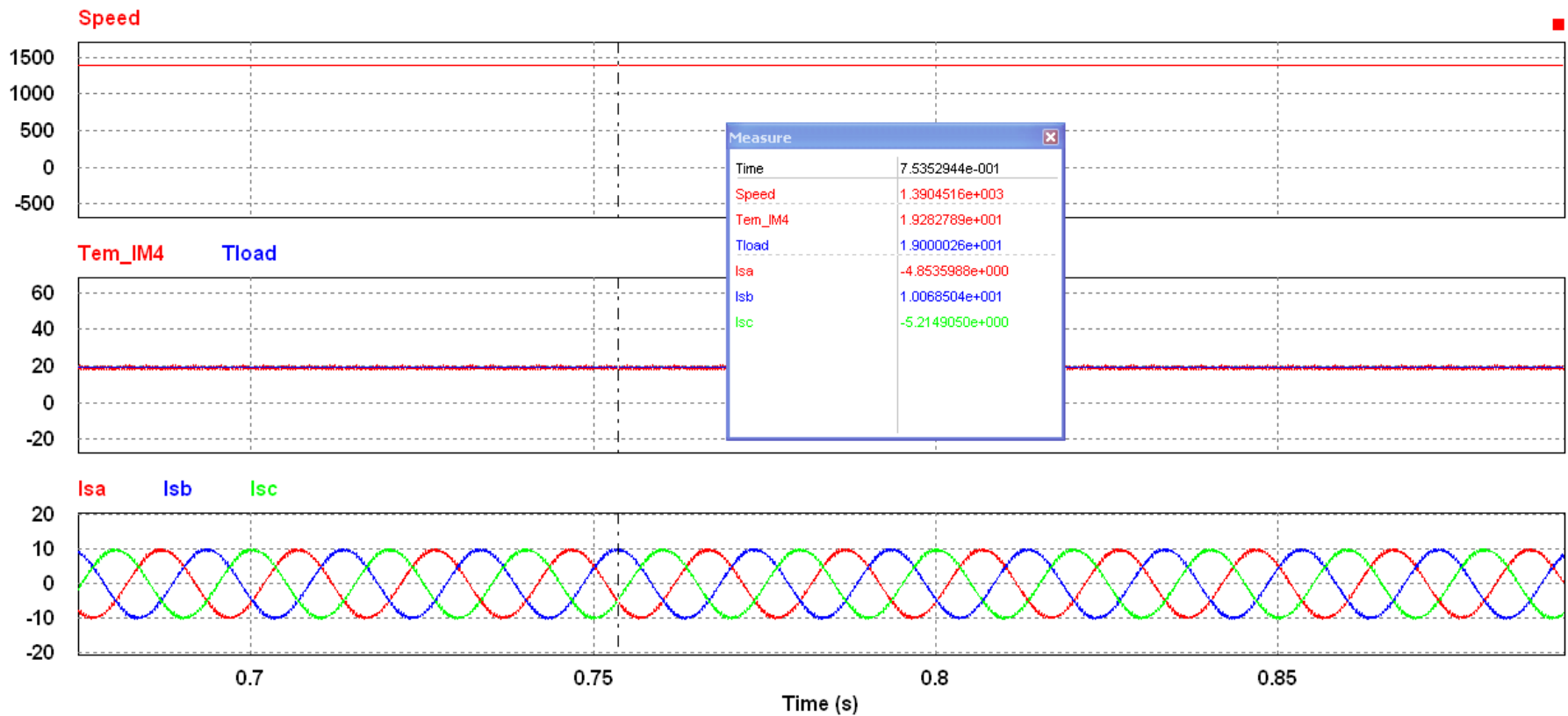
SIMULAZIOKO BIGARREN GALDERA (soluzioa)

2- Erantzuna: ereduaren simulazioa egikaritu eta berresten da, nola abiadurak, momentu mekanikoak eta faseetako korronteek, ezaugarrien orriko baldintzak betetzen dituztela.



SIMULAZIOKO BIGARREN GALDERA (soluzioa)

2- Erantzuna: ereduak ondo funtzionatzen duela ikusten da.



A toolbar containing various simulation control icons such as run, stop, and zoom, along with numerical readouts for average value (\bar{x}), RMS value (rms), and magnitude ($|\bar{x}|$).

DISEINU PROBLEMA (soluzioa)

3- Aurkeztutako motorea erabiltzeko baldintzak:

- Erabaki zein baldintzatan erabil daitekeen 3. Gaietan aurkezturiko eragingailua, 3kW-ko motorea eragiteko. 400V/50Hz-ko sarea da abiapuntua. Transformadoreren bat beharko litzateke sareko tentsio hori eragingailua+motorea-ren beharrei egokitzeko? PWM modulazioak balioko luke, ala THIPWM (hirugarren harmonikoaren injekzioa AN1910) modulazioa beharko litzateke?
- Erabaki motorearen potentziari egokituriko ibertsorea eraikitzeko beharko liratekeen IGBT-en dimentsionamendua.



DISEINU PROBLEMA (soluzioa)

3- Erantzunak:

- Transformadorerik erantsi gabe eta PWM modulazioarekin:
 - Inbertsorearen sarrerako tentsio arteztua (zuzena) = 540V
 - Tentsio konposatuaren lehen harmonikoaren balio maximoa = 467V eta **bere balio eraginkorra = 330V. Zeinek motorea bere tentsio izendatuaren azpitik lan egitea eragingo liokeelarik.**
- Transformadorerik erantsi gabe eta THIPWM modulazioarekin:
 - **Modulazio indizea $2/\sqrt{3}$ balioan hasten da eta 380 V-eko tentsioa lortuko litzateke, zein motorearen ezaugarrien plakaren arabera, tentsio onargarrien barruan dagoen.**
- IGBT-en dimentsionamendua: **fase bakoitzeko indibidualki egiten da.**

$$P = \frac{(V_{AB})_1}{\sqrt{3}} \cdot I_A = 3000W \quad V_T = 540V$$

$$I_A = \frac{3000 \cdot \sqrt{3}}{380} = 13.7A$$



DISEINU PROBLEMA (soluzioa)

3- Erantzuna:

- IGBTen dimentsionamendua: **Segurtasun-koefizienteak erabiltzen badira, makina propioaren aplikazioan oinarriturik, bere funtzionamendu erregimenaren eta berari konektaturiko zamaren dinamikaren menpekoak direlarik, kalkulua honela egin daiteke:**

$$I_A = 13.7A * 1.5 = 20.55A$$

$$V_T = 540V * 2 = 1080V$$

Transistor IGBT, IXYJ20N120C3D1, N-Canal, 21 A, 1.200 V, TO-247, 3-Pines, 50kHz

Datos del Producto

IGBT de potencia, serie MTS, 21A

La familia XPT™ de IGBT de 20V ofrece rendimiento de estado sólido de alto nivel y un rendimiento de conmutación superior. Este dispositivo ofrece un rendimiento de conmutación superior con un tiempo de subida y bajada más rápidos en una gran variedad de aplicaciones industriales y automotrices de potencia.

Alta densidad de potencia a baja VCE (drop)

Alta vida de operación segura en condiciones de inrush (RDS(on) hasta la tensión nominal de salida)

Capacidad de conmutación de 100 kHz

Compatibilidad de integración de montaje de automoción y potencia

Exclusivo XPT™ y eXtended™ arquitecturas de conmutación optimizadas

Encapsulamiento de alta tensión automática y no estándar disponible

IGBT de potencia a 20 voltios, MTS

El transistor IGBT de potencia aislado a 20V es un dispositivo semiconductor de potencia de tipo heterounión, basado en un solo elemento o combinación de elementos de IGBT y diodos de potencia de tipo MOSFET con un soporte de tensión de baja resistencia y alta corriente de conmutación. Incluye la combinación de un EBT de potencia aislado con la estructura de núcleo, un transistor de potencia, y un diodo de potencia en un único dispositivo.

IXYS
1200V XPT™ IGBT GenX3™ w/ Diode
IXYJ20N120C3D1
(Electrically Isolated Tab)

High-Speed IGBT for 20-50 kHz Switching

Symbol **Test Conditions** **Maximum Ratings**

V_{DS}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C to } 150^\circ\text{C}$	1200 V
V_{DS}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C to } 150^\circ\text{C}, R_{\theta(jc)} = 100^\circ\text{C/W}$	1200 V
$V_{CE(sat)}$	Continuous	120 V
$V_{CE(sat)}$	Transient	150 V
I_{CM}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C}$	21 A
I_{CM}	$V_{CE} = 110^\circ\text{C}$	9 A
I_{CM}	$V_{CE} = 110^\circ\text{C}$	10 A
I_{CM}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C}, \text{100}\mu\text{s}$	50 A
I_{CM}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C}$	10 A
I_{CM}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C}$	400 mJ
I_{SM}	$V_{CE} = 100\text{V}, T_{j(c)} = 100^\circ\text{C}, R_{\theta(jc)} = 100^\circ\text{C/W}$	$I_{SM} = 40\text{ A}$
$I_{SM}(RMS)$	Clamped Inductive Load	$40\text{ A}, T_{j(c)} = 100^\circ\text{C}$
P_{tot}	$V_{CE} = 20^\circ\text{C}$	100 W
$T_{j(c)}$		-55 to +150 °C
$T_{j(e)}$		100 °C
$T_{j(s)}$		-55 to +150 °C
T_{stg}	Maximum Lead Temperature for Soldering	300 °C
T_{stg}	1.8 mm (0.0708") Lead Case for Vile	300 °C
$\theta_{j(c)}$	Mounting Torque	1.5/1.0 Nm(lbs-in)
V_{di}	1200V, 100 A, 1 = Gate	2000 V
Weight		0.5 g

Symbol **Test Conditions** **Characteristic Values**

$R_{DS(on)}$	$V_{CE} = 20^\circ\text{C}, I_{CM} = 20\text{A}, V_{di} = 0\text{V}$	100 mΩ	Typ.	100 mΩ
$V_{CE(sat)}$	$V_{CE} = 200\text{V}, I_{CM} = I_{CM}, V_{di} = 0\text{V}$	2.0 V	Typ.	3.0 V
I_{CM}	$V_{CE} = V_{CE(sat)}, V_{di} = 0\text{V}$	20 A	Typ.	20 A
I_{CM}	$V_{CE} = 20\text{V}, V_{di} = 0\text{V}$	200 μA	Typ.	200 μA
I_{CM}	$V_{CE} = 20\text{V}, V_{di} = 0\text{V}$	1000 μA	Typ.	1000 μA
V_{di}	$V_{CE} = 20\text{V}, V_{di} = 100\text{V}, \text{Note 1}$	5.0 V	Typ.	5.0 V

Features

- Optimized for Low Switching Losses
- 200V (200V) or 1200V (Direct Copper Bond) (DCB) Substrate
- Isolated Mounting Surface
- 200V: Electrical Isolation
- Square MOSFET
- Positive Thermal Coefficient of V_{CE(sat)}
- Anti-Parallel Ultra Fast Diode
- Automotive Ready

Advantages

- High Power Density
- Low Gate Drive Requirement

Applications

- High Frequency Power Inverters
- UPS
- Motor Drives
- SMPS
- PFC Circuits
- Battery Chargers
- Welding Machines
- Lamp Ballasts