

1. GAIA:

DC-AC POTENTZIAKO BIHURGAILU ELEKTRONIKOEN EDO INBERTSOREEN TEORIA

Patxi Alkorta, F. Javier Maseda

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

Indizea

- Justifikazioa eta helburu nagusia
- Inbertsoreetara sarrera
- Simulazioko eredia
- Inbertsore monofasikoak
- Inbertsore monofasikoak PWM bipolarrak
- Inbertsore monofasikoak PWM unipolarrak
- Inbertsore monofasikoak: ondorioak
- Inbertsore trifasikoak
- Modulazio estrategiak
- Pultsu bakarreko zabalerako modulazioa, Six-step
- Aukeratutako harmonikoen ezabapen modulazioa, SHE
- Pultsu sinusoidalaren zabalerako modulazioa, PWM
- Pultsu espazio bektorialaren modulazioa, SVPWM
- Modulazio estrategien laburpena
- Modulazioa estrategia desberdinen konparazioa
- DC-AC bihurtzearen erabilpen aurreratua
- Ondorioak

Justifikazioa eta helburu nagusia

DC/AC potenziako bihurtailu elektroniko edo inbertsoreak (edo alderantzizkagailuak), DC motako energia elektrikoa AC motako energia elektriko bihurtzen du. DC (Direct Current) edo korrante zuzena motako energia elektrikoa pila edo bateria batetan aurki dezakegu, non tentsioaren polaritatea konstante mantentzen den denbora guztian: pilaren borne bat positiboa da, eta bestea negatiboa, beti. Aldiz, AC (Alternating Current) edo korrante alferno motako energiak, adibidez, etxeko entxufean aurki dezakegunak, bere bi borneen artean 220 V-eko tentsio efikaza izateaz gain, 50 Hz-eko maiztasuna ere badu. Honek esan nahi du, entxufeko borne bakoitzaren polaritatea segundoro 50 aldiz aldatzen edo alternatzen dela: lenehengo + da, ondoren -, ondoren +, eta horrela alternatzen doa.

Gaur egun ditugun gailu edo zama elektriko askok korrante alferno (AC) energia behar dute (motore elektrikoak, ikuzkailua, hozkailua, berogailu elektrikoak, etab.) funtzionatzeko. Dakigun bezala, zama horiek elikatzeko entxufeetan dagoen energia erabiltzen da. Baina herriguneetatik urrun geratzen diren tokietan, adibidez mendian edo hondartzan, ez dugunez entxuferik, orduan inbertsore bat erabil dezakegu korrante alferno zama elikatzeko. Horretarako bateria bat behar da inbertsorea elikatzeko bere sarreran, hau da DC motako tentsio iturria, eta horrela inbertsoreak AC motako tentsio bihurtuko du eta bere irteeran eman, non zama hori konektatuko zaion.

Ikastaro honen helburu nagusia da, ikaslea gai izatea korrante alferno zama jakin batek dituen ezaugarri elektrikoak (tentsioa efikaza, maiztasuna, seinalearen kalitatea) elikatzeko behar den inbertsorea ondo diseinatzeko.

Inbertsoreetara sarrera

Inbertsioa, energia zuzena energia alferno transformazio prozesuari deitzen zaio. Energia honek maiztasun eta balio efikazeko ezaugarri batzuk izango ditu, non kontrolatu egin beharko diren.

Bihurgailu mota haueko transformazio prozesuak, distortsio harmonikoa ere sortuko du eta aztertua izan beharko da bere efektua minimizatzeke, bai zama edo irteeran, eta bai energia zuzeneko iturrian ere, non bertara konektatua dagoen bere sarrera.

Inbertsoreetan, optimizatzen saiatuko garen bi helburuak hauek dira:

1. Sarrerako tentsio zuzenetik, ahal denik lehen harmonikoaren balio efikaz handiena izatea irteeran
2. Harmonikoen kopuru minimoa sortzea irteeran

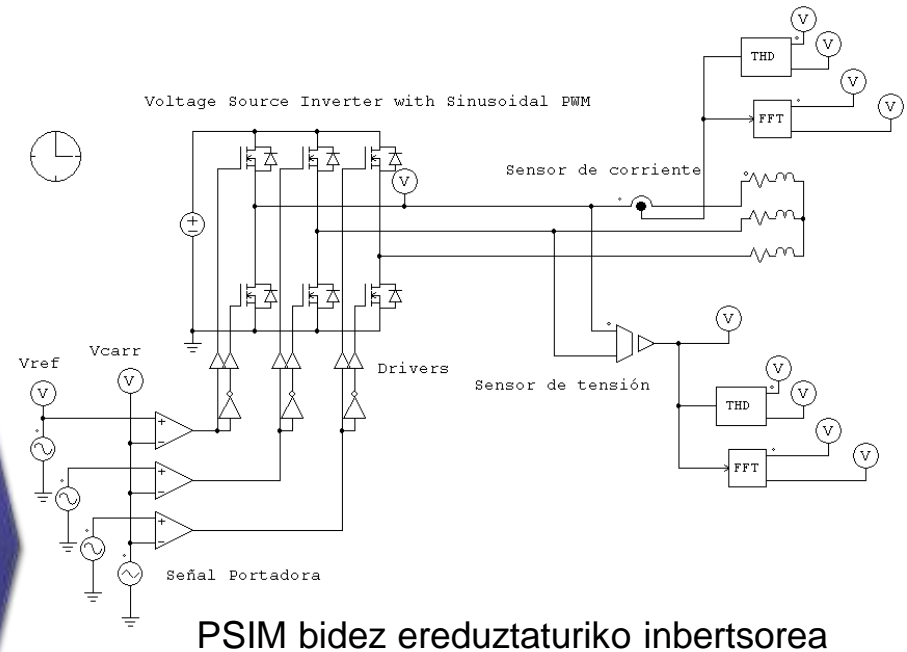
Inbertsoreen oinarritzko topologia bi aztertuko dira:

- Inbertsore monofasikoak
- Inbertsore trifasikoak

Simulazioko eredua

DC-AC bihurgailu edo inbertsoreetan, beharrezkoa izaten da beraien funtzionamendua hobeto ulertzeko, simulazioko eta instrumentazio espezializatuko ereduak erabiltzea. Ikastaro honetan PSIM simulazioko softwarea erabiliko da.

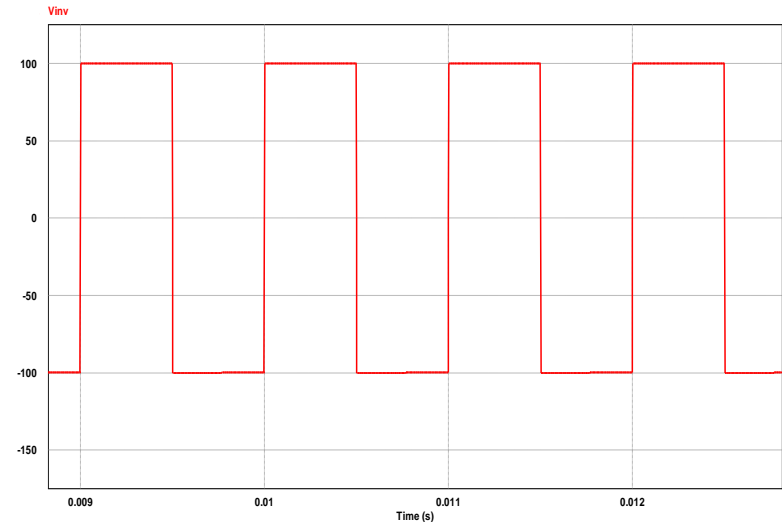
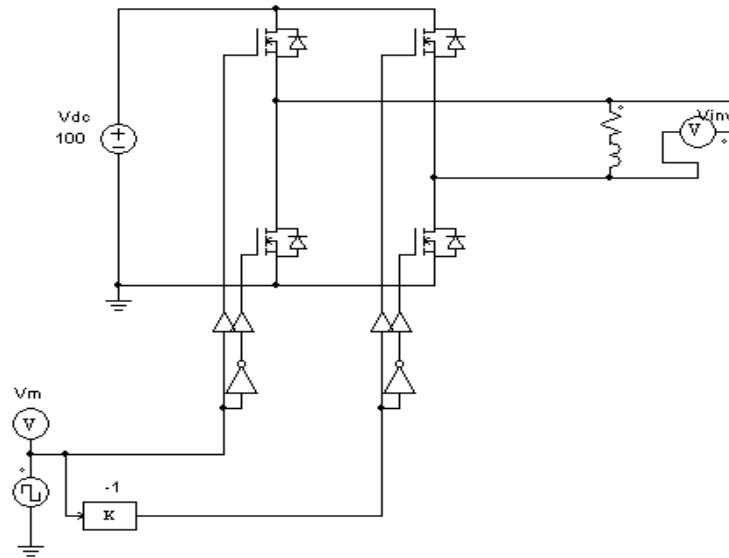
Demo bertsioa PSIMen web orrialdean (www.powersimtech.com) lor daiteke, zeinekin ikastaro honetako adibide guztiak egin edo inplementa litezke.



DC-AC potentziako bihurgailu elektroniko edo inbertsoreak ikasteko erabiliak izango diren simulazioko ereduak, ondorengo elementuetaz osatuak egongo dira:

- **Potentziako inbertsore blokea**, 4 edo 6 etengailu elektroniko osatua
- **Driverrak**, kontroleko eta potentziako blokeak elkartzeko
- **Moduladorea**, potentziako blokearen aktibazioa kontrolatuko duena
- **Sentsoreak**, korrante edo tentsioenak, sistema monitorizatzen
- **Instrumentazioa**, transformazio elektrikoaren kalitate-parametroak neurtuko ditu

Inbertsore monofasikoak



Fourier-en seriea

$$V_{inv} = \frac{4V_{dc}}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

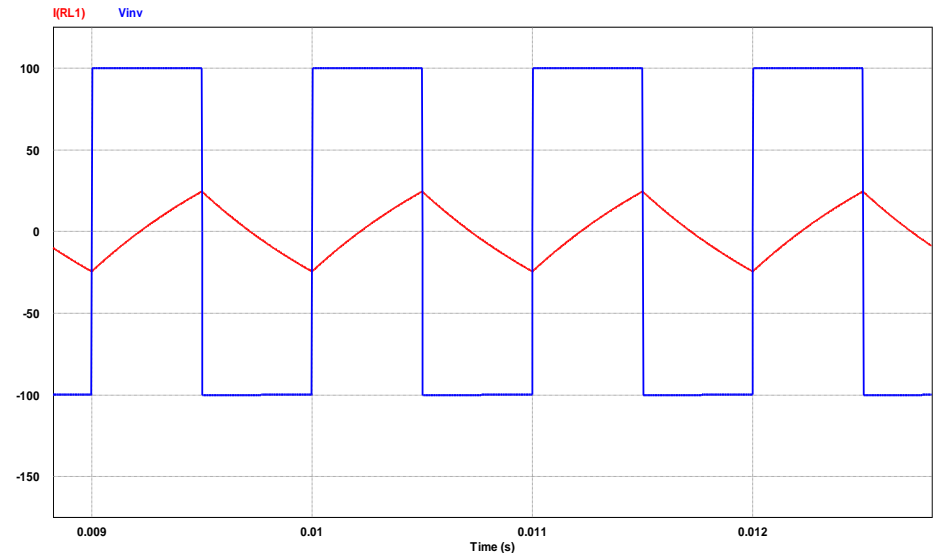
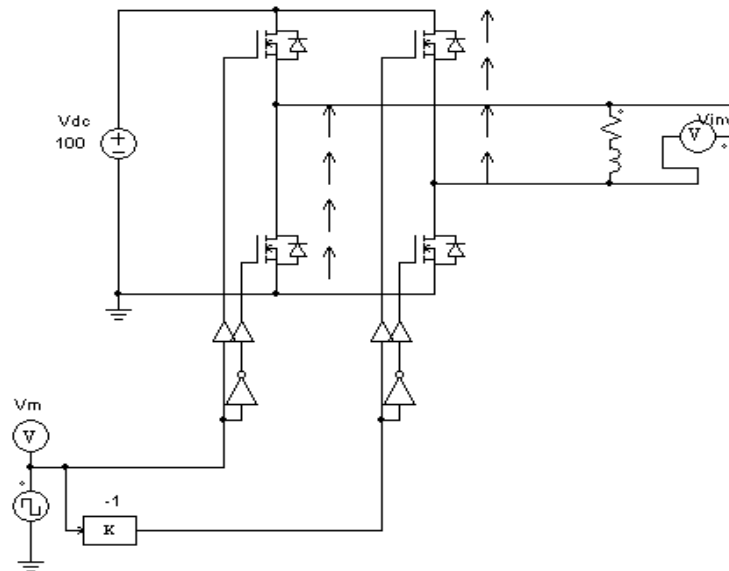
Inbertsore monofasikoa lau transistorek osatzen dute, non paraleloan diodo bat daramaten, alderantzizko berreskurapen diodoa izenez ezaguna.

Adar desberdinetako etengailu bikoteen lan kommutatuak, adar berdinekoen arteko desfasea 180°-koa delarik, zamaren borneetan tentsio zuzenaren polaritatea txandakatzea lortzen du. Ondorioa, tentsio zuzena tentsio alferno bihurtzea da.

Lehen harmonikoaren balio maximoa eta efikaza

$$V_{o,1} = \frac{4U_{dc}}{\pi}; \quad V_{1,rms} = \frac{4U_{dc}}{\sqrt{2}}$$

Inbertsore monofasikoak



Irudia behatuz, berreskurapen diodoen beharra antzeman daiteke, non inbertsoreetan beti egon beharko diren. Zamaren efektu inductiboaren eraginez, korrontea ezin da alderantzikatu bertan tentsioa alderantzikatzean, korrontea hurrengo txandako trantsistoreekin paraleloan dauden diodoetara kommutatuko du. Induktantziaren energia desagertzean, transistore horiek korrontea errotan has daitezke.

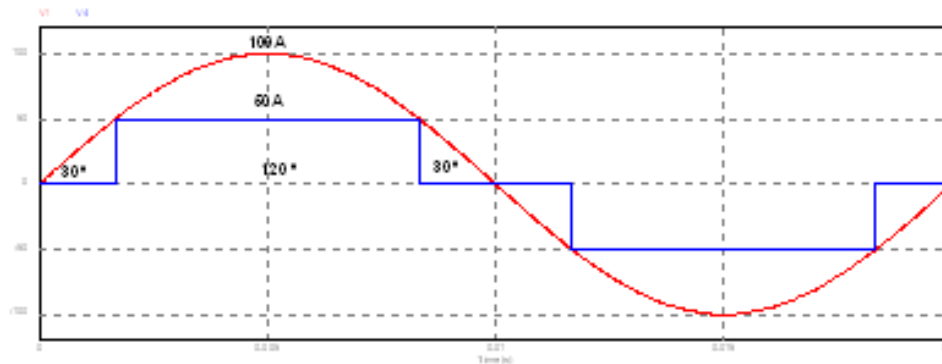
Komeni da gogoratzea transistore elektronikoak korrontea noranzko bakarrean pasatzen uzten dutela soilik, eta zamaren borneetako tentsioak positibotik negatibora kommutatu behar duela. Diodorik gabe, korrontean ezjarraitasunak eta transistoreetan gaintentsio inductibo handiak sortuko lirateke, sistema bideraezina bihurtuz.

Inbertsore monofasikoak

Pultsu bakarreko inbertsoreetan modu errazean kontrola daiteke irteerako tentsioaren maiztasuna, baina ezin da kontrolatu irteerako tentsioaren balio efikaza. Bi soluzio posible daudelarik:

- Sistema zuzenaren batez besteko balioa kontrolatu, uhin laukizuzenaren altuera kontrolatuz, eta horrela haren balio efikaza.
- Pultsuaren zabalera kontrolatu edo pultsu bakoitza zabalera desberdinetako pultsu anitz bihurtu.

Fourier-en serieen garapena, potentziako bihurgailu elektronikoen bidez energia elektrikoaren transformazio prozesua aztertzeko erabiliko den tresna matematikoa izango da.



$$I(t) = 100 \cdot \sin \omega t$$

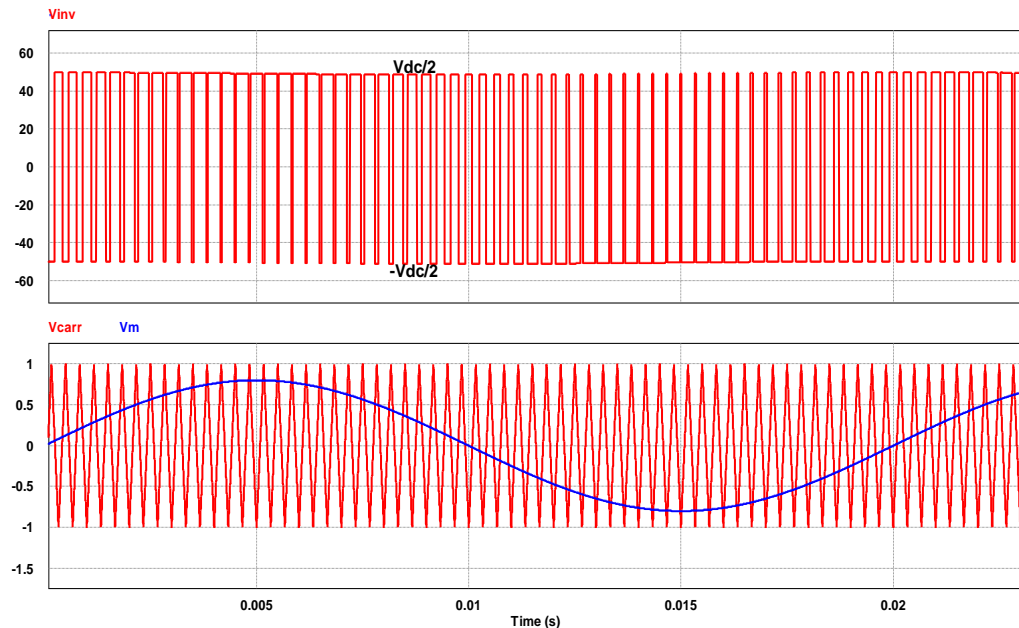
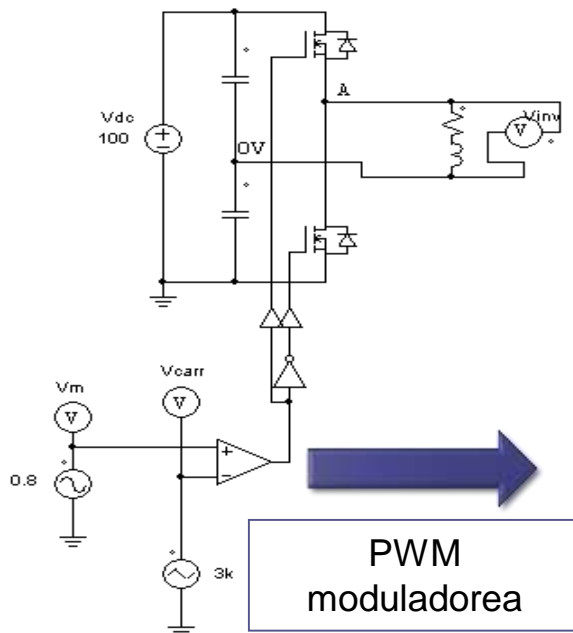
$$I(t) = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi} 50 \left[\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5 \omega t - \frac{1}{7} \sin 7 \omega t + \frac{1}{11} \sin 11 \omega t \dots \right]$$

Uhin sinusoidal eta laukizuzenaren Fourier-en serieen garapena

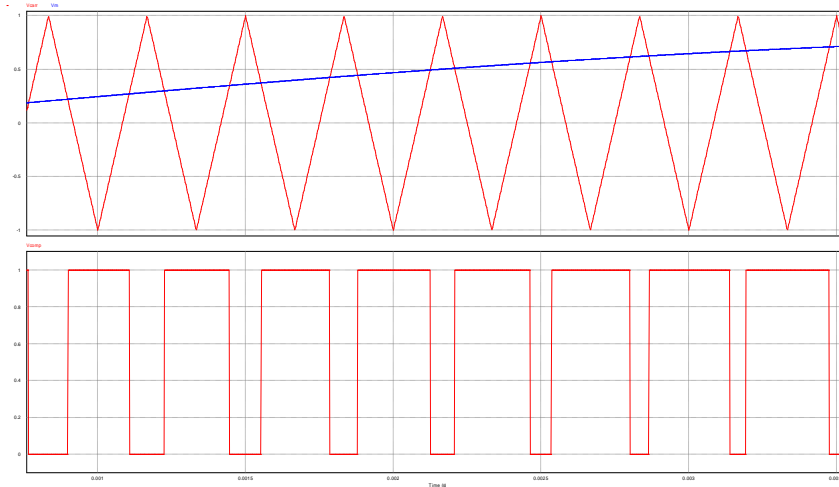
Inbertsore monofasikoak

Pultsu bakarrela modulazioak eduki harmoniko handia duenez, praktikan gehien erabiltzen den modulazio metodoa **pultsuaren zabalerako modulazioa**, PWM (Pulse Width Modulation) da.

PWM modulazioa, maiztasun txikiko uhin moduladore (modulatu nahi den informazioa) eta maiztasun handiko uhin garraiatzailea (ia beti uhin trianguluarra) erkaketa edo konparaketan oinarritzen da. Uhin bi hauen erkaketak seinale zuzena seinale alferno bihurtzeko transformazioa egiteko logika-kommutazioa sortzen du, irteerako uhinaren **balio efikaza eta maiztasuna kontrolatuz**.



Inbertsore monofasikoak



Irteerako tentsioaren balio efikaza kontrolatzeko erabiliko den parametroa, modulazio indizea izango da, m_a :

$$m_a = \frac{\hat{V}_{o,kontrol}}{\hat{V}_{o,triangelua}}$$

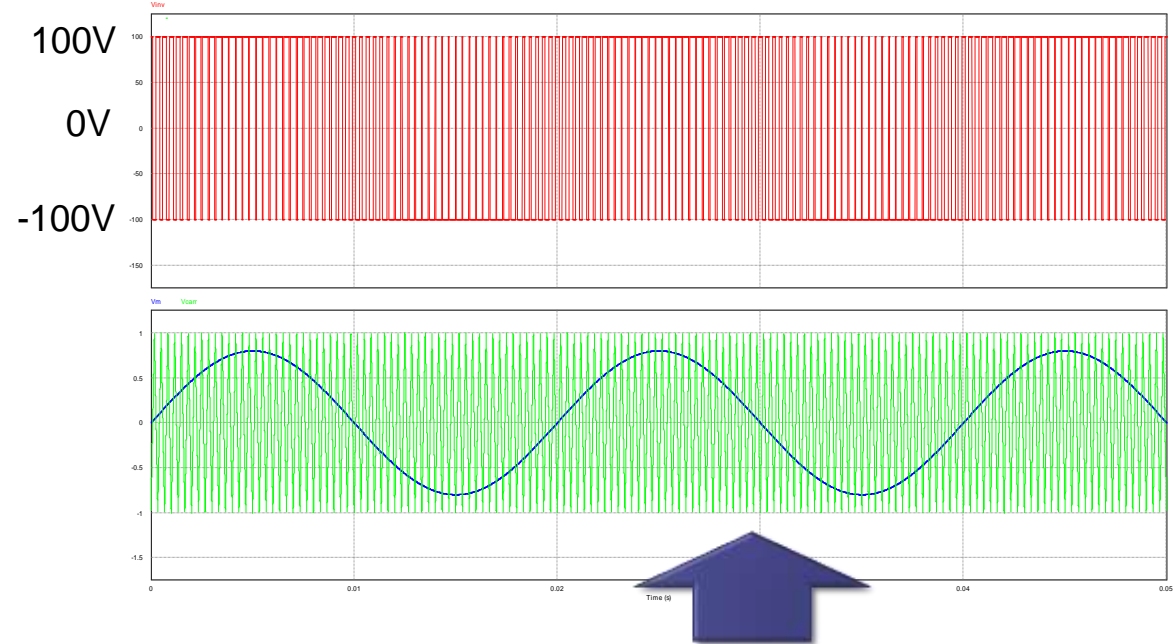
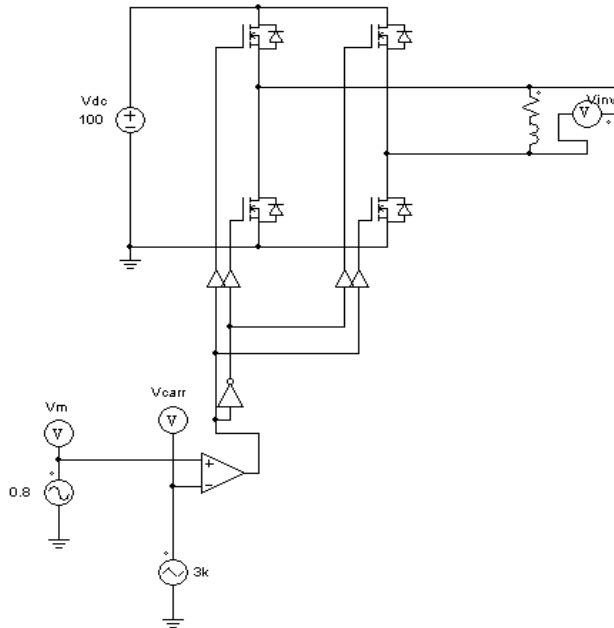
Irudiak erakusten du PWM modulazioaren proportzio-erlazioa, kontrol seinalearen amplitudearen eta seinale triangeluarraren puntako, balioekin. Horrela, sarrerako seinale zuzenarekin bidertuz, irteerako seinale alternoaren lehen harmonikoaren balioa ematen du:

$$(V_{A0})_1 = \frac{v_{o,kontrol}}{\hat{V}_{o,triangelua}} \frac{V_{sarrera}}{2} = m_a \sin \omega_1 t \frac{V_{sarrera}}{2}$$

PWM modulazioan komenigarria da garraiatzailearen maiztasuna handia izatea, distortsio harmonikoaren indizea hobetzea lortuz; muga, bihurtgailuaren transistoreen konmutazio maiztasunak eta potentzia galerek baldintzatzen dute. PWM modulazio monofasikoetan oinarritzko bi estrategia existitzen dira:

- Bipolarra
- Unipolarra

Inbertsore monofasikoak PWM bipolarrak

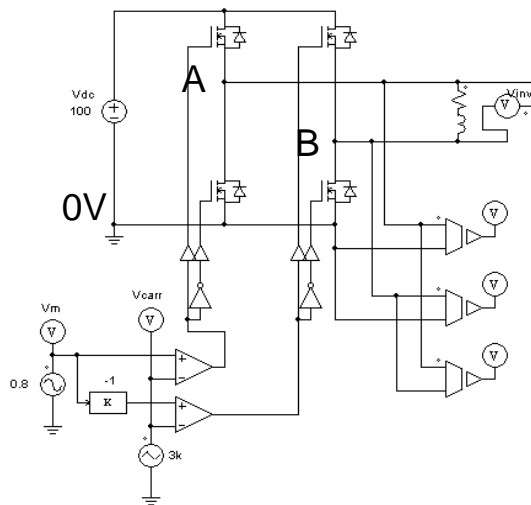


$$(V_{A0})_1 = \frac{v_{o,kontrol}}{\hat{V}_{o,triangeluar}} \frac{V_{sarrera}}{2} = m_a \sin \omega_1 t \frac{V_{sarrera}}{2}$$

Seinale moduladore sinusoidal bakarra lau transistoreen kontrolerako.

Kontrol bipolarrak transistoreak bikoteka kommutatzen ditu, non zamak bere borneetan alderantzizko polaritadedun tentsio zuzena jasaten duen. Harmoniko nagusiaren anplitudea, modulazio-indizearekin eta inbertsorearen sarrerako tentsio zuzenarekin erlazionaturik dago. Partaide harmonikoa, erabiltzen den seinale garraiatzailearen maiztasunarekin erlazionaturik dago.

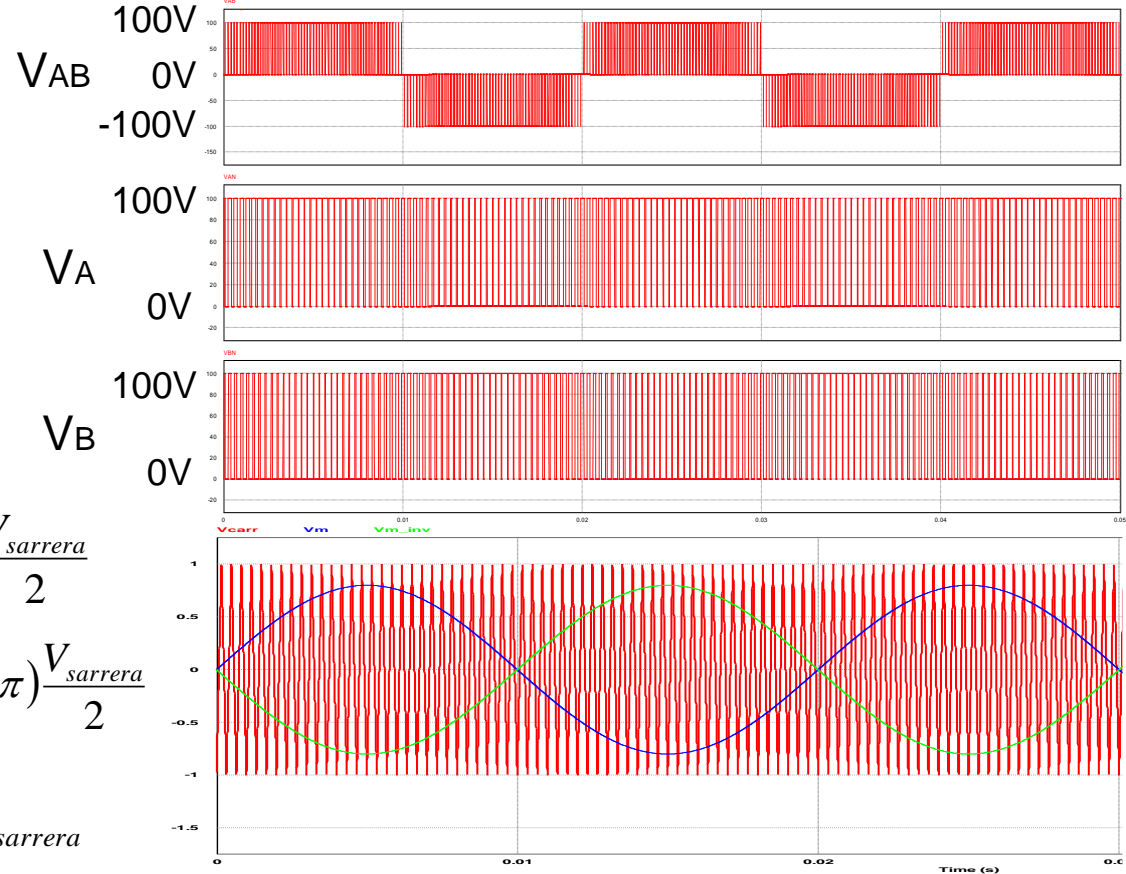
Inbertsore monofasikoak PWM unipolarrak



$$(V_{A0})_1 = \frac{v_{o,kontrol}}{\hat{V}_{o,tringeluar}} \frac{V_{sarrera}}{2} = m_a \sin(\omega_1 t) \frac{V_{sarrera}}{2}$$

$$(V_{B0})_1 = \frac{v_{o,kontrol}}{\hat{V}_{o,tringeluar}} \frac{V_{sarrera}}{2} = m_a \sin(\omega_1 t - \pi) \frac{V_{sarrera}}{2}$$

$$(V_{AB})_1 = (V_{A0})_1 - (V_{B0})_1 = m_a \sin \omega_1 t V_{sarrera}$$



Kontrol unipolarrak 180° desfasaturiko bi modulazio seinale erabiltzen ditu. Inbertsorearen adar bakoitza, modulazio seinale hauetako batengatik dago kontrolatua, eta horrela, zamaren borne bakoitza borne positibo edo 0V-era konektatzen da, txandaka. Zama, bere A eta B borneen arteko tentsio desberdintasuna jasaten du.

Inbertsore monofasikoak: ondorioak

PWM inbertsore bipolar eta unipolarrei buruzko ondorioak, gaiaren hasieran azalduko helburuekin erlazionatuz, ondorioztatu daitezke:

1. Balio efikazari buruz, ikus daiteke lehen harmonikoaren balio efikaz berdina lor daitekeela sarrerako tentsio zuzen berdinetik.
2. Partaide harmonikoa txikiagoa izango da inbertsore unipolarretan. Beraz, kontrol edo hardware konfigurazio arrazoiengatik ez bada, komenigarriagoa izango da unipolarra.

Inbertsore trifasikoak

Inbertsore trifasikoak gaur egun gehien erabiltzen diren bihurtgailuak dira. Ugartasun hau, propulzio elektriko eta energia berriztagarrien sorkuntza sistemetan erabiltzen direlako da.

Bihurtgailu trifasikoei dagokienez, bi kontzeptu agertzen dira beraiek optimizatzeko orduan:

1. Sarrerako tentsio zuzenaren aprobetxamendu hobetua lortzeko modulazio estrategia, partaide harmoniko minimoarekin irteeran.
2. Kontroleko zirkuitua eta inbertsorea osatzen duten etengailu elektronikoak lortzeko erabiliko den isolamendu galbanikoaren arkitektura.

Modulazio estrategiak

Modulazio sistemen artean, ondorengoak azpimarra daitezke:

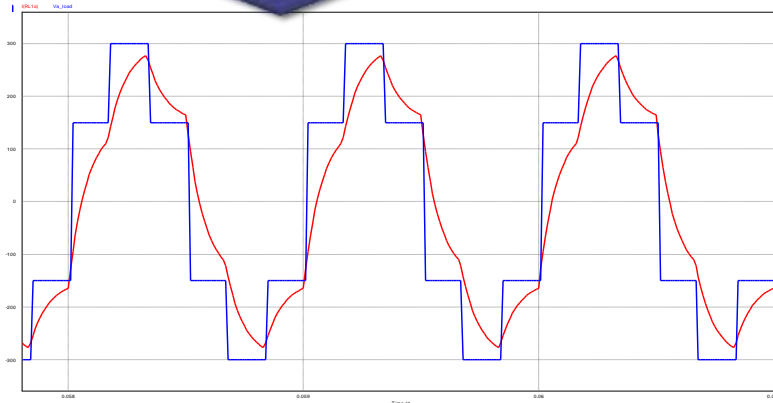
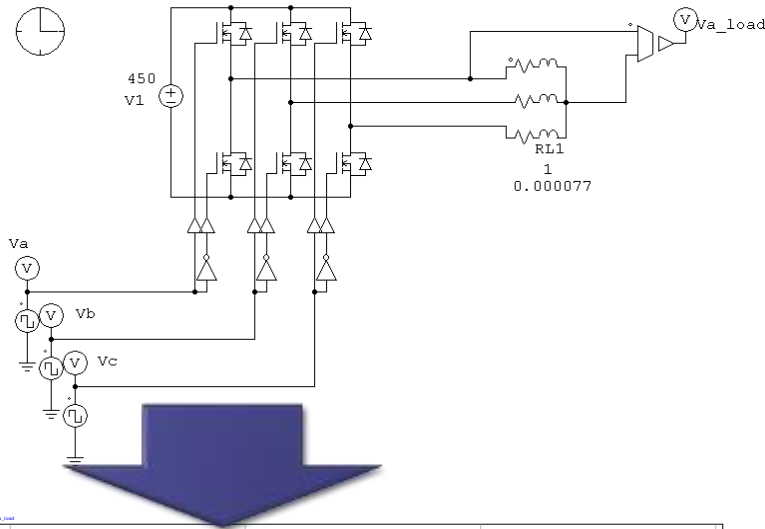
- Pultsu bakarreko zabalerako modulazioa edo Six-step.
- Aukeratutako harmonikoen ezabapen modulazioa, SHE.
- Pultsu sinusoidalaren zabalerako modulazioa, PWM.
- Pultsu espazio beltorialaren zabalerako modulazioa, SVPWM.
- Espazio bektorial etena modulazioa.
- Beste modulazio batzuk (histeresi banda, trapezoidalak, etab.).

Oharra: hauetariko modulazio batzuk, adibidez harmonikoen aukeratze-ezabapen modulazioa, orain dela urte batzuk potentziako egoera berezi batzuetan aplikatua izan zen, bere filosofia berezia dela eta oso interesgarria izanik irakaskuntzako ikuspuntutik. Beste batzuk, histeresi banda, esate baterako, aplikazio jakin batzuetan erabiltzen dira, baina kontu handia izan behar da harmoniko mailan, ezezagunak diren maiztasunetan sortuak izango baitira eta horrek beraien ezabapena zailduko duen.



Pultsu bakarreko zabalerako modulazioa, Six-Step

Voltage Source Inverter with "six-step" modulation

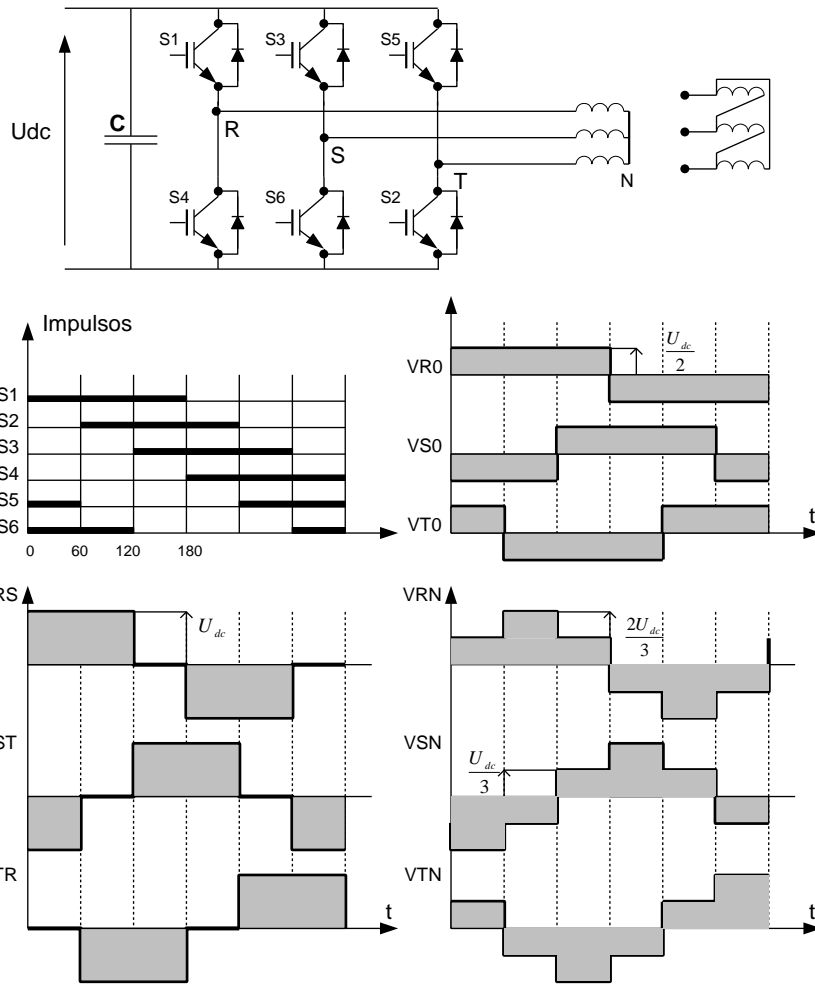


Zamaren tentsio eta korronea, 180°-ko desfasearekin eroapen ereduan

Six-step pultsu bakarreko eroapen ereduan, transistore eta adarren arteko desfaseak portaera komuna jarraituko du (120° adarren artean eta 180° adar bereko transistoreen artean). Transistore guztien eta bakoitzaren eroapenean 180° edo 120°-koa (uhin forma desberdinak sortuko dituzte).

Modulazio mota honetako ezaugarri oso garrantzitsua zera da: **PWM** eta **SVPWM** modulazioek gainmodulazio moduan lan egin dezaketela, sarreko tentsio zuzena moduladorearen kontrol linealaren mugatik kanpo aprobe txatu nahi denean, eta orduan beraien portaera asko hurbiltzen delarik pultsu bakarreko moduladoreetara.

Pultsu bakarreko zabalerako modulazioa, Six-Step



Eroapen eredu 180°-tan

Ikus daiteke, sortutako tentsio trifasikoetan ez dela existitzen hirugarren harmonikorik, ezta bere inongo multiplorik ere. Gainera, bosgarren eta zazpigarren harmonikoak kontrafasean agertzen dira, bai tentsio sinplean, bai konposatuan. Azken ezaugarri honek, beraien ezabapena gauzatzea posible egiten du aplikazio jakin batzuetan, duten simetriagaitik.

$$V_R = \frac{4U_{dc}}{\pi 2} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

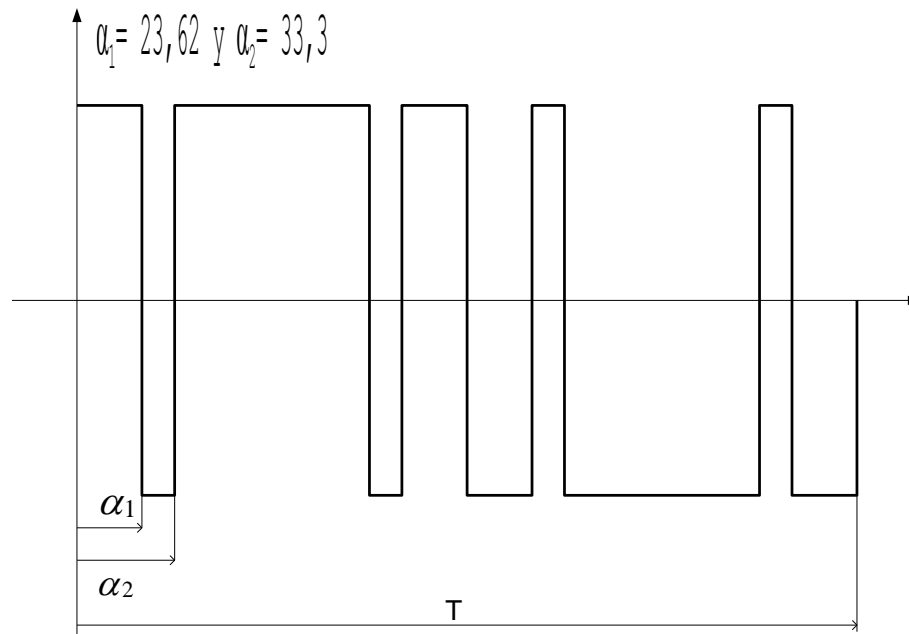
$$V_{RS} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_{dc} \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t \dots \right)$$

$$V_{RN} = \frac{2}{\pi} U_{dc} \left(\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t \dots \right)$$

Tentsio hauetariko bakoitzaren Fourier-en serieen garapena

Aukeratutako harmonikoen ezabapen modulazioa, SHE

Aukeratutako harmonikoen ezabapena, kommutazio bakoitzean harmoniko bat ezabatu ahal izan duen zenbakizko kalkuluko matrize batetan oinarritzen da, modu bakarrean kalkulatu delarik. Kommutazio hauek 0-tik 90°-ra kalkulatu dira, ondoren, simetria baliatuz, irteerako seinale modulatuaren periodo osoa eraikitzen da.



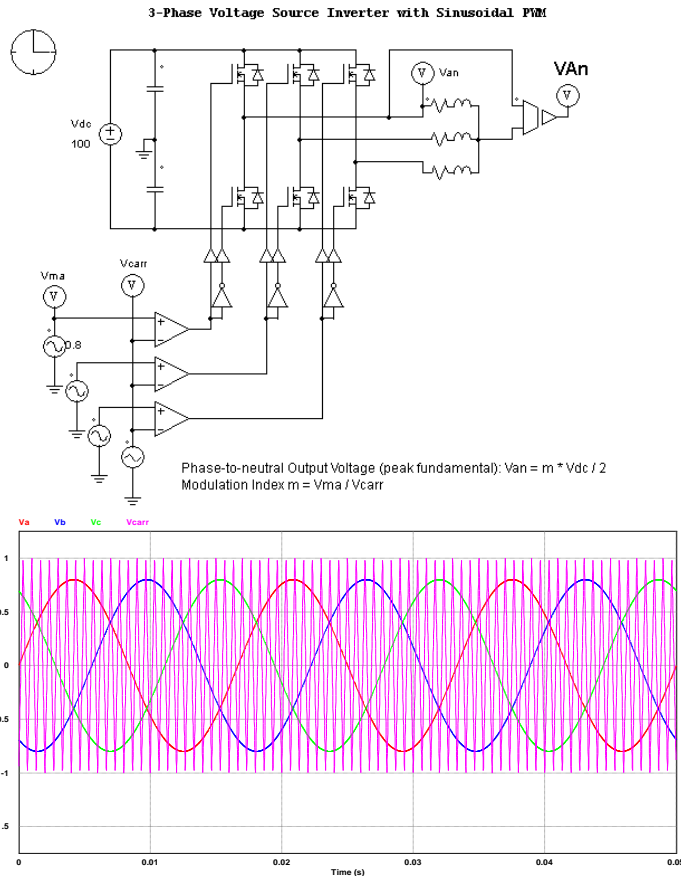
Bi harmonikoren ezabapenerako seinalea, kasu honetan 3. eta 5. harmonikoak, 23.62° eta 33.3°-tan kommutatuz.

Kommutazio matrizea

$$a_n = 0$$

$$b_n = 4 \frac{U_{dc}}{n\pi} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^k (-1)^k \cos n\alpha_k \right]$$

Pultsu sinusoidalaren zabalerako modulazioa, PWM



PWM modulazioa inbertsore monofasikoetan lehenago aztertu da, eta han ikusi bezala, kontrol estrategia eta helburuak berdinak izaten jarraitzen dute. Desberdintasun nagusia da, orain 120° -ko desfasea duten hiru modulazio independente beharko direla eta uhin garraiatzaile triangeluar berdinarekin konparatuak izango direla. Honek, adarretako goi-etengailuek 120° -ko desfasearekin konmutatzea eta behe-etengailuek bakoitzaren adarreko goikoarekiko 180° -ko desfasearekin konmutatzea dakar.

Fase bateko tentsioaren Fourier-en serieetako garapena:

$$V_{An} = \frac{1}{2} m_a U_{dc} \sin(\omega t) + \sum (M \omega_c \pm N \omega)$$

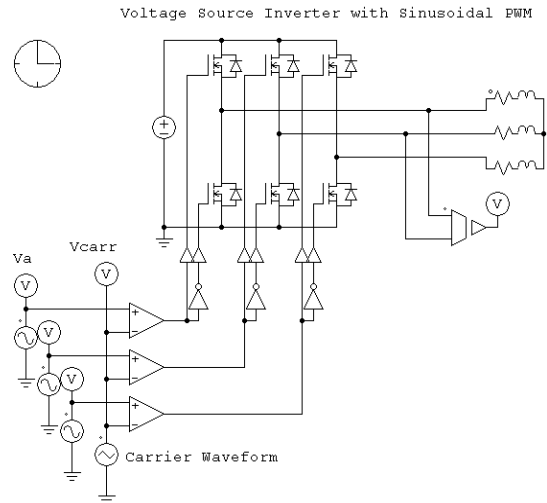
U_{dc} : sarrerako tentsio zuzena
 m_a : modulazio indizea

Distortsio harmonikoa

Modulazio indizea:
erreferentzia seinale sinusoidalaren puntako eta seinale garraiatzaile triangeluarraren, balioak.

$$m_a = \frac{\hat{V}_{o,kontrol}}{\hat{V}_{o,triangeluar}}$$

Pultsu sinusoidalaren zabalerako modulazioa, PWM



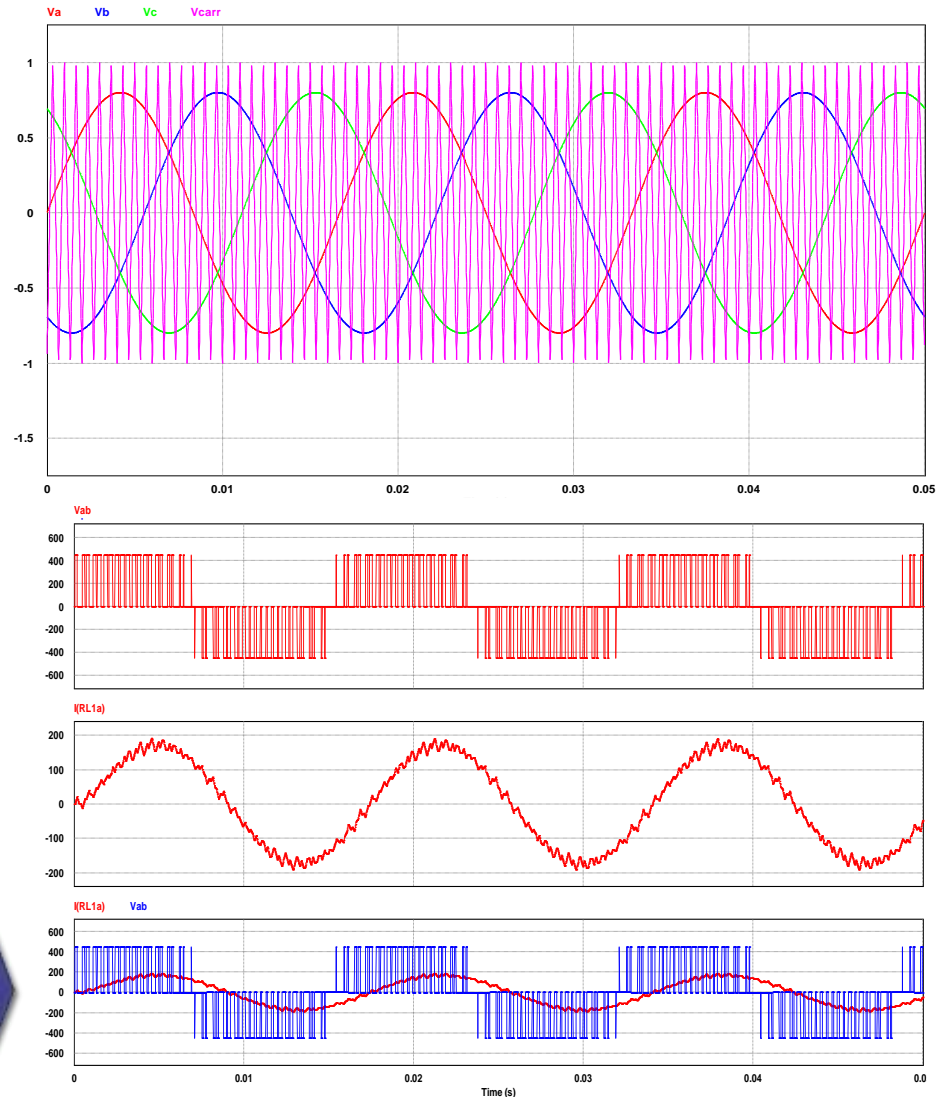
Modulazio lineala:

$$(V_{AB})_1 = \sqrt{3} m_a \frac{V_{sarrera}}{2} \sin \omega_1 t = 0.866 m_a V_{sarrera} \sin \omega_1 t$$

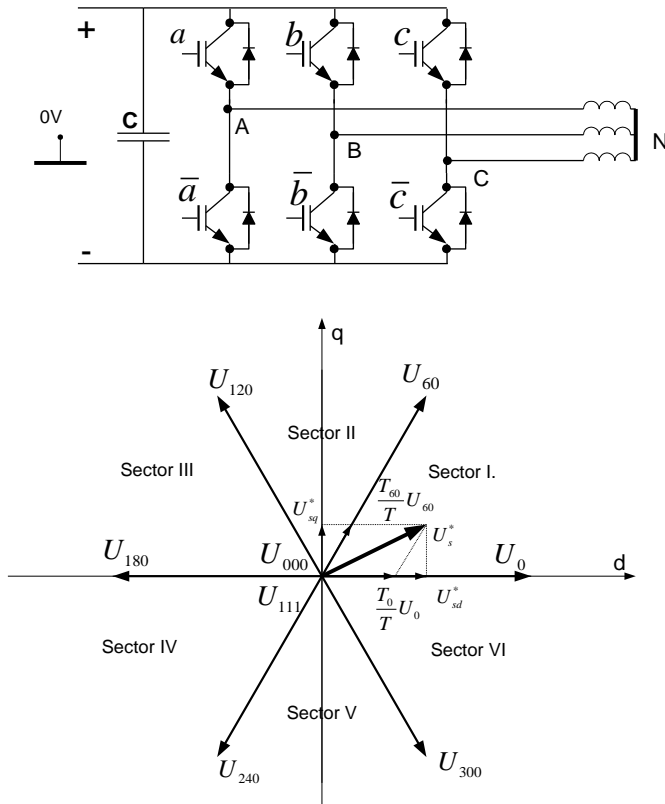
Gainmodulazioa:

$$(V_{AB})_1 = \sqrt{3} \frac{4}{\pi} \frac{V_{sarrera}}{2} \sin \omega_1 t = 1.1 V_{sarrera} \sin \omega_1 t$$

Faseen arteko tentsio konposatuaren, faseko korrontearen eta bien arteko konbinazioaren, uhin formak.



Pultsu espazio bektorialaren modulazioa, SVPWM



Irteerako bektorea, sei konmutazio-bektorek ($U_0, U_{60} \dots$) eta bakoitza konmutatzen egongo den denborak definituko dute, bere angeluaren, magnitudearen eta aurkitzen den sektorearen funtzio izanik.

Modulazio honek FOC (Field Oriented Control) korrante alternoko makina asinkrono eta sinkronoak kontrolatzeko estrategiekin lotura handia du. Clarke eta Park-en sistema trifasiko eta bifasiko ortogonal iragankor eta birakorren teorian oinarritzen da (Freescale-ren AN1930 Aplikazio oharra).

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{bmatrix} = U_{DCBus} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \frac{U_{DCBus}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

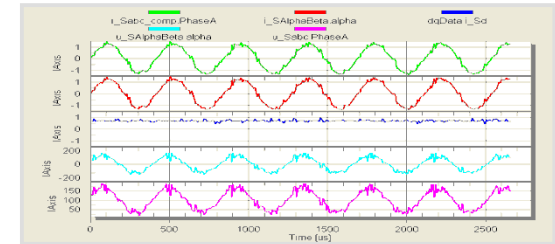
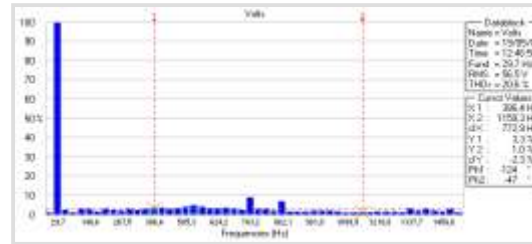
$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

Modulazio estrategien laburpena

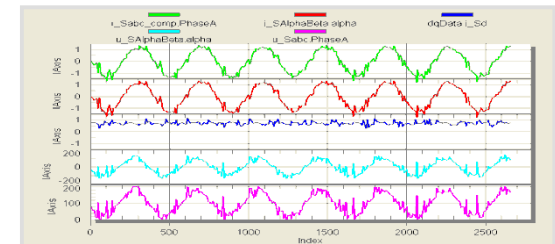
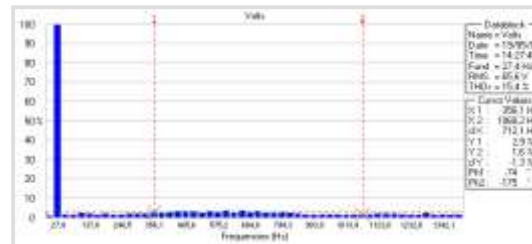
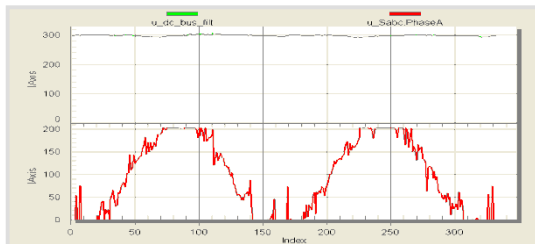
- Ondorengo gardenkietan, korrante alternoko motorentzako eragingailu trifasiko batetan sorturiko uhin forma desberdinak ikus ditzakegu.
- Gauza da, ikustea nola inbertsoreak sorturiko uhin desberdinek makina biraka jartzen duten antzeko kontrol ezaugarriekin, baina energia-eraginkortasun ezaugarri desberdinekin.
- Kontuan izan behar da, harmonikoak ez direla soilik lineetatik eroaten, baizik eta ingurura ere zabaltzen direla.
- Harmonikoek makinaren biraketa kalitatean izango dute eragina, baina baita bere beroketan ere, bere zati metalikoetan multzokatuko baitira.
- Honek guztiak, distortsioaren azterketak eraginkortasunaren atal desberdinak izatea dakar, eta horregaitik ikerketan garapen sendoa izateko bidea ematen dio.

Modulazio estrategia desberdinen konparazioa

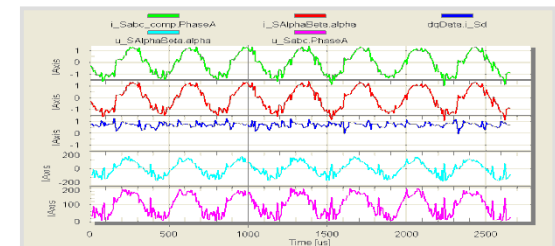
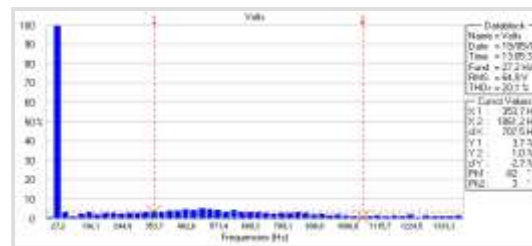
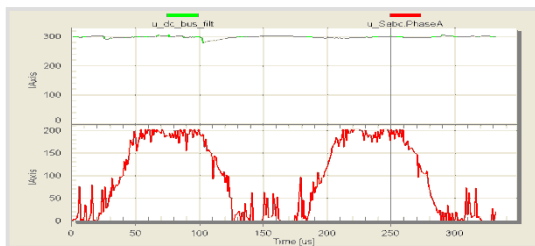
KOMMUTAZIOAREN KONPARAZIO-ANALISIA ETA ERRENDIMENDUAREN AZTERKETA



SPWM modulazioa



THIPWM modulazioa

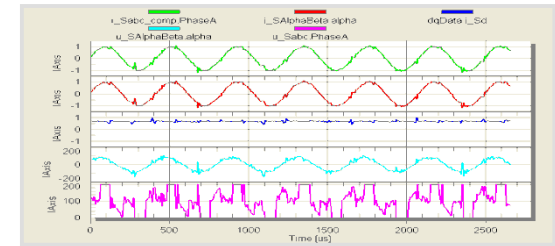
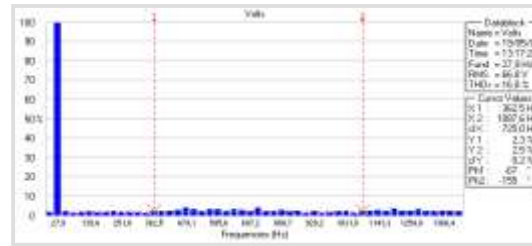
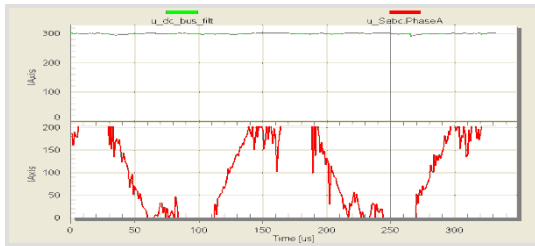


SVPWM modulazioa

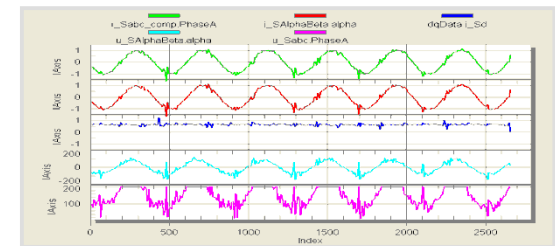
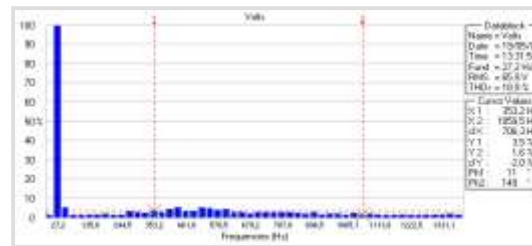
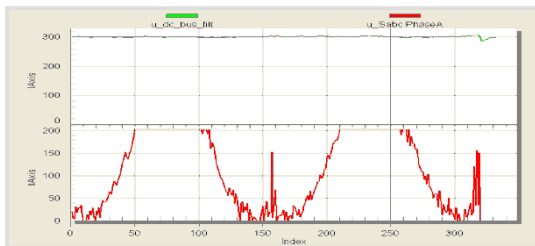
Modulazio jarraituak

Modulazio estrategia desberdinen konparazioa

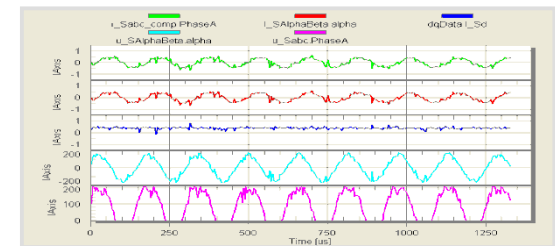
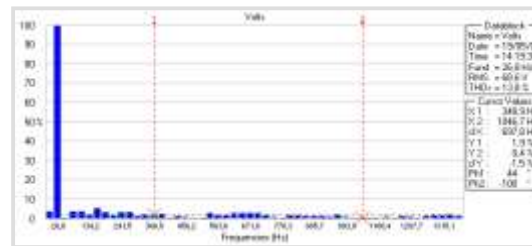
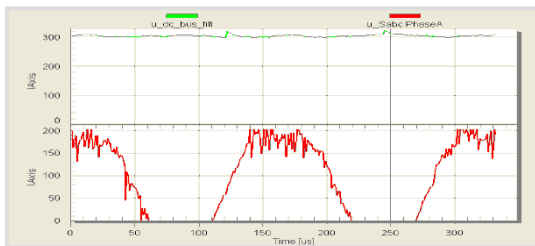
KOMMUTAZIOAREN KONPARAZIO-ANALISIA ETA ERRENDIMENDUAREN AZTERKETA



DPWM2 modulazioa



DPWMMAX modulazioa

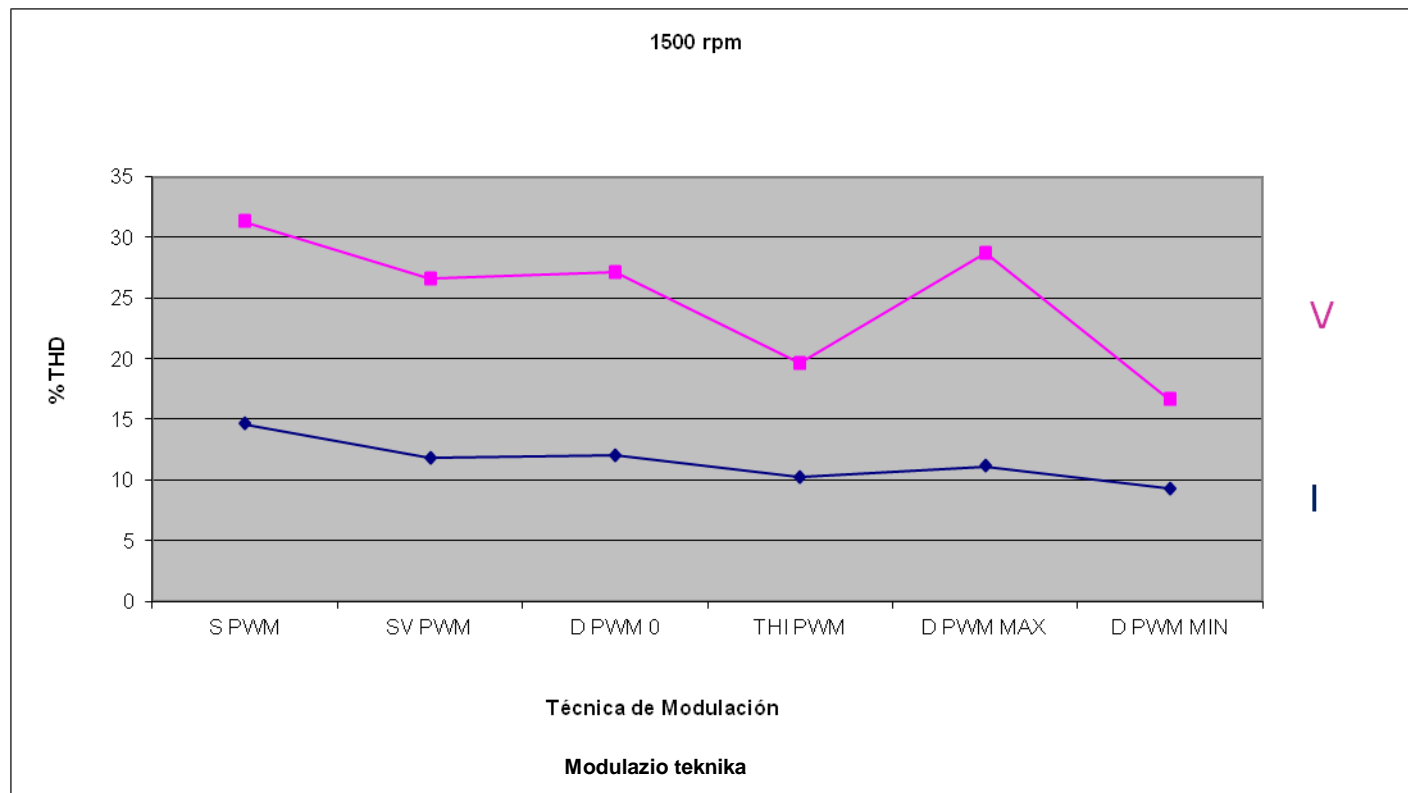


DPWMMIN modulazioa

Modulazio etenak

Modulazio estrategia desberdinen konparazioa

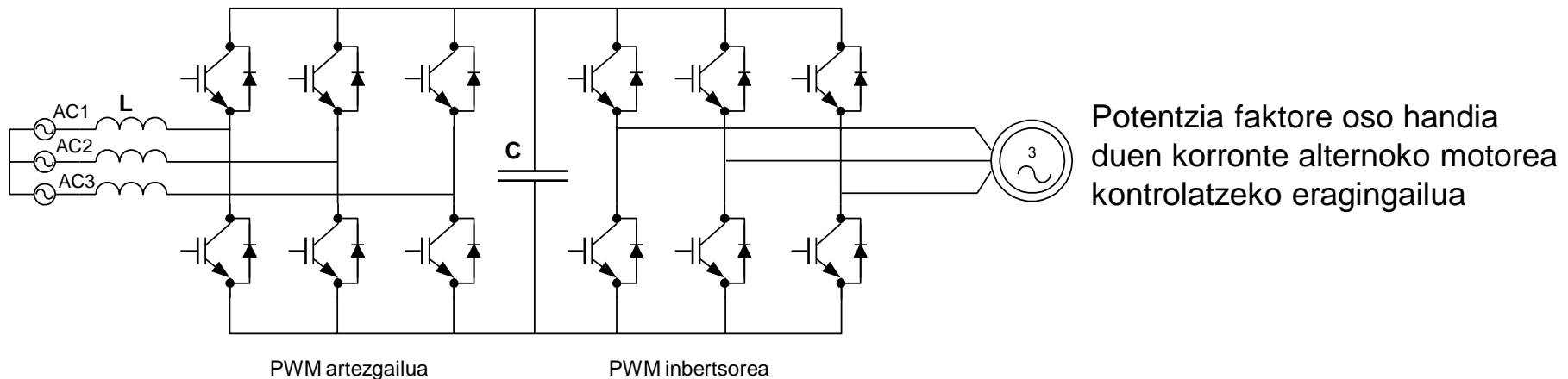
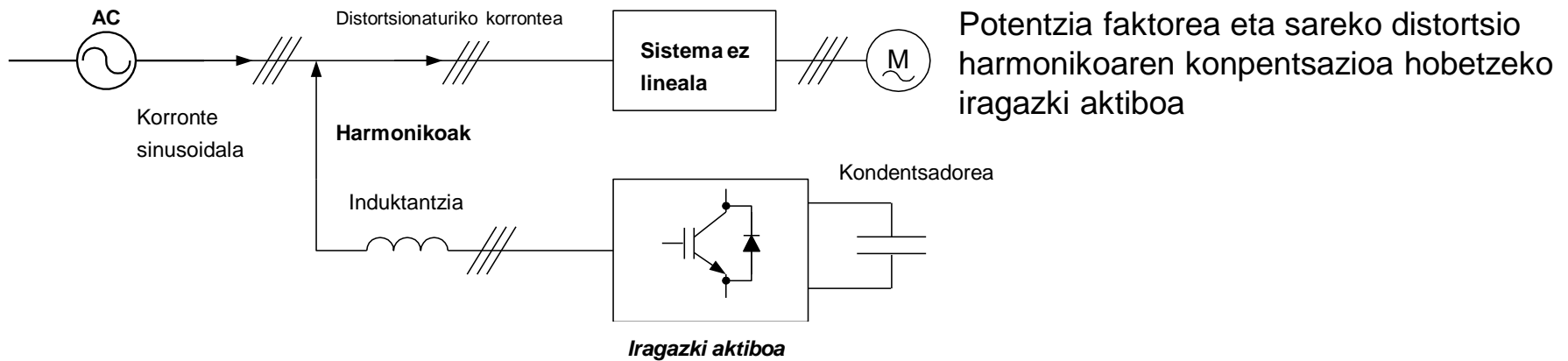
KOMMUTAZIOAREN KONPARAZIO-ANALISIA ETA ERRENDIMENDUAREN AZTERKETA



Modulazio desberdinak erabiltzean motorearen borneetako korrante eta tentsioen guztizko distortsio harmonikoaren indizea (THD)

DC-AC bihurgailuen erabilpen aurreratua

DC-AC bihurgailuen erabilpena aplikazio aurreratuetan, adibidez, iragazki aktiboak eta PWM artezgailuak, beste askoren artean, oinarrian ikastaro honetan ikasiko diren urratsak jarraitzen ditu, eta horien kontrolak definituko du beraien erabilpena.



Ondorioak

- DC-AC bihurgailu edo Inbertsoreak izango dira energia zuzena ezaugarri elektriko erregulagarriak dituen energia alternoa transformatzeko arduradunak.
- Erabilitako modulazio estrategiaren bidez, kontroleko ezaugarri eta energia-eraginkortasun ezaugarri desberdinak lortuko dira, non estrategia hori inbertsorearen erabilera industriako aplikazio jakin batzuetara egokitu beharko den.
- Energia berriztagarrien iturri berriek eta mota guztietako ibilgailuen propulzio elektrikodun sistema berriek, potentziako bihurgailu elektroniko hauen garapen eta ikerkuntzan jardutearen hazkundera ekarriko dute.
- Energia-eraginkortasuna eta distortsio harmonikoa, inbertsoreen bidezko energia transformazioaren kalitate faktoreak izan behar dute.